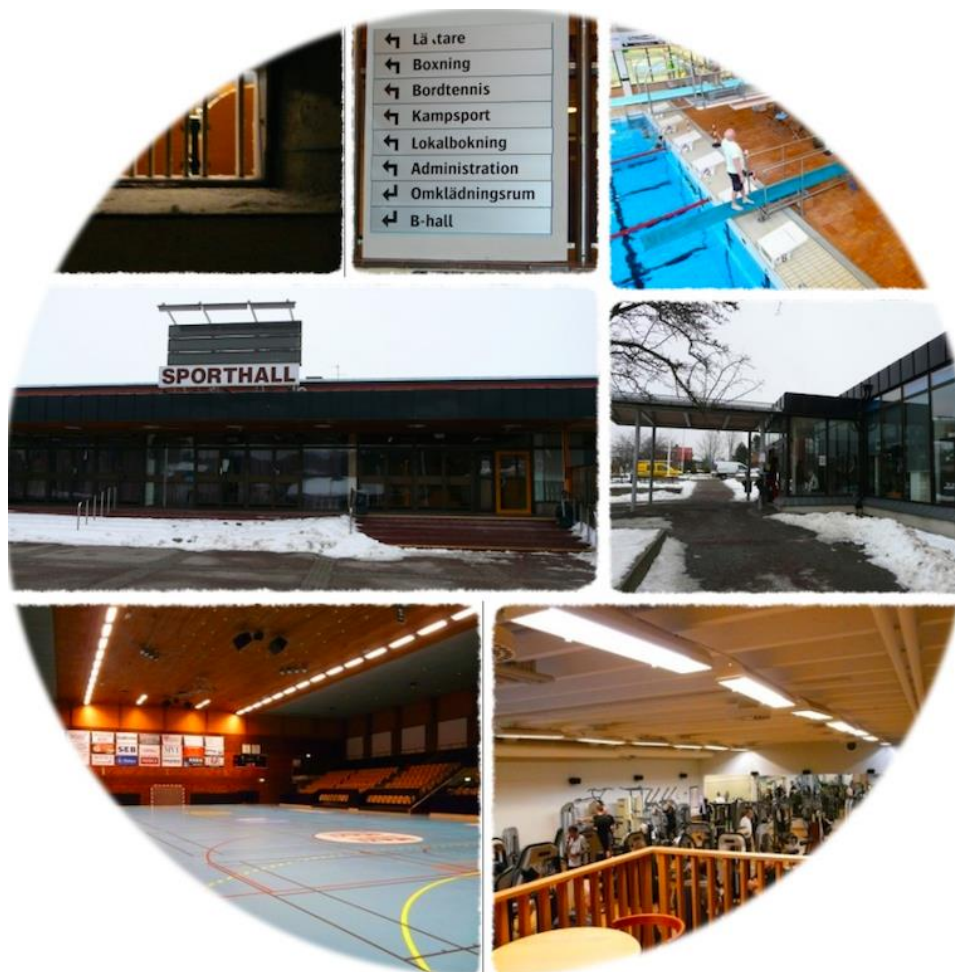


# Brandteknisk riskvärdering

## Motala sporthall



Daniel Blixt  
Mattias Eriksson  
Jonathan Rosenqvist  
Gustav Ticander  
Oliver Walsh



**LUNDS UNIVERSITET**  
Lunds Tekniska Högskola

**Brandteknik**  
**Lunds Tekniska Högskola**  
**Lunds Universitet**

**Rapport 9471**  
**2014**



## Brandteknisk riskvärdering av Motala sporthall

Daniel Blixt  
Mattias Eriksson  
Jonathan Rosenqvist  
Gustav Ticander  
Oliver Walsh

Lund 2014

*”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.”*





**Rapport/ Report**

9471 © Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2014

**Titel/ Title**

Brandteknisk riskvärdering av Motala sporthall/Fire Safety Evaluation of Motala sporthall

**Antal sidor/ Number of pages**

136 (inklusive bilagor/including appendix)

**Tabeller/ Tables**

41

**Figurer/ Figures**

56

**Bilder/Pictures**

14

**Diagram/Diagrams**

38

**Språk/ Language**

Svenska/Swedish

**Bilder**

För fotografierna som är tagna i Motala sporthall har tillstånd erhållits. För övriga bilder har också tillstånd för användning givits.

**Författare/ Authors**

Daniel Blixt, Mattias Eriksson, Jonathan Rosenqvist, Gustav Ticander och Oliver Walsh.

**Nyckelord/ Keywords**

Brandteknisk riskvärdering, utrymning, acceptanskriterier, CFAST, FDS, Simulex, Motala, Motala sporthall.

Fire safety evaluation, evacuation, acceptance criteria, CFAST, FDS, Simulex, Motala, Motala sporthall.



**Abstract**

This report is a fire safety assessment of the multi-function sports facility Motala sporthall. The building is used for a variety of sports and activities on an everyday basis. On occasion the building is also used for larger events such as sports competitions, dinner parties, nightclub events and for lodging. This poses new challenges to the current fire protection systems of the building and therefore a deterministic evaluation has been performed to investigate occupant safety in case of a fire.

A risk analysis has been performed to determine the worst credible fire scenarios when taking into account likeliness and consequence. This identifies the buildings karatehall, A-hall and B-hall as locations where an unsafe egress environment is expected. Computer software, calculations as well as qualitative reasoning has been used to quantify available time of egress and time needed for evacuation.

Based on comparison of these results it was possible to conclude that safe egress cannot be guaranteed for all the scenarios. Further analysis has been conducted to propose a number of measures that will improve the buildings fire protection and occupant safety.



## Sammanfattning

Denna rapport är framtagen i syfte att göra en brandteknisk riskvärdering av Motala sporthall. Sporthallen är uppförd på slutet av 1960-talet och huserar flera olika verksamheter och typer av lokaler. Under åren har brandskyddet uppdaterats men likaså har ombyggnation och verksamhetsförändring lett till att byggnaden i dagsläget har nya förutsättningar, vilket motiverar en utvärdering av brandrisker och utrymningsmöjligheter. Rapporten är avgränsad till att endast utvärdera personsäkerhet och behandlar inte brandens påverkan på byggnadens hållfasthet eller ekonomiska och miljömässiga konsekvenser.

Till grund för rapporten ligger ett platsbesök vid Motala sporthall där fastighetsskötare, representanter från räddningstjänsten, rapportens författare samt handledare närvarade. Vid besöket bildades ett helhetsintryck av sporthallen och nödvändig information samlades in. Detta material användes till en resonerande grovanalys där tänkbara brandscenarier värderades efter sannolikhet och konsekvens. Fyra brandscenarier som ansågs utgöra de värsta troliga fallen identifierades med hjälp av grovanalysen och en framtagen riskmatris. Dessa scenarier listas nedan:

- Brand på scen i A-hallen
- Brand i B-hallen vid övernattnig
- Brand i karatehallen vid övernattnig eller uppdukad lokal
- Brand vid garderobsverksamhet i karatehallen

För de fyra scenarierna utarbetades dimensionerande bränder och utrymningsförlopp. Beräkningar och simuleringar med datorprogrammen CFAST, FDS, SIMULEX och DETACT-T2 användes för att ta fram värden på krävd utrymningstid och tillgänglig tid för utrymning. Resultatet från beräkningar och simuleringar visar att personsäkerheten inte kan garanteras under hela den krävda utrymningstiden för scenarierna *Brand på scen i A-hallen* och vid samtliga *brandscenarier i karatehallen*. Detta gav en anledning till vidare analys.

Åtgärdsförslag för att garantera säker utrymning har utarbetats och utvärderats både kvalitativt och kvantitativt. Denna arbetsprocess har resulterat i ett antal rekommendationer för vilka åtgärder som *ska* och vilka åtgärder som *bör* implementeras för att Motala sporthall ska kunna anses vara säker för utrymning vid brand.

Åtgärder som *ska* vidtas för att säkerställa acceptabla förhållanden vid utrymning

- Karatehallen ska göras om till en egen brandcell
- Draperiet i karatehallen ska plockas bort
- Mekanisk brandgasventilation ska installeras i A-hallen

Åtgärder som *bör* vidtas för att förbättra förutsättningarna för säker utrymning

- Dörrbeslag bör bytas ut mot modernare variant
- Entrédörren bör kunna öppnas helt
- Slagriktning på dörrar bör vara i utrymningsriktningen
- Rutiner kring manuellt talat meddelande bör ses över
- Passagen via barriärerna vid läktarna i A-hallen bör förenklas
- Utrymningsskyltar bör sättas upp i A-hallen enligt Figur 9 och Figur 10
- Grinden i kassan bör kunna öppnas utåt vid utrymning
- Det bör installeras en skjutdörr eller byggas en nisch för dörr i bordtennishallen
- Fläktrum i foajén bör byggas om till egen brandcell
- Matchvärdar vid större idrottsevenemang bör användas
- Kontrollera rutiner för att ljus tänds och musik stängs av vid händelse av brand under konsert
- Hela foajén och dess angränsade utrymmen bör ses över gällande brandgasspridning

Förslagen under kategorin *ska* är åtgärder som ska säkerställa att alla personer som befinner sig i byggnaden hinner utrymma under acceptabla förhållanden. Förslagen under kategorin *bör* är åtgärder som förbättrar förutsättningarna för säker utrymning, men inte nödvändigtvis säkerställer denna under hela den tid som krävs för utrymning. Vidare redovisar rapporten i samtliga steg de bakomliggande resonemang och antaganden som resulterar i ovanstående rekommendationer. En känslighetsanalys är baserad på beräkningar och simuleringar för att ta hänsyn till osäkerheter samt att behålla ett ödmjukt förhållningsätt till de kvantitativa värden som framtagits. Slutsatser, giltighet och osäkerheter behandlas i en avslutande diskussion.

## Summary

This report is a fire safety assessment of the multi-function sports facility Motala sporthall. It was built in the 1960s and is used for a variety of sports, activities and events. Over the years the building has seen remodelling and alteration. The facility's various uses have also been changed which motivates a total assessment of fire hazards and conditions for evacuation. The report will only evaluate fire safety when it comes to protecting human lives, while economic, building durability and environmental consequences of fire will not be assessed.

To gather information and make a general evaluation of Motala sporthall a visit was made by the authors. Representatives from Motala rescue service, Motala sporthall's caretaker and an academic mentor were also present and were able to answer questions and provide relevant material. Based on the material, an overall analysis was made where possible fire scenarios was discussed and ranked by probability and consequence. Based on the analysis and a risk matrix it was possible to identify four worst credible scenarios:

- A stage-fire in the A-hall
- A fire breaks out while the B-hall is used for lodging
- A fire breaks out while the karate hall is used for lodging or as a dining hall.
- A fire breaks out while the karate hall is being used as a coatroom.

For each scenario a design fire and several egress situations was constructed based on empirical data. Calculations and computer software simulations (CFAST, FDS, SIMULEX and DETACT-T2) were made to approximate time required for safe egress and time available for safe egress. A comparison of these results made it possible to conclude that safe egress cannot be guaranteed for the scenarios *A stage-fire in the A-hall* and all *scenarios in the karate hall*. This motivated further analysis of possible solutions and measurements that could result in ascertained safe egress.

The process described above has resulted in the following suggestions that can be implemented to improve the fire safety and available time for egress in Motala sporthall. The suggestions are divided into two categories: *crucial* and *recommended*.

Measures that are deemed *crucial* to ensure safe egress

- The karate hall needs to be made into a fire cell
- The drapes in the karate hall needs to be removed
- Mechanical fire ventilation needs to be installed in the A-hall

Measures that are *recommended* to improve the conditions for safe egress

- Door mountings should be changed to a modern type
- The main entrance doors should be made able to open fully
- All doors should be made so they open outwards in the direction of egress
- Routine for specified spoken evacuation messages should be established
- The barriers in the A-hall should be alternated to enable easy egress via the stands
- Proper egress signs should be installed in the A-hall as suggested in Figure 9 and Figure 10
- The gate near the reception should be able to open outwards in the direction of egress
- Sliding doors should be installed for the emergency exit in the table tennis hall
- The fan room in the foyer should be made into a fire cell
- Ushers should be employed for larger sporting events
- Revise the routines to ensure that lights and music are turned off in the event of a fire during a concert
- The foyer as a whole and the adjacent compartments should be reviewed regarding smoke spread

The suggestions proposed under the category *crucial* will ensure that all occupants will have enough time to evacuate the building under safe conditions. The suggestion proposed under the category

*recommended* will improve the egress conditions for occupants but will not necessarily ensure that the conditions will be deemed safe for the whole duration of evacuation. This report will present the analysis and assessment that has carried out to conclude the above-suggested measures. A sensitivity analysis of calculations and simulations has also been carried out. This aims to account for uncertainty and variations present in the process. It also aims to maintain a humble approach towards the specific values that calculations and simulations produce. Further conclusions, verification of the analysis and uncertainty will be covered in a concluding discussion.



## **Förord**

Utan hjälp och vägledning av följande personer hade inte arbetet resulterat i den rapport ni nu har framför er. Därför tackar vi nedanstående för deras tid, stöd och engagemang under arbetets gång.

**Alexander Cedergren**, Avdelningen för Riskhantering och Samhällssäkerhet LTH

**Kenneth Andersson**, Fastighetsenheten Motala kommun

**Martin Jonsson**, Räddningstjänsten Motala-Vadstena

**Håkan Frantzich**, Avdelningen för Brandteknik LTH

**Daniel Nilsson**, Avdelningen för Brandteknik LTH

**Jonathan Wahlqvist**, Avdelningen för Brandteknik LTH

**Nils Johansson**, Avdelningen för Brandteknik LTH

**Cedrik Persson**, Bengt Dahlgren AB

**Haukur Ingason**, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

**Patrick Gustafsson**, Byggritningar AB



**Nomenklatur**

<b>Tecken</b>	<b>Förklaring</b>	<b>Enhet</b>
$A_T$	Total inneslutningsarea	$m^2$
$A_0$	Öppningsarea	$m^2$
$D$	Brandens diameter	$m$
$D$	Avstånd till objektet vid beräkning av synfaktor	-
$g$	Gravitationskonstant	$9,81 \text{ m/s}^2$
$h_k$	Effektiv värmeövergångskoefficient	$\text{kW/m}^2\text{K}$
$H_0$	Höjd av öppningen	$m$
$\kappa$	McCaffreys plymkonstant	$1,1 \text{ m}/(\text{kW}^{1/3}\text{s})$
$L$	Flamhöjd	$m$
$\dot{q}''$	Värmestrålning	$\text{kW/m}^2$
$\dot{Q}$	Effekt	$\text{kW}$
$\dot{Q}_{FO}$	Effekt vid övertändning	$\text{kW}$
$\dot{Q}_{fire}$	Krävd effekt för antändning	$\text{kW}$
$S$	Konstant vid beräkning av synfaktor	-
$t$	Tid	$s$
$t_p$	Termisk penetrationstid	$s$
$T$	Temperatur	$^\circ\text{C}$ eller $\text{K}$
$\Delta T_0$	Temperaturdifferens	$^\circ\text{C}$ eller $\text{K}$
$T_\infty$	Omgivningstemperatur	$^\circ\text{C}$ eller $\text{K}$
$z$	Höjd på flamma	$m$
$\alpha$	Tillväxthastighet	$\text{kW/s}^2$
$\alpha$	Konstant vid beräkning av synfaktor	-
$\delta$	Vägg tjocklek	$m$
$\varepsilon$	Emissionstal	-
$\eta$	McCaffreys plymkonstant	-1/3
$\sigma$	Stefan-Boltzmanns konstant	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
$\Phi$	Synfaktor	-



# Innehållsförteckning

<b>1. INLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 BAKGRUND .....	1
1.2 SYFTE OCH MÅL .....	1
1.3 AVGRÄNSNINGAR OCH BEGRÄNSNINGAR.....	1
1.4 METOD .....	1
<b>2. OBJEKTBESKRIVNING</b> .....	<b>3</b>
2.1 VERKSAMHET .....	4
2.2 LOKALBESKRIVNING .....	4
2.2.1 A Hall och B Hall .....	4
2.2.2 Bowling .....	5
2.2.3 Sporthall .....	5
2.2.4 Actic och frisksport .....	5
2.2.5 Karatehall, boxningshall, bordtennishall och foajé .....	6
2.3 PERSONAL .....	6
2.4 VENTILATION.....	7
<b>3. BEFINTLIGT BRANDSKYDD</b> .....	<b>9</b>
3.1 BRAND OCH UTRYMNINGSLARM .....	9
3.2 BRANDSKYDD VENTILATION .....	9
3.3 DETEKTIONSSYSTEM .....	10
3.4 SLÄCKUTRUSTNING .....	10
3.5 SYSTEMATISKT BRANDSKYDDSARBETE .....	10
3.6 VÄGLEDANDE MARKERINGAR OCH NÖDBELYSNING .....	10
3.7 RÄDDNINGSTJÄNSTEN .....	10
3.8 BRANDCELLSINDELNING .....	10
3.9 ÖVRIGT .....	10
<b>4. STATISTIK</b> .....	<b>11</b>
4.1 BRANDORSAK .....	11
4.2 BRANDPLATS .....	11
<b>5. GROVANALYS AV BRANDSCENARIER</b> .....	<b>13</b>
5.1 RISKMATRIS .....	14
5.2 UTVALDA SCENARIER .....	15
<b>6. SKYDDSMÅL OCH ACCEPTANSKRITERIER</b> .....	<b>17</b>
6.1 SKYDDSMÅL .....	17
6.2 ACCEPTANSKRITERIER .....	17
<b>7. UTRYMNING</b> .....	<b>19</b>
7.1 UTRYMNINGSFÖRLOPPET .....	19
7.2 BEFINTLIGA UTRYMNINGSMÖJLIGHETER .....	19
7.3 VARSEBLIVNINGSTID .....	20
7.4 FÖRBEREDELSETID .....	21
7.5 FÖRFLYTTNINGSTID .....	23
7.6 RESULTERANDE UTRYMNINGSTID .....	23
7.7 OSÄKERHETER FÖR UTRYMNINGSTID .....	23
<b>8. BRANDSCENARIER</b> .....	<b>25</b>
8.1 BRAND PÅ SCEN I A-HALLEN (17).....	25
8.1.1 Dimensionerande brand.....	26
8.1.2 Ventilation .....	27
8.1.3 Resultat .....	27
8.1.4 Jämförelse resultat och utrymningstid.....	29
8.1.5 Osäkerheter.....	29
8.1.6 Åtgärdsförslag .....	31

8.2 B-HALLEN VID ÖVERNATTNING (19) .....	35
8.2.1 Dimensionerande brand.....	36
8.2.2 Ventilation .....	36
8.2.3 Resultat.....	36
8.2.4 Jämförelse resultat och utrymningstid.....	39
8.2.5 Osäkerheter.....	39
8.2.6 Åtgärdsförslag .....	40
8.3 BRAND I KARATEHALLEN VID ÖVERNATTNING ELLER UPPDUKAD LOKAL (29) .....	41
8.3.1 Dimensionerande brand, uppdukad lokal .....	42
8.3.2 Dimensionerande brand, övernattning.....	43
8.3.3 Ventilation .....	43
8.3.4 Resultat.....	43
8.3.5 Jämförelse resultat och utrymningstid.....	47
8.3.6 Osäkerheter.....	47
8.3.7 Åtgärdsförslag .....	50
8.4 GARDEROBSVERKSAMHET I KARATEHALLEN (30) .....	51
8.4.1 Dimensionerande Brand .....	51
8.4.2 Ventilation .....	51
8.4.3 Resultat.....	51
8.4.4 Jämförelse resultat och utrymningstid.....	55
8.4.5 Osäkerheter.....	55
8.4.6 Åtgärdsförslag .....	57
<b>9. ÅTGÄRDER .....</b>	<b>59</b>
9.1 ÖVRIGA ÅTGÄRDER .....	59
9.2 SAMMANSTÄLLNING ÅTGÄRDER .....	61
<b>10. DISKUSSION .....</b>	<b>63</b>
<b>REFERENSER .....</b>	<b>65</b>
<b>BILAGOR.....</b>	<b>67</b>
BILAGA 1 – DRIFTKORT .....	67
BILAGA 2 – SCHEMA ÖVER BRANDSKYDDSORGANISATIONEN FÖR MOTALA SPORHALL .....	68
BILAGA 3 – FÖRENKLAD PLANSKISS .....	69
BILAGA 4 – BESKRIVNING AV ALLA BRANDSCENARIER.....	70
BILAGA 5 – BERÄKNING AV DETEKTIONSTIDER I DETACT-T2 OCH FDS .....	77
BILAGA 6 – SCENARIOBESKRIVNING OCH INGÅNGSPARAMETRAR I SIMULEX.....	80
BILAGA 7 – METODIK FÖR FRAMTAGANDET AV EFFEKTUTVECKLINGSKURVOR .....	83
BILAGA 8 – INGÅNGSPARAMETRAR FDS SIMULERING AV A-HALLEN .....	85
BILAGA 9 – BRAND PÅ SCEN I A-HALLEN.....	87
BILAGA 10 – BRAND I B-HALLEN VID ÖVERNATTNING .....	94
BILAGA 11 – BRAND I KARATEHALLEN VID ÖVERNATTNING ELLER UPPDUKAD LOKAL .....	99
BILAGA 12 – BRAND VID GARDEROBSVERKSAMHET I KARATEHALLEN .....	104
BILAGA 13 – KARATEHALLEN, ÖVERNATTNING .....	108
BILAGA 14 – HANDBERÄKNINGAR KRITISKA FÖRHÅLLANDEN.....	109
BILAGA 15 – INGÅNGSPARAMETRAR CFAST SIMULERING AV B-HALLEN .....	113
BILAGA 16 – INGÅNGSPARAMETRAR FDS SIMULERING AV KARATEHALLEN.....	115
BILAGA 17 – TEORI SIMULERINGSPROGRAM.....	121
BILAGA 18 – ÅTGÄRD BRANDGASVENTILATION I A-HALLEN .....	125
BILAGA 19 – FDS KOD FÖR SIMULERINGAR AV KARATEHALLEN OCH A-HALLEN .....	127
BILAGA 20 – PLANRITNINGAR ÖVER BRANDCELLSGRÄNSERNA .....	132

## 1. Inledning

Nedan presenteras rapportens bakgrund, syfte och mål, vilka avgränsningar och begränsningar som gjorts samt vilka metoder som använts vid framtagandet av rapporten.

### 1.1 Bakgrund

Denna rapport utgör huvuddelen av kursen Brandteknisk Riskvärdering (VBR054) på brandingenjörsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola. Gruppen tilldelas ett objekt där arbetet består i att identifiera och värdera de brandrisker som föreligger, samt att ge eventuella förslag på åtgärder efter att en analytisk riskvärdering är genomförd. Objektet som ligger till grund för denna rapport är Motala sporthall i Östergötland.

### 1.2 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att träna den blivande brandingenjören i praktisk problemlösning där alla teoretiska kunskaper från tidigare kurser tillämpas. Syftet med projektuppgiften är även att uppnå och befästa de mål som ställs i kursplanen för utbildningen genom en realistisk arbetsgång på ett verkligt objekt.

Målet med arbetet är att analysera det nuvarande brandskyddet och utvärdera utrymningsmöjligheter vid olika verksamheter. Vid behov skall förslag på lösningar ges som gör att individer som befinner sig i anläggningen skall kunna sätta sig i säkerhet innan kritiska förhållanden uppstår vid en brand.

### 1.3 Avgränsningar och begränsningar

Arbetet i denna rapport har avgränsats till att enbart behandla brandsäkerhet ur utrymningssynpunkt, det vill säga personsäkerhet. Således tas ingen hänsyn till fastighetsskador, miljöskador eller ekonomiska skador i samband med brand. Det innebär att endast det tidiga skedet av branden undersöks eftersom det är under det skedet som utrymning sker. Byggnadens konstruktion antas vara intakt under hela det tidiga skedet i branden. Vidare begränsar sig den analytiska riskvärderingen till de värsta troliga brandscenerierna i grovanalysen med avseende på dess inverkan på utrymningsmöjligheten under godtagbara förhållanden. Personer som utrymmer via en brandcell som påverkas av brand antas inte omvärdera sin utrymningsväg.

Kostnad för olika åtgärder tas bara hänsyn till i begränsad omfattning och bedöms endast kvalitativt. Resultatet som presenteras i rapporten baseras på tidigare försök, handberäkningar samt simuleringar.

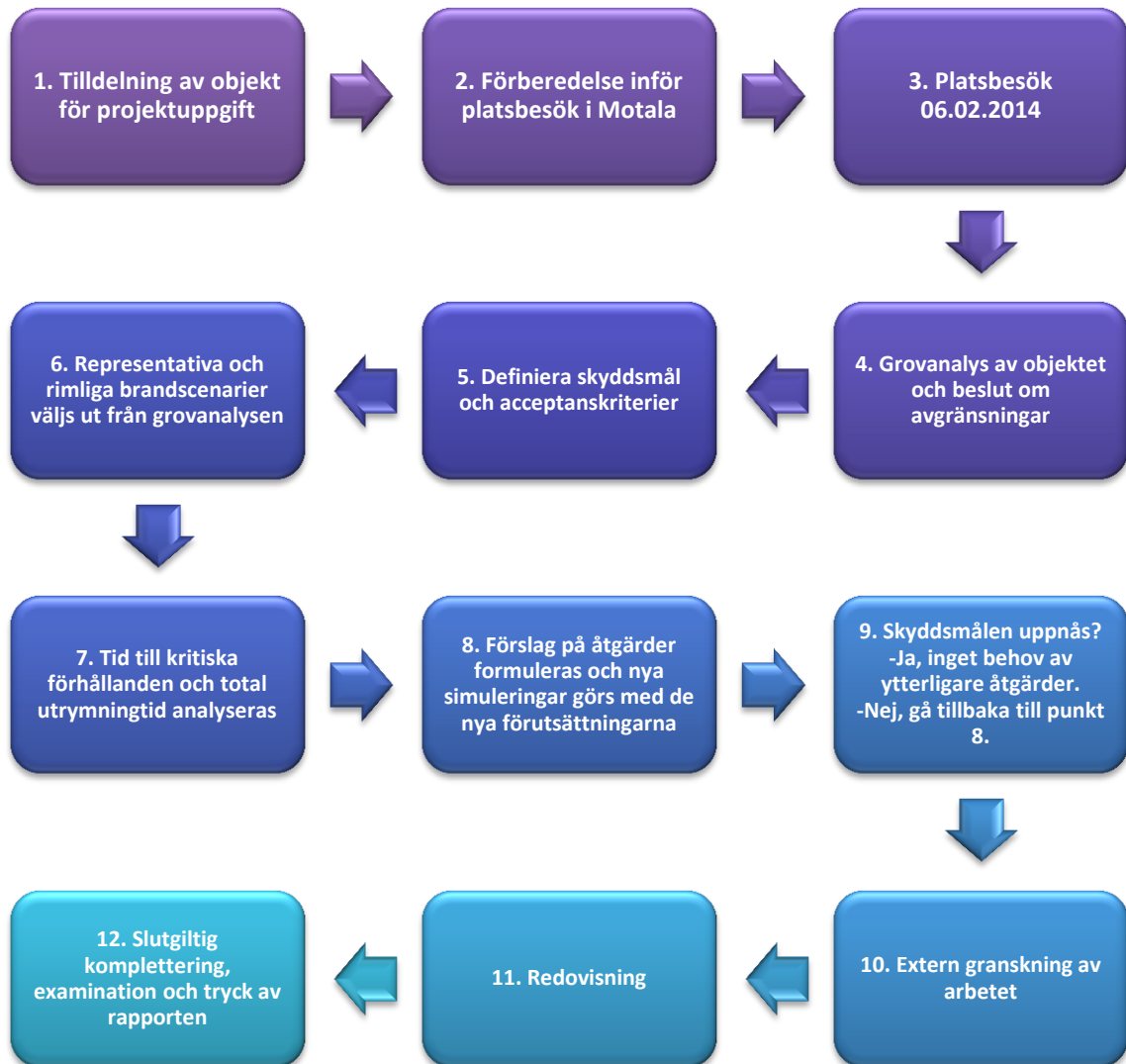
Endast en övergripande kontroll av ventilationen i byggnaden genomförs i rapporten. Kommentarer och slutsatser som åsyftar byggnadens ventilation ska beaktas med insikten att en begränsad tillgång på ventilationsritningar och knappa detaljkunskaper inom området ligger till grund för dessa. Nodkonvergens har på grund av brist på datorkapacitet ej kunnat genomföras.

### 1.4 Metod

Projektet påbörjades med förberedelser inför ett platsbesök i Motala genom att tilldelat material och ritningar av objektet granskades. Under platsbesöket undersöktes objektet noggrant för att skapa en uppfattning om brandskyddet och utrymningssäkerheten. Under besöket mättes och kontrollerades dörrbredder och takhöjder samt att potentiella problem identifierades med avseende på utrymning ur byggnaden.

Efter platsbesöket påbörjades en grovanalys av troliga brandscenarioer med avseende på sannolikhet och konsekvens. En schematisk riskmatris utarbetades och utifrån den kunde ett antal brandscenarioer, underbyggda med kvalitativa resonemang, väljas ut för vidare riskvärdering. CFAST, FDS, DETACT-T2 och Simulex har använts för att simulera olika brandförlopp, detektionstider och utrymningsscenarioer. Teori och osäkerheter för respektive datorprogram redovisas i bilaga 17.

Utrymningstiden jämförs sedan med tiden till kritiska förhållanden och vid behov föreslås olika brand- eller utrymningstekniska lösningar för att möta uppställda krav. Eventuella förslag på förbättringar presenteras sedan i kategorierna *ska* och *bör* där det förstnämnda är åtgärder som säkerställer att skyddsmålen uppnås och den sistnämnda är åtgärder som endast förbättrar utrymningssituationen. I slutet av rapporten diskuteras arbetsgången och åtgärdsförslagen. Arbetsgången som har tillämpats i riskvärderingen kan ses i Figur 1.



Figur 1 - Rapportens arbetsgång, Motala sporthall.

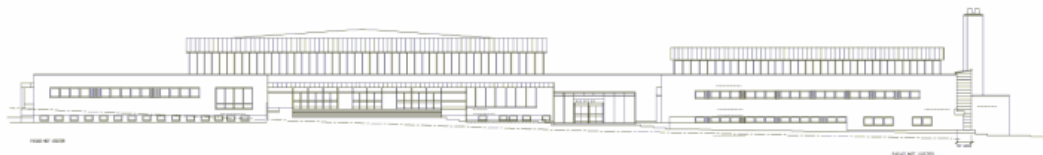
Illustration: Gustav Ticander



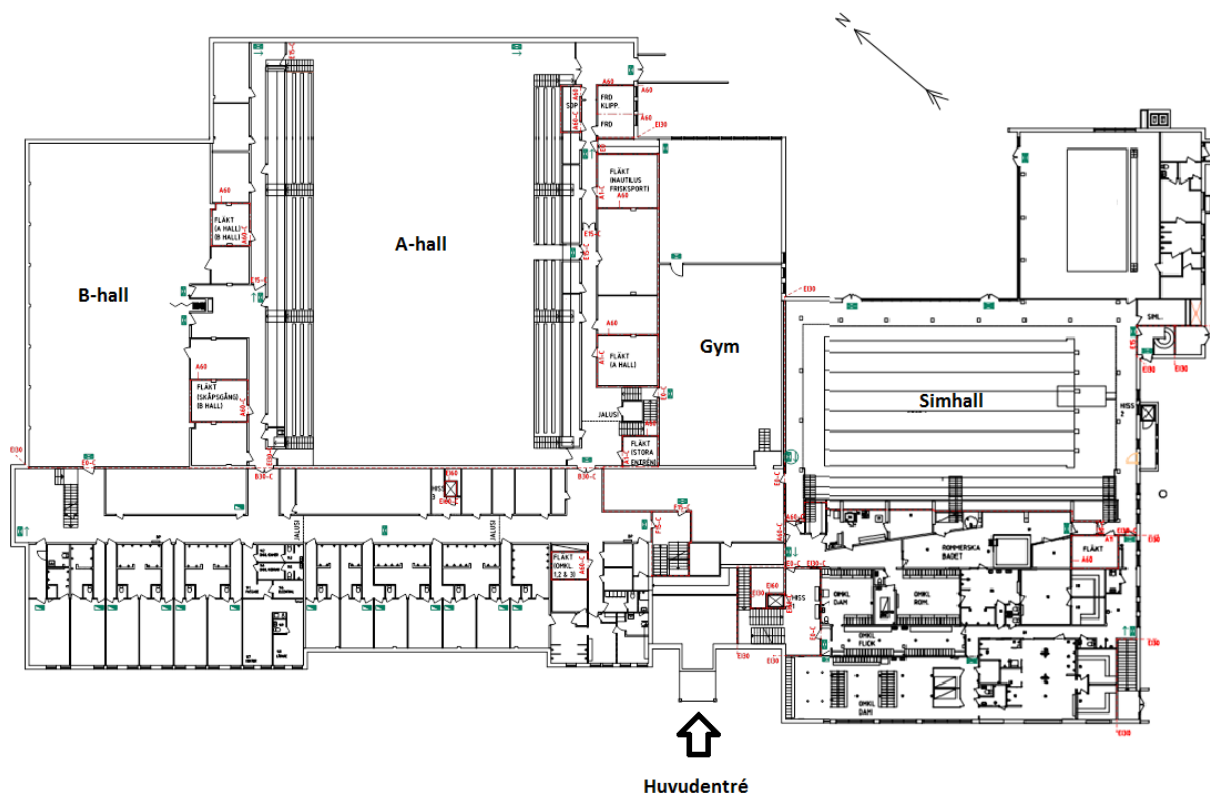
## 2. Objektbeskrivning

Motala sporthall är belägen centralt i Motala stad och ägs och förvaltas av Motala kommun. Byggnaden togs i bruk tidigt sjuttioital och är i dagsläget en multifunktionsbyggnad som innehåller många olika typer av lokaler som brukas för olika syften och förvaltas av flera föreningar och företag. Motala sporthall används även vid arrangemang av olika typer av evenemang, turneringar och tävlingar.

Byggnaden är uppdelad i två rektangulära delar med olika typer av lokaler och verksamhet, se Figur 3. Sporthallsdelen, den till yta största del, är nordligt belägen och innefattar de två större idrottshallarna A- och B-hallen men även en karatehall, bordtennishall, boxningshall och diverse mindre lokaler samt omklädningsrum. Sporthallsdelen är uppdelad i två plan. Simhallsdelen är mindre till ytan och består av en större simhall, en mindre simhall, relaxavdelning, en bowlinghall och diverse mindre lokaler samt omklädningsrum. Simhallsdelen är uppdelad i två plan och en källare där reningsanläggning och bowlinghall är belägen. Sedan byggnaden uppfördes på sjuttioalet har ändringar av den ursprungliga planlösningen gjorts och likaså har nya verksamheter tillkommit i byggnaden. Se bilaga 3 för en mer detaljerad bild av planlösningen.



Figur 2 - Motala sporthall i profil.



Figur 3 – Ritning av Motala sporthall

## 2.1 Verksamhet

De olika sporthallarna används av flera idrottsföreningar och andra sportevenemang. Simhallen drivs och förvaltas av kommunen och även denna används av föreningar. Två olika gymverksamheter, Actic och Frisksport, har egna lokaler för styrketräning och hallar för gruppträning. I simhallsdelen finns även en mindre bassäng och en mindre relax-avdelning.

I Motala sporthall arrangeras flertalet större evenemang vilket ändrar förutsättningarna för den befintliga verksamheten och på vilket sätt lokalerna utnyttjas. Vid den årliga cykeltävlingen Vätternrundan används de stora sporthallarna, A-hallen och B-hallen, samt även några av de mindre lokalerna för övernattnig. Deltagare på Vätternrundan har då möjlighet att ta med egen sovsäck eller dylikt för övernattnig och har även tillgång till sporthallens omklädningsrum. Övernattnig förekommer även vid andra evenemang och i samband med turneringar.

Vid enstaka tillfällen har sporthallsdelen använts till större middagar och konferenser. A-hallen, karatehallen och en teorilokal kan då användas som uppdukade lokaler. I samband med denna typ av verksamhet används bland annat B-hallen som buffélokaler och garderob kan förekomma i karatehallen. Förtäring av alkohol vid dessa typer av evenemang har förekommit.

Årligen arrangeras konserter och nattklubbsevenemang där A-hallen används som dansgolv med scen. Majoriteten av dessa evenemang anordnas av skolor och ungdomsföreningar vilket betyder att besökarna är minderåriga och alkoholserving inte förekommer. Ett av dessa evenemang är Rocka Fett som anordnas vid valborg. Olika aktiviteter anordnas då i sporthallen med avslutande talangjakt och disco i A-hallen. Vid denna typ av evenemang används ibland B-hallen som lounge eller VIP-avdelning och karatehallen som garderob.

## 2.2 Lokalbeskrivning

Nedan beskrivs sporthallens olika lokaler och i tabell 1 visas maximalt antal personer dimensionerat efter respektive verksamhet.

Tabell 1 – Maximalt antal personer som får vistas i lokalerna vid respektive verksamhet<sup>1</sup>.

Lokal	Normal verksamhet [personer]	Övernattnig [personer]	Uppdukad lokal [personer]
A-hall	2000	230	930
B-hall	150	140	
Bordtennis	150	100	
Boxningshall	150	25	
Karatehall	150	30	120
Teorilokal	120	Ej tillåten	75
Simningslokal	150		
Bowlinghall	150		
<b>Totalt:</b>	<b>3020</b>	<b>525</b>	<b>1125</b>

### 2.2.1 A Hall och B Hall

A-hallen och B-hallen ligger i anslutning till varandra och tar upp två plan. Omklädningsrum och förvaringsutrymmen finns i anslutning till de båda hallarna i korridorerna och passagerna. A-hallen har måtten 42 x 42 meter och B-hallen 16 x 32 meter. Fasadmaterialet i A-hallen är en träpanel med bakomliggande betongstomme, på vissa delar har akustikplattor installerats. I B-hallen är ena långsidan av trämaterial och övriga väggar av betong. Taket i båda hallarna är av betong beklätt med en träpanel. A-hallen har 708 sittplatser och en total publikkapacitet på 2000 personer. För de personer som inte har sittplats finns det ståplatser som är belägna bakom sittplatserna längs med långsidorna.

<sup>1</sup> Kenneth Andersson, Motala Kommun, platsbesök 2014-02-06



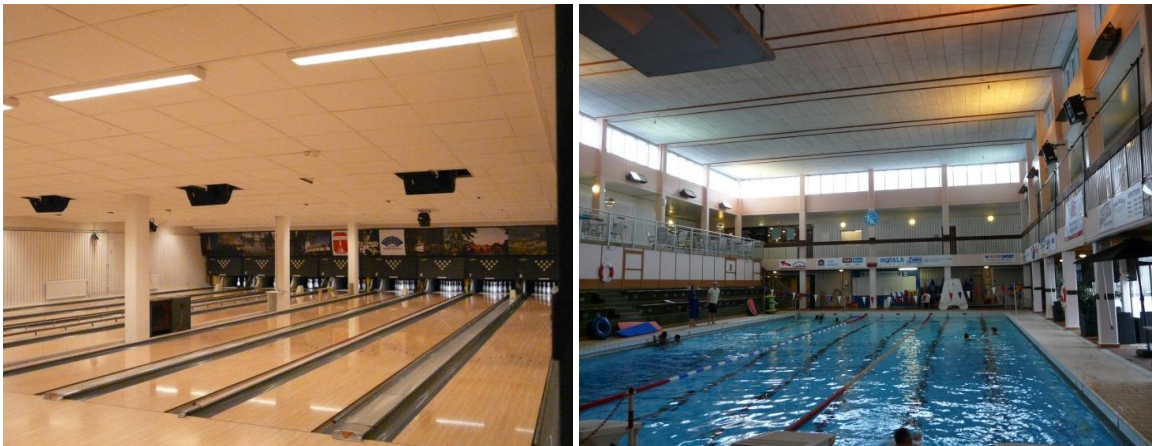
**Bild 1 – Till vänster ses B-hallen och till höger A-hallen.**  
Foto: Oliver Walsh och Jonathan Rosenqvist, LTH

### 2.2.2 Bowling

En bowlinghall med åtta banor utgör en egen verksamhet i byggnaden. Hallen är belägen under mark och har en egen ingång från byggnadens kortsida. Lokalen används till träning och tävlingar. De intilliggande utrymmena utgörs i huvudsak av maskinutrymmen, men även omklädningsrum och en mindre serveringslokal.

### 2.2.3 Sporthall

Simhallen är öppen för allmänheten och används för motionssim, vattenlek, tävlingar, simskola, vattengympa med mera. Simhallen utgörs av en stor bassäng med tillhörande hopptorn och läktare. I anslutning till simhallen finns det även en mindre bassäng avsedd för barn samt en separat relaxavdelning. Omklädningsrum för herrar och damer finns utrustade med dusch, bastu och solarium. I källaren under simhallen finns tekniska utrymmen för klorhantering, reningsanläggning med mera.



**Bild 2– Till vänster ses bowlinghallen och till höger simhallen.**  
Foto: Oliver Walsh och Jonathan Rosenqvist, LTH

### 2.2.4 Actie och frisksport

Två separata gym har sin verksamhet i sporthallen. Actie har styrketräning, motionsmaskiner, spinning och lokaler för gruppträning. Lokalerna finns på sporthallens båda plan med ingång via huvudentrén. Frisksport har en separat lokal för styrketräning på plan 2 i sporthallen. Denna lokal har en egen ingång.





**Bild 3– Till vänster ses foajén och till höger Actic.**

Foto: Oliver Walsh och Jonathan Rosenqvist, LTH

### **2.2.5 Karatehall, boxningshall, bordtennishall och foajé**

Det finns två mindre lokaler som används för kampsportsutövning i Motala sporthall, en karatehall och en boxningshall. Det finns även en lokal som används för bordtennisträning och tävlingar. Dessa lokaler nyttjas även vid andra typer av verksamheter än normal verksamhet, se kapitel 2. Ovanstående lokaler ligger alla i anslutning till foajén, se Bild 3. Tillbyggnad av innerväggar har skett för att skapa fler rum av den tidigare foajén. Karatehallen är en av dessa lokaler som byggts till. I övrigt har ett fläktrum och ett kontor tillkommit vid nybyggnation i foajén.



**Bild 4– Till vänster ses bordtennishallen och till höger boxningshallen.**

Foto: Oliver Walsh och Jonathan Rosenqvist, LTH

## **2.3 Personal**

De olika lokalerna och verksamheterna har sin egen personal som ansvarar för utrymmet där verksamheten äger rum. Vid huvudentrén finns en bemannad reception och även kontor för de anställda som ansvarar för den allmänna förvaltningen av byggnaden. Vaktmästaren är den officiella anläggningsskötaren och ansvarar för kontroll av brandskyddet i både sporthalls- och simhallsdelen.

Vid speciella evenemang kommer externa funktionärer och personal att finnas på plats och delvis ansvara för säkerheten i sporthallen. Enligt uppgift brukar det inte anlitas matchvärdar, som är publikansvariga, vid turneringar eller tävlingar<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Kenneth Andersson, Motala Kommun, mailkontakt 2014-03-05

## **2.4 Ventilation**

Motala sporthall har ventilation av typen mekanisk från- och tilluftsventilation med värmeåtervinning, ett så kallat FTX-system. Med denna typ av system tar man tillvara på värme från frånluften för att värma upp tilluften. Byggnadens olika delar och hallar har separata ventilationssystem med egna fläktrum. Ventilationssystemen som försörjer simhallen med till- och frånluft ser något annorlunda ut än övriga system i Motala sporthall. Simhallen ställer högre krav på ventilationen för att upprätthålla ett bekvämt inomhusklimat och detta kommer inte att behandlas ytterligare.



### 3. Befintligt brandskydd

I detta kapitel beskrivs det befintliga brandskyddet i byggnaden. Informationen är inhämtad från platsbesöket samt från ”Nulägesbeskrivning – brand” (AB Byggritningar, 2010).

#### 3.1 Brand och utrymningslarm

Ett heltäckande automatiskt brand- och utrymningslarm enligt SBF 110, Regler för brandlarmanläggning, finns installerat i byggnaden och centralapparaten är placerad vid entrén till sporthallen. Larmet är direktkopplat till SOS Alarm. Vid larm ljuder en siren som påkallar personernas uppmärksamhet i lokalerna. Det finns även instruktioner om att personalen ska använda högtalarutrustningen till ett manuellt talat meddelande i samband med utrymning, meddelandet kommer dock bara att höras i simhallen och A-hallen. Rutiner finns för funktionskontroll varje månad av larmöverföring till räddningstjänsten samt SOS Alarm. Det finns dessutom anläggarintyg samt avtal för service och underhåll.

#### 3.2 Brandskydd ventilation

Motala sporthall har flertalet separata fläktrum som försörjer enskilda hallar och lokaler. Foajén och ett fåtal andra utrymmen har gemensamma ventilationssystem som förbinder de olika lokalerna. Detta gör att brandspridning mellan lokalerna i största mån förhindras. Samtliga fläktrum utgör en egen brandcell i klassningen A60. Detta gäller dock inte för fläktrummet i foajén som försörjer karatehallen, foajén, kontoret och boxningshallen. Fläktrummen är utrustade med både rök- och värmedetektor.



**Bild 5 – Dold detektor finns installerade i ventilationen.**

Foto: Oliver Walsh, LTH

Ventilationssystemen är utrustade med rökdetektorer i till- och frånluftskanalen. Vid detekterad brand kommer tillhörande ventilationsaggregat att automatiskt stängas av och larm digitalt rapporteras. Efter larm måste aggregaten startas om manuellt för att åter sätta ventilationen i bruk. För en del av lokalerna leder även detektion till att avstängningsspjäll stänger och förhindrar att brandgaser sprids via ventilationen. Det ska noteras att dess spjäll inte är klassade brandgasspjäll och kommer alltså inte stå emot värme eller förhindra läckage av brandgaser under en längre tid.

Vid besöket observerades ett brandspjäll i anslutning till bowlinghallen men inga andra brandspjäll eller brandgasspjäll kunde observeras i byggnaden. Dokumentation av underhåll och regelbunden kontroll indikerar att ventilationen och tillhörande brandskydd är i gott skick. Brandskydd i form av mekanisk brandgasventilation eller brandgasluckor förekommer inte i byggnaden.

Vid bedömning av brandskyddet har inte en fullständig dokumentation varit tillgänglig. Den utvärdering av ventilationen som redovisas i rapporten är utförd med reservation för eventuella fel och förändringar som kan ha skett. Utvärderingen är baserad på driftkort från år 2012 samt äldre ritningar. Se bilaga 1 för driftkort till foajé och karatehallen.

### **3.3 Detektionssystem**

Detektering av brand sker med hjälp av rökdetektorer och värmedetektorer som finns i samtliga lokaler. Alternativt sker aktivering av larmet via larmknappar som finns utplacerade i byggnaden.

### **3.4 Släckutrustning**

Ett antal inomhusbrandposter och handbrandsläckare finns utplacerade i byggnaden. Handbrandsläckare som förekommer är av typen vatten, koldioxid, pulver och skum.

### **3.5 Systematiskt brandskyddsarbete**

Kontroll av brandskyddsåtgärder utförs av vaktmästarna i sport- och simhallen. Underhåll av fasta brandskyddsåtgärder sköts av kommunens fastighetsenhet. Kommunens tekniker på fastighetsservice svarar för service och underhåll av ventilationsanläggningarna. I samband med den obligatoriska ventilationskontrollen (OVK) provas även brandskyddsåtgärder i ventilationsaggregaten. Avtal är tecknat med företaget PJ:s tele vad gäller service och underhåll av brandlarmanläggningen. Provning av brand- och utrymningslarmet ska ske regelbundet enligt avtal med räddningstjänsten. Serviceavtal är tecknat med räddningstjänsten om årlig kontroll av brandredskapen. Schema för brandskyddsorganisationen kan ses i bilaga 2.

### **3.6 Vägledande markeringar och nödbelysning**

I byggnaden finns genomlysta skyltar med vägledning i standardiserat utförande. Skyltarna och nödbelysningen har nöddriftsfunktion för minst 60 min. Vissa av armaturerna är utrustade med självtestfunktion medan en del saknar en sådan funktion.

### **3.7 Räddningstjänsten**

Räddningstjänsten i Motala är en heltidsstation och Motala sporthall är beläget 2,7 km från stationen. Därför bedöms räddningstjänsten kunna vara på plats inom tio minuter vid larm.

### **3.8 Brandcellsindelning**

Alla brandcellsgränser är utförda i minst EI30. Tre hissar finns i byggnaden där två av dem är avskilda i EI60 medan hissen som finns i simhallen inte är avskild. Se bilaga 20 för planritningar med brandcellsgränserna utmarkerade.

I källarplanet finns det två större brandceller samt några mindre, exempelvis fläktrum. Plan 1 som ligger ett halvplan under mark är uppdelad på fem större brandceller, där A-hallen och B-hallen är en brandcell som ligger både i plan 1 och 2. Även i plan 1 finns det några mindre brandceller. Plan 2 är uppdelad på fyra större brandceller utöver A- och B-hall som ligger i både plan 1 och 2. Några mindre celler finns även i detta plan. I foajén finns ett nybyggt fläktrum som inte är en egen brandcell vilket kan göra att brandgasspridning kan ske via ventilationen. Övriga fläktrum är avskilda i A60.

### **3.9 Övrigt**

Brandspridning från lägre beläget tak till högre belägen fasad förhindras genom att den högre fasaden är utförd i EI30. Avstånd till annan byggnad är större än åtta meter vilket gör att brandspridning från sporthallen inte kommer att ske (Bengtsson, et al., 2012).



## 4. Statistik

All data som presenteras i följande kapitel är hämtat från MSB:s databas, IDA, där underlaget bygger på insatsstatistik från 1998-2012 (MSB, 2014). Data används tillsammans med kvalitativt förda resonemang för att komma fram till rimliga antaganden gällande både brandsak och plats där brandrisken anses vara förhöjd i Motala sporthall.

### 4.1 Brandorsak

Diagram 1 visar tydligt att den enskilt största orsaken till brand är en anlagd brand, men även tekniska fel orsakar årligen en betydande andel bränder. I diagrammet har data från *barns lek med eld* ansetts gå under samma data som *anlagd brand*, även om barnet/barnen inte hade ett illasinnat uppsåt med leken. Kategorin *övrigt* innefattar alla andra orsaker som till exempel glömd spis, heta arbeten, hantverkare, rökning osv (MSB, 2014).

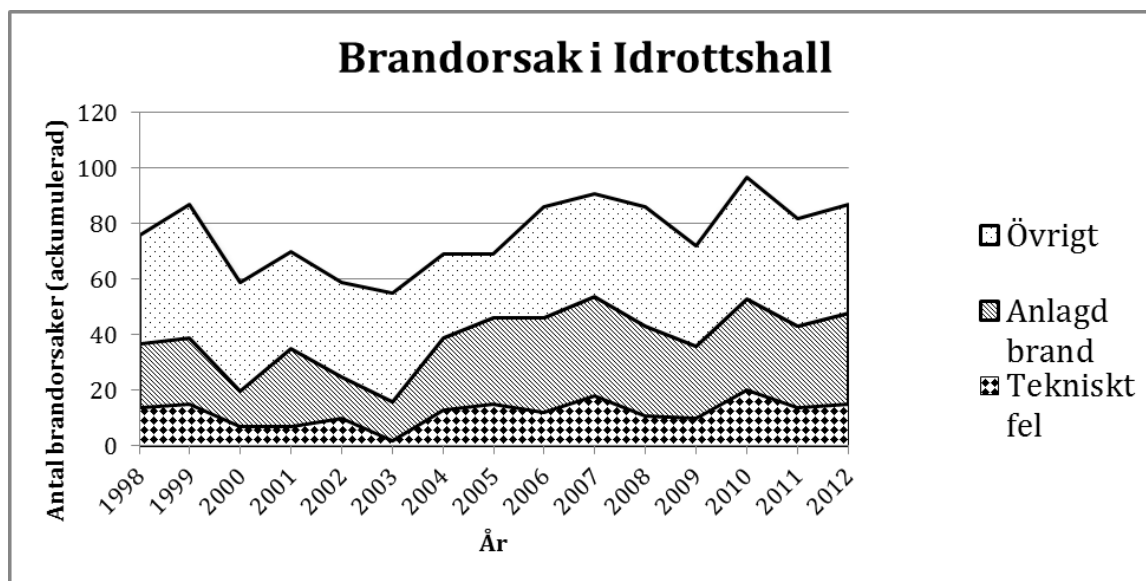


Diagram 1 - I diagrammet presenteras ackumulerad data för brandorsaker i idrottsanläggningar för åren 1998 – 2012 i Sverige (MSB, 2014).

### 4.2 Brandplats

Statistiken påvisar att den vanligaste brandplatsen i en idrottshall är bastu/toalett/badrum. En mindre del av bränderna startar även i kök, och en viss ökning av båda dessa kategorier kan utläsas i Diagram 2. Då den berörda anläggningen även används som danslokal undersöktes även hur stor del av bränderna i danslokalen som startar i klädkammaren, då indikationer fanns på att den kunde vara placerad precis vid en utrymningsväg. I diagram 3 kan det utläsas att klädkammaren inte är en av de vanligaste brandplatserna, dock förekommer det ändå ett mindre antal varje år (MSB, 2014).

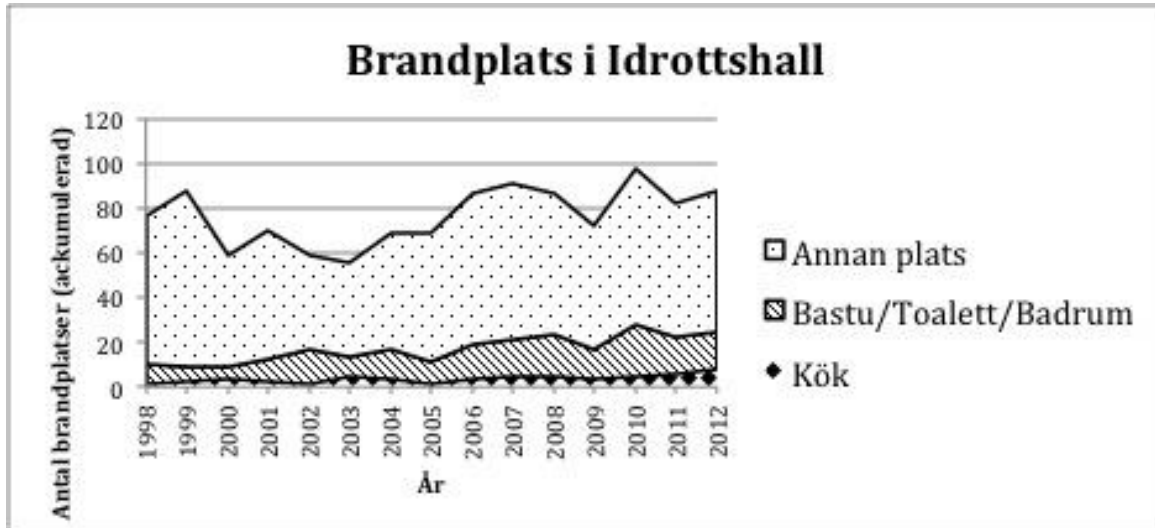


Diagram 2 - I diagrammet presenteras ackumulerad data för olika brandplatser i idrottsanläggningar för åren 1998 - 2012 i Sverige (MSB, 2014).

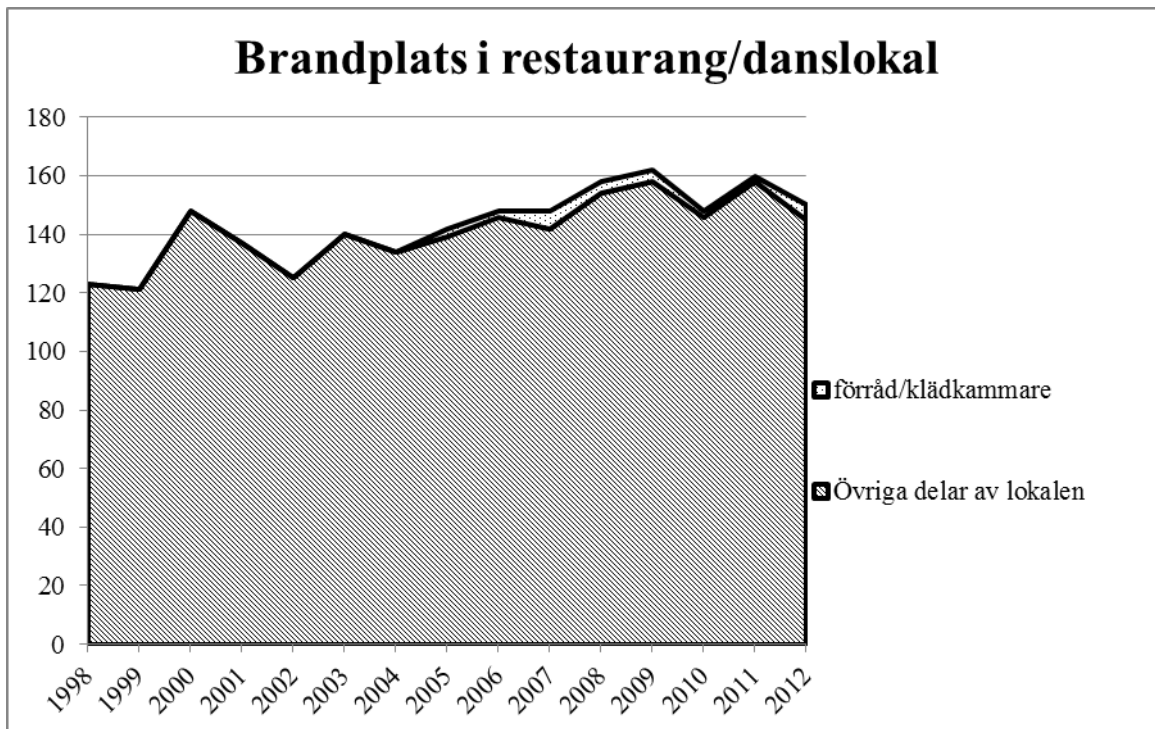


Diagram 3 - I diagrammet presenteras ackumulerad data för olika brandplatser i restauranger/danslokaler för åren 1998 - 2012 i Sverige (MSB, 2014).

## 5. Grovanalys av brandscenarier

I nedanstående kapitel presenteras möjliga brandscenarier vid olika typer av verksamheter. Varje tänkbart scenario bedöms kvalitativt ur sannolikhet- och konsekvenssynpunkt och tilldelas ett nominellt värde mellan ett och fem, där ett högre värde indikerar större sannolikhet eller konsekvens. Alla scenarier åskådliggörs sedan i en riskmatris för att lättare kunna bedöma vilka eventuella scenarier som bör utvärderas. Kapitel 4 har verkat som ett underlag vid resonemang och uppskattningen av varje scenarios sannolikhet i grovanalysen. För att se hur varje scenarios sannolikhet respektive konsekvens har bedömts, se bilaga 4.

Grovanalysen är gjord i syfte att identifiera de typer av bränder och scenarion som kan utgöra en risk för personsäkerheten i Motala sporthall.

Förklaring av förkortningar i Tabell 2:

NA	Normal användning
Ö	Övernattning
UL	Uppdukad lokal
KV	Konsert-/klubbverksamhet

**Tabell 2 – Sannolikhet och konsekvens för respektive scenario**

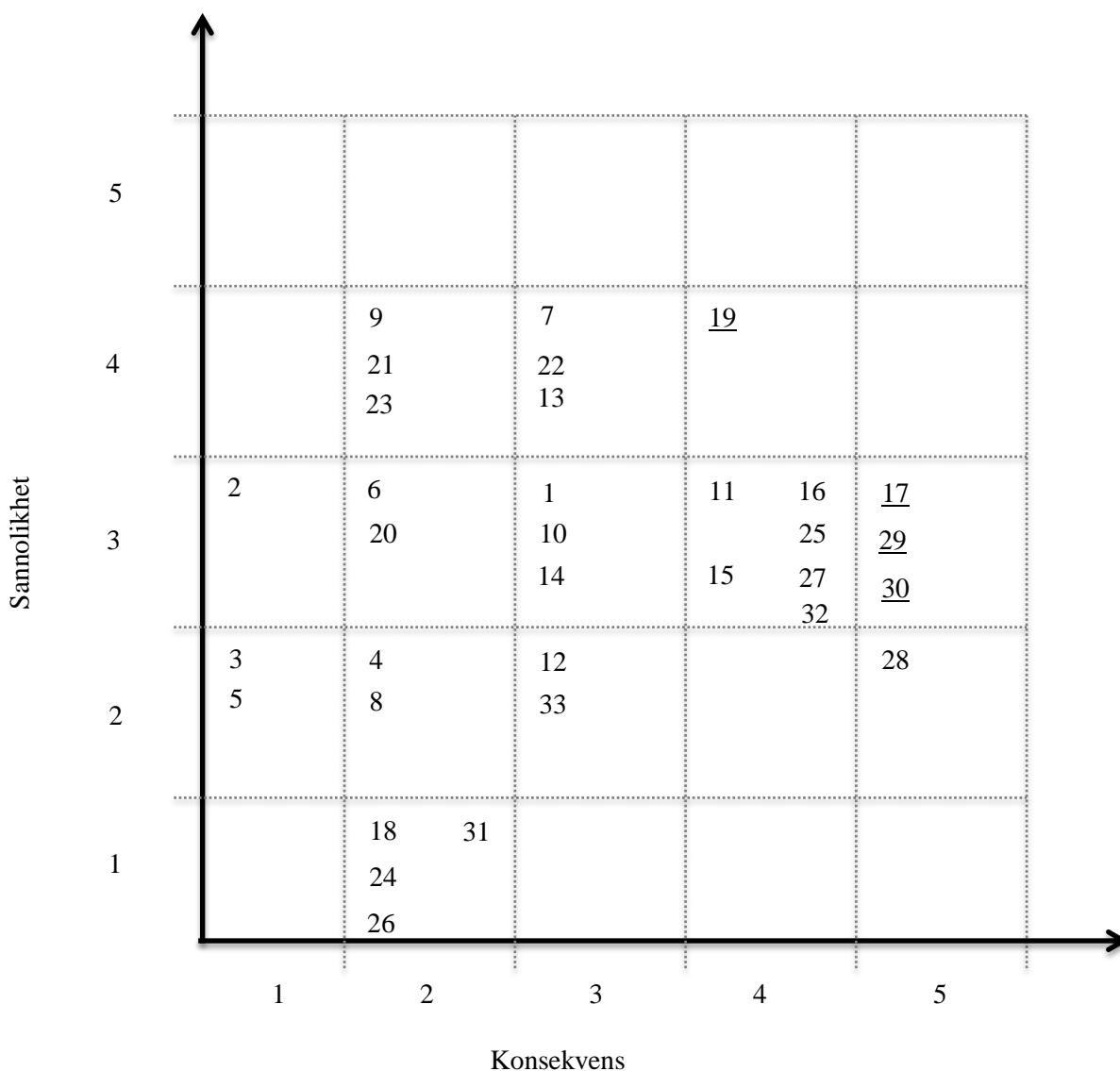
Nr	Lokal	Sannolikhet	Konsekvens
1	Bowlinghall (NA)	3	3
2	Bowlinghall (Ö, UL, KV)	3	1
3	Reningsanläggning (NA, Ö, UL, KV)	2	1
4	Simhall (NA)	2	2
5	Simhall (Ö, UL, KV)	2	1
6	Simhallens omklädningsrum (NA, Ö, UL, KV)	3	2
7	Relaxavdelningen (NA, Ö, UL, KV)	4	3
8	Gym Actic/Gym Frisksport (NA, Ö, UL, KV)	2	2
9	A-hallens korridorer (NA)	4	2
10	A-hallens korridorer (Ö)	3	3
11	A-hallens korridorer (UL, KV)	3	4
12	A-hallen (NA)	2	3
13	A-hallen (Ö)	4	3
14	A-hallen-brand i bordsduk (UL)	3	3
15	A-hallen-brand i draperi (UL, KV)	3	4
16	A-hallen-brand på scen (UL)	3	4
17	A-hallen-brand på scen (KV)	3	5
18	B-hallen (NA)	1	2
19	B-hallen (Ö)	4	4
20	B-hallen (UL, KV)	3	2
21	Omklädningsrum sporthall/skåpsgång (NA)	4	2
22	Omklädningsrum sporthall/skåpsgång (Ö)	4	3
23	Omklädningsrum sporthall/skåpsgång (UL, KV)	4	2
24	Bordtennis (NA, UL, KV)	1	2
25	Bordtennis (Ö)	3	4
26	Boxning (NA, KV)	1	2
27	Boxning (Ö)	3	4
28	Karate (NA)	2	5
29	Karate (Ö, UL)	3	5
30	Garderobsverksamhet i karatehallen (UL, KV)	3	5
31	Vaktmästeri (NA, Ö)	1	2
32	Café (NA, Ö, UL, KV)	3	4
33	Kontor i foajé (NA, Ö)	2	3

## 5.1 Riskmatris

Det är viktigt att poängtera att brandscenariernas siffror för sannolikhet och konsekvens i grovanalysen är numrerade i en ordinalskala, det vill säga att ett högre värde endast indikerar på större sannolikhet eller konsekvens, men inte hur mycket större ett högre värde indikerar.

För att kunna gallra i grovanalysen samt presentera scenarierna på ett överskådligt sätt, har värdena för sannolikhet och konsekvens, från respektive scenario, presenterats i en riskmatris. De scenarier som hamnar långt upp i högra hörnet visar på en högre risk och kommer att utvärderas grundligt.

De scenarier som analyseras vidare är understrukna i nedanstående riskmatris, se bilaga 4 för en mer överskådlig bild på varje brandscenarios sannolikhet respektive konsekvens.



Figur 4 - Riskmatris med plottade värden för sannolikhet och konsekvens samt att de scenarier som har valts att analyseras vidare är understrukna.

## 5.2 Utvalda scenarier

Scenarier som valts ut för ytterligare analys är:

*A-hallen brand på scen (17)*

*B-hallen vid övernattnig (19)*

*Karatehallen vid övernattnig eller uppdukad lokal (29)*

*Garderobsverksamhet i karatehallen (30)*

### **A-hallen brand på scen (17)**

Detta scenario anses vara det värsta troliga av de scenarion som finns representerade för A-hallen, därför har det valts ut. Anledningen är att på en scen kan stor brandbelastning förekomma samt att det förväntas kunna befinna sig mycket folk i lokalen. Mycket folk i lokalen samt att scenen troligen blockerar utrymningsvägar gör att utrymningen förväntas ta längre tid.

### **B-hallen vid övernattnig (19)**

Anledningen till att scenariot har valts ut är för att undersöka om utrymning kan ske säkert om det börjar brinna vid den primära utrymningsvägen, som leder in i A-hallen, och endast den sekundära utrymningsvägen återstår. Utrymningen kommer dessutom bli fördröjd på grund av att folk sover i lokalen vilket påverkar utrymningstiden negativt.

### **Karatehallen vid övernattnig eller uppdukad lokal (29)**

Karatehallen angränsar till den utrymningsväg som merparten av folk kommer att utrymma till, det vill säga foajén. Anledningen till att de flesta kommer att utrymma det hållet är på grund av att det är den naturliga vägen in till merparten av lokalerna i byggnaden. Spridningen vid en brand kommer att vara snabb och kunna påverka många människor.

### **Garderobsverksamhet i karatehallen (30)**

Samma resonemang som förts i ovanstående scenario med avseende på utrymning kan även appliceras på detta scenario. Brandbelastningen är dock högre vilket kan leda till kraftigare rökutveckling och därmed påverkas foajén som utrymningsväg i ännu större utsträckning.

### **Ej valda scenarier**

Övriga scenarier som också hade relativt hög sannolikhet och konsekvens men som inte valdes ut för ytterligare analys diskuteras nedan.

Caféet, boxningshallen samt bordtennishallen ligger precis som karatehallen i anslutning till foajén, vilket gör att scenario *Karatehallen vid övernattnig, uppdukad lokal och konsert-/klubbverksamhet*, är representativt med avseende på placering. Men det är endast karatehallen som saknar innertak, vilket gör att rökspridning till foajén, vid brand i karatehallen, kommer att ske fortare än för de andra scenarierna. Sammantaget gör det att karatehallen kan anses vara det värsta troliga scenariot av dessa.

Vid en eventuell brand i någon av lokalerna som inbegriper scenario 11 (*A-hallens korridor vid uppdukad lokal eller konsert/klubbverksamhet*) eller 22 (*Omklädningsrum sporthall/skåpsgång vid övernattnig*), kommer detta påverka utrymningen från A-hallen i det första våningsplanet och det kommer även påverka personer som befinner sig i lokalen där branden startar. I alla lokaler förutom A-hallen är persontätheten relativt låg och det är därför troligt att de personerna hinner utrymma utan några större problem. För personer i A-hallen finns det både den primära utrymningsvägen och många sekundära utrymningsvägar att välja om scenario 11 (*A-hallens korridorer vid uppdukad lokal eller konsert/klubbverksamhet*) eller 22 (*Omklädningsrum sporthall/skåpsgång vid övernattnig*) skulle inträffa. Därför anses detta scenario inte lika intressant att gå vidare med jämfört med scenario 29 och 30 (*karatehallen vid uppdukad lokal och konsert/klubbverksamhet*) som bedöms påverka den primära utrymningsvägen från A-hallen i större utsträckning.

Det finns ytterligare ett scenario som har relativt hög sannolikhet och konsekvens i riskmatrisen, det är relaxavdelningen. Sannolikheten har fått ett högt värde på grund av de tända ljusen och bastun som finns i lokalen. Konsekvensen är relativt hög på grund av de korsande utrymningsvägarna som

beskrivits tidigare i grovanalysen. Anledningen till att detta scenario inte har valts för vidare analys är på grund av den låga persontätheten och fördelaktiga brandcellsindelning, vilket begränsar spridning av brandgaser i byggnaden. Dessutom innehåller lokalen endast en mindre mängd brännbara material, samt att väggmaterialet består till största delen av klinker.

## 6. Skyddsmål och acceptanskriterier

Nedan följer definition av skyddsmål och acceptanskriterier.

### 6.1 Skyddsmål

Följande skyddsmål är uppsatt för att ligga till grund för den brandtekniska riskvärderingen utförd på Motala sporthall:

Vid händelse av brand ska samtliga personer som befinner sig i Motala sporthall utrymmas under säkra förhållanden. Säkra förhållanden definieras som en miljö där personer i byggnaden inte utsätts för oacceptabla påfrestningar.

Detta mål är baserat på det lagkrav som finns stadgat i boverkets byggregler enligt paragraf 5:31:

*”Byggnader ska utformas så att det ges möjlighet till tillfredsställande utrymning vid brand. Med tillfredsställande utrymning avses att personer som utrymmer, med tillräcklig säkerhet, inte utsätts för nedfallande byggnadsdelar, hög temperatur, hög värmestrålning, giftiga brandgaser eller dålig sikt som hindrar utrymning till en säker plats. (BFS 2011:26).” (Boverket, 2011)*

Utifrån denna paragraf har ett antal kriterier definierats i boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd (BBRAD 3) för vad som kan anses som en acceptabel miljö att utrymma i. Dessa kriterier används för att bedöma när utrymning kan ske säkert i Motala sporthall. Kriterierna kommer härnäst hänvisas till som acceptanskriterier och beskrivs i kapitel 6.2 nedan.

Denna brandtekniska rapport är utförd i syfte att utvärdera Motala sporthall i avseende på utrymning. Hur väl byggnaden kan stå emot brand eller andra byggnadstekniska konsekvenser av en brand behandlas inte vidare och ligger inte till grund för en analys.

### 6.2 Acceptanskriterier

I Tabell 3 redovisas acceptanskriterier för säker utrymning enligt BBRAD 3 (Boverket, 2011), vilket är praxis i svensk bygglagstiftning. För att utrymning ska anses vara möjlig ställs krav på att kriterium 1 eller 2 kombinerat med 3-5 ej får överskridas. Dock är till exempel toxiciteten svår att kvantifiera, men då det finns en korrelation mellan sikten och toxiciteten (Nystedt, 2011) där acceptanskriteriet för sikten anses vara mer konservativt väljs således att inte kontrollera toxiciteten.

För värmestrålning väljs att den maximala värmestrålningen ej får överskrida  $2,5 \text{ kW/m}^2$  vid någon plats eller tidpunkt i utrymningsvägen. Den strålning som kommer ge störst påverkan i brandens tidiga skede är direkt från branden och därav tas ingen hänsyn till strålning från brandgaslager.

Tabell 3 – Acceptanskriterier vid utrymning (Boverket, 2011)

Kriterium	Nivå
1. Brandgaslagrets nivå ovan golv	Lägst 1,6 m + (rumshöjden (m) x 0,1)
2. Siktbarhet, 2,0 m ovan golv	10,0 m i utrymmen > 100 m <sup>2</sup>
	5,0 m i utrymmen ≤ 100 m <sup>2</sup> . Kriteriet kan även tillämpas för situationer där köbildning inträffar i ett tidigt skede vid den plats kön uppstår.
3. Värmestrålning/Värmedos	Max 2,5 kW/m <sup>2</sup> eller en kortvarig strålning på max 10 kW/m <sup>2</sup> i kombination med max 60 kJ/ m <sup>2</sup> utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m <sup>2</sup> .
4. Temperatur	Max 80 °C
5. Toxicitet, 2,0 m ovan golv	Kolmonoxidkoncentrationen (CO) < 2000 ppm Koldioxidkoncentrationen (CO <sub>2</sub> ) < 5 % Syrgaskoncentrationen (O <sub>2</sub> ) > 15 %

Ovanstående kriterier kommer att jämföras med resultat från beräkningar och simuleringar för att definiera den tid personer har tillgänglig att utrymma Motala sporthall säkert. Om tillgänglig tid för utrymning underskrider den tid som krävs för utrymning anses skyddsmålet ej vara uppfyllt. Förslag på åtgärder och förbättringar undersöks då för detta fall.



## 7. Utrymning

Nedan beskrivs hur utrymningsförloppet allmänt går till och vilka specifika utrymningsmöjligheter det finns i Motala sporthall. Nedan följer även definition av varseblivningstid, förberedelsestid och förflyttningstid. Kapitlet avslutas med resultat från simuleringar i datorprogrammet Simulex av utrymning ur lokalerna samt osäkerheter.

### 7.1 Utrymningsförloppet

För att beskriva utrymningsförloppet i en byggnad så kommer en modell som består av tre faser att användas. Dessa faser är varseblivningstid, förberedelsestid och förflyttningstid. Adderas de tre tiderna fås den totala utrymningstiden,  $t_{utrymning}$ , som måste bli mindre än tiden till kritiska förhållanden,  $t_{kritisk}$ , som uppstår då acceptanskriterierna överskrids för respektive brandscenario.

$$t_{kritisk} > t_{utrymning} = t_{varseblivning} + t_{förberedelse} + t_{förflyttning}$$

Varseblivningstiden är tiden från att branden startar tills dess att personen i fråga blir varse om branden, t.ex. via ett utrymningslarm. Förberedelsestiden beskriver tiden det tar från att information om att en brand har mottagits till ett beslut om utrymning tas och utrymning påbörjas. Denna tid kan ibland benämnas besluts- och reaktionstid. Förflyttningstiden är den tid det tar att utrymma byggnaden rent fysiskt. Det vill säga den tid det tar för personerna att förflytta sig från platsen de befinner sig på till en säker plats. För att utrymningen ska anses säker måste tidsmarginalen som visas i ekvationen nedan vara positiv (Boverket, 2006).

$$Tidsmarginalen = t_{kritisk} - t_{utrymning}$$

Ett flertal personberoende faktorer påverkar tidsskalan på ingående data. Aspekter som skall tas hänsyn till är bland annat antalet personer i byggnaden, deras fysiska rörelseförmåga och begränsningar, sociala hinder och aspekter, fysisk och mental kapacitet, vakenhet och brandgaspåverkan. Andra påverkande faktorer kan vara personens roll i verksamheten, vilja och motivation att avbryta pågående aktivitet, riktad uppmärksamhet (till exempel mot scen, podium, föreläsare eller skärm) samt lokalkännedom (Frantzich, 2000).

Vidare finns ett flertal byggnadsberoende faktorer. Aspekter som är värda att tänka på för bästa utrymningsförutsättningar är orienterbarhet i byggnaden, vägledande skyltar och markeringar, vägledande belysning, nödbelysning, utrymningsvägarnas utformning, storlek och placering samt typ av larmsignal (Frantzich, 2000).

Begränsningen för antalet personer som får vistas i byggnadskomplexet kommer därmed att styras av den tid där alla individer kan utrymma byggnaden under tillfredställande förhållanden. Byggnads- och brandtekniska åtgärder kan vidtas för att förbättra utrymningsförhållandena och därmed öka det tillåtna personantal för byggnaden. Spridningen på varseblivningstiden är stor beroende på vilken typ av larmsignal som används (Holmstedt & Nilsson, 2008). Det som har visat sig ha störst positiv påverkan på förberedelsestiden är ett talat informativt meddelande (Frantzich, 2000).

### 7.2 Befintliga utrymningsmöjligheter

I dagsläget mynnar de huvudsakliga utrymningsvägarna för lokalerna, förutom bowlingen, ut i huvudentrén där kassan finns eller till foajén en halv trappa upp. Anledningen till att dessa anses vara de huvudsakliga utrymningsvägarna är då de är de naturliga vägarna in i byggnaden, eftersom de leder ut mot huvudentrén.

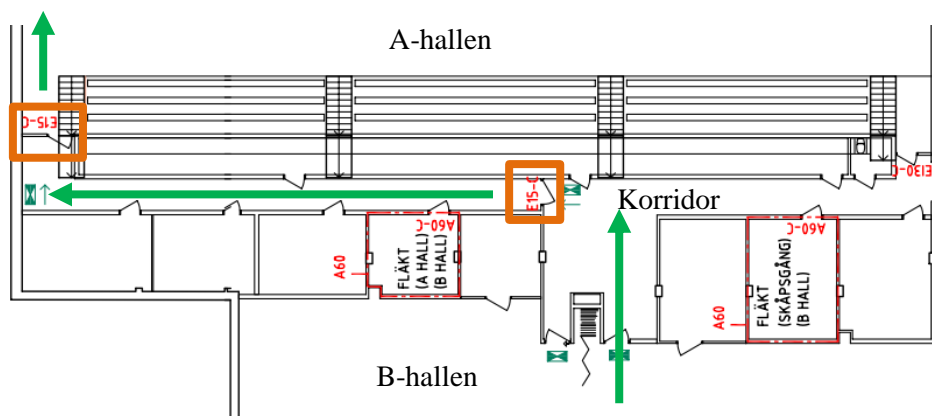
Samtliga lokaler har minst två av varandra oberoende utrymningsvägar och god skyltning för utrymning. Utrymningslarmet består av en ringande larmklocka. För simhallen och A-hallen finns det teknisk möjlighet för talat utrymningsmeddelande men om detta används vid utrymning är okänt.

Ett antal anmärkningspunkter har påträffats vid platsbesöket. Bland annat öppnas dörren för utrymningsvägen från bordtennishallens norra del på ett sätt som försvårar eller inbromsar utrymningen i anslutande utrymme. Detta påverkar även utrymningen från B-hallen eftersom de delar samma utrymningsväg.

För personer med funktionsnedsättning anses utrymningsmöjligheterna från byggnaden i allmänhet vara goda. Lokalerna i markplan har breda utrymningsdörrar ut till det fria som möjliggör för rullstolsburna och personer som kräver assistans att ta sig ut från dessa lokaler. Från B-hallen går det att utrymma via A-hallen och även här är bredden av korridorer och dörrar bra. I A-hallen finns flertalet utrymningsvägar i nivå med spelplanen som inte utgör något hinder för personer med funktionsnedsättning. I anslutning till ena läktaren, vid den utrymningsväg som löper ovanför sittläktarna, finns en avsatt yta för parkering av rullstolar. Denna yta är belägen endast någon meter från själva utrymningsdörren ut till foajén från A-hallen, vilket resulterar i att utrymningsmöjligheterna för personer med funktionsnedsättning även i denna hall anses goda. Simhallen har en specifik avdelning för personer med funktionsnedsättning och i denna avdelning antas assistans finnas som hjälper personer att utrymma.

Vid utrymning från B-hallen via korridoren parallellt med A-hallen finns det två dörrar som öppnas i motsatt riktning mot de utrymmande. En av dörrarna är placerade i korridoren och en är placerad mot A-hallen, se Figur 5 nedan.

För utrymningsritningar se bilaga 20.



Figur 5 - Utrymning från B-hallen till korridor och vidare ut till A-hallen. De orangea rektanglarna markerar de felvända dörrarna.

### 7.3 Varseblivningstid

Den tid som fortlöper från att en brand startat innan en person får någon form av yttre stimulans som gör personen varse om att något onormalt har inträffat, kallas varseblivningstid. I det här fallet kommer den yttre stimulansen vara att brandlarmet ljuder. När detta sker anses personerna som vistas i lokalerna bli varse om branden. Om inte tiden till en detektor larmar används som varseblivningstid kan den variera mellan några få sekunder till flera minuter och någon generell rekommendation kan inte då ges (Boverket, 2006). Därför tas det ingen hänsyn till att någon person upptäcker branden tidigare i form av röklukt, synintryck eller att någon annan person gör vederbörande upplyst om brandtillbudet. Således likställs varseblivningstiden med den tid det tar för brandlarmet att detektera och larma, så kallad detektionstid.

För att beräkna detektionstiden för de olika detektorerna i A- respektive B-hallen används programmet DETACT-T2 och FDS samt handberäkningar. DETACT-T2 beräknar inte detektionstiden på nedsatt sikt i form av rökpartiklar, utan endast på temperaturökning. Som schablonvärde för modernare rökdetektorer kan en ökning på 4 °C ansättas (Holmstedt & Nilsson, 2008).

För beräkningar av karatehallens detektionstid bedöms varken handberäkningar eller DETACT-T2 som rimliga. Det som ligger till grund för denna bedömning är de tvärgående balkarna i taket som bedöms påverka brandgasernas utbredning. För att få representativ data simuleras istället detta scenario endast i FDS. För att täcka in alla troliga bränders rökfyllnad i FDS används två olika värden på sotproduktionen, 0,015 (liten) och 0,075 (stor). Dessa två värden anses täcka in alla möjliga bränders sotproduktion som kan uppstå i lokalen (SFPE, 2002). I FDS används *chamber\_obscuratation* och *activation\_obscuratation* = 3.28, som är standard för rökdetektorer (NIST, 2010).

I Tabell 4 presenteras de olika detektionstiderna för respektive lokal och metodval. För vidare information om beräkningarna av detektion se bilaga 5.

**Tabell 4 – Detektionstider, handberäkningar och simuleringar.**

Lokal	Handberäkningar $t_{\text{detektion}} [s]$	DETECT-T2 $t_{\text{detektion}} [s]$	FDS $t_{\text{detektion}} [s]$	Medelvärde avrundat till närmsta 5 sekunder [s]
A-hallen	152	204	47	135
B-hallen	88	136	49	90
Karatehallen	-	-	19-22	20

Då spridningen på detektionstiderna är stor och det är osäkert vilken som beskriver verkligheten bäst beräknas ett medelvärde då tiden bedöms ligga inom intervallet. Då både handberäkningar och DETACT-T2 ger konservativa värden kommer även medelvärdet att vara konservativt<sup>3</sup>.

## 7.4 Förberedelsetid

Förberedelsetiden är en väldigt osäker parameter då den påverkas av många olika faktorer. För att bestämma den så används, som utgångspunkt, litteratur som refereras nedan. Vidare förs ett kvalitativt resonemang för att komma fram till en slutgiltig förberedelsetid.

### Konsert

Vid konsert, när lokalen är nedsläckt samt musik spelas, likställs lokalen med en nattklubb och förberedelsetiden sätts till 3-5 minuter. Denna tid förutsätter att personer i lokalen inte ser branden, men att DJ eller annan personal tänder ljuset, stänger av musiken och meddelar till gästerna att utrymning ska ske. Om detta inte sker så skulle tiden antagligen bli längre. Denna tid förutsätter även att det kan förekomma berusade personer i lokalen. I regel är gästerna ungdomar och förväntas vara nyktra vilket bör ge en kortare förberedelsetid. Sammantaget anses det att 3-5 minuter är representativt för verksamheten. Denna tid används vid *Brand vid garderobsverksamhet i karatehallen* eftersom det förekommer garderob i karatehallen vid konsert. Vid den dimensionerande branden *Brand på scen i A-hallen* så startar branden på en scen i A-hallen samtidigt som det finns personer i lokalen. Då personer ser branden rekommenderas en förberedelsetid på 1 minut (Boverket, 2006).

### Övernattning

Två av de dimensionerande bränderna kan ske vid övernattning. Dessa är *Brand i karatehallen vid övernattning* och *Brand i B-hallen vid övernattning*. I referenslitteratur, baserat på typ av brandlarm, storlek och komplexitet på byggnad, så kan varseblivningstiden för sovande personer som inte befinner sig i samma lokal som branden och som är obekanta med byggnaden vara 20 - 40 minuter (ISO, 2004). Dock antas de tiderna representera fall då personer sover i mindre rum. Vid övernattning i Motala sporthall sover ett större antal personer i samma rum och det antas att det räcker med att några personer vaknar för att alla ska göra det. Vid Vätternrundan sover folk vid olika tidpunkter på dygnet vilket gör det troligt att det finns vaket folk i lokalen under hela dygnet. Därför antas tiden vara kortare än vad som är givet i litteraturen. Därför ansätts förberedelsetiden till 5 - 10 minuter för alla sovande personer som inte befinner sig i B-hallen. Personer som befinner sig i lokalen där det brinner ser antagligen branden. Då bör förberedelsetiden vara betydligt kortare eftersom personen snabbt förstår att det brinner i lokalen, till skillnad från om endast ett larm ljuder. I referenslitteraturen är

<sup>3</sup> Daniel Nilsson, Avd. för brandteknik LTH, mailkontakt, 2014-04-02

förberedelsetiden 1 minut, men för att ta hänsyn till att personer inte är lika alerta precis när de har vaknat, har tiden ansatts till en fördelning mellan 1 och 2 minuter.

**Uppdukad lokal**

Vid denna verksamhet kan *Brand i karatehallen vid uppdukad lokal* ske och personer antas vara vakna, men inte bekanta med byggnaden. Baserat på typ av brandlarm, storlek och komplexitet på byggnad så ansätts förberedelsetiden till 1,5 - 4,5 minuter för personer som inte befinner sig i karatehallen där branden startar. För personer i karatehallen ansätts tiden till 1 minut enligt samma resonemang som i avsnittet för konsert.

Tabell 5 – Förberedelsestider för respektive verksamhet

Verksamhet	Förberedelsestid [sekunder]
Personer kan se branden och antas vakna	60
Konsert	180-300
Övernattning	300-600
Övernattning, samma lokal som branden	60-120
Uppdukad lokal	90-270

## 7.5 Förflyttningstid

För att bestämma tiden till att alla i byggnaden har tagit sig ut efter att de har blivit varse om brandtillbudet, används simuleringsprogrammet Simulex. I simuleringarna tas det även hänsyn till förberedelsestiderna som presenterades i föregående kapitel.

I simuleringarna har det inte tagits någon hänsyn till varken bowlinghallen eller reningsanläggningen på plan 0. Dessa lokaler tros inte påverka utrymningen eftersom det inte befinner sig många personer i reningsanläggningen, samt att personer som befinner sig i bowlinghallen antas välja en annan utrymningsväg direkt ut i det fria.

## 7.6 Resultaterande utrymningstid

Resultat från simuleringar i Simulex presenteras i detta kapitel. För scenariobeskrivningar och specifika ingångsparametrar som har använts i simuleringarna se bilaga 6.

Total utrymningstid och tid till att brandcellen där branden startar är utrymd presenteras i Tabell 6. Då den större utrymningsvägen i A-hallen, direkt ut i det fria, i plan 1 är blockerad, blir resultatet enligt Tabell 7.

Tabell 6 – Byggnadens totala utrymningstider för respektive verksamhet samt tid till att brandcellen där branden startar är utrymd. Alla utrymningsvägar är fria.

Verksamhet	Personantal	Byggnadens totala utrymning (sekunder)	Utrymningstid till annan brandcell från lokal där brand startar (sekunder)
Konsert	2000 personer	670	540 (A-hallen)
	1200 personer	530	370 (A-hallen)
	800 personer	420	290 (A-hallen)
Övernattning		620	140 (Karatehallen)
			140 (B-hallen)
Uppdukad lokal		410	80 (Karatehallen)

Tabell 7 - Byggnadens totala utrymningstider för respektive verksamhet samt tid till att brandcellen där branden startar är utrymd. Utrymningsväg direkt ut i det fria i A-hallen i plan 1 blockerad.

Verksamhet	Personantal	Byggnadens totala utrymning (sekunder)	Utrymningstid till annan brandcell från lokal där brand startar (sekunder)
Konsert	2000 personer	1200	1020 (A-hallen)
	1200 personer	830	590 (A-hallen)
	800 personer	530	425 (A-hallen)
Övernattning		660	140 (Karatehallen)
			140 (B-hallen)
Uppdukad lokal		460	80 (Karatehallen)

## 7.7 Osäkerheter för utrymningstid

Varseblivningstiden antas vara densamma som tiden för att en detektor ska detektera branden. Detta anses troligt för personer i lokaler där det inte brinner och bidrar i det fallet inte med en stor osäkerhet.

Förberedelsetiden innefattar också osäkerheter och det forskas fortfarande kring detta. Den forskning som finns är även svår att applicera på situationerna som till exempel övernattning i en större lokal. Därför har kvalitativa resonemang förts kring respektive verksamhet för att om möjligt minska osäkerheterna. Då denna tid är en stor del av den totala utrymningstiden i flera scenarier påverkar den således resultaten i stor utsträckning.

I simuleringarna för förflyttningstiden har ett antal förenklingar och antaganden gjorts, vilket leder till osäkerheter i resultaten. Simulex använder inte dörrar utan endast dörröppningar, vilket leder till något kortare utrymningstider eftersom personer inte behöver öppna en dörr för att ta sig igenom. Programmet räknar även med att en person alltid går den kortaste vägen mot de definierade utgångarna och trapporna, även om det i verkligheten kan ta en längre väg. I programmet väljs en triangelfördelning för förberedelsetiden, då det antas att endast ett fåtal personer börjar utrymma tidigt respektive sent. De flesta tros dock börja utrymma vid någorlunda samma tidpunkt, vilken är ansatt till medelvärde.

I varje utrymningsscenario har det på förhand bestämts vilken väg som varje individgrupp väljer. I valet av utrymningsväg har hänsyn tagits till vilken väg personerna har använt som entré, eftersom det är troligt att de kommer utrymma samma väg som de kom in. Dessutom har det även tagits hänsyn till ifall utrymningsskyltar varit synliga, om köbildning uppstått vid någon utrymningsväg. Dessa faktorer bidrar till viss osäkerhet av resultatet.

För att ta hänsyn till osäkerheter simuleras alla scenarier flera gånger med olika antal personer samt med fria respektive blockerade utrymningsvägar. För osäkerheter som är specifika för varje brandscenario samt sammanställning av osäkerheter se respektive brandscenario i nästa kapitel. För ytterligare resonemang kring osäkerheter i Simulex, se bilaga 17.

## 8. Brandscenarier

I följande kapitel beskrivs de scenarier som identifierades som värsta troliga i grovanalysen. Ett brandscenario som resulterar i en effektutvecklingskurva och en dimensionerande brand är framtagen för respektive scenario, se bilaga 7 för metodbeskrivning. Vidare redovisas resultat för tid till att acceptanskriterierna överskrids och hur dessa är framtagna. I de fall där utrymning inte anses kunna ske under acceptabla förhållanden har förslag på åtgärder tagits fram. För teori kring FDS och CFAST, se bilaga 17.

### 8.1 Brand på scen i A-hallen (17)

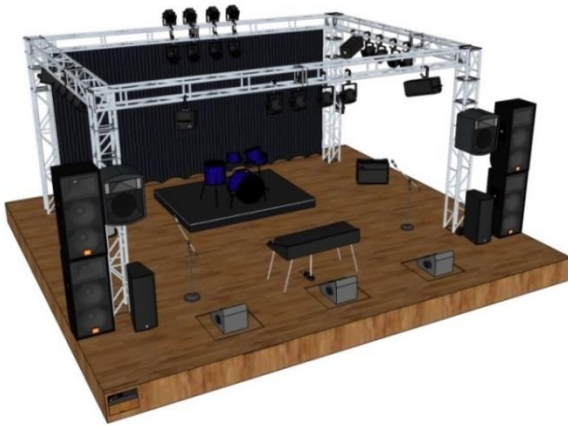
A-hallen används för flertalet större evenemang där det monteras en scen längs med hallens långsida. I grovanalysen identifierades en brand på scen som ett scenario där tiden för utrymning kan komma att överskrida de kritiska förhållandena. Den dimensionerande branden används för att utvärdera utrymning vid de två verksamhetstyper som anses utgöra försvårande omständigheter: uppdukad lokal och nattklubbsverksamhet.



**Bild 6 - Bilderna illustrerar A-hallen vid två olika verksamheter, till vänster är det normal verksamhet och till höger är det konsert-/klubbverksamhet.**

Foto: Jonathan Rosenqvist, LTH & Ung i Motala

Den dimensionerande branden är utformad för att representera en möjlig brand som startar på scenen och sedan utvecklas utan släckningsförsök eller annan insats som begränsar brandförloppet. Möjlig antändningskälla är elfel, levande ljus eller att branden anläggs. Högtalare är det objekt som kommer bidra med störst brandbelastning och därför används dessa för att representera samtliga föremål som används på en scen. Då en scen installeras i A-hallen kommer även ett draperi hängas upp för att dölja sladdar och elektronik samt utsmycka hallen för olika evenemang. Även om ett DJ-bås installeras istället för en större scen är det troligt att draperi hängs upp. Ett draperi utgör en riskfaktor vid brand eftersom brand lätt sprids vidare via draperiet. Antalet högtalare på scenen kan variera beroende på om det är en konsert som anordnas eller exempelvis en DJ spelning. Scenen som den dimensionerande branden baseras på är en generell scen som kan användas för flera typer av evenemang, se Figur 6. Detta betyder att effektutvecklingen skulle vara högre än den dimensionerande om en större scen monteras.



Figur 6 – Till vänster ses en illustration av scenen och till höger ses en bild på scenen under en konsert.  
Illustration: Daniel Blixt, LTH & Ung i Motala

### 8.1.1 Dimensionerande brand

Den dimensionerande branden uppnår en maximal effektutveckling på 10,2 MW efter 21 minuter. Branden startar i en högtalare belägen på scenens bakre del. Från denna sprider sig branden vidare till närliggande högtalare och ett draperi som är upphängt längs scenens baksida, se Figur 6. Draperiet kommer att fatta eld snabbt och generera värmestrålning som resulterar i att scengolvet antänds. Branden sprider sig över scengolvet och involverar övriga föremål i branden. Efter 21 minuter är effektutvecklingen maximal för branden på scenen och förväntas vara ihållande en tid framöver. Beräkningar och resonemang för framtagandet av effektutvecklingen redovisas i bilaga 9.

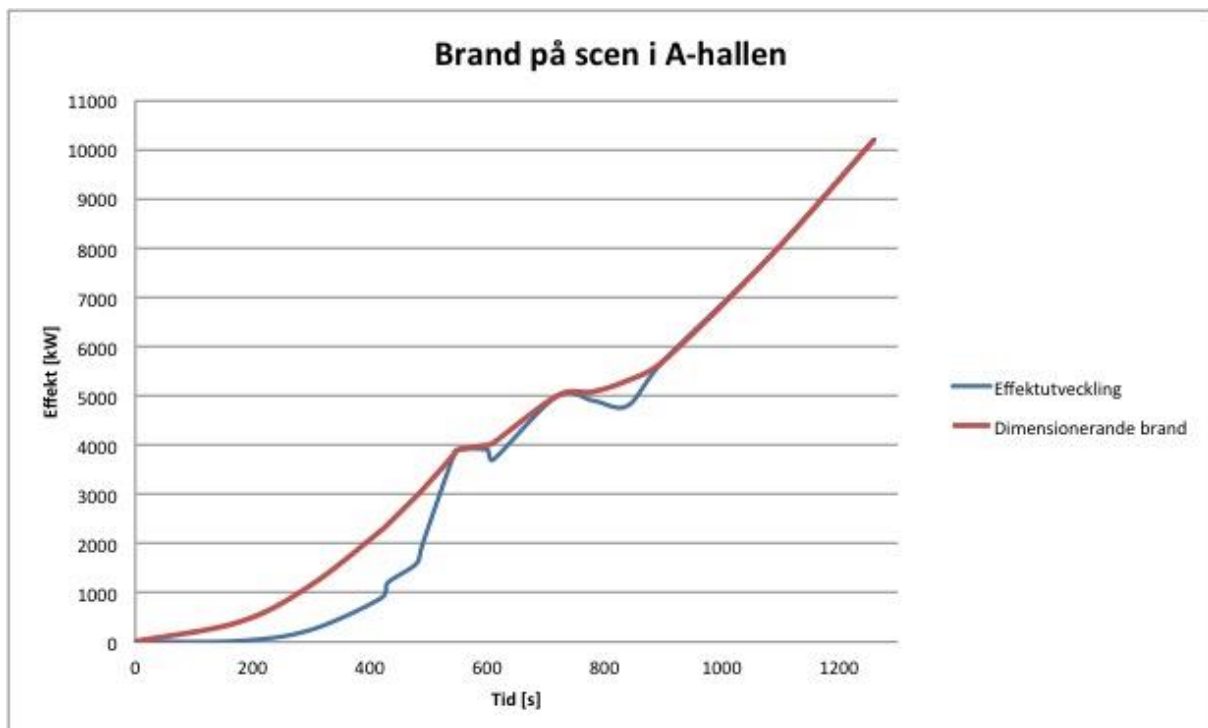


Diagram 4 - Ovanstående diagram presenterar den beräknade effektutvecklingskurvan med data från bilaga 9.



### 8.1.2 Ventilation

A-hallen har på grund av sin stora volym två egna ventilationssystem som förser hallen med till- och frånluft på varsin sida av hallen. Tilluften ansluts till hallen via utrymmen under läktaren på vardera sida. Ventilationssystemen förser endast A-hallen och är inte i förbindelse med några andra lokaler. Båda systemen är utrustade med rökdetektorer i respektive till- och frånluftskanal. Vid detekterad brand så kommer luftbehandlingsaggregatet att stängas av, vilket leder till att det inte finns någon större risk för spridning till övriga lokaler via ventilationssystemet. Till och frånluftskanalerna har inte utrustats med brandgasspjäll utan endast avstängningsspjäll som även dessa stänger vid detekterad brand. Fläktrummen som försörjer A-hallen är i varsin brandcell i A60. Fläktrummet är utrustat med både rök- och värmedetektor.

### 8.1.3 Resultat

För att utvärdera tiden till att acceptanskriterierna överskrids i A-hallen används programmet FDS samt handberäkningar. De acceptanskriterier som kontrolleras med FDS är brandgaslagrets höjd över golvet, den maximala temperaturen tillåten vid utrymning samt siktförhållandena. Simuleringen varar i 850 sekunder. För indataparametrar se bilaga 8 och för FDS kod se i bilaga 19. Resultat från simuleringen i FDS presenteras nedan.

#### Brandgaslagrets höjd

För att mäta brandgasfyllnad har FDS använts för att avgöra när acceptanskriteriet överskrids. I A-hallen är det höjden 2,6 meter ovanför läktargolvet där utrymning sker som brandgaslagret inte får sjunka under, det vill säga 5,6 meter över golvnivå. Acceptanskriteriet överskrids för alla mätpunkter efter 473 sekunder.

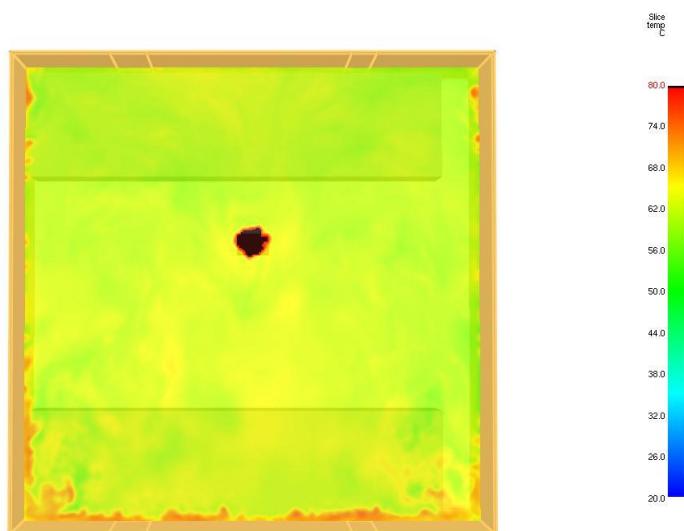
Tabell 8 - Tid till acceptanskriteriet för brandgaslagrets höjd överskrids.

A-hallen	Tid [s]
En mätpunkt	422
Alla mätpunkter	473

#### Temperatur

Acceptanskriteriet för temperatur överskrids inte inom simuleringstiden 850 sekunder, se Figur 7.

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



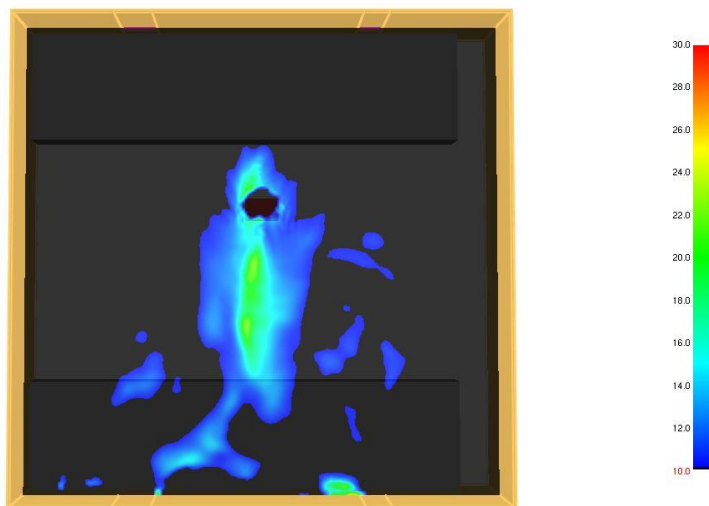
Frame: 1000  
Time: 850.0

Figur 7 - Acceptanskriteriet för temperatur, sett uppifrån med foajén till höger, överskrids inte innan simuleringstiden på 850 sekunder. Det som är svart i figuren representerar en temperatur på 80 °C eller mer.

## Sikt

Sikten mäts två meter ovanför läktargolvet på den nivå där utrymningsvägarna finns, det vill säga 5,6 meter ovanför sporthallens golv. Se kapitel 6.2 för definition av acceptanskriterier och förklaring till varför två meter har valts. Acceptanskriteriet för sikt överskrids efter cirka 600 sekunder, se Figur 8 nedan.

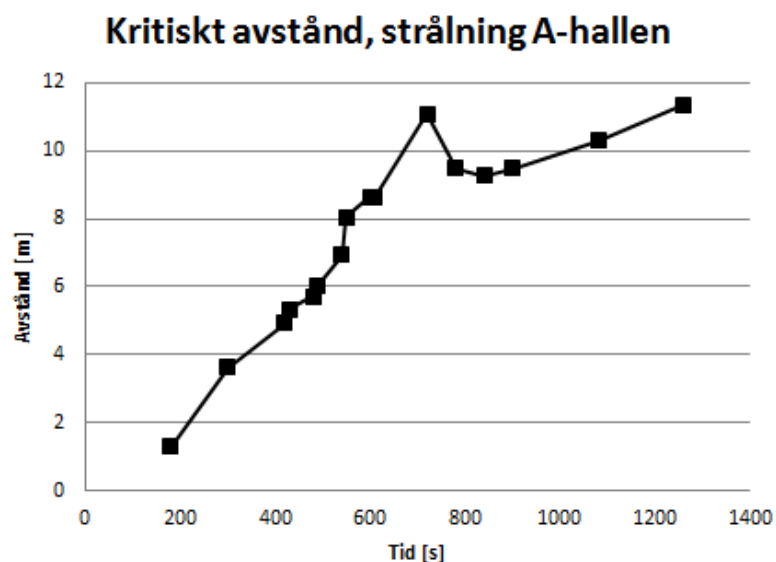
Smokeview 5.6 – Oct 29 2010

Frame: 707  
Time: 601.0

**Figur 8 - Acceptanskriteriet för sikt, sett uppifrån, uppnås vid cirka 600 sekunder. Det som är svart i figuren representerar en sikt på 10 meter eller mindre.**

## Strålning

Acceptanskriteriet för strålning är  $2,5 \text{ kW/m}^2$  och utifrån strålningsnivån har ett tidsberoende kritiskt avstånd till branden tagits fram i Diagram 5 nedan. Se bilaga 14 för beräkningsgång.



**Diagram 5 - Kritiskt avstånd till branden med avseende på acceptanskriteriet strålning i A-hallen.**

Slutsatser kring det kritiska avståndet dras i kombination med andra acceptanskriterier i sammanställningen i följande avsnitt.

### Sammanställning

I Tabell 9 nedan visas sammanställning av resultat för kritiska förhållanden i brandscenario *Brand på scen i A-hallen*. Enligt tidigare avsnitt uppnås kritiska förhållanden då två av kriterierna har överskridits.

**Tabell 9 - Sammanställning kritiska förhållanden vid brand i A-hallen vid dimensionerande brand**

Kriterium	Tid till kriterium uppnås, dimensionerande brand	Kommentar
Brandgaslagrets höjd	473 s	
Sikt	600 s	
Strålning	-	Vid 600 sekunder är kritiska avståndet cirka 9 meter vilket inte anses möjliggöra utrymning
Temperatur	-	Uppnås inte inom simuleringstiden 850 sekunder
<b>Tid till kritiska förhållanden</b>	<b>600 s</b>	

#### 8.1.4 Jämförelse resultat och utrymningstid

I detta avsnitt kontrolleras skyddsmålet att alla i byggnaden ska hinna utrymma innan kritiska förhållanden uppstår då brandscenario *Brand på scen i A-hallen* sker. Verksamheten i detta scenario är konsert/klubb. Personer anses vara säkra då dessa har utrymt brandcellen där det brinner eftersom vidare utrymning anses kunna ske under säkra förhållanden. Skyddsmålet uppnås om positivt värde erhålls från ekvationen:

$$Tidsmarginalen = t_{kritisk} - t_{utrymning} = t_{kritisk} - t_{varseblivning} - t_{förberedelse} - t_{förflyttning}$$

**Tabell 10 - Sammanställning för tidsmarginalen vid brand i A-hallen. Negativa tider betyder att alla personer ej hinner utrymma medan positiva betyder att alla personer hinner innan kritiska förhållanden uppstår.**

	$t_{krit}$	$t_{varseblivning}$	$t_{förberedelse} + t_{förflyttning}$	$t_{utrymning}$	Tidsmarginal
2000 personer	600	135	540	675	-75
1200 personer	600	135	370	505	+95
800 personer	600	135	290	425	+175

#### 8.1.5 Osäkerheter

Under utvärderingen av brandskyddet för detta scenario har ett antal förenklingar gjorts, samt att datorprogram så som FDS och Simulex använts som har egna förenklingar, se bilaga 17. Dessa bidrar till, i olika omfattning, osäkerheter i resultatet. Vissa osäkerheter har tagits hänsyn till kvantitativt, medan andra diskuteras kvalitativt. Vidare i detta avsnitt diskuteras osäkerheter specifika för detta scenario. En känslighetsanalys görs i slutet av avsnittet.

#### Tid till kritiska förhållanden

Den utvecklade effekten för branden påverkar starkt tiden till att kritiska förhållanden uppstår. En faktor som påverkar effektutvecklingen är att den antagna brandbelastningen ska överensstämma med verkligheten, vilket innefattar typ av brännbart material samt mängden material. För detta scenario har, på grund av tidsbrist, endast en tillväxthastighet använts. För att ta hänsyn till osäkerheten används dock en triangelfördelning med den dimensionerande branden som den mest troliga, samt att dess min- och maxtid har satts till 10 % mindre respektive större än den dimensionerande. Eftersom scenen som byggs upp kan se annorlunda ut för olika evenemang så är denna osäkerhet svår att minska.

En faktor som påverkar det kritiska avståndet med avseende på strålning mycket är den antagna flamtemperaturen på 900 °C. Denna faktor har inte ändrats i olika försök men eftersom den har

antagits konservativt och avståndet inte har varit kriteriet som uppfyllts först så påverkas inte resultatet. Dock har endast handberäkningar utförts för strålningen från flammen. Giltigheten för handberäkningarna är svåra att fastställa men det anses att osäkerheten i beräkningarna inte påverkar tiden till kritiska förhållanden. Denna osäkerhet gäller för samtliga brandscenarier.

### Utrymningstiden

Personer som vistas i A-hallen kan möjligen upptäcka branden tidigare än då en detektor larmar vilket skulle ge en kortare varseblivningstid. Men då verksamheten är konsert/klubb kan den tiden även bli längre på grund av hög musik och rökmaskiner. Sammantaget ger detta en osäkerhet som fortplantar sig till resultatet. Denna osäkerhet är svår att minska (Boverket, 2006). Hänsyn till detta tas dock med en uniform fördelning med resultatet från FDS som kortast tid och resultatet från DETACT-T2 som längst tid.

Då utrymningstiden påverkas starkt av hur många personer som vistas i lokalen testas tre olika personantal för detta scenario. Speciellt för detta scenario är också att personantalet kan vara stort i A-hallen samt att det finns flera utrymningsvägar att välja mellan. Utrymningstiden beror då till viss del hur många personer som använder de olika utrymningsvägarna men i försöken har de mest troligaste vägarna valts. Om någon utrymningsväg skulle vara blockerad av någon anledning så förmodas utrymningen påverkas mycket och därför testas detta scenario även med olika utrymningsvägar blockerade.

### Känslighetsanalys

För att underlätta diskussion kring åtgärder så genomförs en känslighetsanalys för brandscenariot *Brand på scen i A-hallen*. I stället för att använda fasta värden, så som medelvärden och troliga värden på varje parameter, så används nu fördelningar vilket kan ses i Tabell 11.

Tabell 11 - Fördelningar som använts vid känslighetsanalys av tidsmarginalen för Brand i A-hallen.

Parameter	Fördelning	Tid [s]		
		2000 personer	1200 personer	800 personer
Tid till kritiska förhållanden	Triangel (min,trolig,max)	540;600;660	540;600;660	540;600;660
Varseblivningstid	Uniform (min;max)	47;204	47;204	47;204
Förberedelsetid + Förflyttningstid	Uniform (min;max)	540;1020	370;590	290;425

Resultat för tidsmarginalen vid användning av fördelningar på parametrar kan ses i Diagram 6 till Diagram 8. Negativa tider betyder att alla personer ej hinner utrymma, medan positiva betyder att alla personer hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår.

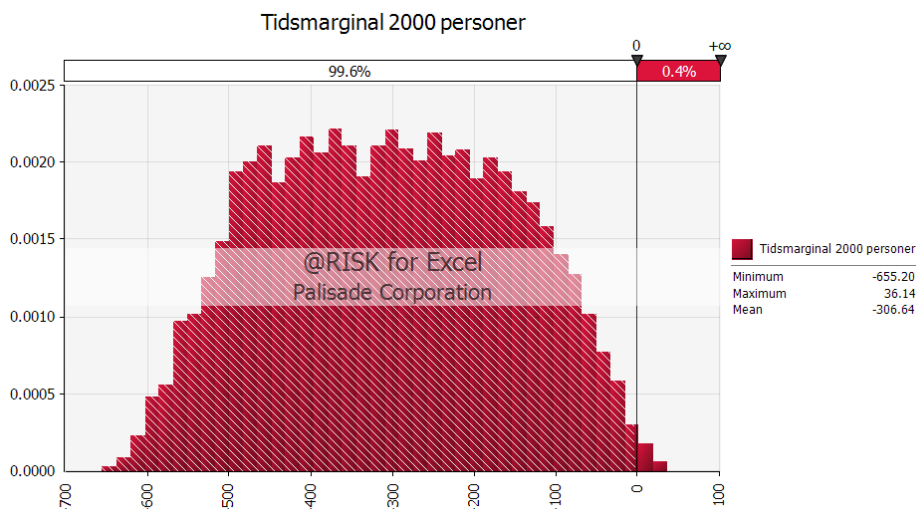
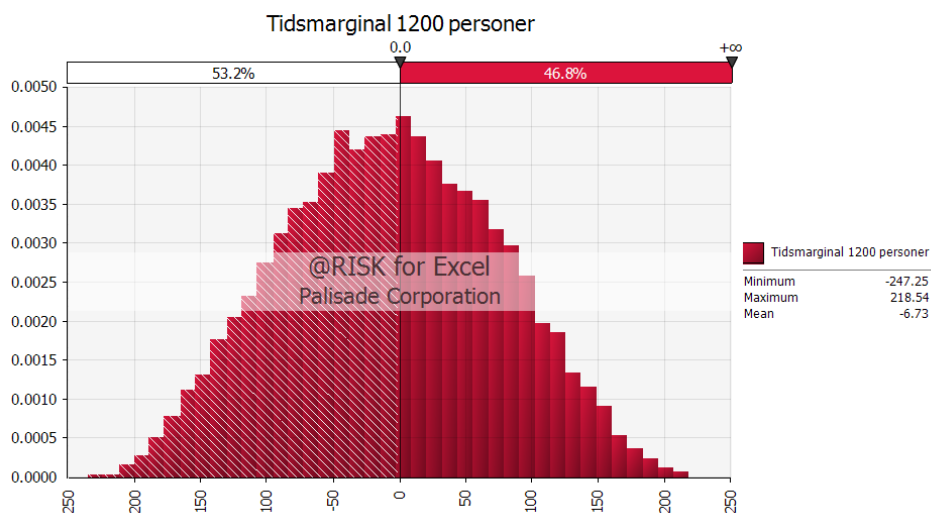


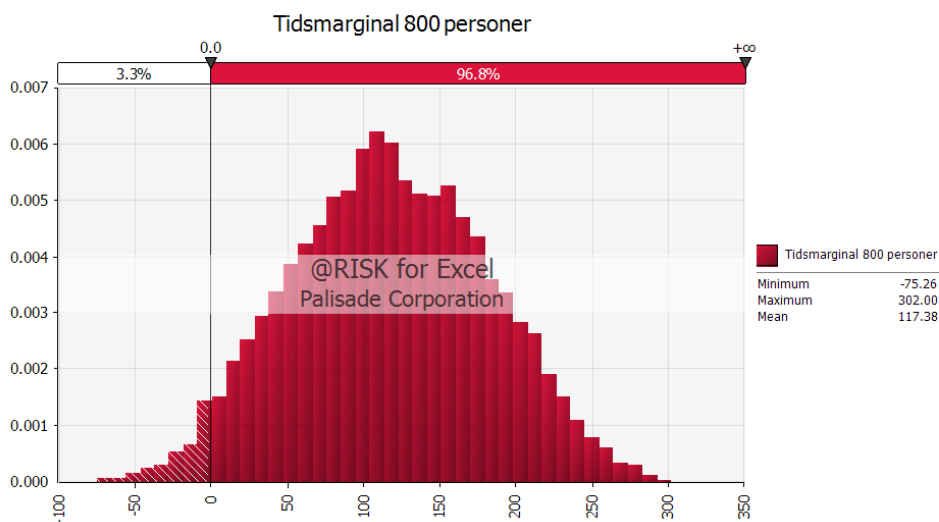
Diagram 6 - Tidsmarginal vid *Brand på scen i A-hallen* med 2000 personer. Tidsmarginal på x-axeln och andel på y-axeln.

I Diagram 6 kan det ses att i 99,6 % av iterationerna så blir tidsmarginalen negativ. Den minsta marginalen är -655 sekunder som sker då utrymningsvägen direkt ut i det fria i plannivå är blockerad. Det är i detta fall som den blockerade vägen påverkar absolut mest eftersom skillnaden på föreberedelse- och förflyttningstiden är som allra störst. Men även då utrymningsvägen inte är blockerad blir tidsmarginalen negativ.



**Diagram 7 - Tidsmarginal vid Brand på scen i A-hallen med 1200 personer. Tidsmarginal på x-axeln och andel på y-axeln.**

Tidsmarginalen har även beräknats för 1200 personer. I Diagram 7 kan det ses att i drygt 50 % av iterationerna blir marginalen i detta fall negativ och som minst blir den -247 sekunder. Detta anses inte uppfylla skyddsmålen som satts upp.



**Diagram 8 - Tidsmarginal vid Brand på scen i A-hallen med 800 personer. Tidsmarginal på x-axeln och andel på y-axeln.**

Med 800 personer i A-hallen under konsert kan det konstateras i Diagram 8 att i knappt 97 % av iterationerna blir tidsmarginalen positiv. Även i detta fall blir en andel av iterationerna negativ men om det kan säkerställas att utrymningsvägen direkt ut i det fria kan användas skulle tidsmarginalen alltid kunna vara positiv. Det eftersom minsta tidsmarginalen är -75 sekunder och om den aktuella utrymningsvägen är fri så sparas 135 sekunder.

### 8.1.6 Åtgärdsförslag

Med 800 och 1200 personer i detta scenario blir tidsmarginalen positiv medan för 2000 personer blir den negativ, enligt Tabell 10. Men då fördelningar för parametrarna används och 10 000 iterationer

utförs för tidsmarginalen så kan det ses i Diagram 6 till Diagram 8 att marginalen blir negativ i en del av iterationerna för alla tre personantalen. Skyddsmålet uppfylls alltså inte och en åtgärd måste göras.

För att inte acceptanskriterierna i A-hallen ska överskridas rekommenderas det att mekanisk brandgasventilation i form av brandgasfläktar installeras i taket i A-hallen. Syftet med dessa fläktar är att ventileras ut tillräckligt mycket rök så att brandgaslagret stabiliserar sig på höjden 5,6 meter ovanför sporthallens golv. Vid denna höjd överskrids inte de kritiska nivåerna för brandgaslagrets höjd över utrymningsvägarna som finns i nivå ovanför läktarna. Då brandgaslagrets höjd inte överskrids kommer inte heller kritiska förhållanden uppnås vad gäller siktförhållanden eller temperaturpåverkan för de personer som utrymmer lokalen. För att verifiera denna åtgärd har handberäkningar gjorts för att ta fram ett kvantitativt flödesvärde på 19,5 m<sup>3</sup>/s för till och frånluft. Det ska noteras att detta värde ej är specifikt för åtgärdsförslaget utan har tagits fram för att approximativt kunna verifiera åtgärden.

Nedan följer ett dimensioneringsförslag baserat på handberäkningar och kvalitativa bedömningar. Beräkningar och dimensionering som tar hänsyn till skorstenseffekt eller som vidare utreder vindpåverkan på ventilationsåtgärden har inte gjorts. Val av placering för brandgasventilationen kan även ge upphov till turbulenta strömningar och även detta fenomen bör utvärderas och tas hänsyn till. Vidare utredning krävs för att säkerställa att dimensionering av fläktarna är korrekt och följande stycke ska beaktas med detta i åtanke.

Brandgasfläktar med en total kapacitet på 19,5 m<sup>3</sup>/s ska placeras i yttertaket med schakt som går genom krypvinden och ansluter fläktarna till själva A-hallen. Tilluftsfläktar ska installeras på den kortsida som är i direktkontakt med uteluften. För att undvika undertryck i lokalen skall även tilluftfläkten generera ett volymflöde som motsvarar brandgasventilationen, alltså 19,5 m<sup>3</sup>/s. Det är viktigt att detta uppfylls eftersom undertryck i lokalen kan påverka möjligheten att öppna dörrar vilket försvårar utrymningen. Både tilluft och frånluftsfläktar ska aktiveras automatiskt vid detekterad brand. För vidare resonemang och beräkningar se bilaga 18.

Simuleringar i FDS har visat att tiden till att kritiska förhållanden uppstår i A-hallen blir cirka 100 sekunder längre efter installation av brandgasventilation. I handberäkningar, som anses vara konservativa, sätts dock att brandgaslagret inte ska sjunka under den kritiska höjden förrän efter 850 sekunder. Att brandgaslagret når kritisk höjd i simulering antas bero på felaktig indata eller för stora celler vilket medför snabbare brandgasfyllnad av A-hallen. Vid korrekt dimensionering anses åtgärden dock kunna säkerställa att utrymning kan ske innan kritiska förhållanden uppstår.

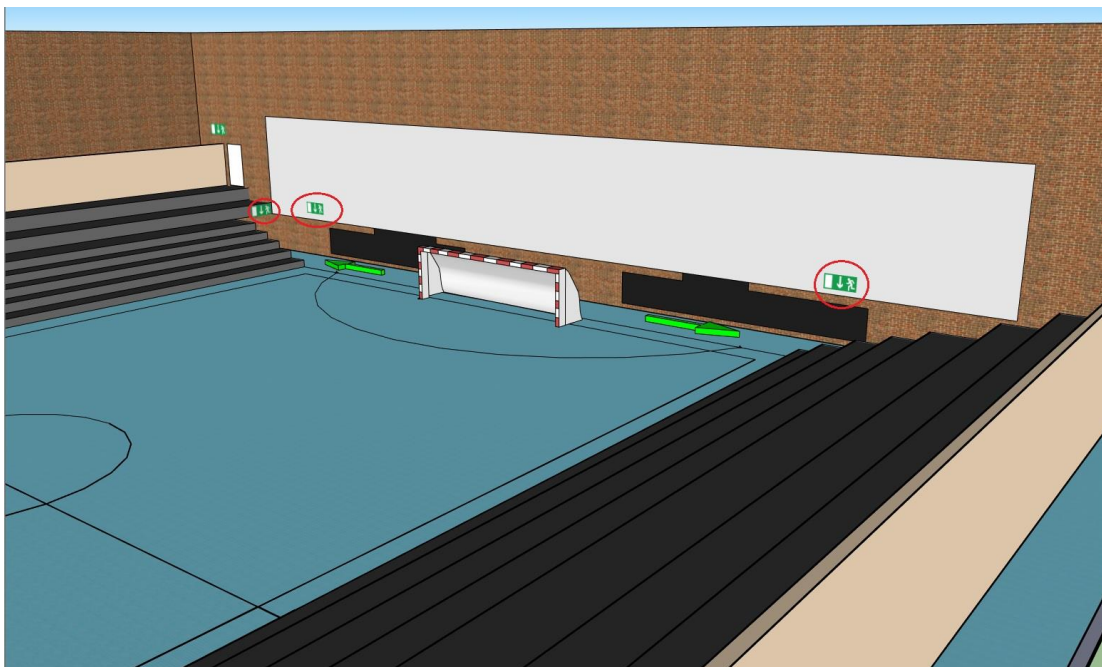
En åtgärd som har diskuterats är att endast nyttja golvet i A-hallen vid konserter, vilket medför en längre tid till kritiska förhållanden eftersom det tar längre tid för brandgaslagret att sjunka. Samtidigt kommer utrymningstiden öka betydligt då färre utrymningsvägar kan nyttjas, därför avfärdas detta som en åtgärd. Om inte brandgasventilation installeras i A-hallen skulle en begränsning på personantalet istället kunna sättas. Denna alternativa åtgärd förutsätter dock att karatehallen byggs om till en egen brandcell, se kapitel 8.3.7 för vidare resonemang om karatehallen. Det bör även poängteras att installation av brandgasfläktar är en omfattande åtgärd och endast skall beaktas om lokalen används till den verksamhet som brandscenariot *Brand på scen i A-hallen* förutsätter.

Tydligare utrymningsskyltar bör placeras för att synliggöra utrymningsvägar från flera vinklar. Bland annat syns inte utrymningsskylten tvärs över planen när man utrymmer från B hallen via A hallen och precis passerat genom dörren in till A hallen från den parallellt löpande korridoren. Därför bör en extra utrymningsskylt placeras enligt Figur 9 nedan. Likaså bör utrymningsvägarna i nivå med planens golv på A-hallens motsatta sida kompletteras med utrymningsskyltar, enligt Figur 10, för att göra folk varse om att det går att utrymma via dem.





Figur 9 - Illustration av två föreslagna åtgärder i A-hallen.



Figur 10 - Illustration av motsvarande sida. Inringat visas förslag till åtgärd.

Läktarna i A-hallen är omgärdade med barriärer som skyddar både publiken och spelarna vid match. Dock är det besvärligt att öppna dessa för att skapa fria tillträdesvägar. I dagsläget måste de lossas och lyftas av de hakar som håller dem på plats. När A-hallen är full med publik har utrymningssimuleringar visat på att utrymningstiden blir betydligt kortare när människor kan utrymma ner från läktaren och ut på planen. De kan då nyttja bland annat den utrymningsväg som illustreras i Figur 9. Även då det finns många människor på planen, som vid till exempel ”Rocka Fett”, så underlättas utrymningen om folk kan utrymma upp via läktarna. Detta bör åtgärdas så att barriärerna enkelt kan passeras vid en utrymningssituation.

Som tidigare har nämnts så finns det möjlighet till ett manuellt talat meddelande vid utrymning ur A-hallen. Detta är ett väldigt bra sätt att minska förberedelse tiden för personerna som hör meddelandet, vilket har visats i ett examensarbete utfört på Lunds Tekniska Högskola (Holmström & Sävmark, 2013). Dock har det inte gått att finna något entydigt svar till varför den reducerade förberedelse tiden har uppstått, men möjligen kan den något snabbare uppläsningshastigheten som förekommit i aktuellt utrymningsmeddelande haft inverkan (Holmström & Sävmark, 2013). Därför bör rutinerna kring det

manuellt talade meddelandet ses över för att säkerställa dess funktion, kan inte detta göras så bör ett automatiskt talat meddelande övervägas istället. Rutinerna för att se till att ljuset tänds och musiken stängs av om utrymningslarmet ljuder bör även kontrolleras.

Utrymningsvägen från B-hallen via A-hallen löper genom en korridor under läktaren. Där påträffas två dörrar vars slagriktning är felaktig. Detta bör åtgärdas för att leva upp till regelverket om att dörrars slagriktning skall vara i utrymningsvägens riktning (Bengtsson, et al., 2012). Detta illustreras i Figur 9.

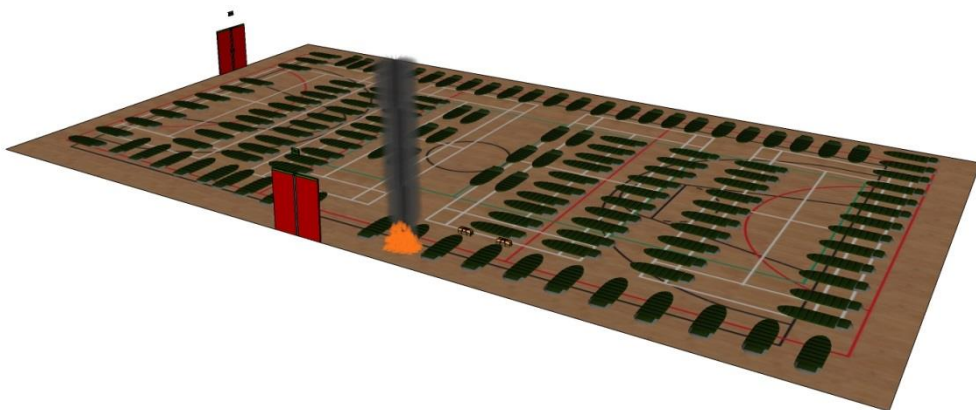


## 8.2 B-hallen vid övernattning (19)

I denna hall får enligt rådande rekommendationer maximalt 140 personer sova, se Tabell 1. Då lokalen saknar utrymningsvägar direkt ut till det fria, samt att en utrymningsväg lätt kan bli blockerad vid en eventuell brand, bedömdes det att detta scenario behövde analyseras vidare. En avgörande faktor var även att förberedelsetiden är betydligt längre för sovande personer. I ett första steg gjordes en schematisk skiss på hur dessa sovande personerna kan vara utplacerade i lokalen, detta åskådliggörs i Figur 11.



**Bild 7 - En bild tagen under platsbesöket på B-hallen med måtten 32x16x5,9 m (LxBxH).**  
Foto: Oliver Walsh, LTH



**Figur 11 - En schematisk bild på hur sovsäckarna kan vara placerade vid övernattning, samt en möjlig plats där en brand kan utbryta. Notera även brandens placering i nära kontakt med den primära utrymningsvägen.**  
Illustration: Daniel Blixt, LTH

### 8.2.1 Dimensionerande brand

Då det är i utrymningssynpunkt B-hallen ska kontrolleras bedöms det inte vara nödvändigt att titta på den fullt utvecklade branden eller avsvältningsfasen. Fokus läggs istället på branden under tillväxtfasen, då det är under denna fas folk bedöms ha möjlighet att utrymma lokalen säkert. Det bedöms att en sovsäck eller någon persons enskilda packning aldrig kan leda till kritiska förhållanden, dock är det av intresse att se om effekten är så pass stor att branden kan sprida sig till närliggande föremål och därmed nå kritiska förhållanden.

Ett elfel i en mobilladdare som är placerad i kontakt med en persons packning orsakar en viss värmeutveckling som kan leda till antändning. Denna packning är placerad i direkt närhet till utrymningsvägen som leder in till A-hallen, som bedömts som den primära utrymningsvägen. Baserat på Figur 11 över hur sovsäckarna och packningarna i B-hallen kan vara placerade bedöms avståndet vara 0,5 m mellan alla sovsäckar och packningar. För detaljerad information kring hur den dimensionerande branden tagits fram se bilaga 10.



Diagram 9 - Ovanstående diagram presenterar den beräknade effektutvecklingskurvan med data från bilaga 10.

Efter 1050 sekunder uppnås en effekt på 9 MW. Vidare beräkningar har gjorts för att kontrollera plymtemperaturen vid taket och visat att den ligger på drygt 500 °C. Vid en så pass hög temperatur föreligger det en stor risk för att trätaket kan antändas, se bilaga 10, vilket skulle kunna leda till övertändning av lokalen.

### 8.2.2 Ventilation

B-hallen har ett eget ventilationssystem utan förbindning till någon annan lokal. Både till- och frånluftskanal är utrustade med varsin rökdetektor. Vid detekterad brand kommer luftbehandlingsaggregatet att stängas av vilket leder till att det inte finns någon större risk för spridning till övriga lokaler via ventilationssystemet. Till- och frånluftskanalerna har inte utrustats med brandspjäll utan endast avstängningsspjäll som stänger vid detekterad brand. Fläktrummet som försörjer B-hallen är även en egen brandcell i klassningen A60. Fläktrummet är utrustat med både rökdetektor och värmedetektor.

### 8.2.3 Resultat

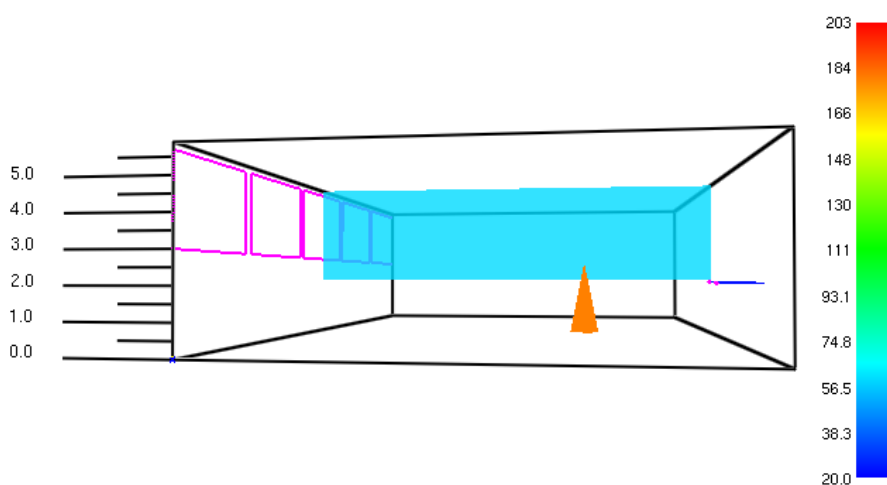
Nedan följer resultat av handberäkningar och simuleringar.

### Brandgaslagrets höjd

För att utvärdera tiden tills acceptanskriterierna överskrids i B-hallen används programmet CFAST samt handberäkningar. De kriterier som kontrolleras med CFAST är brandgaslagrets höjd över golvet och temperatur. Simuleringen varar i 1500 sekunder. Indata och resonemang redovisas i bilaga 15 och resultatet från simuleringen presenteras nedan. Det acceptanskriterium som överskrids först är den acceptabla höjden på 2,12 m ovanför golv, vid tiden 370 sekunder, se Figur 12. Som en del i känslighetsanalysen har resultat även tagits fram för de standardiserade tillväxthastigheterna slow och medium.

Tabell 12 - Resultat från CFAST simulering.

B-hallen	Slow ( $\alpha=0,003$ ) [s]	Dimensionerande ( $\alpha=0,008$ ) [s]	Medium ( $\alpha=0,012$ ) [s]
Höjd på brandgaslager	460	370	350
Temperatur över 80 °C	720	470	410



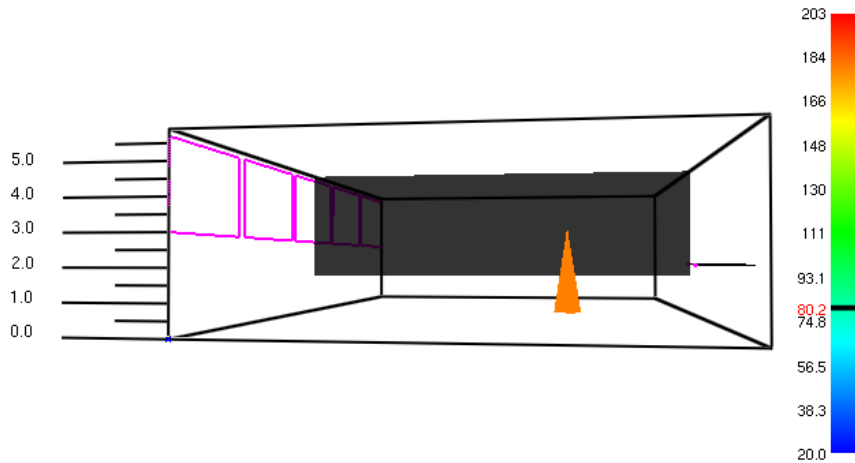
Frame: 37

Time: 370.0

Figur 12 - Höjd på brandgaslager vid tiden 370 sekunder.

### Temperatur

90 sekunder senare har brandgaslagret sjunkit ytterligare och temperaturen överskridit acceptanskriteriet 80 °C, se Figur 13. Vid 720 sekunder uppnår brandgaslagret temperaturen 160 °C vilket är tillräckligt för att glasrutorna i B-hallen ska gå sönder och ventileras ut brandgaserna (Mowrer, 1998).



Frame: 46  
Time: 460.0

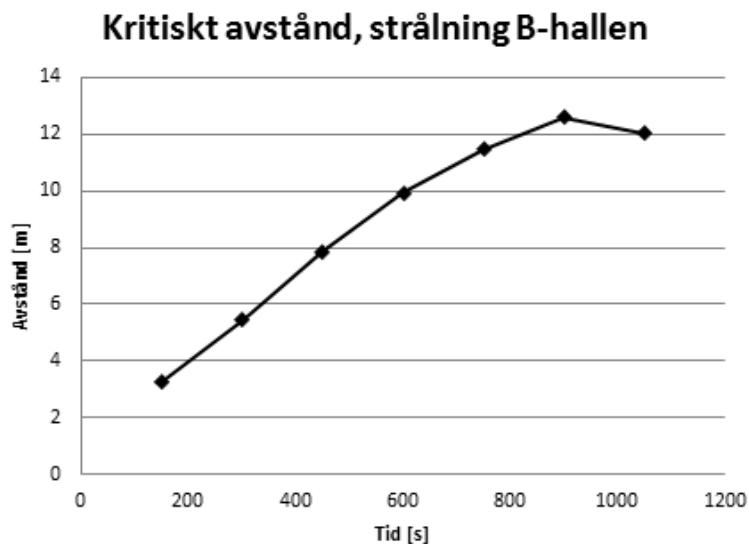
**Figur 13 - Brandgaslagrets temperatur vid tiden 460 sekunder.**

### Sikt

Acceptanskriteriet 10 meter på två meters höjd kontrolleras med hjälp av handberäkningar. Eftersom en tvåzonsmodell används kommer sikten inte vara försämrad under brandgaslagret, se bilaga 15 för tvåzonsmodellens giltighet. Därför kontrolleras kriteriet då brandgaslagret har sjunkit till 2 meter över golvet. Detta sker efter 400 sekunder och sikten vid den tidpunkten är 3,5 meter vilket överskrider acceptanskriteriet. För beräkningsgång se bilaga 14.

### Strålning

Acceptanskriteriet för strålning är  $2,5 \text{ kW/m}^2$  och utifrån den strålningen har ett tidsberoende kritiskt avstånd till branden tagits fram, se Diagram 10 nedan. För beräkningsgång se bilaga 14.



**Diagram 10 - Kritiskt avstånd med avseende på acceptanskriteriet strålning i B-hallen**

Slutsatser kring det kritiska avståndet dras i kombination med andra acceptanskriterier i sammanställningen i följande avsnitt.

### Sammanställning

I Tabell 13 nedan visas sammanställning av resultat för kritiska förhållanden i brandscenario *Brand i B-hallen vid övernattnig*. Enligt tidigare kapitel uppnås kritiska förhållanden då två av kriterierna har överskridits.

Tabell 13 Sammanställning kritiska förhållanden vid brand i B-hallen

Kriterium	Tid till kriterium uppnås			Kommentar
	Slow ( $\alpha=0,003$ ) [s]	Dimensionerande ( $\alpha=0,008$ ) [s]	Medium ( $\alpha=0,012$ ) [s]	
Brandgaslagrets höjd	460 s	370 s	350 s	
Sikt	510 s	400 s	370 s	
Strålning	-	-	-	Vid 510 sekunder som är längsta tiden till kritiska förhållanden är kritiska avståndet cirka 9 meter vilket inte anses omöjliggöra utrymning.
Temperatur	720 s	470 s	410 s	
<b>Tid till kritiska förhållanden</b>	<b>510 s</b>	<b>400 s</b>	<b>370 s</b>	

### 8.2.4 Jämförelse resultat och utrymningstid

I detta avsnitt kontrolleras skyddsmålet att alla i byggnaden ska hinna utrymma innan kritiska förhållanden uppstår för brandscenario *Brand i B-hallen vid övernattnig*. Verksamheten i detta scenario är övernattnig. Personer anses vara säkra då dessa har kommit ut från brandcellen där det brinner eftersom vidare utrymning anses ske under säkra förhållanden. Skyddsmålet uppnås om positivt värde erhålls ur ekvationen:

$$Tidsmarginalen = t_{kritisk} - t_{utrymning} = t_{kritisk} - t_{varseblivning} - t_{förberedelse} - t_{förflyttning}$$

Tabell 14 - Sammanställning för tidsmarginalen vid brand i B-hallen. Negativa tider betyder att alla personer ej hinner utrymma medan positiva betyder att alla personer hinner innan kritiska förhållanden uppstår.

$t_{krit}$	$t_{varseblivning}$	$t_{förberedelse} + t_{förflyttning}$	$t_{utrymning}$	Tidsmarginal
400	90	140	230	+170

### 8.2.5 Osäkerheter

Vid utvärderingen av brandskyddet för detta scenario har ett antal förenklingar gjorts, samt att datorprogram så som CFAST och Simulex använts som har egna förenklingar, se bilaga 17. I detta avsnitt diskuteras osäkerheter specifika för detta scenario. En känslighetsanalys görs i slutet av avsnittet.

#### Tid till kritiska förhållanden

För att ta hänsyn till osäkerheter i framtagandet av den dimensionerande branden har olika värden för tillväxthastigheten prövats. Tillväxthastigheten som tagits fram för den dimensionerande branden används dock som den mest troliga. Eftersom packning som en person har med sig varierar mellan person till person så är denna osäkerhet svår att minska.

#### Utrymningstiden

Personer som vistas i B-hallen kan möjligen upptäcka branden tidigare än då en detektor larmar vilket skulle ge en kortare varseblivningstid. Men eftersom dessa personer kan sova när larmet går så kan tiden även vara längre. Tiderna för detektion har dock stor varians i denna lokal och osäkerheten anses inte gå förlorad då fördelningen över detektionstiden används. Det finns osäkerheter i förberedelsetiden eftersom resonemanget som förs är kvalitativt och det inte finns fakta kring situationen med övernattnig i en större lokal. Det anses dock att den ansatta förberedelsetiden är representativ. Då det vistas relativt lite folk i lokalen i detta scenario och förflyttningstiden till att

dessa är ute ur brandcellen är kort relativt hela utrymningstiden, anses osäkerheter i detta fall inte påverka resultatet nämnvärt.

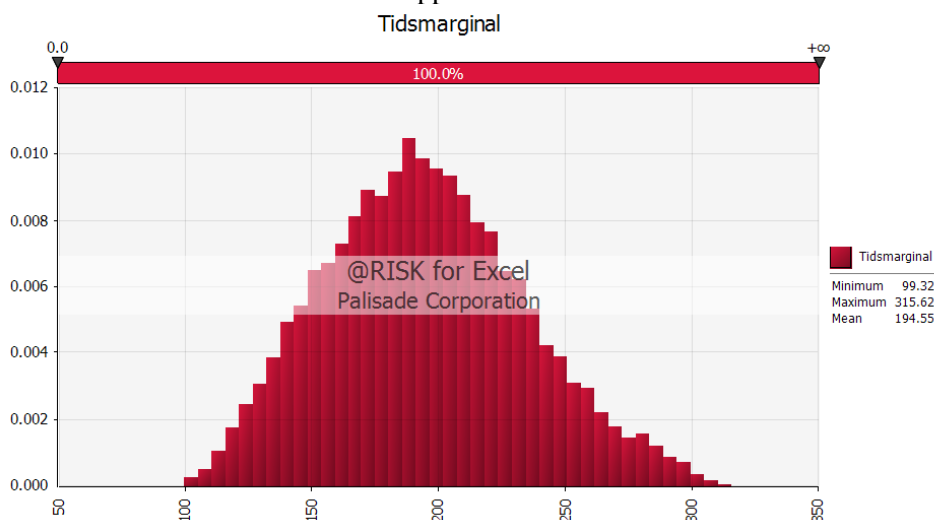
### Känslighetsanalys

För att underlätta diskussion kring åtgärder så genomförs en känslighetsanalys för brandscenariot *Brand i B-hallen vid övernattnig*. I stället för att använda fasta värden, så som medelvärden och troliga värden på varje parameter, så används nu fördelningar vilket kan ses i Tabell 15.

**Tabell 15 - Fördelningar som använts vid känslighetsanalys av tidsmarginalen för Brand i B-hallen**

Parameter	Fördelning	Tid [s]
Tid till kritiska förhållanden	Triangel (min,trolig,max)	370;400;510
Varseblivningstid	Uniform (min;max)	49;136
Förberedelsetid + Förflyttningstid	Fast värde (förberedelsetid triangelfördelad i simulering)	140

Resultat för tidsmarginalen vid användning av fördelningar på parametrar kan ses i Diagram 11. Negativa tider betyder att alla personer ej hinner utrymma medan, positiva betyder att alla personer hinner innan kritiska förhållanden uppstår.



**Diagram 11 - Tidsmarginal vid Brand i B-hallen vid övernattnig. Tidsmarginal på x-axeln och andel på y-axeln.**

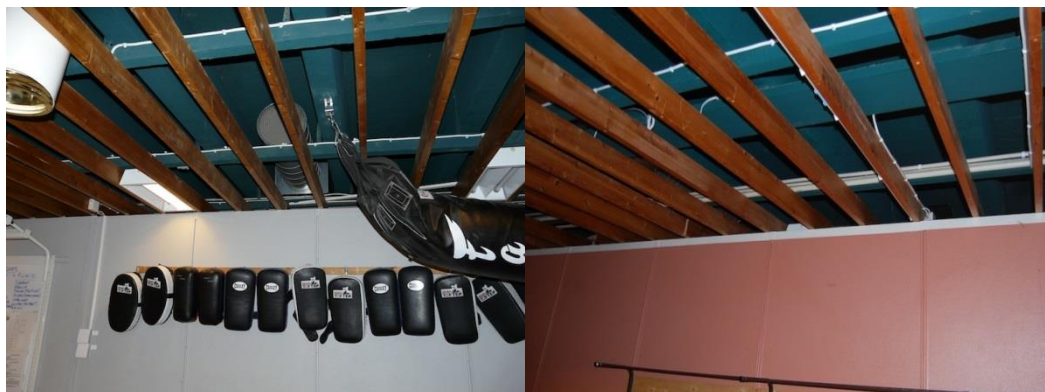
I Diagram 11 kan det ses att i 100 % av iterationerna blir tidsmarginalen positiv. Detta ger att alla personer i byggnaden hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår och skyddsålet alltid uppnås.

### 8.2.6 Åtgärdsförslag

I denna lokal anses det inte vara nödvändigt att göra några åtgärder för att kunna uppfylla skydds målen. Anledningen till att inga åtgärder behövs beror på att tidsmarginalen i förhållande till utrymningstiden är positiv, se kapitel 8.2.4. Dessutom visar känslighetsanalysen, se kapitel 8.2.5, på att variationen ligger inom ett positivt intervall. Dock finns det en utrymningsskylt som inte är aktuell då nödutgången inte är giltig längre. Skylten är visserligen urkopplad men det rekommenderas att plocka bort den för att inte vilseleda vid en utrymningssituation.

### 8.3 Brand i karatehallen vid övernattnig eller uppdukad lokal (29)

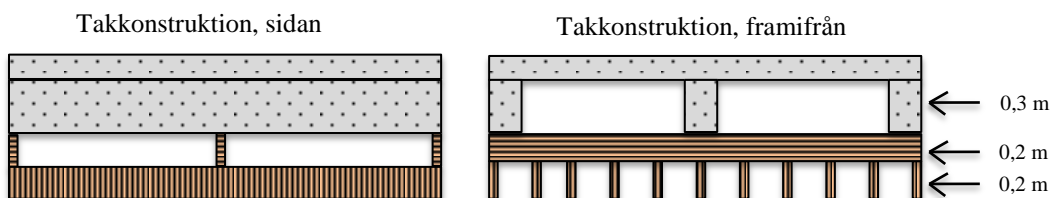
Brandscenarierna *brand i karatehallen vid övernattnig* och *brand i karatehallen vid uppdukad lokal* har valts ut för ytterligare analys efter grovanalysen. Den primära anledningen till att dessa scenarier valts ut är karatehallens placering i förhållande till foajén och dess brist på innertak. Eftersom karatehallen saknar innertak kommer brandgaser från en brand i lokalen enkelt kunna sprida sig till den angränsande foajén.



**Bild 8** – Den vänstra bilden är tagen inifrån karatehallen och den högra är tagen utifrån.

Foto: Oliver Walsh & Jonathan Rosenqvist, LTH

Bild 8 illustrerar tydligt bristen på innertak i karatehallen, det enda som finns i takhöjd är en träbjälkkonstruktion som inte kommer att förhindra rökspridningen vid brand. Träbjälkarna är 0,2 meter höga och ligger i två lager korsvis ovanpå varandra. På bilden kan även den underliggande betongkonstruktion urskiljas som består av långsgående balkar som ligger utantill på en betongplatta. Betongbalkarna har en höjd på 0,3 meter och det är en meter mellan varje balk.



**Figur 14** – Takkonstruktionen sedd från sidan och framifrån. Material uppifrån och ner, betongplatta – betongbalk – träbalk – träbalk.

Illustration: Jonathan Rosenqvist, LTH

Karatehallen har som tidigare nämnts byggts till inne i foajén och har precis som några av de andra hallarna i Motala sporthall flera användningsområden. Den fungerar som träningslokal, sovsal vid övernattningar, garderob vid konserter och det går även att ha sittningar med uppdukade bord.

Lokalen har storleken 12 x 10,5 meter, vilket utgör en golvyta på 126 m<sup>2</sup>. Höjden i lokalen är 2,5 meter till träbjälkarna, vilket även är höjden på de omslutande väggarna. Höjden till betongplattan är 3,2 meter. Tre av väggarna utgörs av tunna träskivor och en vägg består av glasfönster och en dörr som vetter ut mot det fria. Längs med väggen som har fönster och en dörr hänger draperier och jackor. De tre andra väggarna är till största del tomma bortsett från en del träningsutrustning som är upphängd, se vänstra bilden i Bild 8.

Hela golvet i karatehallen utgörs av en mjukare skumgummimatta som skyddar utövarna från att skada sig. Mattan har ett tunt vattenavvisande galonmaterial som innesluter skumgummit, se Bild 9 nedan för en övergripande bild av karatehallen.





**Bild 9 - Övergripande bild av karatehallen.**

Foto: Oliver Walsh, LTH

Diagram 2 i kapitel 4 visar på att de flesta bränder startar i sporthallar på så kallad *annan plats*, karatehallen kan vara en av dessa platser. Orsaker till att en brand utbryter i karatehallen är delvis kopplad till verksamheten, men det finns även möjligheten för anlagd brand eller elfel. Detta styrks av Diagram 1 i kapitel 4, som inte nödvändigtvis behöver vara kopplad till verksamhet. Det som benämns *övrigt* i Diagram 1 i kapitel 4 kan till exempel vara en kvarglömd hårtång vid övernattning eller ett ljus som vält från ett bord vid uppdukad lokal.

### **8.3.1 Dimensionerande brand, uppdukad lokal**

Vid verksamheten *uppdukad lokal* är det tillåtet att ha 120 personer i lokalen, se Tabell 1 i kapitel 2. Brandbelastningen är betydligt högre än vid ”normal användning” på grund av de bord, stolar, dukar också vidare som krävs vid en sittning. Diagram 12 visar effektutvecklingskurvan för den dimensionerande branden.



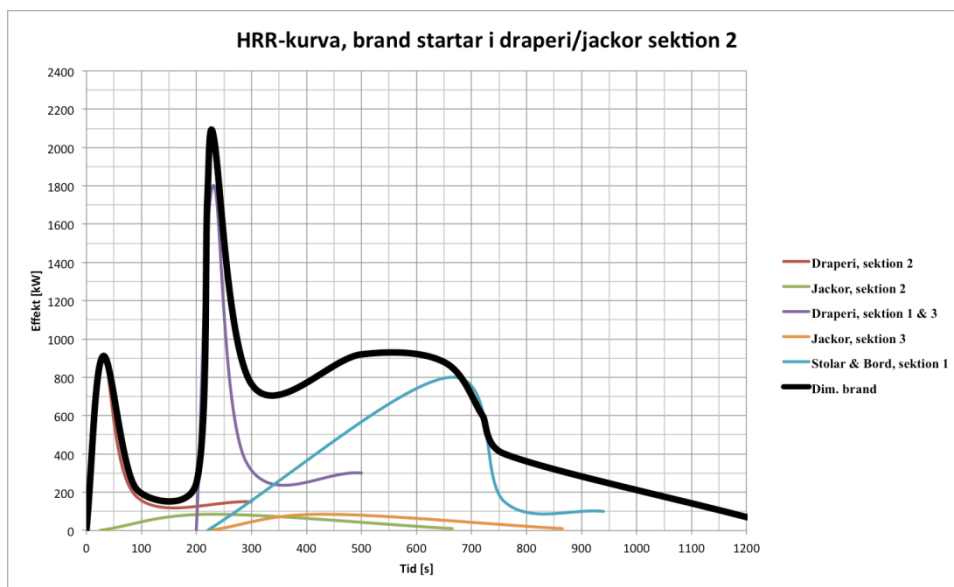


Diagram 12 - Effektutvecklingskurva, brand startar i draperi/jackor sektion 2. Dimensionerande brand är representerad av den svarta linjen.

Maxeffekten som uppnås är 2075 kW vid 230 sekunder efter antändning. För beräkningar av effektutvecklingskurvan se bilaga 11.

### 8.3.2 Dimensionerande brand, övernattnig

I karatehallen är det enligt branddokumentationen, se Tabell 1 kapitel 2, tillåtet att ha 30 personer förlagda vid övernattnig. Om varje person har med sig material i form av sovsäckar, luftmadrasser, kuddar och liknande gör det att brandbelastningen ökar ordentligt jämfört med *normal användning*.

Effektutvecklingen kommer att tillväxa exponentiellt precis som i Diagram 9 som representerar en brand vid övernattnig i B-hallen. Dock kommer maxeffekten inte att var lika hög, på grund av att det finns mindre brännbart material, än i scenariot i B-hallen. Dessutom kommer aldrig en effektutvecklingen högre än 6,1 MW kunna uppnås i lokalen eftersom det är då övertändning sker, se bilaga 12. Utifrån Diagram 9 och beräkningarna i bilaga 10 uppskattas effektutvecklingen att öka exponentiellt upp till 6,1 MW efter cirka 1000 sekunder. Effektutvecklingen kommer sedan ligga kvar på en konstant effekt på 6,1 MW, se bilaga 13.

Slutsatsen som kan dras av det givna resonemanget är att en brand vid verksamheten övernattnig troligtvis är värre än vid verksamheten uppdukad lokal.

### 8.3.3 Ventilation

Karatehallen är förbunden med boxningshallen, kontor och foajén via ett gemensamt ventilationssystem kopplat till samma aggregat. Två rökdetektorer är installerade i frånluftskanalen respektive tilluftskanalen. Rökdetektorerna är placerade i de stora ventilationskanalerna. De stora ventilationskanalerna förgrenar sig sedan till mindre ventilationskanaler in i de olika lokalerna. Av denna anledning finns risk för brandgasspridning mellan dessa utrymmen vid en eventuell brand. Vid detekterad brand i B-hallen så kommer luftbehandlingsaggregatet att stängas av. Till- och frånluftskanaler har inte utrustats med brandgasspjäll. Det noterades under platsbesöket att fläktrummet som ligger i foajén inte är brandtekniskt avskilt från angränsande kontor och foajé, läs mer om detta i kapitlet 8.3.7.

### 8.3.4 Resultat

Nedan följer resultat av handberäkningar och simuleringar. För att se ingående beräkningar för sikt, brandgaslagrets höjd och temperatur se bilaga 16.

### Brandgaslagrets höjd

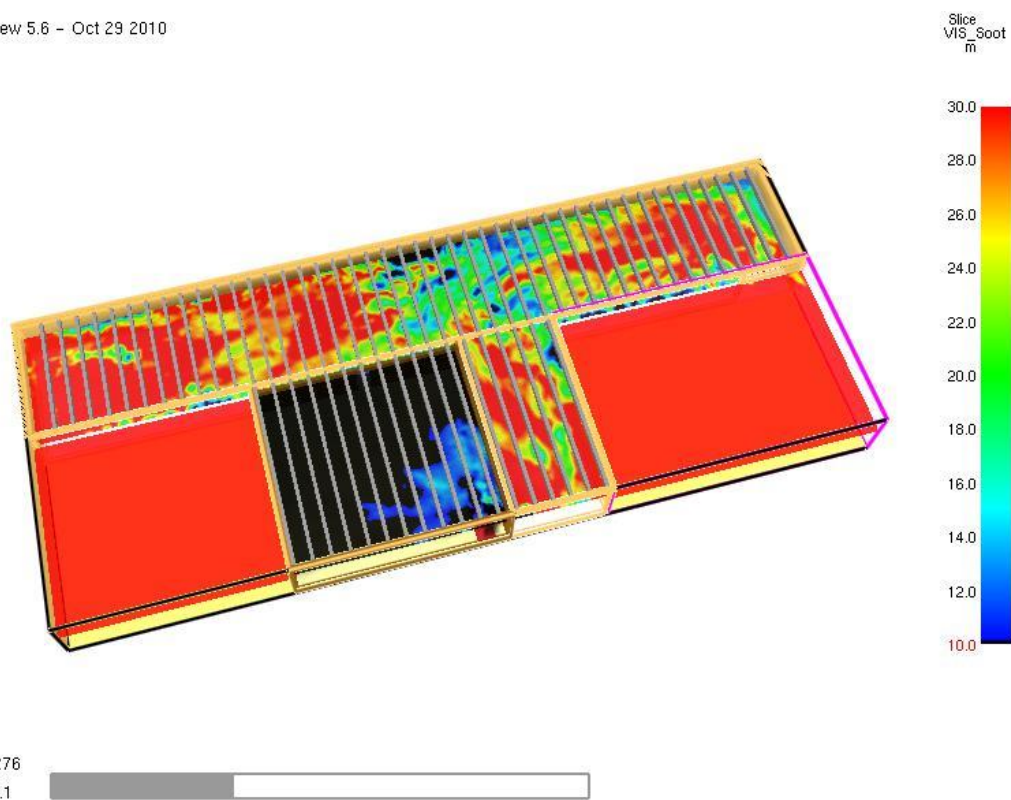
Utifrån simuleringarna som har gjorts i FDS kan brandgaslagrets höjd beräknas på olika punkter i karatehallen, foajén och vid entrén. Brandgaslagret får inte understiga höjden 1,92 meter enligt definitionen av acceptanskriterierna i kapitel 6.2. Det finns två olika simuleringar att tillgå som är gjorda med två olika sotpotentialer. Det visade sig att sotpotentialen inte påverkar tiden tills acceptanskriterierna överskrids något nämnvärt, se bilaga 16 för ingångsparameterar och bilaga 19 för FDS kod.

Efter 55 sekunder överskrids acceptanskriteriet för alla mätpunkter i karatehallen.

### Sikt

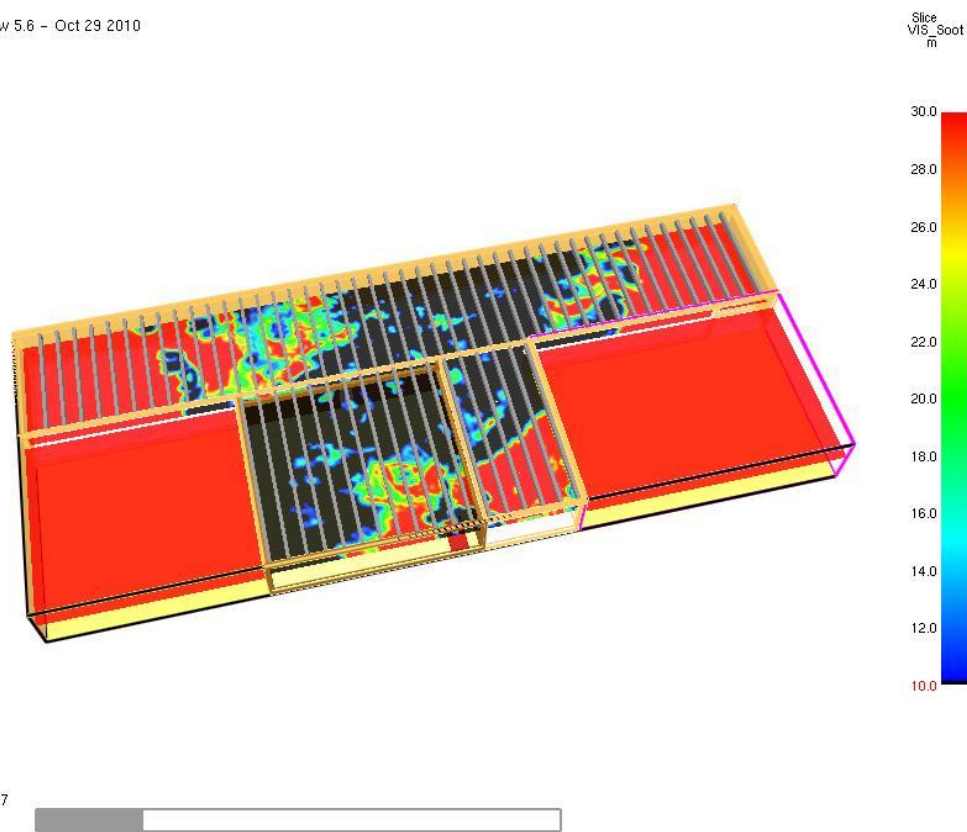
Enligt definitionen av acceptanskriterierna i kapitel 6.2 får inte sikten understiga 10 meter. För karatehallen har två olika sotpotentialer, 0,015 och 0,075, undersökts för att kontrollera skillnaderna i sikt. I Figur 15 och Figur 16 nedan kan tiderna tills acceptanskriterierna överskrids observeras.

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



**Figur 15 - Sikt med sotpotential 0,015. Det som är svart i figuren har en sikt på 10 meter eller mindre. Vid tiden 80 sekunder anses karatehallen inte uppfylla acceptanskriteriet för sikt längre.**

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



**Figur 16 - Sikt med sotpotential 0,075. Det som är svart i figuren har en sikt på 10 meter eller mindre. Vid tiden 50 sekunder anses karatehallen inte uppfylla acceptanskriteriet för sikt längre.**

Med en rökpotential på 0,015 överskrids acceptanskriteriet efter 80 sekunder och med en rökpotential på 0,075 tar det 50 sekunder.

### Strålning

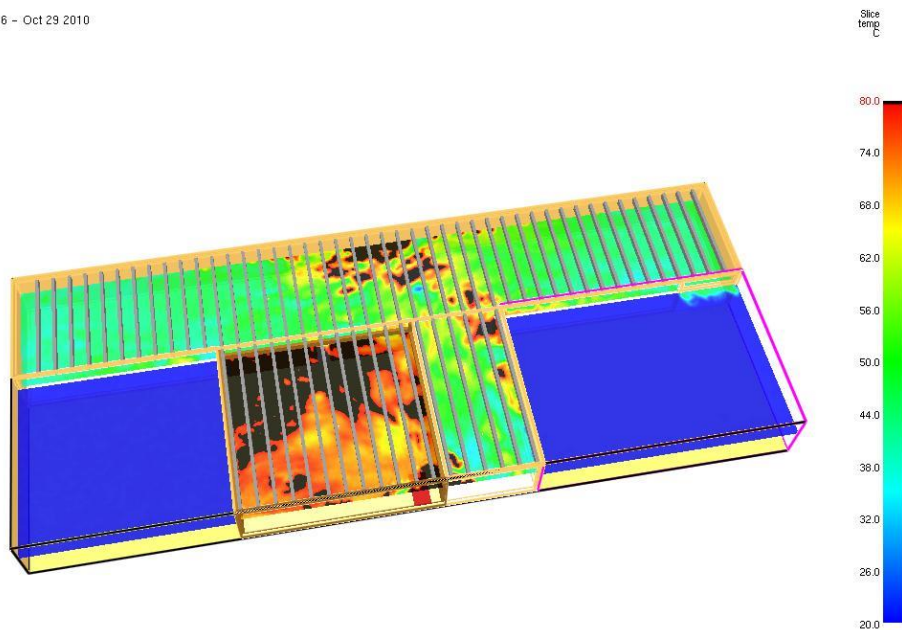
Utifrån beräkningar i bilaga 12 har ett kritiskt avstånd för verksamheten uppdukad lokal tagits fram, avståndet är 2,9 meter. Avståndet har tagits fram vid tiden 162 sekunder eftersom det är den maximala tid det tar att utrymma lokalen, se bilaga 14. Detta avstånd anses inte omöjliggöra utrymning.

För verksamheten övernattning har strålningen samma tidsberoende kritiska avstånd som i Diagram 10 beroende på vilken tid som undersöks. Vid 162 sekunder är det kritiska avståndet cirka 3 meter vilket inte anses omöjliggöra utrymning.

### Temperatur

Enligt definitionen av acceptanskriterierna i kapitel 6.2 får inte temperaturen vara 80 °C eller högre. För karatehallen har två olika sotpotentialer, 0,015 och 0,075, undersökts för att kontrollera ifall det påverkar temperaturen i brandgaslagret på höjden 2 meter. I Figur 17 och Figur 18 nedan kan tiderna tills acceptanskriterierna överskrids ses.

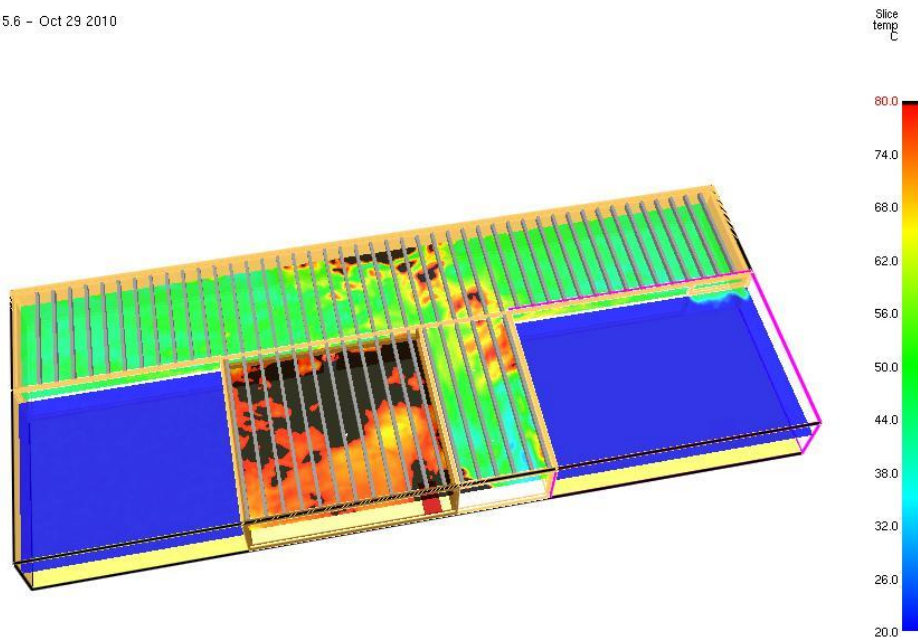
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 850  
Time: 255.0

**Figur 17 – Temperatur i brandgaslagret på höjden 2 meter, sotpotential 0,015. Det som är svart i figuren har en temperatur på 80 °C eller högre. Vid tiden 255 sekunder anses karatehallen inte uppfylla acceptanskriteriet för temperatur längre.**

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 900  
Time: 270.0

**Figur 18 – Temperatur i brandgaslagret på höjden 2 meter, sotpotential 0,075. Det som är svart i figuren har en temperatur på 80 °C eller högre. Vid tiden 270 sekunder anses karatehallen inte uppfylla acceptanskriteriet för temperatur längre.**

Med en rökpotential på 0,015 överskrids acceptanskriteriet efter 255 sekunder och med en rökpotential på 0,075 tar det 270 sekunder.

### Sammanställning

I Tabell 16 nedan visas sammanställning av resultat för kritiska förhållanden i brandscenerierna *Brand i karatehallen vid övernattning* och *brand i karatehallen vid uppdukad lokal*. Enligt tidigare avsnitt uppnås kritiska förhållanden då två av kriterierna har överskridits. På grund av bristen på innertak uppstår kritiska förhållanden samtidigt inne i karatehallen som i foajén.

Tabell 16 - Sammanställning kritiska förhållanden vid brand i karatehallen vid övernattning och uppdukad lokal

Kriterium	Tid till kriterium uppnås		Kommentar
	Sotpotential 0,015	Sotpotential 0,075	
Brandgaslagrets höjd	55 s	55 s	Sotpotentialen påverkar inte nämnvärt tiden
Sikt	80 s	50 s	
Strålning	-	-	Kriteriet för strålning överskrids inte inom tiden tills lokalen är utrymd.
Temperatur	255 s	270	
<b>Tid till kritiska förhållanden</b>	<b>80 s</b>	<b>55 s</b>	<b>Medelvärde: 70 sekunder (avrundat till närmsta 5 sekunder)</b>

### 8.3.5 Jämförelse resultat och utrymningstid

I detta avsnitt kontrolleras skyddsmålet att alla i byggnaden ska hinna utrymma innan kritiska förhållanden uppstår då brandscenerierna *Brand i karatehallen vid övernattning* och *Brand i karatehallen vid uppdukad lokal* sker. Personer anses vara säkra då dessa har kommit ut från brandcellen där det brinner eftersom vidare utrymning anses ske under säkra förhållanden. Personer som utrymmer A-hallen via foajén anses säkra då dessa har kommit ut ur byggnaden. Skyddsmålet uppnås om positivt värde erhålls ur ekvationen:

$$Tidsmarginalen = t_{kritisk} - t_{utrymning} = t_{kritisk} - t_{varseblivning} - t_{förberedelse} - t_{förflyttning}$$

Tabell 17 - Sammanställning för tidsmarginalen vid brand i karatehallen vid övernattning och uppdukad lokal. Negativa tider betyder att alla personer ej hinna utrymma innan kritiska förhållanden uppstår.

Verksamhet	Kommentar	$t_{krit}$	$t_{varseblivning}$	$t_{förberedelse} + t_{förflyttning}$	$t_{utrymning}$	Tidsmarginal
Övernattning	Gäller personer i karatehallen	70	20	140	160	<b>-90</b>
Övernattning	Gäller personer i A-hallen	70	20	620	640	<b>-570</b>
Uppdukad lokal	Gäller personer i karatehallen	70	20	80	100	<b>-30</b>
Uppdukad lokal	Gäller personer i A-hallen	70	20	410	430	<b>-360</b>

### 8.3.6 Osäkerheter

Under utvärderingen av brandskyddet för detta scenario har ett antal förenklingar gjorts, samt att datorprogram så som FDS och Simulex använts som har egna förenklingar, se bilaga 17.

#### Tid till kritiska förhållanden

I detta scenario har osäkerheter kring sotproduktionen tagits hänsyn till genom att använda två olika värden. Detta ger ett intervall för tiden till kritiska förhållanden.

#### Utrymningstiden

Personer som vistas i karatehallen kan möjligen upptäcka branden tidigare än då en detektor larmar vilket skulle ge en kortare varseblivningstid. Men tiderna för detektion är redan kort för denna lokal. Vid övernattning så vaknar eventuellt sovande personer inte av larmet men det anses troligt att de gör det. Förberedelse tiden för sovande personer är svår att uppskatta enligt resonemang i kapitel 7.4. Då det vistas relativt lite folk i lokalen i detta scenario och förflyttningstiden till att dessa är ute ur

brandcellen är kort relativt hela utrymningstiden anses osäkerheter i detta fall inte påverka resultatet nämnvärt.

### Känslighetsanalys

För att underlätta diskussion kring åtgärder så genomförs en känslighetsanalys för brandscenariot *Brand i karatehallen vid övernattning och uppdukad lokal*. I stället för att använda fasta värden, som till exempel medelvärden och troliga värden, på varje parameter används istället fördelningar vilket kan ses i Tabell 18 och Tabell 19.

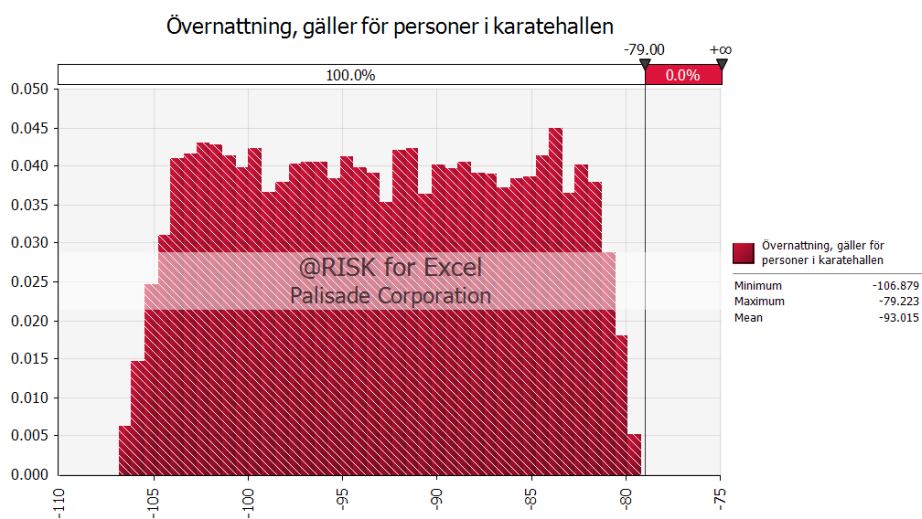
**Tabell 18 - Fördelningar som använts vid känslighetsanalys av tidsmarginalen för *Brand i karatehallen vid övernattning*.**

Parameter	Fördelning	Tid [s]	
		Personer i karatehall	Personer som utrymmer via foajé
Tid till kritiska förhållanden	Uniform(min;max)	55;80	55;80
Varseblivningstid	Uniform(min;max)	19;22	19;22
Förberedelsetid + Förflyttningstid	Fast värde (förberedelsetid triangelfördelad i simulering)	140	620;660

**Tabell 19 - Fördelningar som använts vid känslighetsanalys av tidsmarginalen för *Brand i karatehallen vid uppdukad lokal*.**

Parameter	Fördelning	Tid [s]	
		Personer i karatehall	Personer som utrymmer via foajé
Tid till kritiska förhållanden	Uniform(min;max)	55;80	55;80
Varseblivningstid	Uniform(min;max)	19;22	19;22
Förberedelsetid + Förflyttningstid	Fast värde	80	410;460

Resultat för tidsmarginalen vid användning av fördelningar på parametrar kan ses i Diagram 13 - Diagram 16. Negativa tider betyder att alla personer ej hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår.



**Diagram 13 - Tidsmarginal för *Brand i karatehallen vid övernattning*. Gäller för personer som befinner sig i karatehallen. Tidsmarginal på x-axeln och andel på y-axeln.**



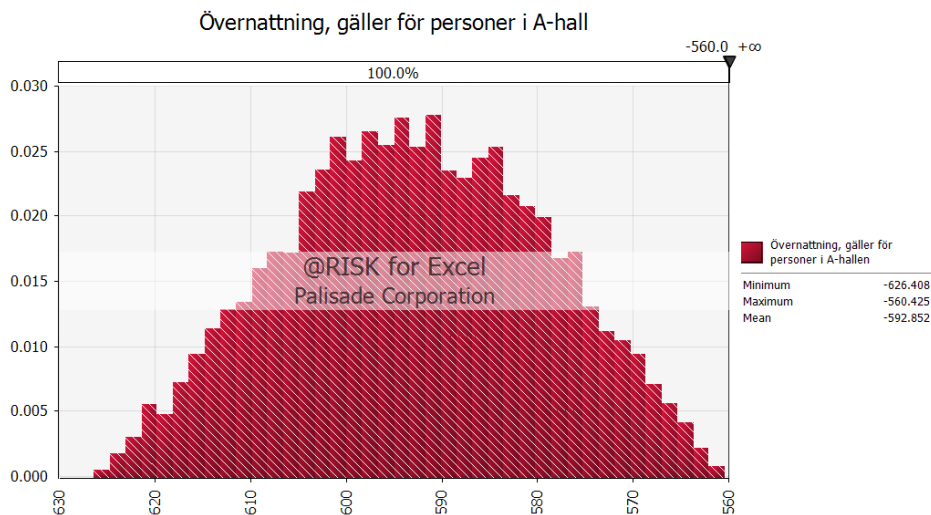


Diagram 14 - Tidsmarginal för Brand i karatehallen vid övernattning. Gäller för personer som befinner sig i A-hallen. Tidsmarginal på x-axeln och andel på y-axeln.

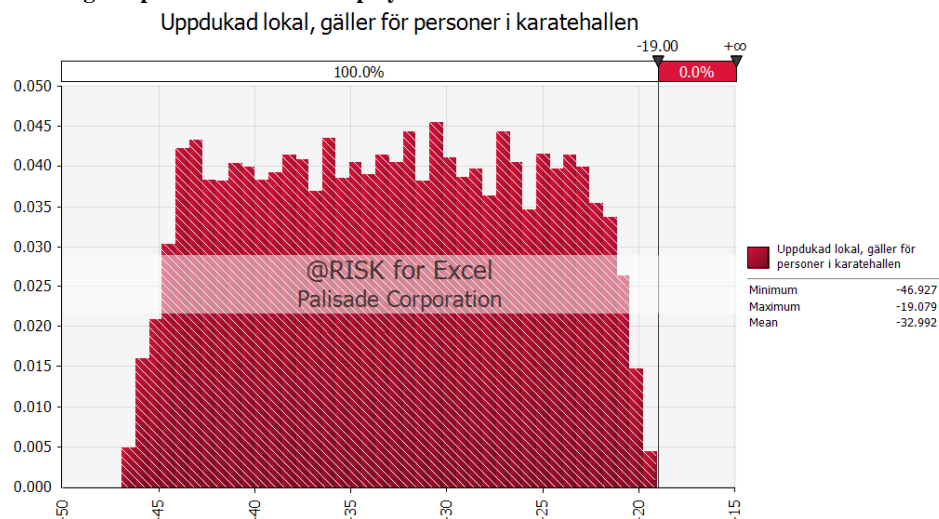


Diagram 15 - Tidsmarginal för Brand i karatehallen vid uppdukad lokal. Gäller för personer som befinner sig i karatehallen. Tidsmarginal på x-axeln och andel på y-axeln.

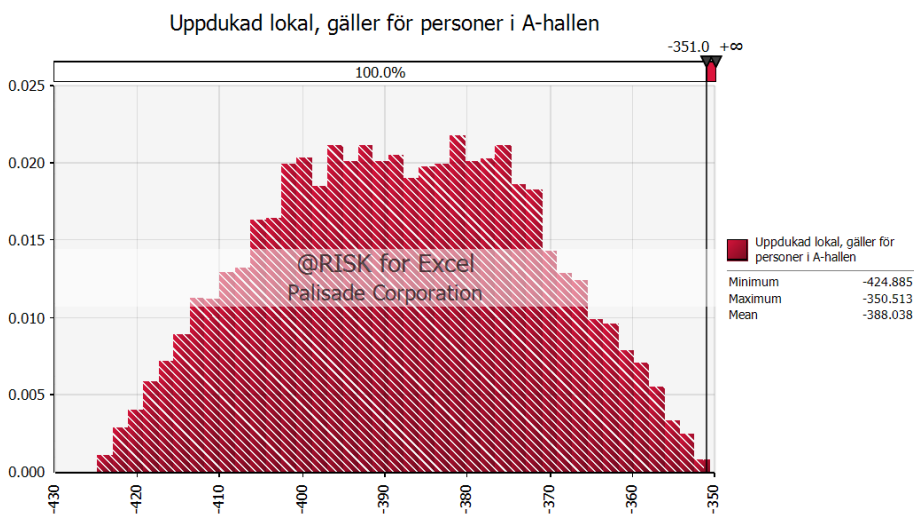


Diagram 16 - Tidsmarginal för Brand i karatehallen vid uppdukad lokal. Gäller för personer som befinner sig i A-hallen. Tidsmarginal på x-axeln och andel på y-axeln.

I Diagram 13 och Diagram 15 kan det ses att i 100 % av iterationerna för bägge fallen blir tidsmarginalen negativ vilket tyder på att brandens tillväxt är alltför hög. Det eftersom utrymningstiden redan är relativt kort. För personer som utrymmer via foajén kan det ses i Diagram 14 och Diagram 16 att tidsmarginalen även för dessa personer blir negativ. Då det är många personer som utrymmer via foajén blir tidsmarginalen väldigt mycket negativ och det behövs vinna mycket tid för att kunna åstadkomma en positiv marginal.

### **8.3.7 Åtgärdsförslag**

Som viktigaste åtgärd för karatehallen rekommenderas det att göra om den till en egen brandcell i EI30. Detta anses vara den mest rimliga åtgärd för att kunna garantera en säker utrymning från de övriga lokalerna på grund av brandgasspridningen till utrymningsvägarna. Denna åtgärd löser problematiken med brandgasspridningen oavsett om brandbelastning för karatehallen är kraftigt förhöjd, såsom när den används som garderob.

Vidare kan funnen problematik som karatehallen orsakar i foajén även uppstå i övriga angränsande lokaler som tagits upp i grovanalysen. Potentiella lokaler som utgör risk för detta, utöver karatehallen, och även hamnade högt upp i riskmatrisen är caféet, boxningshallen och bordtennishallen. Brand i dessa utrymnen kommer förmodligen ej att orsaka kraftigare bränder än den i karatehallen. Dock kan risk för att foajén påverkas av brand i dessa lokaler ej uteslutas. Därför rekommenderas att hela foajén bör ses över så att angränsande utrymnen ej orsakar liknande scenarier som det i karatehallen.

Dock skulle ombyggnation av lokalen inte lösa problematiken för de personerna som kan befinna sig i karatehallen vid en brand. Både detektion av brand samt utrymningstiden för karatehallen är förhållandevis korta och anses inte kunna påverkas i någon större utsträckning. Som åtgärd rekommenderas istället att draperiet som täcker glasväggen plockas bort. Detta görs för att minska effektutvecklingen av branden i det tidiga skedet. Som ersättning för insynsskydd föreslås istället ett alternativ med lägre brandbelastning och effektutveckling, såsom exempelvis persienner eller en mörkläggande film.



## 8.4 Garderobsverksamhet i karatehallen (30)

Vid större evenemang används karatehallen som garderob, detta har stor inverkan på brandbelastning i lokalen. Kläder brinner väldigt snabbt och antänds lätt. Diagram 17 redovisar effektutvecklingskurvan för den dimensionerande branden.

### 8.4.1 Dimensionerande Brand

För beräkningar av effektutvecklingskurvan se bilaga 12. Maxeffekten som uppnås är 6,1 MW vid 220 sekunder efter antändning, det är även då det blir övertändning i lokalen. Effektutvecklingskurvan kan ses i Diagram 17 nedan.

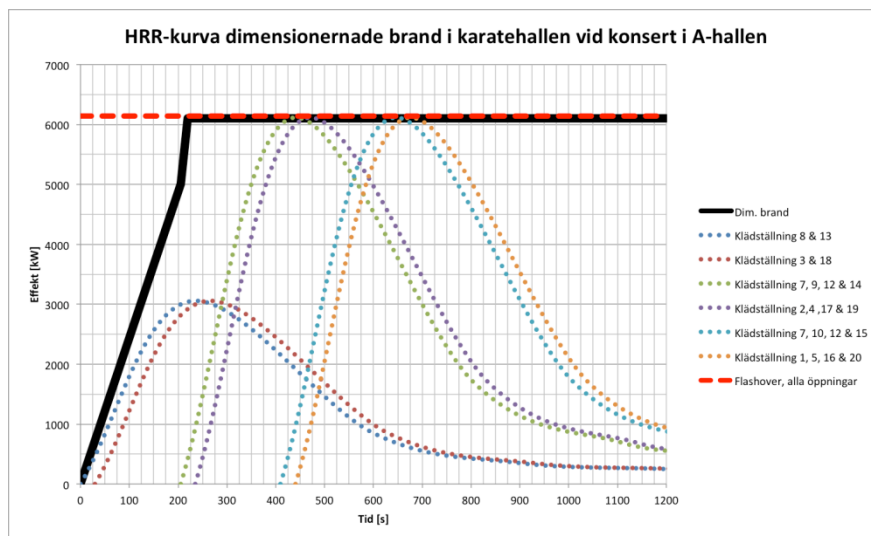


Diagram 17- Effektutvecklingskurva, brand startar i draperi/jackor sektion 2. Dimensionerande brand är representerad av den svarta linjen.

Slutsatsen av beräkningarna i bilaga 12 och Diagram 17 är att en brand i karatehallen när den används som garderob har en betydligt brantare tillväxt än för scenarierna uppdukad lokal eller övernattning. Detta gör att garderobverksamhet är den värsta typen av verksamhet, med avseende på effektutveckling, som kan ske i karatehallen.

### 8.4.2 Ventilation

Se kapitel 8.3.3.

### 8.4.3 Resultat

Nedan följer resultat av handberäkningar och simuleringar. För att se ingående beräkningar för sikt, brandgaslagrets höjd och temperatur se bilaga 16.

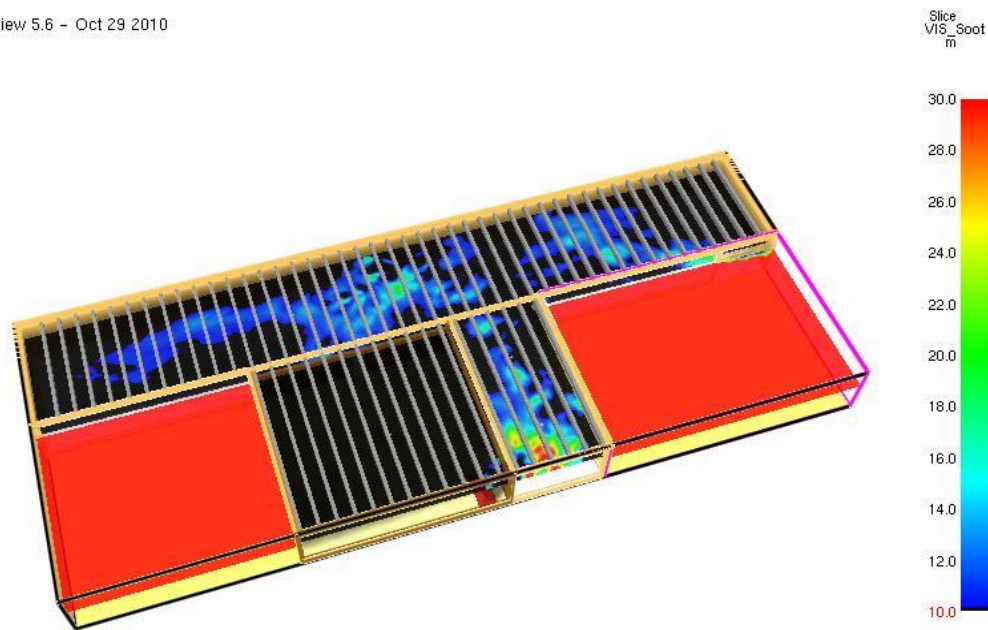
#### Brandgaslagrets höjd

Samma parametrar och höjd på brandgaslagret som anges i kapitel 8.3.4 *Strålning* gäller för garderobsbranden. Efter 112 sekunder överskrider acceptanskriteriet för alla mätpunkter i karatehallen.

#### Sikt

Samma parametrar och sotpotentialer som anges i kapitel 8.3.4 gäller för garderobsbranden. Eftersom FDS inte kan simulera övertändning används den dimensionerande branden som anges i kapitel 8.3.1. Skillnaden kommer vara att brandförloppet är snabbare och med högre maxeffekt vid en garderobsbrand, detta kommer givetvis påverka resultaten. Tanken är att påvisa att den mindre dimensionerande branden som tagits fram i kapitel 8.3.1 överskrider acceptanskriterierna, om den gör det så kommer även garderobsbranden att göra det. Figur 19 och Figur 20 nedan kan tiderna tills acceptanskriterierna överskrider observeras.

Smokeyview 5.6 – Oct 29 2010

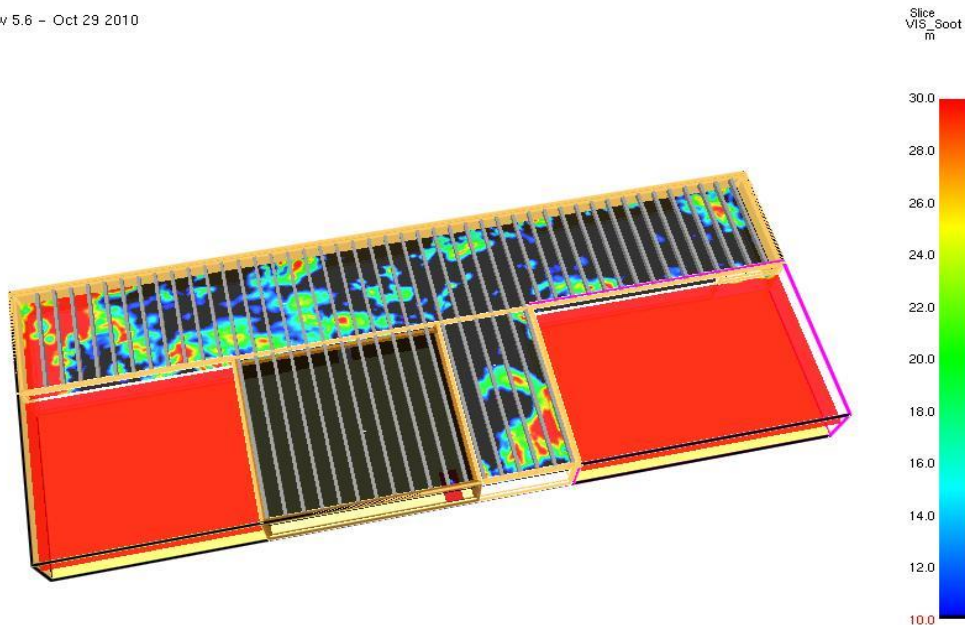


Frame: 476

Time: 140.1

**Figur 19 - Sikt med sotpotential 0,015. Det som är svart i figuren har en sikt på 10 meter eller mindre. Vid tiden 140 sekunder anses foajén inte uppfylla acceptanskriteriet för sikt längre.**

Smokeyview 5.6 – Oct 29 2010



Frame: 234

Time: 70.2

**Figur 20 - Sikt med sotpotential 0,075. Det som är svart i figuren har en sikt på 10 meter eller mindre. Vid tiden 70 sekunder anses foajén inte uppfylla acceptanskriteriet för sikt längre.**

Med en rökpotential på 0,015 överskrids acceptanskriteriet efter 140 sekunder och med en rökpotential på 0,075 efter 70 sekunder.

### Strålning

I karatehallen finns ett fönster som vetter ut mot foajén, fönstret är inte brandklassat vilket betyder att det kommer att spricka och gå sönder relativt snabbt vid en brand. Nedan ses en bild på fönstrets placering. Fönstret är 4 meter brett och 0,8 meter högt.



**Bild 10 - Bild av fönstret som vetter ut mot foajén är gulmarkerat.**

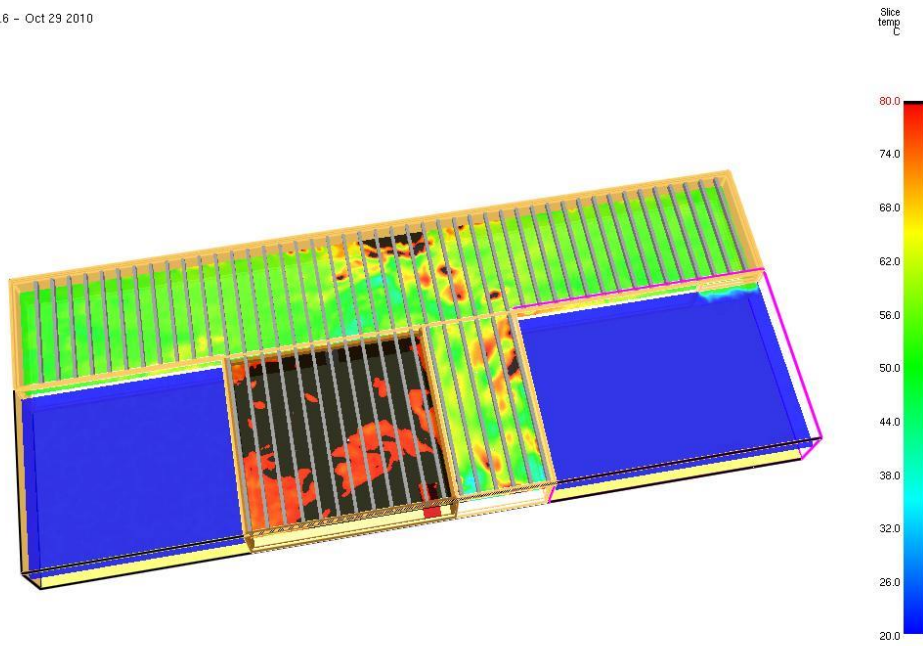
Foto: Jonathan Rosenqvist, LTH

Om en av de tre dimensionerande bränderna startar precis innanför fönstret kommer strålningen från branden att vara så stor att acceptanskriteriet för strålning kommer att överskridas. På avståndet 0 till 6,3 m från branden kommer acceptanskriteriet på  $2,5 \text{ kW/m}^2$  att överskridas, se bilaga 14 för beräkningar. Eftersom foajén utanför fönstret bara är 5,5 meter bred betyder det att folk inte kan utrymma säkert vid en brand i karatehallen.

### Temperatur

Samma parametrar och sotpotentialer som anges i kapitel 8.3.4 *Temperatur* gäller för garderobsbranden. Eftersom FDS inte kan simulera övertändning används den dimensionerande branden som anges i kapitel 8.3.1. Skillnaden är att brandförloppet är snabbare och med högre maxeffekt vid en garderobsbrand, detta kommer givetvis påverka resultaten. Figur 21 och Figur 22 nedan kan tiderna tills acceptanskriterierna överskrids ses.

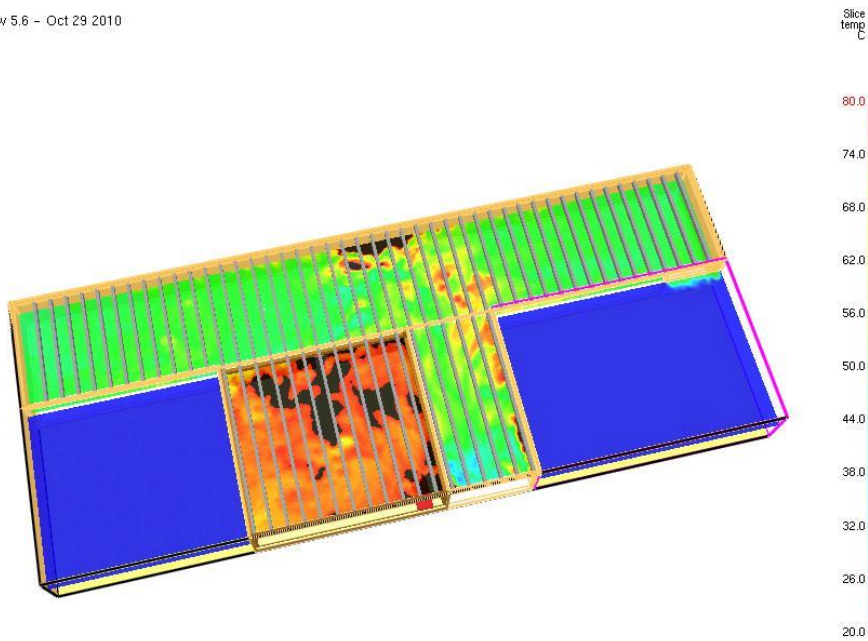
Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Frame: 1000  
Time: 300.0

**Figur 21 – Temperatur i brandgaslagret på höjden 2 meter, sotpotential 0,015. Det som är svart i figuren har en temperatur på 80°C eller högre. Vid tiden 300 sekunder har ännu inte acceptanskriteriet överskridits i foajén bortsett från på en mindre volym.**

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Frame: 1000  
Time: 300.0

Varken med en rökpotential på 0,015 eller 0,075 överskrids acceptanskriteriet efter 300 sekunder. Simuleringstiden har endast varit 300 sekunder på grund av att acceptanskriterierna för sikt, brandgaslagrets höjd och strålning redan har överskridits vid 300 sekunder.

### Sammanställning

I Tabell 20 nedan visas sammanställning av resultat för kritiska förhållanden i brandscenario *Garderobsverksamhet i karatehallen*. Enligt tidigare avsnitt uppnås kritiska förhållanden då två av kriterierna har överskridits.

Tabell 20 - Sammanställning kritiska förhållanden vid garderobsverksamhet i karatehallen.

Kriterium	Tid till kriterium uppnås		Kommentar
	Sotpotential 0,015	Sotpotential 0,075	
Brandgaslagrets höjd	112 s	112 s	
Sikt	140 s	70 s	Medelvärde för olika sotpotentialer
Strålning	>140 s	>140 s	Det tar längre tid än 140 sekunder att uppnå en kritisk strålningsnivå
Temperatur	-	-	Överskrids ej inom 300 sekunder
<b>Tid till kritiska förhållanden</b>	<b>140 s</b>	<b>112 s</b>	<b>Medelvärde: 125 sekunder (avrundat till närmsta 5 sekunder)</b>

### 8.4.4 Jämförelse resultat och utrymningstid

I detta avsnitt kontrolleras skydds målet att alla i byggnaden ska hinna utrymma innan kritiska förhållanden uppstår för brandscenario *Garderobsverksamhet i karatehallen*. Detta sker då konsert-/klubbverksamhet hålls i A-hallen. Personal bemannar garderoben antas hinna ut innan kritiska förhållanden uppstår. Personer som utrymmer A-hallen via foajén anses säkra då dessa har kommit ut ur byggnaden. Skydds målet uppnås om positivt värde erhålls ur ekvation:

$$Tidsmarginalen = t_{kritisk} - t_{utrymning} = t_{kritisk} - t_{varseblivning} - t_{förberedelse} - t_{förflyttning}$$

Tabell 21 - Sammanställning för tidsmarginalen vid garderobsverksamhet i karatehallen. Negativa tider betyder att alla personer ej hinna utrymma medan positiva betyder att alla personer hinna innan kritiska förhållanden uppstår.

	$t_{krit}$ [s]	$t_{varseblivning}$ [s]	$t_{förberedelse} + t_{förflyttning}$ [s]	$t_{utrymning}$ [s]	Tidsmarginal [s]
2000 personer	125	20	670	690	<b>-565</b>
1200 personer	125	20	530	550	<b>-425</b>
800 personer	125	20	420	440	<b>-315</b>

### 8.4.5 Osäkerheter

Under utvärderingen av brandskyddet för detta scenario har ett antal förenklingar gjorts samt att datorprogram så som FDS och Simulex använts som har egna förenklingar. Dessa bidrar till, i olika omfattning, osäkerheter i resultatet, se bilaga 17. Vissa osäkerheter har tagits hänsyn till kvantitativt medan andra diskuteras kvalitativt. Vidare i detta avsnitt diskuteras osäkerheter specifika för detta scenario. En känslighetsanalys görs i slutet av avsnittet.

#### Tid till kritiska förhållanden

I detta scenario har osäkerheter kring sotproduktionen tagits hänsyn till genom att använda två olika värden. Detta ger ett intervall för tiden till kritiska förhållanden.

En faktor som påverkar det kritiska avståndet med avseende på strålning mycket är den antagna flamtemperaturen. Denna faktor har inte ändrats i olika försök men eftersom den har antagits konservativt och avståndet inte har varit kriteriet som uppfyllts först så påverkas inte resultatet.

#### Utrymningstiden

Personer som arbetar som personal i garderoben antas hinna ut innan kritiska förhållanden uppstår och därför gäller de allmänna osäkerheterna kring utrymning för detta scenario. Speciellt för detta



scenario är dock att det är mycket folk i A-hallen och flera utrymningsvägar att välja mellan. Utrymningstiden beror då till viss del hur många personer som använder de olika utrymningsvägarna men i försöken har de mest troliga vägarna valts.

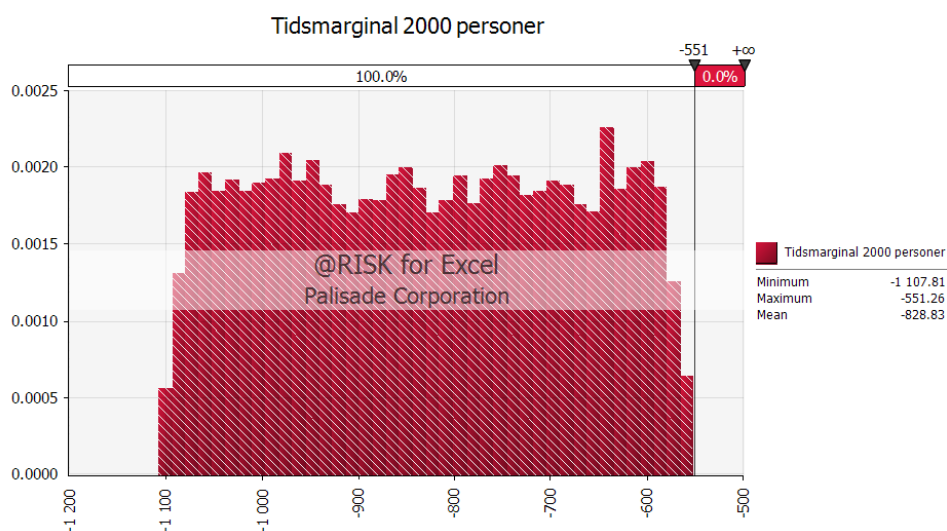
### Känslighetsanalys

För att underlätta diskussion kring åtgärder så genomförs en känslighetsanalys för brandscenariot *Brand vid garderobsverksamhet i karatehallen*. I stället för att använda fasta värden, så som medelvärden och troliga värden, på varje parameter så används nu fördelningar vilket kan ses i Tabell 22.

**Tabell 22 - Fördelningar som använts vid känslighetsanalys av tidsmarginalen för *Brand vid garderobsverksamhet i karatehallen*.**

Parameter	Fördelning	Tid [s]		
		2000 personer	1200 personer	800 personer
Tid till kritiska förhållanden	Uniform(min;max)	112;140	112;140	112;140
Varseblivningstid	Uniform(min;max)	19;22	19;22	19;22
Förberedelsestid + Förflyttningstid	Uniform(min;max)	670;1200	530;830	420;530

Resultat för tidsmarginalen vid användning av fördelningar på parametrar kan ses i Diagram 18- Diagram 20. Negativa tider betyder att alla personer ej hinner utrymma medan positiva betyder att alla personer hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår.



**Diagram 18 - Tidsmarginal för 2000 personer som befinner i A-hallen då *Brand vid garderobsverksamhet i karatehallen* sker. Tidsmarginal på x-axeln och andel på y-axeln.**

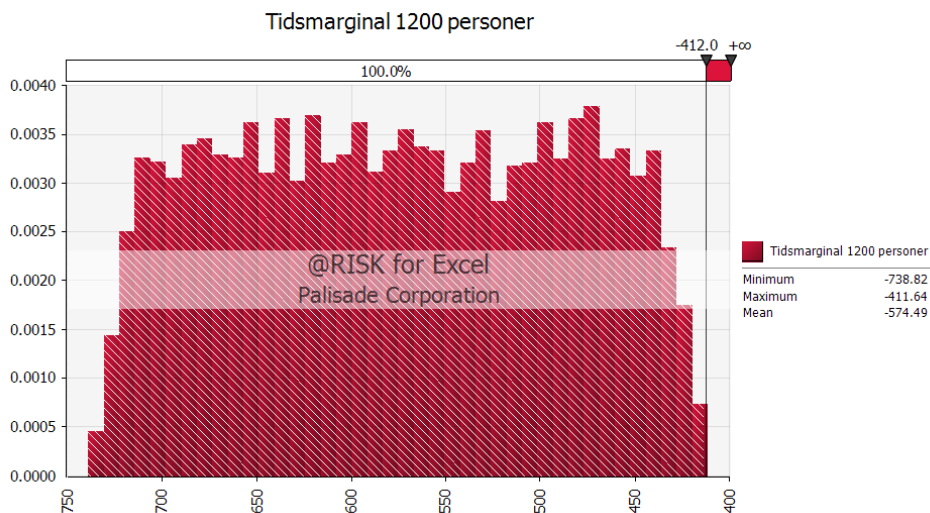


Diagram 19 - Tidsmarginal för 1200 personer som befinner i A-hallen då Brand vid garderobsverksamhet i karatehallen sker. Tidsmarginal på x-axeln och andel på y-axeln.

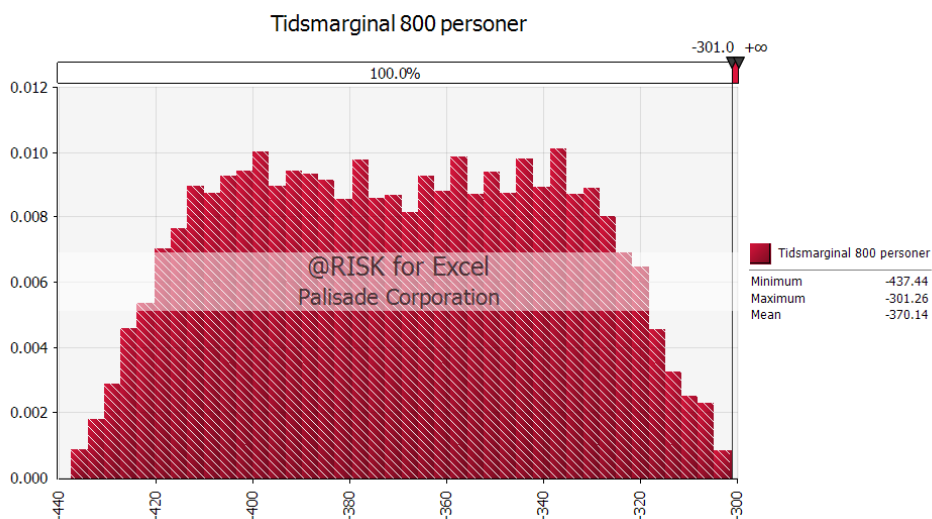


Diagram 20 - Tidsmarginal för 800 personer som befinner i A-hallen då Brand vid garderobsverksamhet i karatehallen sker. Tidsmarginal på x-axeln och andel på y-axeln.

I Diagram 18 till Diagram 20 kan det ses att tidsmarginalen blir mycket negativ i 100 % av iterationerna. Även i fallet då det är 800 personer på konsert så blir den bästa tiden -301 sekunder. Med 2000 personer så blir sämsta tidsmarginalen mindre är -1100 sekunder vilket sker då utrymningsvägen i plannivå i A-hallen är blockerad.

#### 8.4.6 Åtgärdsförslag

Samma rekommendationer, det vill säga gör karatehallen till en egen brandcell, som för scenariot *Brand i karatehallen vid övernattning eller uppdukad lokal* kvarstår, se kapitel 8.3.7.





## 9. Åtgärder

Vid platsbesöket och under arbetets gång har ett antal brister uppmärksammats där åtgärder borde genomföras. Resultatet av dessa åtgärder är svåra att kvantifiera men det anses ändå att dessa skulle förbättra brandsäkerheten. Nedan presenteras en sammanställning av samtliga åtgärder som diskuterats under arbetets gång.

### 9.1 Övriga åtgärder

Beslagen på ytterdörrarna vid entrén närmast karatehallen anses inte uppfylla ett skäligt brandskydd enligt LSO, Lagen om Skydd mot Olyckor. Det kommer innebära en tidsfördröjning under utrymningsförloppet i jämförelse med modernare beslag som öppnas i utrymningens slagriktning. Se Bild 11 nedan för en jämförelse mellan det gamla beslaget som finns installerat idag och det moderna.



**Bild 11 – På bilden till vänster ses entrén i foajén, på bilden i mitten ses det nuvarande beslaget och på bilden till höger ses ett modernt beslag.**

Foto: Jonathan Rosenqvist och Oliver Walsh, LTH

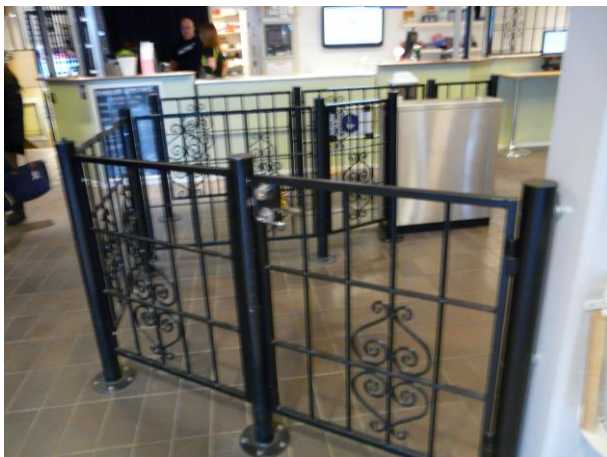
Huvudentrédörren som leder in till kassan är av typ skjutdörr och har en bredd på 1.7 meter. Dock öppnas ej skjutdörrarna fullt ut då dessa anses utgöra klämrisk för barn vilket kan ses i Bild 12. Längst ut finns nämligen pelare i anslutning till skjutdörrarnas bana. Denna inskränkning på huvudentréns bredd anses ej vara tillfredställande och därmed uppmanas till annan teknisk lösning.



**Bild 12 – Skjutdörrar som inte öppnar helt och därmed riskerar att försvåra utrymning.**

Foto: Jonathan Rosenqvist och Oliver Walsh, LTH

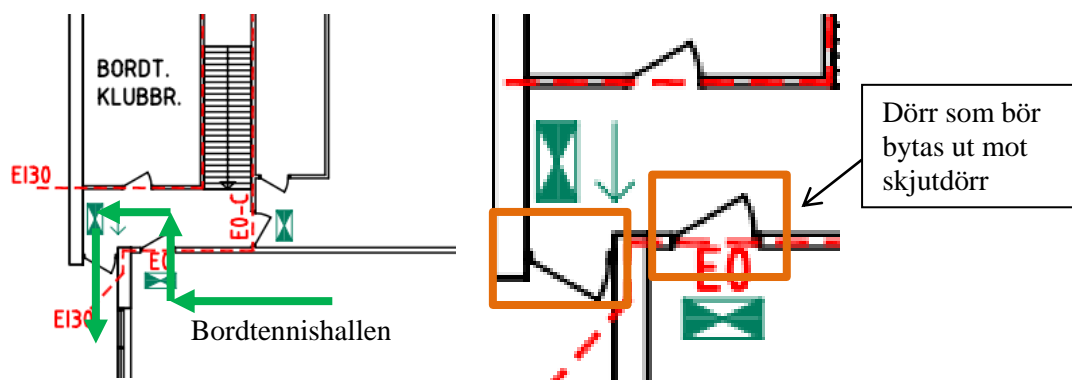
Vid kassan finns en inpasseringsgrind till simhallen, se Bild 12. Denna utgör ett hinder vid utrymning av stora folksamlingar. Vid platsbesöket var grinden låst och ansågs därmed utgöra ett hinder vid utrymning. Denna bör kunna öppnas utåt när personer finns i byggnaden.



**Bild 13 – Grind vid kassan som försvårar utrymning om låst.**  
Foto: Jonathan Rosenqvist och Oliver Walsh, LTH

Vid simuleringar i Simulex har skjutdörrens och grindens påverkan på utrymningen kontrollerats och resultatet visar att dessa ej förlänger utrymningstiden då flaskhalsar uppkommer på andra ställen i byggnaden. Det anses dock att dessa bör åtgärdas ändå eftersom det är enkla åtgärder. Den upplevda tillgängligheten höjs samt att det vid en verklig utrymning minimerar risken för flaskhalsar.

Gemensam utrymningsväg för bordtennishallen, boxningshallen samt från trappan som leder upp från omklädningsrummen och B-hallen på plan 1 skall även uppmärksammas. Här finns tre vägar och utrymnings-simuleringar har visat att trängsel uppstår i den lilla korridor där alla dessa vägar mynnar ut innan de utrymnande kommer ut i det fria. Vid utrymning från bordtennishallens finns en dörr som öppnas i slagriktningen och ut i den lilla korridoren, se figuren nedan.



**Figur 23 - Till vänster ses utrymningsvägen från bordtennishallen och till höger ses dörren som bör bytas ut mot en skjutdörr.**

Denna dörr skymmer då cirka halva bredden, se högra bilden i Figur 23, av den redan relativt smala utrymningsvägen och tvingar individer att runda dörren vid utrymning. I slutändan innebär detta att utrymningen fördröjs då det bildas en flaskhals i korridoren. Förslag på åtgärd är att istället installera en skjutdörr mellan korridoren och bordtennishallen som inte blockerar, hindrar eller försvårar utrymning. Man kan även uppnå skäligt brandskydd genom att bygga en nisch en bit in i bordtennishallen om det anses vara en enklare åtgärd.

En annan åtgärd som rekommenderas är att ha matchvärdar på större idrottsevenemang i A-hallen. Dessa personer skulle kunna vara upplysta om utrymningsvägar och vara behjälpliga vid en eventuell utrymning, detta för att skapa en så pass effektiv utrymning som möjligt.

## Ventilation

Ventilationen i Motala sporthall är skyddat mot brand och uppfyller dagens krav enligt boverkets byggregler (BBR). För att ytterligare förbättra brandskyddet skulle brandgasspjäll kunna installeras i de fall då ventilationskanalerna bryter brandcellsgränser. Detta är inget krav enligt, BBR, men förstärker skyddet mot brandspridning via ventilationen och kan vara speciellt gynnsamt vid längre brandförlopp för att skydda själva byggnaden (Boverket, 2011).

Vid platsbesöket kunde otätheter i brandcellsgränserna observeras vid ventilationsgenomföringar och detta är något som snarast bör åtgärdas. En brandcell är endast så stark som dess svagaste länk. Vid platsbesöket observerade även att ett fläktrum användes för förvaring diverse material. Detta utgör en brandfara. Mängden brännbart material i fläktrummen ska hållas på en så låg nivå som möjligt då en brand som startar i dessa utrymmen lätt kan spridas till de lokaler som ventilationen är kopplad till.

Det fläktrum som finns beläget i foajén och försörjer denna samt närliggande lokaler (personalutrymmen, karatehallen, boxningslokalen) är inte utformad som en egen brandcell. Detta är ett relativt nybyggt fläktrum och eftersom det ligger på en känslig plats där flera utrymningsvägar knyter samman är det relevant att detta rum utformas efter dagens krav (referens BBR). Att fläktrummens ventilation även är anslutet till karatehallen som identifierats som en lokal där brand snabbt utvecklas motiverar denna åtgärd ytterligare.

## 9.2 Sammanställning åtgärder

För att säkerställa brandsäkerheten ur utrymningsynpunkt för Motala sporthall så har författarna till denna rapport kommit fram till ett antal åtgärder som *bör* och *ska* genomföras. I detta avsnitt sammanställs dessa. För mer information kring varje åtgärd, se respektive brandscenarios åtgärdsförslag i kapitel 8. För resonemang kring återgårdernas rimlighet, se kapitel 10.

Åtgärder som *ska* genomföras:

- Karatehallen ska göras om till en egen brandcell
- Draperiet i karatehallen ska plockas bort
- Installera brandgasfläktar i A-hallen

Åtgärder som *bör* genomföras:

- Byta ut dörrbeslag mot modernare variant
- Fullt öppningsbar entrédörr
- Slagriktning på dörrar bör vara i utrymningsriktningen
- Rutiner kring manuellt talat meddelande ses över
- Förenkla passagen via barriärerna vid läktarna i A-hallen
- Sätta upp utrymnings skyltar i A-hallen enligt Figur 9 och Figur 10.
- Grinden i kassan bör kunna öppnas utåt vid utrymning
- Installera skjutdörr eller bygga nisch för dörr i bordtennishallen
- Brandcellsindelning av fläktrum i foajén
- Matchvärdar vid större idrottsevenemang
- Kontrollera rutiner för att ljus tänds och musik stängs av vid händelse av brand under konsert
- Hela foajén och dess angränsade utrymmen bör ses över gällande brandgasspridning



## 10. Diskussion

Vår uppfattning om brandskyddet i Motala sporthall är att det vid normal verksamhet uppnår ett skäligt personskydd. Tidigt i rapporten valdes det istället att lägga fokus på de scenarier som kan uppstå då lokalerna används till annan verksamhet, där vissa brister upptäcktes. Bristerna var främst att inte tillräcklig hänsyn har tagits till brandsäkerheten vid ombyggnation av lokalerna. Detta ses till exempel i avsaknaden av innertak i karatehallen.

Då man aldrig kan utvärdera alla brandscenarier som kan uppstå gjordes tidigt i arbetet en grovanalys på alla scenarier författarna ansåg vara rimliga och där det skulle kunna föreligga en risk för personsäkerheten. Vissa av dessa scenarier bedömdes vara speciellt intressanta ur ett brandsäkerhetsperspektiv och valdes då att analyseras vidare. Grovanalysen är baserad på det material som fanns att tillgå samt den uppfattning vi författare har bildat oss vid platsbesöket. För att kunna avgöra vilka scenarier som är tänkbara och viktiga att beakta skulle mer information kunnat förbättra och rent utav ändra vilka scenarier som identifierats som intressanta att analysera. Detta moment har en väsentlig inverkan på resterande del av analysen och är ett område som det lagts mycket tid på. Dock kvarstår faktumet att endast ett platsbesök aldrig kommer vara tillräckligt för att bilda sig en helt komplett bild av byggnaden och dess olika verksamheter. Mer information hade givetvis kunnat ge ett bättre underlag. Ytterligare platsbesök, Intervjuer med personal och noggrannare verksamhetsbeskrivning är exempel på material som hade kunnat bidra till en ännu bättre grovanalys. I arbetsprocessen bestämdes att denna del var viktig att lägga mycket tid och arbeta på. Av den anledningen är grovanalysen väl genomarbetad i förhållande till tid och tillgång på material som vi haft till vårt förfogande.

Ett område som snabbt upptäcktes vara speciellt svårt att hitta data eller på annat sätt bedöma rimligheten av var de dimensionerande bränderna. Här har till stor del gruppens samlade kunskaper om både brandkemi och branddynamik använts för att på ett rimligt sätt dimensionera en brand, utan att vara för konservativa. Dock går det inte att kringgå att de dimensionerade bränderna som utarbetas är färgade av våra personliga beslut och resonemang. Exempelvis hade en erfaren brandkonsult mycket möjligt kommit fram till ett annat brandförlopp.

Olika simuleringsprogram, såsom Simulex, FDS, CFAST och DETACT-T2, har använts vid framtagandet av resultaten. Dessa program har därmed till viss del legat till grund för vilka åtgärder som föreslås. Man bör, precis som det poängteras i varje avsnitt för respektive simuleringsprogram, vara restriktiv med hur man tolkar och använder resultaten. Dessa resultat har sedan bedömts ur ett kvalitativt synsätt, där författarnas tidigare förvärvade kunskaper om framförallt branddynamik legat till grund för om det anses som rimliga resultat eller ej. Med detta i beaktning kan det ändå anses vara rimliga resultat och därmed även rimliga åtgärder som rekommenderas. I rapporten har vi försökt hålla ett ödmjukt förhållningsätt till de kvantitativa värdena som presenterats. Speciellt för de värden som tagits fram med simuleringar då många antaganden och förenklingar ligger bakom dessa. I rapporten har ambitionen varit att redovisa en transparent arbetsgång så att läsaren själv ska förstå de resonemang och beslut som till slut leder fram till de kvantitativa värden som presenteras.

Den viktigaste åtgärden som föreslagits är att göra karatehallen till en egen brandcell. Med beräknade och simulerade resultat har det påvisats att tid för utrymning vida överstiger tiden till kritiska förhållanden. Även om antaganden och beräkningar kan ha varit något för konservativa anses det ändå föreligga en uppenbar och betydande risk. Detta kan anses som en kostsam åtgärd, men slutsatsen som man kan dra från rapporten är att en brand i karathallen med allra största sannolikhet leder till att det inte går att utrymma säkert. Detta är den enda åtgärd som kan garantera säker utrymning.

Angränsande lokaler till foajén har inte analyserats vidare med anledning av att förutsättningarna för dem är snarlika som för karatehallen. Därmed har istället det troligt värsta scenariot valts ut som fått representera problematiken för foajén, det vill säga karatehallen. En annan lokal som likt karatehallen saknar innertak är kontoret vid sidan om boxningshallen. Detta är ett litet utrymme med liten brandbelastning men likaså kvarstår det faktum att om en brand startar här kommer brandgasspridning till foajén ske. Det är svårt att uttala sig om kritiska förhållanden skulle kunna uppnås men risk

föreligger. Därav motiveras vidare analys och antagligen att även detta utrymme tätas och avskiljs från foajén. Cafét som är beläget i anslutning till foajén avskiljes med en vägg och dörr som är av glas. Glaset är inte brandklassat och i det fall att en brand utbryter i denna lokal kommer dessa glas till slut att gå sönder och brandgaser då spridas till foajén. Ingen utvärdering av hur kraftig brand som kan förväntas i cafét är gjord och därav kan inte heller någon slutsats dras om när dessa glasrutor skulle gå sönder. Detta innebär att säker utrymning genom foajén inte kan garanteras då en brand utbryter i cafét. Av dessa ovanstående anledningar rekommenderas det att hela foajén ses över. Med en vidare analys kan det även utvärderas om hela foajén bör utföras som en egen brandcell istället för rådande rekommendation som endast gäller för karatehallen.

I figur 15 och 16 kan siktförhållanden i karatehallen observeras, utifrån tidigare antaganden så har sikten baserats på BBRAD 3:s acceptanskriterium för sikt. Detta kriterium påvisar att när sikten understiger 10 meter kan inte utrymning ske på ett säkert sätt, dock gäller det även att lokalen ska vara större än 100 m<sup>2</sup> för att kriteriet ska gälla. Karatehallen har en area på 130 m<sup>2</sup> vilket är större än 100 m<sup>2</sup> vilket innebär att kriteriet är uppfyllt. Dock är sträckan till en utrymningsväg i karatehallen aldrig 10 meter, den är närmare 5 meter. Därför kan det argumenteras för att ha ett acceptanskriterium för sikt på 5 meter istället för 10 meter, för att se hur stor skillnaden är i tidsmarginal för de båda siktsträckorna gjordes en kontroll. Utifrån kontrollen kunde det konstateras att det blev en längre tid tills kritiska förhållanden uppstod men det gav inte tillräckligt med tid för att säkerställa en positiv tidsmarginal för alla personer som utrymmer från karatehallen. På grund av detta rekommenderas fortfarande att draperiet ska tas bort som en åtgärd under kategorin *ska*.

En annan stor åtgärd som även rekommenderats är att det installeras brandgasventilation i A-hallen. Det har genomförts både simuleringar och handberäkningar på brandgasventilationen. När handberäkningar skulle kontrolleras i FDS resulterade det i värden som inte stämmer överrens. Således kunde inte handberäkningarna verifieras, dock kan vi kvalitativt argumentera för att brandgasventilation skulle göra att skyddsmålen uppnås för A-hallen. Något som bör poängteras är att resultaten från rapporten påvisar att störst risk föreligger då byggnaden används till annan verksamhet än vad den en gång var byggd och dimensionerad för. Förslagen som ges på förbättrad brandsäkerhet bygger på att lokalerna används till annan verksamhet, men givetvis skulle rekommenderade åtgärder förbättra brandskyddet i byggnaden även när den används till normal verksamhet. Detta måste givetvis tas i beaktan när man diskuterar och tar eventuella beslut om vad som ska åtgärdas i lokalerna. Denna åtgärd kan mycket väl anses vara väl omfattande med tanke på den verksamhet som normalt råder i lokalen. Därför bör den betraktas som en åtgärd som endast ska implementeras om lokalen används till annan verksamhet så att brandscenariot *Brand på scen i A-hallen* anses rimligt.

I karatehallen gjordes ännu en simulering med mindre cellstorlek för att validera giltigheten av simuleringen. Dessa resultat stämde bra överens med föregående simulering. Dock kunde inte samma tillvägagångsätt användas för övriga simuleringar på grund av att den tillgängliga datorkapaciteten var begränsad. Detta är något som borde utföras på samtliga FDS-simuleringar för att resultaten ska kunna anses vara rimliga. För att undersöka nodkonvergens och validera resultaten bör minst tre olika cellstorlekar simuleras.

Denna utvärdering av Motala sporthall är framtagen i det huvudsakliga syftet att göra en genomgående analys av personsäkerheten vid brand. Arbetsprocessen har oundvikligen färgats av det faktum att rapporten skrivs som ett examinerande moment i kursen brandteknisk riskvärdering. Detta har exempelvis vid tillfälle avgjort hur upplägget på rapporten ser ut och vilken typ av mjukvara som använts. Rapporten har även flertalet intressenter vilket ibland utgjort ett dilemma i hur avsnitt ska presenteras.

Vi författare har igenom hela arbetet haft ambitionen att ta hänsyn till samtliga intressenter. Förhoppningen med rapporten är att delge nyttig, användbar information och komma med åtgärdsförslag som kommer implementeras eller tas i beaktan för att förbättra personsäkerheten i Motala sporthall.

## Referenser

- AB Byggritningar, 2010. *Nulägesbeskrivning - Brand, Sparven 11 Motala Kommun Sporthallen*, Motala: AB Byggritningar.
- Andersson, K., 2014. *Information-Motala sporthall* [Intervju] (6 februari 2014).
- Babrauskas, V., 1981. *Will the Second Item Ignite?*, Washington DC: National Bureau of Standards .
- Babrauskas, V., 1984. Pillow Burning Rates. *Fire Safety Journal*, Volym 8, p. 200.
- Bengtsson, S., Frantzich, H., Jönsson, R. & Marberg, P.-A., 2012. *Brandskyddshandboken*. Lund: TMG Stockholm.
- Boverket, 2006. *Utrymningsdimensionering*, Karlskrona: Boverket.
- Boverket, 2011. *Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd. BFS 2013:12 - BBRAD 3*, Karlskrona: Boverket.
- Deal, S., 1995. *Technical Reference Guide for FPEtool Version 3.2*, Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology.
- Drysdale, D., 2011. *An Introduction to Fire Dynamics*. 3rd red. Chichester: John Wiley & Sons Ltd..
- Frantzich, H., 2000. *Tid för utrymning vid brand*, Karlstad: Räddningsverket.
- Frantzich, H., Nilsson, D. & Eriksson, O., 2007. *Utvärdering och validering av utrymningsprogram*, Lund: Brandteknik och riskhantering, LTH.
- Grexa, O., Horvathova, E., Besinova, O. & Lehocky, P., 1999. *Flame retardant teated plywood*, USA: Elsevier Sience Ltd..
- Göransson, U. & Wetterlund, I., 1988. *A full scale fire test method for free-hanging curtain and drapery textiles*, u.o.: Statens Provningsanstalt.
- Holmstedt, G. & Nilsson, D., 2008. *Kompendium i Aktiva system - Detektion*, Lund: Brandteknik och riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet.
- Holmström, J. & Sävmark, E., 2013. *Talat utrymningsmeddelande - optimerad utformning utifrån fullskaleförsök*, Lund: Brandteknik och Riskhantering LTH.
- IESVE, 2014. *Integrated Enviromental Solutions*. [Online]  
Available at: <http://www.iesve.com/software/ve-pro/analysis-tools/egress/simulex>  
[Använd 4 april 2014].
- ISO, 1995. *ISO/WD 13390, Subsystem 1: Initiation and development of fire and fire effluents*, Berlin: International Organization for Standardization.
- ISO, 2004. *Evaluation of behaviour and movement of people*, u.o.: International Organization for Standardization.
- Karlsson, B. & Quintiere, J., 2000. *Enclosure Fire Dynamics*. Boca Raton: CRC Press.
- Leung, C. W., Yuen, W. W. & Chow, W. K., 2003. *A Pratical Model on Flame Spreading Over Materials*, Japan: JSME.
- Mok, W. & Chow, W., 2004. *Verification and validation in modelling fire by computational fluid dynamics*, USA: International Journal of Architectural Science.
- Mowrer, F. W., 1998. *Window Breakage Induced By Exterior Fires*. Maryland, National Institute of Standards and Technology.
- MSB, 2014. *MSB*. [Online]  
Available at: <http://ida.msb.se/ida2#page=a0087>  
[Använd 04 03 2014].
- Nilson, D. & Holmstedt, G., 2008. *Kompendium i Aktiva System - Detektion*, Lund: Brandteknik och riskhantering, LTH.

NIST, 2005. *CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6), User's Guide*, Washington: U.S Government Printing Office.

NIST, 2010. *Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide*, Washington: U.S. Government printing office.

Nystedt, F., 2011. *Verifying Fire Safety Design in Sprinklered Buildings*, Lund: Brandteknik och riskhantering, LTH.

SFPE, 2002. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. i: u.o.:NFPA.

Särdqvist, S., 1993. *Initial Fires - RHR, Smoke production and CO generation from single items and room fire tests*, Lund: Brandteknik, LTH.

The Engineering Toolbox, 2014. *The Engineering Toolbox*. [Online]

Available at: <http://www.engineeringtoolbox.com/>

[Använd 15 03 2014].

Thureson, P., 2000. *Brand i vårdanläggningar, SP Rapport 2000:15*, Borås: SP Brandteknik.

VTT, 2006. *Internal report of the InnoFireWood project*, Finland: VTT Technical Research Center of Finland.

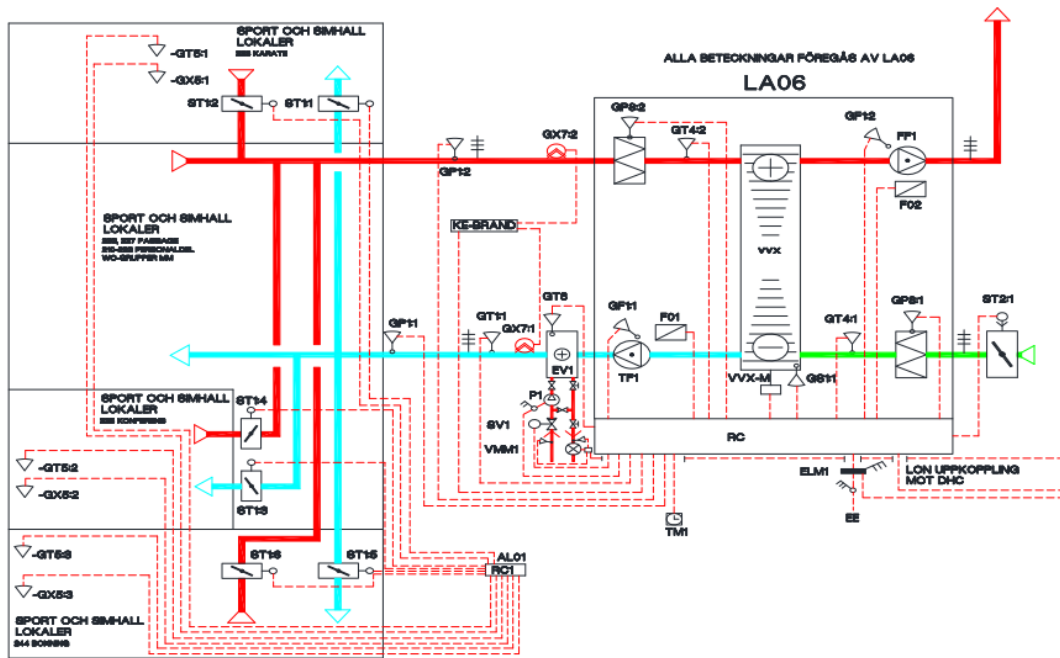
Zalok, E. & Hadjisophocleous, G., 2007. *Characterizing of Design Fires for Clothing Stores*, Ottawa: Department of Civil and Environmental Engineering.



Bilagor

Bilaga 1 – Driftkort

DRIFTKORT



Figur 24 – Driftkort för ventilationssystem i karatehall & foajé.

## Bilaga 2 – Schema över brandskyddsorganisationen för Motala sporthall

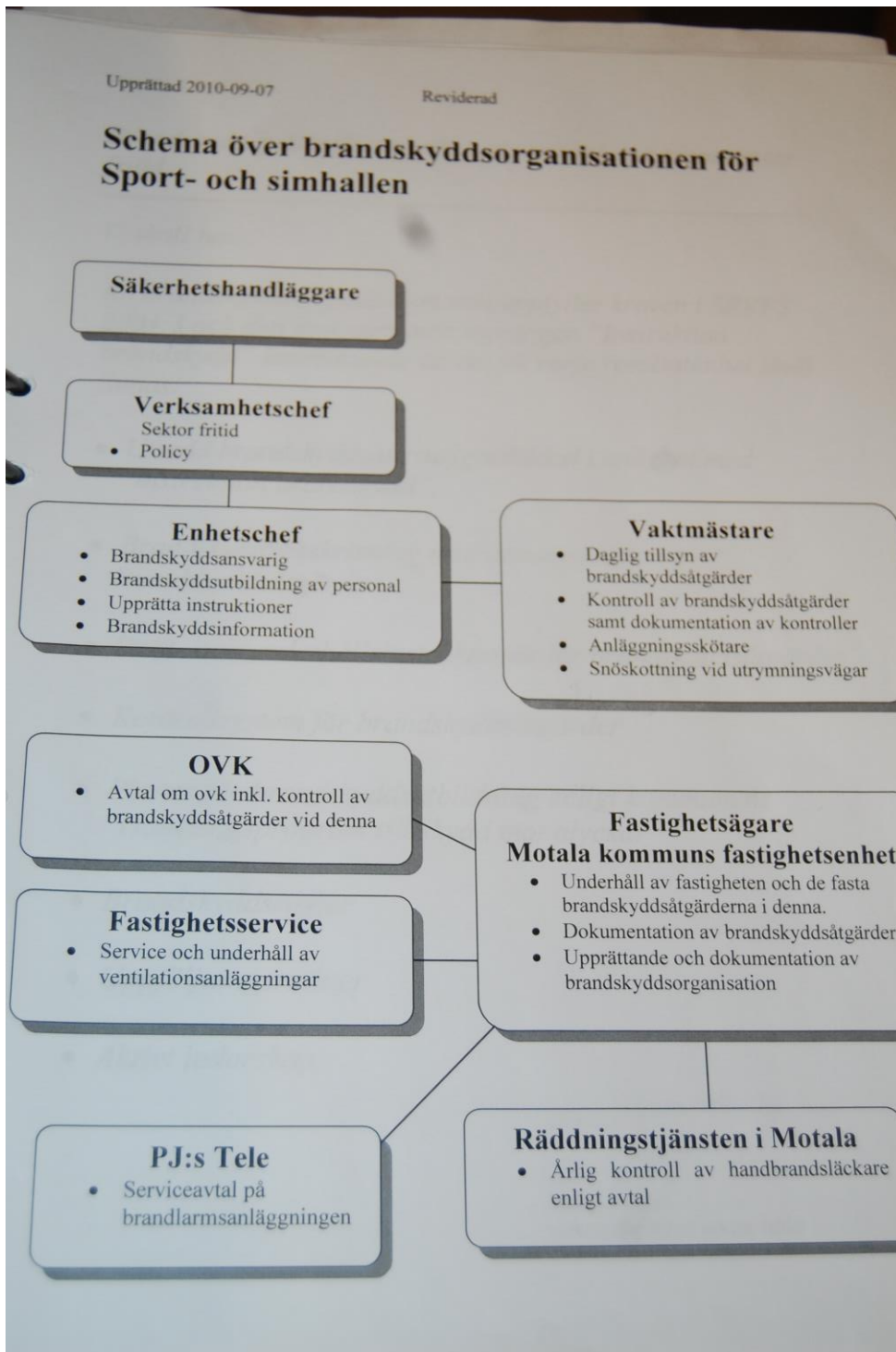
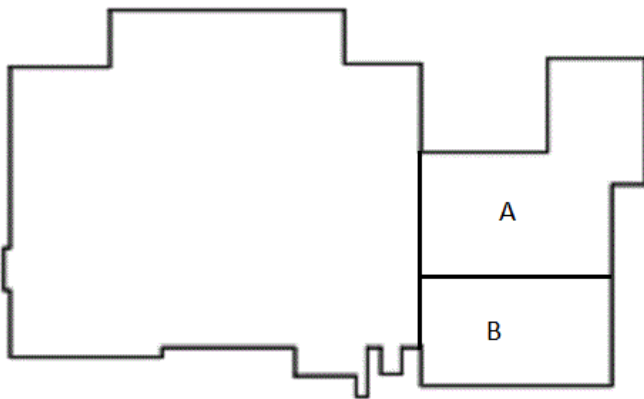


Bild 14 – Schema över brandskyddsorganisationen i Motala sporthall.

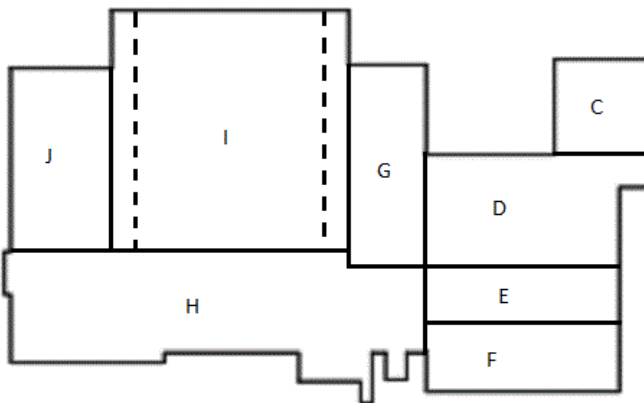
### Bilaga 3 – Förenklad planskiss

Följande skisser visar hur de olika utrymmena har delats upp vid analysen.



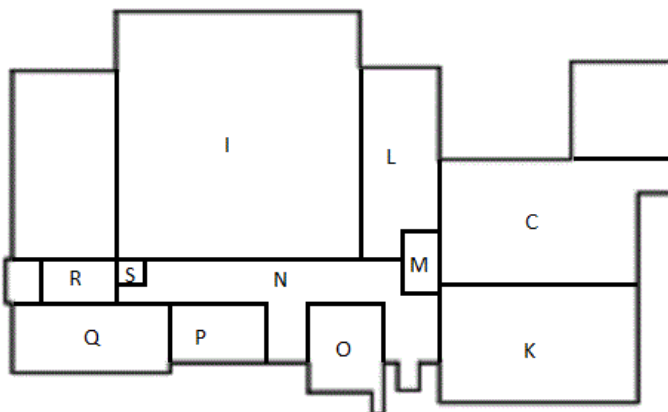
A: Reningsanläggning  
B: Bowling

Figur 25 - Plan 0.



C: Lilla bassängen  
D: Simhall  
E: Relaxavdelning  
F: Omklädning simhall dam  
G: Gym Actic  
H: Omkl sporthall, Teori, Spinning  
I: A-hall, inkl korridorer  
J: B-hall

Figur 26 - Plan 1.



K: Omklädning simhall herr  
L: Gym Frisksportarna, spinning  
M: Café  
N: Foajé  
O: Kontor  
P: Karate  
Q: Bordtennis  
R: Boxning  
S: Kontor i foajén

Figur 27 - Plan 2.

## **Bilaga 4 – Beskrivning av alla brandscenarier**

Nedan följer beskrivning av de olika brandscenarierna med avseende på sannolikhet och konsekvens.

### **Normal verksamhet**

Med normal verksamhet avses i det här fallet att verksamheten som lokalen är byggd för även är den verksamhet som den används till. Det vill säga att A-hallen i sporthallen används för idrottsevenemang, karatehallen används för utövande av kampsport, boxningshallen används för boxningsutövande och så vidare.

Personantalet i hallarna förutsätts att inte överstiga de personantal som är givna i Tabell 1 vid normal verksamhet.

### **Café (32) - Sannolikhet: 3, Konsekvens: 4**

Idrottshallens café är placerat i anslutning till den mest troliga utrymningsvägen vid eventuell brand, då den ligger i närheten av entrén. Caféet innehåller även en stor mängd brännbart material i form av inredning, köksutrustning och livsmedel. Det finns även en sittgrupp med stoppade möbler samt en mängd olika maskiner som bedöms kunna utgöra risk för antändning. Ur statistiken kan man utläsa att bränder i idrottshallar ofta startar i kök, vilket caféet anses representera. Caféets ofördelaktiga placering ur utrymningssynpunkt gör att konsekvensen bedöms till 4. Risk för antändning bedöms som störst när caféet är i bruk, men då förutses att branden upptäcks i ett tidigt skede. Därför bedöms sannolikheten för brand till 3.

### **Karatehall (28) - Sannolikhet: 2, Konsekvens: 5**

Karatehallen är precis som caféet placerat i anslutning till en utrymningsväg. Den utrymningsvägen används vid vissa större evenemang även som entré och bedöms vid dessa evenemang ses som den huvudsakliga utrymningsvägen. Karatehallen saknar tätt innertak och är öppet ut mot foajén genom de utrymmen som finns mellan takbjälkarna. Brand i detta utrymme skulle leda till att brandgaserna sprider sig ut i foajén. Längs med väggarna i karatehallen hänger det stora mängder kläder, ett draperi och golvet är belagt med kampsportsmatta av skumgummi. Då relativt stor mängd brännbart material förvaras i hallen och med tanke på att den helt saknar avskiljningsförmåga mot foajén bedöms konsekvensen till 5. Då karatehallen är låst när den inte nyttjas bedöms risken för anlagd brand relativt låg. Dock kan det inte uteslutas att någon slänger in något antänt via det öppna innertaket eller att en brand kan starta av elfel och därför sätts sannolikheten till 2.

### **Kontor i foajén (33) - Sannolikhet: 2, Konsekvens: 3**

Kontoret är en mindre lokal placerad i anslutning till en utrymningsväg som personer från läktare i A-hallen kan nyttja. I denna lokal förvaras en del kontorsmateriel så som papper och dylikt. Då denna lokal, precis som karatehallen, helt saknar innertak sprids eventuell brand och brandgaser direkt ut till utrymningsvägarna i foajén. Då den innehåller betydligt mindre brännbart material än karatehallen bedöms konsekvensen till 3, och sannolikheten till 2 då kontoret är låst med nyckel.

### **Bordtennishall (24) - Sannolikhet: 1, Konsekvens: 2**

Bordtennishallen är en större lokal belägen vägg i vägg med karatehallen innehållandes ett antal bordtennisbord. Då den innehåller endast en mindre mängd brännbart material och liten mängd teknisk utrustning där elfel kan inträffa bedöms sannolikheten till 1. Om en brand skulle uppstå anses inte utrymningsvägar påverkas vilket även motiverar en låg konsekvens.

### **Boxningshall (26) - Sannolikhet: 1, Konsekvens: 2**

Denna hall är belägen vägg i vägg med bordtennishallen och kontoret i foajén samt delar även utrymningsväg med bordtennishallen. Boxningshallen innehåller jämförelsevis mer brännbart material, t.ex. boxningsmattan, säckar och skydd. Dock bedöms den något större mängden brännbara material inte påverka konsekvensen nämnvärt och bedöms således till samma som för bordtennishallen. Sannolikheten bedöms även vara densamma.

### **B-hall (18) - Sannolikhet: 1, Konsekvens: 2**

Då hallen saknar läktare bedöms persontätheten aldrig överskrida rådande rekommendationer på 150 personer. Hallen innehåller relativt lite brännbart material, vilket bedöms ge en låg sannolikhet och konsekvens. Även fast halva långsidan och taket är beklätt med trä bedöms det inte kunna utgöra någon större risk för personsäkerheten, då de vid en eventuell brand antas involveras relativt sent i brandförloppet och således efter att en utrymning har skett. Det bedöms även att en uppkommen brand inte skulle påverka utrymningsvägar i någon större utsträckning.

### **A-hall (12) - Sannolikhet: 2, Konsekvens: 3**

Denna hall är den största lokalen, med läktare på båda långsidorna. Maximalt antal personer i lokalen är satt till 2000, se Tabell 1. I anslutning till vardera läktare finns det en större utrymningsväg direkt ut till det fria, samt en utrymningsväg via entrén. Det finns ett flertal utrymningsvägar från planen, men dessa kan inte publiken på läktarna använda då planen är avspärrad med höga kanter vilka utgör hinder för fri passage. I hallen består brandbelastningen till största del av stolsitsarna, men i övrigt innehåller lokalen lite brännbart material. Väggbeklädnaden i hallen är utförd i plywood och akustiskplattor på långsidorna och tegel på kortsidorna. Alltså är det endast träpanelerna som är brännbar och det skulle krävas väldigt hög värmepåverkan för att dessa skulle antända. Den troliga antändningskällan av väggmaterialet skulle vara anlagd brand men eftersom lokalen är öppen och personen skulle vara synlig anses det inte troligt. Avsaknad av brännbart material i närheten av väggarna betyder att brandspridning till väggarna endast kan ske i ett senare skede av en brand med hög effekt. Alla personer antas då redan hunnit utrymma. Bristen på brännbart material och lokalens användningsområde motiverar att sannolikheten för brand sätts till 2. Vid en brand är det mycket folk som ska utrymma, men intilliggande utrymningsvägar bedöms inte påverkas vilket gör att om man tar sig ut ur lokalen kan utrymning ske säkert. Den relativt låga brandbelastningen och ytmaterialen motiverar en låg konsekvens, men då personantalet är så pass stort uppskattas konsekvensen till 3.

### **A-hallens korridorer (9) - Sannolikhet: 4, Konsekvens: 2**

Dessa korridorer är åtkomliga för allmänheten men är ändå undangömda. Risken för anlagd brand i utrymmen som angränsar till de två korridorerna anses därför vara stor vilket motiverar en hög sannolikhet. Även det totala antalet personer som använder korridorerna motiverar en hög sannolikhet. Om branden tar sig finns risk att brandgaser sprider sig till läktarna i A-hallen via ventilationsöppningar. Dock finns detektorer placerade i dessa utrymmen som bedöms ge en tidig upptäckt.

### **Omklädningsrum sporthall, teorilokal, spinning (21) - Sannolikhet: 4, Konsekvens: 2**

Det finns ett antal omklädningsrum i rad längs huskroppen på korridorrens ena sida utanför A-hallen. På andra sidan korridoren ligger teorilokal och spinninglokal. Här finns en mindre mängd brännbart material och anlagd brand i medhavda kläder eller utrustning samt papperskorgsbrand anses utgöra de troligaste scenarierna. Sannolikheten för brand bedöms till 4 och konsekvensen till 2, då brandbelastningen är begränsad och snabb detektion möjliggör tidig utrymning. Omklädningsrummen ligger i samma brandcell som foajén, caféet, karatehallen, boxningshallen och bordtennishallen, men planet under.

### **Gym Actic, Gym Frisksportarna och spinning (8) - Sannolikhet: 2, Konsekvens: 2**

Det finns två styrketräningslokaler i sporthallen och de ligger i en egen brandcell i huskroppens södra ände avskild från övrig verksamhet. Därför föreligger minimal brandspridningsrisk till andra brandceller. Brandbelastningen utgörs av den utrustning och maskiner som finns i lokalerna. Under öppettiderna finns personal på plats och sannolikheten för brand bedöms därmed till 2. Även konsekvensen av en brand har bedömts till 2 då ingen spridning bedöms kunna ske.

### **Bowlinghallen (1) - Sannolikhet: 3, Konsekvens: 3**

Bowlinghallen är belägen i källarplan med två av varandra oberoende utrymningsvägar. Den ena går via en trappa direkt ut till det fria och den andra förbi maskinrummet, längs med bowlingbanorna och vidare ut via reningsanläggningen. Den sistnämnda utrymningsvägen anses vara osannolik att användas om inte utrymningsvägen till det fria är blockerad. Hela bowlinghallen utgör en egen

brandcell i klass EI30. Eifel i maskinrum och anlagd brand i omklädningsrum utgör två troliga scenarier. Sannolikheten har i detta fall bedömts till 3. Konsekvensen har på grund av situationen med utrymningsvägarna i lokalen i detta fall satt till 3.

#### **Reningsanläggning (3) - Sannolikhet: 2, Konsekvens: 1**

Det förekommer visserligen viss vätgasproduktion i reningsanläggningen, men enligt uppgift<sup>4</sup> är mängden så liten att det inte föreligger någon risk för explosion eller brand på grund av vätgasen. En eventuell brand i detta utrymme bedöms ej påverka resterande delar av byggnaden. Utrymmet anses isolerat i källaren och med begränsad brandbelastning. Endast personal med kunskap om lokalerna antas befinna sig i reningsanläggningen. Sannolikheten för brand har bedömts till 2 och konsekvensen till 1.

#### **Simhall (4) - Sannolikhet: 2, Konsekvens: 2**

Det finns begränsad brandbelastning i denna lokal. Träpaneler återfinns i undertakskonstruktionen och på en del väggar. Dusch och bastu med begränsat nyttjande finns i omklädningsrummet intill lilla bassängen. Utrymningsmöjligheter ut i det fria finns direkt från simhallen. Dock finns möjligen en tendens att hämta sina tillhörigheter i omklädningsrummen i första skedet vid ett larm istället för att utrymma i badkläder. Sammantaget bedöms konsekvensen som låg. Att en brand ska starta i denna lokal anses låg då det finns lite brännbart material.

#### **Relaxavdelningen (7) - Sannolikhet: 4, Konsekvens: 3**

Relaxen befinner sig mitt i fastigheten där bland annat levande ljus används i verksamheten. Även här misstänks att personer kan ha en tendens till att först hämta sina tillhörigheter i händelse av larm innan utrymning sker. Detta kan innebära att två strömmar av människor krockar då några utrymmer från omklädningsrummen medan andra är på väg in efter sina tillhörigheter. Men då det inte förväntas vara stora personantal som ska utrymma så sätts konsekvensen till 3. Utrymning sker via en annan brandcell. Då det finns bastu i denna lokal samt levande ljus så anses sannolikheten för brand vara relativt stor.

#### **Simhallens omklädningsrum (6) - Sannolikhet: 3, Konsekvens: 2**

Brandfara bedöms finnas i bastu och solarierum. Tidigare inträffad incident har uppstått i bastun på grund av fel materialval, detta åtgärdades dock efter brandtillbudet. Utrymning sker likaså här genom annan brandcell. Relaxen ligger intill dessa utrymmen. För övrigt finns här tillhörande skåp för förvaringsmöjligheter för gästerna. Innertakskonstruktionen är av träplank. Sannolikheten bedöms vara medelhög då det förutom bastun och solarierummen inte finns mycket brännbart material. Konsekvensen anses låg då det inte befinner sig mycket folk i dessa lokaler.

#### **Vaktmästeri (31) - Sannolikhet: 1, Konsekvens: 2**

Vaktmästeriet ligger i anslutning till foajén som utgör den huvudsakliga utrymningsvägen för många andra lokaler. Här inne råder kontorslika förhållanden med tillhörande möblemang, datorer, maskiner, papper och annan utrustning. Önskvärt är att förhindra rökspridning till foajén precis som i karatehallen och caféet, men till skillnad från karatehallen så är det ej öppet vid taket ut mot foajén vilket gör att konsekvensen bedöms till 2. En begränsad mängd personal vistas i utrymmet, brandsorskans anses kunna vara eifel. Därför bedöms sannolikheten till 1.

## **Övernattning**

När större evenemang som till exempel Vätternrundan anordnas i Motala används sporthallen till övernattning. Med sovande personer i sporthallens lokaler uppstår flera nya scenarier med avseende på brandbelastning och utrymning vilket måste tas i beaktande.

Vid övernattning i lokalerna ökar brandbelastningen på grund av medhavd utrustning, exempel på utrustning kan vara sovsäck, luftmadrass, kläder mm. Vid övernattning i sporthallens lokaler används enligt uppgifter fem lokaler med en maximal total kapacitet på 525 sovande personer, se Tabell 1.

---

<sup>4</sup> Kenneth Andersson, Motala Kommun, platsbesök 2014-02-06

**Brand i A hallens korridorer (10) - Sannolikhet: 3, Konsekvens: 3**

Till skillnad från vardaglig verksamhet så antas färre personer ha tillgång till dessa utrymmen, vilket motiverar en något lägre sannolikhet för uppkomst av brand. Dock kan brandgaser från en brand i dessa utrymmen sprida sig in i A-hallen där det befinner sig sovande personer. Därför bedöms konsekvensen vara högre än vid vardaglig verksamhet.

**Brand i A hallen (13) – Sannolikhet: 4, Konsekvens: 3**

Vid övernattnig kommer spelplanen i A-hallen användas som sov-yta samt förvaring av packning och utrustning. Brandbelastningen är större och möjliga antändningskällor är fler vid denna typ av verksamhet. Brand som startar i någons packning eller sovsäck skulle bland annat kunna ske på grund av elfel, oförsiktig hantering av tändare/tändstickor eller anlagd brand. Sannolikheten värderas därför till 3. Vid händelse av brand kan den enkelt spridas och utveckla en hög effekt då brandbelastningen kommer vara stor och centrerad kring spelplanen. Utrymningsmöjligheterna kommer vara goda, men då personer förväntas sova oavsett tid på dygnet bidrar detta till en längre varseblivningstid. Konsekvensen värderas därför till 3.

*Förutsättningarna som gäller i A-hallen vad gäller risk för antändning, brandbelastning och möjligheten till utrymning gäller även för övriga lokaler där övernattnig sker. Ovan beskrivna resonemang kommer hänvisas till för de övriga utrymmena.*

**Brand i B hallen (19) - Sannolikhet: 4, Konsekvens: 4**

Samma förhållande och aspekter som råder för A-hallen gäller även för B-hallen vid övernattnig. Konsekvensen värderas något värre eftersom en utrymningsväg lätt blir avskild vid brand. Även den lägre takhöjden borde kunna leda till att kritiska förhållanden uppstår snabbare i B-hallen jämfört med A-hallen. Med dessa resonemang värderas konsekvensen till 4.

**Omlädningsrum sporthall/skåpsgång (22) - Sannolikhet: 4, Konsekvens: 3**

Eventuellt kommer packning förvaras i omlädningsrummen vilket skulle bidra till en högre brandbelastning. Annars gäller samma förutsättningar som för normal verksamhet.

**Bordtennishall (25) - Sannolikhet: 3, Konsekvens: 4**

Samma förhållande och aspekter som råder för A-hallen och B-hallen gäller även för bordtennishallen vid övernattnig. Konsekvensen värderas till 4 eftersom hallen har mindre volym vilket leder till en snabbare utveckling av en brand. Hallen ligger även i direktkontakt med övriga utrymmen och hallar utan avskiljande brandcellsgräns.

**Boxningshall (27) - Sannolikhet: 3, Konsekvens: 4**

Hallen ligger vägg i vägg med bordtennishallen och samma förutsättningar gäller då lokalen används för övernattnig.

**Karatehall (29) - Sannolikhet: 3, Konsekvens: 5**

Karatehallen används för övernattnig och ovan nämnda förutsättningar gäller. Det finns visserligen en utrymningsväg direkt ut i det fria, men då den är delvis är täckt av draperier där en eventuell brand lätt kan sprida sig, bedöms risken att utrymningsvägen lätt blir blockerad som stor. Då foajén är den huvudsakliga entrévägen för de som vistas i övriga utrymmen kommer även denna vara en naturlig utrymningsväg. Spridningsrisken till foajén motiverar att konsekvensen värderas till 5 för karatehallen.

**Café (32) - Sannolikhet: 3, Konsekvens: 4**

Samma förutsättningar för att brand ska utbryta i caféet gäller som vid vanlig verksamhet. Konsekvensen värderas något högre, 4, då en förhöjd responstid gäller för sovande i de lokaler som används för övernattnig.

**Uppdukad lokal**

Uppdukad lokal definieras som att lokalen har uppställda bord och stolar på sin golvyta, exempel på evenemang kan vara konferenser eller sittningar. Det finns tre lokaler i Motala sporthall som används för detta ändamål, A-hallen, karatehallen och teorilokalen. Totalt kan det vara 1125 personer i dessa lokaler när verksamheten är uppdukad lokal, se Tabell 1 för antal personer för respektive lokal. När A-hallen används som uppdukad lokal används istället karatehallen som garderob och därmed ökar brandbelastningen i nämnd lokal.

Vid uppdukad lokal blir det återigen annorlunda brandbelastning och utrymningstid i lokalerna jämfört med normal verksamhet. Med tanke på mängden bord, stolar, dukar som förekommer på sittningar ökar brandbelastningen avsevärt vid dessa evenemang. Dessa bord och stolar kommer även kunna obstruera utrymningsvägar vilket kan leda till ökad utrymningstid.

En annan aspekt som också måste tas hänsyn till vid evenemang av den här typen är berusning. Alkoholkonsumtion av personerna i lokalerna kommer att påverka deras förmåga att utrymma negativt. Vid denna typ av evenemang kommer garderobsverksamhet bedrivs och detta kan inverka på utrymningsförloppet då personer är mer benägna att utrymma samma väg som de kom in, dessutom görs bedömningen att flertalet personer kan vara motvilliga till att utrymma utan sina ytterkläder. Vid sittingsarrangemang är det även möjligt att utrymningsvägar blir blockerade och används för förvaring.

Nedan behandlas de brandscenarier som kan uppkomma i byggnadens norra del då lokaler används för sittningar och middagar. För brandscenarier i byggnadens södra del vid denna typ av verksamhet hänvisas till resonemang vid normal användning.

#### **A-hallens korridorer (11) - Sannolikhet: 3, Konsekvens: 4**

Konsekvensen värderas något högre än tidigare fall eftersom den uppdukade lokalen kommer försvåra utrymningen samt att alkoholförtäring kan förekomma. Sannolikheten för brand värderas lika hög som vid normal verksamhet och motiveras av risken för en anlagd brand.

#### **Brand i A-hallen, bordsduk (14) - Sannolikhet: 3, Konsekvens: 3**

Vid en uppdukad lokal finns en brandrisk i och med att levande ljus kan användas. Detta gör att det lätt kan antända i en bordsduk. En brand som startar i en bordsduk kan förväntas upptäckas och släckas innan den växer sig för stor, men utgör ändå en ytterligare brandrisk. Av denna anledning värderas sannolikheten till 3 och konsekvensen till 3.

#### **Brand i A-hallen, draperi (15) - Sannolikhet: 3, Konsekvens: 4**

Upphängda draperier som används som dekoration vid denna typ av tillställning utgör ytterligare en brandrisk. Om en brand tar sig i ett draperi kommer detta leda till snabb vertikal brandspridning och då takmaterialet i A-hallen delvis är av trä föreligger en viss spridningsrisk. Brand i ett draperi kommer även resultera i hög värmestrålning då en stor vertikal area kan förväntas brinna. Detta leder till ytterligare spridningsrisk till andra objekt. Av dessa anledningar värderas konsekvensen till 4.

#### **Brand i A-hallen, scen (16) - Sannolikhet: 3, Konsekvens: 4**

Vid stora sittningar så kan en scen installeras där brandrisk finns förknippad med den elutrusning som används i anslutning till denna. Tar sig branden vid scenutrymmet är spridningsrisken stor och en hög brandbelastning kan förväntas. Scenen kan även blockera en del av utrymningsvägarna. Detta motiverar en konsekvens på 4.

#### **B-hallen (20) - Sannolikhet: 3, Konsekvens: 2**

B-hallen används visserligen inte som uppdukad lokal, men vid vissa tillfällen har dock lokalen använts som VIP-lokal för maximalt 150 personer i anknytning till en sittning i A-hallen. En sådan verksamhet kan betyda att bord, soffor, elektronik och levande ljus finns i B-hallen. Fler antändningsmöjligheter än vid normal verksamhet motiverar att sannolikheten värderas till 3. Utrymning av lokalen och övriga utrymmen påverkas inte mycket av denna verksamhet, men en ökad brandbelastning motiverar att konsekvensen värderas till 2.



**Omklädningsrum sporthall/skåpsgång (23) - Sannolikhet: 4, Konsekvens: 2**

Denna del av byggnaden är fortfarande ett troligt område för anlagd brand då det är undangömt och i förbindelse med A-hallen. Till skillnad från övernattning och normal verksamhet kan omklädningsrum och övriga lokaler förväntas vara låsta och detta motiverar att konsekvensen av en brand som startar i själva skåpsgången värderas något lägre, eftersom korridoren endast innehåller en mindre mängd brännbart material.

**Brand i bordtennishall/boxningshall (24,27) - Sannolikhet: 1, Konsekvens: 2**

Lokalerna används inte vid sittning och ska inte vara åtkomlig för allmänheten. Sannolikheten bedöms låg och eftersom hallarna innehåller lite brännbart material så värderas konsekvensen till 2.

**Brand i karatehall, uppdukad lokal (29) - Sannolikhet: 3, Konsekvens: 5**

Karatehallen används som sittingslokal för maximalt 120 personer. Om brand utbryter i detta utrymme så förväntas brandbelastningen vara hög och således spridningsrisken stor. Att trätaket från foajén sträcker sig in i lokalen gör att spridningsrisken till foajén är stor. Sannolikheten 3 motiveras av förekomsten av levande ljus och den höga persontätheten. Att många kan befinna sig i lokalen och att spridningsrisken är stor motiverar en uppskattad konsekvens till 5. Det finns visserligen en utrymningsväg direkt ut i det fria, men då den är delvis är täckt av draperier där en eventuell brand lätt kan sprida sig, bedöms risken att utrymningsvägen lätt blir blockerad som stor.

**Brand i karatehall, garderobsverksamhet (30) – Sannolikhet:3, Konsekvens: 5**

Karatehallen används även som garderob när A-hallen används som uppdukad lokal. Brandbelastningen ökar visserligen vid denna verksamhet, men då personantalet är lägre bedöms både sannolikheten och konsekvensen ändå till samma nominella värde som vid uppdukad lokal.

**Café (32) - Sannolikhet: 3, Konsekvens: 4**

Samma förutsättningar för att brand ska utbryta i caféet gäller som vid vanlig verksamhet. Konsekvensen värderas något högre, till 4, då utrymning kommer ske under försvårade förhållande i de intilliggande lokalerna.

**Konsert och nattklubbsverksamhet**

A-hallen har andra användningsområden än vad den först byggdes för, till exempel konserter och nattklubbsverksamhet. Även om inte detta är de mest frekventa evenemangen som anordnas i lokalen utgör de speciella förutsättningar som måste utvärderas.

Vid konserter eller nattklubb förutsätts att det befinner sig folk på läktarna och på golvet men att personantalet i lokalen inte överstiger 2000 personer, se Tabell 1.

Vid konsert placeras en scen i mitten av ena långsidan av lokalen, scenen är 15 x 6 meter och är upphöjd 1,5 meter från golvet.

Utrymningsvägar från golvet upp mot läktaren kommer vara delvis eller helt blockerade vid den här typen av evenemang. Även vägen mitt på långsidan kommer vara blockerad.

Nattklubbsverksamhet i olika former anordnas varje år med varierande storlek. Vid valborg arrangeras årligen evenemanget Rocka Fett, vilket är ett större nattklubbsevenemang som kan anses representera övrig nattklubbsverksamhet i utrymningssynpunkt. Hela A-hallens golvyta används för dans eller likt konsert med en scen placerad på ena långsidan.

Vid dessa typer av verksamhet kommer lokalen vara nedsläckt och hög ljudnivå råda, vilket påverkar utrymningstiden negativt. Vid denna typ av evenemang är det även möjligt att utrymningsvägar blir blockerade och används för förvaring, framförallt i närheten av scenen.

Nedan behandlas de brandscenarier som kan uppkomma i byggnadens norra del då denna används för nattklubbsverksamhet eller vid konsertarrangemang. För brandscenarier i byggnadens södra del vid denna typ av verksamhet hänvisas till resonemang vid normal användning då utrymningssituationen inte påverkas av verksamheten.

**A-hallens korridorer (11) - Sannolikhet: 3, Konsekvens: 4**

Konsekvensen värderas något högre än vid normal verksamhet eftersom A-hallen kommer vara nedsläckt och ha en hög ljudnivå, vilket inverkar på hur snabbt det går att utrymma lokalen. Sannolikheten för brand värderas lika hög som normal verksamhet och motiveras av risken för en anlagd brand.

**Brand i A-hallen, draperi (15) - Sannolikhet: 3, Konsekvens: 4**

Samma risker och faktorer som vid brand i draperi vid uppdukad lokal gäller. A-hallen kommer inte vara uppdukad vilket gör att utrymning kan ske smidigare. Dock kan fler personer förväntas befinna sig i lokalen. Lokalen kommer antagligen vara nedsläckt och ha en förhöjd ljudnivå. Dessa faktorer motiverar att konsekvensen värderas till 4.

**Brand i A-hallen, scen (17) - Sannolikhet: 3, Konsekvens: 5**

Vid konsert kommer en scen vara monterad i A-hallen. Vid nattklubb kan det även vara så att en mindre scen monterats för DJ och musikanläggning. Brandrisk finns förknippad med den elutrusning som används. Scenen kommer blockera en del av utrymningsvägarna och eftersom utrymningsförhållandena kan vara negativt påverkade av belysning och hög ljudnivå värderas konsekvensen till 5. Anledningen till att konsekvensen bedöms som högre än för *uppdukad lokal* är att större antal personer kan förväntas vistas i lokalen.

**B-hallen (20) - Sannolikhet: 3, Konsekvens: 2**

Lokalen kan användas som lounge eller för annan verksamhet i samband med konsert eller nattklubbsverksamhet. Det kan förväntas att bord, soffor, elektronik finns i B-hallen. Fler antändningsmöjligheter än vid normal verksamhet motiverar att sannolikheten värderas till 3. Utrymning av lokalen och övriga utrymmen påverkas inte mycket av denna verksamhet men en ökad brandbelastning motiverar att konsekvensen värderas till 2.

**Omklädningsrum sporthall/skåpsgång (23) - Sannolikhet: 4, Konsekvens: 2**

Denna del av byggnaden är fortfarande ett troligt område för anlagd brand då det är undangömt och i förbindelse med A-hallen. Till skillnad från övernattnings- och normal verksamhet kan omklädningsrum och övriga lokaler förväntas vara låsta och detta motiverar att konsekvensen av en brand som startar i själva skåpsgången värderas något lägre eftersom korridoren innehåller mindre brännbart material.

**Bordtennishall/boxningshall (24,26) - Sannolikhet: 1, Konsekvens: 2**

Lokalerna används inte vid sittning och ska inte vara åtkomlig för allmänheten. Sannolikheten bedöms låg och eftersom hallarna innehåller lite brännbart material så värderas konsekvensen av en brand till 2.

**Garderobsverksamhet i karatehallen (30) – Sannolikhet:3, Konsekvens: 5**

Karatehallen används som garderob när A-hallen används till verksamheten *uppdukad lokal* eller *konsert-/klubbverksamhet*. Brandbelastningen ökar visserligen vid denna verksamhet, men då personantalet är lägre bedöms både sannolikheten och konsekvensen ändå till samma nominella värde.

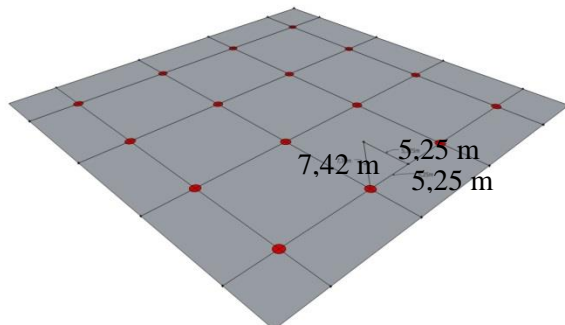
**Café (32) - Sannolikhet: 3, Konsekvens: 4**

Samma förutsättningar för att brand ska utbryta i caféet gäller som vid vanlig verksamhet. Konsekvensen värderas något högre, 4, då utrymning kommer ske under försvårade förhållande i de intilliggande lokalerna.

## Bilaga 5 – Beräkning av detektionstider i DETACT-T2 och FDS

### Detektorplacering för A-hallen och B-hallen

A hallens tak är 42x42 m (L x B) och det finns 16 stycken rökdetektorer som är placerade i taket. Nedan i Figur 28 ses en schematisk bild av hur rökdetektorerna är placerade, samt avstånd i meter utmarkerade.

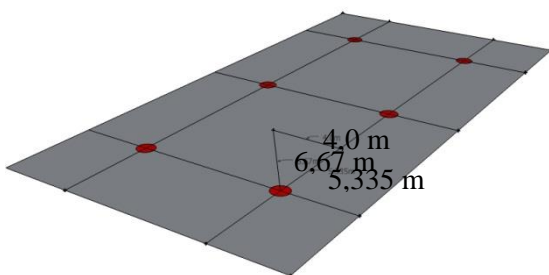


Figur 28 - Schematisk bild över hur rökdetektorerna är placerade i A-hallen med avstånden angivna i meter.

Det längsta möjliga avstånd mellan en rökdetektor och en rökpelare blir således

$$\sqrt{5,25^2 + 5,25^2} \approx 7,42 \text{ m.}$$

B-hallens tak 32x16 m (LxB) och det finns sex stycken rökdetektorer som är placerade i taket. Nedan i Figur 29 ses en schematisk bild över hur rökdetektorerna är placerade, samt avstånd i meter utmarkerade.



Figur 29 - Schematisk bild över hur rökdetektorerna är placerade i B-hallen med avstånden angivna i meter.

Det längsta möjliga avstånd mellan en rökdetektor och en rökpelare blir således

$$\sqrt{5,335^2 + 4^2} \approx 6,67 \text{ m}$$

Nedan ses ingångsparametrarna som har använts för beräkningar i DETACT-T2.

Tabell 23 – Ingångsparametrar i DETACT-T2.

Indata	A-hallen	B-hallen
Omgivningstemperatur [°C]	20	20
RTI-värde [ $\sqrt{m \cdot s}$ ]	0,5	0,5
Aktiveringstemperatur [°C]	24	24
Takhöjd [m]	9,85	5,9
Avstånd mellan detektorer [m]	7,42	6,67
Tillväxthastighet [W/s <sup>2</sup> ]	6,4	8
Aktiveringstid [s]	204	136

För handberäkningar används en modell där brandgasplymen träffar taket som helt saknar obstruktioner och sprids radiellt. Alpert har tagit fram ett samband mellan effekten av branden och höjden i rummet för att kunna beräkna en temperaturökning vid ett visst radiellt avstånd från där brandgasplymen träffar taket. Nedanstående ekvation är giltigt om  $\frac{r}{H} > 0,18$  (Holmstedt & Nilsson, 2008).

$$\Delta T_m = 5,38 \cdot \frac{\left(\dot{Q}/r\right)^{2/3}}{H}$$

Nedan visas hur detektionstiden är beräknad utifrån Alperets ekvation samt vilka antaganden som gjorts.

$$\Delta T_m = 5,38 \cdot \frac{\left(\dot{Q}/r\right)^{2/3}}{H} = [\dot{Q} = \alpha \cdot t^2] = 5,38 \cdot \frac{\left(\frac{\alpha \cdot t^2}{r}\right)^{2/3}}{H}$$

$$t_{detektion} = \left(\frac{\left(\frac{\Delta T \cdot H}{5,38}\right)^{3/2} \cdot r}{\alpha}\right)^{1/2}$$

**A-hallen**

$$\alpha_{A-hallen} = \frac{10200 \text{ kW}}{1260^2 \text{ s}} \approx 0,0064 \text{ kW/s}^2$$

$$H_{A-hallen} = 9,85 \text{ m}$$

$$r_{A-hallen} = 7,34 \text{ m}$$

$$\Delta T = 4 \text{ °C}$$

$$t_{detektion,A-hallen} = \left(\frac{\left(\frac{\Delta T \cdot H}{5,38}\right)^{3/2} \cdot r}{\alpha}\right)^{1/2} = \left(\frac{\left(\frac{4 \cdot 9,85}{5,38}\right)^{3/2} \cdot 7,42}{0,0064}\right)^{1/2} = 152 \text{ s}$$

**B-hallen**

$$\alpha_{B-hallen} = \frac{9000 \text{ kW}}{1050^2 \text{ s}} \approx 0,008 \text{ kW/s}^2$$

$$H_{B-hallen} = 5,9 \text{ m}$$

$$r_{B-hallen} = 6,67 \text{ m}$$

$$\Delta T = 4 \text{ °C}$$

$$t_{detektion,B-hallen} = \left( \frac{\left( \frac{\Delta T \cdot H}{5,38} \right)^{3/2} \cdot r}{\alpha} \right)^{1/2} = \left( \frac{\left( \frac{4 \cdot 5,9}{5,38} \right)^{3/2} \cdot 6,67}{0,008} \right)^{1/2} = 88 \text{ s}$$

### Detektoraktivering FDS

I FDS har simuleringar för respektive lokals detektionstid gjorts.

För karatehallen och foajén är det fyra detektorer som har undersökts, en som är placerad mitt i karatehallen, en placerad i foajén och två placerade i entrén. I Tabell 24 redovisas resultaten. Eftersom branden är placerad på sämsta möjliga plats i förhållande till detektorplacering har tiden då den första detektorn aktiverats, för respektive sotpotential, valts.

**Tabell 24 – Detektionstid karatehallen och foajén.**

Försök	karatehallen [s]	foajé [s]	entré 1 [s]	entré 2 [s]
10 cm 0,015	22	41	27	37
10 cm 0,075	23	36	19	36

För A-hallen är det 16 detektorer som har undersökts, de är placerade i taket med samma avstånd mellan varandra som har definierats i avsnittet ovan *Detektorplacering för A-hallen och B-hallen*. I Tabell 25 redovisas resultaten. Eftersom placeringen av branden i simuleringen inte är på den sämsta möjliga platsen i förhållande till detektorplaceringen har tiden till då den tredje detektorn utlöst istället för den första valts.

**Tabell 25 – Detektionstid A-hallen.**

Antal utlösta detektorer	Tid [s]
1	29
2	30
3	47

För B-hallen är det sex detektorer som har undersökts, de är placerade i taket med samma avstånd mellan varandra som har definierats i avsnittet ovan *Detektorplacering för A-hallen och B-hallen*. I Tabell 26 redovisas resultaten. Eftersom branden är placerad på sämsta möjliga plats i förhållande till detektorplacering har tiden då den andra detektorn aktiverats valts.

**Tabell 26 – Detektionstid B-hallen.**

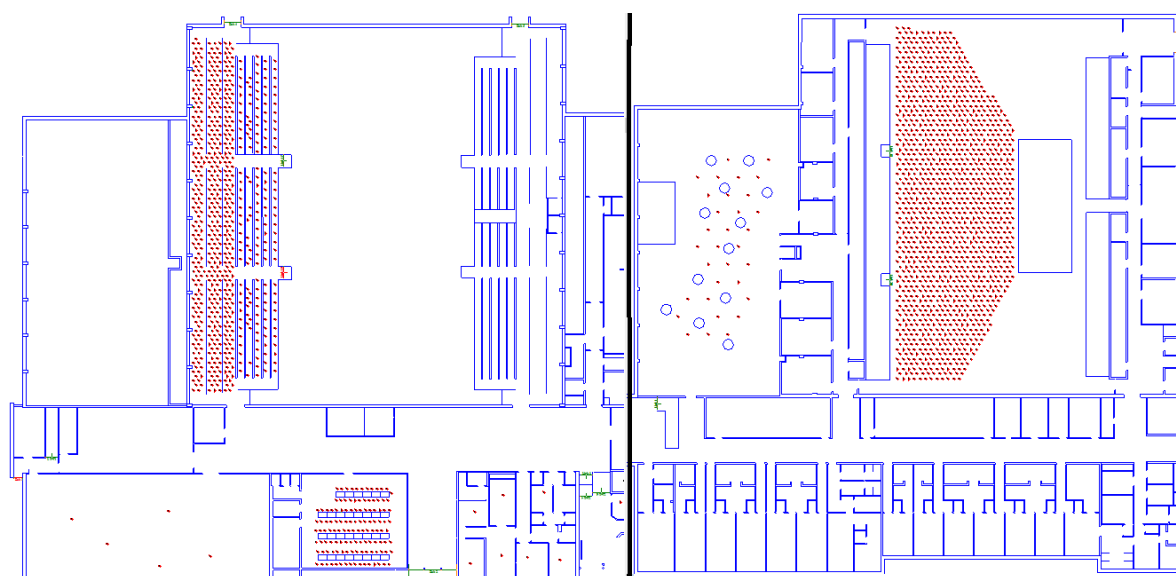
Antal utlösta detektorer	Tid [s]
1	47
2	49
3	50

## Bilaga 6 – Scenariobeskrivning och ingångsparametrar i Simulex

Nedan presenteras varje simulerat scenario för sig. Bakomliggande resonemang och valda inställningar för simuleringen redovisas och motiveras.

### Konsert

En scen på 15 x 6 meter är placerad framför en utrymningsväg i A-hallen. Det antas att läktaren till höger sett från foajén används som backstage och därför är inte utrymning möjlig där. Den vänstra läktaren är tillgänglig för besökarna. I nuläget är begränsningen i A-hallen 2000 personer men det mer troliga personantalet är 800 personer i sporthallsdelen av byggnaden, med sporthallsdelen menas alla lokaler utom bowlinghallen och simhallen med tillhörande omklädningsrum. Det simuleras även ett scenario med 1200 personer. Dessa tre scenarier simuleras för att utvärdera skillnader. Då denna verksamhet är förlagd till kvällstid så antas simhallsdelen och övrig normal verksamhet inte vara igång. I karatehallen finns det garderobsverksamhet och det antas befinna sig personal i lokalen. Vid denna verksamhet likställs gäster med *school children* i Simulex vilket innebär en fördelning på 10 % medelpersoner, 10 % män, 10 % kvinnor och 70 % barn.

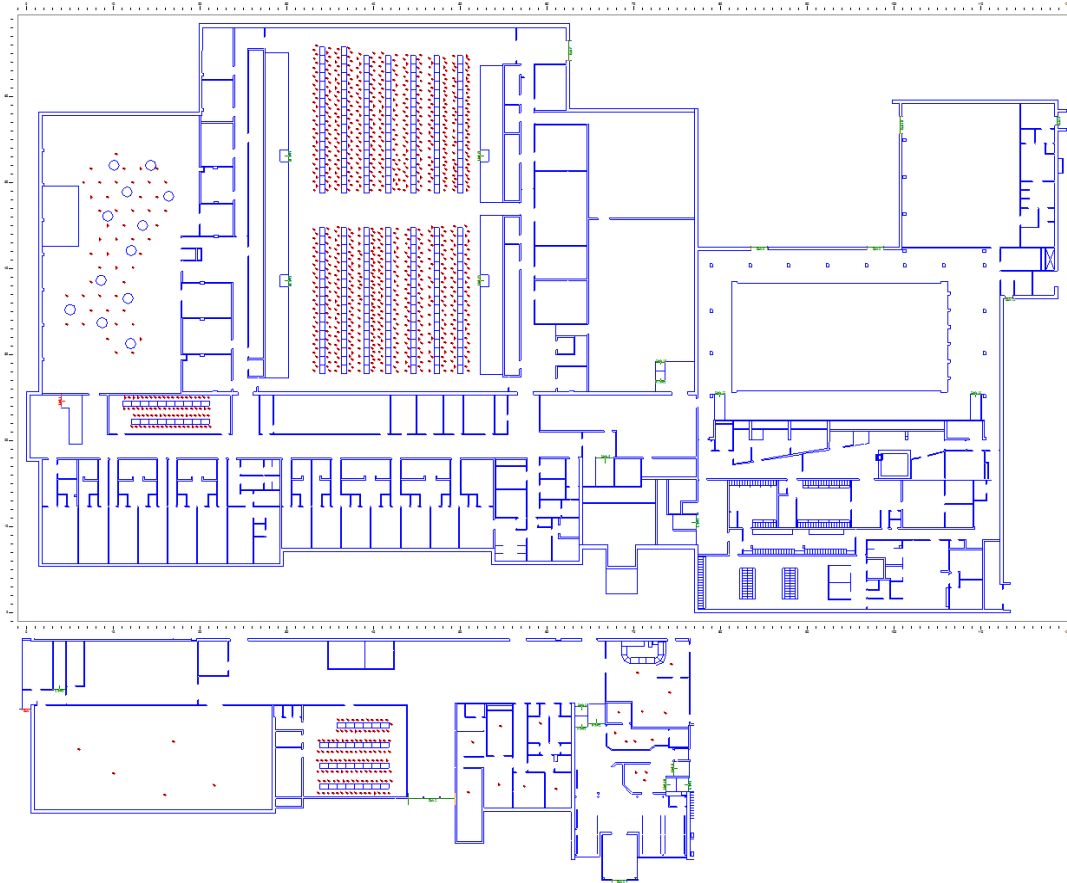


Figur 30 - Utplacering av personer i Simulex vid konsert, 2000 personer. Plan 2 till vänster och plan 1 till höger.

### Uppdukad lokal

Då karatehallen används som sittingslokal finns bord och stolar med plats för 120 personer. Borden är uppdelade på fyra rader med knappt två meter mellan varje rad. Samtidigt antas även att sittning kan ske i A-hallen med plats för 930 personer samt i teorilokalen med plats för 75 personer.

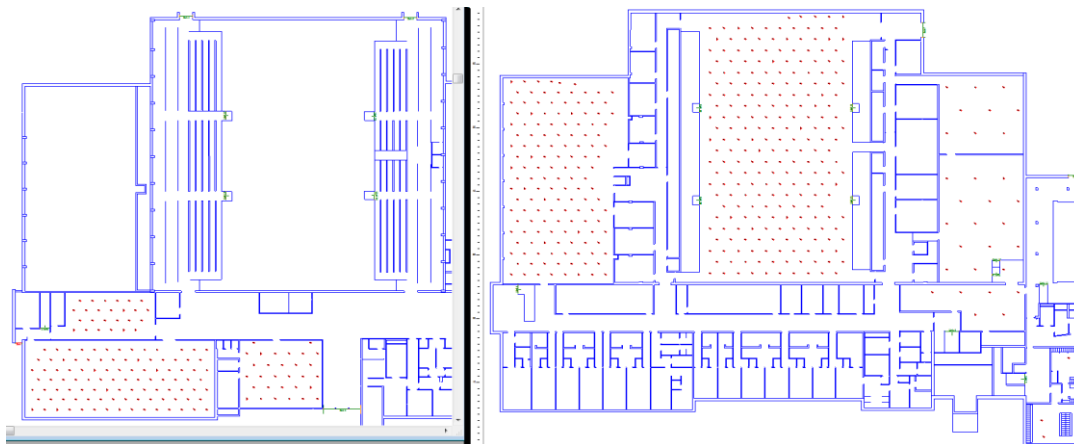
Friskportlokalen och Actic antas ha normal verksamhet vilket bedöms till att cirka 30 personer befinner sig i respektive lokal. I simhallen kan även en simtävling äga rum samtidigt. Därför antas det finnas cirka 150 personer där. Ett mindre antal antas även finnas i omklädningsrummen i simhallsdelen samt relaxavdelningen. Vid uppdukad lokal likställs gäster med *office staff* i Simulex vilket innebär en fördelning på 30 % medelpersoner, 40 % män, 30 % kvinnor.



Figur 31 - Visar plan 1 och foaje + uppdukad karatehall plan 2.

### Övernattning

Vid evenemang som Vätternrundan sker övernattning i A-hallen, B-hallen, karatehallen, bordtennishallen och boxningshallen. Maximal belastning i lokalerna varierar mellan 230 personer i A-hallen till 25 personer i boxningshallen. Enligt uppgift från Kenneth Andersson<sup>5</sup> sover inte alla samtidigt vilket tas i beaktning i förberedelseiden. Actic har öppettid som vanligt och därför antas det finnas cirka 30 personer där. Omklädningsrummen i simhallsdelen används för deltagare i Vätternrundan samt för de som tränar på Actic, men det antas inte vara så många där samtidigt. I övriga lokaler antas det inte vistas några personer. Vid övernattning likställs gäster med *office staff* i Simulex vilket innebär en fördelning på 30 % medelpersoner, 40 % män, 30 % kvinnor.



Figur 32 - Utplacering av personer i Simulex vid övernattning. Plan 2 till vänster och plan 1 till höger.

<sup>5</sup> Kenneth Andersson, Motala Kommun, platsbesök 2014-02-06

Antal personer som befinner sig i respektive lokal beroende på verksamhet sammanställs i Tabell 27 nedan.

**Tabell 27 – Antal personer i respektive lokal beroende på verksamhet (Boverket, 2006).**

<b>Verksamhet</b>	<b>Lokal</b>	<b>Antal personer</b>
Konsert	Sporthallsdelen	2000
	Sporthallsdelen	1200
	Sporthallsdelen	800
Uppdukad lokal	A-hall	930
	Karatehall	120
	Teorilokal	75
	Frisksporthall och Actic	30 vardera
	Simhall	150
	Omlädningsrum dam respektive herr	15 vardera
Övernattning	A-hall	230
	B-hall	140
	Karatehall	30
	Bordtennislokal	100
	Boxningshall	25
	Actic	30
	Omlädningsrum dam respektive herr	15 vardera



## Bilaga 7 – Metodik för framtagandet av effektutvecklingskurvor

I följande bilaga behandlas resonemang, använd data och beräkningar som resulterat i dimensionerande bränderna för utvalda brandscenarion 17, 19, 29 och 30. Nedan följer en presentation av den metodik och ekvationer som använts.

### Metodik

Varje scenario har förenklats för att schematiskt representera den brandbelastning som kan förväntas. Testdata för varje enskilt objekt redovisas i diagram och ligger till grund för att kvantifiera ett samband mellan utvecklad effekt och tid. Beräkningar för spridning via värmestrålning används för att avgöra när närliggande objekt kommer antända. Genom att sedan summera testdata för samtliga objekt i kombination med när de antänder fås en total effektutvecklingskurva som beskriver den växande branden i utrymmet.

Den framtagna effektutvecklingskurvan har vidare generaliserats för att täcka in osäkerheter och konservativt behandla hur snabbt branden når sin maximala effektutveckling. Detta generaliserande samband, hänvisat till som den dimensionerande branden, anses även representera andra möjliga bränder än bara det schematiska scenariot. För att ta fram den dimensionerande branden har effektutvecklingen approximerats med hjälp av ett  $\alpha t^2$ -samband redovisat nedan.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2$$

Detta samband har visat sig överensstämma med testdata och är ett vedertaget samband för att uppskatta effektutvecklingen för en brand (Karlsson & Quintiere, 2000). Den generaliserande kurvan används för vidare beräkningar och simuleringar.

### Brandspridning mellan objekt

Nedan redovisas tre ekvationer som har använts för att kontrollera krävd effekt för antändning via värmestrålning på ett specifikt avstånd. Ekvationerna är uppdelade efter hur stor värmestrålning som infaller på objektet.

$$\text{Lätt antändligt (10 kW/m}^2\text{):} \quad \dot{Q}_{fire} = 30 \cdot 10^{\left(\frac{\text{Avstånd} + 0,08}{0,89}\right)}$$

$$\text{Normal antändligt (20kW/m}^2\text{):} \quad \dot{Q}_{fire} = 30 \cdot \left(\frac{\text{Avstånd} + 0,05}{0,019}\right)$$

$$\text{Svår antändligt (40 kW/m}^2\text{):} \quad \dot{Q}_{fire} = 30 \cdot \left(\frac{\text{Avstånd} + 0,02}{0,0092}\right)$$

Ekvationerna är framtagna av Babrauskas, baserat på flertalet test som undersökt krävd effekt för antändning av olika typer av möbler på olika avstånd, se Diagram 21 (Babrauskas, 1981).

Konstanterna i ovanstående ekvation är framtagna regressionskonstanter framtagna ur Diagram 21.

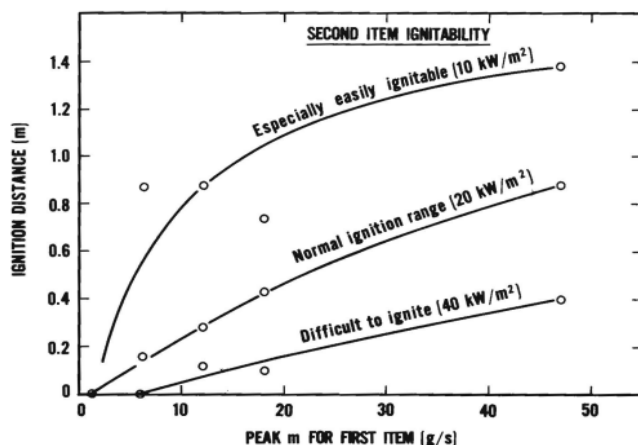


Diagram 21 - Antändning vid en viss strålning och ett visst avstånd (Babrauskas, 1981).

I denna rapport har ytterligare litteratur och data motiverat vilken strålningseffekt (10/20/40 kW/m<sup>2</sup>) som krävs för antändning.

### Övertändning

För att kontrollera om övertändning sker används följande ekvation framtagen av McCaffrey, Quintiere och Harkleroad (Karlsson & Quintiere, 2000).

$$\dot{Q}_{FO} = 610(h_k \cdot A_T \cdot A_0 \sqrt{H_0})^{1/2}$$

Ekvationen antar att övertändning sker då bildat brandgaslager uppnår en temperatur på över 500°C. Vid denna temperatur antas strålningen från brandgaslagret vara tillräcklig för att antända samtliga objekt i rummet (Karlsson & Quintiere, 2000).

### Temperatur i brandgasplym

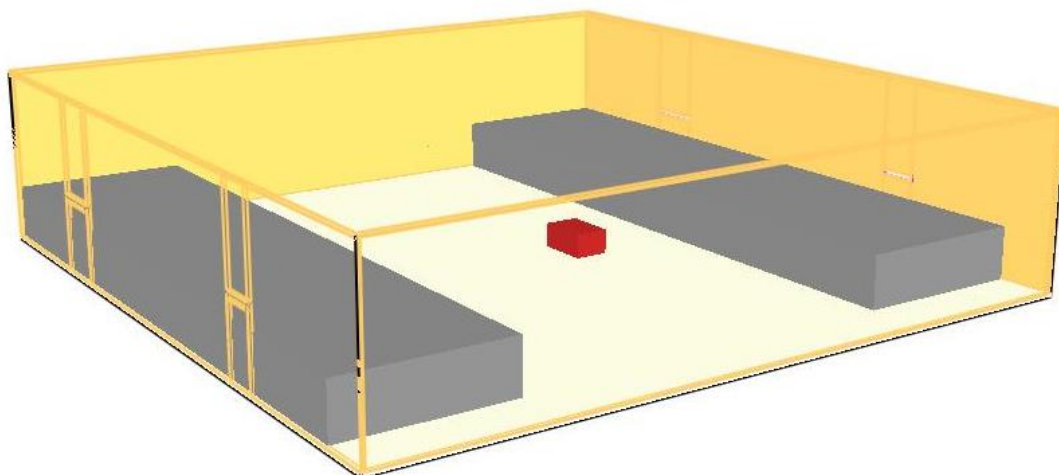
McCaffreys ekvation för beräkning av temperaturen i brandgasplymen på höjden  $z$  redovisas nedan.

$$\Delta T_0 = \left( \frac{\kappa}{0,9 \cdot \sqrt{2g}} \right)^2 \left( \frac{z}{\dot{Q}^{2/5}} \right)^{2\eta-1} \cdot T_\infty$$

Ekvationen används för att undersöka om temperaturen i brandgaserna i plymen blir tillräckligt höga för att antända takmaterial i A- och B-hallen.

### Bilaga 8 – Ingångsparameterar FDS simulering av A-hallen

Simuleringar har gjorts med ett simuleringsprogram av typen CFD (Computational Fluid Dynamics). För brand applikation används programmet FDS (Fire Dynamics Simulator), versionen som har använts är FDS 5.5.3. Vid simulering av A-hallen har specifika ingångsparameterar använts i simuleringarna, de presenteras kortfattat i denna text. Eftersom rapporten bygger på personsäkerhet och utrymning har simuleringarna gjorts på korta tidsintervall. Tiden har även justerats med avseende på den tid det tar att rökfylla lokalerna, simuleringstiden har varit 850 sekunder. Simuleringsuppställning presenteras nedan.

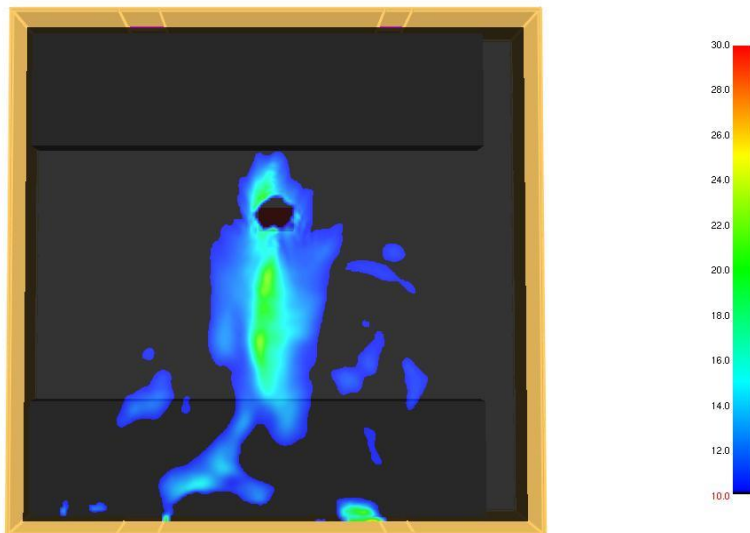


Figur 33 - Simuleringsuppställning för A-hallen.

Branden har valts över en yta av  $6 \text{ m}^2$  med en HRRPUA på  $866,67 \text{ kW/m}^2$ . Branden har anpassats efter effektutvecklingskurvan som har tagits fram för brandscenario 17 – *Brand på scen i A-hallen*. För att få branden i simuleringen att efterlikna effektutvecklingskurvan har kommandot &RAMP använts, se bilaga 9. Soot yielden har valts till 0,015 (Karlsson & Quintiere, 2000) vilket anses representativt för en träbrand. I Figur 33 finns det fyra stycken VENT:s på en area av  $4 \text{ m}^2$ , dessa öppningar ska representera läckaget i A-hallen (Karlsson & Quintiere, 2000).

Simuleringen har gjorts med ett 20 cm grid. För att mäta sikten i simuleringen har slicefiles för parametern VISIBILITY används i Z-led, höjden som slicefilen är tagen ifrån är två meter, mätt från gången ovanför läktaren. Detta är samma höjd som acceptanskriteriet på 10 meter sikt anger. Acceptanskriteriet för sikt överskrids efter cirka 600 sekunder, se Figur 34 nedan.

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 707  
Time: 601.0

**Figur 34 - Acceptanskriteriet för sikt, sett uppifrån, uppnås vid cirka 600 sekunder. Det som är svart i figuren representerar en sikt på 10 meter eller mindre.**

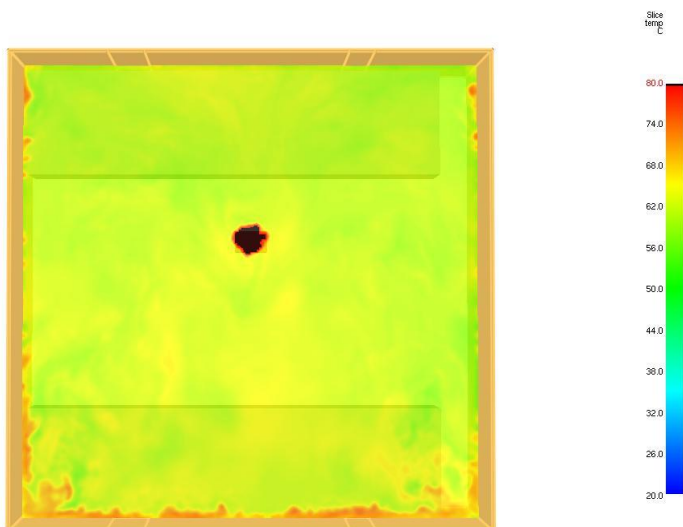
För att mäta rökfyllnad har devices med parametern LAYER HEIGHT använts för att se när acceptanskriteriet överskrids. I A-hallen är det höjden 2,6 meter som brandgaslagret inte får sjunka under. Acceptanskriteriet överskrids för alla mätpunkter efter 473 sekunder.

**Tabell 28 - Tid till acceptanskriteriet för brandgaslagrets höjd överskrids.**

A-hallen	Tid [s]
En mätpunkt	422
Alla mätpunkter	473

Acceptanskriteriet för temperatur uppnås inte inom simuleringstiden 850 sekunder, se Figur 35.

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 1000  
Time: 850.0

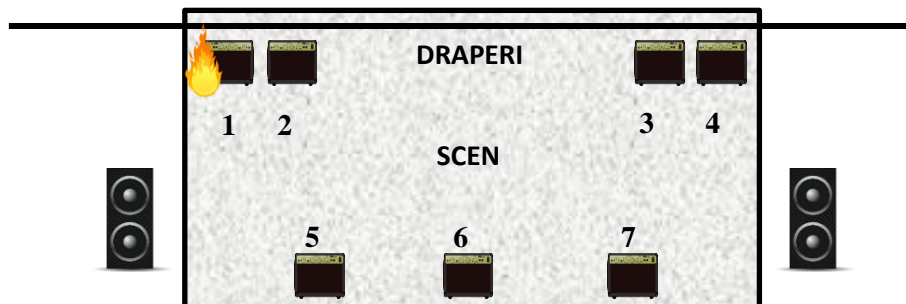
**Figur 35 - Acceptanskriteriet för temperatur, sett uppifrån, uppnås inte innan simuleringstiden på 850 sekunder. Det som är svart i figuren representerar en temperatur på 80 °C eller mer.**

## Bilaga 9 – Brand på scen i A-hallen

Nedan redovisas tankegång och beräkningar som ligger till grund för en dimensionerande brand som startar på en scen i A-hallen.

### Scenariobeskrivning

Scenen kan användas vid många olika typer av evenemang och mängden brännbart material kommer därmed att variera. I det analyserade brandscenariot har en scen dimensionerats efter A-hallens mått för att kunna representera en scen som kan användas både för konsert och vid mindre uppträdande. Scenen är 15 x 6 meter till ytan och ett draperi med längden 21 meter samt höjden 6 meter är upphängt längst bakkanten, se Figur 36. Totalt är sju högtalare utplacerade med två större högtalartorn på vardera sida om scenen.



Figur 36 – Uppställning av högtalare på scenen.

Illustration: Oliver Walsh, LTH

Initialbranden börjar i en högtalare belägen på scenens bakre del på grund av elfel (högtalare 1). Det andra föremålet som antänds är en likadan högtalare står placerad bredvid den första (högtalare 2). Denna antänds på grund av en kombination av värmestrålning och att den kommer i kontakt med flammor från branden i högtalare 1. Branden sprids vidare till det draperi som är upphängt på baksidan av scenen. Vertikal och horisontal spridning sker längs draperiet vilket medför en ökad effekt och värmestrålning och involverar övriga högtalare belägna på scenens bakre del (högtalare 3 och 4). Scengolvet involveras i branden i detta skede vilket utgör en spridningskälla till övriga högtalare och högtalartornen på scenens sida. Detta utgör den fullt utvecklade branden.

### Brandförlopp

Nedan redovisas effektutveckling från de föremål som involveras i branden på scenen i A-hallen.

#### Initialbrand - högtalare 1

För att uppskatta effektutvecklingen från en brand som startar i en högtalare används data från försök utförda på äldre tv-apparater. Den i testet använda tv-modellen består av ett omslutande hölje av trä och komponenter huvudsakligen av plast. Vikten av tv-apparaten är 32,7 kg och den antänds från insidan (Karlsson & Quintiere, 2000). Då högtalare består huvudsakligen av plastdelar och ett hölje av trä anses detta test kunna representera brand i en högtalare. Dessutom anses antändningskällan som användes vid testet representativ för initialbranden.

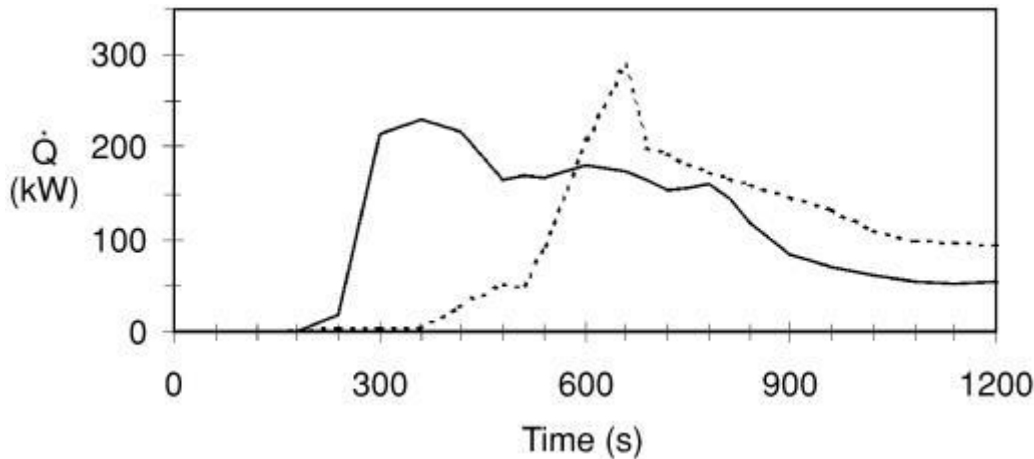


Diagram 22 - Effektutvecklingskurva för TV-apparater (Karlsson & Quintiere, 2000).

Den heldragna linjen i Diagram 22 visar effektutvecklingskurvan för det ovan beskrivna testet. Den maximala effekten som uppnås vid detta test är 250 kW vid tiden 300 sekunder. Någon märkbar effekt uppnås inte förrän 180 sekunder efter antändning.

### Antändning högtalare 2

Den närliggande högtalaren utsatt för värmestrålning och kommer även komma i kontakt med flammor. Babrauskas formler för uppskattning av krävd brandeffekt används för att uppskatta när dessa högtalare antänds (Deal, 1995). Högtalarna anses tillhöra materialgruppen *normalresistent mot antändning*. Följande beräkning görs för att avgöra krävd effekt för antändning.

$$\dot{Q}_{fire} = 30 \cdot \left( \frac{0,2 + 0,05}{0,019} \right) = 394,7 \text{ kW}$$

Högtalare 1 genererar en maximal effektutveckling på 250 kW. Dock anses högtalarna angränsa till varandra och på avståndet 0,2 meter kommer lågor slå över mellan högtalarna. Kritisk nivå för infallande strålning och antändning med pilotlåga är 12 kW/m<sup>2</sup> för trämaterial (Drysdale, 2011). Av denna anledning anses nivån 250 kW vara tillräckligt för att antända Högtalare 2 vid tiden 300 sekunder.

Högtalarna följer i sin tur samma brandförlopp som redovisas i Diagram 22. Effektutvecklingen från Högtalare 2 antas stegra direkt utan antändningstid då denna är i kontakt med flammor från Högtalare 1. En maximal effektutveckling på 250 kW uppnås 120 sekunder efter antändning.

### Antändning draperi

Avståndet till draperiet från Högtalare 1 och 2 är 1 m. Babrauskas ekvation för uppskattning av brandspridning via strålning används för att avgöra krävd brandeffekt för att draperiet ska antändas. Draperiet anses tillhöra materialgruppen ”lättantändligt” (Deal, 1995). Beräkning redovisas nedan.

$$\dot{Q}_{fire} = 30 \cdot 10^{\left( \frac{1+0,08}{0,89} \right)} = 490,5 \text{ kW}$$

Den krävda effekten uppnås vid tiden 420 sekunder då både Högtalare 1 och 2 brinner med maxeffekt och gemensamt genererar 500 kW. Draperiet antas antända i den punkt som ligger vinkelrätt mot det brinnande högtalarparet.

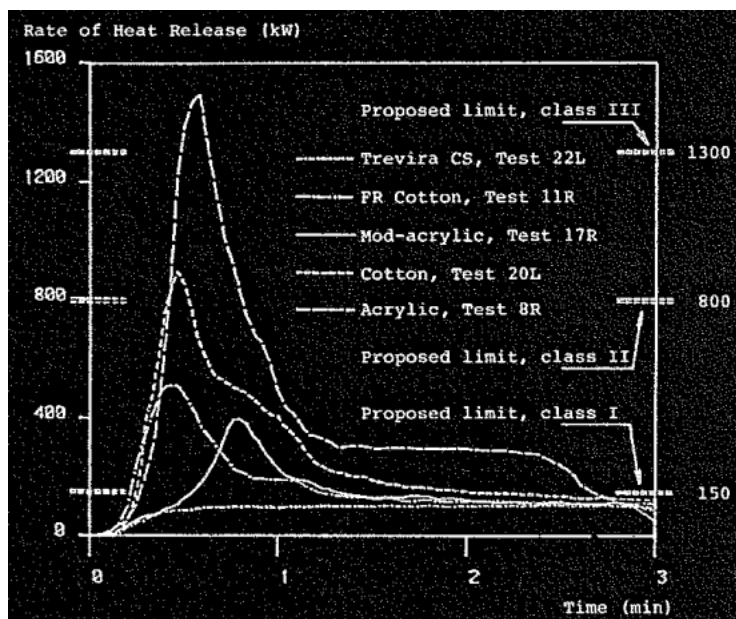
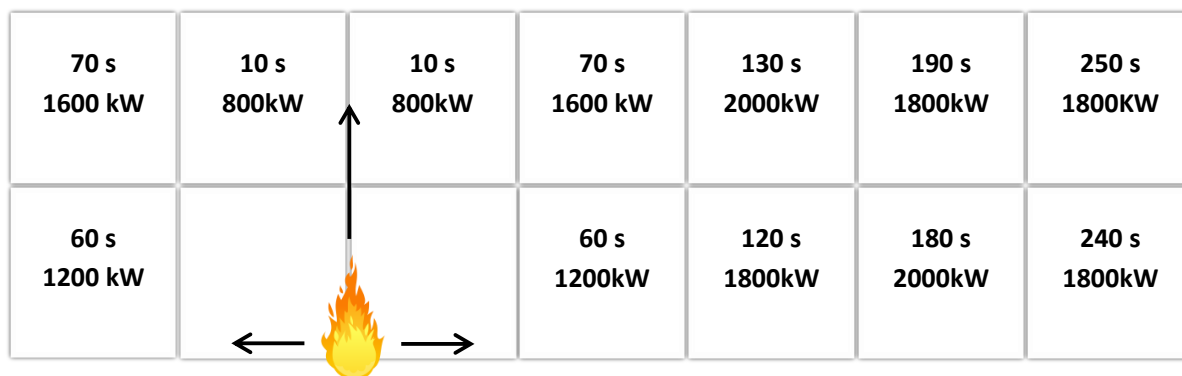


Diagram 23 - Effektutvecklingskurva för draperier (Göransson & Wetterlund, 1988).

Test 20L, Cotton visar effektutvecklingen vald att representera branden i draperiet, se Diagram 23. Testet är utfört för att undersöka brandspridning i draperier som används av teatrar och på scener. Testexemplaret har varit fritt hängande med måtten 3 x 3 meter (Göransson & Wetterlund 1998). En maximal effektutveckling på 800 kW nås efter ungefär 30 sekunder och avtar därefter till ca 200 kW för att helt sluta brinna efter 180 sekunder.

### Brandspridning i draperi

Ytan av draperiet delas upp i 12 lika stora stycken som alla kan representeras av Göransson & Wetterlunds (1998) test. En förenkling är gjord där varje stycke kommer bidra med 200 kW till den totala effektutvecklingen för draperiet. Total effektutveckling i förhållande till tid redovisas i Figur 37 nedan.



Figur 37 – Brandspridning i draperi.  
Illustration: Oliver Walsh, LTH

Storleken av draperiet är 126 m<sup>2</sup>, 21 meter långt och 6 meter högt. Vertikal flamspridning uppmättes av Wetterlund & Göransson (1998) till att variera mellan 0,1-0,5 m/s för scendrapier. Inga specifika mätvärde finns för horisontal flamspridning för vertikalt hängande tygmateriel. För beräkning antas värdet 0,05 m/s vara representativt för horisontal spridning och 0,3 m/s för vertikal flamspridning. Det betyder att efter 10 sekunder har branden spridit sig 3 meter vertikalt och nästa 3 x 3 meter-stycke antänder. Efter 60 sekunder har branden spridit sig horisontalt för att innefatta de två horisontalt intilliggande styckena av draperiet och brandspridning fortsätter enligt detta mönster.

Viktigt att notera är att om draperiet istället varit utfört i flamskyddat material krävs en högre värmestrålning och detta hade kunnat fördröja eller förhindra brandspridning till draperiet. Det är motiverat att anta att brandspridning sker eftersom flammor kan komma i direktkontakt med draperiet vilket tillslut kommer leda till att detta antänds.

### Antändning - scengolv

Scengolvet består av behandlade plywoodskivor som antas tillhöra materialgruppen *normalresistent mot antändning* enligt Babrauskas ekvationer för uppskattning av brandspridning via strålning (Deal, 1995). Beräkning för krävd effekt för brandspridning redovisas nedan.

$$\dot{Q}_{fire} = 30 \cdot \left( \frac{1 + 0,05}{0,019} \right) = 1667,9 \text{ kW}$$

120 sekunder efter att draperiet har antänt uppnås den effekt som generar den kritiska strålningen, se Diagram 23. Scengolvet antänds en meter ut på scenen sett från draperiet.

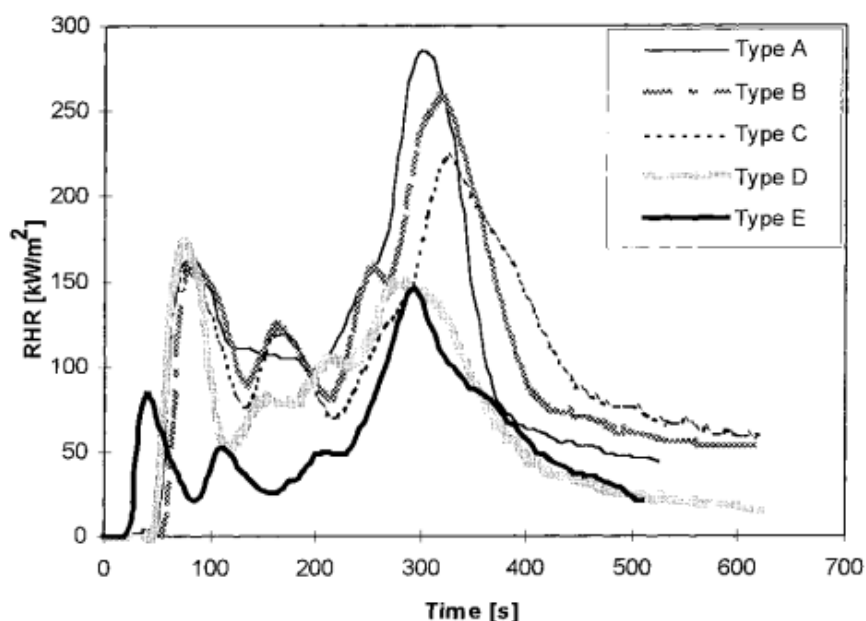


Diagram 24 - Effektutvecklingskurva för plywoodskivor (Grexa, et al., 1999).

Effektutvecklingen för scengolvet baseras på testet *Type C* i Diagram 24. *Type C* är en plywoodskiva som impregnerats och skyddats mot brand och anses representera den typ som används för monterbara scengolv. Den varierande effektutvecklingen beror på olika grader av förkolning hos plywoodmaterial. Effekten når maximalt 225 kW/m<sup>2</sup> men ligger i medel på 100 kW/m<sup>2</sup> vid större delen av brandförloppet. En effektutveckling på 100 kW anses representera varje kvadratmeter av scengolvet som brinner.

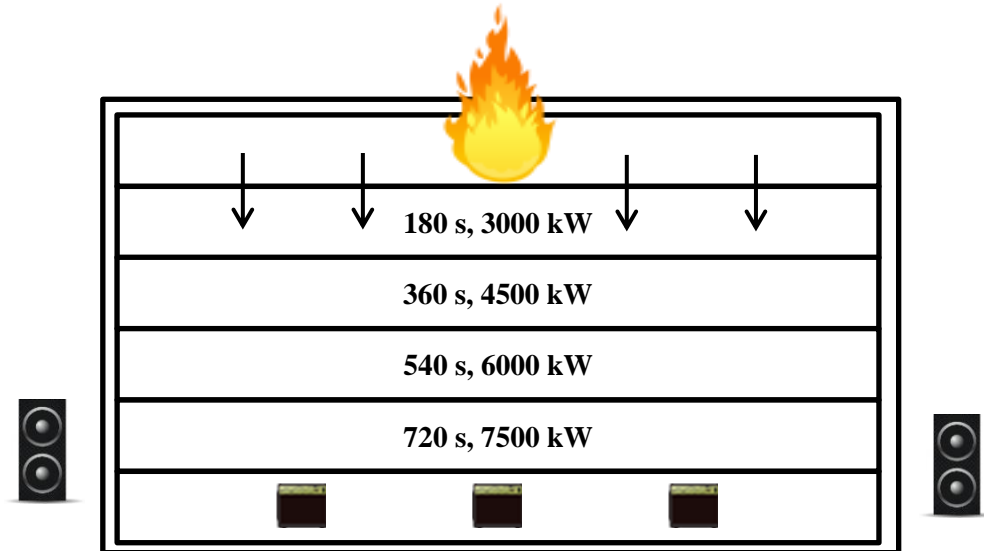
### Brandspridning på scengolv

Spridningen av branden på scengolvet sker främst på grund av strålningsinverkan från den redan utvecklade branden, men även på grund av värmeledning genom materialet. Babrauskas ekvation med avståndet 0,1 m används för att beräkna den krävda strålningsintensiteten för flamspridning längs plywoodgolvet.

$$\dot{Q}_{fire} = 30 \cdot \left( \frac{0,05 + 0,05}{0,019} \right) = 158,9 \text{ kW}$$



Denna effekt uppnås efter 50 sekunder då närliggande golv brinner med en effekt på 150 kW/m<sup>2</sup> och ligger stadigvarande på denna effekt. Den horisontella flamspridningen längs scengolvet sker sedan med en uppskattad hastighet av 0,0056 m/s (Leung, et al., 2003). Spridningen sker schematiskt enligt Figur 38 och efter 15 minuter är hela scenen involverad i branden. Den maximala effekten uppgår till 9 MW.



Figur 38 – Brandspridning över scengolvet.  
Illustration: Oliver Walsh, LTH

#### Spridning till högtalartorn, övriga högtalare och kablage

Högtalare 3 och 4 antänder då branden i draperiet når dessa vid 600 sekunder efter att branden startat. Dessa följer effektutvecklingen enligt Diagram 22. Högtalartornen involveras i branden då den totala strålningen från scenen är 6 MW, 540 sekunder efter denna antändning, se Figur 38. Högtalartornen som är placerade vid sidan av scenen är fyra meter höga och representeras av sex stycken högtalare staplade på varandra. Effektutvecklingen följer förloppet enligt testresultat från tv-apparater redovisat i Diagram 22. Men med en sex gånger så stor effekt, genomsnittligt 1200 kW. De tre högtalarna på scenens främre del antänds 720 sekunder efter att scengolvet antänt. Även dessa bidrar med en effekt enligt Diagram 22. Kablage som ligger dragen på och runt omkring scenen antas kunna bidra med en total effekt av 1 MW baserat på beräkningar gjorda på kabelstegar med en total kabelarea av 3 m<sup>2</sup> och kablage av PVC material (SFPE, 2002).

#### Resultat används för den dimensionerande branden

Nedan redovisas effektutvecklingskurvan för den dimensionerande branden effekt över tid. Den beräknade effektutvecklingen har generaliserats med en avrundad effektutvecklingskurva enligt flera  $\dot{Q} = \alpha \cdot t^2$  samband.

## Brand på scen i A-hallen

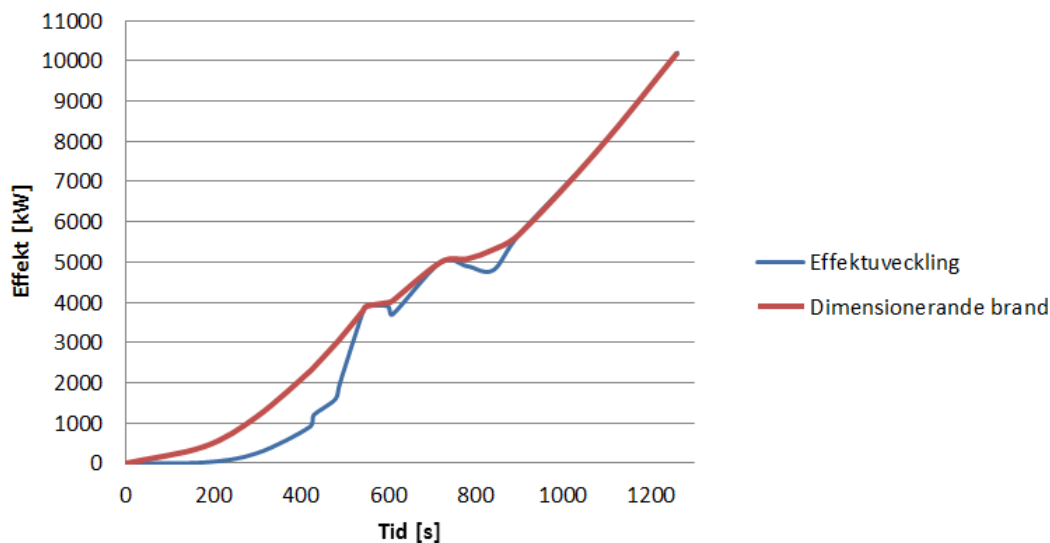


Diagram 25 - Ovanstående diagram presenterar en framräknad effektutvecklingskurva med data från tabell nedan samt en anpassad effektutvecklingskurva där framräknade  $\alpha$ -värdet används.

Tabell 29 – Antändningstider, brand på scen i A-hallen.

Tid [s]	Genererad effekt [kW]	Kommentar
0	0	Antändningstid för Högtalare 1 inleds
180	25	Högtalare 1 antänder
300	250	Högtalare 2 antänder
420	500	Draperi antänder
430	1200	
480	1600	
490	2000	Scengolv antänder
540	3700	
550	3900	Högtalare 3 & 4 antänder
600	3900	
610	3700	
720	5000	
780	4900	
840	4800	Högtalartorn antänder. Draperi har brunnit upp
900	5700	Övriga högtalare antänder
1080	7800	
1260	10200	Fullt utvecklade brand

### Spridningsrisk av dimensionerande brand

Nedan redovisas beräkningar och resonemang som utvärderar om den dimensionerande branden kan sprida sig till tak och läktare i A-hallen.

### Brandspridning till tak

För att kontrollera spridningsrisken till A-hallens trätak görs en överslagsberäkning på flamhöjden då en fullt utvecklade 10 MW brand innefattar hela scenen på 90 m<sup>2</sup>.

$$L = 0,235 \dot{Q}^{2/5} - 1,02 \cdot D = 0,235 \cdot 10000^{2/5} \text{ kW} - 1,02 \cdot 5,35 \approx 4 \text{ meter}$$

Eftersom det enbart blir en flamhöjd på fyra meter kommer taket inte att antändas.

Ytterligare överslagsberäkning används för att beräkna temperaturen vid taket på 9,85 m höjd. McCaffreys ekvation för att beräkna temperaturen i brandgasplymen på denna höjd används.

$$\Delta T_0 = \left( \frac{\kappa}{0,9 \cdot \sqrt{2g}} \right)^2 \left( \frac{z}{\dot{Q}^{2/5}} \right)^{2\eta-1} \cdot T_\infty = \left( \frac{1,1}{0,9 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^2 \left( \frac{9,85}{10000^{2/5}} \right)^{2 \cdot -1/3-1} \cdot 293 = 228,78 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Självantändningstemperaturen för trämaterial är 600°C och 350°C med pilotlåga. En brand med effekten 10 MW genererar inte en tillräckligt varm brandgasplym för att trälisterna i taket ska antändas i detta skede av branden. McCaffreys plymekvation används istället för Heskestads plymekvation för att få konservativa värden, då McCaffreys ekvation ger cirka 10 % högre värden (Drysdale, 2011).

### Strålning från draperi till läktare

Test utförda av Wetterlund & Göransson (1998) visar att värmestrålningen från brinnande scendraprier uppnår maximalt 15 kW/m<sup>2</sup> i mindre än 30 sekunder. Den kritiska strålningsnivån som får trämaterial att självantända är 28 kW/m<sup>2</sup> (Drysdale, 2011). Av denna anledning anses inte läktarna kunna antända av enbart strålning. Om scenen skulle kollapsa vid en brand, eller om draperiet faller sönder kan spridning till läktare ske. Detta anses dock inte hända inom tidsförloppet för den dimensionerande branden.

## Bilaga 10 – Brand i B-hallen vid övernattnig

Nedan beskrivs tankegång och beräkningar som ligger till grund för en dimensionerande brand som startar i B-hallen vid övernattnig.

### Scenariobeskrivning

Ett elfel i en mobilladdare som är placerad i kontakt med en persons packning orsakar en viss värmeutveckling som tillslut leder till antändning. Denna packning är placerad i direkt närhet till utrymningsvägen som leder in till A-hallen. Branden sprids till närliggande sovsäck och sprider sig vidare till annan packning och sovsäckar i B-hallen. Avståndet mellan de olika bränslepaketet, bestående av packning, och sovsäck är 0,5 meter.

### Brandförlopp

Nedan redovisas effektutveckling från de föremål som involveras i branden i B-hallen. Brandbelastningen består totalt av 140 stycken sovsäckar inklusive kuddar och packning.

### Sovsäck inklusive kudde

Data för sovsäcken *Fjällräven Funäs Reg®* (0,62 kg) approximeras till en kudde innehållandes *polyurethane foam, shredded, #1* och #2 i Diagram 26 då stoppningen i sovsäckar kan bestå av polyuretan samt att den totala massan stämmer relativt bra överens. Då det är antaget att varje sovsäck inkluderar någon form av kudde kan en sovsäck med kudde approximeras till två stycken kuddar stoppade med polyuretan. Då båda *polyurethane foam, shredded #1* och #2 kan representera sovsäcken och kudden adderas kurva #1 och #2 till en och samma kurva, se Diagram 26.

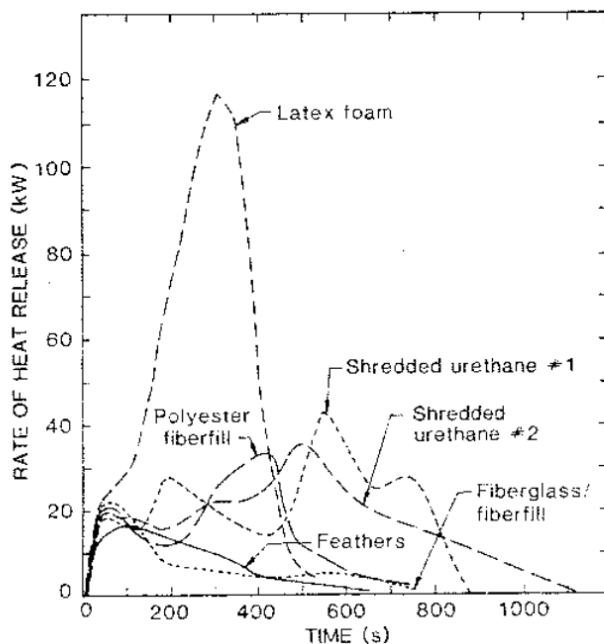


Diagram 26 – Effektutvecklingskurvor för kuddar (Babrauskas, 1984).

## Effektutveckling för sovsäck inkl. kudde

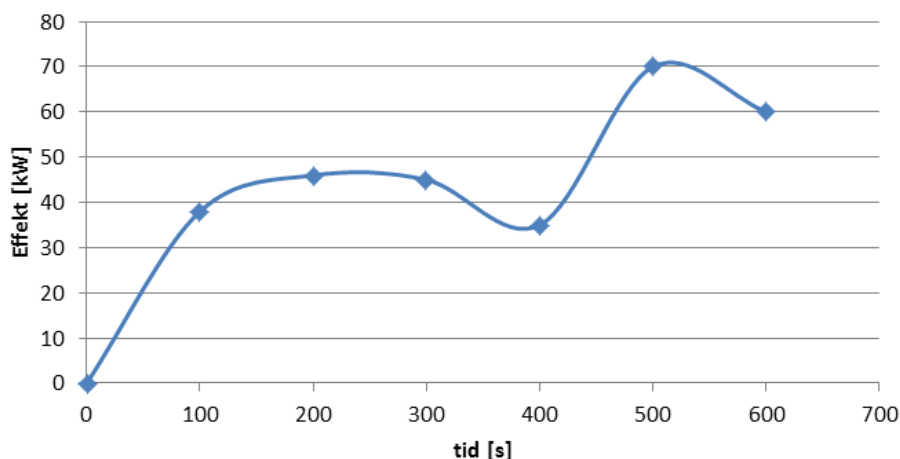


Diagram 27 - Ovanstående diagram bygger på antagandet om att en sovsäck och en kudde motsvaras av *polyurethane foam, shredded #1* och *#2*. Data är hämtad från diagram ovan.

### Packning

Packning kan exempelvis utgöras av träningskläder för Vätternrundan. Då en persons packning varierar och kan innehålla en mängd olika sorters material görs ändå bedömningen att många kommer att ha någon form av träningskläder. Dessa är ofta tillverkade i polyester och effektutvecklingen för en sådan jacka finns presenterad i Diagram 28. Det uppskattas att varje person har motsvarande fyra stycken polyesterjackor i sin packning. Dessa bedöms även vara uppackade då de kan ha använts och hänger på tork, eller ska snart användas och är framplockade.

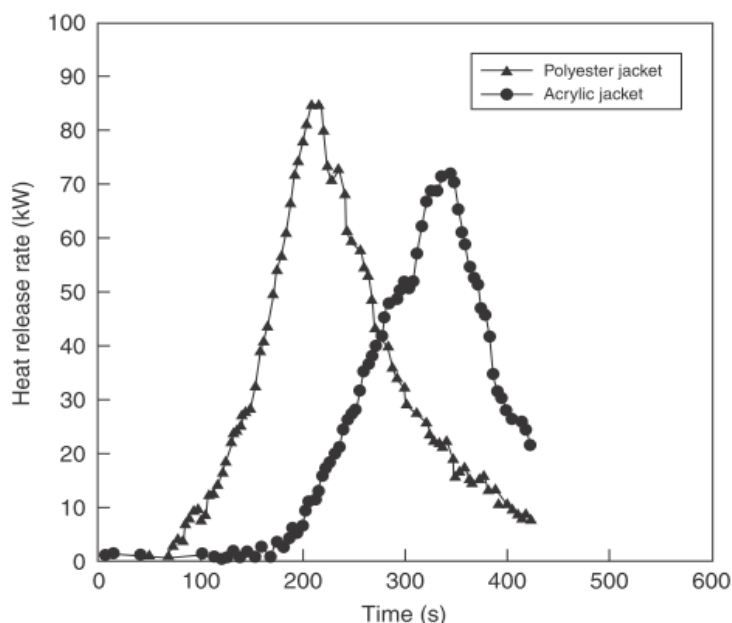


Diagram 28- Effektutvecklingskurva för två stycken jackor, testet för "Polyester jacket" anses representativt för sportjackorna i karatehallen. (SFPE, 2002)

## Effektutveckling för packning

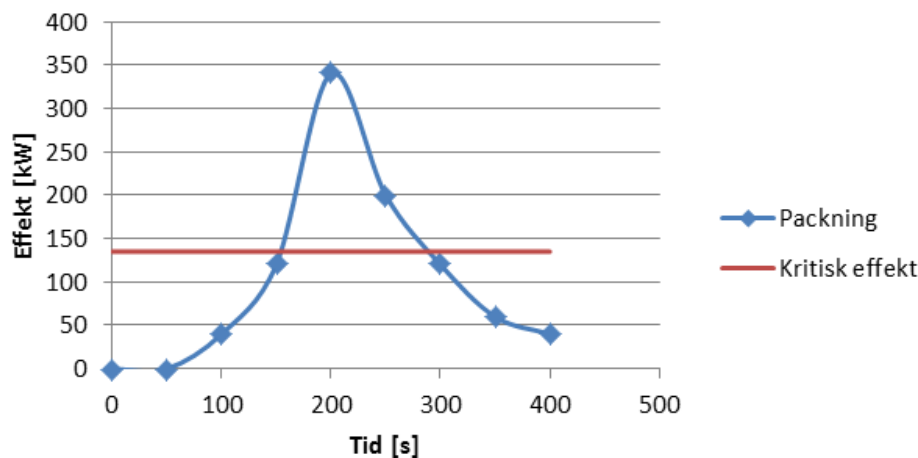


Diagram 29 - Ovanstående diagram bygger på antagandet om att en persons packning motsvaras av fyra träningsjackor i polyuretan. Data är hämtad från diagram ovan. En kritisk effekt för brandspridning via strålning på 0,5 meters avstånd är även utritad.

### Brandspridning

Babrauskas ekvation används för att beräkna spridning mellan föremålen i B-hallen. Materialet anses tillhöra den materialgruppen som antänder lätt, motsvarande en infallande strålning på  $10 \text{ kW/m}^2$  (Deal, 1995).

$$\dot{Q}_{fire,0.5 m} = 30 \cdot 10^{\left(\frac{0.5m + 0.08}{0.89}\right)} \approx 135 \text{ kW}$$

Den lägsta kritiska effekten för brandspridning vid ett avstånd på 0,5 meter blir 135 kW efter 150 sekunder. Varje objekt som involveras i branden bedöms sedan sprida sig till två nya objekt.

### Resultat använda för den dimensionerande branden

Nedan presenteras en kronologisk tabell med varje delmoment i branden presenterad med respektive start- och maxeffekt samt till vilket annat objekt branden förväntas sprida sig till. För varje objekt som involverats i branden har en effekt vid en given tidpunkt adderats till den totala effekten. Likaså subtraheras effekten då föremålet har brunnit upp. Packningen och sovsäcken bidrar med effektutveckling enligt respektive kurva och de olika objekten kommer brinna 10 minuter för sovsäcken och 4 minuter för packningen. Efter 1050 sekunder (17,5 minuter) uppnås en effekt på 9 MW. Vidare beräkningar har gjorts för att kontrollera plymtemperaturen vid taket och visat att den ligger på drygt  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vid en så pass hög temperatur föreligger risk för trätaket ska antända, vilket skulle kunna leda till en snabb övertändning av lokalen, se *Brandspridning till tak*.

Tabell 30 – Antändningstider, brand i B-hallen vid övernattnig. Nedan presenteras varje objekt och dess beräknade effekt uppdelade i 150 sekunders tidsintervall.

Tidsintervall [s]	Objekt	Starteffekt [kW]	Maxeffekt [kW]	Brandspridning till objekt	Objekt som slocknar
0	Mobilladdare	0	låg	packning	-
0-150	packning	Låg	135	sovsäck	-
150-300	sovsäck	135	160	2 sovsäckar m. kuddar + 2 packningar	-
300-450	2 sovsäckar m kuddar + 2 packningar	160	385	4 sovsäckar m kuddar + 4 packningar	1 packning
450-600	4 sovsäckar m kuddar + 4 packningar	385	1040	8 sovsäckar m kuddar + 8 packningar	-
600-750	8 sovsäckar m kuddar + 8 packningar	1040	2100	16 sovsäckar m kuddar + 16 packningar	1 sovsäck + 2 packningar
750-900	16 sovsäckar m kuddar + 16 packningar	2100	3500	32 sovsäckar m kuddar + 32 packningar	2 sovsäckar + 4 packningar
900-1050	32 sovsäckar m kuddar + 32 packningar	3500	9000	Ev. tak	4 sovsäckar + 8 packningar

### Effektutvecklingskurva för B-hallen

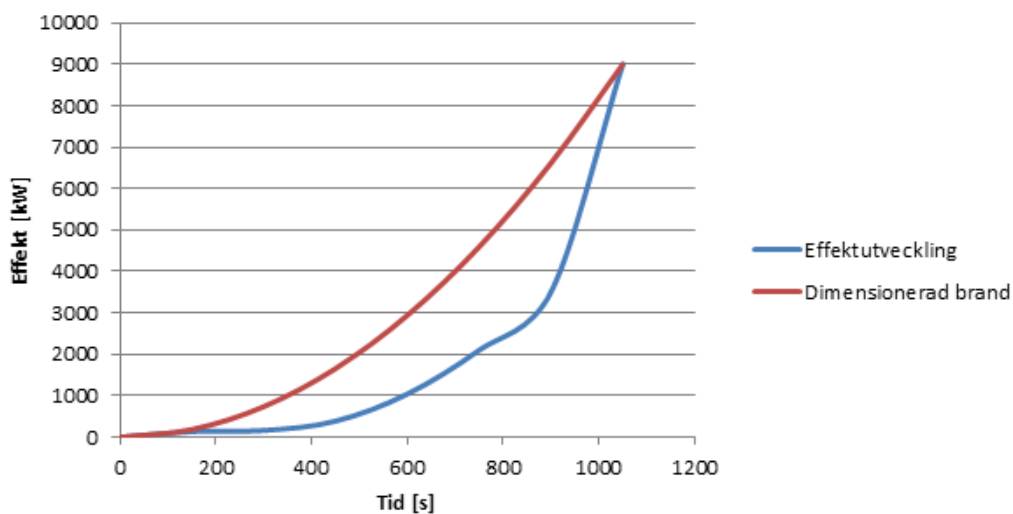


Diagram 30 - Ovanstående diagram presenterar en framräknad effektutvecklingskurva med data från tabell ovan samt en anpassad effektutvecklingskurva där det framräknade  $\alpha$ -värdet används.

Den beräknade effektutvecklingen har generaliserats med en avrundad effektutvecklingskurva enligt ett  $\dot{Q} = \alpha \cdot t^2$  samband. Beräkning av tillväxthastigheten  $\alpha$  redovisas nedan.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \rightarrow \alpha = \frac{\dot{Q}}{t^2} = \frac{9000 \text{ kW}}{1050^2 \text{ s}} = 0,00816 \approx 0,008 \text{ kW/s}^2$$

### Spridningsrisk av dimensionerande brand och kontroll av risk för övertändning

Nedan redovisas beräkningar och resonemang som utvärderar om den dimensionerande branden orsakar övertändning eller sprider sig till taket i B-hallen.

**Övertändning**

Risk för övertändning i B-hallen kontrolleras enligt följande ekvation (Karlsson & Quintiere, 2000):

$$\dot{Q}_{FO} = 610(h_k \cdot A_T \cdot A_0 \sqrt{H_0})^{1/2}$$

Förklaring av konstanterna i formeln finns i teckenförklaringen i början av rapporten. Materialet som väggarna är tillverkat av likställs med fiberisoleringsmaterial, nedan är ingångsvärdena för materialet som har använts i beräkningarna. Det är även gjorts bedömningen att alla glasrutor spricker och går sönder tidigt i brandförloppet då de ej är brandklassade.

**Tabell 31 - Ingångsvärdena för beräkningar av väggmaterialet** (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 122).

Variabel	Värde
$\alpha$	$8,6 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$
$k\rho c$	$2,0 \cdot 10^4 \text{ W}^2/\text{s}/\text{m}^4\text{K}^2$
$\delta$	0,1
$t$	1050 sekunder

För att beräkna  $h_k$  måste först  $t_p$  beräknas enligt nedan ekvation.

$$t_p = \frac{\delta}{4\alpha}$$

$$t_p = 29000 \text{ sekunder}$$

Eftersom  $t_p > t$  används ekvationen nedan för att beräkna  $h_k$ .

$$h_k = \sqrt{\frac{k\rho c}{t}} / 1000$$

$$h_k = 0,019 \text{ kW}/\text{m}^2\text{K}$$

$$A_0 = 32 \text{ m} \cdot 1,9 \text{ m} = 60,8 \text{ m}^2$$

$$H_0 = 1,9 \text{ m}$$

$$A_T = ((32 \cdot 16 \cdot 2) + (32 \cdot 5,9 \cdot 2) + (16 \cdot 5,9 \cdot 2)) - A_0 = 1530 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{FO} = 610(0,019 \text{ kW}/\text{m}^2\text{K} \cdot 1530 \text{ m}^2 \cdot 60,8 \text{ m}^2 \sqrt{1,9\text{m}})^{1/2} = 30146 \text{ kW} \approx 30 \text{ MW}$$

Eftersom 30 MW är större än 9MW kommer det inte ske någon övertändning i B-hallen.

**Brandspridning till tak**

I B-hallen är takbeläggningen av trä på höjden 5,9 meter. McCaffreys ekvation används för att beräkna temperaturen i brandgasplymen på denna höjd. Självantändningstemperaturen för trämaterial är 600°C och 350°C med pilotlåga. En brand med effekten 9 MW genererar en tillräckligt varm brandgasplym för att trälisterna i taket kan antändas i detta skede av branden. McCaffreys plymekvation används istället för Heskestads plymekvation för att få konservativa värden, då McCaffreys ekvation ger cirka 10 % högre värden (Drysdale, 2011).

$$\Delta T_0 = \left( \frac{\kappa}{0,9 \cdot \sqrt{2g}} \right)^2 \left( \frac{z}{\dot{Q}^{2/5}} \right)^{2\eta-1} \cdot T_\infty = \left( \frac{1,1}{0,9 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^2 \left( \frac{5,9}{90000^{2/5}} \right)^{2 \cdot -1/3-1} \cdot 293 \approx 520^\circ \text{C}$$



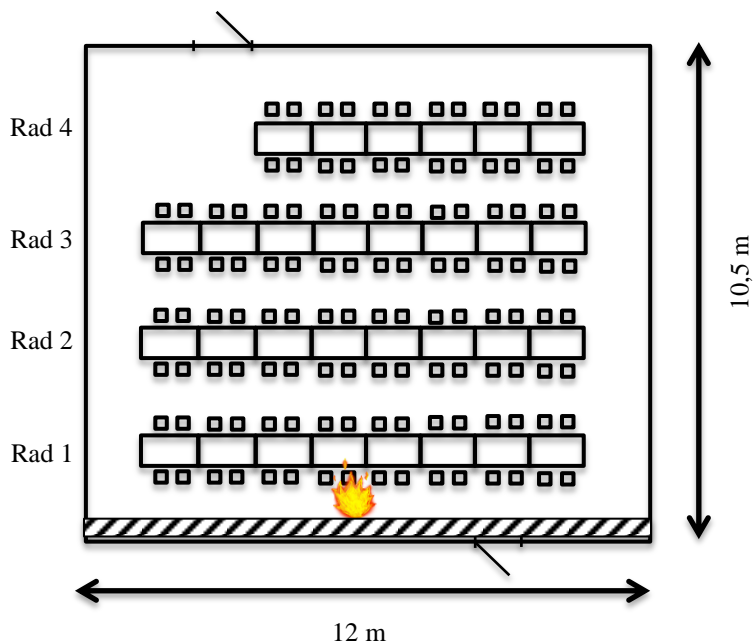
## Bilaga 11 – Brand i karatehallen vid övernattning eller uppdukad lokal

Nedan beskrivs tankegång och beräkningar som ligger till grund för en dimensionerande brand som startar i karatehallen då lokalen är uppdukad.

### Scenariobeskrivning

Vid verksamheten *uppdukad lokal* är det tillåtet att ha 120 personer i lokalen, se Tabell 1.

Brandbelastningen är betydligt högre än vid *normal användning* på grund av de bord, stolar, dukar och så vidare som krävs vid en sittning.



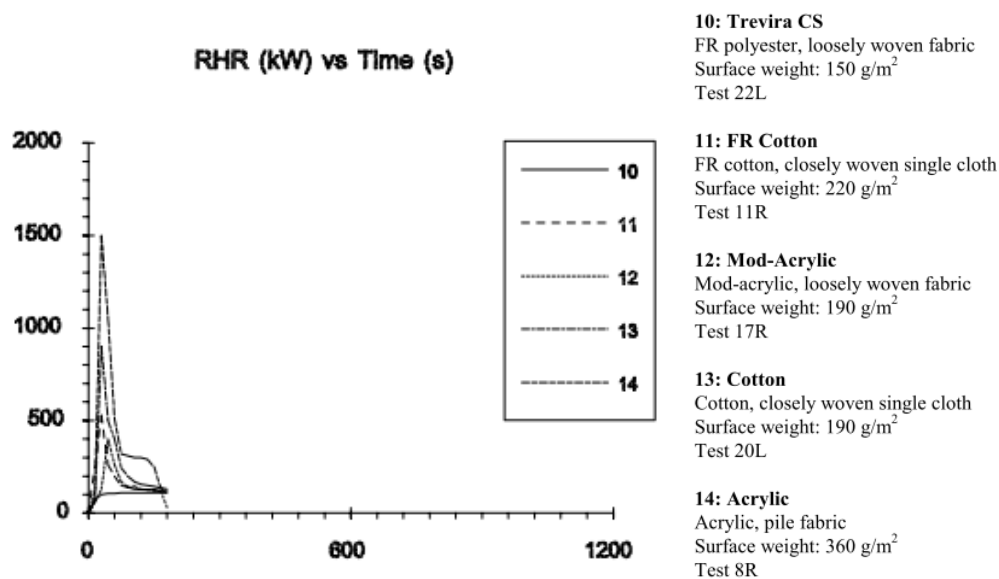
**Figur 39 - Placering av bord och stolar vid uppdukad lokal. Det streckade materialet i nedre delen av bilden ska representera placering av draperierna. Dimensionerande brand startar i nedre delen av figuren.**

Illustration: Jonathan Rosenqvist, LTH

Det finns fyra rader med bord och stolar, vilket illustreras i Figur 39. För att kunna räkna på brandspridning måste en ursprungsbrand placeras någonstans i lokalen. Vald plats är i nedre delen av lokalen, se Figur 39 för placering. Branden börjar i draperiet och kommer därifrån sprida sig till närliggande stol-/bordsrad.

### Brandförlopp

Draperierna som hänger längs med väggen i karatehallen har en väldigt snabb effektutvecklingskurva vilket gör att en brand som startar där snabbt får stora konsekvenser. Diagram 31 visar en effektutvecklingskurva som anses representativ för draperiet i karatehallen.



**Diagram 31 – Effektutvecklingskurva på draperier, test 13 uppskattas vara ett representativ material för draperiet i karatehallen (Särdqvist, 1993).**

Draperiet i karatehallen har dimensionerna 2,5 x 12 meter, detta ger en area på 30 m<sup>2</sup>. Effektutvecklingen för draperiet jämförs med försök 13 i Diagram 31. Försöken i Diagram 31 baseras på 3 x 3 meter stora draperier, vilket ger en area på 9 m<sup>2</sup>. Draperiet delas upp i tre delar för att lättare illustrera flamspridningen, se Figur 40 nedan. Flamspridning i vertikal riktning uppskattas till 0,1 m/s och den horisontala flamspridningen är en tiondel mindre (Drysdale, 2011) vilket ger en hastighet på 0,01 m/s.



**Figur 40 - Draperi i tre sektioner, varje sektion är 2,5 x 4 meter. Utanpå draperierna hänger sportjackor som representeras av de randiga fyrkanterna.**

Illustration: Jonathan Rosenqvist, LTH

Utanpå draperierna hänger även ett 30-tal sportjackor vilket ökar brandbelastningen. En Effektutvecklingskurva för jackor, se Diagram 32 nedan, anses representativt för de jackor som finns hängande i karatehallen. Testet för *Polyester jacket* anses representativt för sportjackor. Effektutvecklingskurvan i figuren är framtagen för två jackor.

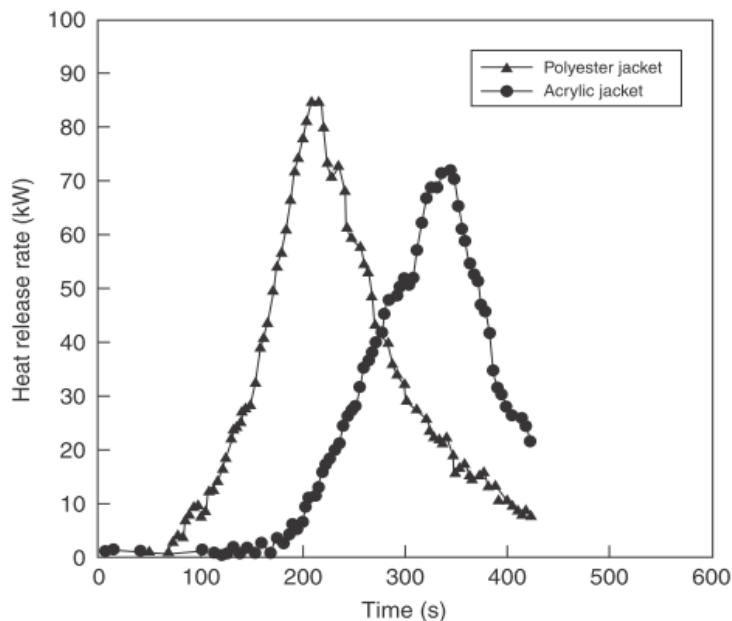


Diagram 32- Effektutvecklingskurva för två stycken jackor, testet för *Polyester jacket* anses representativt för sportjackorna i karatehallen (SFPE, 2002).

Varje stol representeras av en area på  $0,25 \text{ m}^2$  och varje bord representeras av en area på  $1 \text{ m}^2$ . För att underlätta beräkningarna kommer ett bränslepaket representeras av ett bord och fyra stolar med en total area av  $2 \text{ m}^2$ . I beräkningarna förutsetts att bord och stolar är tillverkade av trä.

Effektutvecklingskurvan i Diagram 33 nedan är per  $\text{m}^2$  och denna kurva behöver multipliceras med två för att representera ett bränslepaket.

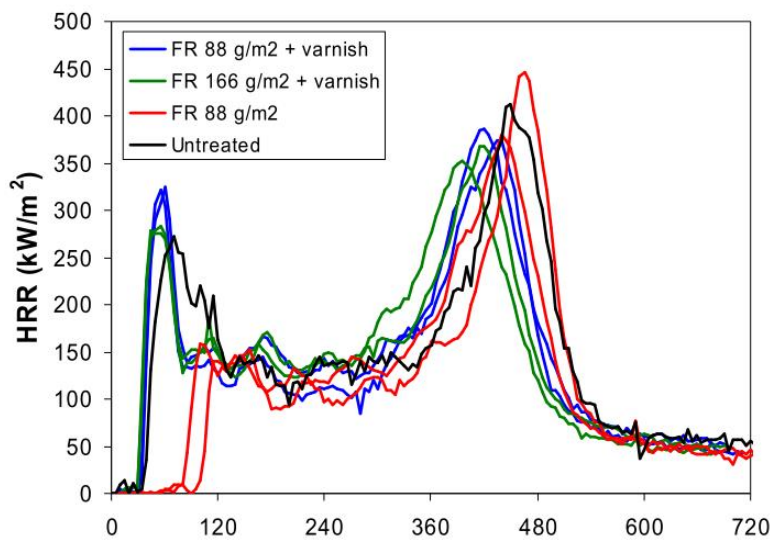


Diagram 33- Effektutvecklingskurva för trä, testet för "Untreated" anses representativt för bord och stolar i karatehallen (VTT, 2006).

Golvet kan likställas med en madrass innehållande skumgummi med ett vattenavstötande material utanpå. Enligt rapporten *Brand i vårdbäddar (2000)* framtagen av Per Thureson på SP så blir det ingen fortskridande brand vid antändning av en del madrassstyper. Han har undersökt tio stycken olika konfigurationer av madrasser i sitt försök, den madrass som kan likställas med den typ av madrass som används som golv i karatehallen är *Hygienmadrass med kallskumskärna med överdrag av vätsketät PU*. Vid antändningsförsök av denna madrassstyp så blir det ingen fortskridande brand (Thureson, 2000). Eftersom den dimensionerande branden i karatehallen startar i ett draperi och

involverar ett närliggande bord och stolar så bedöms golvet aldrig vara i direktkontakt med branden under en längre tid. Enda gångerna detta händer är när brinnande bitar från draperiet faller ner på golvet och dessa kommer inte antända golvet (Thureson, 2000). Därför har effektutvecklingen från golvet bortsetts från vid framtagandet av den dimensionerande branden.

Om en brand startar i sektion 2, se Figur 40, kommer den snabbt sprida sig uppåt och nå toppen av draperiet. Nedan sker beräkningar av spridningen i draperiet med utgångspunkt längst ner i mitten av draperiet.

Tid tills hela draperiet brinner vertikalt:

$$tid = \frac{2,5 \text{ m}}{0,1 \text{ m/s}} = 25 \text{ sekunder}$$

Tid tills hela draperiet brinner horisontellt:

$$tid = \frac{2 \text{ m}}{0,01 \text{ m/s}} = 200 \text{ sekunder}$$

På vardera av sektion 2 och 3 finns det 15 jackor som antänds när flamspridningen från draperiet har nått upp till toppen på sektionen, det vill säga efter 25 sekunder för sektion 2. Med avseende på dessa tider kan en uppskattning av antändningstider för de olika bränslepaketerna uppskattas och en dimensionerande effektutvecklingskurva tas fram. För att kunna ta fram dessa tider behövs värden för krävd effekt för antändning, se bilaga 7 för teori angående detta. I Tabell 32 och Diagram 34 finns alla ingångsvariabler som använts i beräkningarna.

**Tabell 32 - Antändningstider vid brandstart i draperi/jackor sektion 2.**

Föremål som antänds	Avstånd mellan branden och föremål [m]	Krävd strålning för antändning [kW/m <sup>2</sup> ]	Krävd effekt för antändning [kW]	Tid till antändning [s]
Draperi/jackor sektion 2	Antändning			0
Draperi/jackor sektion 1	0	10	36,9	200
Draperi/jackor sektion 3	0	10	36,9	200
Bord/Stolar, rad 1	1	20	1657,9	220
Bord/Stolar, rad 2	Antänds ej	20	868,4	-
Bord/Stolar, rad 3	Antänds ej	20	868,4	-
Bord/Stolar, rad 4	Antänds ej	20	868,4	-

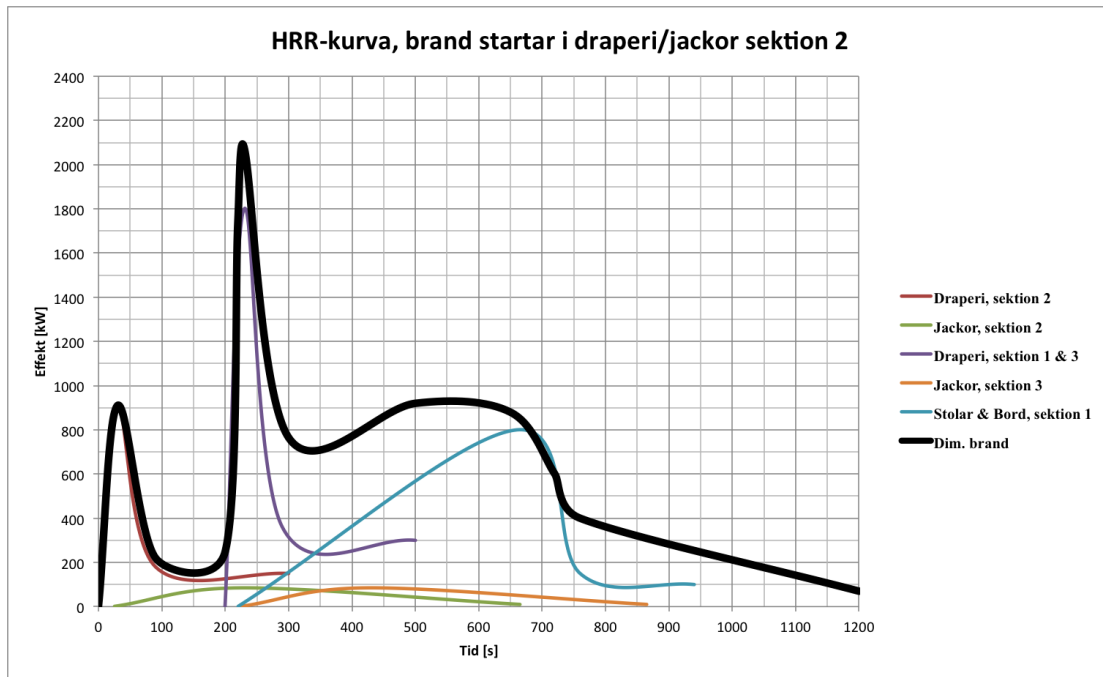


Diagram 34 – Effektutvecklingskurva, brand startar i draperi/jackor sektion 2. Dimensionerande brand är representerad av den svarta linjen.

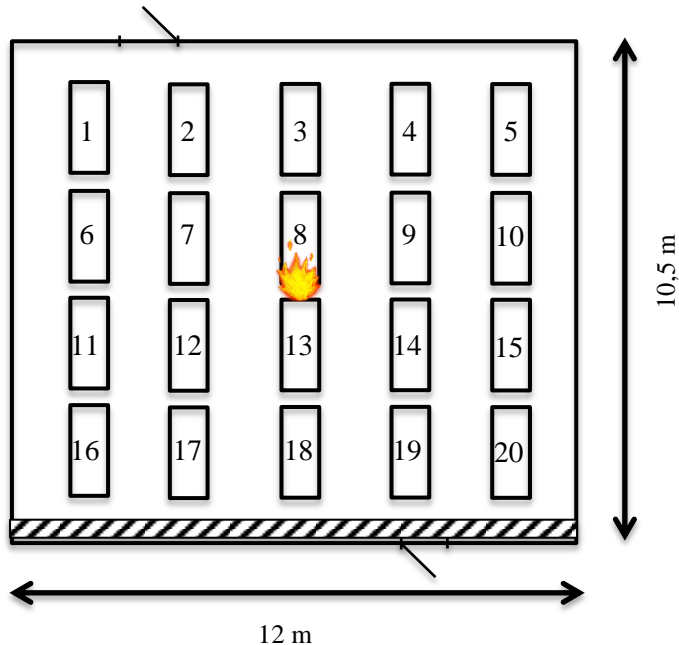
Det är bara de första 1200 sekunderna som tas hänsyn till i den dimensionerande branden i Diagram 34 ovan eftersom alla personer antas ha hunnit utrymma inom den tiden. Maxeffekten som uppnås är 2075 kW vid 230 sekunder efter antändning.

## Bilaga 12 – Brand vid garderobsverksamhet i karatehallen

Nedan beskrivs tankegång och beräkningar som ligger till grund för en dimensionerande brand som startar i karatehallen då lokalen används som garderob.

### Scenariobeskrivning

A-hallen får max ta in 2000 personer, detta används som underlag för beräkningarna. Om hälften av besökarna väljer att hänga av sig sina jackor blir det 1000 jackor, det vill säga 20 stycken klädställningar á 50 jackor. Se Figur 41 för en illustration av utplaceringen av klädställningarna i karatehallen och var den dimensionerande branden startar.



**Figur 41- Placering av klädställningar vid konsert. Det streckade materialet i nedre delen av bilden ska representera placering av draperierna. Dimensionerade brand startar mellan ställning 8 och 13 i mittersta raden.**

Illustration: Jonathan Rosenqvist, LTH

För att kunna räkna på brandspridning måste en ursprungsbrand placeras någonstans i lokalen. Vald plats är mitt i lokalen, se Figur 41 för placering. Branden börjar mellan klädställning 8 och 13.

## Brandförlopp

Kläder brinner väldigt snabbt och antänds lätt vilket kan ses i Diagram 35 nedan.

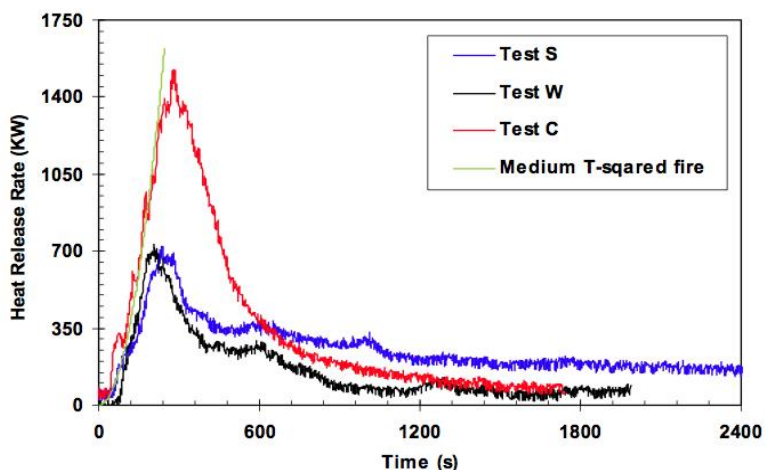


Diagram 35– Effektutvecklingskurva för kläder upphängda på en stålställning. Test kan ses representativ för garderobsverksamhet vid konsert (Zalok & Hadjisophocleous, 2007).

*Test C* i Diagram 35 ovan anses representativ för den typ av förvaring som kommer att finnas vid ett evenemang. I Figur 42 nedan finns bilder på försöksuppställningen av *test C*.



Figur 42 – Försöksuppställning kläder upphängda på stålställning, *test C* (Zalok & Hadjisophocleous, 2007).

Kläderna i *test C* har en massa på 30,5 kg. En jacka uppskattas väga 0,6 kg, detta betyder att *test C* är representativt för 50 upphängda jackor.

$$\frac{30,5 \text{ kg}}{0,6 \text{ kg}} \approx 50 \text{ jackor}$$

A-hallen får max ta in 2000 personer, detta används som underlag för beräkningarna. Se Figur 41 för en illustration av utplaceringen av klädställningarna i karatehallen och var den dimensionerande branden startar.

Varje klädställning antas vara 0,7 meter bred och 1,3 meter lång. Mellan varje klädställning är det 1,4 meter i horisontalled och 0,7 meter i vertikalled till närmaste klädställning. Klädställningarna står 1,5 meter från de omgivande väggarna.

För att kunna ta fram en dimensionerande Effektutvecklingskurva behövs antändningstider för respektive klädställning, se Tabell 33.

Tabell 33 - Antändningstider vid brand i klädställning.

Föremål som antänds	Avstånd mellan branden och föremål [m]	Krävd effekt för antändning [kW/m <sup>2</sup> ]	Effekt [kW]	Tid till antändning [s]
Ställning 8, 13	Antändning	-	-	0
Ställning 3, 18	0,7	10	225,7	30
Ställning 7, 9, 12, 14	1,4	10	1380,5	205
Ställning 2, 4, 17, 19	0,7	10	225,7	235
Ställning 7, 10, 12, 15	1,4	10	1380,5	410
Ställning 1, 5, 16, 20	1,4	10	1380,5	440

### Övertändning

Eftersom effektutvecklingen både är snabb och med en hög maxeffekt kommer karatehallen att nå så hög effektutveckling att det kommer att bli en övertändning i lokalen. För att beräkna vilken effekt som krävs för att det ska uppstå övertändning i karatehallen används ekvationen nedan (Karlsson & Quintiere, 2000).

$$\dot{Q}_{FO} = 610(h_k \cdot A_T \cdot A_0 \sqrt{H_0})^{1/2}$$

Materialet som väggarna är tillverkat av likställs med fiberisoleringsmaterial, nedan är ingångsvärdena för materialet som har använts i beräkningarna. Förklaring av konstanterna i formeln finns i teckenförklaringen i början av rapporten.

Tabell 34 - Ingångsvärdena för beräkningar av väggmaterial (Karlsson & Quintiere, 2000).

Variabel	Värde
$\alpha$	$8,6 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$
$k\rho c$	$2,0 \cdot 10^4 \text{ W}^2/\text{s/m}^4\text{K}^2$
$\delta$	0,1 m
$t$	600 sekunder

För att beräkna  $h_k$  måste först  $t_p$  beräknas enligt nedan ekvation.

$$t_p = \frac{\delta}{4\alpha}$$

$$t_p = 29000 \text{ sekunder}$$

Eftersom  $t_p < t$  används ekvationen nedan för att beräkna  $h_k$ .

$$h_k = \sqrt{\frac{k\rho c}{t}} / 1000$$

$$h_k = 0,0058 \text{ kW/m}^2\text{K}$$

$A_0$  beräknas utifrån de öppningarna som finns i takhöjd och alla övriga öppningar är stängda. Det finns många fönster på väggen som vetter ut till det fria från karatehallen. Eftersom fönstren ej är brandklassade kommer de att spricka och gå sönder när temperaturen ökar i karatehallen. Det finns även en dörr och ett fönster som vetter in mot foajén. Vid en övertändning kommer alla fönster ha gått



sönder på grund av värmepåverkan, dörren antas även stå öppen (Mowrer, 1998). Utifrån detta beräknas effektutvecklingen vid övertändning enligt nedan.

$$A_0 = (0,7 \cdot 10,5) + (0,7 \cdot 12) + (2 \cdot 0,9) + (4 \cdot 0,8) + (2 \cdot 11) = 41,91 \text{ m}^2$$

$H_0$  beräknas för största möjliga öppning.

$$H_0 = \frac{(10,5 \cdot 0,7^2) + (12 \cdot 0,7^2) + (4 \cdot 0,8^2) + (11 \cdot 2^2) + (2 \cdot 0,9^2)}{A_0} = 1,37 \text{ m}$$

$A_T$  beräknas utifrån måtten 10,5 x 12 x 3,2 meter (bredd, längd, höjd).

$$A_T = ((10,5 \cdot 3,2 \cdot 2) + (12 \cdot 3,2 \cdot 2) + (10,5 \cdot 12 \cdot 2)) - A_0 = 354,09 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{FO} = 610(0,0058 \cdot 354,09 \cdot 41,91 \sqrt{1,37})^{1/2} = 6122,6 \text{ kW} \approx 6,1 \text{ MW}$$

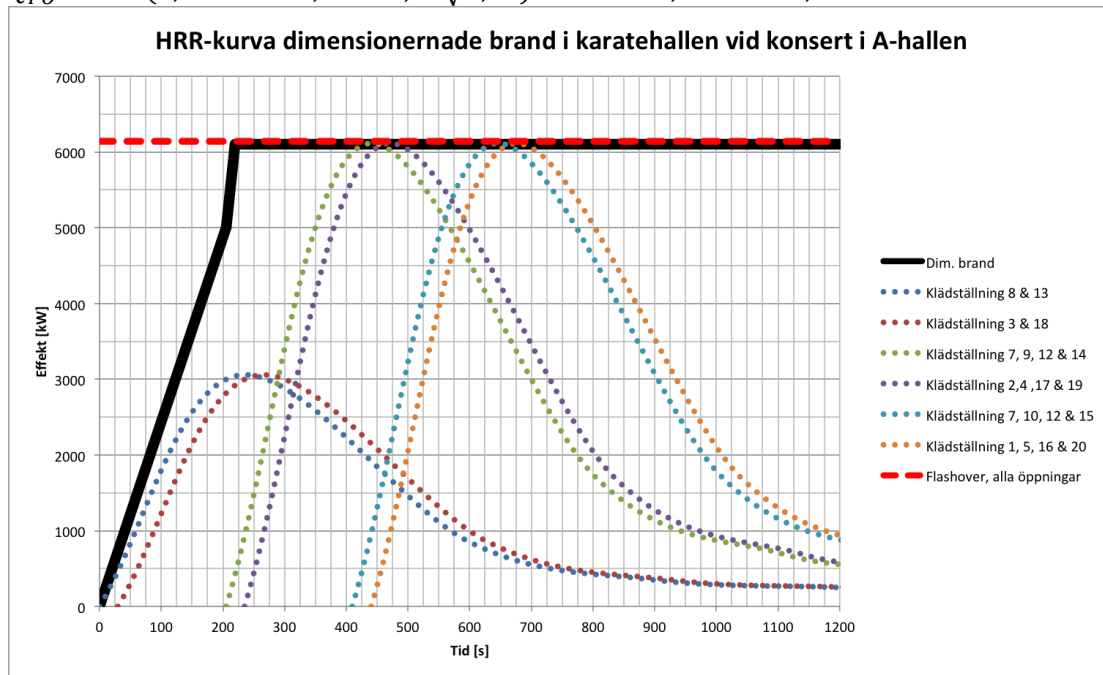


Diagram 36 - Effektutvecklingskurva, brand startar i draperi/jackor sektion 2. Dimensionerande brand är representerad av den svarta linjen.

Övertändning sker efter 220 sekunder med en maximal effekt på 6,1 MW.

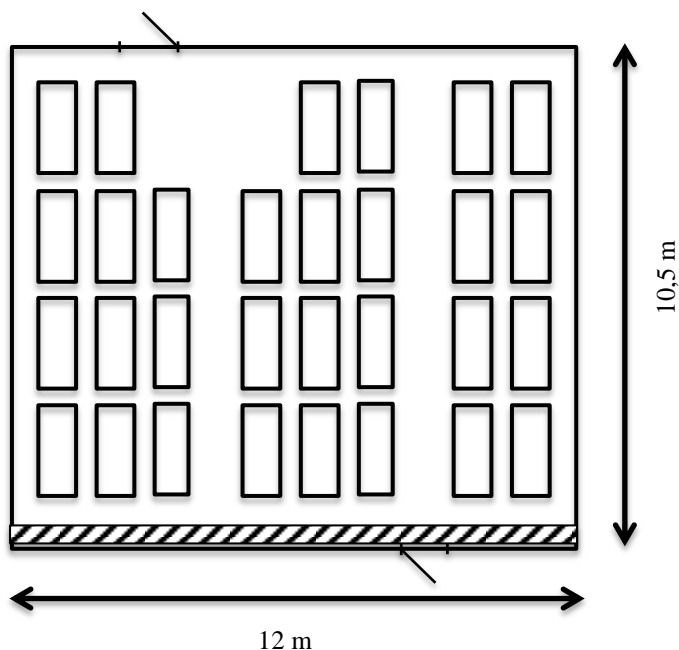
Det finns konstant syretillförsel i takhöjd på grund av att det inte finns något innertak. Eftersom det finns stora öppningar in till rummet bör inte syretillförseln till branden vara något problem. Strålningsnivån på  $14,5 \text{ kW/m}^2$ , då fönster går sönder (Mowrer, 1998), kommer att uppnås snabbt för en brand med 6,1 MW i effektutveckling. I och med detta säkras syretillförseln till branden.

### Bilaga 13 – Karatehallen, övernattnig

Nedan beskrivs tankegång och resonemang som ligger till grund för en dimensionerande brand som startar i karatehallen då lokalen används för övernattnig.

#### Brandförlopp

Om det börjar brinna i en sovsäck kommer branden att sprida sig till resterande sovsäckar och packningar väldigt snabbt. Anledningen är att det endast krävs ett värmefflöde på  $10 \text{ kW/m}^2$  för antändning (Drysdale, 2011) och för att det är en väldigt tät placering av väskor och sovsäckar i karatehallen vid övernattnig, se Figur 43 nedan. Beräkningarna i bilaga 10 stöder antagandet om en snabb brandspridning vid övernattnig. Den dimensionerande branden och den tillhörande effektutvecklingskurvan, vid verksamheten *övernattnig*, blir större än för verksamheten *uppdokad lokal*. Troligtvis lägre än då karatehallen används för garderobsverksamhet eftersom inte övertändning kommer att ske.



Figur 43- Placering av sovsäckar vid övernattnig. Det streckade materialet i nedre delen av bilden ska representera placering av draperierna. Rektanglarna representerar sovsäckar, det är 30 stycken utplacerade i lokalen.

Illustration: Jonathan Rosenqvist, LTH

## Bilaga 14 – Handberäkningar kritiska förhållanden

Nedan redovisas de handberäkningar som är gjorda för att kontrollera att acceptanskriterierna för strålning och sikt inte överskrider vid utvalda brandscenarier.

### Strålning

Tabell 3 visar att den kritiska infallande strålningen inte får överstiga  $2,5 \text{ kW/m}^2$ . Denna strålning omvandlas till en kritisk synfaktor som motsvarar en inkommande strålning på  $2500 \text{ W/m}^2$ , se ekvationer nedan.

$$\dot{q}'' = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \varnothing \cdot T^4$$

$$\varnothing = \frac{\dot{q}''}{\varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4}$$

Ingångsvariabler för synfaktor beräkningen ses nedan.

Tabell 35 – Ingångsvärden för beräkning av kritisk synfaktor.

Variabel	Värde
$\varepsilon$	1
$T$	1173 K
$\dot{q}''$	$2500 \text{ W/m}^2$
$\sigma$	$5,67 \cdot 10^{-8}$

Värdet på  $\varepsilon$  väljs till 1 för att vara konservativ, det är dessutom ett vanligt värde att använda vid bränder av kolväten (Drysdale, 2011). Värdet på  $T$  väljs som ett konservativt värde. Flamman approximeras med en cirkulär pölbrand med samma basarea som bränslepaketet, innehållandes en packning och en sovsäck, som brinner vid varje tidpunkt. Basarean för ett bränslepaket antas vara  $1 \text{ m}^2$ . Synfaktorn delas upp i fyra lika stora delar vilket betyder att beräkningar utförs för flammans mittpunkt.

$$\varnothing = \frac{2500}{1 \cdot \sigma \cdot 1173^4} = 0,023$$

$$\varnothing_{det} = \frac{0,023}{4} = 0,0058$$

Vid beräkning av det kritiska avståndet,  $D$ , används ekvationerna nedan, inklusive tabell 2.8 i Drysdale (2011).

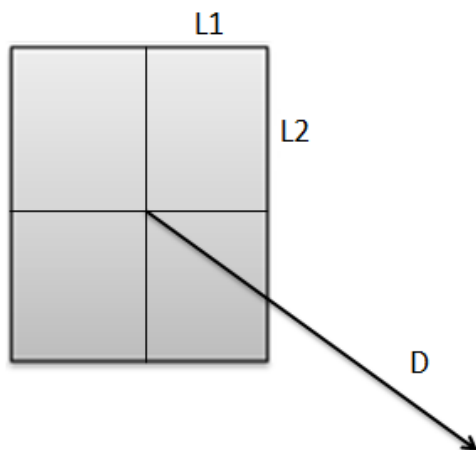


Table 2.8 Values of  $\phi(\alpha, S)$  for various values of  $\alpha$  and  $S^*$

$\alpha$	$S = 1$	$S = 0.9$	$S = 0.8$	$S = 0.7$	$S = 0.6$	$S = 0.5$	$S = 0.4$	$S = 0.3$	$S = 0.2$	$S = 0.1$
2.0	0.178	0.178	0.177	0.175	0.172	0.167	0.161	0.149	0.132	0.102
1.0	0.139	0.138	0.137	0.136	0.133	0.129	0.123	0.113	0.099	0.075
0.9	0.132	0.132	0.131	0.130	0.127	0.123	0.117	0.108	0.094	0.071
0.8	0.125	0.125	0.124	0.122	0.120	0.116	0.111	0.102	0.089	0.067
0.7	0.117	0.116	0.116	0.115	0.112	0.109	0.104	0.096	0.083	0.063
0.6	0.107	0.107	0.106	0.105	0.103	0.100	0.096	0.088	0.077	0.058
0.5	0.097	0.096	0.096	0.095	0.093	0.090	0.086	0.080	0.070	0.053
0.4	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.079	0.075	0.070	0.062	0.048
0.3	0.069	0.068	0.068	0.068	0.067	0.065	0.063	0.059	0.052	0.040
0.2	0.051	0.051	0.050	0.050	0.049	0.048	0.047	0.045	0.040	0.032
0.1	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.027	0.026	0.024	0.021
0.09	0.026	0.026	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.024	0.022	0.019
0.08	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.022	0.022	0.020	0.017
0.07	0.021	0.021	0.021	0.021	0.020	0.020	0.020	0.019	0.018	0.016
0.06	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.017	0.017	0.017	0.016	0.014
0.05	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.014	0.014	0.013
0.04	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.011	0.010
0.03	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.008
0.02	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
0.01	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003

\*  $S = L_1/L_2$  and  $\alpha = (L_1 \times L_2)/D^2$  (see Figure 2.22). From McGuire (1953). Reproduced by permission of The Controller, HMSO. © Crown copyright.

Figur 44 – Beräkning av synfaktor med tillhörande tabell, tabell 2.8 i (Drysdale, 2011).

$$\alpha = (L1 \cdot L2)/D^2$$

$$S = L1/L2$$

Det som söks är avståndet  $D$  från flammans mittpunkt.  $L1$  och  $L2$  representerar avstånden från flammans ytterkanter till dess mittpunkt. Med hjälp av tabell 2.8 i Drysdale (2011) itereras ett värde på  $\alpha$  fram, värdet på  $D$  kan nu beräknas.

$$D = \sqrt{(L1 \cdot L2)/\alpha}$$

### Strålning i A- och B-hallen

Beräkning av strålningsintensiteten i varje tidssteg under brandförloppet görs för att undersöka när acceptanskriteriet överskrids. Därför kommer den kritiska strålningskurvan visa avståndet till branden som förhållande av tiden för flertalet händelsepunkter under brandscenariet. Underlaget för beräkningarna är framtagna enligt dimensionerade scenarier för respektive hall. Resultatet för beräkningarna av det kritiska avståndet till branden presenteras i Diagram 37 och Diagram 38 nedan.

Eftersom branden börjar i en packning och sprider sig vidare kommer den strålande ytan att växa. Därför beräknas det kritiska avståndet för flera tidpunkter i brandförloppet

#### Kritiskt avstånd, strålning B-hallen

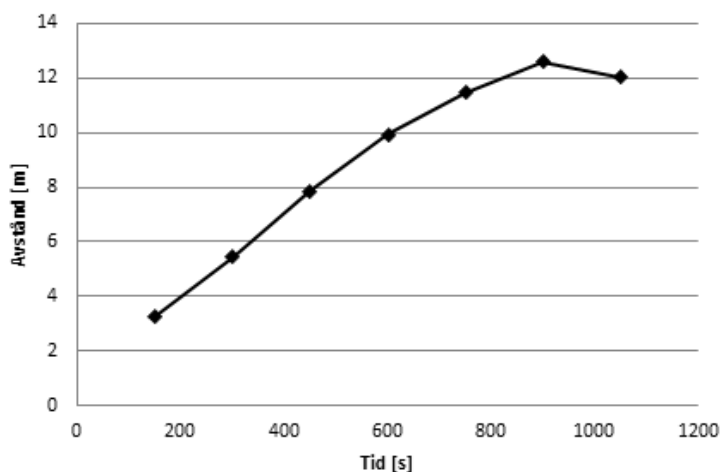


Diagram 37 - Kritiskt avstånd med avseende på acceptanskriteriet strålning i B-hallen.

#### Kritiskt avstånd, strålning A-hallen

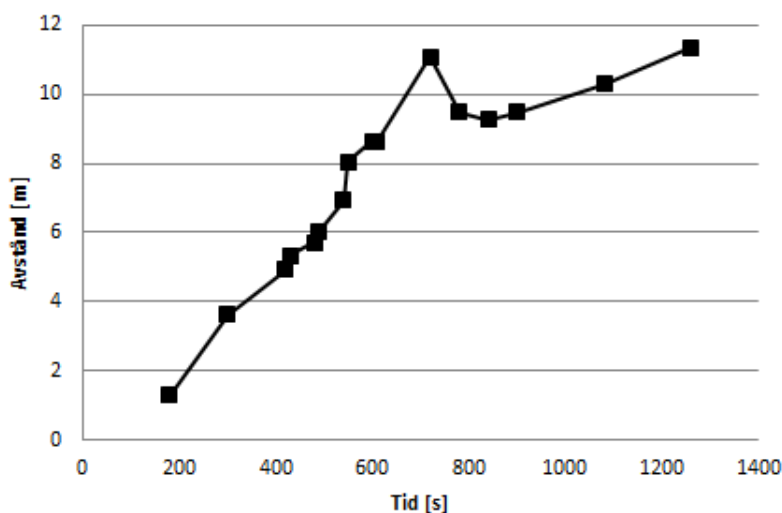


Diagram 38 - Kritiskt avstånd med avseende på acceptanskriteriet strålning i A-hallen.

**Strålning ut i foajén från fönster i karatehallen**

Det som söks är det maximala avståndet  $D$  från branden där värmestrålningen uppnår  $2,5 \text{ kW/m}^2$ . Branden är placerad precis innanför fönstret och den strålar från hela ytan av fönstret, det vill säga  $4 \times 0,8$  meter. Fönstret delas upp i fyra lika stora delar,  $2 \times 0,4$  meter, med ett värde  $\phi_{del} = 0,0058$  för varje del.  $S$  beräknas nedan.

$$S = 0,4/2 = 0,8$$

Med hjälp av tabell 2.8 i Drysdale (2011) itereras ett värde på  $\alpha$  fram. Värdet på  $\alpha$  blir då  $0,02$ . Värdet på  $D$  kan nu beräknas enligt nedan.

$$D = \sqrt{(L1 \cdot L2)/\alpha}$$

$$D = \sqrt{(0,4 \cdot 2)/0,02} = 6,3 \text{ m}$$

**Strålning i karatehallen vid verksamheten uppdukad lokal**

För att beräkna vid vilket avstånd som acceptanskriteriet för strålning inte uppfylls beräknas en kritisk synfaktor,  $\phi_{krit}$ , utifrån den kan sedan ett avstånd beräknas. Då maximala tid för att utrymma karatehallen är  $162$  sekunder, se kapitel 7, är det endast nödvändigt att titta på brandförloppet i draperiet.

Enligt tabell 2.8 i Drysdale (2011) är det endast vid  $\alpha = 0,02$  som  $\phi_{krit,del} = 0,006$ , oberoende av vad  $S$  är.

$$S = L1/L2$$

$$\alpha = \frac{L1 \cdot L2}{D^2} \rightarrow D = \sqrt{\frac{L1 \cdot L2}{\alpha}}$$

Då  $L1$  och  $L2$  beror av tiden samt brandspridningen i respektive riktning, kan dessa istället uttryckas som  $L1 = t \cdot v_x$  och  $L2 = t \cdot v_y$ . Då  $v_x = 0,01 \text{ m/s}$  och  $v_y = 0,1 \text{ m/s}$  kan nedanstående uttryck skrivas.

$$L1 \cdot L2 = (t \cdot 0,01) \cdot (t \cdot 0,1) = t \cdot 10^{-3}$$

$$D = \sqrt{\frac{L1 \cdot L2}{\alpha}} = \sqrt{\frac{t \cdot 10^{-3}}{0,02}}$$

$$t_{utrymning} = 162 \text{ s} \rightarrow D = \sqrt{\frac{t_{utrymning} \cdot 10^{-3}}{0,02}} = \sqrt{\frac{162 \cdot 10^{-3}}{0,02}} = \sqrt{8,1} \approx 2,9 \text{ m}$$

Det förutsätts att draperiet är obegränsat stort, då  $L2 = t \cdot v_y = 162 \cdot 0,1 \text{ m/s} = 16,2 \text{ m}$ . Dock är draperiet begränsat i höjddled till  $2,5 \text{ m}$ , således är ovanstående beräkning konservativa.

Oavsett var den dimensionerande branden placeras i rummet kommer aldrig strålningskriteriet uppnås innan alla har hunnit utrymma karatehallen.

**Sikt**

För att beräkna sikten i B-hallen används följande ekvationer:

$$sikt(m) = \frac{\ln 10}{D_L}$$

$$D_0 = D_L \frac{V}{m}$$

Vid tiden 400 sekunder har brandgaslagret sjunkit till 2 meter från golvet. Därför räknas sikten vid den tidpunkten och indata för volym och avbrunnen massa tas ur resultat från CFAST. Sotpotential och ekvationer är tagna från (Nilson & Holmstedt, 2008).

**Tabell 36 - Indata för beräkning av sikt vid 400 sekunder då brandgaslagrets höjd är på 2 meter**

Parameter	Värde
$D_0$	0,22 m <sup>2</sup> /g
V	2015 m <sup>3</sup>
m	6092 g

Sikten efter 400 sekunder är 3,5 meter.

## Bilaga 15 – Ingångsparametrar CFAST simulering av B-hallen

B-hallen har förenklats till en rektangulär lokal med måtten 16 x 32 x 5,9 meter. Samtliga ribbstolar och föremål som kan påverka brandgasspridningen har bortsetts från. Vägg och takmaterial har definierats att vara av den betong som är standard i CFAST. Två ventilationshål har placerats på ena långsidan för att representera två ventilationsöppningar som finns ovanför de två dörrarna på B-hallens ena långsida samt de naturliga läckage som finns i hallen.

Ytterligare ventilationsöppningar ha dimensionerats efter de glasrutor som finns på ena långsidan i B-hallen. Glasrutorna kommer gå sönder vid 160 °C (Mowrer, 1998) och ventilerar ut brandgaser. En testsimulering i CFAST visar att denna temperatur uppnås vid 720 sekunder. Detta definieras således som den tid då ventilation genom glasrutorna påbörjas i simuleringen (öppningsfaktorn för glasrutorna är 0 då  $t < 720$  och 1 då  $t \leq 720$ ).

Branden har definierats efter ett  $\alpha^2$ -samband baserat på den dimensionerande branden framtagen för brandscenariot i B-hallen.  $\alpha$ -värdet är beräknat till 0,008 kW/s<sup>2</sup> utifrån den maximala effekten 9000 kW vid tiden 1050 sekunder.

**Tabell 37 - Indata för simulering i B-hallen CFAST.**

Total massa	100 kg
Förbränningsentalpi	31000 kJ/kg
Förångningsentalpi	2000 kJ/kg
Förångningstemperatur	120 °C
Strålningsfraktion	0,3

Nedan motiveras användande av CFAST för simulering av den dimensionerande branden B-hallen. Motiveringen utgår från en diskussion kring ISO-kriterier för användaren av CFAST som vidare presenteras i bilaga 17. Tabell 38 påvisar att samtliga kriterium hamnar inom acceptabla värden förutom förhållandet mellan längd och höjd som hamnar inom spannet där speciella inställningar krävs. Detta skulle indikera att en algoritm som beaktar B-hallen som en korridor används. Detta har dock bortsetts från då resultat från simuleringarna anses falla inom ramen för vad som verkar rimligt samt att de stämmer väl överens med handberäkningar. B-hallen har inte heller utseendet av en korridor och som alternativ valdes att göra en testsimulering där hallen delades upp i fyra utrymmen som kopplades samman. Detta visade en ytterst liten fördröjning av brandgasspridning men resulterade i samma tidsvärden för när acceptanskriterierna överskreds.

**Tabell 38 - Kriterium för användande av CFAST i B-hallen.**

Kriterium	Resultat	Slutsats
[L]längd/[B]redd	32/16 = 2	Acceptabelt
[L]längd/[H]öjd	32/5,9 = 5,4	<i>Speciell inställning krävs</i>
[B]redd/[H]öjd	16/5,9 = 2,7	Acceptabelt
Effekt [ $\dot{Q}$ ]	$5 \cdot 32 \cdot 5,9^{3/2} = 2293 \text{ kW}$	Acceptabelt

### Textfil B-hallen

amp from CFAST initialization 2014/03/17

The project files are based on the root: Bhallensimulering1t600

Version 6.2.0 Created 2011/11/01

Opening a version 6 file in normal mode

Key word TIMES parameter(s) = 1500 -50 0 10 10

Key word EAMB parameter(s) = 293.15 101300 0

Key word TAMB parameter(s) = 293.15 101300 0 50

Key word CJET parameter(s) = WALLS

Ceiling jet calculation has been set: T F T F T

Key word CHEMI parameter(s) = 10 393.15

Key word WIND parameter(s) = 0 10 0.16

Key word COMPA parameter(s) = B-hallen	16	32	5.9	0	0	0	CONCRETE	OFF	CONCRETE
Compartment 1 B-hallen	16.0	32.0	5.9	0.0	0.0	0.0	T F T T	CONCRETE	OFF
Key word HVENT parameter(s) = 1	2	1	6	5.7	3	1	0	0	4
Key word HVENT parameter(s) = 1	2	2	6	5.7	3	1	6.5	0	4
Key word HVENT parameter(s) = 1	2	3	6	5.7	3	1	13	0	4
Key word HVENT parameter(s) = 1	2	4	6	5.7	3	1	19.5	0	4
Key word HVENT parameter(s) = 1	2	5	6	5.7	3	1	26	0	4
Key word HVENT parameter(s) = 1	2	6	1	2.05	2	1	16	0	2
Key word HVENT parameter(s) = 1	2	7	1	2.05	2	1	14	0	2
Key word (ext) EVENT parameter(s) = H	1	2	1	720	1	1			
Key word EVENT parameter(s) = H	1	2	1	720	1	1			
Key word (ext) EVENT parameter(s) = H	1	2	2	720	1	1			
Key word EVENT parameter(s) = H	1	2	2	720	1	1			
Key word (ext) EVENT parameter(s) = H	1	2	3	720	1	1			
Key word EVENT parameter(s) = H	1	2	3	720	1	1			
Key word (ext) EVENT parameter(s) = H	1	2	4	720	1	1			
Key word EVENT parameter(s) = H	1	2	4	720	1	1			
Key word (ext) EVENT parameter(s) = H	1	2	5	720	1	1			
Key word EVENT parameter(s) = H	1	2	5	720	1	1			
Key word OBJEC parameter(s) = Bhallen	1	11	16	0	1	1	1	0	0

Plume model for this fire: McCaffrey

Open the output file \\fs-

n.net.lth.se\home\bra11owa\Windows\Desktop\CFast\Bhallensimulering1t600.out

Open the smokeview files - \\fs-

n.net.lth.se\home\bra11owa\Windows\Desktop\CFast\Bhallensimulering1t600.smv \\fs-

n.net.lth.se\home\bra11owa\Windows\Desktop\CFast\Bhallensimulering1t600.plt

Open the spreadsheet files - \\fs-

n.net.lth.se\home\bra11owa\Windows\Desktop\CFast\Bhallensimulering1t600\_n.csv \\fs-

n.net.lth.se\home\bra11owa\Windows\Desktop\CFast\Bhallensimulering1t600\_f.csv \\fs-

n.net.lth.se\home\bra11owa\Windows\Desktop\CFast\Bhallensimulering1t600\_s.csv \\fs-

n.net.lth.se\home\bra11owa\Windows\Desktop\CFast\Bhallensimulering1t600\_w.csv

Open the object fire file \\fs-n.net.lth.se\home\bra11owa\Windows\Desktop\CFast\Bhallen.o

Object Bhallen position set to 11.000 16.000 0.001; Maximum HRR per m<sup>3</sup> is 452.

Open the thermophysical properties file C:\Temp\CFAST6\thermal.csv

Total execution time = 2.16 seconds

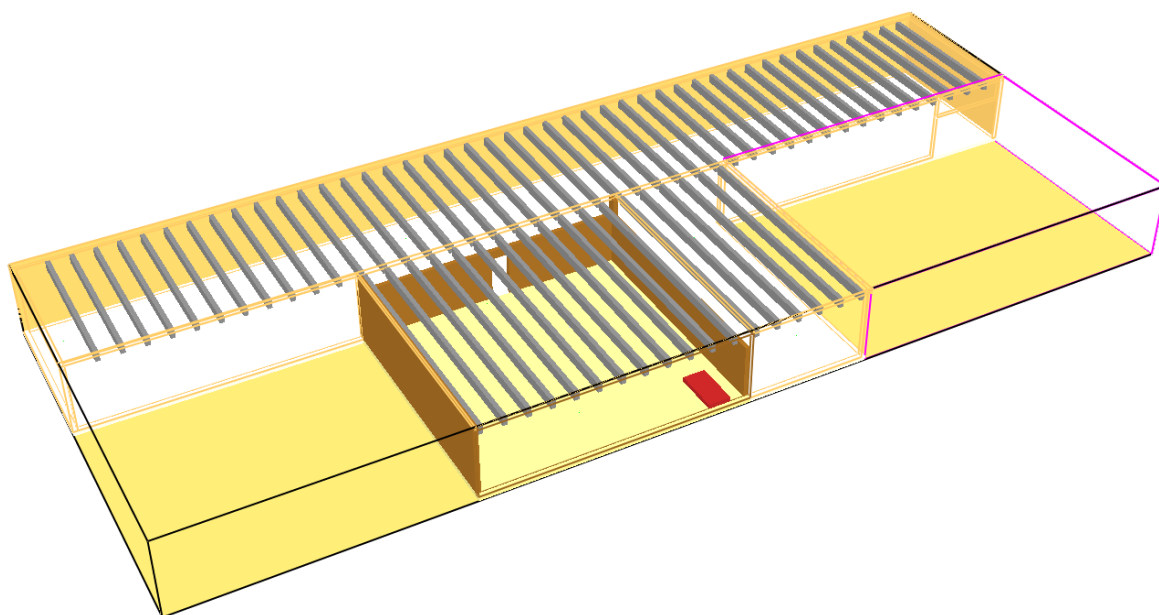
Normal exit from CFAST



## Bilaga 16 – Ingångsparametrar FDS simulering av karatehallen

Simuleringar har gjorts med ett simuleringsprogram av typen CFD (Computational Fluid Dynamics). För brand applikation används programmet FDS (Fire Dynamics Simulator), versionen som har använts är FDS 5.5.3. Vid simulering av karatehallen och foajén har specifika ingångsparametrar använts i simuleringarna, dessa presenteras kortfattat nedan. Eftersom rapporten utvärderar personsäkerhet och utrymning har simuleringarna gjorts på korta tidsintervall. Tiden har även justerats med avseende på den tid det tar att rökfylla lokalerna, simuleringstiden har varit 300 sekunder.

Materialegenskaper för väggar, golv och tak kommer inte ha någon större inverkan på resultaten eftersom det är så pass kort tidsperiod som simuleras. Därför har de bara delats upp i två material, tegel och trä. I foajén har väggar, golv och tak simulerats med materialegenskaperna för tegel. Väggar, golv och tak för karatehallen har materialegenskaperna för trä. Nedan i Figur 45 ses en bild på försöksuppställningen i simuleringen.



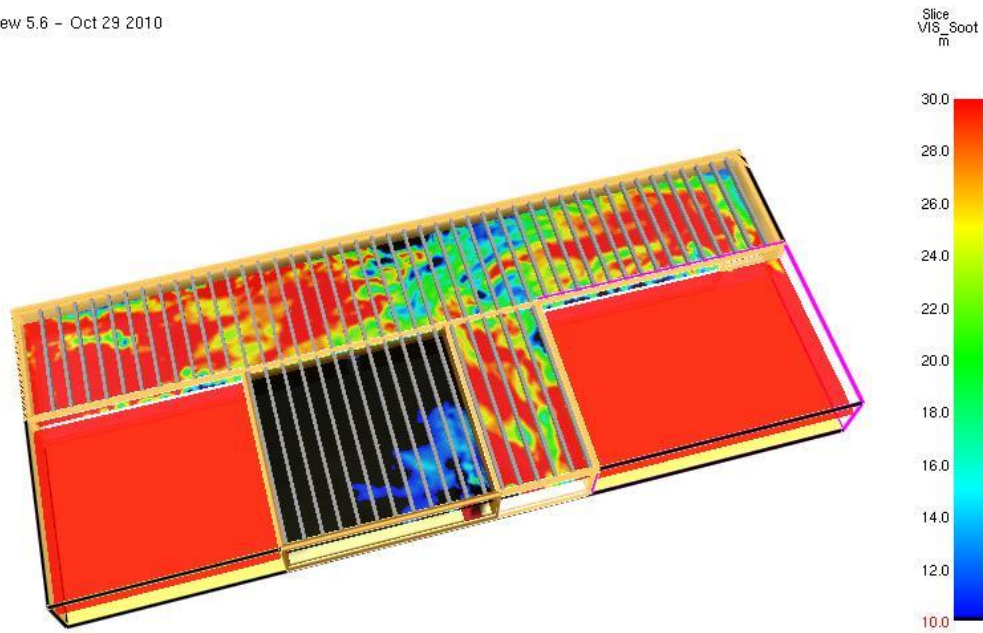
Figur 45 – Simuleringsuppställning för karatehallen och foajén.

Branden har valts över en yta av  $2 \text{ m}^2$  med en HRRPUA på  $1037,5 \text{ kW/m}^2$ . Branden har anpassats efter effektutvecklingskurvan som har tagits fram för brandscenario *Brand i karatehallen vid övernattning eller uppdukad lokal*. För att få branden i simuleringen att efterlikna effektutvecklingskurvan har kommandot &RAMP använts, se bilaga 11. Det har gjorts två simuleringar med olika soot yield. En med värdet 0,015 vilket anses representativt för en träbrand och en med värdet 0,075 vilket anses representativt för en nylonbrand (Karlsson & Quintiere, 2000).

Längst till höger i Figur 45 kan en öppning ses. Öppningen är definierad som en VENT. Simuleringarna har gjorts i 20 cm och 10 cm grid, resultaten som presenteras är från simuleringen i 10 cm grid.

För att mäta sikten i simuleringen har slicefiles för parametern VISIBILITY använts i Z-led, höjden som slicefilen är tagen ifrån är två meter. Detta är samma höjd som acceptanskriteriet på 10 meter sikt anger. Figureerna nedan illustrerar tiden till acceptanskriteriet 10 meter sikt överskrids vid de olika sotpotentialerna 0,015 och 0,075.

Smokeyview 5.6 – Oct 29 2010

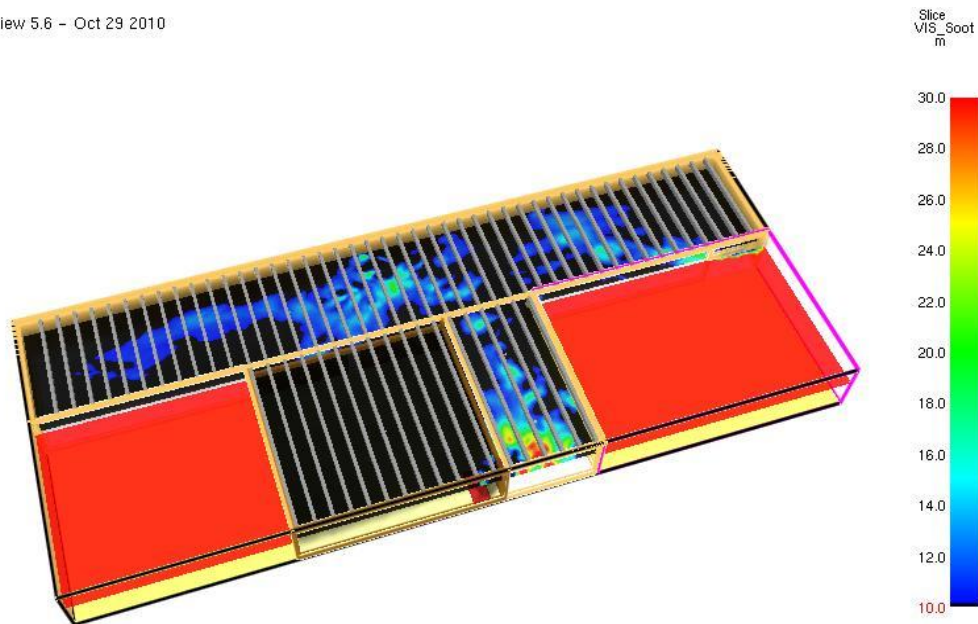


Frame: 276

Time: 80.1

**Figur 46 - Sikt med sotpotential 0,015. Det som är svart i figuren har en sikt på 10 meter eller mindre. Vid tiden 80 sekunder anses karatehallen inte uppfylla acceptanskriteriet för sikt längre.**

Smokeyview 5.6 – Oct 29 2010

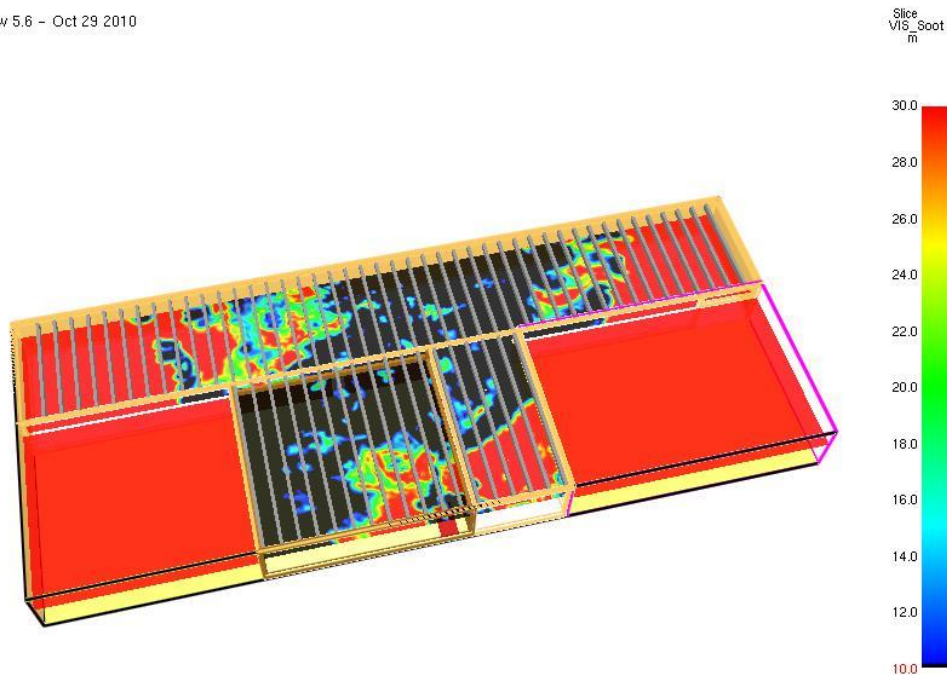


Frame: 476

Time: 140.1

**Figur 47 - Sikt med sotpotential 0,015. Det som är svart i figuren har en sikt på 10 meter eller mindre. Vid tiden 140 sekunder anses foajén inte uppfylla acceptanskriteriet för sikt längre.**

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010

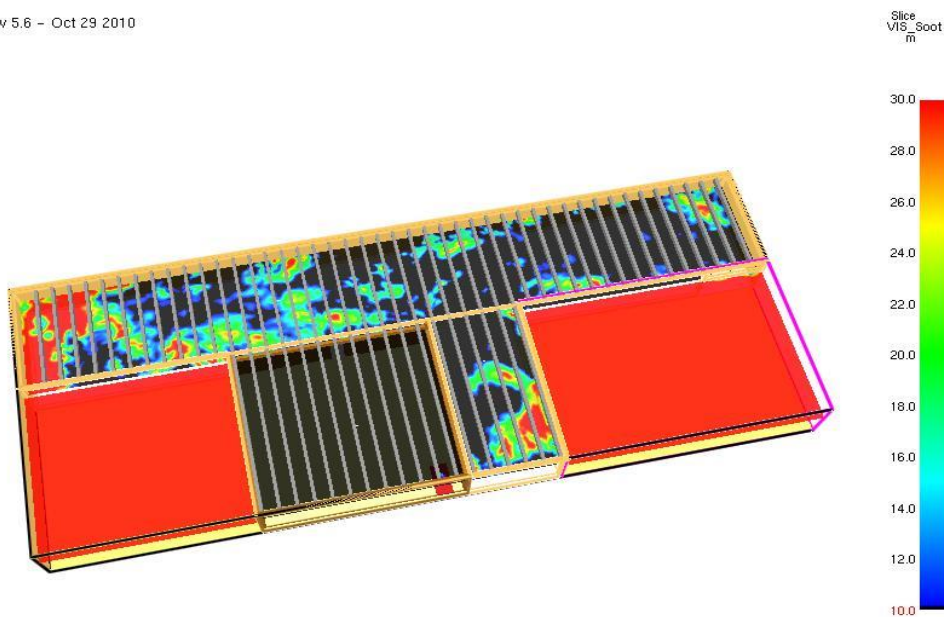


Frame: 167

Time: 50.1

**Figur 48 - Sikt med sotpotential 0,075. Det som är svart i figuren har en sikt på 10 meter eller mindre. Vid tiden 50 sekunder anses karatehallen inte uppfylla acceptanskriteriet för sikt längre.**

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Frame: 234

Time: 70.2

**Figur 49 - Sikt med sotpotential 0,075. Det som är svart i figuren har en sikt på 10 meter eller mindre. Vid tiden 70 sekunder anses foajén inte uppfylla acceptanskriteriet för sikt längre.**

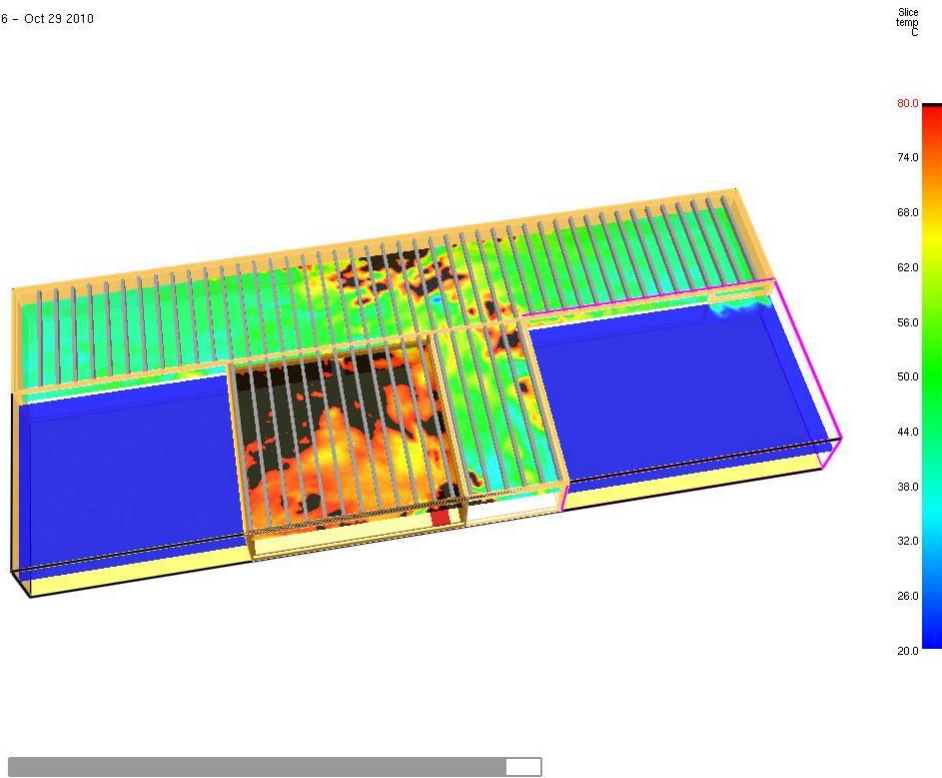
För att mäta rökfyllnad har devices med parametern LAYER HEIGHT använts för att se när acceptanskriteriet överskrids. I karatehallen och foajén är det höjden 1,92 meter som brandgaslagret inte får sjunka under. Nedan i Tabell 39 presenteras resultaten från de olika mätpunkterna som är utplacerade i lokalerna.

Tabell 39 - Tid till acceptanskriterier överskrids.

	Tid [s]	Tid [s]
<b>Foajén</b>	<b>Sotpotential 0,015</b>	<b>Sotpotential 0,075</b>
En mätpunkt	25	28
Alla mätpunkter	112	114
<b>Entrén</b>		
En mätpunkt	47	36
Alla mätpunkter	145	153
<b>Karatehallen</b>		
En mätpunkt	28	29
Alla mätpunkter	55	55
<b>Alla lokaler</b>		
En mätpunkt	25	28
Alla mätpunkter	145	153

Temperaturen är mätt med slicefiles för att undersöka ifall acceptanskriteriet 80° C överskrids. Mätningarna görs i Z-led på höjden två meter. Figuren nedan illustrerar tiden till acceptanskriteriet 80° C överskrids vid de olika sotpotentialerna 0,015 och 0,075.

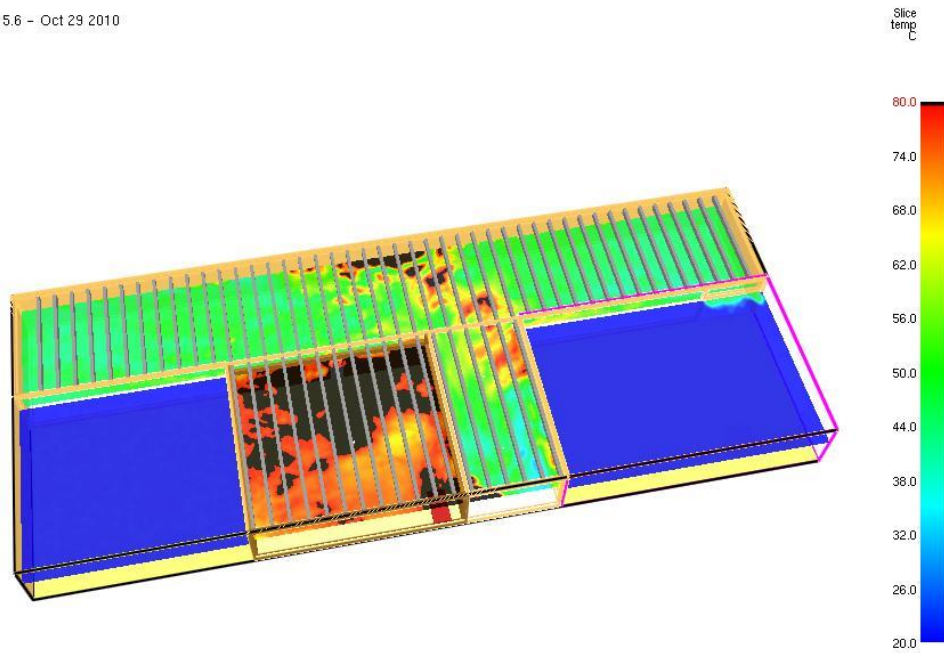
Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



**Figur 50 – Temperatur i brandgaslagret på höjden 2 meter, sotpotential 0,015. Det som är svart i figuren har en temperatur på 80° C eller högre. Vid tiden 255 sekunder anses karatehallen inte uppfylla acceptanskriteriet för temperatur längre.**



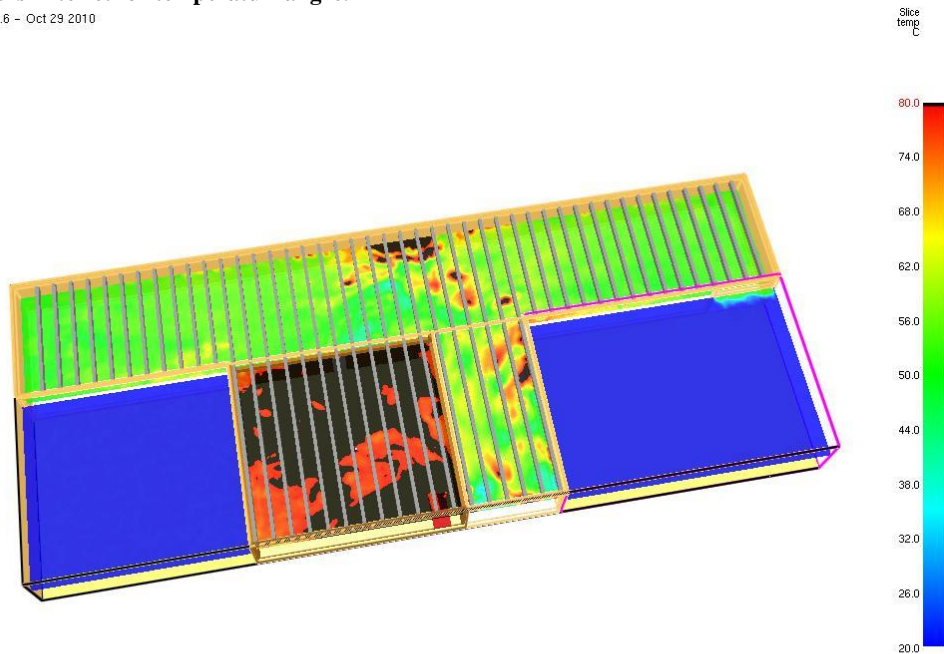
Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Frame: 900  
Time: 270.0

**Figur 51 – Temperatur i brandgaslagret på höjden 2 meter, sotpotential 0,075. Det som är svart i figuren har en temperatur på 80° C eller högre. Vid tiden 270 sekunder anses karatehallen inte uppfylla acceptanskriteriet för temperatur längre.**

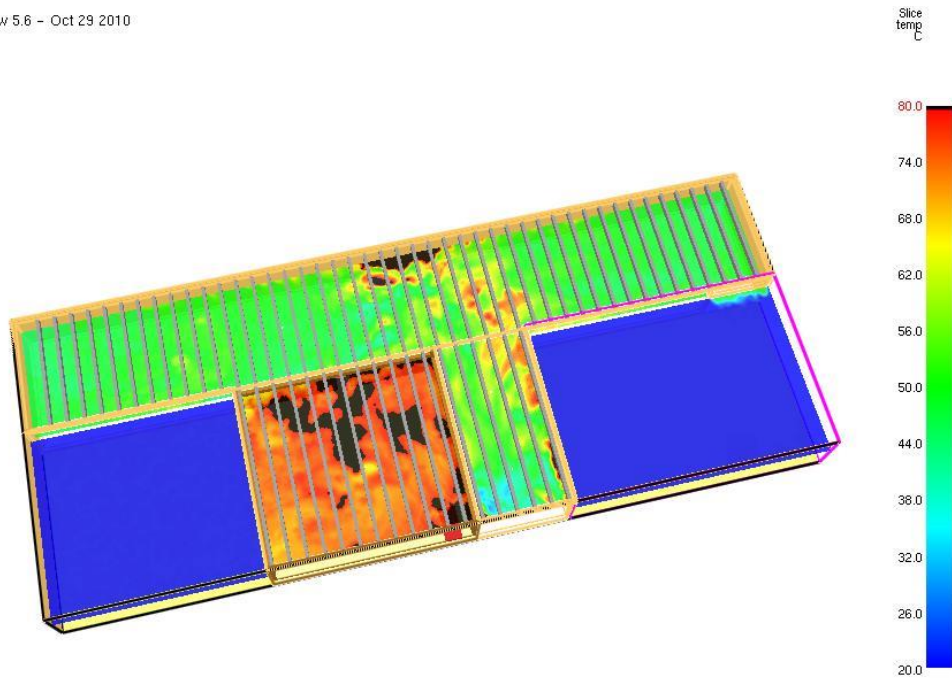
Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



Frame: 1000  
Time: 300.0

**Figur 52 – Temperatur i brandgaslagret på höjden 2 meter, sotpotential 0,015. Det som är svart i figuren har en temperatur på 80° C eller högre. Vid tiden 300 sekunder har ännu inte acceptanskriteriet överskridits i foajén bortsett från på en mindre volym.**

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



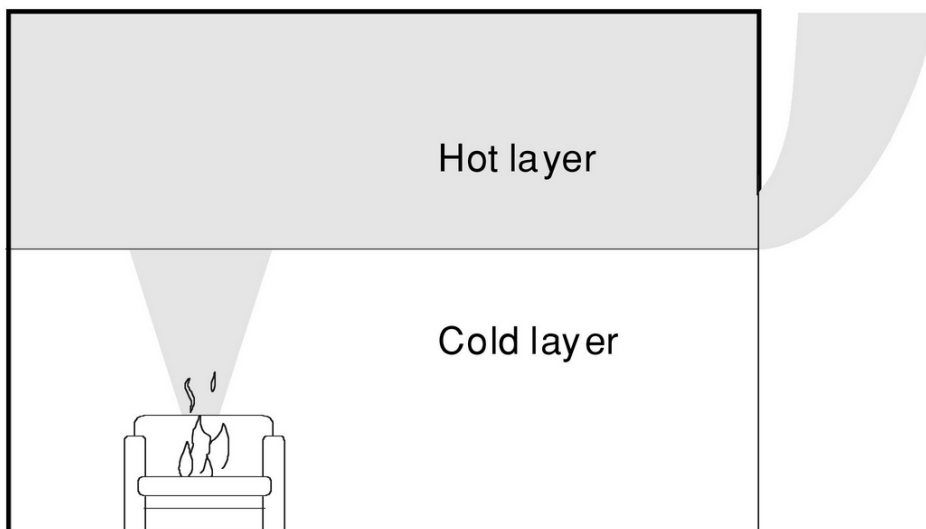
Frame: 1000  
Time: 300.0

**Figur 53 – Temperatur i brandgaslagret på höjden 2 meter, sotpotential 0,075. Det som är svart i figuren har en temperatur på 80° C eller högre. Vid tiden 300 sekunder har ännu inte acceptanskriteriet överskridits i foajén bortsett från på en mindre volym.**

## Bilaga 17 – Teori simuleringsprogram

### CFAST

CFAST (Consolidated Fire growth And Smoke Transport model) är ett simuleringsprogram som utgår från en tvåzonsmodell. Med detta menas att brandrummet delas upp i två zoner, en övre zon med temperaturen  $T_g$  som utgörs av själva brandgaslagret och en undre zon med temperaturen  $T_0$  som utgörs av kall luft, se Figur 54. Detta är en grov förenkling av verkligheten och betyder att beaktning ska tas vid värderande av resultatet från simuleringar i CFAST.



Figur 54 - Tvåzonsmodellering (Karlsson & Quintiere, 2000).

Nedan redovisas de förenklingar som görs vid tvåzonsmodellering.

- Rummet delas upp i två homogena zoner där temperatur, densitet och andra fysikaliska egenskaper anses vara identiska i alla punkter i hela zonen.
- Brandgaslagret bildas direkt vid brandens start. Ingen hänsyn tas till den tid det tar för brandgaserna att färdas med plymen, sprida sig över taket och bilda ett lager.
- Ingen hänsyn tas till geometrin eller eventuella föremål som kan blockera brandgasernas väg eller skapa virvlar vilket inverkar på brandgasspridningen.
- Branden antas vara en så kallad *point source* brand. Detta betyder att all effektutveckling antas genereras i en punkt och ingen hänsyn tas till arean av det brinnande föremålet.

Dessa förenklingar resulterar i att simuleringar och beräkningar baserade på tvåzonsmodellering underskattar den tid det tar för brandgaslagret att nå en viss nivå. Det betyder också att modellen endast ska användas för rum som har en rektangulär utformning och saknar installationer som har stor påverkan på brandgasspridningen.

Nedan redovisas begränsningar vid användande av programmet CFAST.

- I CFAST lämnas definitionen av både rummets geometri och branden till användare. Detta ställer stora krav på att rätt data används som kan representera det fallet som ska simuleras. Det kan vara speciellt svårt att efterlikna ett verkligt brandförlopp i CFAST effektutvecklingen måste följa ett  $\alpha$ - $t^2$ -samband.
- Öppningar och ventilation definieras i CFAST av användaren och ställer krav på att rätt mått används som representerar fallet man vill simulera. Ventilation och storlek på öppningar har stor inverkan på brandgasfyllnaden av ett rum.

Detta betyder att resultatet från simuleringar i CFAST alltid ska beaktas med hänsyn till den indata de är baserade på.

### Acceptanskriterierna i CFAST

CFAST används för att kontrollera när acceptanskriterier överskrids i B-hallen enligt följande:

- Brandgaslagrets höjd mäts med tio sekundersintervall och den tidpunkt där den kritiska nivån  $(1,6 + (H \cdot 0,1))$  överskrids.
- Nedsatt sikt behandlas inte av programmet och resultat från simuleringen kommer inte ligga till grund för att kontrollera detta acceptanskriterium.
- CFAST har möjlighet att mäta strålning från brandgaslagret, men dock inte från flammen i brandrummet. Två olika strålningsnivåer mäts under simuleringen. Den ena mätningen sker i den undre zonen för att representera den strålningsnivå en människa skulle utsätta för. Den andra mäter infallande strålning mot golvet för att utvärdera risken att det antänds. I resultaten har strålningsnivån en människa skulle utsättas för redovisats. Strålningen mot golvet har inte redovisats då inga kritiska nivåer uppnås vid simuleringarna.
- I CFAST mäts temperaturen för både den övre och den undre zonen. Då endast brandgaslagrets temperatur påverkas vid en tvåzons-modellering är det detta värde som kommer att utvärderas i resultaten. Acceptanskriteriet anses överskridas då temperaturen i brandgaslagret är högre än  $80^\circ \text{C}$ , oavsett brandgaslagrets höjd.
- Mätning av genererade sotpartiklar och toxicitet är helt beroende på indata där branden definieras i CFAST. Då inte tillräckligt dataunderlag för brandens kemiska reaktion var känd kommer inte simuleringen att mäta halter av partiklar och detta kommer heller inte redovisas i resultaten.

### ISO-kriterier för giltighet av CFAST-simulering

För att avgöra om en simulering i ett datorprogram som bygger på tvåzons-modellering kan antas representera verkliga resultat har ISO (International Organization for Standardization) tagit fram ett antal kriterier för att avgöra vilka utrymmen som anses acceptabla att simulera (ISO, 1995).

Förhållanden mellan rummets längd, bredd och höjd och förhållande mellan effektutveckling och rummets geometri är definierade för när resultaten som simuleringar genererar kan anses stämma överens med verkligheten. Kriterierna har även utarbetats och delgetts i den officiella manualen för CFAST (NIST, 2005). En sammanfattning av dessa dimensionskriterier från CFAST manualen och kriterier gällande effekten från ISO:s rekommendationer redovisas i Tabell 40 nedan.

**Tabell 40 - Kriterium för användande av CFAST.**

Kriterium	Acceptabelt	Speciell inställning krävs	Speciell hänsyn krävs
[L]längd/[B]redd	$L/B < 3$	$3 < L/B < 5$	$L/B > 5$
[L]längd/[H]öjd	$L/H < 3$	$3 < L/H < 6$	$L/H > 6$
[B]redd/[H]öjd	$B/H > 0,4$	$0,2 < B/H < 0,4$	$W/H < 0,2$
Effekt [ $\dot{Q}$ ]	$\dot{Q} \geq 5 \cdot L \cdot H^{3/2}$	-	$\dot{Q}''' \leq 1000$

Längdmåtten är i enheten meter och effekt i enheten kilowatt. Dessa kriterier är framtagna baserat på jämförelser av mätvärden från verkliga experiment med simulerade resultat. Med speciell hänsyn menas att rummets geometri bör delas upp i flera mindre geometrier som ansluts till varandra för att på så sätt få en mer verklighetstrogen brandgasspridning. Med speciella inställningar menas att algoritmer som tar hänsyn till utrymmen som ser ut som långa korridorer eller atrium bör användas.

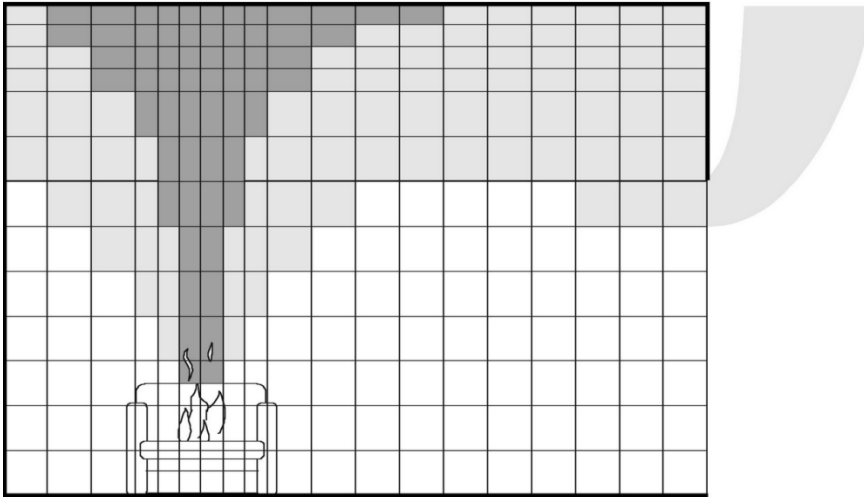
### FDS

FDS (Fire Dynamics Simulator) är en programvara som används för att utföra CFD-beräkningar (Computational Fluid Dynamics) vid rumsbränder. FDS utvecklas av NIST och är ett vedertaget dataverktyg inom branschen för att simulera brand och används i stor utsträckning för att undersöka när acceptanskriterier överskrids. Förlitligheten hos simuleringens resultat vilar helt på förståelse för programvarans begränsning. Dataprogrammet gör många förenklingar av verkligheten och stort ansvar ligger på användaren för att simuleringen ska bli så verklighetsrepresentativt som möjligt.

CFD-modeller löser numeriska transportekvationer, Navier-Stokes kontinuitetsekvationer, för rörelsemängd, massa och energi och kan på detta vis simulera flöden. FDS är en CFD modell som



utför LES (Large Eddy Simulation) för att beräkna långsamma fluidflöden drivna av temperaturskillnader. Praktiskt går det till så att den geometri som man vill simulera delas upp i kuber (celler) där transportekvationerna löses för varje separat kub, se Figur 55. Denna beräkningsprocess görs över tid för samtliga kuber och på det viset kan man simulera fluidflöde över en större volym och över tid. Desto fler kuber som beräkningarna utförs på, desto mer information tar man hänsyn till och desto utförligare blir resultatet. Den stora nackdelen med FDS simuleringar är att de kräver lång beräkningstid och en balans mellan hur noggrann simulering man vill utföra ställs mot hur lång beräkningstid som kan uppföra (Karlsson & Quintiere, 2000). För en utförlig redogörelse för de matematiska modeller som FDS använder sig av hänvisas till den senaste versionen av FDS User's Guide (NIST, 2010).

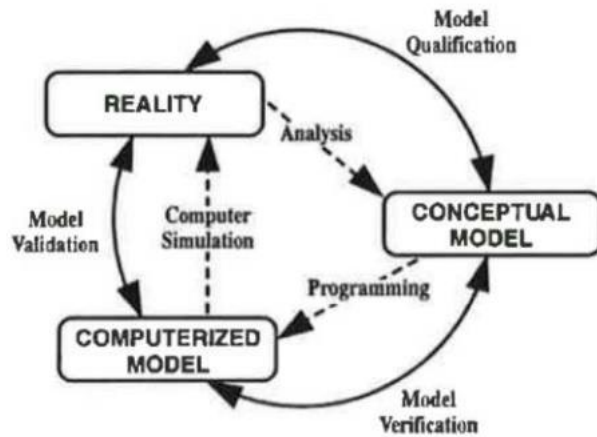


Figur 55 - Uppdelning av en stor volym till mindre celler vid FDS-simulering (Karlsson & Quintiere, 2000).

Nedan behandlas deskriptivt några av de förenklingar som görs vid simuleringar i FDS samt även vilka osäkerheter som bör beaktas vid användning av resultat från dessa simuleringar. För en utförlig redogörelse samt förenklingar hänvisas till FDS User's Guide (NIST, 2010).

Den största osäkerheten med FDS simuleringar beror på det stora ansvar som vilar hos användaren och hur koden skrivs för själva simuleringen. Definition av geometri och branden bestäms helt av användaren. Stort ansvar åligger således denna att förstå de bakomliggande beräkningsmekanismerna. Exempelvis använder FDS en förenklad förbränning- och strålningsmodell. Då geometrin endast kan delas upp i kvadratiske kuber tas heller ingen hänsyn till runda föremål eller objekt. Ventilationsförhållanden som representerar verkligheten är även mycket svåra att ta hänsyn.

En stor fara med FDS är att det är möjligt att få fram resultat från simuleringar som vid första anblick ser verklighetstrogna ut. Detta ställer krav på att resultaten utvärderas och valideras. Ett sätt att göra detta är genom att kontrollera nodkonvergens, dvs. två separata simuleringar med olika storlek på cellerna utförs och resultatet jämförs. Validering och verifiering är vitalt för att resultaten från en simulering ska kunna användas som underlag för ytterligare analys och slutsatser. Figur 56 visar det komplexa förhållningsätt som bör beaktas vid utvärderande av simuleringens resultat.



Figur 56 – Den iterativa process som utgör utvärdering av resultat från bl.a. FDS-simuleringar (Mok & Chow, 2004).

### Simulex

SIMULEX är ett datorprogram som används för att simulera tid för ett utrymningsförlopp i byggnader. Programmet är utvecklat av *Integrated Environmental Solutions Limited* och baserar sig på empiriskt dokumenterad data över förflyttningsmönster vid olika typer av situationer och hos olika typer av individer. Programmet används tillsammans med planritningar i CAD-format för att bygga upp en förflyttningsgeometri där användaren ges möjlighet att själv definiera utrymningsscenariot. Personer som befinner sig i byggnaden kan definieras efter kön, ålder, gånghastighet, kroppsform och reaktionstid för att på så sätt få en representativ population för ett verkligt utrymningsfall. Användaren får även möjligheten att välja vilka utrymningsvägar som ska användas av vilka individer. Förflyttningstiden beräknas med en algoritm och baseras på en så kallad partikelmodell av geometrin. Resultatet genereras både som data och visuellt vilket möjliggör identifieringen av eventuella flaskhalsar, köbildning och andra aspekter som påverkar utrymningsförloppet (IESVE, 2014).

Begränsningar med programmet grundar sig på den grova förenklingen av ett verkligt utrymningsförlopp som simuleringen genererar. I vissa fall kan överkliga fenomen uppvisas, exempelvis onaturlig köbildning eller att individer fastnar i geometrin. En av de största felkällorna för simuleringar är att användarens antaganden och programmering avspeglas i resultaten. Detta beror mycket på det faktum att det inte går att simulera den fria viljan vid val av utrymningsväg. Även social påverkan som är en högst påtaglig faktor vid utrymning kan inte heller modelleras. Gruppmentalitet och affordance-teori är exempel på andra inverkanse faktorer som inte kan representeras (Frantzich, et al., 2007).

## Bilaga 18 – Åtgärd brandgasventilation i A-hallen

Då de kritiska förhållandena i A-hallen överskrids snabbt i förhållande till den krävda utrymningstiden, motiveras en åtgärd som ger personer som befinner sig i lokalen mer tid att utrymma under acceptabla förhållanden. Då brandgaslagrets höjd är den faktor som resulterar i att kriterierna överskrids är ventilation av brandgaserna det alternativ som rekommenderas i A-hallen. Mekanisk brandgasventilation rekommenderas eftersom en tillräckligt stor mängd brandgaser kan ventileras ut med ett bestämt flöde och eftersom denna typ av system är pålitligt (Bengtsson, et al., 2012).

Ventilation med brandgasluckor, vertikala eller horisontala, har valts bort med anledningen att detta system är känsligt för vindpåverkan. Tillförlitligheten för brandgasluckor kan även påverkas negativt av vinterklimat där snö kan belasta luckorna och resultera i att dessa inte öppnar som de ska (Bengtsson, et al., 2012). En annan stor fördel med installationen av brandgasfläktar är att man kan ventilerar avsevärt större volym brandgaser, men samtidigt använda en betydligt mindre area av taket än vid installation av brandgasluckor.

Att uppgradera det befintliga fläktsystemet som förser A-hallen till att kunna hantera varma brandgaser med ett så kallat ”fläkt i drift-system” har även avfärdats. Anledningen till detta är att det anses enklare och pålitligare att installera ett nytt system med separata fläktar, än att uppgradera det befintliga systemet. I dagsläget slås de två FTX-fläktsystemen, som är kopplade till A-hallen, från vid detekterad brand och spjäll stänger för att förhindra att gaser sprider sig till fläktrummen. Alternativet hade varit att förbikoppla de normala fläktarna och aggregatet med speciellt dimensionerade brandgasfläktar som aktiverar vid detekterad brand och ventilerar via de befintliga ventilationssystemen. Detta ställer nya krav på dimensioner i frånluftskanalerna att klara av det ökade flödet av varma brandgaser och även installation av backströmningsspjäll i tilluftskanalerna<sup>6</sup>. Det skall även finnas plats och vara möjligt att installera brandgasfläktar i de befintliga fläktrummen som har en begränsad fri yta.

Av dessa anledningar har slutsatsen att installation av brandgasfläktar i taket utgör det bästa alternativet för att hålla brandgaslagret på höjden 5,6 meter i A-hallen. För att det inte ska bildas ett undertryck i lokalen när brandgasventilationen slås på sätts även två tilluftsfläktar med samma kapacitet och storlek in i A-hallen. Dessa placeras på väggen i höjd med utrymningsvägarna. Beräkningar för krävd brandgasventilation kan ses nedan.

### Handberäkningar som ligger till underlag för dimensionerande av brandgasfläktar i A-hallen.

Följande beräkningar resulterar i dimensionerande av föreslagna brandgasfläktar i A-hallen. Beräkningsgången följer beskriven metodik i Enclosure Fire Dynamics (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 213). Nedan redovisas använda ekvationer, beräkningsingång och använda parametervärden.

För den kritiska höjden på brandgaslagret,  $z = 5,6$  m, används i ekvationen nedan för att beräkna massflödet  $\dot{m}$ .

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

Ekvationen nedan används för att beräkna temperatur på brandgaslagret  $T_g$ .

$$T_g = T_a + \frac{\dot{Q}}{c_p \dot{m}_e + h A_w}$$

Vidare används följande ekvation för att beräkna brandgaslagrets densitet,  $\rho_g$ , vid denna temperatur

$$\rho_g = 353/T_g$$

Volymflödet för den mekaniska ekvationen,  $\dot{V}_e$ , beräknas sedan med ekvationen nedan.

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

<sup>6</sup> Cedrik Persson, Bengt Dahlgren AB, Föreläsning brandgasventilation, Lund Tekniska Högskola, 2014-02-14

Ingångsvärden använda i beräkningarna redovisas i Tabell 41. Resultterande flöde från ovanstående beräkningar är  $\dot{V}_e = 19,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

**Tabell 41 - Ingångsvärden för beräkning av tid till kritisk höjd på brandgaslager uppnås.**

Variabel	Värde
$\rho_a$	1,2 kg/m <sup>3</sup>
g	9,81 m/s <sup>2</sup>
$c_p$	1 kJ/(kg K)
$T_a$	293 K
Q	5200 kW
z	5,6 m
$A_w$	2481,36 m <sup>2</sup>
h	0,033 kW/(m <sup>2</sup> K)

**Bilaga 19 – FDS kod för simuleringar av karatehallen och A-hallen****Karatehallen**

Nedan följer koden som har använts vid simuleringarna. Vissa justeringar har gjorts beroende på vilken typ av parameter som har undersökts. Exempel på parametrarna som har ändrats är MESH och SOOT\_YIELD. Värden har tagits från (SFPE, 2002) och (The Engineering Toolbox, 2014).

```
&HEAD CHID='foaje300_10_sista_015', TITLE='foaje300_10_sista_015' /
&MESH IJK= 454, 184, 36, XB= 0.0, 45.4, 0.0, 18.4, 0.0, 3.6 /
&TIME T_END=250.0/
&MISC SURF_DEFAULT= 'BRICK', TMPA= 20.0, RADIATION=.TRUE./
```

```
&MATL ID = 'BRICK'
DENSITY = 1400.
CONDUCTIVITY = 1.0
SPECIFIC_HEAT = 0.9
EMISSIVITY = 0.93 /
```

```
&MATL ID = 'WOOD'
DENSITY = 600.
CONDUCTIVITY = 0.17
SPECIFIC_HEAT = 2.0
EMISSIVITY = 0.89 /
```

```
&SURF ID= 'BRICK', MATL_ID= 'BRICK', THICKNESS= 0.1/
&SURF ID= 'WOOD', MATL_ID= 'WOOD', THICKNESS= 0.1 /
```

```
&OBST XB= 0.2, 12.2, 11.0, 11.2, 0.2, 3.4, OUTLINE=.TRUE./
&OBST XB= 12.2, 24.2, 11.0, 11.2, 0.2, 3.4, SURF_ID= 'WOOD', COLOR='BRICK'/
&OBST XB= 24.2, 45.2, 11.0, 11.2, 0.2, 3.4, SURF_ID= 'WOOD', OUTLINE=.TRUE./
&OBST XB= 0.2, 45.2, 18.2, 18.4, 0.2, 3.4, OUTLINE=.TRUE./
&OBST XB= 0.0, 0.2, 11.0, 18.4, 0.2, 3.4, OUTLINE=.TRUE./
&OBST XB= 45.2, 45.4, 11.0, 18.4, 0.2, 3.4, OUTLINE=.TRUE./
&OBST XB= 0.0, 45.4, 11.0, 18.4, 3.4, 3.6, SURF_ID='WOOD', OUTLINE=.TRUE./
&OBST XB= 0.0, 45.4, 11.0, 18.4, 0.0, 0.2, COLOR='BEIGE'/
&OBST XB= 12.2, 12.4, 0.2, 11.0, 0.2, 3.4, SURF_ID= 'WOOD', COLOR='BRICK'/
&OBST XB= 24.0, 24.2, 0.2, 11.0, 0.2, 3.4, SURF_ID= 'WOOD', COLOR='BRICK'/
&OBST XB= 12.2, 24.2, 0.0, 0.2, 0.2, 3.4, SURF_ID= 'WOOD', OUTLINE=.TRUE., COLOR='BRICK'/
&OBST XB= 12.2, 24.2, 0.0, 11.0, 0.0, 0.2, SURF_ID= 'WOOD', COLOR='KHAKI'/
&OBST XB= 12.2, 24.2, 0.0, 11.0, 3.4, 3.6, OUTLINE=.TRUE./
&OBST XB= 29.6, 29.8, 0.2, 11.0, 0.2, 3.4, SURF_ID= 'WOOD', OUTLINE=.TRUE./
&OBST XB= 24.2, 29.6, 0.0, 0.2, 0.2, 3.4, SURF_ID= 'WOOD', OUTLINE=.TRUE./
&OBST XB= 24.2, 29.8, 0.0, 11.0, 0.0, 0.2, SURF_ID= 'WOOD', COLOR='BEIGE'/
&OBST XB= 24.2, 29.8, 0.0, 11.0, 3.4, 3.6, SURF_ID= 'WOOD', OUTLINE=.TRUE./
```

```
&OBST XB= 1.4, 1.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4, COLOR='GRAY' /
&OBST XB= 2.4, 2.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4, COLOR='GRAY' /
&OBST XB= 3.4, 3.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4, COLOR='GRAY' /
&OBST XB= 4.4, 4.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4, COLOR='GRAY' /
&OBST XB= 5.4, 5.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4, COLOR='GRAY' /
&OBST XB= 6.4, 6.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4, COLOR='GRAY' /
&OBST XB= 7.4, 7.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4, COLOR='GRAY' /
&OBST XB= 8.4, 8.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4, COLOR='GRAY' /
&OBST XB= 9.4, 9.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4, COLOR='GRAY' /
&OBST XB= 10.4, 10.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4, COLOR='GRAY' /
&OBST XB= 11.4, 11.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4, COLOR='GRAY' /
&OBST XB= 12.4, 12.6, 0.2, 18.2, 3.0, 3.4, COLOR='GRAY' /
&OBST XB= 13.4, 13.6, 0.2, 18.2, 3.0, 3.4, COLOR='GRAY' /
&OBST XB= 14.4, 14.6, 0.2, 18.2, 3.0, 3.4, COLOR='GRAY' /
&OBST XB= 15.4, 15.6, 0.2, 18.2, 3.0, 3.4, COLOR='GRAY' /
&OBST XB= 16.4, 16.6, 0.2, 18.2, 3.0, 3.4, COLOR='GRAY' /
```

&OBST XB= 17.4, 17.6, 0.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 18.4, 18.6, 0.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 19.4, 19.6, 0.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 20.4, 20.6, 0.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 21.4, 21.6, 0.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 22.4, 22.6, 0.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 23.4, 23.6, 0.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 24.4, 24.6, 0.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 25.4, 25.6, 0.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 26.4, 26.6, 0.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 27.4, 27.6, 0.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 28.4, 28.6, 0.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 29.4, 29.6, 0.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 30.4, 30.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 31.4, 31.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 32.4, 32.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 33.4, 33.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 34.4, 34.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 35.4, 35.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 36.4, 36.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 37.4, 37.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 38.4, 38.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 39.4, 39.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 40.4, 40.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 41.4, 41.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 42.4, 42.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 43.4, 43.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /  
 &OBST XB= 44.4, 44.6, 11.2, 18.2, 3.0, 3.4 , COLOR='GRAY' /

&HOLE XB= 24.2, 29.6, 10.99, 11.21, 0.2, 3.4/  
 &HOLE XB= 12.2, 24.0, 10.99, 11.21, 2.6, 3.4/  
 &HOLE XB= 23.99, 24.21, 0.2, 10.8, 2.6, 3.4/  
 &HOLE XB= 18.2, 19.0, 10.99, 11.21, 0.2, 2.2/  
 &HOLE XB= 41.6, 45.2, 10.99, 11.21, 0.2, 2.4/

&VENT XB= 29.8, 45.4, 0.0, 11.2, 3.6, 3.6, SURF\_ID='OPEN' /  
 &VENT XB= 45.4, 45.4, 0.0, 11.2, 0.0, 3.6, SURF\_ID='OPEN' /  
 &VENT XB= 29.8, 45.4, 0.0, 0.0, 0.0, 3.6, SURF\_ID='OPEN' /

&REAC ID = 'Fuel'  
 SOOT\_YIELD = 0.015  
 C = 1.  
 H = 4.  
 O = 1.  
 HEAT\_OF\_COMBUSTION = 21700.  
 IDEAL = .TRUE. /

&SURF ID='BURNER', HRRPUA=1037.5, COLOR='RED', RAMP\_Q='ramp'/  
 &RAMP ID='ramp', T=0.0, F=0.0/  
 &RAMP ID='ramp', T=25.0, F=0.45/  
 &RAMP ID='ramp', T=100.0, F=0.10/  
 &RAMP ID='ramp', T=175.0, F=0.10/  
 &RAMP ID='ramp', T=230.0, F=1.00/  
 &RAMP ID='ramp', T=300.0, F=0.36/  
 &OBST XB=22.4, 23.4, 0.2, 2.2, 0.2, 0.4, SURF\_IDS='BURNER', 'INERT', 'INERT', COLOR='FIREBRICK'/

&SLCF PBZ=2.2, QUANTITY='TEMPERATURE'/  
 &SLCF PBZ=2.2, QUANTITY='VISIBILITY'/

&PROP ID='smoke\_detector\_photo', SMOKEVIEW\_ID='smoke\_detector'

```

QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',
ALPHA_E=1.8
BETA_E=-1.0
ALPHA_C=1.0
BETA_C=-0.8
ACTIVATION_OBSCURATION=3.28 /

```

```

&DEVC ID='SD_1', PROP_ID='smoke_detector_photo', XYZ=18.7,4.9,2.7 /
&DEVC ID='SD_2', PROP_ID='smoke_detector_photo', XYZ=15.7,14.7,2.7 /
&DEVC ID='SD_3', PROP_ID='smoke_detector_photo', XYZ=26.9,2.9,2.7 /
&DEVC ID='SD_4', PROP_ID='smoke_detector_photo', XYZ=26.9,7.8,2.7 /

```

```

&DEVC ID='LH1', XB=1.0,1.0,15.0,15.0,0.0,3.2, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/
&DEVC ID='LH2', XB=6.0,6.0,15.0,15.0,0.0,3.2, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/
&DEVC ID='LH3', XB=11.0,11.0,15.0,15.0,0.0,3.2, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/
&DEVC ID='LH4', XB=16.0,16.0,15.0,15.0,0.0,3.2, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/
&DEVC ID='LH5', XB=21.0,21.0,15.0,15.0,0.0,3.2, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/
&DEVC ID='LH6', XB=26.0,26.0,15.0,15.0,0.0,3.2, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/
&DEVC ID='LH7', XB=31.0,31.0,15.0,15.0,0.0,3.2, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/
&DEVC ID='LH8', XB=36.0,36.0,15.0,15.0,0.0,3.2, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/
&DEVC ID='LH9', XB=41.0,41.0,15.0,15.0,0.0,3.2, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/
&DEVC ID='LH10', XB=27.0,27.0,1.0,1.0,0.0,3.2, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/
&DEVC ID='LH11', XB=27.0,27.0,3.0,3.0,0.0,3.2, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/
&DEVC ID='LH12', XB=27.0,27.0,5.0,5.0,0.0,3.2, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/
&DEVC ID='LH13', XB=27.0,27.0,7.0,7.0,0.0,3.2, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/
&DEVC ID='LH14', XB=27.0,27.0,9.0,9.0,0.0,3.2, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/
&DEVC ID='LH15', XB=17.0,17.0,1.0,1.0,0.0,3.2, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/
&DEVC ID='LH16', XB=17.0,17.0,5.0,5.0,0.0,3.2, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/
&DEVC ID='LH17', XB=17.0,17.0,9.0,9.0,0.0,3.2, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/
&TAIL /

```

### A-hallen

Nedan följer FDS koden av simuleringen i A-hallen. Värden har tagits från (SFPE, 2002) och (The Engineering Toolbox, 2014).

```

&HEAD CHID='Ahall', TITLE='Ahall' /
&MESH IJK= 210, 210, 51, XB= 0.0, 42.0, 0.0, 42.0, 0.0, 10.2 /

&TIME T_END=850.0/
&MISC SURF_DEFAULT='INERT', TMPA= 20.0, RADIATION=.TRUE. /

&REAC ID = 'BURNER'
SOOT_YIELD = 0.015
C = 1.
H = 4.
O = 1.
HEAT_OF_COMBUSTION = 21700.
IDEAL = .TRUE. /

&SURF ID='BURNER', HRRPUA=866.67, COLOR='RED', RAMP_Q='ramp'/
&RAMP ID='ramp', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='ramp', T=200.0, F=0.104/
&RAMP ID='ramp', T=400.0, F=0.442/
&RAMP ID='ramp', T=550.0, F=0.769/
&RAMP ID='ramp', T=600.0, F=0.769/
&RAMP ID='ramp', T=700.0, F=0.962/
&RAMP ID='ramp', T=775.0, F=0.962/
&RAMP ID='ramp', T=850.0, F=1.0/
&OBST XB=19.4, 22.4, 15.2, 17.2, 0.2, 1.6, SURF_IDS='BURNER', 'INERT', 'INERT',
COLOR='FIREBRICK'/

```

&OBST XB= 0.0, 42.0, 0.0, 0.2, 0.2, 10.0, OUTLINE=.TRUE./  
 &OBST XB= 0.0, 42.0, 41.8, 42.0, 0.2, 10.0, OUTLINE=.TRUE. /  
 &OBST XB= 0.0, 0.2, 0.2, 41.8, 0.2, 10.0, OUTLINE=.TRUE./  
 &OBST XB= 41.8, 42.0, 0.2, 41.8, 0.2, 10.0, OUTLINE=.TRUE./  
 &OBST XB= 0.0, 42.0, 0.0, 42.0, 10.0, 10.2, OUTLINE=.TRUE./  
 &OBST XB= 0.0, 42.0, 0.0, 42.0, 0.0, 0.2, COLOR='BEIGE'/  
 &OBST XB= 3.2, 41.8, 0.2, 10.0, 0.2, 3.2, COLOR='GRAY'/  
 &OBST XB= 3.2, 41.8, 32.0, 41.8, 0.2, 3.2, COLOR='GRAY'/

&HOLE XB= 10.2, 12.4, 41.79, 42.01, 4.2, 4.6/  
 &HOLE XB= 30.2, 33.4, 41.79, 42.01, 4.2, 4.6/  
 &VENT XB= 10.2, 12.4, 42.0, 42.0, 4.2, 4.6, SURF\_ID='OPEN'/  
 &VENT XB= 30.2, 33.4, 42.0, 42.0, 4.2, 4.6, SURF\_ID='OPEN'/

&HOLE XB= 10.2, 12.4, -0.01, 0.21, 4.2, 4.6/  
 &HOLE XB= 30.2, 33.4, -0.01, 0.21, 4.2, 4.6/  
 &VENT XB= 10.2, 12.4, 0.0, 0.0, 4.2, 4.6, SURF\_ID='OPEN'/  
 &VENT XB= 30.2, 33.4, 0.0, 0.0, 4.2, 4.6, SURF\_ID='OPEN'/

&SLCF PBZ=5.2, QUANTITY='TEMPERATURE'/

&SLCF PBZ=5.2, QUANTITY='VISIBILITY'/

&DEVC ID='LH1', XB= 1.2, 1.2, 5.2, 5.2, 0.0, 10.0, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/  
 &DEVC ID='LH2', XB= 20.0, 20.0, 5.2, 5.2, 0.0, 10.0, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/  
 &DEVC ID='LH3', XB= 40.8, 40.8, 5.2, 5.2, 0.0, 10.0, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/

&DEVC ID='LH4', XB= 1.2, 1.2, 37.2, 37.2, 0.0, 10.0, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/  
 &DEVC ID='LH5', XB= 20.0, 20.0, 37.2, 37.2, 0.0, 10.0, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/  
 &DEVC ID='LH6', XB= 40.8, 40.8, 37.2, 37.2, 0.0, 10.0, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/

&PROP ID='smoke\_detector\_photo', SMOKEVIEW\_ID='smoke\_detector'  
 QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',  
 ALPHA\_E=1.8  
 BETA\_E=-1.0  
 ALPHA\_C=1.0  
 BETA\_C=-0.8  
 ACTIVATION\_OBSCURATION=3.28 /

&DEVC ID='SD\_1', PROP\_ID='smoke\_detector\_photo', XYZ=5.25, 5.25, 9.9 /  
 &DEVC ID='SD\_2', PROP\_ID='smoke\_detector\_photo', XYZ=15.75, 5.25, 9.9 /  
 &DEVC ID='SD\_3', PROP\_ID='smoke\_detector\_photo', XYZ=26.25, 5.25, 9.9 /  
 &DEVC ID='SD\_4', PROP\_ID='smoke\_detector\_photo', XYZ=36.75, 5.25, 9.9 /  
 &DEVC ID='SD\_5', PROP\_ID='smoke\_detector\_photo', XYZ=5.25, 15.75, 9.9 /  
 &DEVC ID='SD\_6', PROP\_ID='smoke\_detector\_photo', XYZ=15.75, 15.75, 9.9 /  
 &DEVC ID='SD\_7', PROP\_ID='smoke\_detector\_photo', XYZ=26.25, 15.75, 9.9 /  
 &DEVC ID='SD\_8', PROP\_ID='smoke\_detector\_photo', XYZ=36.75, 15.75, 9.9 /  
 &DEVC ID='SD\_9', PROP\_ID='smoke\_detector\_photo', XYZ=5.25, 26.25, 9.9 /  
 &DEVC ID='SD\_10', PROP\_ID='smoke\_detector\_photo', XYZ=15.75, 26.25, 9.9 /  
 &DEVC ID='SD\_11', PROP\_ID='smoke\_detector\_photo', XYZ=26.25, 26.25, 9.9 /  
 &DEVC ID='SD\_12', PROP\_ID='smoke\_detector\_photo', XYZ=36.75, 26.25, 9.9 /  
 &DEVC ID='SD\_13', PROP\_ID='smoke\_detector\_photo', XYZ=5.25, 36.75, 9.9 /  
 &DEVC ID='SD\_14', PROP\_ID='smoke\_detector\_photo', XYZ=15.75, 36.75, 9.9 /  
 &DEVC ID='SD\_15', PROP\_ID='smoke\_detector\_photo', XYZ=26.25, 36.75, 9.9 /  
 &DEVC ID='SD\_16', PROP\_ID='smoke\_detector\_photo', XYZ=36.75, 36.75, 9.9 /

&TAIL /



**B-hallen**

Nedan följer FDS koden av simuleringen i B-hallen. Värden har tagits från (SFPE, 2002) och (The Engineering Toolbox, 2014).

```

&HEAD CHID='Bhallen', TITLE='Bhallen' /
&MESH IJK= 160, 80, 38, XB= 0.0, 32.0, 0.0, 16.0, 0.0, 7.6 /

&TIME T_END=400.0/
&MISC SURF_DEFAULT= 'INERT', TMPA= 20.0, RADIATION=.TRUE. /

&REAC ID = 'BURNER'
SOOT_YIELD = 0.015
C = 1.
H = 4.
O = 1.
HEAT_OF_COMBUSTION = 21700.
IDEAL = .TRUE. /

&SURF ID='BURNER', HRRPUA=213.33, COLOR='RED', RAMP_Q='ramp'/
&RAMP ID='ramp', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='ramp', T=100.0, F=0.0625/
&RAMP ID='ramp', T=200.0, F=0.25/
&RAMP ID='ramp', T=300.0, F=0.5625/
&RAMP ID='ramp', T=400.0, F=1.0/
&OBST XB=10.4, 12.4, 7.2, 10.2, 0.2, 0.4, SURF_IDS='BURNER', 'INERT', 'INERT', COLOR='FIREBRICK'/
&OBST XB= 0.0, 32.0, 0.0, 0.2, 0.2, 7.4, OUTLINE=.TRUE./
&OBST XB= 0.0, 32.0, 15.8, 16.0, 0.2, 7.4, OUTLINE=.TRUE. /
&OBST XB= 0.0, 0.2, 0.2, 15.8, 0.2, 7.4, OUTLINE=.TRUE./
&OBST XB= 31.8, 32.0, 0.2, 15.8, 0.2, 7.4, OUTLINE=.TRUE./
&OBST XB= 0.0, 32.0, 0.0, 16.0, 7.4, 7.6, OUTLINE=.TRUE./
&OBST XB= 0.0, 32.0, 0.0, 16.0, 0.0, 0.2, COLOR='BEIGE'/
&HOLE XB= 10.2, 12.4, 15.79, 16.01, 2.2, 2.6/
&HOLE XB= 20.2, 23.4, 15.79, 16.01, 2.2, 2.6/
&VENT XB= 10.2, 12.4, 16.0, 16.0, 2.2, 2.6, SURF_ID='OPEN'/
&VENT XB= 20.2, 23.4, 16.0, 16.0, 2.2, 2.6, SURF_ID='OPEN'/

&SLCF PBX=16.0, QUANTITY='TEMPERATURE'/
&SLCF PBY=16.0, QUANTITY='TEMPERATURE'/
&SLCF PBZ=2.6, QUANTITY='TEMPERATURE'/

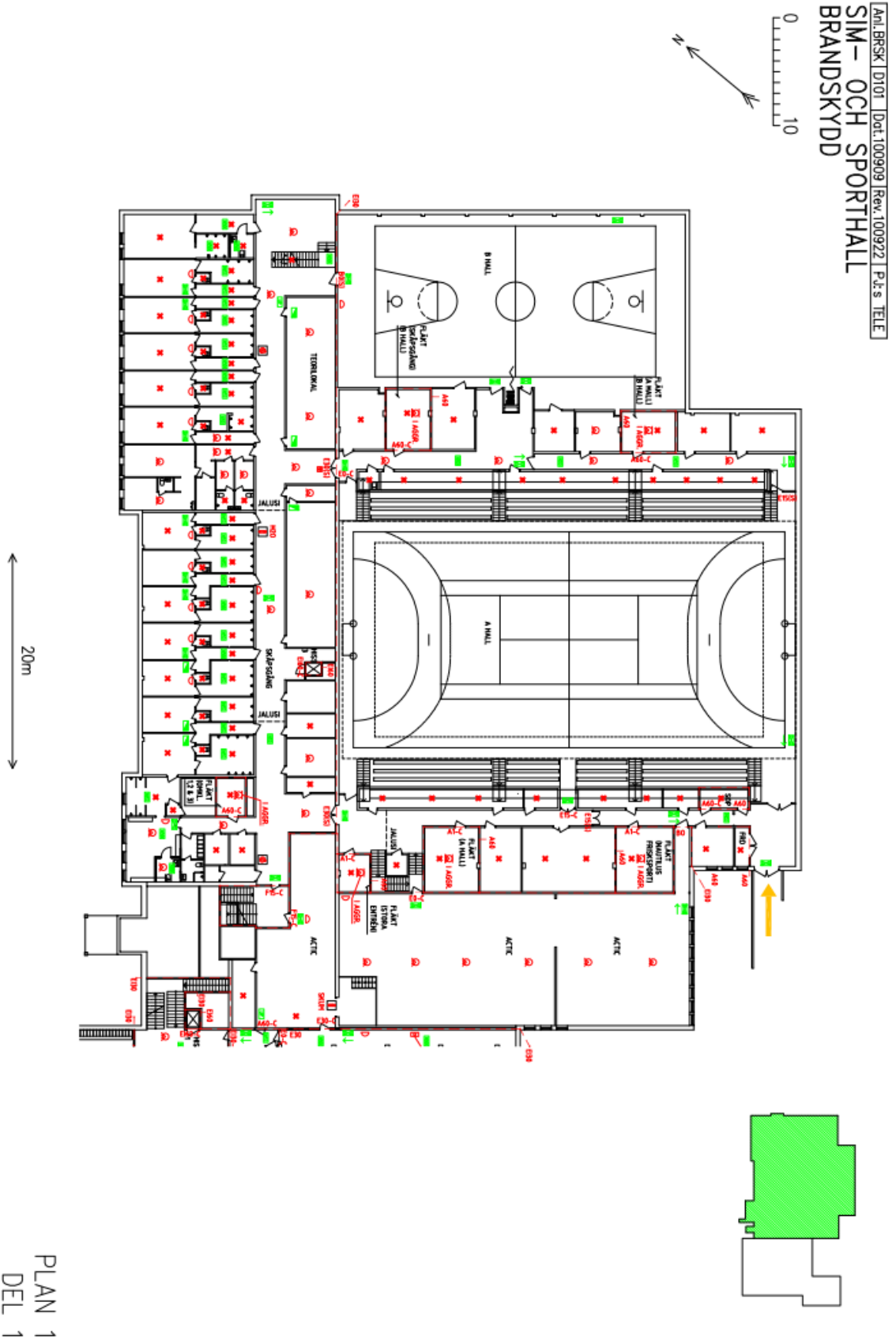
&SLCF PBZ=2.6, QUANTITY='VISIBILITY'/
&SLCF PBY=16.0, QUANTITY='VISIBILITY'/
&DEVC ID='LH1', XB= 10.0, 10.0, 8, 8, 0.0, 7.6, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/
&DEVC ID='LH2', XB= 20.0, 20.0, 8, 8, 0.0, 7.6, QUANTITY='LAYER HEIGHT'/

&PROP ID='smoke_detector_photo', SMOKEVIEW_ID='smoke_detector'
QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',
ALPHA_E=1.8
BETA_E=-1.0
ALPHA_C=1.0
BETA_C=-0.8
ACTIVATION_OBSCURATION=3.28 /

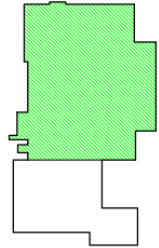
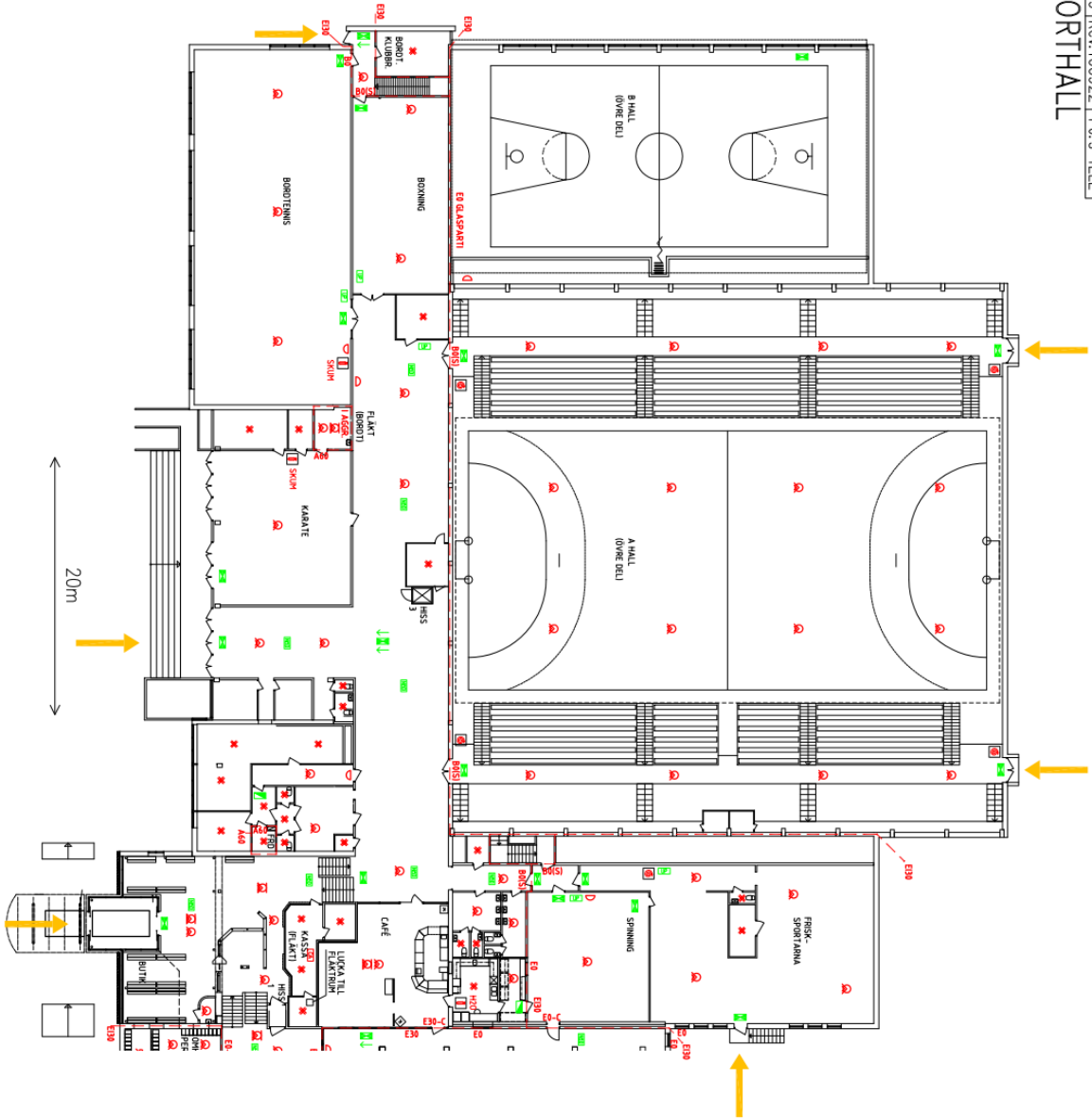
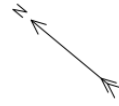
&DEVC ID='SD_1', PROP_ID='smoke_detector_photo', XYZ=5.335, 4, 7.3 /
&DEVC ID='SD_2', PROP_ID='smoke_detector_photo', XYZ=16.005, 4, 7.3 /
&DEVC ID='SD_3', PROP_ID='smoke_detector_photo', XYZ=26.675, 4, 7.3 /
&DEVC ID='SD_4', PROP_ID='smoke_detector_photo', XYZ=5.25, 12, 7.3 /
&DEVC ID='SD_5', PROP_ID='smoke_detector_photo', XYZ=15.75, 12, 7.3 /
&DEVC ID='SD_6', PROP_ID='smoke_detector_photo', XYZ=26.25, 12, 7.3 /
&TAIL /

```

Bilaga 20 – Planritningar över brandcellsgränserna

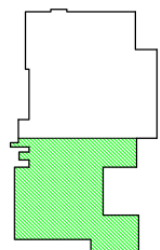
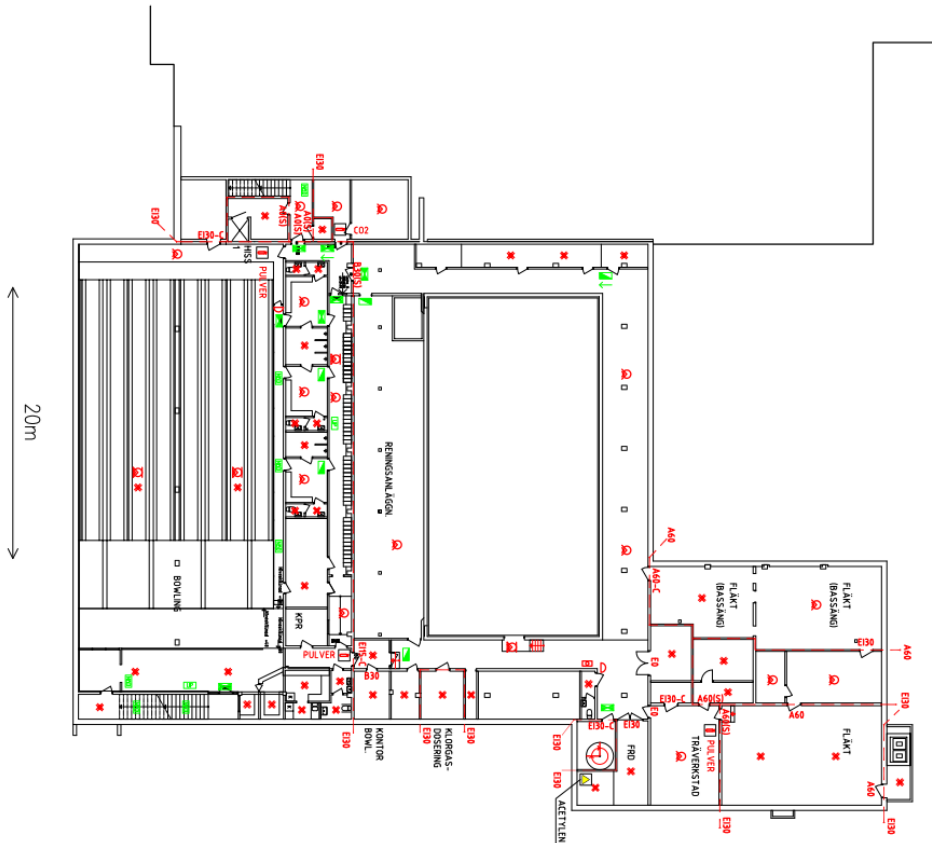
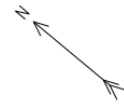


Ant. BRSK | D102 | Dat. 100909 | Rev. 100922 | P.J.s TELE  
**SIM – OCH SPORRHALL**  
**BRANDSKYDD**

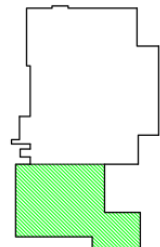


PLAN 2  
 DEL 1  
 BLAD 4

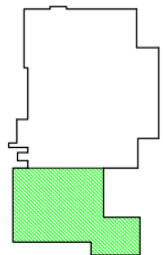
Anl.BRSK | D200 | Dat.100909 | Rev.100922 | Pj:s TELE  
**SIM – OCH SPORRHALL**  
**BRANDSKYDD**



PLAN 0  
 DEL 2  
 BLAD 8



PLAN 1  
 DEL 2  
 BLAD 7



PLAN 2  
 DEL 2  
 BLAD 5