

# Brandteknisk riskvärdering av Bräcke Ishall



Andreas Leandersson

Markus Olofsson

Sebastian Thuns

Joel Wibelius

Rapport 9388

Lund 2011



**LUNDS  
UNIVERSITET**  
Lunds Tekniska Högskola



# Brandteknisk Riskvärdering av **Bräcke Ishall**

Andreas Leandersson  
Markus Olofsson  
Sebastian Thuns  
Joel Wibelius

**Lund 2011**

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.

**Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering**

Lunds Tekniska Högskola

Lunds Universitet

Box 118

221 00 Lund

Telefon: 046 - 222 73 60

Telefax: 046 – 222 46 12

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

E-postadress: [brand@brand.lth.se](mailto:brand@brand.lth.se)

**Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety**

Lund Institute of Technology

Lund University

P.O. Box 118

SE-221 00 Lund, Sweden

Telephone: +46 (46) 222 73 60

Telefax: +46 (46) 222 46 12

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

E-mail: [brand@brand.lth.se](mailto:brand@brand.lth.se)

**Titel/Title**

Brandteknisk riskvärdering av Bräcke Ishall

Fire safety evaluation of Bräcke Ishall

**Rapport/Report**

9388

**Av/By**

Andreas Leandersson

Markus Olofsson

Sebastian Thuns

Joel Wibelius

Brandingenjörsprogrammet, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2011

Fire Protection Engineering Program, Lund Institute of Technology, 2011

© Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2011

**Abstract**

This report is an evaluation of human safety and evacuation possibilities in case of a fire at Bräcke ice hockey arena, Sweden. Three fire scenarios have been analyzed and the modeling of these has been done by computer simulations and hand calculations. The time until the fire has reached critical conditions in the building was then compared with the time it takes for all the persons in the building to empty the premises. Results from the analysis shows that human safety in case of a fire is unsatisfactory in the current situation. A number of suggestions have been proposed in order to increase the safety level in Bräcke ice hockey arena. If these suggestions are implemented the safety of people in case of a fire reaches a satisfying level and satisfactory evacuation can be carried out.

**Nyckelord**

*@RISK, brandscenario, brandteknisk riskvärdering, Bräcke, CFD, Detact QS, effektutveckling, effektutvecklingskurva, FDS, ishall, kritiska förhållanden, känslighetsanalys, osäkerhetsanalys, Simulex, utrymning*

**Keywords**

*@RISK, Bräcke, CFD, critical conditions, Detact QS, evacuation, FDS, fire modeling, fire safety evaluation, fire scenario, heat release rate, ice hockey arena, risk uncertainty, risk sensitivity, sensitivity analysis, Simulex, uncertainty analysis*

**Språk/Language**

Svenska/Swedish

## Sammanfattning

Denna rapport är en brandteknisk riskvärdering av Bräcke ishall med syftet att bedöma personsäkerheten vid utrymning i händelse av brand och, om den inte är tillfredsställande, ge förslag på åtgärder som kan förbättra den.

Bräcke ishall har en golvarea om 2340 m<sup>2</sup> och består av en ishall och en servicedel. Efter ett beslut från räddningstjänsten får ishallen i dagsläget inte ta in mer än 150 personer då en tillsyn visat att brandskyddet i lokalen inte är skäligt. Målet från anläggningsägarna är att kunna fylla ishallen vid ishockeymatcher, vilket innebär att 500 personer då skulle vistas i lokalen.

Tre brandscenarier har identifierats som de värsta troliga scenarierna. Med hjälp av CFD-modeller och handberäkningar har analyser gjorts för att avgöra hur lång tid som finns tillgänglig innan byggnaden måste vara utrymd. Dessa tider har jämförts med den tid det egentligen tar att utrymma byggnaden.

Utrymningstiden har tagits fram med hjälp av Simulex och tillgänglig litteratur. Resultaten visar att utrymningstiden i dagsläget överstiger tiden till dess att byggnaden måste vara utrymd för att personer som vistas i byggnaden inte skall utsättas för förhållanden som inte är acceptabla vid utrymning. Byggnaden uppfyller alltså i dagsläget inte kraven för personsäkerhet.

För att kunna garantera personsäkerheten vid utrymning måste utrymningstiden vara lägre än den tid det tar till att kritiska förhållanden uppstår. För att uppnå detta i Bräcke ishall har ett antal åtgärdsförslag tagits fram och validerats genom nya simuleringar och beräkningar. Ett urval presenteras nedan.

### Åtgärder som *skall* genomföras

- Det systematiska brandskyddsarbetet skall förbättras genom till exempel utbildning så att det täcker in hela anläggningen och sker tillfredsställande på alla punkter. Ordentliga rutiner och ansvarsfördelning för utrymning skall införas. Detta gäller framförallt ishallen, där funktionärerna i speakerbåset skall vara införstådda med vad som behöver göras för att bidra till en effektiv utrymning.
- Läktargångarnas inre skall kläs in med 13 mm gipsskivor på ett sådant sätt att inget oskyddat trä exponeras.
- Ishallens innerväggar och bärverkspelare i stål skall brandskyddsbehandlas genom gipsinklädning, brandskyddsmålning eller annan motsvarande åtgärd upp till en fix höjd om 2 meter över vistelsenivå för att förhindra anlagd brand.
- Ett seriekopplat system för detektion och larmgivning skall installeras i samtliga brandceller i servicedelen. Detta larm skall utformas på sådant sätt att det ljuder i hela byggnaden vid aktivering.
- Larmknappar för manuell aktivering av larmet skall installeras i speakerbåset och på strategiskt utvalda platser i ishallen i händelse av obemannat speakerbås.
- Dörrar mellan brandceller skall förses med skyltar som meddelar att dessa skall hållas stängda.
- Samtliga dörrar som kan användas som utrymningsvägar skall ha godkända nödöppningsbeslag.
- Samtliga dörrar i brandcell 2 skall förses med dörrstängare.

- Skylt som anger det maximalt tillåtna antalet personer i ishallen skall finnas i anslutning till publikentrén.
- Handikappsparkeringen utanför brandcell 1 skall flyttas så att den inte blockerar utrymningsvägen.
- Ammoniakanteringen skall ske på ett säkert sätt som förhindrar och förebygger utsläpp. Ett larm ska ljuda i hela byggnaden vid ett eventuellt utsläpp.

#### Åtgärder som *bör* genomföras

- Fler handbrandsläckare bör placeras ut både i servicedelen och i ishallen.
- Ett system för detektion och larmgivning bör installeras i läktargångarna.
- Brandbelastningen bör minskas i utrymmen som inte är rena förrådsutrymmen.
- Samtliga utrymningsskyltar på anläggningen bör ses över så att dessa är utformade och placerade enligt AFS 2010:13.

## Förord

Författarna till denna rapport vill tacka de personer som varit till hjälp och stöd under arbetets gång.

Robert Jönsson	Handledare, Brandteknik och Riskhantering, LTH
Håkan Frantzich	Universitetslektor, Brandteknik och Riskhantering, LTH
Daniel Nilsson	Biträdande universitetslektor, Brandteknik och Riskhantering, LTH
Jonatan Wahlqvist	Doktorand, Brandteknik och Riskhantering, LTH
Berit Andersson	Universitetslektor, Brandteknik och Riskhantering, LTH
Lars Jensen	Professor, Installationsteknik, LTH
Teresia Gustafsson	Brandingenjör, civilingenjör i riskhantering och kontaktperson, Jämtlands Räddningstjänstförbund
Erik Åkerblom	Teknisk förvaltare, Bräcke kommun
Camilla Nenzén	Kanslist, Bräcke ishall
Lars Strömbäck	Kyltekniker, Östersund



## Nomenklatur

$A$  = golvarea i rum som rökfylls [ $\text{m}^2$ ]

$A_0$  = öppningsarea [ $\text{m}^2$ ]

$c_p$  = specifik värmekapacitet [ $\text{kJ/kgK}$ ]

$g$  = gravitationskonstant [ $\text{m/s}^2$ ]

$H$  = höjd till tak [m]

$H_0$  = dörröppningens höjd [m]

$k$  = termisk konduktivitet [ $\text{W/mK}$ ]

$n$  = tillväxtexponent [-]

$\dot{Q}$  = effekt [kW]

$\dot{Q}_{max}$  = brandens maximala effekt [kW]

$S$  = kvot mellan längd och höjd vid strålningsberäkningar [-]

$T$  = temperatur [K]

$t$  = tid [s]

$t_1$  = tid till maxeffekt [s]

$t_{förberedelse}$  = förberedelsetid [s]

$t_{förflyttning}$  = förflyttningstid [s]

$t_g$  = tid till brandens maximala effekt

$t_{max}$  = maximal brinntid vid maxeffekt [s]

$t_{tillgänglig}$  = tid till dess att kritiska förhållanden uppstår [s]

$t_{utrymning}$  = total tid för utrymning [s]

$t_{varse}$  = varseblivningstid [s]

$V$  = rumsvolymen [ $\text{m}^3$ ]

$z$  = brandgaslagrets höjd [m]

$\alpha$  = tillväxtfaktor [ $\text{kW/s}^2$ ]

$\Delta H_{eff, wood}$  = effektiv förbränningsvärme för trä [ $\text{MJ/kg}$ ]

$\varepsilon$  = emissivitet [-]

$\rho$  = densitet [ $\text{kg/m}^3$ ]

$\sigma$  = Stefan-Boltzmanns Konstant [ $\text{W/m}^2\text{K}^4$ ]

$\emptyset$  = synfaktor [-]

$\psi$  = kvot mellan area och kvadratiska avståndet vid strålningsberäkningar [-]

## Innehållsförteckning

1 Inledning.....	1
1.1 Syfte.....	1
1.2 Mål.....	1
1.3 Metod.....	1
1.4 Avgränsningar.....	2
1.5 Begränsningar.....	2
2 Objektsbeskrivning.....	3
2.1 Brandcellsindelning.....	4
2.1.1 Brandcell 1: Kiosk, servering och café.....	5
2.1.2 Brandcell 2: Omklädningsrum, sekretariat, förråd och tvättstuga.....	6
2.1.3 Brandcell 3: Ismaskinsrum, frysmaskinsrum och elcentral.....	7
2.1.4 Brandcell 4: Ishall.....	8
2.2 Ventilationssystemet.....	9
2.2.1 Brandcell 1: Kiosk, servering och café.....	9
2.2.2 Brandcell 2: Omklädningsrum, sekretariat, förråd och tvättstuga.....	9
2.2.3 Brandcell 3: Ismaskinsrum, frysmaskinsrum och elcentral.....	10
2.2.4 Brandcell 4: Ishall.....	11
2.2.5 Data för aggregaten.....	11
2.2.6 Ventilationen med avseende på brandgasspridning.....	11
3 Verksamhetsbeskrivning.....	12
3.1 Brandcell 1: Kiosk, servering och café.....	12
3.2 Brandcell 2: Omklädningsrum, sekretariat, förråd och tvättstuga.....	13
3.3 Brandcell 3: Ismaskinsrum, frysmaskinsrum och elcentral.....	13
3.4 Brandcell 4: Ishall.....	13
4 Tidigare incidenter.....	14
4.1 Försök till anlagd brand.....	14
4.2 Ammoniakutsläpp.....	15
4.3 Anlagd brand på liknande anläggning.....	15
5 Befintligt brandskydd.....	16
5.1 Passiva system.....	16
5.1.1 Brandcellsavskiljande väggar.....	16
5.1.2 Läktargång.....	16
5.2 Släckutrustning.....	16

5.3 Systematiskt brandskyddsarbete (SBA).....	16
5.4 Räddningstjänsten.....	17
6 Utrymning.....	18
6.1 Allmänt om utrymning .....	18
6.2 Utrymningsdimensionering.....	18
6.2.1 Gångavstånd till en utrymningsväg.....	18
6.2.2 Passagemått i utrymningsväg.....	19
6.2.3 Vägledande markering .....	19
6.2.4 Nödbelysning.....	19
6.2.5 Nödöppningsbeslag .....	20
6.2.6 Särskilda förutsättningar, samlingslokal.....	20
6.2.7 Kritiska förhållanden .....	21
6.2.8 Tid för utrymning.....	21
6.3 Förenklad dimensionering.....	23
7 Observerade brister.....	24
7.1 Bristande rutiner .....	24
7.2 Inget system för detektion .....	24
7.3 Dörrar och utrymningsvägar .....	24
7.4 Vägledande markeringar .....	25
7.5 Förråd .....	26
7.6 Tändskyddande beklädnad.....	26
7.7 Brandcellsgränser .....	26
7.8 Aktiva system.....	26
8 Brandscenarier .....	27
8.1 Riskidentifiering av brandscenarier.....	27
8.1.1 What if-analys.....	27
8.1.2 Skattning av sannolikhet och konsekvens för brandscenarier .....	27
8.2 Brandscenario 1 - Brand i köksutrymmet.....	28
8.3 Brandscenario 2 - Brand i torkrum .....	28
8.4 Brandscenario 3 - Brand i omklädningsrum .....	28
8.5 Brandscenario 4 - Brand i ventilationsutrymme .....	28
8.6 Brandscenario 5 - Brand i elcentral .....	29
8.7 Brandscenario 6 - Brand i ismaskin .....	29
8.8 Brandscenario 7 - Brand i kiosk .....	30

8.9 Brandscenario 8 - Brand under läktare .....	30
8.10 Olycksscenario, ammoniakutsläpp i frysmaskinrummet. ....	30
8.11 Riskmatris .....	31
9 Brandscenario 2- Brand i torkrum .....	32
9.1 Beskrivning .....	32
9.2 Brandförlopp .....	33
9.3 Effektutveckling .....	33
9.4 Syrekontroll .....	34
9.5 Sammanfattning brandscenario torkrum .....	34
10 Brandscenario 4 – Brand i ventilationsutrymmet .....	35
10.1 Beskrivning .....	35
10.2 Brandförlopp .....	36
10.3 Effektutveckling .....	36
10.4 Syrekontroll .....	37
10.5 Tid till kritiska förhållanden .....	38
10.5.1 Brandgaslagrets höjd .....	38
10.5.2 Toxicitet .....	39
10.5.3 Temperatur .....	39
10.5.4 Sikt .....	39
10.5.5 Strålning .....	39
10.5.6 Sammanfattning kritiska förhållanden brandcell 2 .....	39
10.6 Utrymning .....	40
10.6.1 Förlopp .....	40
10.6.2 Varseblivningstid .....	40
10.6.3 Förberedelsestid .....	40
10.6.4 Förflyttningstid .....	41
10.6.5 Total tid för utrymning .....	42
10.7 Resultat utrymningssäkerhet, innan åtgärder .....	43
10.8 Åtgärdsförslag .....	44
10.9 Validering av åtgärder .....	44
10.9.1 Tid till kritiska förhållanden .....	44
10.9.2 Total tid för utrymning .....	45
10.9.3 Utrymningsmarginal vid delvis vidtagna åtgärder .....	46
10.10 Resultat utrymningssäkerhet efter åtgärder .....	47

11 Brandscenario 8 – Brand under läktare.....	48
11.1 Beskrivning .....	48
11.2 Brandförlopp .....	48
11.3 Effektutveckling.....	49
11.4 Tid till kritiska förhållanden.....	50
11.4.1 Brandgaslagrets höjd.....	51
11.4.2 Toxicitet .....	52
11.4.3 Temperatur.....	52
11.4.4 Sikt.....	53
11.4.5 Strålning.....	53
11.4.6 Sammanfattning kritiska förhållanden.....	53
11.5 Utrymning.....	54
11.5.1 Förlopp .....	54
11.5.2 Varseblivningstid .....	54
11.5.3 Förberedelsetid .....	56
11.5.4 Förflyttningstid .....	57
11.5.5 Total tid för utrymning .....	59
11.6 Resultat utrymningssäkerhet innan åtgärder.....	60
11.7 Åtgärdsförslag .....	62
11.8 Brandförlopp efter åtgärder.....	62
11.8.1 Effektutveckling efter åtgärder .....	62
11.9 Validering av åtgärder .....	63
11.9.1 Tid till kritiska förhållanden.....	63
11.9.2 Sammanfattning kritiska förhållanden.....	64
11.9.3 Total tid för utrymning .....	65
11.10 Resultat utrymningssäkerhet efter åtgärder.....	66
12 Åtgärdsförslag .....	68
12.1 Skall.....	68
12.1.1 Ammoniakantering.....	69
12.2 Bör .....	69
13 Osäkerhetsanalys .....	70
14 Diskussion.....	71
Litteraturförteckning .....	73
Bilaga A – Tillsynsprotokoll.....	75

Bilaga B – Checklistor och istider.....	77
Bilaga C – Olycksscenario ammoniak .....	80
Bilaga D – Effektkurvor från National Research Council .....	87
Bilaga E – $\alpha^2$ -kurvor .....	90
Bilaga F - Beräkning av $\alpha$ -värde .....	91
Bilaga G – Syreberäkningar.....	95
Bilaga H – Analysmetod, datorprogram .....	99
Bilaga I – Vald indata för FDS-simuleringar .....	103
Bilaga J – Känslighetsanalys FDS.....	104
Bilaga K – Simulex.....	108
Bilaga L – Strålningsberäkningar .....	111
Bilaga M - Brandgaslagrets höjd.....	115
Bilaga N – FDS resultat .....	117
Bilaga O - Detektion teori .....	131
Bilaga P – Bärverk.....	134
Bilaga Q – Indata till FDS .....	136
Bilaga R – Artikel rörande läktarbrand i Vänersborg.....	148
Bilaga S – Skärmdumpar från FDS .....	149



## 1 Inledning

*Detta kapitel beskriver rapportens syfte, mål, metod, avgränsningar och begränsningar.*

Denna rapport utgör huvuddelen i kursen Brandteknisk Riskvärdering (VBR054) vid Lunds tekniska högskola, vårterminen 2011. Kursen ges det tredje året på brandingenjörsprogrammet. Arbetet med rapporten utförs av fyra studenter. Till hjälp som råd och stöd finns en handledare från avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, kontaktpersoner på objektet samt en representant från Jämtlands Räddningstjänstförbund.

### 1.1 Syfte

Syftet med rapporten är att väva samman och använda de kunskaper som erhållits under kursen samt under tidigare kurser i utbildningen. Dessa kunskaper används för att utvärdera personsäkerheten på ett av avdelningen tilldelat objekt med avseende på utrymning vid händelse av brand. Objektet som behandlas i denna rapport är Bräcke ishall.

### 1.2 Mål

Målet är att genom flera olika simuleringar, beräkningar och analyser avgöra om utrymning av Bräcke ishall kan ske på ett tillfredställande sätt. Då räddningstjänsten beslutat att brandskyddet i dagsläget inte är skäligen har det maximala antalet personer i lokalen begränsats till 150. Målet är således att ge förslag på åtgärder rörande brandskyddet som höjer personsäkerheten med avseende på utrymning vid brand så mycket att byggnaden tillåts inrymma 500 personer vid hockeyverksamhet istället för de 150 som är situationen idag.

### 1.3 Metod

Arbetet inleds med att studera ritningar och tidigare brandsyns- tillsynsprotokoll från räddningstjänsten över objektet för att få en uppfattning om hur objektet och det befintliga brandskyddet ser ut. Ett platsbesök har gjorts den 7/2 – 2011 tillsammans med handledaren, representant från räddningstjänsten samt representanter från Bräcke kommun. Vid besöket studerades objektet under en rundtur med handledare och representanter. Efter rundturen gavs författarna till denna rapport möjlighet att självständigt dokumentera och kontrollera det befintliga brandskyddet, nödutgångar, utrymningsvägar och andra detaljer av intresse.

Utifrån platsbesök och diskussioner inom gruppen identifieras möjliga brandscenarier och genom att skatta sannolikhet och konsekvens för scenarierna väljs de tre scenarier med högst kombination av sannolikhet och konsekvens ut.

Arbetet framskrider sedan med handberäkningar, datorsimuleringar och analyser för de tre scenarierna samt utrymningen. Tiden till kritiska förhållanden jämförs sedan med den tid det tar att utrymma byggnaden. Resultaten används för att bedöma om en tillfredställande utrymning kan äga rum eller ej. Utifrån denna bedömning tas ett flertal åtgärdsförslag fram. Dessa åtgärder syftar till att öka person- och brandsäkerheten så att de personer som befinner sig i byggnaden, vid händelse av brand, skall kunna utrymma innan de utsätts för kritiska förhållanden. Åtgärdsförslagen valideras med hjälp av nya simuleringar och analyser för att se om de uppfyller kraven för säker utrymning. Rapporten avslutas med en osäkerhetsanalys samt en diskussion kring resultaten.



Rapporten har efter sitt färdigställande givits synpunkter på av handledare, representanter från räddningstjänsten samt brandingenjörer från ett konsultföretag.

#### **1.4 Avgränsningar**

Rapporten syftar till att enbart utvärdera personsäkerheten med avseende på utrymning vid brand varpå ingen hänsyn tas till skador på egendom och miljö. Rapporten behandlar ej brandspridning utan enbart brandgasspridning och tiden efter det att alla personer utrymt byggnaden beaktas ej.

#### **1.5 Begränsningar**

Tiden för projektet är en begränsning och innebär att endast en begränsad mängd simuleringar har kunnat genomföras på grund av att dessa ofta är mycket tidskrävande.

De datorprogram och en del av de beräkningsekvationer som används i rapporten har en mängd inbyggda begränsningar i förmågan att återge verkligheten. Dessa begränsningar tas upp mer utförligt senare i rapporten, se *kapitel 13* och *bilaga H*.

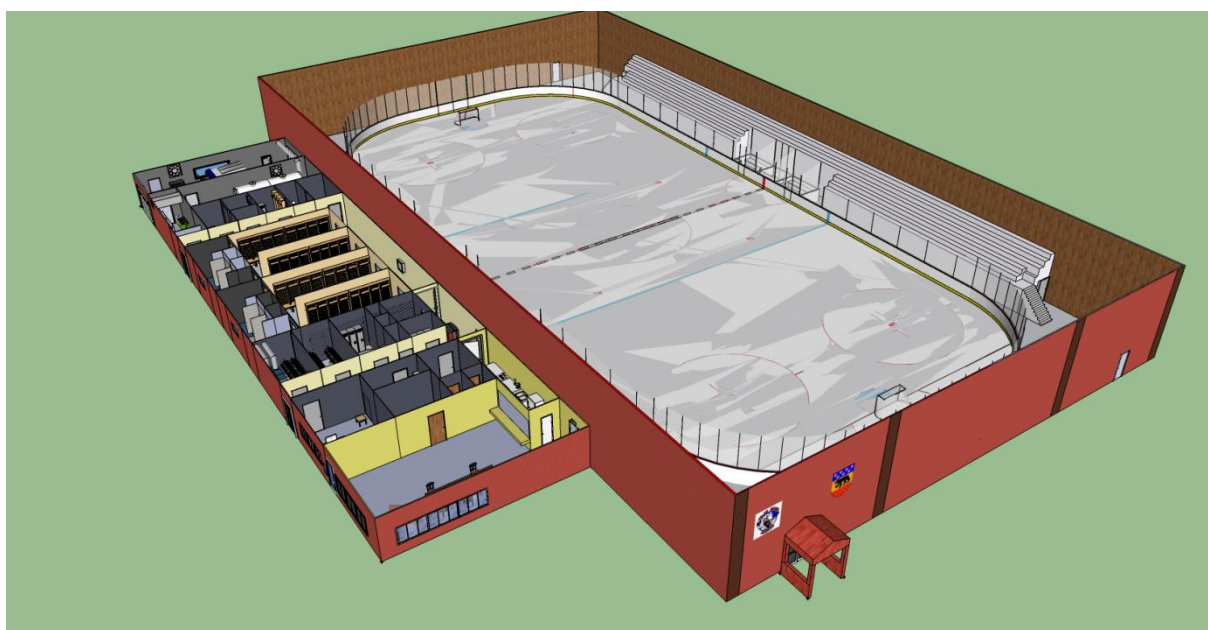
## 2 Objektsbeskrivning

I detta kapitel presenteras en beskrivning av objektet, Bräcke ishall.

Byggnaden, se figur 2.1 består av en ishall som inrymmer läktare och rink samt en servicedel som inrymmer utrymmen i form av ismaskinsrum, frysanläggning, elcentral, ventilationscentral, omklädningsrum, tvättstuga, verkstad, förråd, sekretariat och café. Anläggningen har en golvarea om 2340 m<sup>2</sup>. En översiktsbild av insidan ges i figur 2.2.



Figur 2.1 – Bräcke ishall.

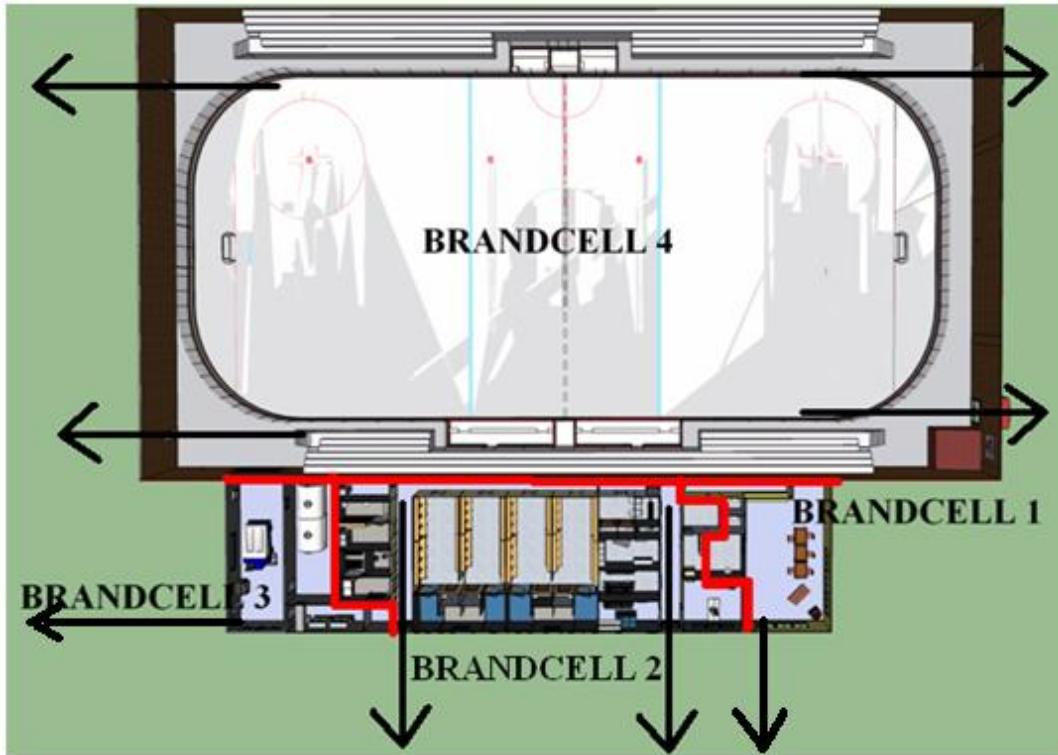


Figur 2.2 – Översiktsbild av Bräcke ishall i genomskärning.

Anläggningen ägs idag av Bräcke kommun och drivs av ishockeyklubben Bräcke IK Polar Bears. Byggnaden var tidigare placerad i Göteborgsområdet men monterades ner 1996 och flyttades upp till Bräcke. Hallen har sedan kompletterats byggnadstekniskt på plats i Bräcke. Dessa arbeten har till stor del utförts på ideell basis, med den följd att det rått osäkerhet kring bland annat ansvarsfördelning. Detta har inneburit att det inte funnits någon uttalat ansvarig för brandskyddet på anläggningen i samband med kompletteringsarbetena.

## 2.1 Brandcellsindelning

I detta avsnitt ges en beskrivning av den brandcellsindelning som idag finns på anläggningen. En översiktsbild ges i *figur 2.3*.



Figur 2.3 – En översiktsbild av brandcellsindelningen på Bräcke ishall.

De brandcellsavskiljande väggarna är EI-30-klassade. Detta innebär att brandcellen skall motstå en brand under trettio minuter med avseende på integritet och isolerande förmåga (Boverket, 2008)

Dörrarna som förbinder brandcellerna med varandra är utförda i lägst samma klass som de brandcellsavskiljande väggarna och är även försedda med mekanisk självstängning, se *figur 2.4*.



Figur 2.4 – Mekanisk dörrstängare.

### 2.1.1 Brandcell 1: Kiosk, servering och café

I servicedelen finns det ett kök och en serveringslokal som tillsammans utgör en brandcell. I brandcellen finns möblemang i form av en stor hörnsoffa samt flera bord och stolar. Längs väggarna står det flera vitrinskåp och det finns matchtröjor och vimplor upphängda på väggarna, se *figur 2.5*. I köksdelen finns kylskåp, spis, kaffekokare och en varmhållningsplatta, se *figur 2.6*.

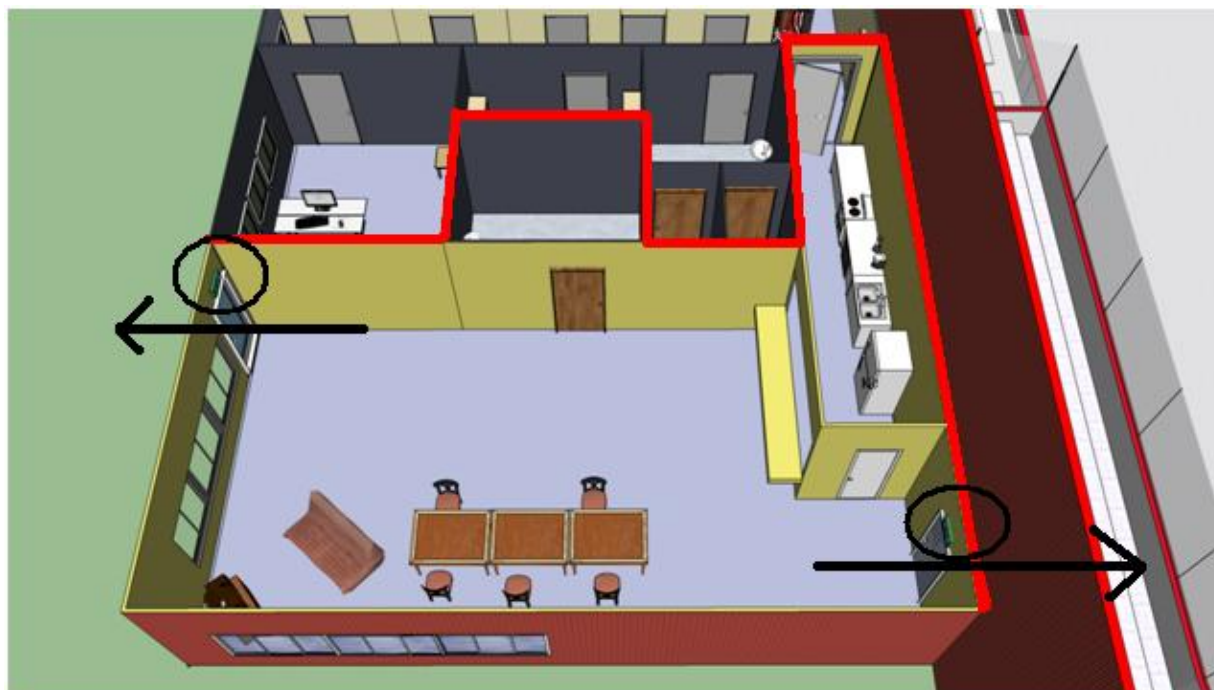


Figur 2.5 – Innervägg i brandcell 1.



Figur 2.6 – Köksdelen i brandcell 1.

Brandcellens innerväggar består av träregelväggar med målade gipsskivor. I caféet finns en dörr som ansluter till ishallen med bredden 1 meter och en dörr som leder direkt ut till det fria med bredden



Figur 2.7 – Brandcell 1 översiktligt. Utrymningsvägar är markerade med pilar och utrymnings skyltar med ovaler.

0,85 meter. Brandcellen visas översiktligt i *figur 2.7*.

### 2.1.2 Brandcell 2: Omklädningsrum, sekretariat, förråd och tvättstuga

Den största brandcellen i servicedelen består av flera omklädningsrum, förrådsutrymmen, sekretariat, tvättstuga och ett flertal toaletter. Alla rummen leder ut i en och samma korridor som löper genom hela brandcellen, se *figur 2.8*. I ändarna av korridoren finns dörrar som leder ut till det fria, båda med bredden 0,9 meter, se *figur 2.9*.

Brandcellens innerväggar består av träregelväggar med gipsskivor. I omklädningsrummen är de klädda med en fuktskyddande gummitatta. I övriga delar av brandcellen är de målade. De brandcellsavskiljande väggarna är EI-30-klassade.



Figur 2.9 – Dörr till det fria.



Figur 2.8 - Brandcell 2 översiktligt. Utrymningsvägar är markerade med pilar och utrymnings skyltar med ovaler.

### 2.1.3 Brandcell 3: Ismaskinsrum, frysmaskinsrum och elcentral

Utrymmet där ismaskinen och frysanläggningen finns utgör en egen brandcell. I brandcellen finns även en elcentral samt ett rum för skridskoslipning, se *figur 2.10*.

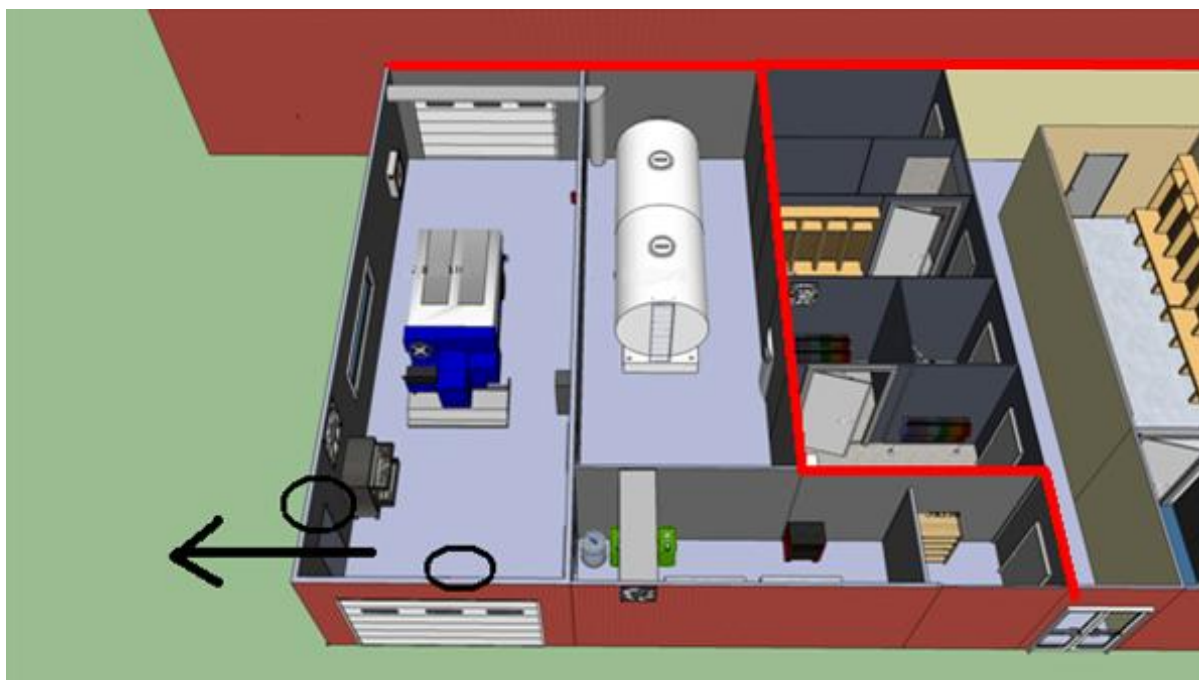
Köldmediet i frysanläggningen är ammoniak och den totala mängden uppgår till 45 kg.

Ismaskinen drivs elektriskt med hjälp av batterier och i ismaskinsrummet finns en laddningsstation för laddning av dessa batterier.

I ismaskinsrummet finns det både en port och en dörr med bredden 0,7 meter direkt ut till det fria i den bakre delen av lokalen. Det går även att komma in i ishallen via den port som ismaskinen passerar för att komma in till rinkens.

Elcentralen används som förråd och har tidigare fungerat som en passage mellan denna brandcell och brandcell 2. Numera finns ingen möjlighet att använda elcentralen som en passage då det har byggts en mellanvägg i utrymmet. På andra sidan väggen finns ett rum för skridskoslipning som enbart kan nås från brandcell 2.

Brandcellens innerväggar består av träregelväggar med målade gipsskivor. De brandcellsavskiljande väggarna är EI-30-klassade.



Figur 2.10 - Brandcell 3 översiktligt. Utrymningsvägar är markerade med pilar och utrymnings skyltar med ovaler.

#### 2.1.4 Brandcell 4: Ishall

Den största brandcellen i byggnaden utgörs av ishallen. Rinken kantas av två läktare som vardera rymmer 200 sittande personer. Läktarna är placerade längs rinkens långsidor och under läktarna finns utrymmen i form av korridorliknande gångar med bredden 1,2 meter och den fria höjden 2 meter, se *figur 2.11*. Den läktargång som ligger närmst servicedelen förbinder denna med ishallen. I denna läktargång finns det ett litet rum som är låst från båda sidor, se *figur 2.12*. Det är okänt vad som finns i rummet då personalen på anläggningen saknar både kännedom om och nyckel till utrymmet. Gången genom läktaren på motstående sida löper hela vägen från kortsida till kortsida.

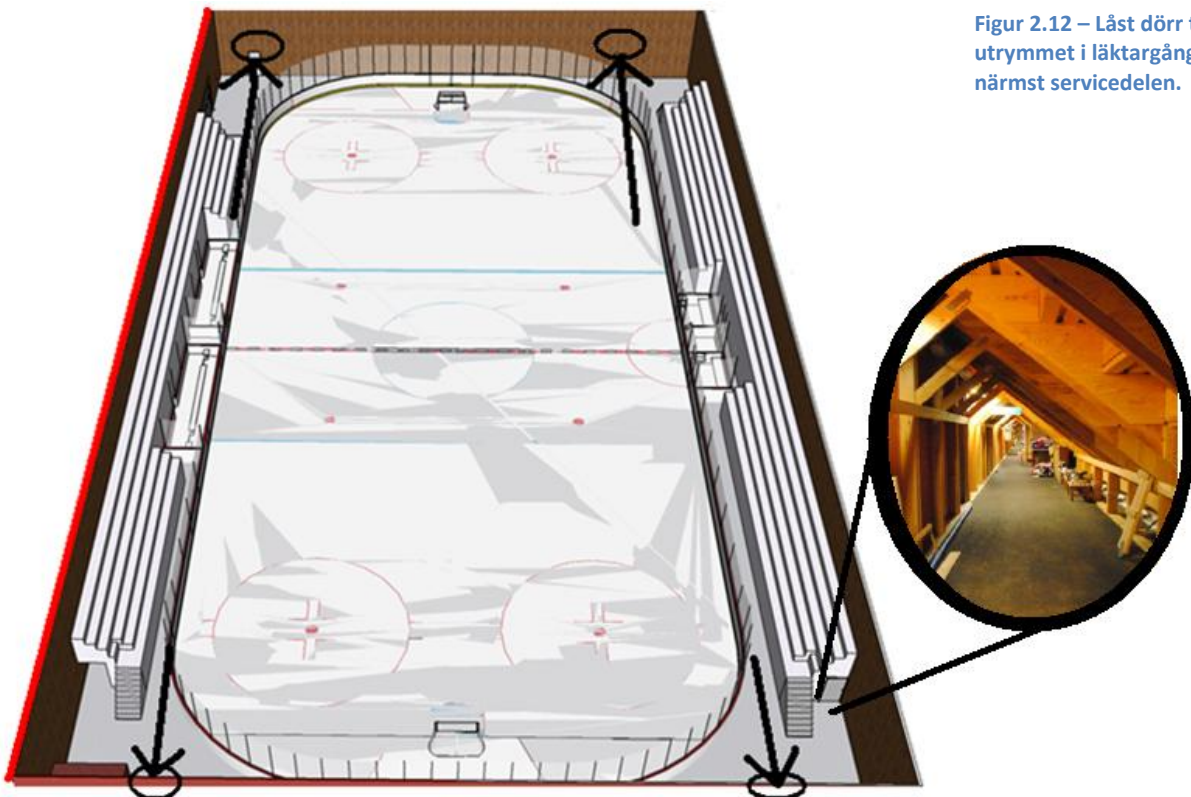
Läktarna består av målat trä och mäter 3,8 meter över golvet på högsta stället. De trappor som leder upp till läktarna finns placerade längst läktarnas kortsidor enligt *figur 2.11* med bredden 1,2 meter och längden 1,9 meter.

Från ishallen finns det fyra dörrar som leder ut till det fria, två på varje kortsida. De två dörrarna i den övre delen av *figur 2.11* har båda bredden 0,8 meter. De två dörrarna i den nedre delen av samma figur har bredderna 2 meter (vänster) respektive 1 meter. Det finns även tre dörrar som leder in till servicedelen och en port som förbinder ishallen med ismaskinsrummet.

Ishallens innerväggar är klädda med en obehandlad träpanel. Ett stålbärverk håller upp taket, se *figur 2.13*. Runt rinken är marken asfalterad.



Figur 2.12 – Låst dörr till utrymmet i läktargången närmst servicedelen.



Figur 2.11 - Brandcell 4 översiktligt. Utrymningsvägar är markerade med pilar och utrymnings skyltar med ovaler.



Figur 2.13 – Ishallens stålbärverk och innerväggar i obehandlat trä.

## 2.2 Ventilationssystemet

I servicedelen finns totalt två ventilationsaggregat av typen FTX-system. FT-system innebär att det är ett system som ombesörjer både från- och tilluft och luften byts på så sätt ut mekaniskt i anläggningen. Tillägget -X innebär att systemet är utrustat med en värmeväxlare. Det är endast brandcell 1 och 2 som ventileras med dessa system och detta görs separat med varsitt aggregat. Ventilationssystemets olika delar och flöden finns sammanfattade i *tabell 2.1*. Det är oklart om det i dagsläget finns några rutiner för obligatorisk ventilationskontroll på anläggningen.

### 2.2.1 Brandcell 1: Kiosk, servering och café

Aggregatet som byter ut luften i denna brandcell finns placerat i anslutning till caféet och är av typen värmeåtervinnande aggregat. Detta betyder att värmen i frånluften överförs via en värmeväxlare till tilluften. Brandcellen som skall ventileras är byggnadens minsta med en yta på ungefär 150 m<sup>2</sup>.

### 2.2.2 Brandcell 2: Omklädningsrum, sekretariat, förråd och tvättstuga

Aggregatet i brandcell 2 är placerat i ett förrådsutrymme, se *figur 2.14*. Även detta aggregat är värmeåtervinnande. Systemet ventilerar en yta på ungefär 350 m<sup>2</sup> och är således det större av de två systemen. Det kräver därför ett större aggregat än systemet i brandcell 1.



Figur 2.14 – Ventilationsaggregatet i brandcell 2.



### 2.2.3 Brandcell 3: Ismaskinsrum, frysmaskinsrum och elcentral

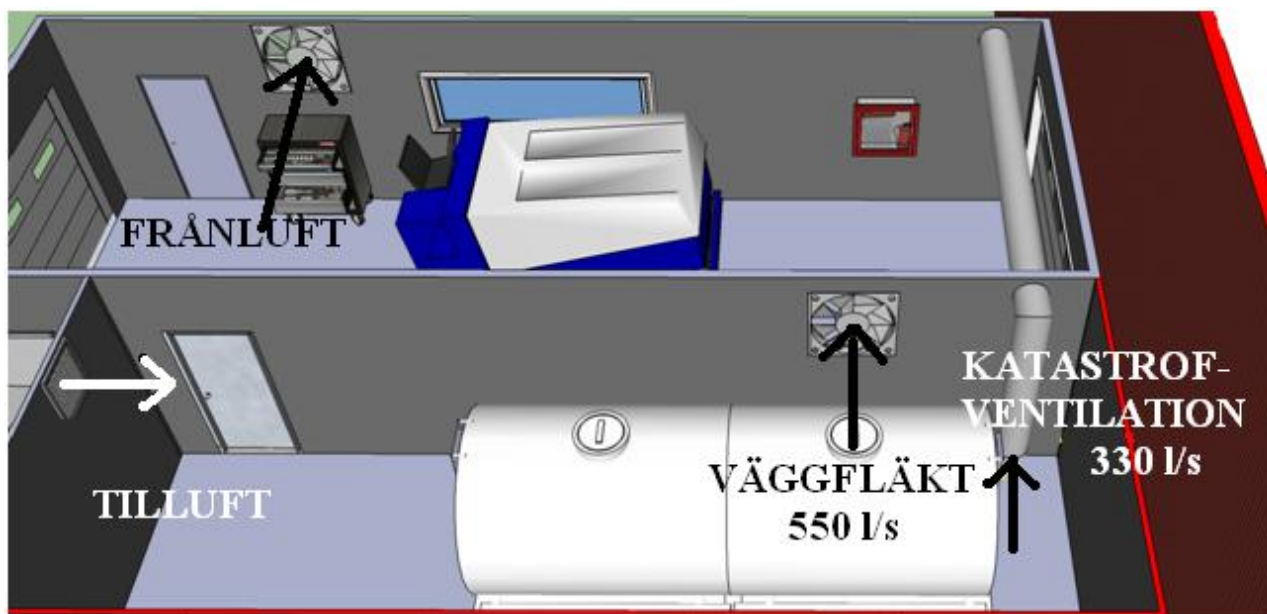
Det finns inget fullständigt ventilationssystem i denna brandcell. Det finns dock en väggfläkt som förbinder frysmaskinsrummet med ismaskinsrummet, se *figur 2.15*. Fläkten finns där för att förhindra att det blir för varmt i frysmaskinsrummet. När temperaturen överstiger 25 °C i frysmaskinsrummet, startar fläkten och suger ut den varma luften till ismaskinsrummet. Samtidigt öppnar ett spjäll i en yttervägg i vardera rum. Då det nu råder undertryck i frysmaskinsrummet och övertryck i ismaskinsrummet kommer frisk luft att ta sig in via spjället till frysmaskinsrummet och transporteras enligt pilarna i *figur 2.15*.

#### 2.2.3.1 Ammoniakventilation

I aggregatet i frysmaskinsrummet i brandcell 3 förvaras 45 kg flytande ammoniak för kylning av ishallen. Det finns en katastrofventilation installerad som åtgärd mot ett eventuellt ammoniakutsläpp. Principen är att luften i rummet sugas ut via en speciell kanal som löper ut i det fria samtidigt som ett spjäll i ytterväggen öppnar för att omsätta luften i rummet. Systemet är tänkt att starta via en givare som känner av halten ammoniak i luften, se *figur 2.16*. Kanalens öppning finns placerad 50 cm över golvet i frysmaskinsrummet.



Figur 2.16 – Ammoniakgivaren i frysmaskinsrummet.



Figur 2.15 – Ventilationsöversikt i brandcell 3.

#### 2.2.4 Brandcell 4: Ishall

Ishallen saknar helt ventilationsinstallationer och ventileras genom självdrag via otätheter.

#### 2.2.5 Data för aggregaten

Tabell 2.1 – Data för ventilationsaggregaten i de olika brancellerna.

Brandcell	Typ	Placering	Flöde [l/s]
1	Värmeåtervinningsaggregat	Café	100
2	Värmeåtervinningsaggregat	Förrådsutrymme	600
3	Väggfläkt	Frysmaskinrum/ismaskinrum	550
3	Katastrofventilation	Frysmaskinrum	330

#### 2.2.6 Ventilationen med avseende på brandgasspridning

Inget av systemen löper genom någon brandcellsgräns. Detta innebär att det inte finns någon risk för brandgasspridning mellan brandcellerna via ventilationen. Ventilationssystemet stängs inte av automatiskt i händelse av brand.

### 3 Verksamhetsbeskrivning

*I detta kapitel beskrivs den verksamhet som bedrivs i de olika delarna av objektet.*

Det befinner sig flest personer på anläggningen under A-lagsmatcher och turneringar. A-laget Bräcke IK Polar Bears har under säsongen 2010/2011 ingen tävlingsverksamhet på A-lagsnivå men planerar att återuppta denna under säsongen som startar hösten 2011. Det maximala antalet personer på anläggningen uppskattas med fullsatta läktare och tillhörande kringverksamhet uppgå till 500 personer vid en sådan tillställning.

Ishallen nyttjas i dagsläget mest av skolor, allmänheten och ishockeyklubbens ungdomsverksamhet. Ishallen är öppen varje dag. Under förmiddagar är det främst skolorna i omgivningen som använder utrymmena, se figur 3.1. Under eftermiddagar är det fri åkning, vilket innebär att allmänheten har tillträde till ishallen. Kvällstid är det ishockeylagen som tränar. Istiderna redovisas i *bilaga B*.



Figur 3.1 – Verksamheten i ishallen vid platsbesöket.

Det är ovan nämnda verksamhet som avses när det i rapporten refereras till "den dagliga verksamheten". Det maximala antalet personer på anläggningen uppskattas då uppgå till 100 personer.

Det finns totalt tre anställda på anläggningen, två vaktmästare på heltid och en deltidsanställd kanslist.

#### 3.1 Brandcell 1: Kiosk, servering och café

Under ishockeymatcher används utrymmet för tillagning och försäljning av tilltugg och dryck. Under den dagliga verksamheten används köket av vaktmästarna för tillagning av lunch och kaffekokning.

### 3.2 Brandcell 2: Omklädningsrum, sekretariat, förråd och tvättstuga

I sekretariatet arbetar en kanslist, se *figur 3.2*. Denna person är deltidsanställd och finns på plats fyra dagar i veckan mellan kl 08:00 och 13:00. I omklädningsrummen rör sig främst ungdomar under största delen av dagen för att byta om inför och efter skridskoåkning.

I brandcellen rör sig mestadels folk som hör till verksamheten så som spelare, ledare och administrativ personal. Korridoren var vid besökstillfället fri från material frånsett en läskautomat och ett arkivskåp.



Figur 3.2 – Sekretariatet i brandcell 2.

### 3.3 Brandcell 3: Ismaskinsrum, frysmaskinsrum och elcentral

Det är endast vaktmästarna som antas röra sig i den här brandcellen. Inga andra personer förväntas ha någonting här att göra vare sig under matcher eller den dagliga verksamheten.

### 3.4 Brandcell 4: Ishall

Det är under A-lagsmatcherna som det befinner sig som mest folk i ishallen. Då räddningstjänsten beslutat att brandskyddet i dagsläget inte är skäligt har det maximala antalet personer i lokalen begränsats till 150. Byggnaden har tidigare nyttjats som utställningshall vid mässor, men avsikten är att byggnaden enbart skall användas för ishockeyverksamhet i framtiden.

## 4 Tidigare incidenter

I detta kapitel beskrivs några incidenter som tidigare inträffat, både på Bräcke ishall och på andra ishallar.

Det finns ingen skriftlig historik tillgänglig över tidigare incidenter som inträffat på anläggningen. Vid besökstillfället framgick det emellertid efter samtal med personalen<sup>1</sup> att det inträffat två händelser som är intressanta att ta upp i denna rapport.

### 4.1 Försök till anlagd brand

För ungefär tre år sedan tog sig ett gäng ungdomar in i ishallen på kvällen efter stängning genom att ställa upp en nödutgång. Detta visar på bristande rutiner i samband med stängning av anläggningen. Ungdomarna tog sig in i ishallen och ägnade sig bland annat åt att spela bordtennis. När de spelat färdigt lade de racketen i varmhållningskärlet i kiosken, se *figur 4.1*, och satte igång detta innan de lämnade ishallen. A-laget kom tillbaka till Bräcke kring midnatt efter en bortamatch och upptäckte då en kraftig rökutveckling i ishallen. Att detta upptäcktes i tid är inget annat än ett lyckligt sammanträffande då ingen utrustning för detektion finns på anläggningen.



Figur 4.1 – Varmhållningskärlet i kiosken i ishallen.

---

<sup>1</sup> Kanslist Camilla Nenzén, Bräcke ishall. Platsbesök 2011-02-07

## 4.2 Ammoniakutsläpp

Under sensommaren 2010 inträffade ett ammoniakläckage i frysmaskinsrummet. Under denna tid pågick ingen hockeyverksamhet på anläggningen och ventilationen var avstängd. Läckaget var litet och stod och pyste under ett par veckor innan det upptäcktes. En kyltekniker kontaktades och åtgärdade läckaget som berodde på slitna tätningar i kylsystemet. Utsläppet var så pass litet att teknikern kunde arbeta utan skyddsutrustning. Utsläppet kunde dock blivit betydligt mer omfattande då tanken vid tiden för läckaget innehöll ungefär 110 kg ammoniak som en följd av ett tidigare felaktigt handhavande<sup>2</sup>.

## 4.3 Anlagd brand på liknande anläggning

År 2008 inträffade en brand i en av träläktarna på Vänersborgs Isstadion, se *bilaga R*. Branden var anlagd av två pojkar i 18-årsåldern och trots att räddningstjänsten snabbt var på plats gick det inte att förhindra att det mesta av anläggningen brann ner till grunden. Detta är ett exempel på hur snabbt ett brandförlopp i en obehandlad träläktare kan utvecklas och leda till svåra konsekvenser. Händelsen påvisar även att anlagda bränder på sådana här typer av anläggningar förekommer.

---

<sup>2</sup> Kyltekniker Lars Strömbäck, Östersund. Telefonsamtal 2011-02-22

## 5 Befintligt brandskydd

I detta avsnitt beskrivs det befintliga brandskyddet som idag finns på Bräcke ishall.

I det tillgängliga materialet finns det en mängd brandsyns- och tillsynsprotokoll från räddningstjänsten, totalt sju stycken. I de tidiga protokollen som gjorts, se *bilaga A*, har ett flertal brister gällande brandskyddet påpekats. Bristerna har varit återkommande åtgärds punkter vid senare tillsyner vilket visar på att de föreslagna åtgärderna inte har vidtagits. En tänkbar förklaring kan vara att det aldrig funnits någon person på anläggningen som haft det övergripande ansvaret för brandskyddet. Detta innebär att det befintliga brandskyddet i dagsläget är i princip likadant som när ishallen uppfördes för 15 år sedan.

### 5.1 Passiva system

Ett passivt system är en byggnadsteknisk åtgärd som utförs för att förhindra bränders uppkomst och spridning.

#### 5.1.1 Brandcellsavskiljande väggar

Det passiva systemet på anläggningen utgörs av byggnadstekniska avskiljningar i form av brandcellsindelningar. Ishallen är totalt indelad i fyra brandceller som är utförda i klassen EI-30, se *figur 2.3*. Dörrarna som förbinder brandcellerna med varandra är utförda i lägst samma klass som de brandcellsavskiljande väggarna och är även försedda med mekanisk självstängning.

#### 5.1.2 Läktargång

Det finns tändskyddande beklädnad i form av gipsskivor i en liten del av den läktargång som vetter mot servicedelen, se *figur 5.1*.

### 5.2 Släckutrustning

Byggnaden är utrustad med totalt fem handbrandsläckare. I köket finns det en kolsyresläckare och inne vid rinken finns det två pulverläckare och en kolsyresläckare. En femte handbrandsläckare är placerad i ismaskinsrummet och är av typen kolsyresläckare. Det finns även två inomhusbrandposter i lokalen som är placerade utanför omklädningsrummen samt i ismaskinsrummet.



Figur 5.1 – Tändskyddande beklädnad i läktargång i form av gipsskivor.

### 5.3 Systematiskt brandskyddsarbete (SBA)

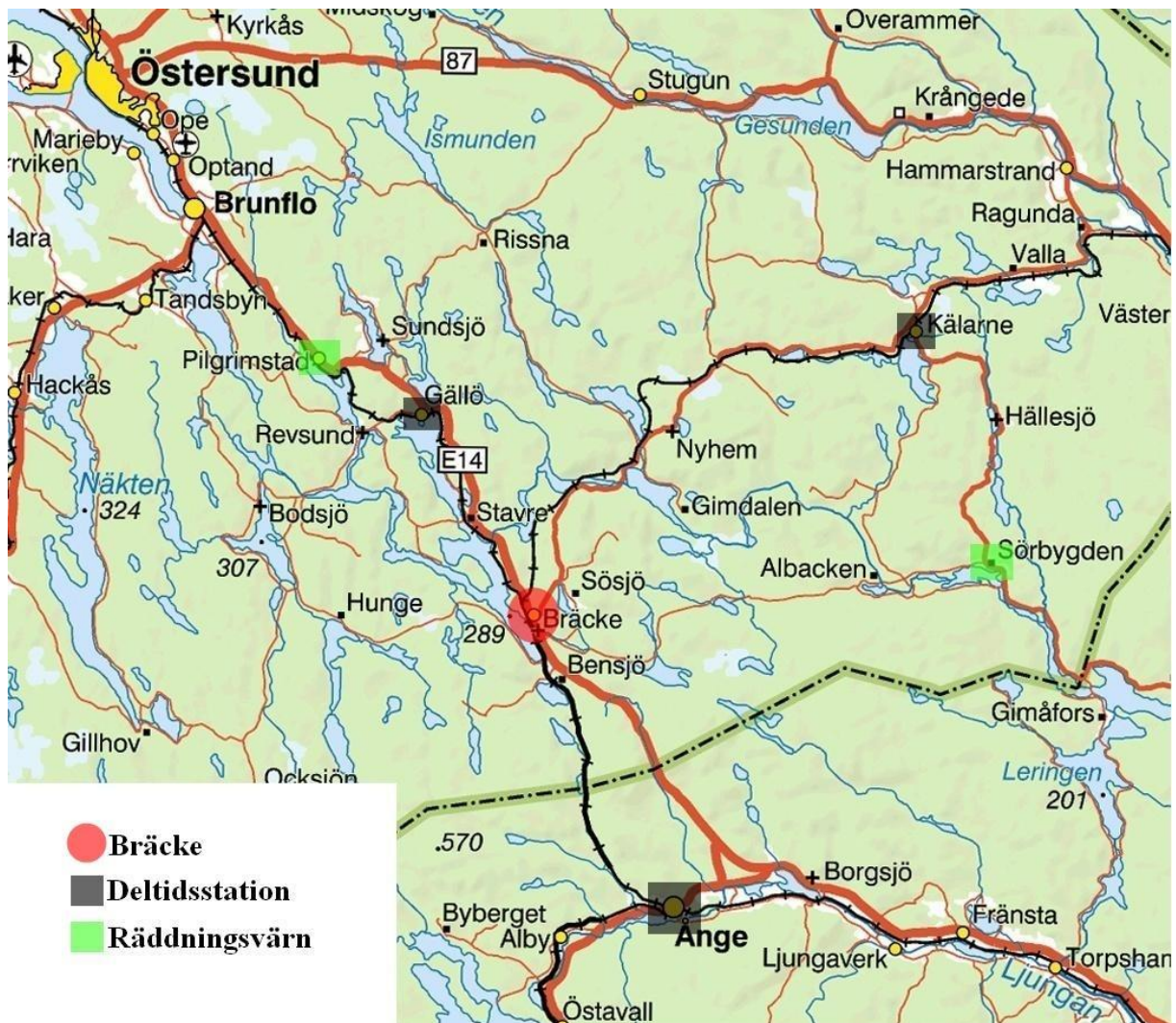
Ansvaret för det systematiska brandskyddsarbetet på anläggningen ligger i dagsläget hos kanslisten. Checklistor upprättade av ett oberoende konsultföretag ligger som underlag för brandskyddsarbetet,

se bilaga B. Detta är ett nytt inslag i den dagliga verksamheten och hade vid tiden för besöket endast varit i drift i en vecka.

#### 5.4 Räddningstjänsten

Det finns en deltidstation i Bräcke med en insatstid på cirka tio minuter.

Stationen i Östersund är närmsta heltidsstation. Stationen täcker in ett område motsvarande cirka 7,5 procent av Sveriges yta och insatstiden till Bräcke ligger på runt en timme<sup>3</sup>. Det långa avståndet gör att heltidsstationen inte är aktuell som förstärkning i första hand. Skulle förstärkning behövas är det snarare andra deltidstationer i området som är aktuella, exempelvis från Gällö, se figur 5.2.



Figur 5.2 – Karta över Bräcke med omnejd (Lantmäteriet, 2011).

<sup>3</sup> Brandingenjör Teresia Gustafsson, Jämtlands Räddningstjänstförbund. Platsbesök 2011-02-06



## 6 Utrymning

I detta kapitel beskrivs den teori som ligger till grund för de analyser av utrymningssäkerheten i Bräcke ishall som görs i denna rapport.

### 6.1 Allmänt om utrymning

Enligt Boverkets Byggregler (BBR) skall byggnader vara utformade så att de kan utrymmas tillfredställande vid händelse av brand (Boverket, 2008). Byggnadens utformning och den verksamhet som bedrivs i byggnaden avgör hur brandskyddet skall utformas.

Boverket har dessutom även gett ut en särskild skrift om utrymningsdimensionering (Boverket, 2006). I denna finns en mer detaljerad beskrivning av de utrymningskriterier som anges i BBR. I denna rapport används BBR och Boverkets skrift om utrymningsdimensionering som underlag för att studera huruvida detta uppfylls eller ej.

En utrymning kan ske på två sätt. Byggnaden kan utrymmas direkt till en så kallad säker plats i det fria eller till en säker flyktplats inom en byggnad. Utrymning till en säker flyktplats används endast i enstaka fall och utrymning direkt till det fria är att föredra (Boverket, 2008).

Utrymningsvägar skall vara tydligt markerade och lättillgängliga. Dörrar som används till utrymning måste även de vara tydligt markerade och lätta att öppna. Ett grundkrav vid utrymning är att det för varje brandcell skall finnas minst två av varandra oberoende utrymningsvägar. Detta krav innebär att om en utrymningsväg blockeras av brand så skall det finnas minst en annan utrymningsväg som kan användas (Boverket, 2008).

### 6.2 Utrymningsdimensionering

För att göra en utrymningsdimensionering kan två metoder användas, förenklad eller analytisk dimensionering. En förenklad dimensionering baseras helt och hållet på Boverkets rekommendationer. Går det ej att uppfylla dessa rekommendationer eller om de inte anses som lämpliga måste en analytisk dimensionering användas för att säkerställa utrymningssäkerheten. Denna kan grundas på bland annat handberäkningar, simuleringar och försök och skall visa att utrymningen kan fungera tillfredsställande trots att rekommendationerna i BBR inte följs till fullo (Boverket, 2006).

Vid en förenklad dimensionering är det oftast inga problem med att verifiera att alla krav är uppfyllda eftersom det bara är att kontrollera om kraven och rekommendationerna i BBR är uppfyllda. Vid en verifiering av en analytisk utrymningsdimensionering ställs det högre krav. Enligt BBR 5:13 och 5:14 skall bland annat osäkerheten i vald indata redovisas och en dimensioneringskontroll utföras. Dimensioneringskontrollen avser kontroll av bland annat bygghandlingar och beräkningar och den bör utföras av en person som inte tidigare varit delaktig i projektet (Boverket, 2008).

#### 6.2.1 Gångavstånd till en utrymningsväg

När det gäller Bräcke ishall är det scenariot som är markerat med en rektangel, se *figur 6.1*, som är aktuellt vid förenklad dimensionering, det vill säga 30 meter. Gångavstånden i en brandcell till en utrymningsväg får inte överstiga detta avstånd, såvida en analytisk dimensionering inte visar annat. Även om ett längre gångavstånd är möjligt enligt analytisk dimensionering bör avståndet ändå aldrig

överstiga 60 meter (Boverket, 2006). Vid beräkning av gångavstånd används alltid det mest ogynnsamma fallet med avseende på avstånd till utrymningsväg.

Förutsättningar	Exempel	Avstånd
Om framkomlighet och överblickbarhet är goda och brandbelastningen högst 50MJ/m <sup>2</sup> , samtidigt som risken för uppkomst av brand är liten. Verksamheten får inte medföra risk för snabb brandspridning.	Vissa lokaler inom betongvarufabriker mekaniska verkstäder, bryggerier	60 m
Om persontätheten är liten samtidigt som berörda personer till största delen kan förväntas ha tillräcklig lokalkännedom i allmänhet.	Bostäder, kontor och därmed jämförliga lokaler, garage, lager-, hantverks- och industribyggnader	45 m
Om persontätheten inte är liten, eller berörda personerna vårdas eller har mindre god lokalkännedom, eller om verksamheten medför risk för snabb brandspridning.	Vissa samlingslokaler såsom butiker, varuhus, restauranger, undervisningslokaler, teatrar och biografier, mässhallar och andra publika lokaler  Trä- eller plastvarufabriker.  Höglager i industrin  Vårdlokaler.	30 m
Om det finns särskild risk för uppkomst av brand, eller om utrymning av lokalen är förenad med stora svårigheter.	Lokaler med omfattande hantering av brandfarliga ämnen. Vissa samlingslokaler såsom danslokal och pub med alkoholservering.	15 m

Figur 6.1 - Maximala gångavstånd till närmaste utrymningsväg (Boverket, 2006).

### 6.2.2 Passagemått i utrymningsväg

I brandceller som är avsedda för fler än 150 personer skall det fria passagemåttet i varje utrymningsväg vara minst 1,2 meter och den totala bredden av samtliga utrymningsvägar skall vara 1,0 meter per 150 personer. Om en utrymningsväg inte kan användas skall övriga utrymningsvägar ha en total bredd så att 1,0 meter motsvarar 300 personer (Boverket, 2006).

### 6.2.3 Vägledande markering

Vägledande markeringar, utrymningsskyltar, skall finnas i lokaler där utrymningsvägarna inte kan förväntas vara kända, till exempel samlingslokaler. Skyltarna skall vara utformade enligt AFS 2010:13 och vara väl synliga från alla platser i lokalen. Skyltar måste finnas ovanför dörrar till, och i, utrymningsvägar. Utrymningsskyltar skall även placeras där det finns risk för misstag, till exempel vid riktningsförändringar och förgreningar. Skyltarna skall vara belysta eller genomlysta och även försedda med nödbelysning (Boverket, 2006).

### 6.2.4 Nödbelysning

Vid ett eventuellt strömavbrott skall det finnas nödbelysning som tänds automatiskt om den ordinarie belysningen släcknar. Nödbelysning skall finnas i utrymningsvägarna från samlingslokaler, vårdanläggningar och hotell. Nödbelysning skall även finnas inne i samlingslokalerna. Det finns

dessutom särskilda krav på belysningsnivå. Vid ett strömavbrott skall nödbelysningen fungera under minst 60 minuter. Strömförsörjningen kan ske med hjälp av batterier eller ett reservaggregat som startar vid strömavbrott (Boverket, 2006).

### 6.2.5 Nödöppningsbeslag

Dörrar avsedda för utrymning från samlingslokaler skall kunna öppnas genom tryck utåt eller genom att ett dörrtrycke trycks nedåt. Dörren bör kunna öppnas med ett handgrepp. Ett exempel på ett godkänt nödöppningsbeslag visas i *figur 6.2*. I lokaler avsedda för fler än 300 personer skall dörrarna vara försedda med panikregel, se *figur 6.3* (Brandteknik, 2005).



Figur 6.2 – Exempel på godkänt nödöppningsbeslag (Akademiska hus, 2011)



Figur 6.3 – Panikregel från Assa (Assa, 2011).

### 6.2.6 Särskilda förutsättningar, samlingslokal

I samlingslokaler vistas ett stort antal personer som inte kan antas känna till utrymningsvägarna. Detta leder till att det ställs större krav på utrymnings säkerheten. En samlingslokal skall till exempel inte utrymmas genom lokaler där det redan vistas många människor utan utrymningsvägarna skall leda direkt till det fria eller leda till det fria via korridorer eller dyligt (Boverket, 2006).

Läktare i en samlingslokal skall ha tillgång till två av varandra oberoende utrymningsvägar och om läktaren är avsedd för fler än 150 personer skall utgångarna leda direkt ut i det fria eller till en utrymningsväg inom byggnaden (Boverket, 2006).

Normala in- och utgångar skall vara utformade så att de även kan användas vid utrymning. Handtag av typen spanjoletthandtag, se *figur 6.4*, får ej användas som öppningsmekanism från samlingslokaler (Boverket, 2006).



Figur 6.4 – Spanjoletthandtag från byggfabriken (Byggfabriken, 2011).

Enligt BBR skall samlingslokaler vara försedda med utrymningslarm (Boverket, 2008). Detta larm skall aktiveras automatisk samtidigt som det kompletteras med larmknappar för manuell aktivering.

Samlingslokal och dess utrymningsvägar skall vara försedda med allmänbelysning och nödbelysning. Även eventuella trappsteg i en samlingslokal skall vara belysta med nödbelysning. Ordinarie belysning och nödbelysning skall även finnas utanför utgång till det fria och längs med utvändiga utrymningsvägar. I en samlingslokal skall det finnas en skylt som anger det högsta antalet personer som samtidigt får vistas i lokalen (Boverket, 2006).

### 6.2.7 Kritiska förhållanden

En tillfredställande utrymning måste ske innan kritiska förhållanden uppstår (Boverket, 2008). Med kritiska förhållanden menas att förhållandena inte är acceptabla för utrymning. Tiden det tar tills kritiska förhållanden uppstår jämförs med den tid det tar att utrymma byggnaden för att på så sätt se om personerna i byggnaden riskerar att utsättas för kritiska förhållanden. De kritiska förhållandena definieras som gränsvärden för följande fem parametrar (Brandteknik, 2005)

- Brandgaslagrets höjd
- Toxicitet
- Temperatur
- Sikt
- Strålning

#### 6.2.7.1 Brandgaslagrets höjd

Brandgaslagrets höjd får vid utrymning inte understiga  $1,6 + 0,1 \times H$  där  $H$  är takhöjden i lokalen. Detta kriterium finns för personer skall kunna orientera sig under utrymningen.

#### 6.2.7.2 Toxicitet

Utrymmade människor får inte utsättas för en för låg syrehalt eller för skadliga doser av giftiga gaser, till exempel koldioxid och kolmonoxid. Syrehalten i luften skall inte understiga 15 % medan koldioxid- och kolmonoxidhalten inte får överstiga 5 % respektive 0,2 %.

#### 6.2.7.3 Temperatur

Vid en utrymning får en människa inte utsättas för högre temperaturer än 80°C.

#### 6.2.7.4 Sikt

Vid utrymning får sikten i brandrummet inte understiga 5 meter och i utrymningsvägarna inte understiga 10 meter.

#### 6.2.7.5 Strålning

Den maximala sammanlagda strålningsenergin en person får utsättas för vid en utrymning är 60 kJ/m<sup>2</sup> utöver energin från en strålning på 1 kW/m<sup>2</sup>. Ett alternativt värde är 2,5 kW/m<sup>2</sup> som kan uthärdas under ungefär 10 minuter. I denna rapport används gränsvärdet 2,5 kW/m<sup>2</sup> då detta anses vara det riktvärde som är lättast att kontrollera.

### 6.2.8 Tid för utrymning

För att en utrymning skall kunna ske säkert måste den tillgängliga tiden för utrymning överstiga den tid det tar att utrymma (den tillgängliga tiden för utrymningen definieras som den tid som finns tillgänglig innan kritiska förhållanden uppstår) enligt

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

Utrymningstiden är den tid det tar för personerna att upptäcka en brand tills att de är i säkerhet. Utrymningstiden delas vanligen upp i tre delar, varseblivningstid, förberedelsetid samt tid för förflyttning (Frantzich, 2001). Dessa tider utgör alltså den totala tiden för utrymning enligt följande

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

#### **6.2.8.1 Varseblivningstid**

Varseblivningstid är den tid det tar för en person att upptäcka att det har hänt något. Tiden påverkas tills stor del av om personerna ser branden eller inte och om det finns automatiskt brand- och utrymningslarm installerat. Finns det inga larm installerade är det svårt att uppskatta varseblivningstiden eftersom det då inte går att räkna på detektionstid för ett larm. Tiden beror då istället på hur lokalen ser ut (överblickbarhet), vilka det är som befinner sig i lokalen, vilken relation personerna har till varandra och hur de reagerar på eventuella indikationer från en brand. En väl synlig brand kan leda till varseblivningstider på någon sekund medan dolda bränder kan ge tider på flera minuter (Frantzich, 2001).

#### **6.2.8.2 Förberedelsetid**

Förberedelsetiden är den tid det tar för personerna att förstå att det brinner, hjälpa andra att utrymma, förbereda sig, försöka bekämpa branden med mera. Tiden påverkas till stor del av om det finns utrymningslarm och vilken typ av larm det är. Talade utrymningslarm har den fördelen att personerna får information och instruktion om vad som händer och hur de skall gå till väga med utrymningen. Tydliga vägledande markeringar kan bidra till att hålla nere förberedelsetiden. Vid beräkning av den totala utrymningstiden är det oftast förberedelsetiden som är svårast att uppskatta (Frantzich, 2001).

#### **6.2.8.3 Förflyttningstid**

Med förflyttningstid menas den tid det tar för människorna i att ta sig ut ur byggnaden från det att de börjat röra sig mot utgångarna. Denna tid beror exempelvis på hur personerna är fördelade i lokalen, vilken typ av personer det är fråga om, om de har god lokalkännedom och deras förmåga att förflytta sig mellan byggnadens olika delar (Frantzich, 2001).

### 6.3 Förenklad dimensionering

De rekommendationer och råd som ges i Boverkets skrift om utrymningsdimensionering (Boverket, 2006) uppfylls ej till fullo i Bräcke ishall och därför kan en förenklad dimensionering ej användas. De rekommendationer som inte uppfylls med avseende på en samlingslokal är följande

- Det fria passagemåttet i utrymningsvägarna understiger på flera ställen 1,20 meter.
- Brand- och utrymningslarm saknas
- Det längsta gångavståndet till en utrymningsväg i byggnaden överstiger 30 meter. Mätningar i befintliga ritningar visar att det längsta gångavståndet i byggnaden är 40 meter. Avståndet är beräknat från mitten av läktaren till nödutgång på ishallens kortsida.
- Flera bänkrader är bredare än 40 sittplatser utan sektionering
- Det fria passagemåttet framför en bänkrad till nästa bänkrad understiger 0,45 meter.
- Tre av de fyra utrymningsvägarna ut i det fria från ishallen är för smala. Den fjärde, publikentrén, stod vid besöket låst och saknar panikregel.

Att en förenklad dimensionering inte kan användas innebär att en analytisk dimensionering måste göras.

## 7 Observerade brister

I detta kapitel tas de brister som observerades under besöket upp.

### 7.1 Bristande rutiner

Så länge ishallen varit placerad i Bräcke har det inte funnits någon utsedd person som ansvarar för brandskyddet på anläggningen, fram till februari 2011 då den deltidsanställda kanslisten fick det ansvaret. Detta systematiska brandskyddsarbete utgörs av checklistor och finns mer utförligt beskrivet i *avsnitt 5.3*. Rutinerna fungerade vid tiden för besöket inte tillfredsställande då protokollet inte var fullständigt ifyllt. Exempelvis kan det ur de ifyllda checklistorna tydas att kanslisten missat att kontrollera både en handbrandsläckare och tre brandcellsavskiljande dörrar, se *bilaga B*, vilket kan tyda på att SBA-utbildningen varit bristfällig. En tydlig ansvarsfördelning mellan fastighetsägaren och hockeyklubben är en viktig del att ha rutiner för i det systematiska brandskyddsarbetet.

### 7.2 Inget system för detektion

Anläggningen saknar helt system för detektion av brand, vilket är den i särklass största observerade bristen i brandskyddet. Detta kan innebära en rad svåra konsekvenser vid brand som kunnat undvikas eller mildras med ett detektionssystem. Framförallt är det den långa tiden till upptäckt och utrymning som kan innebära konsekvenser för personsäkerheten på anläggningen. Under de tillfällen då anläggningen är tom på folk och inte heller manuell detektion kan ske är risken stor att hela byggnaden brinner ner till grunden.

### 7.3 Dörrar och utrymningsvägar

En rad brister rörande anläggningens utrymningsvägar uppmärksammades vid besöket och listas nedan

- Den brandcellsavskiljande dörren mellan brandcell 3 och 4 är inte tät, se *figur 7.1*.
- Dörren som leder ut i det fria från caféet stod vid besökstillfället låst och saknar nödöppningsbeslag. Handtaget består av ett förvirrande upp-och-ner-vänt spanjolethandtag, se *figur 7.2*, som dessutom är trögt och gör dörren mycket svår att öppna.
- En handikappsparkering är placerad just utanför caféets utrymningsväg som leder ut i det fria och blockerar därmed denna utgång när den används.
- Den brandcellsavskiljande dörren mellan brandcell 1 och 2, se *figur 7.3*, stod uppställd vid besöket.



Figur 7.1 – Port mellan brandcell 3 och 4.



Figur 7.2 – Spanjoletthandtag.



Figur 7.3 – Dörr mellan brandcell 1 och 2.

#### 7.4 Vägledande markeringar

De brister rörande anläggningens vägledande markeringar som uppmärksammades vid besöket och listas nedan

- Det finns många utrymningsskyltar på anläggningen som vare sig är belysta eller genomlysta.
- Utrymningsskylten i den bortre läktarens läktargång är skymd, se *figur 7.4*.



Figur 7.4 – Dold utrymningsskylt i gång under läktare.



## 7.5 Förråd

Det finns många utrymmen på anläggningen som används som förråd trots att de inte är avsedda för det. Det lagras kläder, hockeyutrustning och annan bråte både i elcentralen, ventilationsutrymmet och i läktargångarna. Detta medför att folk rör sig fram och tillbaka med material i utrymmen som annars står låsta. Det bidrar också till ökad brandbelastning i dessa utrymmen och i läktargångarnas fall, begränsad framkomlighet.

## 7.6 Tändskyddande beklädnad

Tändskyddande beklädnad saknas till stor del på samtliga ytskikt i ishallen. Det är endast en del av ena läktargången som har försetts med tändskyddande beklädnad i form av gipsskivor.

## 7.7 Brandcellsgränser

Flera av dörrstängarna till de brandcellsavskiljande dörrarna fungerar dåligt och dörrarna stängs inte helt. Detta innebär att brandcellsgränsernas klass inte uppfylls till fullo.

## 7.8 Aktiva system

I dagsläget finns det inget system för vare sig detektion av brand, utrymning eller automatisk släckning installerat på anläggningen. Det finns inte heller något system för brandgasventilation på anläggningen.

## 8 Brandscenarier

I detta kapitel görs en kvalitativ beskrivning av tänkbara brandscenarier.

### 8.1 Riskidentifiering av brandscenarier

För att kunna utvärdera personsäkerheten med avseende på brand i byggnaden måste tänkbara brandscenarier identifieras.

#### 8.1.1 What if-analys

En riskanalys är en analys av ett system där tänkbara oönskade scenarier, dess sannolikheter och konsekvenser analyseras. Systemet i den här rapporten är Bräcke ishall och de oönskade scenarierna utgörs av händelser som leder till brand. För att ta fram olika tänkbara brandscenarier används en riskanalysmetod kallad What if-metoden. Metoden går ut på att utifrån hur systemet ser ut och hur det används identifiera vad som kan gå fel i systemet och sedan fråga sig "vad händer om..?" (eng. What if) (Davidsson et al, 2003). Denna metod anses vara ett lämpligt tillvägagångssätt för att identifiera tänkbara brandscenarier på Bräcke ishall.

Denna metod resulterar i en mängd tänkbara scenarier. Här måste därför avgränsningar göras för att få fram scenarier som både är troliga och representativa för verksamhetens olika delar. Genom att se till de värsta tänkbara scenarierna täcks många, liknande scenarier in under dessa. En skattning av de olika scenariernas sannolikheter och konsekvenser görs sedan för att åstadkomma en grov rangordning av dem i form av en s.k. riskmatris. De båda parametrarna tilldelas en siffra mellan 1 och 5 med innebörd enligt *tabell 8.1*.

Tabell 8.1 – Siffrornas innebörd beträffande sannolikhet och konsekvens

Siffra	Sannolikhet	Konsekvens
1	Ingen sannolikhet	Ingen
2	Liten sannolikhet	Låg
3	Medelhög sannolikhet	Medel
4	Hög sannolikhet	Hög
5	Mycket hög sannolikhet	Mycket hög

#### 8.1.2 Skattning av sannolikhet och konsekvens för brandscenarier

De skattningar som görs baseras huvudsakligen på ingenjörsmässiga bedömningar och är förenade med stora osäkerheter. Dessa beskrivs mer utförligt i osäkerhetsanalysen i *kapitel 13*. I samtliga brandscenarier antas det pågå en A-lagsmatch eller en turnering med fullsatta läktare och således befinna sig ett maximalt antal personer på anläggningen, 500 stycken.

## 8.2 Brandscenario 1 - Brand i köksutrymmet

Vid varje match och andra tillställningar används köket för enklare matlagning samt kokning av kaffe. Köket är utrustat med kyl, frys, spis, värmeplattor, mikrovågsugn samt förvaringsskåp. Om en brand uppstår här är det troligast att den uppstår på grund av glömd spis. Glömd spis är en relativt vanlig brandorsak. År 2009 var glömd spis till exempel den enskilt största brandorsaken vid bränder i flerbostadshus (30 %) (MSB, 2009). Köket står i direkt anslutning till caféet och dessa utrymmen utgör en egen brandcell. Det förväntas att det med jämna mellanrum befinner sig personer i köket eller caféet under pågående verksamhet och en brand i köket bör upptäckas ganska fort och åtgärdas med handbrandsläckare. Sannolikheten att en brand uppstår i köket skattas till fyra. På grund av den stora möjligheten till tidig upptäckt skattas konsekvensen till två.

Sannolikhet: 4

Konsekvens: 2

## 8.3 Brandscenario 2 - Brand i torkrum

I anslutning till tvättstugan finns torkrummet där hela rummet är som ett stort torkskåp. Här inne finns det mycket kläder och en värmefläkt som värmer upp utrymmet. Endast ett fåtal personer har tillgång till detta utrymme. Om det hängs kläder nära värmekällan finns det risk för antändning. Kläderna som torkas bidrar till en relativt hög brandbelastning. Sannolikheten för uppkomst av brand i torkrummet skattas till tre på grund av att mycket textilier kan tänkas packas tätt och nära elutrustningen i det lilla utrymmet. Spridning till övriga rum inom brandcellen och blockering av utrymningsvägar är i detta scenario en tänkbar konsekvens då utrymmet är relativt dolt. Konsekvensen skattas till fyra på grund av den låga detektionsmöjligheten och den relativt höga spridningsrisken.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 4

## 8.4 Brandscenario 3 - Brand i omklädningsrum

Under den dagliga verksamheten rör det sig mycket barn och ungdomar i lokalerna. Vid besöket observerades det att dessa personer kan röra sig fritt i många av utrymmena, däribland omklädningsrummen. I dag står barn och ungdomar för 50-80 % av de anlagda bränderna (MSB, 2011). Det har också tidigare förekommit anlagda bränder på anläggningen, se *avsnitt 4*. Sannolikheten skattas utifrån detta till tre. Brandbelastningen i omklädningsrummen antas bestå av hockeylagens utrustning samt träbänkar längs väggarnas sidor. Konsekvensen blir låg då en eventuell brand antas kunna upptäckas och åtgärdas av spelarna i omklädningsrummen i ett tidigt skede.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 2

## 8.5 Brandscenario 4 - Brand i ventilationsutrymme

I det utrymme där ventilationsaggregatet för brandcell 2 finns förvaras det även stora mängder kläder och hockeyutrustning. Kläderna och utrustningen består av syntetmaterial och är därmed brännbara och lättantändliga. Mängden material i utrymmet bidrar till en stor brandbelastning.

Trots att utrymmet vanligtvis står låst antas det i egenskap av förrådsutrymme för hockeyutrustning stå öppet under matcher och träningar. Ett tekniskt fel i ventilationsaggregatet eller en anlagd brand är tänkbara antändningskällor. Sannolikheten uppskattas utifrån detta till tre.

Utrymmet saknar brandlarm och på grund av den höga brandbelastningen kan konsekvenserna bli stora vid brand. Brandcellen utgörs av flera utrymmen och det föreligger därför en betydande risk att brandspridning sker inom brandcellen. Konsekvenserna vid brand i ventilationsutrymmet skattas till fyra.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 4

### **8.6 Brandscenario 5 - Brand i elcentral**

Elcentralen befinner sig i ett utrymme som även används som förråd. Här förvaras många olika saker så som färg, verktyg, klädesplagg och övrig bråte. Utrymmet är svårt känna till om man inte har någon lokalkännedom vilket minskar risken för anlagd brand. Den enda antändningskälla som anses vara rimlig är ett fel i elcentralen eller i dess säkringar. Alla proppskåpen är försedda med luckor vilket minskar risken för spridning av brand samt att säkringen, som kan vara varm, hoppar ut och antänder omkringliggande material. Sannolikheten för brand i elcentralen skattas till två. Konsekvensen av brand i utrymmet bedöms till ett eftersom det endast förväntas vistas någon enstaka person i denna brandcell.

Sannolikhet: 2

Konsekvens: 1

### **8.7 Brandscenario 6 - Brand i ismaskin**

Ismaskinen är placerad i ett eget utrymme, i ismaskinsrummet, bredvid frysmaskinsrummet och elcentralen. Tillsammans utgör dessa tre utrymmen en egen brandcell. Ismaskinen drivs med batterier och laddas via en egen laddningsstation som är placerad i ismaskinsrummet. Största risken för brand i ismaskinsrummet är att laddningsstationen eller batterierna antänder ismaskinen. Detta kan ske via glappkontakter i laddningshandsken, överhettning och överledning i laddningsutrustningen (Widlund, 2009). Förutom ismaskinen finns det inte mycket material i utrymmet som kan brinna. Eftersom endast servicepersonal rör sig i utrymmena blir det inga större personkonsekvenser vid brand i denna brandcell. Sannolikheten för brand skattas till två. En brand i ismaskinsrummet kan påverka ammoniaktanken i det intilliggande frysmaskinsrummet en bit in i brandförloppet om branden tillåts växa och sprida sig fritt. Brandens värmepåverkan kan leda till tryckökning i kylsystemet som då kan rämna. Skadorna förväntas dock främst bli materiella då det endast förväntas vistas någon enstaka person i denna brandcell, varför konsekvensen skattas till två.

Sannolikhet: 2

Konsekvens: 2

### 8.8 Brandscenario 7 - Brand i kiosk

I ishallen finns en disk där det under matcher säljs tilltugg och dryck. I denna disk finns ett värmeelement för varmhållning av mat som tidigare varit inblandat i brandsammanhang, se *avsnitt 4*. Detta element kan således vara en antändningskälla om det kommer i kontakt med brännbart material. En brand i disken kan spridas till innerväggarna då disken står i direkt anslutning till dessa. Under match vistas det en hel del människor i lokalen och om branden tillväxer snabbt kan det bli stora konsekvenser. I närheten av disken finns det en handbrandsläckare som kan användas för att i ett tidigt skede begränsa branden, och eftersom det finns personer som står och säljer mat och tilltugg under matcherna är chansen stor att dessa upptäcker en brand innan den hinner sprida sig. Sannolikheten för brand skattas till två då risken för anlagd brand är liten när kiosken är bemannad vid evenemang medan konsekvenserna skattas till fyra eftersom det vistas mycket folk i lokalen.

Sannolikhet: 2

Konsekvens: 4

### 8.9 Brandscenario 8 - Brand under läktare

Läktarna i ishallen är byggda i oskyddat trä. Under dem finns det läktargångar som bland annat används som passageväg för publiken och som därmed lätt går att komma åt. Under den ena läktaren finns in- och utgångarna till omklädningsrum och café. Delar av denna läktare är som tidigare nämnts inklädd i gips för att försvåra antändning av läktaren, se *avsnitt 5.1.2*. Stora delar av läktaren är dock inte inklädd. Utrymmena under den läktare som finns på andra sidan ringen används som förråd för till exempel kläder, hockeyutrustning och byggmaterial. Utrymmet är inte låst, det saknas detektionssystem och det finns ingen gipsbeklädnad under läktaren. En brand under läktaren skulle kunna få förödande konsekvenser då det finns mycket brännbart material i ett dolt utrymme. Eftersom utrymmet är lättillgängligt finns risken för en anlagd brand och det föreligger även en risk att cigaretter eller annat glödande material i form av bengaliska eldar eller annan pyroteknik kan hamna här då publiken passerar. Sannolikheten skattas till tre medan konsekvenserna skattas till fem då en brand under läktaren snabbt kan sprida sig upp till den fullsatta läktaren innan den hinner upptäckas.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 5

### 8.10 Olycksscenario, ammoniakutsläpp i frysmaskinrummet.

Detta olycksscenario behandlas separat, se *bilaga C*.

## 8.11 Riskmatris

I *tabell 8.2* sammanställs ovan nämnda brandscenarier.

Tabell 8.2 – Riskmatris över brandscenarier.

Sannolikhet

5					
4		Scenario 1			
3		Scenario 3		Scenario 2 Scenario 4	Scenario 8
2	Scenario 5	Scenario 6		Scenario 7	
1					
	1	2	3	4	5

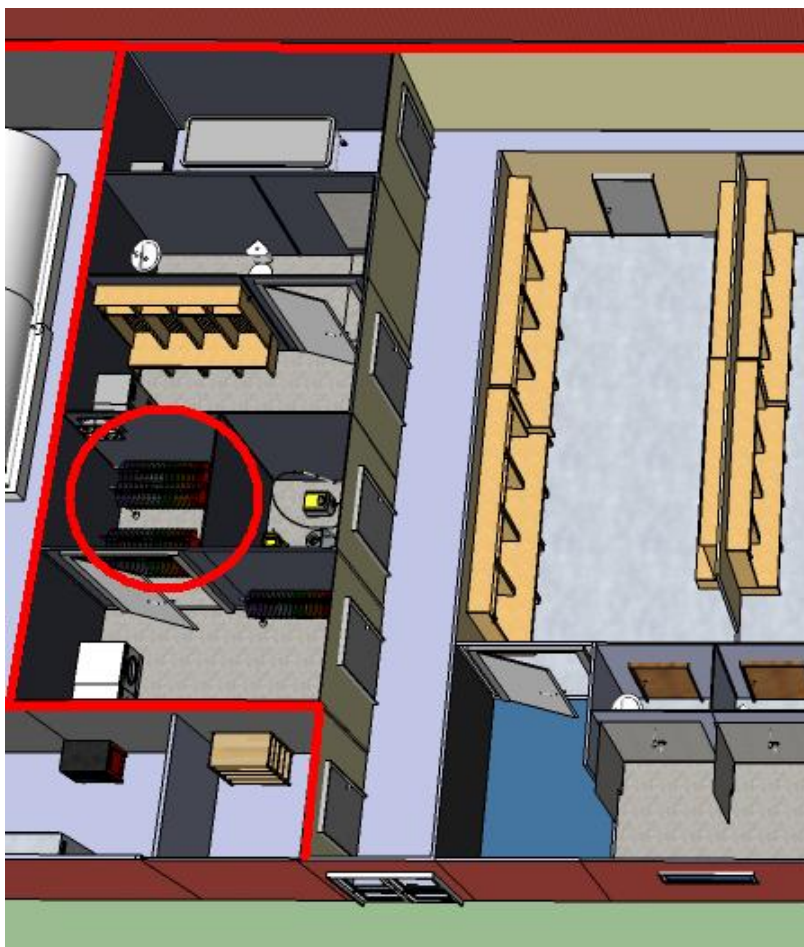
Konsekvens

Utifrån riskmatrisen väljs tre brandscenarier att gå vidare med. Valet faller på de tre scenarier som har den högsta kombinationen av sannolikhet och konsekvens och således hamnar i matrisens övre högra del. Det är alltså brandscenarierna i torkrummet, ventilationsutrymmet och under läktaren som kommer studeras närmre. Dessa scenarier är de värsta troliga och täcker på så sätt in de övriga. Genom att analytiskt utreda dessa scenarier erhålls en bild av huruvida det befintliga brandskyddet uppfyller kraven för säker utrymning eller ej.

Varje brandscenario behandlas separat i rapporten så att dessa kan läsas som fristående kapitel. Upprepningar i beskrivningen av scenarierna förekommer därför. Tillvägagångssättet och de program som använts i analyserna av dessa tre brandscenarier finns beskriven i *bilaga H*.

## 9 Brandscenario 2- Brand i torkrum

I detta kapitel beskrivs ett tänkbart brandscenario i torkrummet i brandcell 2, se figur 9.1.



Figur 9.1 – Torkrummets placering i brandcell 2.

### 9.1 Beskrivning

Torkrummet står i direkt anslutning till tvättstugan. Även ett städförråd och ett omklädningsrum för domare angränsar till rummet. Tillgång till rummen sker via den korridor som löper genom hela brandcell 2. I korridorens ände finns en dörr ut till det fria som fungerar som utrymningsväg, se figur 9.1.

I torkrummet observerades vid besöket stora mängder kläder och annan hockeyutrustning. Torkningen sker genom en värmefläkt som skapar en torkskåpsliknande miljö i rummet. Torkrummets innerväggar är klädda med gips och behandlade med ett lager målarfärg.

Under matchdagar och turneringar antas det befinna sig ett maximalt antal personer i brandcellen, främst i omklädningsrummen men även i exempelvis vilorummet och domarrummet. För torkrummet innebär detta dock inte att det vistas personer där kontinuerligt, utan endast i samband med upphängning och tömning av tvätt.

Två lag á 20 spelare med funktionärer och domare gör att det maximala antalet personer i brandcell 2 under en A-lagsmatch uppskattas till 60 personer.

## 9.2 Brandförlopp

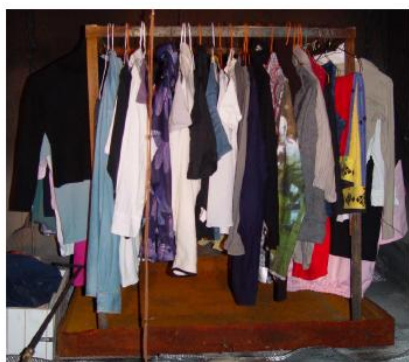
En brand kan tänkas starta i utrymmet genom att kläder som placerats olämpligt överhettas och antänds, eller som en följd av ett elfel i exempelvis värmefläkten. Det brännbara materialet i utrymmet består mestadels av tyger och textilier som antänds lätt och brinner snabbt. Mängden material antas variera och ett konservativt antagande är då att anta att hela torkrummet är fyllt med kläder.

Då det saknas system för både detektion och automatisk släckning i torkrummet föreligger det stor risk att branden pågår under lång tid innan den upptäcks. Detta kommer i sin tur leda till att brandgaser via otätheter kommer sprida sig ut i korridoren och till intilliggande rum innan upptäckt sker.

## 9.3 Effektutveckling

Ett vanligt sätt att beskriva bränders effektutveckling är att använda en så kallad  $\alpha^2$ -kurva. Teorin bakom detta förfarande finns i *bilaga E*.

För att ta fram en representativ  $\alpha^2$ -kurva för brandförloppet i torkrummet används försöksresultat från National Research Council i Kanada som utfört en mängd brandförsök, däribland textilbränder (Bwala, 2005). En av dessa försöksupställningar anses efter viss modifiering motsvara den mängd brännbart material som maximalt kan tänkas finnas i torkrummet, se *figur 9.2*. Som modifiering används en faktor fyra. Detta då det i torkrummet finns plats för ungefär fyra uppsättningar kläder av den typ som använts i försöken gjorda av National Research Council. Genom att addera effektkurvorna och anta att allt material börjar brinna samtidigt erhålls en konservativ effektutvecklingskurva som presenteras i *figur 9.3*.



$\times 4 \approx$

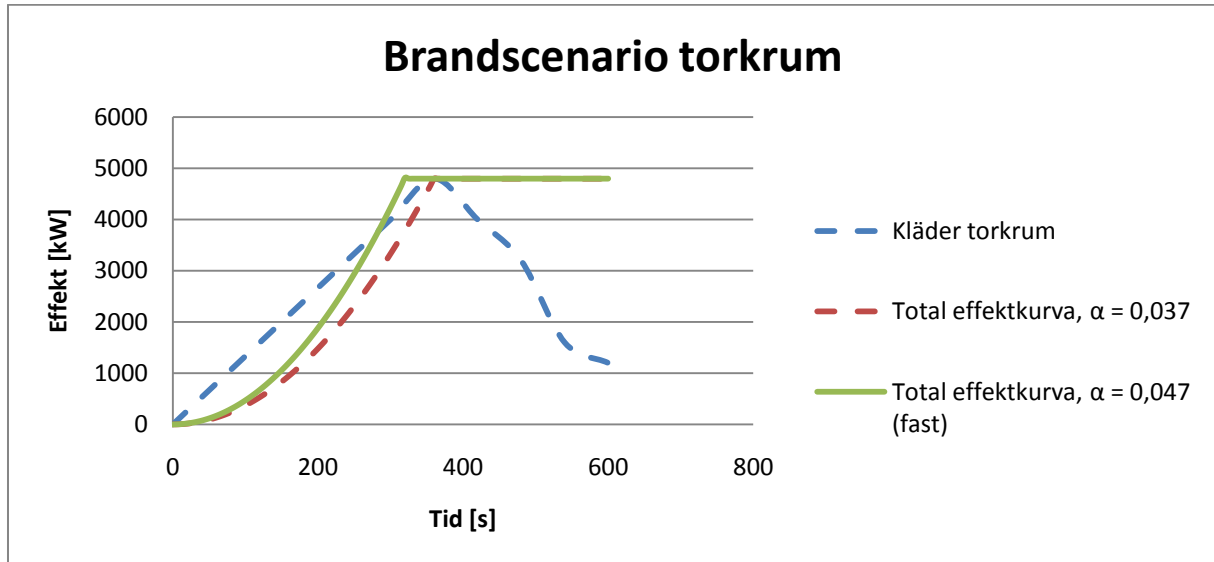


Figur 9.2 – Brännbart material i torkrummet, National Research Council till vänster, Bräcke till höger.

Effektutvecklingskurvan tillhörande försöket modifieras på samma sätt, se *bilaga D*. Ett  $\alpha$ -värde beräknas till  $0,037 \text{ kW/s}^2$ , se *bilaga F*. En jämförelse görs med en kurva med  $\alpha$ -värdet "fast", se *figur 9.3*.  $\alpha$ -värdet "fast" innebär en något snabbare tillväxt än den framräknade.



Att välja  $\alpha$ -värdet "fast" anses vara ett både rimligt och konservativt tillvägagångssätt. Alla kurvor illustreras i *figur 9.3* där det är den helstreckade kurvan som används till den dimensionerande branden. Med detta antagande kommer branden nå sin maximala effekt 5000 kW efter ungefär 320 sekunder.



Figur 9.3 – Diagram med samtliga effektutvecklingskurvor för torkrummet.

## 9.4 Syrekontroll

En beräkning på den av det tillgängliga syret tillåtna maximala effektutvecklingen görs. Denna visar att syret enbart tillåter branden att växa till 600 kW, se *bilaga G*. I detta brandscenario är det orimligt att anta att både dörren ut till tvättstugan och dörren från tvättstugan till korridoren skulle stå öppna, då torkrummets dörr måste stå stängd under drift för att skapa den torkskåpsliknande miljön. Branden i detta scenario kommer bli ventilationskontrollerad och nå sin maxeffekt 600 kW efter runt 115 sekunder.

## 9.5 Sammanfattning brandscenario torkrum

En brand kan tänkas uppkomma som en följd av överhettade textilier eller elfel i utrustningen. Det tillgängliga syret i det slutna utrymmet tillåter dock bara en maximal effektutveckling på 600 kW. Denna effekt anses vara så pass låg att branden hinner självslockna innan den sprider sig till intilliggande rum. Dörren in till torkrummet från tvättstugan är förvisso endast en enkel trädörr med laminatytskikt men brandens effekt anses inte vara tillräcklig för att branden skall bryta igenom.

Ett möjligt scenario är att någon i servicedelen upptäcker att brandgaser läcker ut i tvättstugan och korridoren, och öppnar dörren till torkrummet för att undersöka. Skulle detta ske under den lilla tid (115 sekunder) som branden tillväxer skulle branden få mer syre och kunna fortsätta att växa. Att någon upptäcker branden i god tid innebär emellertid också att snabba åtgärder kan vidtas, exempelvis stänga in branden, släcka den med någon av anläggningens släckanordningar eller larma räddningstjänsten. Detta brandscenario valdes ut ur riskmatrisen delvis på grund av den låga möjligheten till detektion, men just detektion och en öppning av dörren är ett villkor för att branden skall kunna nå några skadliga effektnivåer.

Då konsekvenserna blir så pass låga görs här bedömningen att inte gå vidare med analysen av detta brandscenario.

## 10 Brandscenario 4 – Brand i ventilationsutrymmet

I detta avsnitt beskrivs ett tänkbart brandscenario i ventilationsutrymmet i brandcell 2, se figur 10.1.



Figur 10.1 - Ventilationsutrymmets placering i brandcell 2.

### 10.1 Beskrivning

Ventilationsrummet står i direkt anslutning till den korridor som löper genom hela brandcell 2 och en utgång till det fria finns direkt utanför rummet, se figur 10.1.

Angränsande rum är ett förråd och ett omklädningsrum. På motsatta sidan korridoren ligger sekretariatet.

I rummet finns ventilationsaggregatet för till- och frånluftsystemet i brandcellen. Rummet används utöver detta som förrådsutrymme. I rummet förvaras hyllor av trä innehållande skridskor och annan hockeyutrustning, klädhängare, backar i hårdplast samt pappkartonger, se figur 10.2.

Innerväggarna är klädda med gips och behandlade med ett lager målarfärg. Rummet är i regel låst men förväntas stå öppet under matcher och turneringar eftersom det då behövs tillgång till förråden.



Under den dagliga verksamheten antas det inte vistas några personer kontinuerligt i ventilationsrummet, och inte heller under A-lagsmatcher.

Figur 10.2 – Material i ventilationsutrymmet.

Under matchdagar och turneringar kan det tänkas befinna sig ett större antal personer än vanligt i brandcellen, främst i omklädningsrummen men även i exempelvis vilorummet och domarrummet. Två lag á 20 spelare med funktionärer och domare gör att det maximala antalet personer i brandcell 2 under en A-lagsmatch uppskattas till 60 personer.

## 10.2 Brandförlopp

En brand kan tänkas starta genom ett fel i ventilationsaggregatet, elektriskt eller mekaniskt, som leder till överhettning och därefter antändning i intilliggande material. En annan tänkbar brandsorsak kan vara överledning i någon elektrisk komponent som en följd av fel i någon krets (Widlund, 2009). Det är även tänkbart att en anlagd brand kan förekomma då utrymmet inte alltid är låst eftersom det även används som förråd.

Efter antändning finns det stor risk för brandspridning i utrymmet då materialet står tätt packat och det saknas system för både detektion och automatisk släckning. Då det inte heller vistas några personer kontinuerligt i rummet antas branden förbli oupptäckt till dess att brandgaser som läcker ut i korridoren upptäcks. Får branden tillväxa under lång tid finns det stor risk att korridoren kommer fyllas med brandgaser och på så sätt försvåra utrymning via den utrymningsväg som ligger direkt utanför ventilationsrummet, se *figur 10.1*.

## 10.3 Effektutveckling

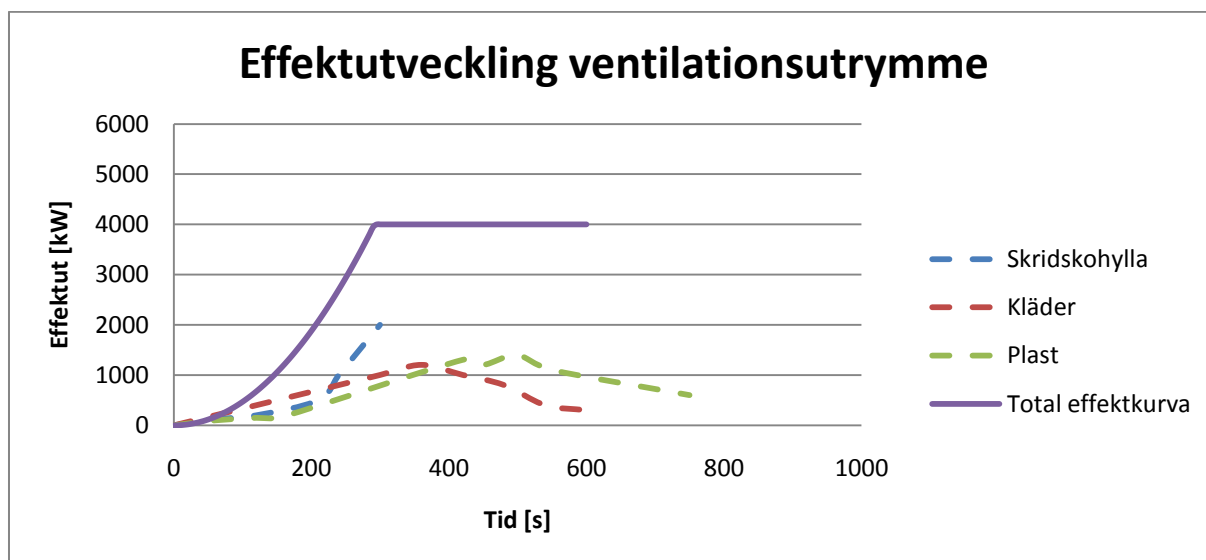
Ett vanligt sätt att beskriva bränders effektutveckling är att ansätta en så kallad  $\alpha^2$ -kurva. Teorin bakom detta förfarande finns i *bilaga E*.

För att ta fram en representativ  $\alpha^2$ -kurva för brandförloppet i ventilationsrummet används försöksresultat från National Research Council i Kanada som utfört en mängd brandförsök (Bwala, 2005). Genom att kombinera försök som gjorts på föremål i hårdplast, trähyllor med skor samt hängare med textilier erhålls en mängd bränsle som anses representera det brännbara material som finns i ventilationsrummet, se *figur 10.3*. Genom att addera de olika effektkurvorna och anta att allt börjar brinna samtidigt erhålls en konservativ effektutvecklingskurva som presenteras i *figur 10.4*. Mängden bränsle har medvetet överdimensionerats något för att konservativt uppskatta effektutvecklingen och ta hänsyn till att det kan finnas mer material i rummet än vad som observerades under besökstillfället.



Figur 10.3 - Brännbart material i ventilationsutrymme, National Research Council till vänster, Bräcke till höger.

De olika försökens effektkurvor finns i *bilaga D* och en representativ effektkurva för brandförloppet i ventilationsrummet erhålls genom att kombinera dessa. Resultatet visas i *figur 10.4*, där det utläses att den totala maxeffekten för brandförloppen inträffar efter ungefär 300 sekunder och är då runt 4000 kW. Ett  $\alpha$ -värde beräknas utifrån detta enligt *bilaga F* till 0,044. Detta ligger mycket nära schablonvärdet 0,047 vilket är  $\alpha$ -värdet för tillväxthastigheten "fast". I *figur 10.4* har en  $\alpha t^2$ -kurva för effektutvecklingen tagits fram (heldragen linje) där just  $\alpha$ -värdet 0,047 använts. Detta ger en konservativ skattning av brandförloppet då tillväxthastigheten överskattas något. Med detta antagande kommer branden nå sin maximala effekt 4000 kW efter runt 300 sekunder.



Figur 10.4 - Diagram med samtliga effektutvecklingskurvor för ventilationsutrymmet.

## 10.4 Syrekontroll

En beräkning på den av det tillgängliga syret tillåtna maximala effektutvecklingen görs. Denna visar att syret maximalt tillåter branden att utvecklas till 1200 kW, se *bilaga G*. I detta brandscenario antas dörren ut till korridoren stå öppen under brandförloppet, vilket innebär att syretillförseln är tillräcklig

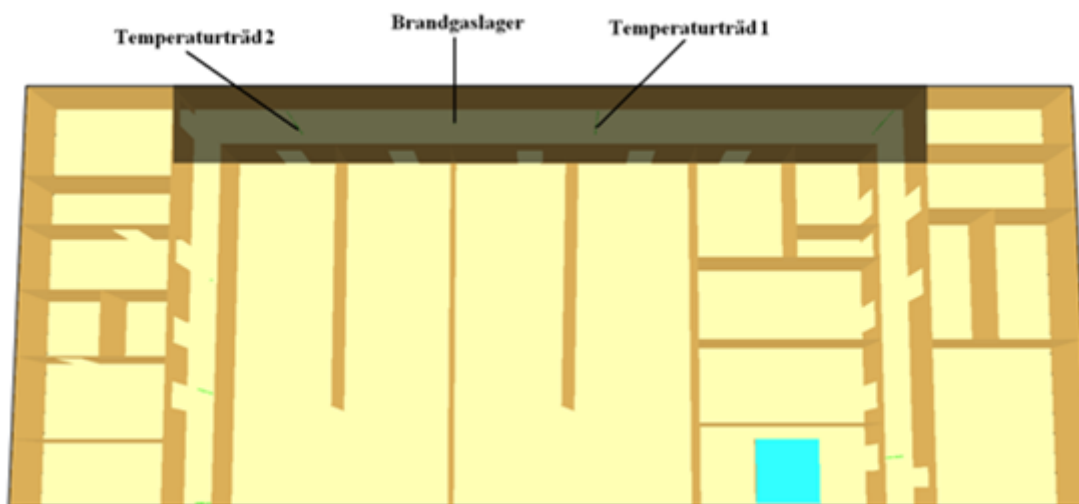
för att underhålla det brandförlopp som redovisas i *figur 10.4*, se *bilaga G*. Detta antagande innebär värsta möjliga scenario och anses därför som ett lämpligt förfarande.

## 10.5 Tid till kritiska förhållanden

Analysmetoden finns som tidigare nämnts beskriven i *bilaga H*.

Med hjälp av FDS (NIST) har simuleringar gjorts för att få fram tiden till det att kritiska förhållanden uppstår. Brandförloppet i ventilationsutrymmet har simulerats i 900 sekunder. En mängd olika mätpunkter har placerats ut enligt *figur 10.5* för att samla in data under simuleringen. Dessa mätpunkter har analyserat brandgaslagrets höjd och temperatur på olika höjder och på så sätt kan tiden till det att kritiska förhållanden uppstår tas fram.

På grund av korridorens geometri och utformning samt brandens placering kommer tiden till kritiska förhållanden variera beroende på vilken del av korridoren som studeras. De personer som vistas i brandcellen uppehåller sig mestadels i omklädningsrummen och därför kommer tiden till kritiska förhållanden att studeras i den del av korridoren som löper utanför omklädningsrummen, se *figur 10.5*.



Figur 10.5 – Mätpunkternas placering i brandcell 2.

### 10.5.1 Brandgaslagrets höjd

Enligt kriterierna för brandgaslagrets höjd som beskrivs i *avsnitt 6.2.7* beräknas den kritiska höjden över golvnivå med *ekvation 10.1*.

$$1,6 + (0,1 \cdot 3) \text{ meter} = 1,9 \text{ meter}$$

(Ekvation 10.1)

För de personer som befinner sig i servicedelen blir således den kritiska nivån för brandgaslagrets höjd 1,9 meter över golvet.

Tiden till dess att brandgaslagret sjunker till en höjd på 1,9 m över golvet uppgår till ungefär 95 sekunder, se *bilaga N*.

### 10.5.2 Toxicitet

Det är endast koldioxidhalten som studeras då syretillgången anses vara god i denna brandcell.

När koldioxidhalten överstiger 5 % råder kritiska förhållanden. Kritiska nivåer av koldioxid uppnås utanför omklädningsrummen efter ungefär 250 sekunder, se *figur S.1, bilaga S*.

### 10.5.3 Temperatur

Den kritiska temperaturen för att säker utrymning skall kunna genomföras är enligt *avsnitt 6.2.7* 80 °C.

I simuleringen finns det två temperaturträd som mäter temperaturen på sex olika höjder över golvet. Dessa är placerade utanför omklädningsrummen. När temperaturen överstiger 80 °C på höjden 1,9 meter över golvet (brandgaslagrets kritiska höjd) antas människor påverkas och kritiska förhållanden med avseende på temperatur uppstå.

Tiden till kritiska temperaturförhållanden erhålls genom att ta fram medelvärdet för dessa mätpunkter på 1,9 meters höjd. Resultaten presenteras i *tabell 10.1*.

**Tabell 10.1 – Tid till kritisk temperatur i brandcell 2.**

Temperaturträd	Tid till kritisk temperatur [s]
1	≈ 165
2	≈ 165

### 10.5.4 Sikt

Tiden till dess att sikten understiger 10 meter utifrån FDS-simuleringen är ungefär 150 sekunder och illustreras i *figur S.2, bilaga S*.

### 10.5.5 Strålning

Kriteriet för kritisk strålningsnivå är enligt *avsnitt 6.2.7* 2,5 kW/m<sup>2</sup>.

Eftersom brandgaslagret sprider ut sig i en lång korridor är det svårt att avgöra vilken temperatur som skall tas med i strålningsberäkningarna eftersom det skiljer sig över de olika mätpunkterna, se *tabell 10.2*. Ett medelvärde för brandgaslagrets temperatur har använts varefter tiden till kritisk strålning har beräknats, se *bilaga L*.

**Tabell 20.2 – Tid till kritisk strålning i brandcell 2.**

Temperaturträd	Tid till kritisk strålning [s]
1	≈ 260
2	≈ 270
<b>Medelvärde</b>	<b>≈ 265</b>

### 10.5.6 Sammanfattning kritiska förhållanden brandcell 2

Tiden till kritiska förhållanden är utifrån FDS-simuleringen 95 sekunder med brandgaslagrets höjd som styrande parameter. Tid till kritiska förhållanden för samtliga parametrar redovisas i *tabell 10.3*.

Brandgaslagret är alltså nere på en kritisk nivå redan efter 95 sekunder. Dessa brandgaser har vid denna tidpunkt dock inte nått några kritiska nivåer beträffande vare sig sikt eller toxicitet. Först efter

150 sekunder understiger sikten den kritiska nivån tio meter och det är därmed vid denna tid kritiska förhållanden uppstår.

Tabell 10.3 – Tid till kritiska förhållanden i brandcell 2.

Parameter	Tid till kritiska förhållanden [s]
Brandgaslager	(95)
Toxicitet	250
Temperatur	165
<b>Sikt</b>	<b>150</b>
Strålning	265

## 10.6 Utrymning

I detta avsnitt ges en beskrivning av hur utrymningen av denna brandcell förväntas gå till.

### 10.6.1 Förlopp

Med gjorda antaganden befinner det sig maximalt 60 personer i brandcell 2. Dessa personer utgörs av två hockeylag á 20 spelare och fem funktionärer, domarteam samt anställda. Branden uppstår i ventilationsutrymmet och dörren till korridoren antas stå öppen, se *avsnitt 10.2*. Brandgaser sprider sig från ventilationsrummet och ut i korridoren där de sedan fortsätter sprida sig, se *figur 5.3 – 5.6, bilaga 5*. Det finns inget system för detektion eller larm på anläggningen vilket gör att personerna i brandcellen själva måste fatta beslut om utrymning utifrån syn- och luktintryck. Som tidigare nämnts ligger fokus på den del av korridoren som löper utanför omklädningsrummen. De personer som har skridskor på fötterna förutsätts kunna röra sig lika snabbt som med utan skridskor eftersom personerna antas vara i god fysisk form.

### 10.6.2 Varseblivningstid

Varseblivningstiden beror på när branden upptäcks och tiderna som tagits fram är baserade på observationer av brandgasspridningen i FDS-simuleringen. Längst tid till varseblivning blir det om det inte befinner sig några personer i själva korridoren och att branden således inte upptäcks förrän brandgaser tränger in i omklädningsrummen. Varseblivningstiderna redovisas i *tabell 10.4*.

Tabell 10.4 – Varseblivningstider i brandcell 2.

Fall	Tid [s]
Bästa	80
Mest troliga	100
Värsta	130

### 10.6.3 Förberedelsetid

Litteratur av Håkan Frantzich ligger som underlag till att uppskatta förberedelsetiden (Frantzich, 2001). Hur lång förberedelsetiden blir beror på vilken aktivitet personerna utför när de blir varse att det brinner. Förberedelsetiderna från litteraturen avser varuhus. Personerna som befinner sig i omklädningsrummen förväntas av naturliga skäl ha en längre förberedelsetid än den som anges i litteraturen.

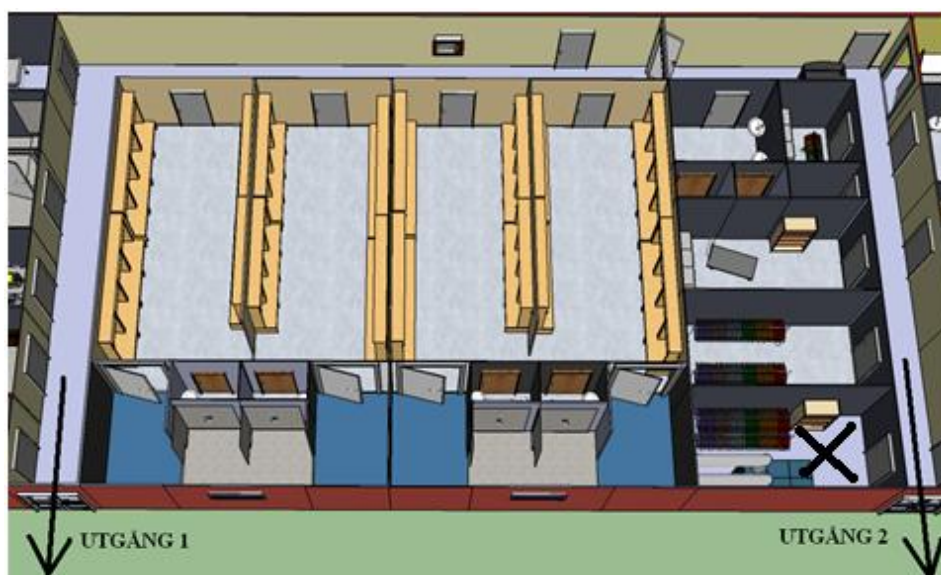
Tiderna presenteras i *tabell 10.5*.

Tabell 10.5 – Förberedelsestider i brandcell 2.

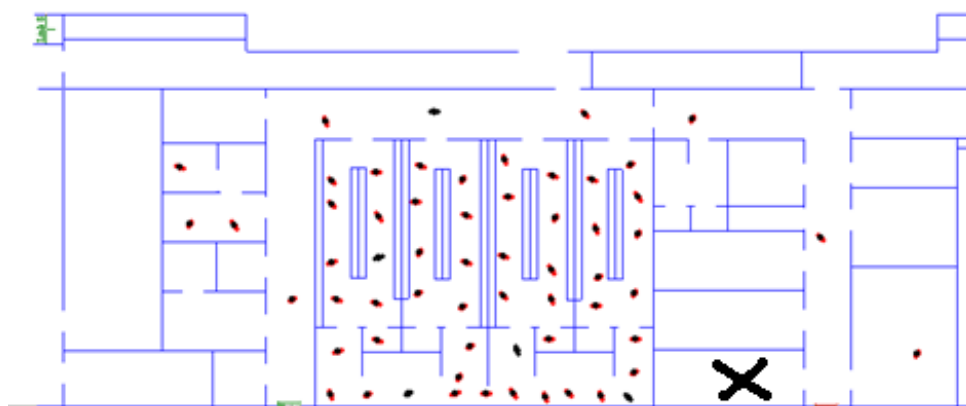
Fall	Tid [s]
Bästa	15
Mest troliga	60
Värsta	90

#### 10.6.4 Förflyttningstid

Personerna i brandcellen antas vara fördelade enligt Simulexuppställningen i *figur 10.7*. I denna brandcell finns det endast två utgångar till vilka det är skyltat för utrymning, se *figur 10.6*, och vägen till dessa går genom en smal korridor. Dessutom förväntas personerna i brandcellen inte använda utgång 2, se *figur 10.6*, då denna ligger i direkt anslutning till branden. Utrymningen förväntas således endast ske via utgång 1. Personernas placering i brandcellen kan variera något från det som visas i *figur 10.7*. Troligen är det antalet personer i omklädningsrummen som varierar mest och det är även utrymningen från omklädningsrummen som tar längst tid.



Figur 10.6 – Översiktsbild över brandcell 2 med nödutgångarna utmärkta. Kryset markerar branden.



Figur 10.7 – Simulexuppställning för brandcell 2. Kryset markerar branden.



Förflyttningstiden blir enligt Simulex-simuleringen ungefär 80 sekunder. Då personernas placering kan variera något ansätts en fördelning enligt *tabell 10.6*.

Tabell 10.6 – Förflyttningstid i brandcell 2.

Fall	Tid [s]
Bästa	70
Troligaste	80
Värsta	90

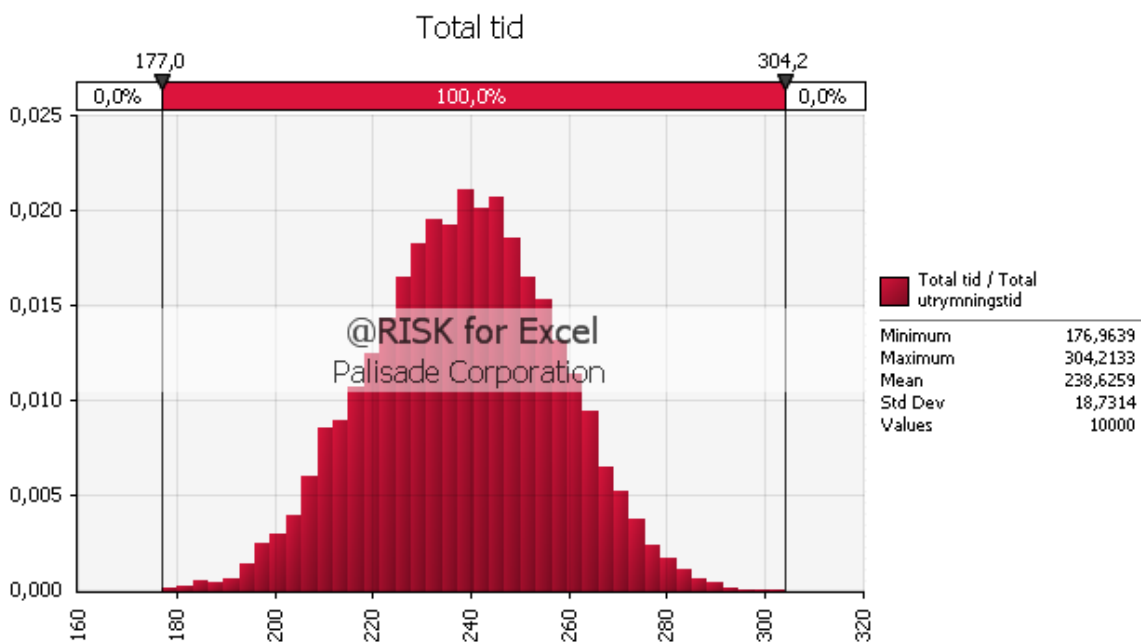
### 10.6.5 Total tid för utrymning

Den totala tiden för utrymning erhålls genom att addera ansatta triangel-fördelningar i *tabell 10.7* i @RISK. En Monte Carlo-simulering med 10 000 iterationer görs. Resultatet i *figur 10.8* redovisar den totala utrymningstidens sannolikhetsfördelning.

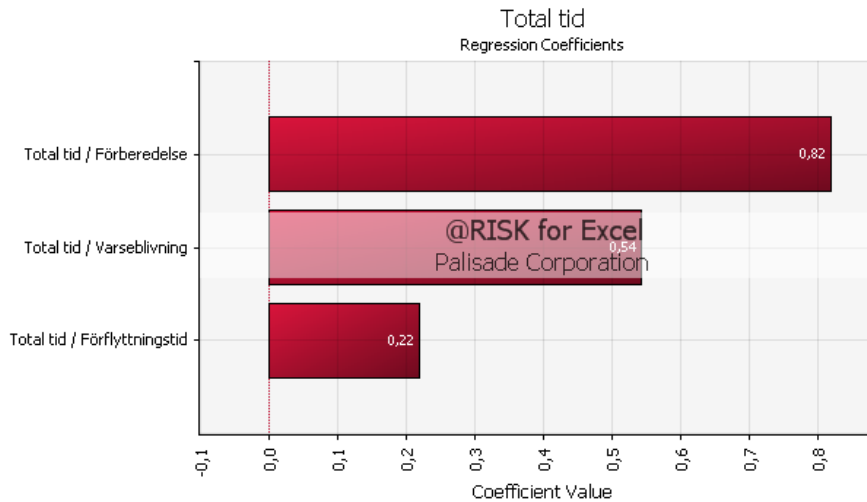
Den totala utrymningstiden för brandcellen varierar enligt *figur 10.8* nedan och hur ingående variabler påverkar den totala utrymningstiden redovisas i känslighetsanalysen i *figur 10.9* nedan. Den totala utrymningstiden har ett väntevärde på ungefär 240 sekunder och ett maximalt värde på ungefär 300 sekunder. Indata som använts i @RISK sammanfattas i *tabell 10.7*.

Tabell 10.7 – Indata för sannolikhetsfördelning i @RISK.

Tid	Fördelning i @RISK
Varseblivningstid	=RiskTriang(80;100;130)
Förberedelsetid	=RiskTriang(15;60;90)
Förflyttningstid	=RiskTriang(70;80;90)



Figur 10.8 – Sannolikhetsfördelning över den totala utrymningstiden i brandcell 2.

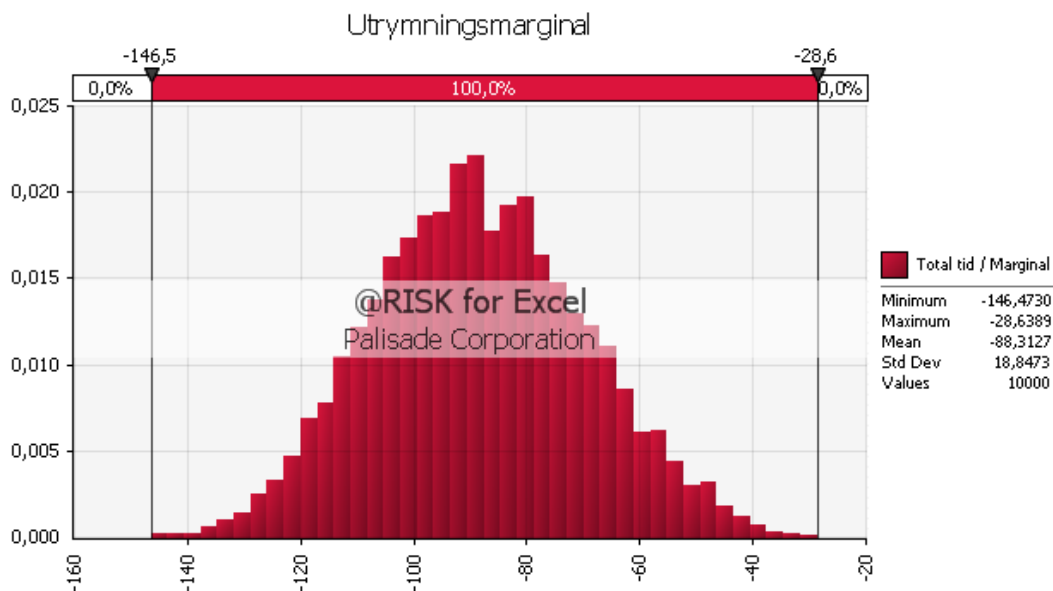


Figur 10.9 – Känslighetsanalys över den totala utrymningstiden i brandcell 2.

Känslighetsanalysen visar att det med gjorda antaganden är förberedelsetiden som har störst inverkan på den totala utrymningstiden.

### 10.7 Resultat utrymnings säkerhet, innan åtgärder

Tiden till det att kritiska förhållanden uppstår och fördelningen för total utrymningstid jämförs genom att subtrahera den förstnämnda med den andra. Fördelningen för marginalen som då erhålls presenteras i figur 10.10. Resultatet visar att ingen av personerna kommer lyckas utrymma innan kritiska förhållanden uppstår. Väntevärdet för utrymningsmarginalen blir ungefär -88 sekunder vilket betyder att genomsnittspersonen hade behövt utföra sin utrymning minst 88 sekunder snabbare.



Figur 10.10 – Sannolikhetsfördelning för utrymningsmarginalen i brandcell 2.

I dagsläget uppfylls alltså inte kriterierna för säker utrymning vilket innebär att åtgärder måste vidtas. Dessa åtgärder skall resultera i att utrymningstiden minskas, att tiden till det att kritiska förhållanden uppstår ökas eller i bästa fall en kombination av de båda.

## 10.8 Åtgärdsförslag

Ett stort problem gällande utrymningen av denna brandcell är att varseblivningstiden för personerna är lång då personerna måste göra egna visuella observationer av branden och brandgaserna för att inse att det brinner. Ett sätt att lösa problemet är att installera ett system för detektion och larmgivning.

Det finns idag flera olika rökdetektorer som kan kopplas samman trådlöst och bilda system med ett flertal detektorer. Ett sådant system skulle med fördel kunna installeras i servicedelen för att på så sätt möjliggöra en snabb detektion av en eventuell brand. Lämpliga placeringar för detektorer är i samtliga förråd, omklädningsrummen, ventilationsutrymmet, sekretariatet, domarrummet, vilorummet, tvättutrymmet samt i korridorerna. På så sätt fås en heltäckande övervakning av brandcellen vilket leder till att personer som vistas i denna snabbt kan bli varse om att det brinner.

Utöver detta bör brandbelastningen i rummet minskas genom att flytta ut allt det brännbara förrådsmaterial som finns där i dagsläget. Dessutom bör dörren hållas stängd och låst, dels för att förhindra anlagd brand och dels för att göra branden ventilationskontrollerad. Samtliga dörrar i brandcellen skall förses med dörrstängare, för att på så sätt förhindra att liknande bränder i andra utrymmen uppkommer och sprider sig. Nedan listas förslag på åtgärder som direkt berör detta brandscenario

- Håll dörren till utrymmet stängd genom att montera dörrstängare på denna. Håll den dessutom låst genom att införa ordentliga rutiner hos personalen för detta. Vidare skall samtliga dörrar i brandcellen förses med dörrstängare.
- Installera ett system för detektion och larmgivning i händelse av brand.
- Flytta ut allt brännbart material ur ventilationsutrymmet.
- Genomför regelbunden tillsyn och underhåll på ventilationsaggregatet i förebyggande syfte.

## 10.9 Validering av åtgärder

I valideringsförfarandet efter det att åtgärder vidtagits utgås det från samma brandbelastning som tidigare, det vill säga att allt brännbart material finns kvar i rummet. Även om det i *avsnitt 10.8* finns med som ett åtgärdsförslag att flytta detta brännbara material antas det som lätt hänt att det ändå inte blir gjort. De stora skillnaderna efter utförda åtgärder i detta brandscenario är att dörren är stängd eftersom den nu skall vara försedd med dörrstängare samt att varseblivningstiden blir kortare då ett system för detektion och larmgivning installerats.

### 10.9.1 Tid till kritiska förhållanden

Enligt de syreberäkningar som gjorts visar det sig att branden blir ventilationskontrollerad och inte kommer att överstiga effektutvecklingen 1200 kW förutsatt att dörren hålls stängd, se *bilaga G*. Dessutom kommer endast en begränsad mängd brandgaser att läcka ut till korridoren genom otätheter i dörren till ventilationsutrymmet. Branden kommer att bli ventilationskontrollerad efter ett par minuter förutsatt att dörren inte öppnas. En jämförelse med scenariot där dörren står öppen visar att den maximala effektutvecklingen med dörren stängd blir runt fyra gånger mindre. Så länge dörren förblir stängd kommer således kritiska förhållanden inte att uppstå i denna brandcell på grund av den låga maxeffekten och den korta brinntiden.

### 10.9.2 Total tid för utrymning

Genom att införa ett system för detektion kommer varseblivningstiden för personerna i brandcellen att minska.

Enligt beräkningar i Detact QS (Evans, 1985) aktiverar detektorn i ventilationsutrymmet efter 35 sekunder, se *bilaga O*. Varseblivningstiden tilldelas ett intervall kring detta punktvärde enligt *tabell 10.8* då personerna i brandcellen förväntas ta olika lång tid på sig att bli varse om branden trots larmsignalen.

Tabell 10.8 – Varseblivningstid med detektionssystem i brandcell 2.

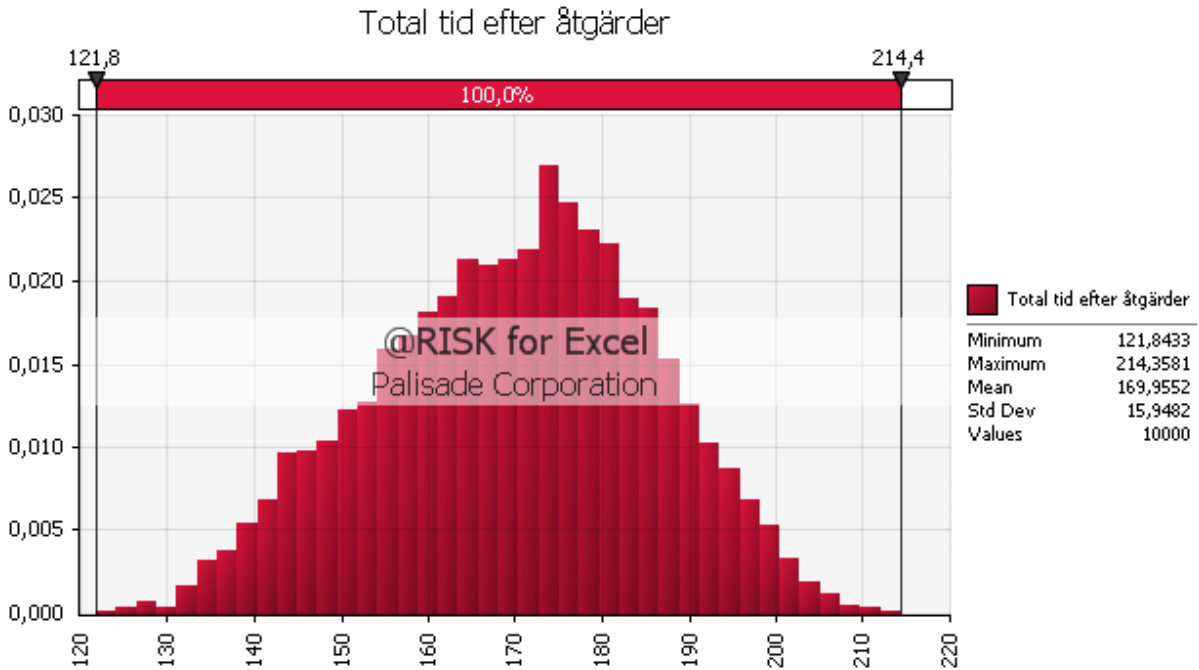
Fall	Tid [s]
Bästa	30
Mest troliga	35
Värsta	40

Förberedelsetiden och förflyttningstid antas vara densamma som tidigare, se *avsnitt 10.6.3 och 10.6.4*.

Beräkningsgången som används i *avsnitt 10.6* används även här och variationen för den totala tiden för utrymning efter åtgärder redovisas i *figur 10.11*. Indata till simuleringen redovisas i *tabell 10.9*.

Tabell 10.9 - Indata för sannolikhetsfördelning i @RISK efter åtgärder.

Tid	Fördelning i @RISK
Varseblivningstid	=RiskTriang(30;35;40)
Förberedelsetid	=RiskTriang(15;60;90)
Förflyttningstid	=RiskTriang(70;80;90)

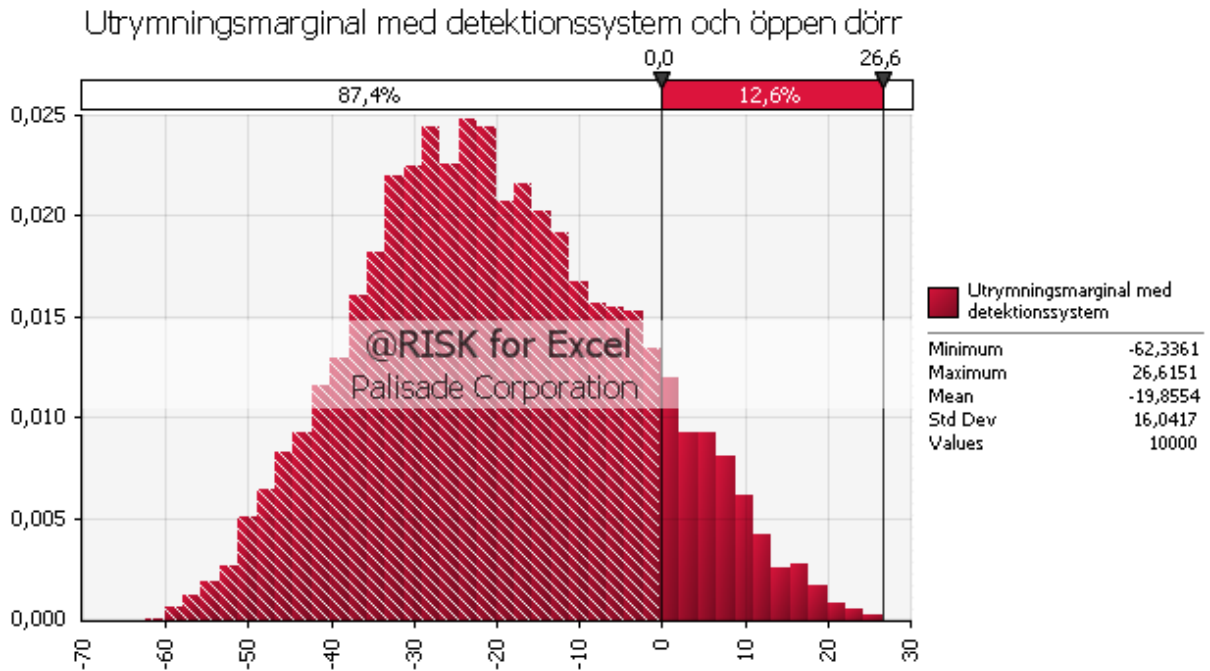


Figur 10.11 - Sannolikhetsfördelning över den totala utrymningstiden i brandcell 2 efter åtgärder.

Den totala utrymningstiden efter åtgärder har ett väntevärde på ungefär 170 sekunder och ett maximalt värde på ungefär 215 sekunder.

### 10.9.3 Utrymningsmarginal vid delvis vidtagna åtgärder

Om dörren däremot fortfarande står öppen och om det finns detektionssystem kommer kritiska förhållanden uppstå enligt *avsnitt 10.5.6* innan utrymningen slutförts. Utrymningsmarginalen för detta fall visar att det enbart är ungefär 13 % som hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår, se *figur 10.12*. Om dörren inte kan hållas stängd måste utrymningen kunna ske snabbare och andra åtgärder måste vidtas för att minska den totala utrymningstiden.



Figur 10.12 - Sannolikhetsfördelning för utrymningsmarginalen i brandcell 2 med detektionssystem och öppen dörr.

## 10.10 Resultat utrymningssäkerhet efter åtgärder

Resultaten av åtgärdsförslagen visar att den totala utrymningstiden minskar med runt en minut om ett detektionssystem installeras i denna brandcell. Genom att montera dörrstängare på dörren till ventilationsutrymmet kommer branden bli ventilationsbegränsad och inga kritiska förhållanden förväntas uppstå. Ett system för detektion och larmgivning skall trots detta installeras då personerna i byggnaden i alla lägen skall göras uppmärksamma på att en brand uppstår.

Om allt brännbart material flyttas ut ur utrymmet kommer detta innebära att inga kritiska förhållanden förväntas uppstå, men enligt tidigare resonemang anses det vara konservativt att behålla allt brännbart material i denna validering.

I *tabell 10.10* nedan sammanfattas utrymningsresultatet innan och efter åtgärder för detta brandscenario.

Tabell 10.10 – Sammanfattning över utrymningsresultaten i brandcell 2.

Fall	Beskrivning	Resultat
Innan åtgärder	Öppen dörr, inget system för detektion och larmgivning	Utrymning ej slutförd innan det att kritiska förhållanden uppstår. <b>Kraven för säker utrymning uppfylls ej.</b>
Efter åtgärder	Stängd dörr, system för detektion och larmgivning	Inga kritiska förhållanden uppstår. <b>Kraven för säker utrymning uppfylls.</b>

## 11 Brandscenario 8 – Brand under läktare

I detta kapitel beskrivs ett tänkbart brandscenario i ishallen.

### 11.1 Beskrivning

Läktarna är byggda i obehandlat trä. I gångarna under läktarna förvaras mycket brännbart material vilket främst utgörs av kläder, ishockeyutrustning samt trä- och byggmaterial. Läktargångarnas innerväggar och tak utgörs av läktarens undersida. Denna består av en träkonstruktion med plywoodskivor som beklädnad, se *figur 11.1*. Dörrarna till läktargångarna står olåsta varpå alla som befinner sig i ishallen kan ta sig in under läktarna. Samtliga innerväggar i ishallen består av obehandlat trä och bärverket består av obehandlade stålbalkar.

### 11.2 Brandförlopp

Eftersom utrymmet är lättillgängligt finns risken för en anlagd brand och det föreligger även en risk att cigaretter eller annat glödande material i form av bengaliska eldar hamnar i läktargångarna som även används som publikpassage.



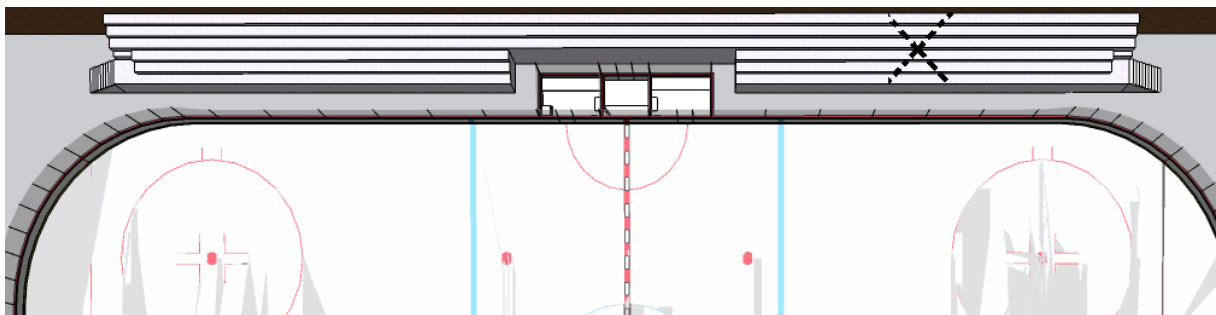
Figur 11.1 – Träläktarens konstruktion.



Figur 11.2 – Material som förvaras i läktargången.

I läktargången, som också används som förråd, förvaras en mängd material som kan ses som tänkbar källa att anlägga en brand i, se *figur 11.2*.

Efter det att en brand startat i någon av de materialansamlingar som finns i läktargången, väntas branden sprida sig till intilliggande väggar, i detta fall läktarens obehandlade träkonstruktion och täckande plywoodskivor. Branden placeras i detta brandscenario enligt *figur 11.3*.



Figur 11.3 – Krysset markerar brandens placering under läktaren.

Brandspridningen riskerar således att även ske till själva ishallens innerväggar. Spridningen sker där vertikalt och förväntas därmed bli snabb. Denna spridning innebär att även de obehandlade stålbalkarna som bär upp taket och dess bärförmåga kan komma att påverkas av branden. Mer om detta i *bilaga P*. Får branden fortsätta utvecklas utan att någon släckinsats görs antas stora delar av läktaren innefattas i branden och effektutvecklingen bli mycket hög.

### 11.3 Effektutveckling

Ett vanligt sätt att beskriva bränders effektutveckling är att ansätta en så kallad  $\alpha^2$ -kurva. Teorin bakom detta förfarande finns i *bilaga E*.

För att ta fram en representativ  $\alpha^2$ -kurva för läktarbrandens förlopp används försöksresultat från National Research Council i Kanada som utfört en mängd brandförsök (Bwala, 2005). Genom att kombinera försök som gjorts på föremål i hårdplast och hängare med textilier erhålls en mängd bränsle som anses representera det brännbara material som finns i läktargången och som i detta scenario ansatts som brandens startkälla, se *figur 11.4*.



Figur 11.4 – Brännbart material under läktare. National Research Council till vänster, Bräcke till höger.

Approximationen ovan anses beskriva startförloppet. För att beskriva förloppet efter det att den intilliggande träkonstruktionen involverats används resultat från brandförsök med plywood från Initial Fires, se *bilaga D*. I försöksuppställningen har en containers innerväggar och tak klätts med plywoodskivor, vilket anses ge en god representation av den aktuella miljön i läktargången (Särdqvist, 1993). Träet antas antända samtidigt som plasten och textilierna och på så sätt kommer tillväxten att beskrivas konservativt.

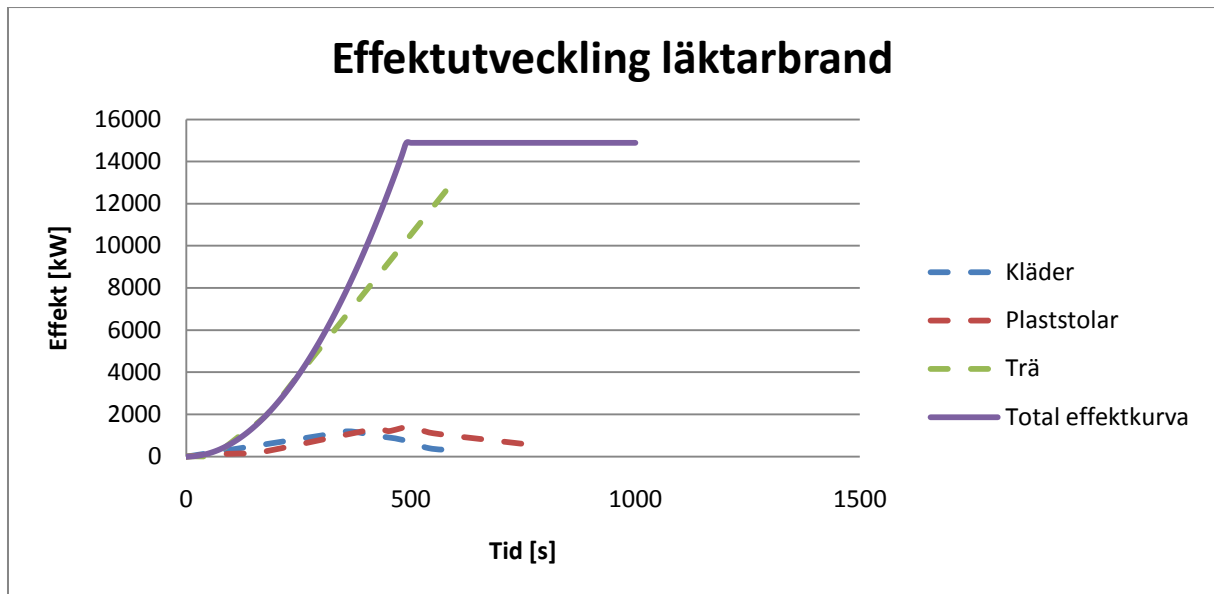
De olika försökens effektkurvor finns i *bilaga D* och en representativ effektkurva för brandförloppet i läktargången erhålls genom att kombinera dessa. Resultatet visas i *figur 11.5*, där det utläses att den totala maxeffekten för brandförloppen inträffar efter ungefär 600 sekunder och är då runt 15000 kW. Ett  $\alpha$ -värde beräknas utifrån detta enligt *bilaga F* till 0,041.

Görs detta enbart för den effektkurva som beskriver träbranden erhålls  $\alpha$ -värdet 0,062 istället. Merparten av det material som kommer brinna i detta scenario utgörs av trä och ett konservativt antagande är då att använda  $\alpha$ -värdet 0,062 i den  $\alpha^2$ -kurva som ansätts i detta scenario. Att använda



träbrandskurvan från Initial Fires medför också att den ugnseffekt som där uppstått i form av återstrålning och direkt flampåverkan från trämaterialen i väggar och tak tas med här.

Kurvans tillväxt antas avstanna och bli konstant efter ungefär 500 sekunder. Vid denna tidpunkt antas brandförloppet ha stabiliserats på sådant sätt att material brinner ut i samma takt som nytt material antänds. Att då ansätta en konstant effekt anses representera detta. Effekten är vid denna tidpunkt ungefär 15000 kW vilket är en mycket kraftig brand. En kontroll av det tillgängliga syret visar att branden kan utveckla denna effekt i runt 40 minuter, se *bilaga G*.



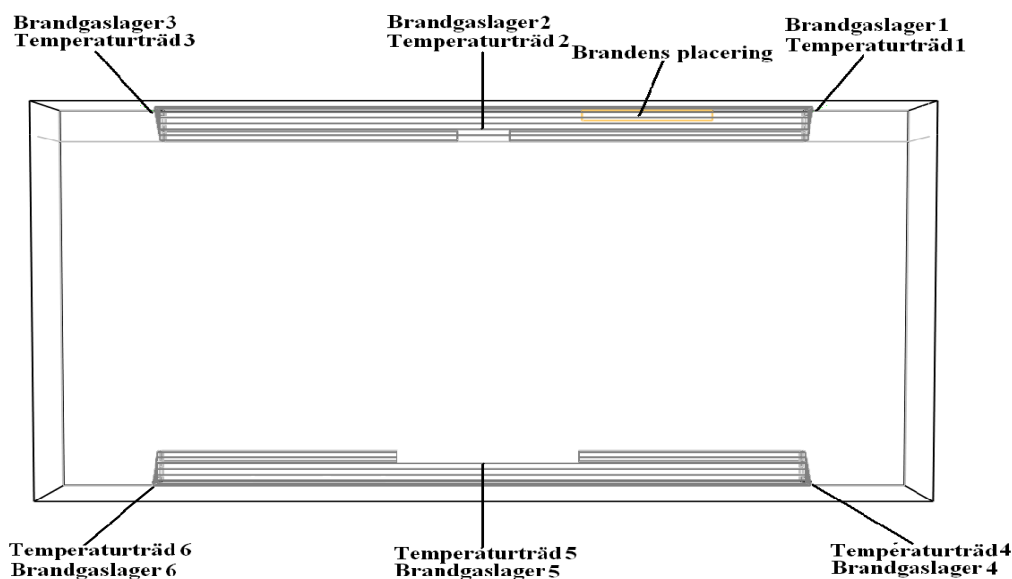
Figur 11.5 – Diagram med samtliga effektutvecklingskurvor för brand under läktare.

#### 11.4 Tid till kritiska förhållanden

Analysmetoden finns som tidigare nämnts detaljerat beskriven i *bilaga H*.

I detta avsnitt presenteras de olika tiderna till kritiska förhållanden med avseende på de fem parametrar som presenteras i *avsnitt 6.2.7*. Med hjälp av FDS har simuleringar gjorts för att få fram tiden till det att kritiska förhållanden uppstår. Läktarbranden har simulerats i ungefär 750 sekunder. Sex mätpunkter har placerats ut enligt *figur 11.6* för att samla in data under simuleringen. Dessa mätpunkter har analyserat brandgaslagrets höjd och temperatur på olika höjder och på så sätt kan tiden till det att kritiska förhållanden uppstår tas fram.

För dessa två parametrar finns det alltså sex uppmätta värden på olika platser i ishallen. I analysen väljs genomgående kortast tid till kritiska förhållanden.



Figur 11.6 – Mätpunkternas placering i brandcell 4.

#### 11.4.1 Brandgaslagrets höjd

I och med läktaren kommer det befinna sig folk på olika nivåer över marken. Kritiska förhållanden kommer inträffa tidigast för personer som befinner sig på den högsta läktarnivån.

Läktaren uppgår på högsta stället till 3,8 meter. Vid utrymning kommer personerna på läktaren att ställa sig upp och därmed blir läktaren dessa personers golvnivå. Höjden till taket för dessa personer blir 3,2 meter. Enligt kriterierna för brandgaslagrets höjd som beskrivs i *avsnitt 6.2.7.1* beräknas den kritiska höjden över högsta läktarnivå med *ekvation 11.1*.

$$1,6 + (0,1 \cdot (7 - 3,8) \text{ meter}) = 1,92 \text{ meter}$$

(Ekvation 11.1)

För de personer som befinner sig på läktarens övre del blir således den kritiska nivån för brandgaslagrets höjd  $1,92 + 3,8 = 5,72$  meter över golvet. Det förväntas befinna sig personer på läktarens övre del under hela utrymningen. Detta då de trappor som leder ner från läktaren är så pass smala att personerna på läktaren inte förväntas kunna röra sig mot lägre läktarnivåer även om de skulle vilja, se *figur K.4, bilaga K*. Tiderna i *tabell 11.1* erhålls ur diagrammen över brandgaslagrets höjd vid de olika mätpunkterna, se *bilaga N*.

Tabell 11.1 – Tid till kritisk höjd på brandgaslagret i brandcell 4.

Brandgaslager vid mätpunkter 5,72 m	Tid till kritisk höjd på brandgaslager [s]
1	310
2	<b>155</b>
3	260
4	175
5	205
6	230
Medelvärde	223

Enligt resultaten från simuleringen i FDS befinner sig brandgaslagret på den kritiska höjden efter ungefär 155 sekunder vid mätpunkt 2. Variationen i tid till kritisk höjd vid de olika mätpunkterna antas bero på brandgasernas benägenhet att sprida sig radiellt innan de sprider sig vertikalt efter det att de nått taket.

För att validera simuleringsresultaten för brandgaslagrets höjd har även handberäkningar gjorts. Tanaka-Yamanas metod har använts och beräkningsgången finns i *bilaga M*. Resultatet från handberäkningarna visar att brandgaslagret når en kritisk höjd efter ungefär 225 sekunder med den tillväxtkoefficient på effektutvecklingen som valts för läktarbranden. Resultatet från handberäkningarna stämmer bra överens med det medelvärde (223 sekunder) som simuleringen i FDS redovisar.

#### 11.4.2 Toxicitet

Det är endast koldioxidhalten som studeras då syretillgången anses vara god i denna brandcell.

När koldioxidhalten överstiger 5 % råder kritiska förhållanden. Då ishallen utgör en stor volym antas brandgaserna bli väl omblandade. Enligt FDS-simuleringarna uppnås kritiska nivåer av koldioxid först efter mycket lång tid. Vid maxtiden för simuleringen kan koldioxidnivåer just över de kritiska observeras i den del av plymregionen som är dold under läktaren, se *figur S.7, bilaga S*.

#### 11.4.3 Temperatur

Den kritiska temperaturen för att säker utrymning ska kunna genomföras är enligt *avsnitt 6.2.7* 80 °C. För denna parameter finns det i FDS-simuleringen sex mätpunkter som alla mäter temperaturen i ishallen vid olika höjder över golvet.

Resultatet från dessa mätpunkter visas i sex grafer, se *bilaga N*. Det är endast i två av dessa (träd 1 och 5) som temperaturen överstiger 80 °C vid någon höjd över golvet.

Genom att studera mätvärdena från FDS-simuleringen kan de tider vid vilka temperaturen överstiger 80 °C erhållas. Enligt samma resonemang som det kring brandgaslagrets höjd kommer personerna som befinner sig på läktarnas högsta nivåer vara de som utsätts för kritiska temperaturer först. Därför studeras temperaturprofilen vid höjden 5,72 meter och lägre. Resultatet visas i *tabell 11.2*.

Tabell 11.2 – Tid till kritisk temperatur brandcell 4.

Temperaturträd	Tid till kritisk temperatur [s]
1	≈ 300
2	≈ 370
3	-
4	-
5	-
6	-

Enligt resultaten från simuleringen i FDS inträffar kritiska förhållanden beträffande temperatur efter ungefär 300 sekunder vid mätpunkt 1.

#### 11.4.4 Sikt

Tiden till dess att sikten understiger 10 meter utifrån FDS-simuleringen är 280 sekunder. Detta illustreras i *figur S.8, bilaga S*.

#### 11.4.5 Strålning

För att kontrollera om den infallande strålningen från brandgaslagret, brandplymen och flammans i ishallen överstiger  $2,5 \text{ kW/m}^2$  har handberäkningar gjorts. Beräkningsgången finns i *bilaga L*.

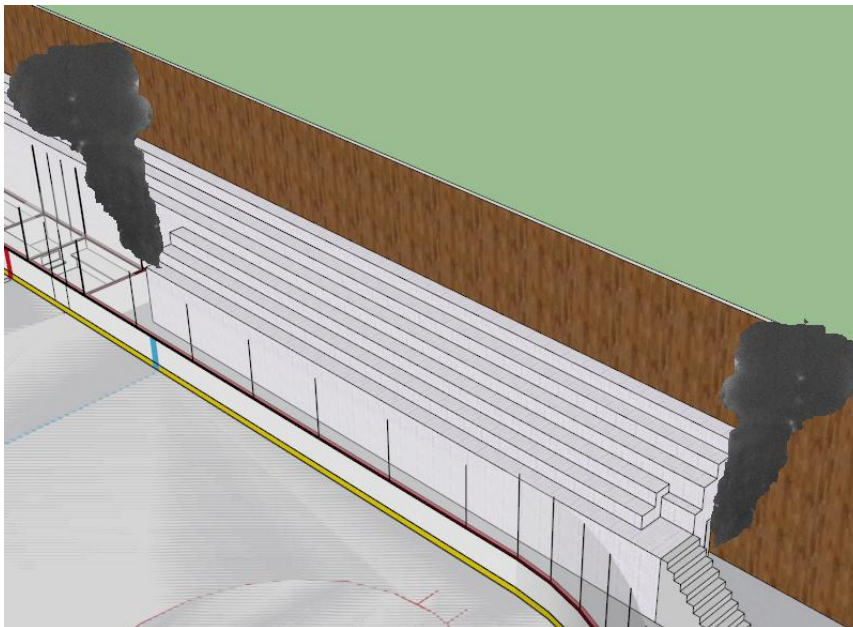
##### 11.4.5.1 Brandgaslager

Strålningen från brandgaslagret uppgår inte till kritiska nivåer i något av beräkningsfallen, se *bilaga L*.

##### 11.4.5.2 Plym och flammor

När personerna på den brandutsatta läktaren skall utrymma ishallen krävs det att de passerar någon av brandplymerna, se *figur 11.7*. Strålningen från brandplymen vid varierande storlekar har beräknats och resultatet redovisas i *bilaga L*. Det visar sig att strålningen från plymen inte överstiger de kritiska strålningsnivåerna så länge flammorna från branden inte är i plymregionen. Efter ungefär 500 sekunder befinner sig flammorna i plymregionen och strålningsintensiteten ökar.

Enligt resultaten från FDS-simuleringen är temperaturen från flammorna högst närmast brandkällan för att avta högre upp. Beräkningarna i *bilaga L* visar att strålningsintensiteten från flammorna är långt över den kritiska nivån vid de högre temperaturerna men ligger på gränsen vid de lägre temperaturerna. Eftersom flammorna börjar nå plymregionen långt in i förloppet och att inga personer vistas nära brandkällan kommer inte strålningsintensiteten från plymerna och flammorna påverka de utrymmande personerna med högre strålningsintensitet än  $2,5 \text{ kW/m}^2$  under 10 minuter.



Figur 11.7 – Brandplymer från branden under läktaren.

#### 11.4.6 Sammanfattning kritiska förhållanden

De olika tiderna till kritiska förhållanden med avseende på olika aspekter illustreras i *tabell 11.3*.

Tabell 11.3 – Tid till kritiska förhållanden i brandcell 4.

Parameter	Tid till kritiska förhållanden [s]
Brandgaslager	(155)
Toxicitet	765
Temperatur	300
<b>Sikt</b>	<b>280</b>
Strålning	Inga kritiska nivåer

Brandgaslagret är alltså nere på en kritisk nivå redan efter 155 sekunder. Dessa brandgaser har vid denna tidpunkt dock inte nått några kritiska nivåer beträffande vare sig sikt eller toxicitet. Först efter 280 sekunder understiger sikten den kritiska nivån tio meter och blir därmed den styrande parametern. Det skall dock nämnas att branden fortsätter att växa exponentiellt i ungefär 250 sekunder efter det att kritiska förhållanden har uppstått. De kritiska förhållandena kan alltså övergå till direkt dödliga förhållanden för det stora antal människor som ännu inte hunnit utrymma.

Brandförloppet vid olika tider finns illustrerat i *figur S.9 – S.13, bilaga S*.

## 11.5 Utrymning

I detta avsnitt ges en beskrivning av hur utrymningen av ishallen förväntas gå till.

### 11.5.1 Förlopp

Det sitter mellan fem och sju personer i speakerbåset<sup>4</sup>. Det antas vara någon av dessa personer som får fungera som larm då sådant saknas på anläggningen. Det finns ett PA-system med åtta högtalare i ishallen och meddelanden från speakerbåset når alla i publiken genom detta. Matchen förväntas avbrytas så fort larmet kommer.

### 11.5.2 Varseblivningstid

Varseblivningstiden för personerna i ishallen antas bestå av tre delar. Först och främst handlar det om tiden till dess att de personerna i publiken som sitter direkt över branden upptäcker den. Därefter tiden till dess att funktionärerna i speakerbåset blivit medvetna om att det brinner. Denna tid behandlas separat då funktionärerna förväntas vara de som gör övriga delar av publiken uppmärksamma på att en brand utbrutit i ishallen. Avslutningsvis består varseblivningstiden av den tid det tar för funktionärerna att fatta beslut om att larma. Det är nämligen först efter det att larmet gått ut som majoriteten av personerna i ishallen kommer bli varse om att det brinner.

#### 11.5.2.1 Publik

Det är relativt mörkt i ishallen. Läktarna antas vara fullsatta. Dessa två parametrar kommer försvåra upptäckten av brandgaser från den motstående läktaren. Det är således publiken på den brandutsatta läktaren som antas upptäcka branden först, på grund av värmestrålningen från flammorna och lukten av bränt. Dessa kommer förstå *att* det brinner men inte med säkerhet *var* det brinner. Tiden triangelfördelas enligt *tabell 11.4* och är baserad på visuella iakttagelser av *figur S.9 – S.13, bilaga S*.

<sup>4</sup> Kanslist Camilla Nenzén, Bräcke ishall. Platsbesök 2011-02-07

Tabell 11.4 – Varseblivningstider för publiken i brandcell 4.

Fall	Tid [s]
Bästa	60
Troligaste	80
Värsta	120

### 11.5.2.2 Funktionärer

Även funktionärerna i speakerbåset kommer att nås av röklukten. Värmestrålningen kommer dock inte bli lika påtaglig för dessa som för de personer i publiken som befinner sig rakt ovanför branden. Speakerbåset ligger i direkt anslutning till sittplatserna och det är enkelt att kommunicera mellan dessa båda delar av läktaren, se *figur 11.8*. Den extra tid det tar till dess att även funktionärerna är varse om branden och var den befinner sig antas triangelfördelas enligt *tabell 11.5*.

Tabell 11.5 – Varseblivningstid för funktionärer.

Fall	Tid [s]
Bästa	10
Troligaste	20
Värsta	30



Figur 11.8 – Speakerbåsets placering i förhållande till läktaren.

### 11.5.2.3 Tid till beslut att larma

Det sitter mellan fem och sju funktionärer i speakerbåset. Detta är personer som är vana att kommunicera med publiken då de ropar ut matchinformation under matchen. Detta gör att tiden för beslutet att larma publiken anses bli något kortare än om det skulle vara en person ovan vid detta. Det finns i dagsläget dock inga som helst rutiner för hur funktionärerna skall handla i en händelse som denna, varför tiden trots allt förväntas bli relativt lång. Tiden triangelfördelas enligt *tabell 11.6*.

Tabell 11.6 – Tid till beslut att larma publiken i brandcell 4.

Fall	Tid [s]
Bästa	20
Troligaste	30
Värsta	40

### 11.5.3 Förberedelsetid

Förberedelsetiden för personerna i ishallen antas också den bestå av tre delar. Dessa delar är meddelandetid, beslut hos publiken att förflytta sig samt tid för att samla ihop tillhörigheter och anhöriga.

#### 11.5.3.1 Meddelandetid

Larmet kommer då bestå av ett talat meddelande, dock inte ett inspelat sådant. Dessutom saknas det i dagsläget som tidigare nämnts rutiner för meddelanden som detta vilket innebär att meddelandet till stor del kommer att bli improviserat. Tiden för själva meddelandet anses därför kunna variera enligt *tabell 11.7*.

Tabell 11.7 – Tid det tar för att läsa upp utrymningsmeddelandet.

Fall	Tid [s]
Bästa	15
Troligaste	25
Värsta	35

#### 11.5.3.2 Beslut hos publiken att förflytta sig

Denna tid beror av två saker, nämligen funktionärernas meddelande och om publiken själva kan göra visuella observationer av branden eller av brandgaserna. Om publiken både ser brandsignaturer och hör det talade larmet antas tiden för beslut om förflyttning bli kortare än om publiken bara hör meddelandet. Om publiken inte ser några brandsignaturer antas tiden till beslut bli något längre, då publiken för bara några sekunder sedan var mitt uppe i matchen och inställda på att inte lämna läktaren än på ett tag. Läktarna är fullsatta och då det endast finns utgångar på kortsidorna innebär detta att personerna längst ut måste röra på sig innan resten av läktaren kan börja utrymmas. Majoriteten av publiken måste alltså vara av den allmängiltiga uppfattningen att det är dags att lämna ishallen innan själva utrymningen kan påbörjas.

Genom att addera väntevärdena för tiderna fram till detta skede av utrymningen erhålls den ungefärliga tiden 155 sekunder. Ur *figur 5.9 – 5.13, bilaga 5*, kan det utläsas att det från den motstående läktaren vid den här tiden kan siktas ordentligt med svart rök och att ett brandgaslager bildats i taket över läktaren. För personerna på den brandutsatta läktaren befinner sig brandgaslagret vid den här tiden på en nivå som är kritisk enligt *avsnitt 6.2.7*.

Tiden för beslut om förflyttning kommer vara kortare för personerna på den brandutsatta läktaren än för de som befinner sig på den motstående. Dessa förväntas vilja lämna ishallen tämligen omgående på grund av de kritiska förhållanden som råder vid den här tidpunkten. Riktigt lika snabbt förväntas det inte gå för personerna på motstående läktare. I och med detta triangelfördelas tiden enligt *tabell 11.8*.

Tabell 11.8 – Tid till beslut att utrymma hos personer i brandcell 4.

Fall	Tid [s]
Bästa	15
Troligaste	30
Värsta	60

### 11.5.3.3 Tid att samla ihop tillhörigheter och anhöriga

Det personerna på läktarna gör under denna tid är att försäkra sig om att man har med sig det viktigaste av sina tillhörigheter. Föräldrar med barn kommer se till att dessa är med. Tidens fördelning presenteras i *tabell 11.9*.

Tabell 11.9 – Tid för personer att samla ihop tillhörigheter och anhöriga i brandcell 4.

Fall	Tid [s]
Bästa	5
Troligaste	10
Värsta	15

### 11.5.4 Förflyttningstid

För att uppskatta förflyttningstiden används som tidigare nämnts simuleringsprogrammet Simulex (IESL, 2009). Teorin bakom programmet finns i *bilaga H* och försöksuppställningen finns i *bilaga K*. Tre simuleringar görs, en för varje fall.

#### 11.5.4.1 Bästa fallet

Samtliga 500 personer väljer den utgång som är närmst.

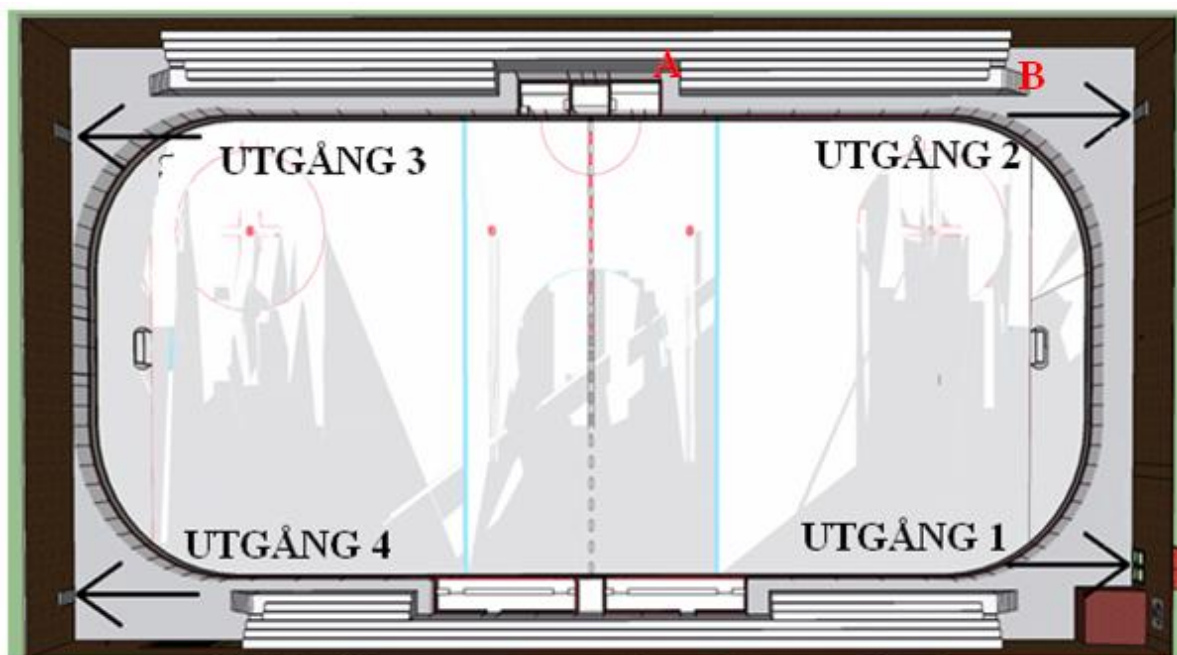
#### 11.5.4.2 Mest troliga fallet

Personerna i de två ishockeylagen väljer att utrymma via servicedelen, som är den väg de anlände till ishallen via.

Majoriteten, ca 60 %, av publiken på den icke-brandutsatta läktaren förväntas välja att utrymma via publikentrén, utgång 1 i *figur 11.9*. Övriga utrymmer via den närmsta utgången, det vill säga utgång 4 i samma figur.

Majoriteten av publiken på den brandutsatta läktaren, ca 80 %, förväntas välja att utrymma via utgång 3 då de troligen inte kommer utrymma genom brandplymerna, A och B i *figur 11.9*. De personer som befinner sig mellan plymerna väljer närmsta utgång.





Figur 11.9 – Översiktsbild brandcell 4 med nödutgångar och brandplymer utmärkta.

#### 11.5.4.3 Värsta fallet

Samtliga 500 personer väljer att utrymma via publikentrén. Undantaget är funktionärerna som i så fall tvingas gå genom läktargången och på så sätt passera branden. Dessa väljer att istället utrymma via utgång nummer 3 i figur 11.9.

De tre tiderna triangelfördelas enligt tabell 11.10:

Tabell 11.10 – Förflyttningstid i brandcell 4.

Fall	Tid [s]
Bästa	150
Troligaste	240
Värsta	300

Exempel på simuleringen i Simulex finns i bilaga K.

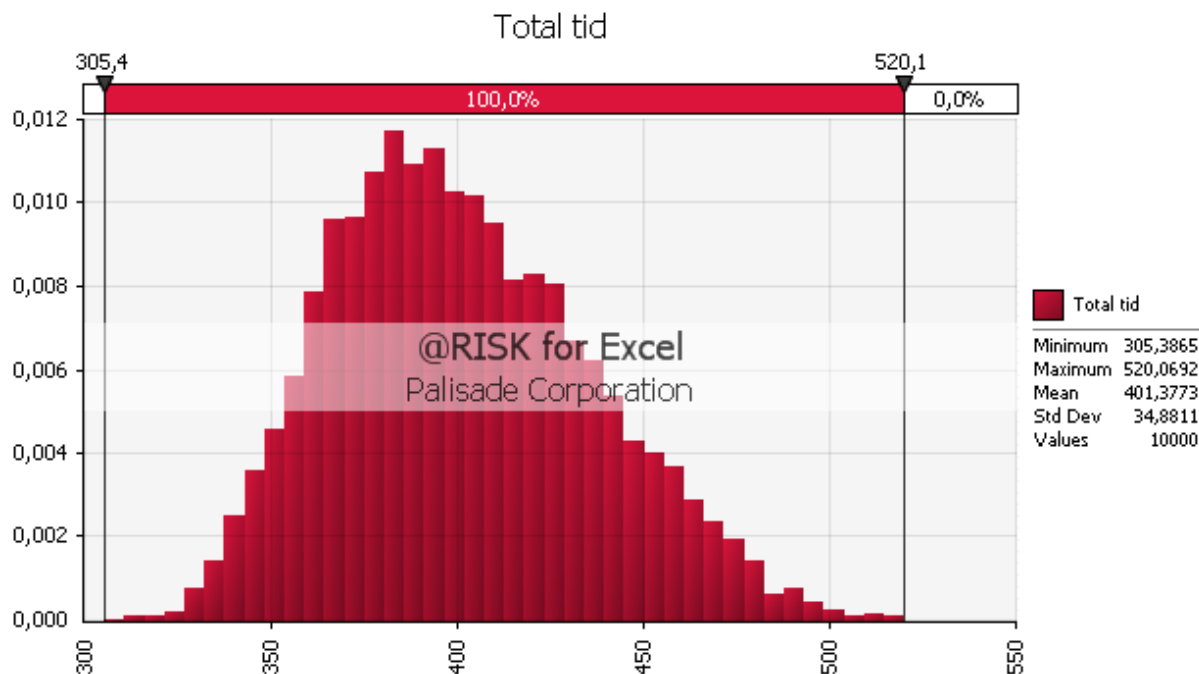
### 11.5.5 Total tid för utrymning

Den totala tiden för utrymning erhålls genom att addera tidernas triangel-fördelningar i *tabell 11.11* i @RISK (Palisade Corporation, 2008). En Monte Carlo-simulering med 10 000 iterationer görs. Resultatet i *figur 11.10* visar den totala utrymningstidens fördelning.

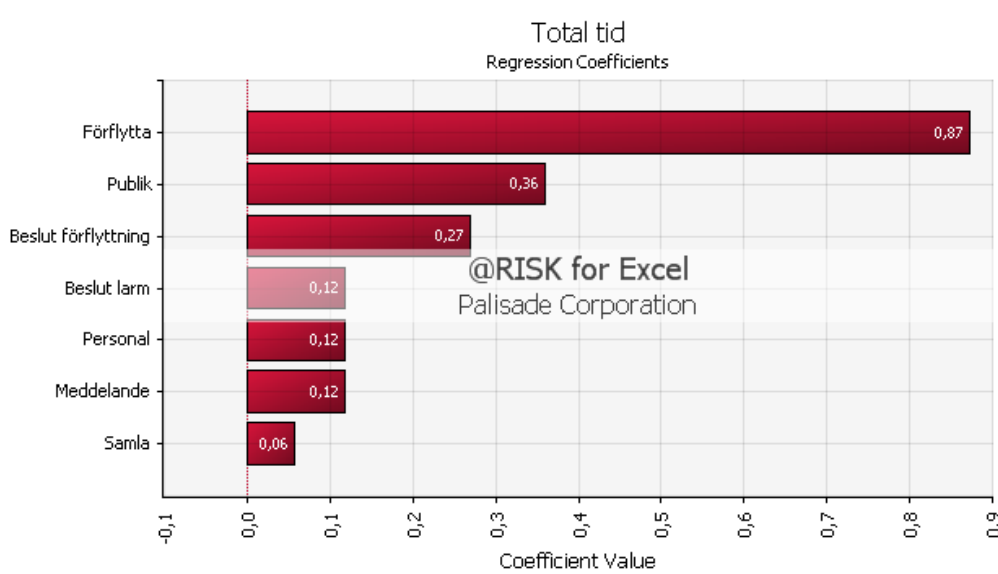
Tabell 11.11 – Indata för sannolikhetsfördelning i @RISK.

Varseblivningstid	Fördelning i @RISK
Publik	=RiskTriang(60;80;120)
Funktionärer	=RiskTriang(10;20;30)
Tid till beslut att larma	=RiskTriang(20;30;40)
<b>Förberedelsestid</b>	
Meddelandetid	=RiskTriang(15;25;35)
Tid för beslut att utrymma	=RiskTriang(15;30;60)
Samla ihop	=RiskTriang(5;10;15)
<b>Förflyttningstid</b>	
Utrymning	=RiskTriang(150;240;300)

Utrymningen tar maximalt runt 520 sekunder, med ett väntevärde på ungefär 400 sekunder, se *figur 11.10*.



Figur 11.10 - Sannolikhetsfördelning över den totala utrymningstiden i brandcell 4.

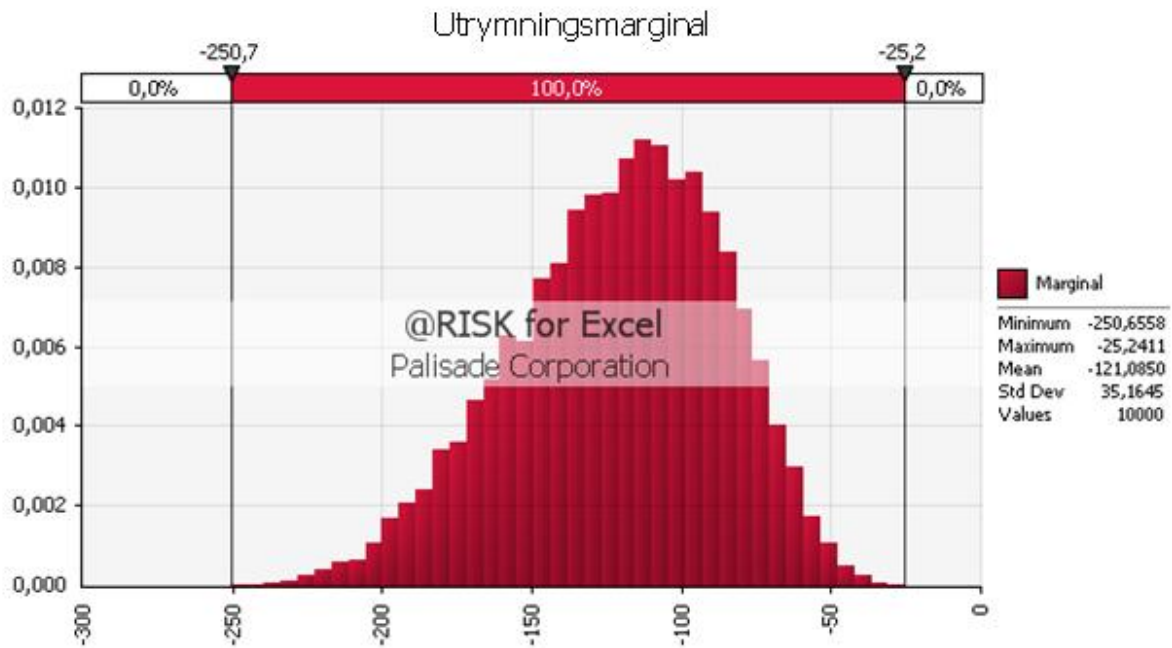


Figur 11.11 – Känslighetsanalys över den totala utrymningstiden i brandcell 4.

Känslighetsanalysen på den totala utrymningstiden visar att variabeln förflyttning har den överlägset största betydelsen av variablerna för den totala utrymningstiden, se *figur 11.11*. Det är svårt att göra något åt förflyttningstiden utan att göra några ombyggnationer så som att bredda befintliga läktartrappor och bygga nya som leder direkt ut i det fria från långsidan. Nummer två på listan i känslighetsanalysen är publikens varseblivningstid. Denna variabel kan kortas ner genom att till exempel installera ett system för detektion och larmgivning i ishallen.

### 11.6 Resultat utrymnings säkerhet innan åtgärder

Det första kriteriet för kritiska förhållanden inträffar efter ungefär 155 sekunder och gäller då brandgaslagrets höjd. Dessa brandgaser har vid denna tidpunkt dock inte nått några kritiska nivåer beträffande vare sig sikt eller toxicitet. Först efter runt 280 sekunder understiger sikten den kritiska nivån tio meter. Alltså är det efter 280 sekunder som kritiska förhållanden uppstår i ishallen. Genom att subtrahera tiden för fördelningen för utrymning från tiden till det att kritiska förhållanden uppstår erhålls en fördelning för utrymningsmarginalen som illustreras i *figur 11.12*.



Figur 11.12 – Sannolikhetsfördelning för utrymningsmarginalen i brandcell 4.

Resultatet visar att ingen av personerna i ishallen kommer lyckas utrymma innan kritiska förhållanden uppstår. Väntevärdet för utrymningsmarginalen blir ungefär -120 sekunder vilket betyder att genomsnittspersonen hade behövt utföra sin utrymning minst 120 sekunder snabbare.

I dagsläget uppfylls alltså inte kriterierna för säker utrymning i ishallen. Åtgärder måste därmed vidtas.

Då kriterierna för säker utrymning inte uppfylls kommer heller inga vidare beräkningar att göras på huruvida stålbärverkets hållfasthet reduceras eller inte. Detta eftersom det redan påvisats att ishallen inte kan utrymmas tillräckligt snabbt och en analys av stålbärverket inte kommer påverka beslutet om att vidta åtgärder.

## 11.7 Åtgärdsförslag

Genom att klä en vägg med en standardgipsskiva med tjockleken 13 mm förbättras brandbeständigheten i väggen avsevärt. Gipsskivan förhindrar brandspridning till träläktaren i ungefär 15 minuter (Gyproc AB, 1999).

Arbetet med att klä läktargångarna invändigt med gips är redan påbörjat på anläggningen, se *figur 11.13*. Med denna inklädningssteknik döljs det mesta av träet, även de träbalkar som finns.

Dessutom bör ishallens samtliga innerväggar som i dagsläget består av en obehandlad träpanel kläs med gipsskivor på samma sätt eller brandskyddas på annat sätt för att förhindra brandspridning till dessa.

Att använda läktargångarna som förrådsutrymmen förväntas inte kunna undvikas helt och hållet. Även om allt material flyttas undan vid ett tillfälle kommer det förr eller senare förmodligen finnas material där igen. Därför antas en viss mängd brännbart material finnas i läktargången även efter det att åtgärder vidtagits. Detta är ett konservativt antagande.

Nedan listas förslag på åtgärder som direkt berör detta brandscenario

- Läktargångarna kläs invändigt med ett lager 13 mm-gipsskivor.
- Läktargångarna upphör användas som förrådsutrymme.
- Samtliga innerväggar i ishallen, som i dagsläget består av en obehandlad träpanel, kläs med ett lager 13 mm-gipsskivor eller brandskyddas på annat sätt. Denna brandskyddande behandling bör minst utföras upp till en höjd av två meter över vistelsenivå i ishallen.
- Larmknappar för manuell aktivering av larmet skall installeras i speakerbåset och på strategiskt utvalda platser i ishallen i händelse av obemannat speakerbåset.
- Ett system för detektion och larmgivning bör installeras i läktargångarna, då eventuella bränder i dessa till en början är dolda.

## 11.8 Brandförlopp efter åtgärder

Om arbetet med att klä in läktargångens insidor samt ishallens innerväggar med gips utförs tillfredsställande kommer detta förhindra att branden sprider sig till läktaren. Detta medför att det endast är det brännbara förrådsmaterial i form av kläder, hockeyutrustning och liknande som kan brinna.

### 11.8.1 Effektutveckling efter åtgärder

I den nya effektutvecklingen, efter vidtagna åtgärder, kommer inget trä att involveras i branden och den maximala effekten för läktarbranden kommer reduceras kraftigt, se *figur 11.14*. Det är därför viktigt att allt trä i läktargången kläs in noga med gips. Om detta inte följs kommer effektutvecklingen att bli mycket högre än vad som visas i *figur 11.14*.



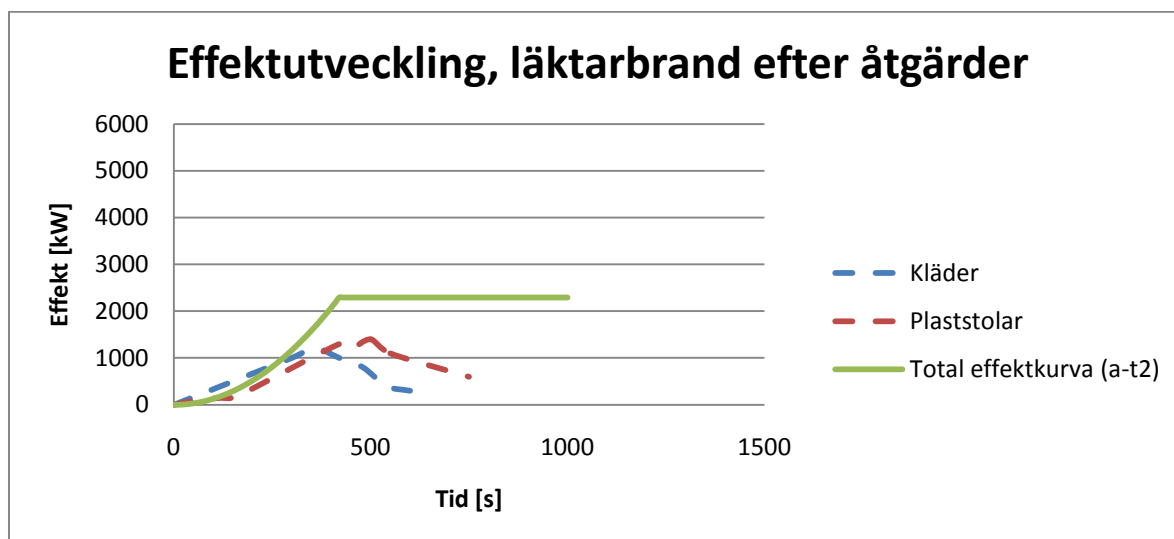
Figur 11.13 – Påbörjad gipsinklädnad av läktargången

Ett konservativt antagande i arbetet med framtagandet av den nya effektutvecklingen, med vidtagna åtgärder, är att låta all den mängd brännbart material som i brandscenariot utan åtgärder finnas kvar i läktargången även i detta scenario.

Tillvägagångssättet för att ta fram den nya effektutvecklingen är identisk med tidigare men med skillnaden att det nu inte ingår något trä i brandförloppet. Den nya effektutvecklingen efter åtgärder har en maxeffekt på 2300 kW och ett beräknat  $\alpha$ -värde på  $0,013 \text{ kW/s}^2$ , se *bilaga F*. Denna betydligt långsammare tillväxt beror till mångt och mycket på att den tidigare ugnseffekten uteblir. Maxeffekten nås efter cirka 420 sekunder och antas därefter vara konstant. Detta är ett mycket konservativt tillvägagångssätt då mängden brännbart material i läktargången inte kan anses som vara tillräcklig för att underhålla en brand med denna maxeffekt under någon längre tid.

Det görs inga nya syreberäkningar för denna effektutveckling eftersom syret var tillräckligt för den högre effektutvecklingen i samma lokal.

Den nya lägre maxeffektutvecklingen på 2300 kW kan jämföras med den tidigare som uppgick till 15000 kW. Brandens maximala effektutveckling har minskats drastiskt.



Figur 11.14 – Diagram med samtliga effektutvecklingskurvor för brand under läktare efter åtgärder.

## 11.9 Validering av åtgärder

Nya simuleringar rörande brandförlopp och utrymning utförs med de nya förutsättningarna.

### 11.9.1 Tid till kritiska förhållanden

Tillvägagångssättet är detsamma som i *avsnitt 11.4*.

#### 11.9.1.1 Brandgaslagrets höjd

Precis som tidigare är det tiden till dess att brandgaslagret befinner sig 5,72 meter över golvet som studeras.

Tiderna i *tabell 11.12* erhålls ur diagrammen över brandgaslagrets höjd vid de olika mätpunkterna, se *bilaga N*.

Tabell 11.12 – Tid till kritisk höjd på brandgaslagret i brandcell 4 efter åtgärder.

Brandgaslager, 5,72m	Tid till kritisk höjd på brandgaslager [s]
1	425
<b>2</b>	<b>215</b>
3	370
4	305
5	360
6	415

Enligt resultaten från simuleringen i FDS befinner sig brandgaslagret på denna höjd efter ungefär 215 sekunder vid mätpunkt 2, se *figur 11.6*.

Inga nya handberäkningar för jämförelse görs då det i tidigare avsnitt påvisats att dessa stämmer väl överens med simuleringsresultatet.

#### 11.9.1.2 Toxicitet

Inga kritiska nivåer av koldioxid nås under simuleringen, se *figur S.14, bilaga S*.

#### 11.9.1.3 Temperatur

Inga kritiska temperaturer nås vid någon av mätpunkterna, se *bilaga N*.

#### 11.9.1.4 Sikt

Enligt *figur S.15, bilaga S*, understiger sikten inte 10 meter någon gång under simuleringen.

#### 11.9.1.5 Strålning

Då inga kritiska strålningsnivåer från plymen nåddes innan åtgärder, vid högre temperaturer, görs ingen ny kontroll av detta.

### 11.9.2 Sammanfattning kritiska förhållanden

De olika tiderna till kritiska förhållanden med avseende på olika aspekter illustreras i *tabell 11.13*.

Tabell 11.13 – Tid till kritiska förhållanden i brandcell 4 efter åtgärder.

Parameter	Tid [s]
Brandgaslager	(215)
Toxicitet	Inga kritiska nivåer
Temperatur	Inga kritiska nivåer
Sikt	Inga kritiska nivåer
Strålning	Inga kritiska nivåer

Brandgaslagret är alltså nere på en kritisk nivå efter ungefär 215 sekunder. Dessa brandgaser har vid denna tidpunkt dock inte nått några kritiska nivåer beträffande vare sig sikt eller toxicitet och gör heller inte det under hela det simulerade brandförloppet. Inga kritiska förhållanden kommer alltså uppstå i ishallen så länge gipsskivornas beständighet är intakt. Brandförloppet vid olika tider illustreras i *figur S.16 – S.20, bilaga S*.

### 11.9.3 Total tid för utrymning

Gipsskivorna förväntas som tidigare nämnts motverka brandspridning till träet i läktaren i ungefär 15 minuter. Därför görs en analys av den totala utrymningstiden för att kontrollera att denna inte överstiger 15 minuter. Den stora skillnaden i utrymningstid kommer nu vara den längre varseblivningstiden som kommer bli en följd av det långsammare brandförloppet. I detta valideringsförfarande antas inget system för detektion vara installerat i läktargångarna.

Som tidigare är det visuella iakttagelser av *figur S.16 – S.20, bilaga S* som ligger som grund till skattningarna av varseblivningstiden. Denna förväntas nu fördelas enligt *tabell 11.14*. Larmet kan nu bestå av antingen funktionärernas talade meddelande eller en manuellt aktiverad larmsignal. I denna validering antas funktionärerna befinna sig i speakerbåset och på så sätt kunna larma publiken genom ett talat meddelande.

Den enda parameter som ändras efter åtgärder är varseblivningstiden. Indata till simulering i @RISK redovisas i *tabell 11.15*. Den totala tiden för utrymning efter åtgärder redovisas i *figur 11.15*.

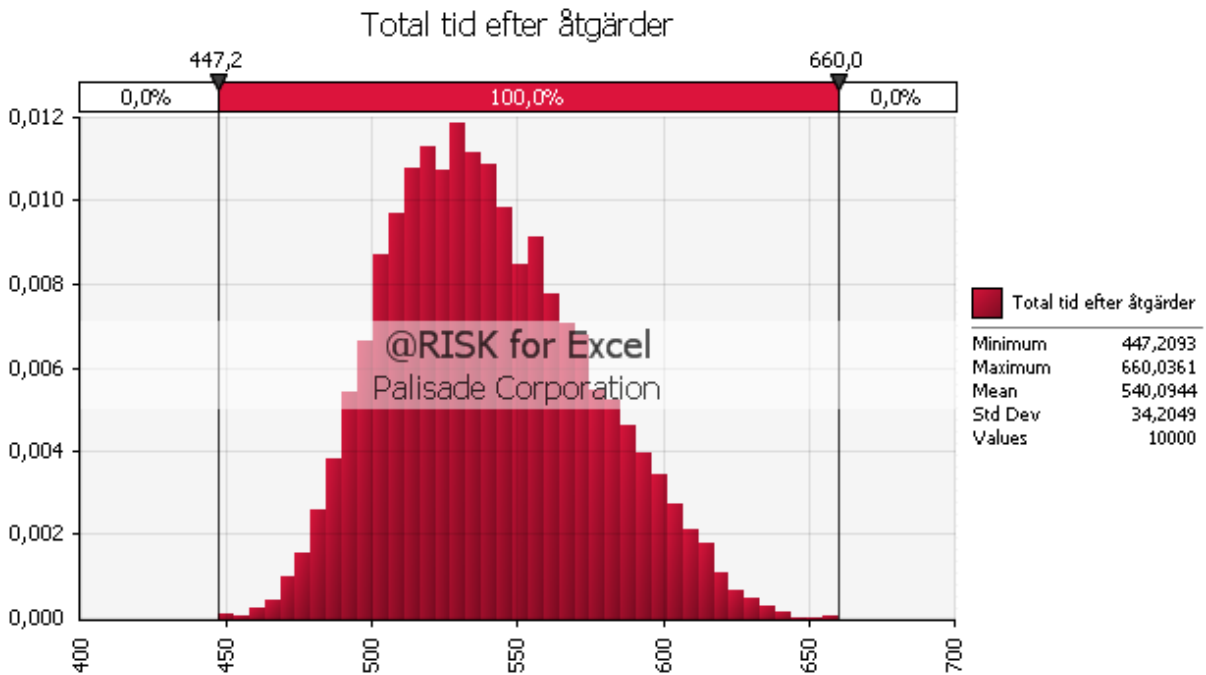
Tabell 11.14 – Varseblivningstid i brandcell 4 efter åtgärder.

Fall	Tid
Bästa	200
Troligaste	225
Värsta	250

Tabell 11.15 – Indata för sannolikhetsfördelning i @RISK efter åtgärder.

Varseblivningstid	Fördelning i @RISK
Publik	=RiskTriang(200;225;250)
Funktionärer	=RiskTriang(10;20;30)
Tid till beslut att larma	=RiskTriang(20;30;40)
<b>Förberedelsetid</b>	
Meddelandetid	=RiskTriang(15;25;35)
Tid för beslut att utrymma	=RiskTriang(15;30;60)
Samla ihop	=RiskTriang(5;10;15)
<b>Förflyttningstid</b>	
Utrymning	=RiskTriang(150;240;300)





Figur 11.15 – Sannolikhetsfördelning över den totala utrymningstiden i brandcell 4 efter åtgärder.

### 11.10 Resultat utrymningssäkerhet efter åtgärder

Simuleringarna visar att alla personer hunnit utrymma ungefär elva minuter efter det att branden startat. Gipsets beständighet är vid denna tidpunkt fortfarande intakt då den förväntas vara det i ungefär 15 minuter.

Stålbärverkets bärförmåga kontrolleras i *bilaga P*. Simuleringarna visar att temperaturen i brandgaslagret inte kommer överstiga 450 °C, vilket innebär att takfackverken inte heller riskerar att värmas upp till denna kritiska temperatur. Däremot kan flammans temperatur vida överstiga denna gräns. Detta innebär att om branden står i direkt anslutning till bärverket kan temperaturen i stålet överskrida 450 °C och därmed tappa sin bärförmåga.

Det skall dock påpekas att FDS endast är ett simuleringsverktyg och att resultaten beror på vilka antaganden som görs vid inställningarna av simuleringen. I simuleringarna är antagandet just för flammen konservativa, vilket innebär att temperaturerna överskattas.

Slutsatsen är att det inte kan uppkomma en brand som påverkar nockfackverket i taket på ett sådant sätt så att detta kan kollapsa inom 30 minuter. Därför krävs inga åtgärder för dessa. Däremot kan det inte uteslutas att stålpelarna bakom läktaren kommer att utsättas för temperaturer över de kritiska på grund av direkt flampåverkan. Därför bör dessa behandlas med någon form av brandskyddande beklädnad.

I *tabell 11.16* nedan sammanfattas utrymningsresultaten innan och efter åtgärder för detta brandscenario.

Tabell 11.16 – Sammanfattning över utrymningsresultaten i brandcell 4.

<b>Fall</b>	<b>Beskrivning</b>	<b>Resultat</b>
Innan åtgärder	Läktargången är oskyddad	Utrymning ej slutförd innan det att kritiska förhållanden uppstår. <b>Kraven för säker utrymning uppfylls ej.</b>
Efter åtgärder	Läktargången är inklädd med gips	Inga kritiska förhållanden uppstår. <b>Kraven för säker utrymning uppfylls.</b>

## 12 Åtgärdsförslag

*I detta kapitel presenteras alla åtgärdsförslag rörande brandskyddet på Bräcke ishall som kunnat identifieras i denna rapport.*

Åtgärdsförslagen är uppdelade i två kategorier. Dels åtgärder som måste vidtas för att uppfylla kraven på personsäkerhet och dels åtgärder som bör genomföras för att ytterligare öka personsäkerheten på anläggningen. Under åtgärdsrubriken "bör" finns det också en del riktlinjer utifrån BBR för förenklad dimensionering som anses vara relevanta för Bräcke Ishall. Samtliga förslag är listade utan inbördes ordning.

### 12.1 Skall

- Det systematiska brandskyddsarbetet skall förbättras genom till exempel utbildning så att det täcker in hela anläggningen och sker tillfredsställande på alla punkter. Ordentliga rutiner och ansvarsfördelning för utrymning skall införas. Detta gäller framförallt ishallen, där funktionärerna i speakerbåset skall vara införstådda med vad som behöver göras för att bidra till en effektiv utrymning.
- Läktargångarnas inre skall kläs in med 13 mm gipsskivor på ett sådant sätt att inget oskyddat trä exponeras.
- Ishallens innerväggar och bärverkspelare i stål skall brandskyddsbehandlas genom gipsinklädning, brandskyddsmålning eller annan motsvarande åtgärd upp till en fix höjd om 2 meter över vistelsenivå för att förhindra anlagd brand.
- Ett seriekopplat system för detektion och larmgivning skall installeras i samtliga brandceller i servicedelen. Detta larm skall utformas på sådant sätt att det ljuder i hela byggnaden vid aktivering.
- Larmknappar för manuell aktivering av larmet skall installeras i speakerbåset och på strategiskt utvalda platser i ishallen i händelse av obemannat speakerbås.
- Dörrar mellan brandceller skall förses med skyltar som meddelar att dessa skall hållas stängda.
- Samtliga dörrar som kan användas som utrymningsvägar skall ha godkända nödöppningsbeslag.
- Skylt som anger det maximalt tillåtna antalet personer i ishallen skall finnas i anslutning till publikentrén.
- Handikappsparkeringen utanför brandcell 1 skall flyttas så att den inte blockerar utrymningsvägen.
- Samtliga dörrar i brandcell 2 skall förses med dörrstängare.

### 12.1.1 Ammoniakhantering

Dessa åtgärdsförslag är resultat från den analys av ammoniakhanteringen som gjorts, se *bilaga C*.

- Temperaturutjämningsfläkten skall stängas av vid signal från ammoniakgivaren.
- Porten till ishallen skall tätas.
- En varningsskylt skall placeras på fasaden med en text som informerar om katastrofventilationens utlopp.
- Potentiella tändkällor skall undanröjas i frysmaskinsrummet.
- En larmsignal skall kopplas till ammoniakgivaren så att larm ljuder i hela byggnaden.
- Kontinuerlig service på kylanläggningen skall genomföras.

### 12.2 Bör

- Fler handbrandsläckare bör placeras ut både i servicedelen och i ishallen.
- Ett system för detektion och larmgivning bör installeras i läktargångarna.
- Brandbelastningen bör minskas i utrymmen som inte är rena förrådsutrymmen.
- Nödbelysning bör installeras på anläggningen.
- När anläggningen stängs ner för kvällen bör det finnas rutiner bland de som lämnar sist som säkerställer att samtliga utgångar och fönster är stängda och låsta.
- Samtliga utrymningsskyltar på anläggningen bör ses över så att dessa är utformade och placerade enligt AFS 2010:13.
- Regelbunden tillsyn och underhåll bör genomföras på all elektronisk utrustning på anläggningen.

## 13 Osäkerhetsanalys

I detta kapitel ges en beskrivning av de osäkerheter som är förenade med rapportens resultat.

De resultat som erhållits i denna rapport grundar sig på beräkningar, antaganden och analyser. Således innehåller resultaten osäkerheter som uppkommer på grund av de program och metoder som använts. Osäkerheter delas in i naturliga variationer och kunskapsosäkerheter.

De naturliga variationerna går inte att eliminera då de är slumpmässiga men det är viktigt att vara medveten om dess existens och granska resultaten noggrant. Genom att använda statistik och mätningar går det att minska en del av osäkerheterna men slumpmässig variation kommer likväl alltid att förekomma.

Kunskapsosäkerheter kan utgöras av osäkerheter i arbetsmetoden och de indata som väljs för att nå ett resultat. Kunskapsosäkerheter kan även utgöras av kunskapsbegränsningar hos användare av till exempel datorprogram och beräkningsmetoder. Exempel på kunskapsosäkerhet i rapporten är handberäkningarnas giltighet och vald indata till FDS.

I rapporten har följande osäkerheter som kan ha betydelse för resultaten identifierats (utan inbördes ordning)

- Inbyggda osäkerheter finns i programmen på grund av begränsningar, antaganden och ekvationer. De specifika osäkerheterna för de olika programmen återfinns i *bilaga H*, i direkt anslutning till informationen om och teorin bakom dessa program.
- Resultaten från programmen bygger fullständigt på de indata som ges, som i sin tur i många fall bygger på antaganden och bedömningar. Osäkerheter i indata innebär osäkerheter i resultaten.
- De effektkurvor som används för simuleringarna bygger på försök i litteratur.
- De tillväxtkoefficienter som används för simuleringarna bygger på försök i litteratur.
- Triangelfördelningarna som används i @RISK är framtagna med hjälp av litteratur och visuella, subjektiva bedömningar från simuleringensresultaten.
- Personers beteende vid brand är svårt att uppskatta.
- Vid simuleringar i FDS har byggnadens geometri förenklats något enligt det som beskrivs i *bilaga I*.
- Mycket av underlaget till analyserna är grundade på hur byggnadens beskaffenhet var vid tillfället för platsbesöket.
- Tidsbegränsningen på projektet innebär att alla osäkerheter förmodligen ej har kunnat identifieras.

Trots de osäkerheter som tas upp ovan är rapportens resultat baserat på beprövade metoder som får anses som accepterade och vedertagna på området. Således bör resultaten i denna rapport ses som riktiga indikationer även om de inte är exakta.

## 14 Diskussion

*I detta kapitel ges en diskussion kring rapportens innehåll, de antaganden och förenklingar som gjorts samt de resultat som erhållits.*

Alla ägare av byggnader är, enligt lagen om skydd mot olyckor (SFS 2003:778), skyldiga att se till att ett skäligt brandskydd finns och att bränders uppkomst förebyggs.

Det befintliga brandskyddet på Bräcke ishall är i dagsläget inte skäligt enligt lagen om skydd mot olyckor. En effekt av detta är att Jämtlands räddningstjänstförbund har begränsat det maximalt tillåtna personantalet på anläggningen till 150 istället för 500. En analytisk dimensionering måste genomföras för att uppfylla kraven på säker utrymning. Detta görs med hjälp av beräkningar och datorsimuleringar.

De brandscenarier som ansatts för att utvärdera personsäkerheten är enbart några få av de scenarier som skulle kunna inträffa. Det är dock omöjligt att ta hänsyn till alla scenarier som skulle kunna uppstå och de tre som har valts i denna rapport anses täcka in majoriteten av de scenarier som har betydande konsekvenser. Detta bygger på författarnas förmåga att göra rimliga antaganden rörande olika tänkbara brandscenariers konsekvenser och sannolikheter.

Vid framtagandet av effektutvecklingskurvor för de olika brandscenarierna används ett  $\alpha^2$ -samband för att beskriva brändernas tillväxt. Tillväxten kan se annorlunda ut i verkligheten och  $\alpha^2$ -sambandet är bara validerat för effektutvecklingar upp till 500 kW. Att  $\alpha^2$ -samband har visat sig vara användbara vid brandförlopp med betydligt högre effektutveckling i annan litteratur innebär att det även anses vara representativt för brandscenarierna i rapporten.

Vid användningen av  $\alpha^2$ -sambandet tas ingen hänsyn till förbrinntid som är den tid det tar från det att ett material exponeras för en antändningskälla till dess att branden börjar växa och accelerera i tillväxt. Det är svårt att uppskatta en förbrinntid och därför används ingen sådan tid i effektutvecklingen. Att branden antas börja tillväxa direkt är ett konservativt antagande då detta ger ett snabbare brandförlopp.

De valda brandscenarierna väljs att simuleras i FDS då detta av författarna anses som det bästa simuleringsverktyget som finns att tillgå i dagsläget. Valideringar görs i en del fall med handberäkningar, som visar att överensstämmelsen är god.

När det kommer till utrymning så ligger de största svårigheterna i att uppskatta de tider som används för att ta fram den totala utrymningstiden. Då det i utrymningssammanhang rör sig om människors beteende vid brand är det mycket svårt att på förhand uppskatta hur dessa reagerar i olika situationer. Individberoende egenskaper som påverkar tiden kan vara gånghastighet, rörelseförmåga, vakenhet, lokalkännedom och liknande. Detta är parametrar som är högst individuella och därmed mycket svåra att kvantifiera.

Då det saknas larm på anläggningen är det framförallt varseblivningstiden som blir svår att uppskatta. I detta fall har därför brandgasspridningen utifrån FDS-simuleringen valts som underlag för framtagandet av denna tid. Detta anses av författarna som det bästa tillvägagångssättet då ingen tillgänglig statistik har ansetts som direkt tillämpbar för Bräcke ishall.

Utrymningstiden kan även påverkas av hur många personer det befinner sig i lokalen. I den största av simuleringarna, läktarbranden, utgås det från att det befinner sig 500 personer i ishallen. Detta är det maximala antalet personer som får vistas i lokalen men om detta krav inte efterföljs och det släpps in fler än 500 personer kan det bli stora osäkerheter kring personsäkerheten. Viktigt är alltså att ha i åtanke att denna rapportens resultat gäller för det maximala antalet 500 personer. Vid platsbesöket var det ett tiotal skolungdomar som åkte skridskor på rinkens och det befann sig inget folk på läktarna. Detta scenario ligger långt ifrån det som behandlas i rapporten då det befinner sig 500 personer i lokalen. Det föreligger därför svårigheter i att uppskatta hur lokalen ser ut vid en match med mycket folk på läktarna.

Kritiska förhållanden definieras utifrån de riktlinjer Boverket tagit fram och tiden till dessa uppskattas utifrån simuleringar och handberäkningar. Brandgaslagrets höjd över golvet är genomgående den parameter som nås först. Kritiska förhållanden anses emellertid inte råda förrän detta brandgaslager medför att gränserna för sikt eller toxicitet överskrids eller det att någon annan parameter för kritiska förhållanden uppfylls. Det kan mycket väl tänkas vara förenat med stora obehagskänslor för personer att röra sig i rökiga miljöer men så länge brandgaserna inte innebär direkt fara för dessa personer anses det heller inte råda kritiska förhållanden.

Resultatet från simuleringarna visar att den totala tiden till utrymning överstiger tiden till det att kritiska förhållanden uppstår i valda brandscenarier. Genom att vidta de "skall"-åtgärder som tagits fram i denna rapport kan brandskyddet på Bräcke ishall anses som fullgott då säker utrymning kan ske innan det att kritiska förhållanden uppstår för de 500 personer som befinner sig på anläggningen.

Då antaganden görs i rapporten är dessa genomgående konservativa för att på så sätt bygga in någon form av säkerhetsmarginal i de resultat som erhålls. Resultatet innehåller alltså osäkerheter men används ändå för att få en helhetsbedömning om hur personsäkerheten i Bräcke ishall ser ut vid en eventuell brand. Åtgärdsförslagen baseras på resultaten och det är viktigt att vara medveten om att resultaten enbart ger en fingervisning om hur verkligheten kan se ut.

Det finns en mängd olika tillvägagångssätt för att förbättra brandskyddet på Bräcke ishall. Då föreslagna åtgärder visar sig ge ett fullgott brandskydd utreds inte andra lösningar så som brandgasventilation eller automatiska släcksystem. Lösningar likt dessa hade inneburit omfattande ombyggnationer och installationer. I rapporten ligger fokus på sådana åtgärder som anses vara rimliga att utföra på Bräcke ishall, både kunskapsmässigt och kostnadsmässigt.

Brandskyddet på Bräcke ishall som det ser ut idag är icke skäligt. Anmärkningar i tidigare tillsynsprotokoll och beslutet från Jämtlands räddningstjänstförbund om att begränsa antalet personer vittnar om detta. Denna rapport har utöver detta försökt visa på vilka konsekvenser detta undermåliga brandskydd kan få i händelse av brand på anläggningen. Rapportens resultat är inte exakta men bör heller inte på något sätt förkastas. Att åtgärder rörande brandskyddet måste vidtas står klart, och denna rapport är tänkt att fungera som en vägledning till hur.

## Litteraturförteckning

- Akademiska hus. (2011). *Våra campus*. Hämtat från Akademiska hus:  
<http://www.akademiskahus.se/index.php?id=484&strEstateUID=A0043035&IPageID=1669&strEstateAreaUID=sto6&IHGID=382> den 13 April 2011
- Andersson, J. (1993). Brandskydd i *Stålbyggnad* (ss. 217-237). Västervik: AB C O Ekblad & Co.
- Aragón et al. (2003). *DIFISEK-programvara för branddimensionering*. Bilbao, Spanien: LABEIN, teknologiskt centrum.
- Assa. (2011). *Ny serie panikreglar*. Hämtat från Assa:  
<http://www.assa.se/sv/site/assa/Nyheter/Nyheter/20091/Produkter/Ny-serie-panikreglar-med-elektrisk-lasning/> den 11 April 2011
- Boverket. (2008). *Regelsamling för byggande, BBR 2008. Boverkets byggregler kap.5*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket. (2006). *Utrymningsdimensionering*. Karlskrona: Boverket.
- Brandteknik. (2005). *Brandskyddshandboken, Rapport 3134*. Lund: Lunds universitet.
- Burström, P. G. (2007). *Byggnadsmaterial*. Denmark: Narayana Press.
- Bwala, A. C. (2005). *Design Fires for Commercial premises - Result of phase 1*. Canada: NRC.
- Byggfabriken. (2011). *Dörrhandtag funkis*. Hämtat från Byggfabriken:  
<http://www.byggfabriken.com/renoveringshjälpen/index.php/dorrhandtag-funkis/> den 11 April 2011
- Davidsson et al. (2003). *Handbok för riskanalys*. Karlstad: Räddningsverket.
- Dittmer, T., & Jämtäng, U. (2006). *Känslighetsanalys av FDS och dess undermodeller*. Lund: Brandteknik, Lunds tekniska högskola.
- Drysdale, D. (2000). *An introduction to fire dynamics*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Engineering toolbox. (2011). *Gases - Densities*. Hämtat från Engineering toolbox:  
[http://www.engineeringtoolbox.com/gas-density-d\\_158.html](http://www.engineeringtoolbox.com/gas-density-d_158.html) den 6 April 2011
- Eriksson et al. (1998). *Hur farlig är en ishall med ammoniak?* Karlstad: Räddningsverket.
- Evans, D. D. (1985). *Detact QS [Datorprogram]. Version 1.3*.
- Expressen. (2008). *Deras arena förstördes av lågorna*. Hämtat från Expressen:  
<http://gt.expressen.se/nyheter/1.1306715/deras-arena-forstordes-av-lagorna> den 1 April 2011
- Frantzich, H. (1998). *Användarmanual till SIMULEX ver 1.2*. Lund: Lunds universitet.
- Frantzich, H. (2001). *Tid för utrymning vid brand*. Karlstad: Räddningsverket.
- Gyproc AB. (1999). *Gyproc handbok*. Malmö: Skogs.



- IESL. (2009). *Integrated Enviromental Solutions Limited. Simulex [Datorprogram]. Version:2009.1.0.3.*
- Karlsson, B., & Quintiere, J. G. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. London: CRC: Press.
- Lantmäteriet. (2011). *Karta över bräcke, Digitala kartbiblioteket*. Gävle: Lantmäteriet.
- McGrattan et al. (2007). *Fire Dynamics Simulator (version 5) user's guide*. Gaithersburg: NIST, National Institute of Standards and Technology.
- MSB. (den 1 April 2011). Hämtat från Myndigheten för samhällskydd och beredskap: <http://www.msb.se/sv/Kunskapsbank/Statistik--analys/>
- MSB. (2009). *Statistik och analys - Räddningstjänst i siffror*. Karlstad: Myndigheten för samhällskydd och beredskap.
- Nenzén, C. (den 7 Februari 2011). Intervju med Kanslist. (J. Wibelius, Intervjuare)
- Nilsson, D., & Holmstedt, G. (2008). *Kompendium i Aktiva system-Detektion*. Lund: Brandteknik och riskhantering - Lunds tekniska högskola.
- NIST. *Fire Dynamics Simulator [Datorprogram] version: 5.2.*
- Palisade Corporation. (2008). *@Risk - Risk Analysis Add-in for Microsoft Excel [Datorprogram]. Version 5.0.1.*
- Räddningsverket. (2000). *Vägledning för riskbedömning av kyl- och frysanläggningar med ammoniak*. Karlstad: Räddningsverket.
- SFPE. (2002). *SFPE Handbook of fire protection engineering*. Quincy: National Fire Protection Association.
- Strömbäck, L. (den 22 Februari 2011). Intervju med ansvarig för kylanläggning. (S. Thuns, Intervjuare)
- Särdqvist, S. (1993). *Initial fires*. Lund: Lunds universitet.
- Tanaka, T., & Yamana, T. (1985). *Smoke control in large scale places. Fire science and technology, vol. 5 No.1, 31-54.*
- Widlund, D. (2009). *Elektricitet och bränder med inriktning på brandutredning*. Karlstad: MSB.

## Bilaga A - Tillsynsprotokoll

I denna bilaga redovisas ett protokoll från en brandsyn utförd 1998.



BRÄCKE KOMMUN  
Räddningstjänsten

Datum 1998-02-18  
Diarienummer 1998.00025

Ägare  
BRÄCKE KOMMUN  
KOMMUNSTYRELSEN, BOX 190  
840 60 BRÄCKE

Innehavare  
BRÄCKE KOMMUN  
PRODUKTIONSNÄMNDEN, BOX 191  
840 60 BRÄCKE

### BRANDSYNSFÖRELÄGGANDE

(enl 56 § räddningstjänstlagen)

Objektnamn	
ISHALL	138
Fastighetsbeteckning	
BRÄCKE 1:288	
Fastighetsadress	
Nyhemsvägen, IP	
Närvarande ombud	
Hans Isgren	0693-162 18
Besiktningsförrättare	
Arne Andersson	0693-161 80

Kopia för kännedom till Innehavare

Avgift: 3000

Med stöd av räddningstjänstlagen 15 och 16 55 har brandsyn utförts, varvid följande föreläggande upprättats.

Detta beslut kan skriftligt överklagas inom tre veckor från beslutets delgivande. Överklagandet ställs till länsstyrelsen i Jämtlands län och sändes in till Bräcke kommun, Produktionsnämnden, Box 190, 840 60 Bräcke. I skrivelsen skall anges vilket beslut som överklagas och den ändring i beslutet som begärs.

*Arne Andersson*

Arne Andersson  
Brandinspektör  
(Besiktningsförrättare)

*Utsänt med rekommendation  
till utskickningsförv. 980224 + int del  
kop till MO  
mat. PN 980317 /af*

Postadress	Gatuadress	Telefon	Telefax	Bankgiro	Postgiro	Org. nr
Box 190 84060 BRÄCKE	Nyhemsvägen 15	0693-16100vx	0693-10713	109-2394	3 11 84-5	212000-2460

## ÅTGÄRDSSIDOR

Ärendetyp	Protokoll	Diarie	Kod	Datum	Sida
100		1998.00025	FÖR	1998-02-18	1

1. För att förhindra uppkomst av brand skall träläktarnas baksidor förses med tändskyddande beklädnad. Alternativt kan vägg byggas i brandklass minst E 1-30.
2. För att trygga en eventuell nödutrymning skall följande åtgärer vidtagas.
  - 2:1 Internt rökdetekterat utrymningslarm installeras. Larmet förses med larmton som avger minst 75 dBA i samtliga nyttjande utrymmen.
  - 2:2 Dörrarna till det fria skall anordnas så att de öppnas endera vid tyck utåt eller dragnig nedåt i ett handtag eller dylikt, samt så att risk inte föreligger att fastna med kläderna.
  - 2:3 Från läktarnes översta delar anordnas trappor gående till markplanet. Trappornas bredd skall vara minst 1,2 meter.
3. För att förhindra att gasol kan komma ut i ishallen skall tillfredställande ventilation anordnas i utrymmet där ismaskinen är garagerad.

## Bilaga B – Checklistor och istider

Denna bilaga innehåller de checklistor som används vid det SBA som utförs på Bräcke ishäll samt istider för ishällen.

### B.1 Brandcellsgränser

Nedan visas en checklista för kontroll av brandcellsgränser.

Systematiskt brandskyddsarbete

**KONTROLLBLAD 06**

brandcellsgräns

Kontrollen skall genomföras varje månad



Kontrollera samtliga brandcellsgränser enligt följande schema. Bocka av en rad för varje brandcellsgräns (punkt 01 och 05 kontrolleras enbart två gånger per år)

- 01 Dörr/port är försedd med dörrstängare alternativt hålls låst    04 Dörr sluter tätt, fallkollen går i lås  
02 Dörr är inte uppställd med kil el. dyl.    05 Genomföringar (t.ex. rör- och kabeldragning) i brandcellsgräns är tätade med godkänt tätningsmaterial  
03 Magnetuppställning släpper vid signal och dörrstängare fungerar.

Nr	Placering	01	02	03	04	05
1	Dörr mellan Cafeteria - hallen ej stängd	X	X			
2	Dörr vid Cafeteria vid korridor	X	X		X	
3	Dörr till basen	X	X		X	

Om någon av rutorna inte kryssats i åtgärda då omgäende denna brist så att brandcellsgränsernas funktion säkerställs.

Kontrolldatum	Åtgärdsdatum	Brandskyddskontrollant
---------------	--------------	------------------------

## B.2 Handbrandsläckare

Nedan visas en checklista för kontroll av handbrandsläckare.

Systematiskt brandskyddsarbete

### KONTROLLBLAD 01 handbrandsläckare



Kontrollen skall genomföras varje kvartal

Kontrollera samtliga handbrandsläckare enligt följande schema. Bocka av en rad för varje släckare (punkt 06 kontrolleras en gång per år).

01 Finns på avsedd plats                      03 Är lätt åtkomlig (oblockerad)                      05 Är utmärkt med väl synlig skylt  
02 Är oskadad och plomberad                  04 Är fylld och har rätt tryck                                  06 Årlig service av fackmän

Nr	Placering	Kontroll dag	Ev. brister åtgärdad	01	02	03	04	05	06
1	Cafeterian	3 feb		X	X	X	X	X	X
2	Entre dörr hall	3 feb		X	X	X	X	X	X
3	Maskin rum	3 feb		X	X	X	X	X	X
4	Isnall vid elskåp	3-feb		X	X	X	X	X	X

Om någon av rutorna inte bockats av åtgärda då omgående denna brist så att handbrandsläckarnas funktion säkerställs.

Brandskyddskontrollant

### B.3 Istider

Nedan visas ett schema för istider i ishall.

**ISTIDER V 6**

FEB	7	8	9	10	11	12	13
	Måndag	Tisdag	Onsdag	Torsdag	Fredag	Lördag	Söndag
08.00							
	8.30						
09.00	AK 8						
				Trollskogen			
10.00	Gymnasiet		Gymnasiet				
11.00							
12.00	Gymnasiet		Gymnasiet			Fräkning U 12	
13.00				AK 5	Assnan		
14.00	Fräkning	Fräkning	Fräkning	Fräkning	Fräkning		
15.00							Fräkning U 12
16.00	ISVÅRD	ISVÅRD	ISVÅRD	ISVÅRD	ISVÅRD		
17.00	Läsning				Läsning		
		U 11	Trä kronors hockeyskola	U 11			U 11
18.00							isvård
		U 12	Tiset	U 12			U 12
		isvård		isvård			
20.00			Valerinder A-lag				isvård
21.00							Bandyn

## Bilaga C – Olycksscenario ammoniak

*I denna bilaga beskrivs hanteringen av ammoniak på anläggningen samt konsekvenser av ett eventuellt utsläpp.*

### C.1 Allmänt

Ammoniak användas ofta som köldmedium i kyl- och frysanläggningar och fyllnadsmängden i dessa anläggningar kan variera från 10 kg upp till flera ton. I ishallar kan det finnas olika sorters anläggningar och aggregat. Det kan röra sig om platsbyggda kylaggregat som vanligtvis har en fyllnadsmängd från några 100 kg medan det i nya ishallar oftast används fabrikstillverkade enheter som har en fyllnadsmängd från 10 kg upp till några 100 kg, där majoriteten av aggregaten vanligtvis innehåller mindre än 100 kg ammoniak (Räddningsverket, 2000).

Ammoniak vid standardtryck och -temperatur är en färglös gas som har en karakteristiskt stark och stickande lukt. Den starka lukten gör att gasen är förnimbar redan vid låga koncentrationer men gasen är giftig och utgör därför en risk för människor och miljö. Ammoniak är frätande och även lösligt i vatten vilket gör att ammoniaken kan verka irriterande i framförallt ögon och luftvägar då den lätt löser sig i tårvätska och annan fukt. Låga koncentrationer av ammoniakgas (50-100 ppm) kan ge upphov till irritation i luftvägar och ögon. Höga koncentrationer (>1000 ppm) kan leda till frätskador på slemhinnor, hud och ögon. Exponering för ammoniakgas kan ge kramp i andningsorganen och därmed leda till andnöd och även medvetslöshet. Långtidsskador i form av blindhet, försämrad syn och kronisk försämring av andningsorgan kan uppstå. I värsta fall kan exponering för ammoniakgas leda till dödsfall (Räddningsverket, 2000).

Ammoniak i kylanläggningar är flytande eftersom den håller en låg temperatur, ner mot -55 °C. Stänk från ammoniak kan därmed leda till köldskador på hud och ögon.

Hur människor påverkas av olika ammoniakkoncentrationer framgår av *tabell C.1*.

Tabell C.3 - Sannolika effekter av olika ammoniakkoncentrationers påverkan på exponerade människor (Räddningsverket, 2000).

<b>Koncentration (ppm)</b>	<b>Effekter</b>	<b>Varaktighet av exponering</b>
<b>5</b>	Luktgräns för många människor.	-
<b>25</b>	Tydlig lukt, inga skadliga effekter för normalperson.	Maximalt tillåten koncentration för en arbetsdag (nivågränsvärde).
<b>50</b>	Inga skadliga effekter för normalperson, lukten känns tydlig av de flesta personer (luktgräns kan variera, 1-50 ppm).	Maximalt tillåten koncentration för vistelse i 15 minuter (takgränsvärde), förlängd upprepad exponering framkallar inte några skador.
<b>100</b>	Besvärande att vistas i utan andningsskydd, lindriga ögonirritationer.	-
<b>300</b>	Maximalt tolerabel utan allvarliga störningar	1 timme
<b>400-700 (IDLH 500)</b>	Irritation av näsa och hals, ögonirritation, tårbildning.  Personer kan omkomma om de är särskilt känsliga (t ex barn, astmatiker).	Sällsynt exponering upp till 1 timme orsakar vanligen ingen allvarlig påverkan.
<b>2000-3000</b>	Krampaktig hostning, svår ögonirritation.	Ej tillåten koncentration, personer kan omkomma efter längre exponering.
<b>5000-7000</b>	Krampaktig andning, snabb kvävning	Ej tillåten koncentration, personer kan omkomma efter kortvarig exponering.

Människor kan bli exponerade för ammoniak från ett kylsystem på två sätt. Det första är exponering för en stråle ammoniak i vätskeform, till exempel från en skadad ledning eller dyligt. Det andra sättet är inneslutning i ett moln av gasformig ammoniak. Det första fallet drabbar enbart den eller de personer som är i närheten av utsläppet och kan leda till köld- och frätskador. Det andra fallet kan drabba fler personer och ge påverkan på ögon och andningsorgan samt i värsta fall leda till dödsfall (Räddningsverket, 2000).

## C.2 Systemet i Bräcke ishall

Frysanläggningen i ishallen använder sig av ammoniak som köldmedium. Fyllnadsmängden i systemet är 45 kg. Aggregatet är ett enhetsaggregat med fullständigt indirekt system vilket innebär att utsläpp från aggregatet enbart kan ske inomhus eftersom ammoniaken finns placerad i själva kylmaskinen som i sin tur är placerad i frysmaskinsrummet. I en FOA-rapport (Eriksson et al, 1998) behandlas ammoniakutsläpp från ishallar och ett scenario som rapporten behandlar är ett utsläpp av 60 kg ammoniak under tio sekunder. Detta är enligt rapporten överskattat vilket innebär att den



momentant utsläppta mängden i verkligheten blir mindre. Då anläggningen i Bräcke ishall innehåller 45 kg är beräkningarna för 60 kg konservativa vid applicering på en riskanalys för Bräcke ishall.

### C.2.1 Utsläpp

Vid utsläpp inomhus förekommer ammoniaken både som gas och som vätska. Vid utsläpp bildas det även aerosoler, små partiklar, som svävar i luften. Dessa aerosoler kan antingen falla till golvet tillsammans med vätskan eller vädras ut och förångas. Vid hastiga utsläpp sjunker temperaturen i utrymmet och förångningen av vätskan blir därför beroende av hur mycket värme som tillförs av varma byggnadsdelar och ventilation.

### C.2.2 Spridning

Vid utsläpp sprids ammoniakgasen först i utrymmet där utsläppet sker för att sedan spridas till omgivningarna med hjälp av ventilation. Källstyrkan, den mängd ammoniak per tidsenhet som sprids till omgivningarna, bestäms alltså av ventilationskapaciteten i läckageutrymmet.

Utsläppshastigheten, den mängd ammoniak per tidsenhet som släpps ut vid läckaget, påverkar källstyrkan på det sättet att en låg utsläppshastighet ger en lägre källstyrka men som pågår under en längre tid jämfört med om utsläppshastigheten varit större (Eriksson et al, 1998).

## C.3 Beräkningar FOA

I en rapport rörande ammoniakhantering i ishallar (Eriksson et al, 1998) används en utsläppshastighet på 6 kg/s vilket innebär att de 60 kg som finns i systemet i deras exempel töms ut på 10 sekunder, vilket i princip motsvarar ett momentant utsläpp. Ammoniaken kommer som ovan nämnts att förekomma både som gas och vätska där det enbart är gasen som kan ventileras bort. Förutsättningarna för beräkningarna i FOA-rapporten är en utsläppshastighet på 6 kg/s, 10 luftomsättningar per timme och en rumsvolym på 180 m<sup>3</sup>. Vid dessa förutsättningar är den maximala källstyrkan 0,3 kg/s i början av förloppet för att sedan sjunka till cirka 0,1 kg/s. Majoriteten av ammoniaken kommer ha spridits genom ventilationssystemet efter 12 minuter och efter det återstår endast mindre restavdunstning (Eriksson et al, 1998).

## C.4 Beräkningar Bräcke ishall

Vid en utsläppshastighet på 6 kg/s töms de 45 kg som finns i ishallens kylsystem ut på 7,5 sekunder. Ett antagande som görs är att hälften av ammoniaken uppträder som gas och den andra halvan som vätska eftersom luften i utrymmet är tillräcklig för att förånga ungefär hälften av den totala mängden ammoniak (Eriksson et al, 1998). I utrymmet finns en ammoniakdetektor som vid registrering av ammoniak i luften startar en evakueringsfläkt (katastrofventilation) som ventilerar ut till det fria. Utöver denna ventilation finns även ventilation mellan frysmaskinsrummet och ismaskinsrummet som fungerar som temperaturutjämningsventilation. Tillgången på tilluft anses vara oändlig då det finns en 500x500 mm tilluftskanal in i utrymmet. Kapaciteten på fläktarna fram går av *figur C.1*. Rumsvolymen på frysmaskinsrummet är 120 m<sup>3</sup>.



Figur C.2 - Principskiss över ventilationsflödena i frysmaskinsrummet.

Vid ett momentant utsläpp frigörs alltså 45 kg ammoniak under en kort tid. Hälften av denna mängd förekommer som gas medan den andra halvan uppträder som vätska som sedan successivt avdunstar. Densiteten för ammoniakgas är  $0,717 \text{ kg/m}^3$  vid  $20^\circ\text{C}$  (Engineering toolbox, 2011) Volymen för 22,5 kg ammoniakgas blir enligt *ekvation C.1*  $31,4 \text{ m}^3$ , vilket utgör 260000 ppm enligt *ekvation C.2*.

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{22,5 \text{ kg}}{0,717 \text{ kg/m}^3} = 31,4 \text{ m}^3$$

(Ekvation C.1)

$$\frac{31,4 \text{ m}^3}{10 \cdot 4 \cdot 3 \text{ m}^3} = 26\% = 260000 \text{ ppm}$$

(Ekvation C.2)

Initialt är koncentrationen i frysmaskinsrummet 260000 ppm vilket är ungefär 500 ggr högre än IDLH-värdet (Immediately Dangerous to Life or Health) vilket innebär att koncentrationen utgör ett omedelbart och livsfarligt hot mot liv och hälsa.

Ventilationsomsättningen i frysmaskinsrummet när ammoniak är detekterad blir enligt *ekvation C.3*  $880 \text{ l/s}$  vilket är detsamma som  $3168 \text{ m}^3/\text{h}$ .

$$550 + 330 = 880 \text{ l/s} = \frac{880 \cdot 3600}{1000} = 3168 \text{ m}^3/\text{h}$$

(Ekvation C.3)

Antalet omsättningar av luften blir då 26,4 ggr/h enligt *ekvation C.4*.

$$\frac{3168 \text{ m}^3/\text{h}}{10 \cdot 4 \cdot 3 \text{ m}^3} = 26,4 \text{ ggr}/\text{h} \quad (\text{Ekvation C.4})$$

Förutsatt att ammoniakgasen är välblandad med luften i utrymmet så kommer det varje sekund att ventileras ut 228,8 liter ammoniakgas enligt *ekvation C.5*.

$$880 \text{ liter luft}/\text{s} \cdot 26 \text{ vol}\%_{\text{ammoniakgas}} = 228,8 \text{ liter ammoniakgas}/\text{s} \quad (\text{Ekvation C.5})$$

*Ekvation C.6* visar att 228,8 liter gas per sekund motsvarar ett massflöde på 0,164 kg/s, vilket blir den aktuella källstyrkan.

$$0,2288 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 0,717 \text{ kg}/\text{m}^3 = 0,164 \text{ kg}/\text{s} \quad (\text{Ekvation C.6})$$

Vid antagandet att den vätskeformiga ammoniaken förångas i samma takt som den gasformiga ammoniaken lämnar utrymmet kommer utsläppet att pågå under ungefär 275 s enligt *ekvation C.7*. Detta motsvarar 4,5 minuter som blir den aktuella utsläppstiden.

$$\frac{45 \text{ kg}}{0,164 \text{ kg}/\text{s}} = 274,4 \text{ s} \quad (\text{Ekvation C.7})$$

Eftersom det finns en temperaturutjämningsventilation kommer ammoniak att spridas till ismaskinsrummet. Den mängd ammoniak som kommer att tillföras utrymmet varje sekund beror på fläktens kapacitet som i detta fall är 550 l/s. Denna kapacitet utgör  $\frac{550}{880} = 62,5\%$  av det totala ventilationsflödet vilket innebär att källstyrkan och volymflödet av ammoniak till ismaskinsrummet kommer vara 0,1025 kg/s respektive 0,143 m<sup>3</sup>/s enligt *ekvation C.8*.

$$0,164 \text{ kg}/\text{s} \cdot 0,625 = 0,1025 \text{ kg}/\text{s} \rightarrow \dot{V} = \frac{0,1025}{0,717} = 0,143 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{Ekvation C.8})$$

I ismaskinsrummet finns det frånluft som ventilerar ut till det fria. Denna frånluft utjämnar trycket i utrymmet och har då samma kapacitet som den temperaturutjämningsfläkt som tillför luft från frysmaskinsrummet. Detta innebär att det blir en balans i rummet gällande koncentrationen ammoniak som finns i ismaskinsrummet eftersom det ventileras ut lika stor volym som det tillförs.

Detta får ses som ett förenklat överslag för att kunna få en uppskattning om hur höga koncentrationer ammoniak det finns i utrymmen som angränsar till utsläppet.

Följande beräkning bygger på det antagande att den ammoniakgas som kommer in i ismaskinsrummet sprids jämnt i hela rumsvolymen ( $12,5 \times 4,5 \times 3 \text{ m}^3$ ) och att det hela tiden ventileras bort lika mycket som tillkommer. Koncentrationen i ismaskinsrummet kommer då vara 850 ppm enligt *ekvation C.9*.

$$\frac{0,143 \text{ m}^3}{12,5 \cdot 4,5 \cdot 3 \text{ m}^3} = 0,085\% = 0,085 \cdot 10000 = 850 \text{ ppm}$$

(Ekvation C.9)

850 ppm överstiger även det IDLH-värdet vilket innebär att det finns risker för liv och hälsa. Värdet på koncentrationen får ses som ett riktmärke men det visar på att det finns risker med att vistas i ismaskinsrummet om det sker ett utsläpp av ammoniak från kylanläggningen. Troligtvis kommer koncentrationen avvika från 850 ppm då beräkningen ovan bygger på några generaliserande antaganden om ventilationsflödet.

Ammoniakgaser är brännbara vid 15-28 % inblandning i luft. I ismaskinsrummet lär ammoniakkoncentrationen aldrig nå upp till 15 % men i frysmaskinsrummet kan koncentrationen av ammoniakgaser ligga inom brännbarhetsområdet. För antändning krävs att gasen kommer i kontakt med en antändningskälla.

### C.5 Spridning och skador utanför byggnaden

I exemplet från (Eriksson et al, 1998) dras slutsatsen att det inte uppstår några skador på personer som befinner sig utanför bygganden oavsett väderförhållanden. Denna slutsats grundas på att källstyrkan är låg och att utsläppstiden är relativt kort. Lukt av ammoniak kan förnimmas på ett avstånd på några hundra meter från utsläppet men detta utgör inga risker för skador.

I det aktuella fallet i Bräcke är källstyrkan i samma storleksordning som i FOA-rapporten medan utsläppstiden är kortare. Utifrån detta kan slutsatsen dras att det inte föreligger någon risk för skador på personer som befinner sig utanför byggnaden men att ammoniaklukten kan förnimmas på ganska långa avstånd från utsläppet.

### C.6 Slutsatser

Vid ett utsläpp av ammoniak från kylanläggningen kommer det att förekomma skadliga koncentrationsnivåer i frysmaskinsrummet och i ismaskinsrummet. I dessa miljöer föreligger det alltså stora risker för personskador.

I ismaskinsrummet finns det idag en otät brandcellsgräns som gränsar till ishallen. Genom denna otäthet kan det spridas ammoniakgas i mindre mängder och på så sätt leda till att människor i ishallen förnimmar detta. Den starka och stickande lukten kan då ge obehag och eventuellt skapa orolighet bland personerna. Om ammoniak skulle sprida sig till ishallen rör det sig emellertid om så små mängder att det inte föreligger någon risk för skador på människor.

Det finns en risk för antändning av ammoniak i frysmaskinsrummet om koncentrationen hamnar innanför brännbarhetsområdet och om det förekommer någon form av antändningskälla.

### C.7 Åtgärdsförslag

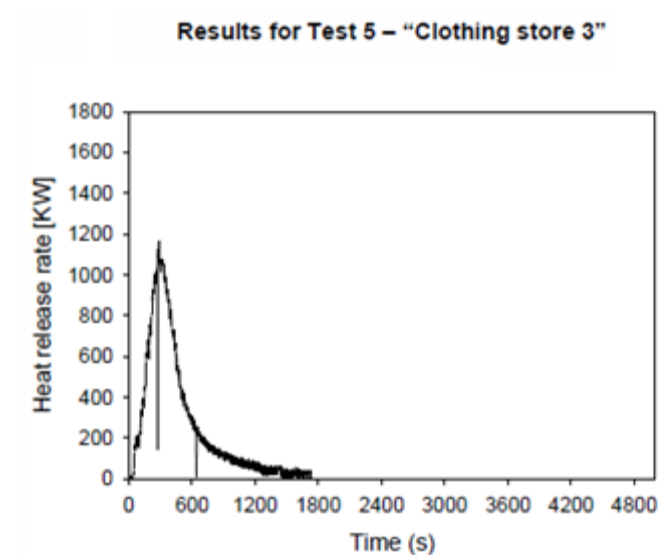
- Temperaturutjämningsfläkten skall stängas av vid signal från ammoniakgivaren, annars ventileras ammoniak in i ismaskinsrummet och eventuellt också till ishallen.
- Porten till ishallen skall vara tät för att undvika obehag för eventuella åskådare.
- En varningsskylt skall placeras på fasaden med en text som informerar om katastrofventilationens utlopp.
- Potentiella tändkällor skall undanröjas i frysmaskinsrummet.
- En larmsignal skall kopplas till ammoniakgivaren så att personer på anläggningen blir varse om ett eventuellt utsläpp.
- Kontinuerlig service på kylanläggningen skall genomföras så att risken för vådautsläpp och felaktigt handhavande minskar.

## Bilaga D – Effektkurvor från National Research Council

I denna bilaga redovisas effektkurvor från försöken gjorda av National Research Council i Kanada (Bwala, 2005).

### D.1 Brandscenario 2 – Brand i torkrum

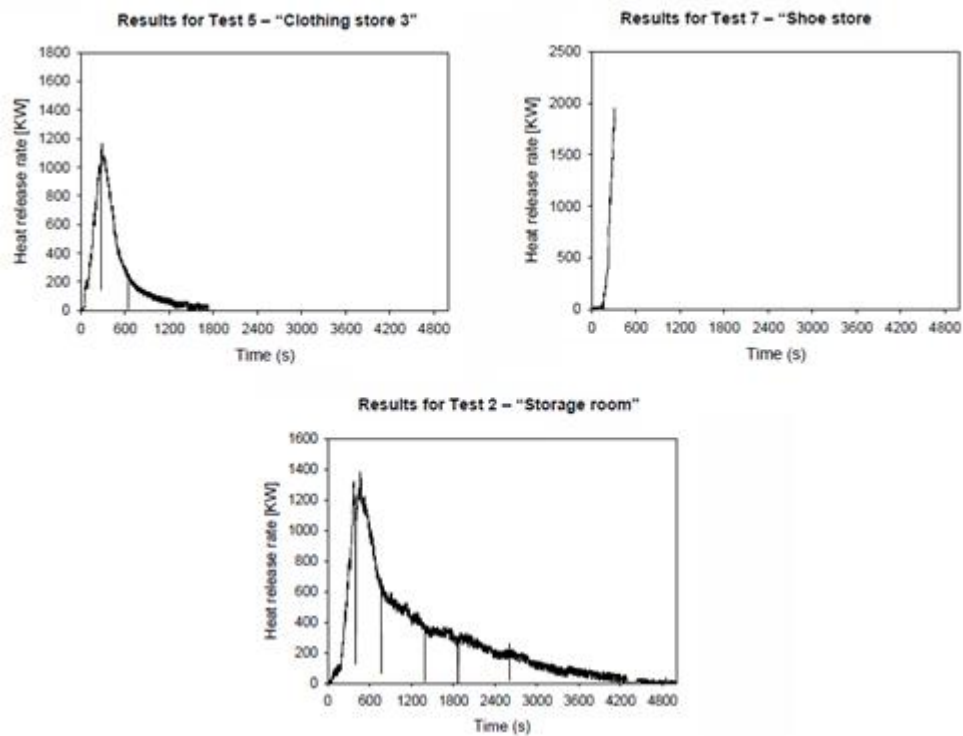
I figur D.1 visas den effektutvecklingskurva som ligger till grund för den dimensionerande branden i torkrummet.



Figur D.1 - Effektutvecklingskurva för brinnande kläder (Bwala, 2005).

## D.2 Brandscenario 4 – Brand i ventilationsutrymme

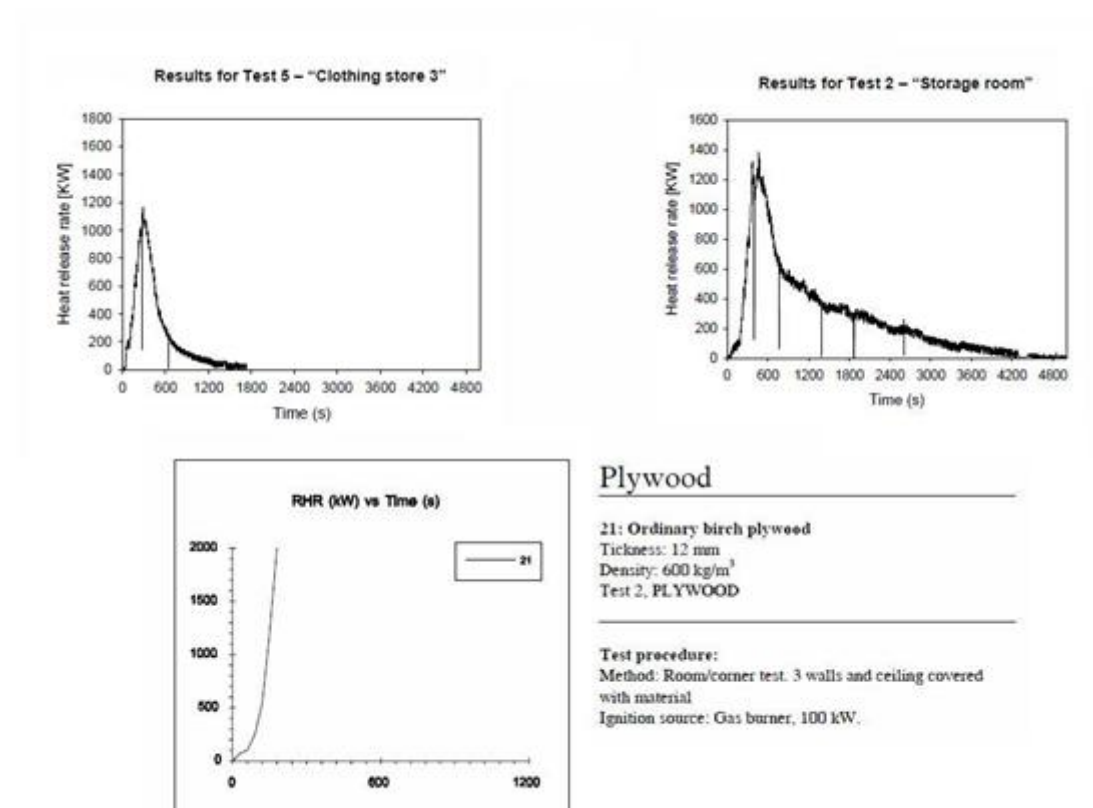
I figur D.2 visas de effektutvecklingskurvor som kombinerats och ligger till grund för den dimensionerande branden i ventilationsutrymmet.



Figur D.3 - Effektutvecklingskurvor för brinnande kläder (uppe till vänster), brinnande skohylla (uppe till höger) och brinnande förrådsutrymme (nere) (Bwala, 2005).

### D.3 Brandscenario 8 – Brand under läktare

I figur D.3 visas de effektutvecklingskurvor som kombinerats och ligger till grund för den dimensionerande branden under läktaren.



Figur D.4 - Effektutvecklingskurvor för brinnande kläder (uppe till vänster) (Bwala, 2005), brinnande förrådsutrymme (uppe till höger) (Bwala, 2005) och för brinnande plywood (nere) (Särdqvist, 1993).



## Bilaga E – $\alpha^2$ -kurvor

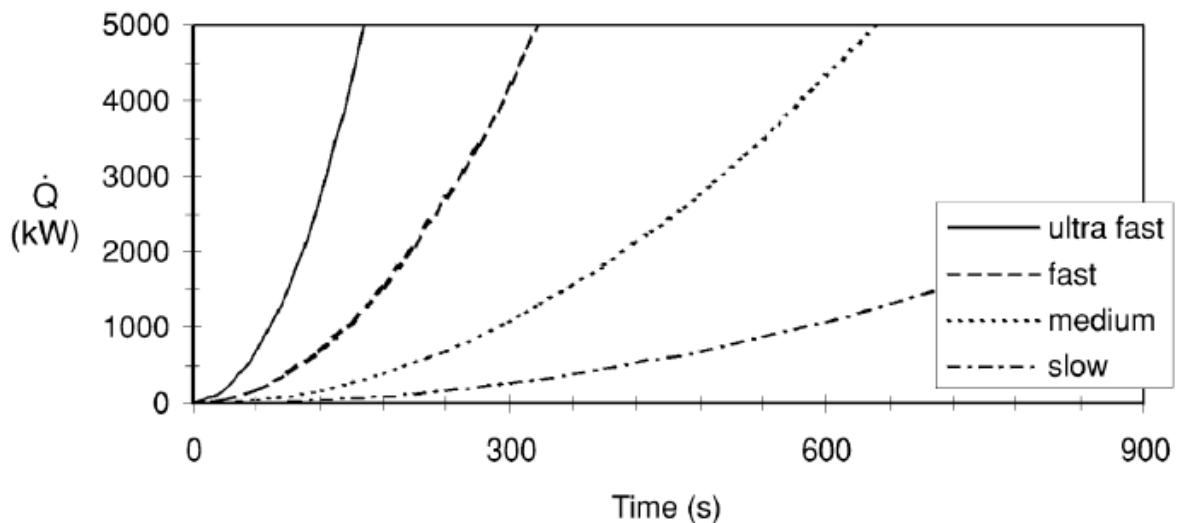
Denna bilaga ger en utförligare förklaring av  $\alpha^2$ -kurvor.

$\alpha^2$ -kurvan är en vanlig modell för att beräkna tillväxthastighet och effektutveckling vid en brand. En brand är nästan alltid accelererande i sin tillväxtfas, varför effekten approximeras som proportionell mot tiden i kvadrat. En brands effektutveckling beskrivs då med uttrycket  $\dot{Q} = \alpha t^2$ , där  $\alpha$  är en tillväxtfaktor.

I denna modell finns det fyra olika schablonvärden för bränders tillväxthastigheter och således fyra olika värden på tillväxtfaktorn. Dessa sammanfattas i *tabell E.1* och tillhörande tillväxtkurvor illustreras i *figur E.1*.

Tabell E.1 - Olika tillväxthastigheter (Karlsson & Quintiere, 2000)

Tillväxthastighet	$\alpha$ [kW/s <sup>2</sup> ]
Ultra fast	0,19
Fast	0,047
Medium	0,012
Slow	0,003



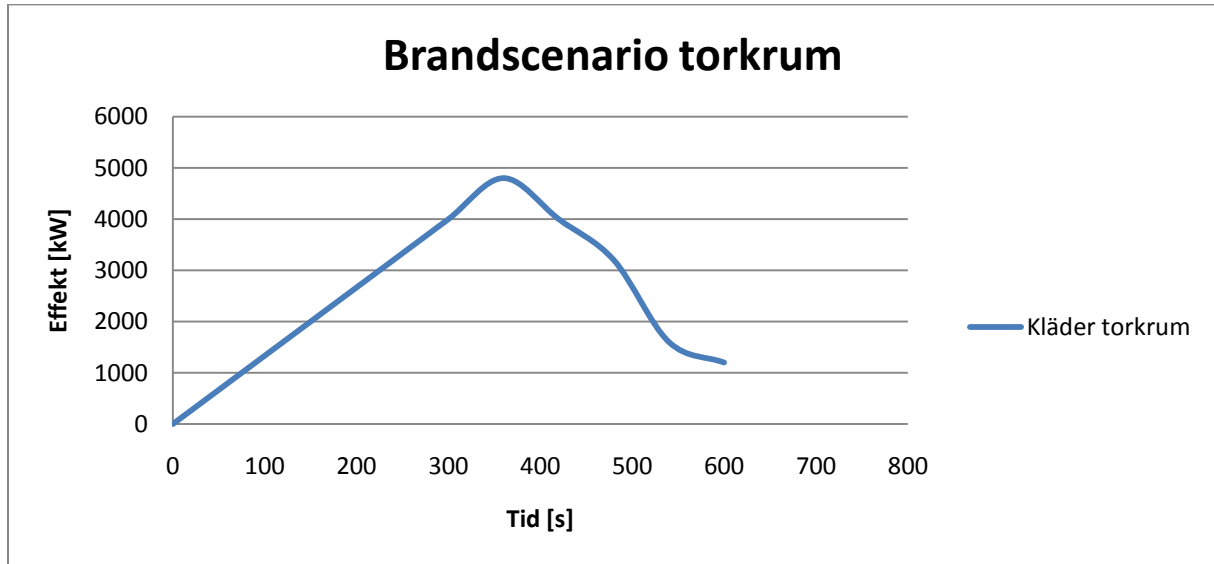
Figur E.1 - Tillväxtkurvor för olika tillväxthastigheter (Karlsson & Quintiere, 2000)

## Bilaga F - Beräkning av $\alpha$ -värde

I denna bilaga redovisas hur tillväxtfaktorn beräknats i de olika brandscenarierna.

### F.1 Brandscenario 2 – Brand i torkrum

Ur figur F.1 kan det utläsas att maxeffekten nås efter ungefär 360 sekunder och då uppgår till ungefär 4800 kW.



Figur F.1 - Effektutvecklingskurva för beräkning av  $\alpha$ -värdet vid brand i torkrum.

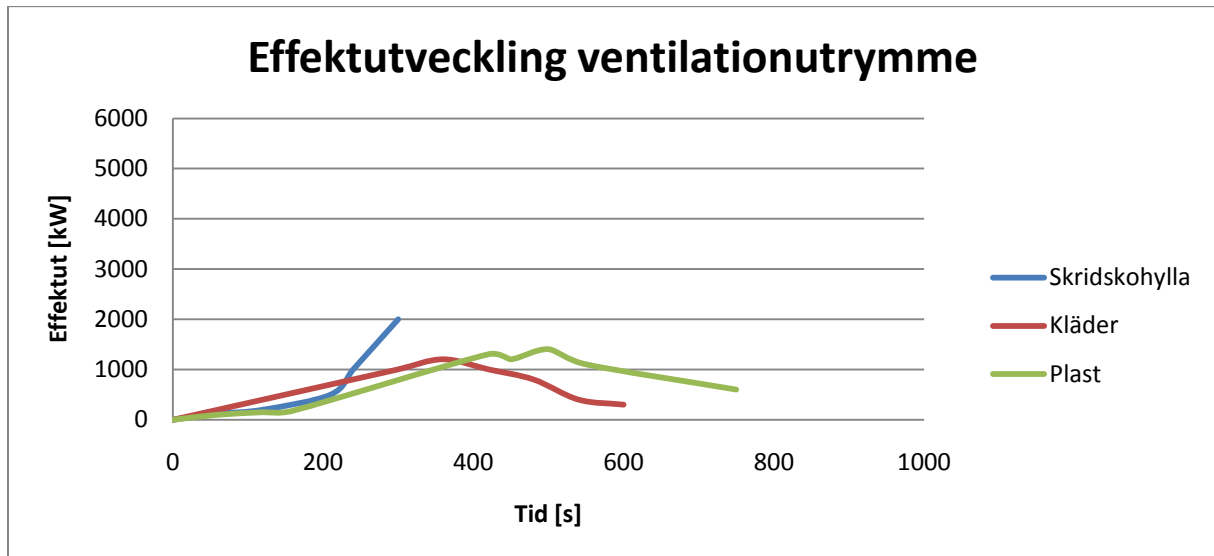
Ekvation F.1 ger  $\alpha$ -värdet  $0,037 \text{ kW/s}^2$ .

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \rightarrow \alpha = \frac{\dot{Q}}{t^2} = \frac{4800}{360^2} = 0,037 \text{ kW/s}^2$$

(Ekvation F.1)

## F.2 Brandscenario 4 – Brand i ventilationsutrymme

Ur figur F.2 kan det utläsas att den sammanlagda maxeffekten nås efter ungefär 300 sekunder och då uppgår till ungefär 4000 kW.



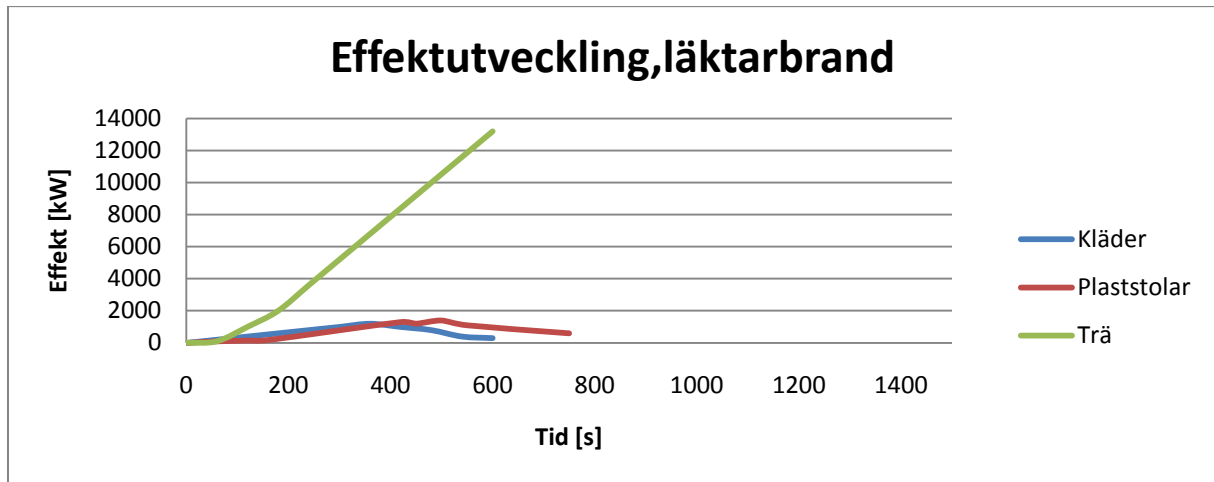
Figur F.2 - Effektutvecklingskurva för beräkning av  $\alpha$ -värdet vid brand i ventilationsutrymme.

Ekvation F.1 ger  $\alpha$ -värdet  $0,044 \text{ kW/s}^2$ .

$$\alpha = \frac{\dot{Q}}{t^2} = \frac{4000}{300^2} = 0,044 \text{ kW/s}^2$$

### F.3 Brandscenario 8 – Brand under läktare, innan åtgärder

Ur figur F.3 kan det utläsas att den sammanlagda maxeffekten, med träet som det dominerande bidraget, nås efter ungefär 600 sekunder och då uppgår till ungefär 15000 kW.

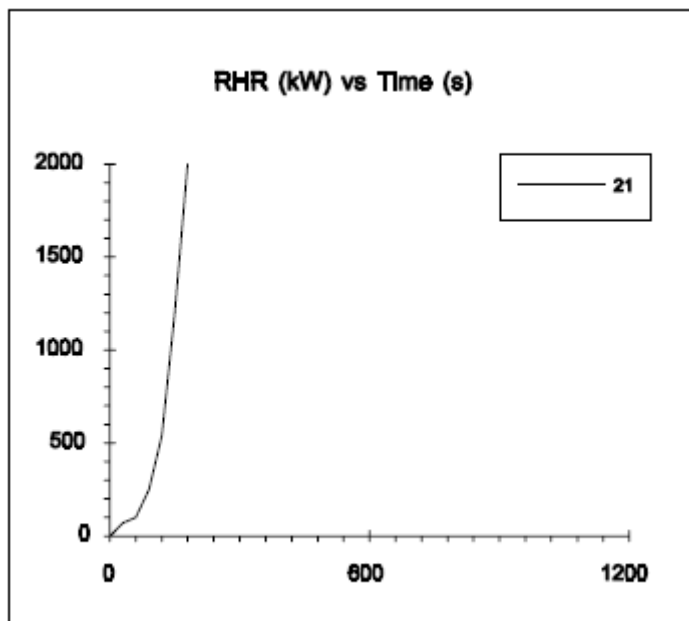


Figur F.3 - Effektutvecklingskurva för beräkning av  $\alpha$ -värdet vid brand under läktare.

Ekvation F.1 ger  $\alpha$ -värdet  $0,041 \text{ kW/s}^2$ .

$$\alpha = \frac{\dot{Q}}{t^2} = \frac{15000}{600^2} = 0,041 \text{ kW/s}^2$$

Detta  $\alpha$ -värde jämförs sedan med ett  $\alpha$ -värde för brand i rent trä som beräknas fram med ekvation F.1 där indatan kommer från figur F.4.



Figur F.4 - Effektutvecklingskurva för beräkning av  $\alpha$ -värdet vid brand i rent trä (Särdqvist, 1993).

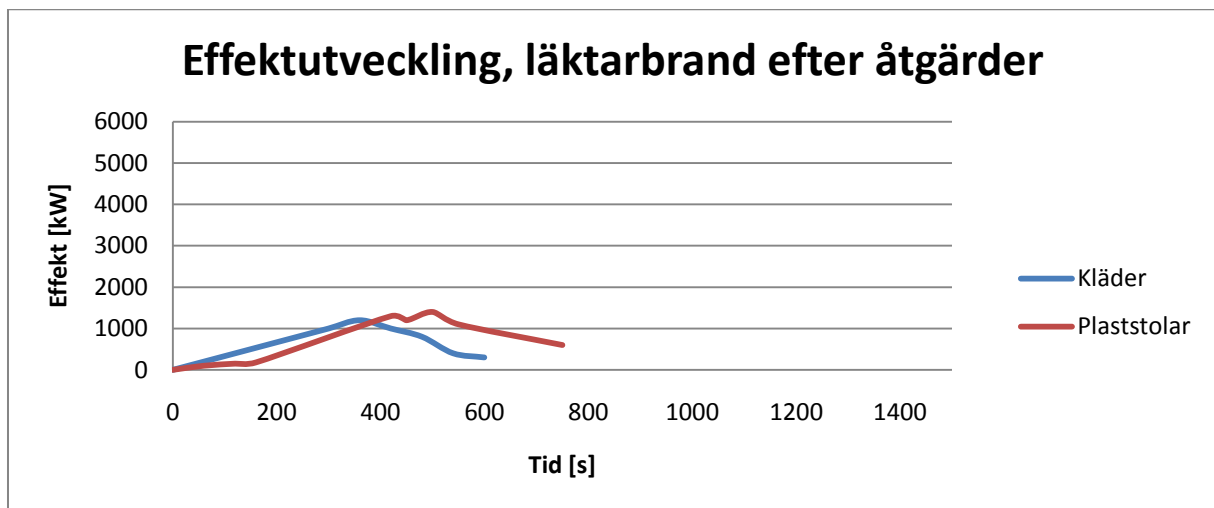
Ekvation F.4 ger  $\alpha$ -värdet  $0,062 \text{ kW/s}^2$ .

$$\alpha = \frac{\dot{Q}}{t^2} = \frac{2000}{180^2} = 0,062 \text{ kW/s}^2$$

Det är sedan detta  $\alpha$ -värde som har använts för den dimensionerande effektkurvan för branden i läktaren. Att detta värde valdes beror på att merparten av det material som brinner vid en läktarbrand är trä.

#### F.4 Brandscenario 8 – Brand under läktare, efter åtgärder

Ur figur F.5 kan det utläsas att den sammanlagda maxeffekten för kläder och plaststolar nås efter ungefär 420 sekunder och då uppgår till ungefär 2300 kW.



Figur F.5 - Effektutvecklingskurva för beräkning av  $\alpha$ -värdet vid brand under läktare, efter åtgärder.

Ekvation F.1 ger  $\alpha$ -värdet  $0,013 \text{ kW/s}^2$ .

$$\alpha = \frac{\dot{Q}}{t^2} = \frac{2300}{420^2} = 0,013 \text{ kW/s}^2$$

## Bilaga G – Syreberäkningar

I denna bilaga kontrolleras det hur länge bränderna i de olika scenarierna kan fortgå utan att bli ventilationskontrollerade.

Beräkningen görs genom överslagsräkning med *ekvation G.1*. Ett kilogram syre antas kunna ge 13,1 MJ i energi och syrehalten i luften sätts till 23 massprocent. Allt syre kan dock inte delta i förbränningen utan massfraktionen syre som antas underhålla förbränningen sätts till 11 massprocent (Karlsson & Quintiere, 2000).

$$V \cdot \rho \cdot 0,11 \cdot 13,1$$

(Ekvation G.1)

För att beräkna den energi som frigörs under ett brandförlopp används *ekvation G.2*.

$$\int_0^{t_1} \alpha \cdot t^2 dt + \int_{t_1}^{t_{max}} \dot{Q}_{max} dt$$

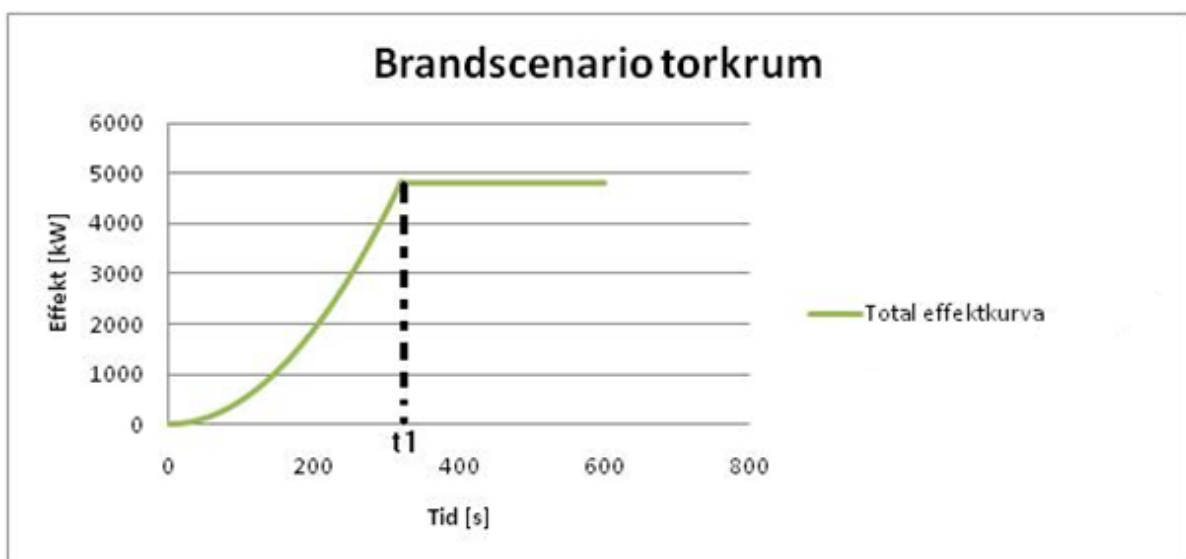
(Ekvation G.2)

### G.1 Brandscenario 2 – Brand i torkrum

Torkrummet har måtten (2,2 x 2 x 3) m<sup>3</sup> och effektutvecklingen i rummet beskrivs med *figur G.1*. Den totala energin som kan utvecklas i rummet blir enligt *ekvation G.1* 23 MJ.

$$13,2 \cdot 1,2 \cdot 0,11 \cdot 13,1 = 22,825 \text{ MJ}$$

För att kontrollera hur länge den dimensionerande branden kan fortgå krävs det att den frigjorda energin från branden beräknas. Den frigjorda energin motsvarar arean under grafen i *figur G.1*. Detta görs med *ekvation G.2*.



Figur G.1 - Effektutvecklingskurva för brand i torkrum.

$$\int_0^{t_1} 0,047 \cdot t^2 dt + \int_{t_1}^{t_{max}} \dot{Q}_{max} dt = 22,825 MJ \approx 23 MJ$$

Ekvation G.3 visar att syret kommer begränsa branden till att utveckla den totala energin 23 MJ.

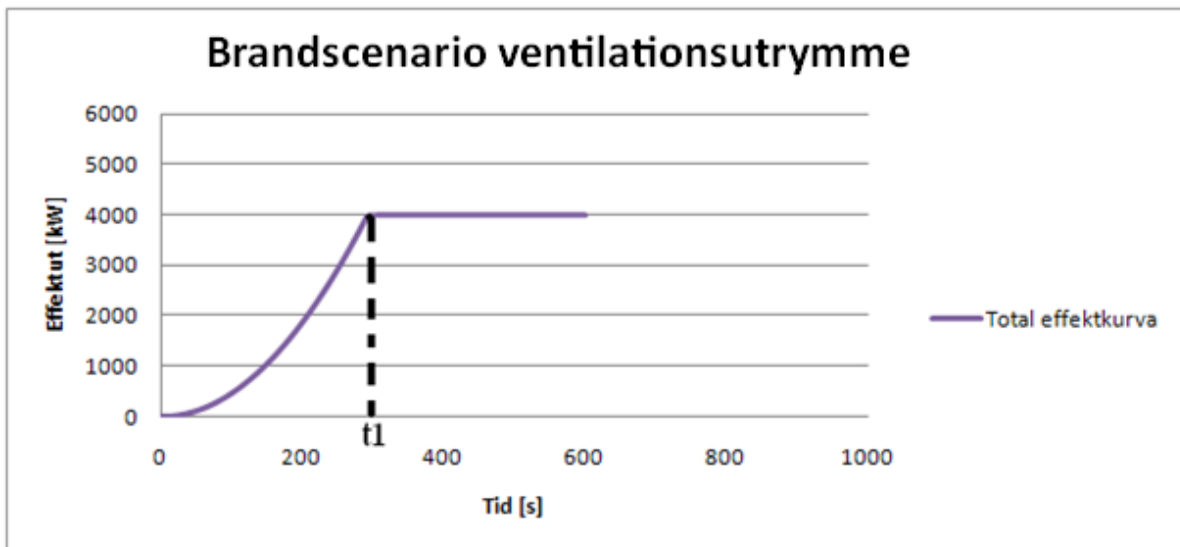
Ekvation G.4 visar att branden blir ventilationskontrollerad efter 115 sekunder och den teoretiskt sett maximala effektutvecklingen blir då 600 kW enligt figur G.1. Detta grundas dock på att branden därefter tvärt upphör, vilket inte kommer bli fallet i verkligheten eftersom en avsvalningsfas kommer avsluta branden. Brandens maximala effektutveckling kommer alltså inte överstiga 600 kW.

## G.2 Brandscenario 4 – Brand i ventilationsutrymme

Ventilationsutrymmet har måtten (5 x 2,5 x 3) m<sup>3</sup> och effektutvecklingen i rummet beskrivs med figur G.2. Den totala energin som kan utvecklas i rummet blir enligt ekvation G.1 65 MJ.

$$37,5 \cdot 1,2 \cdot 0,11 \cdot 13,1 = 64,845 MJ$$

För att kontrollera hur länge den dimensionerande branden kan förtgå krävs det att den frigjorda energin från branden beräknas. Den frigjorda energin motsvarar arean under grafen i figur G.2. Detta görs med ekvation G.2.



Figur G.2 - Effektutvecklingskurva för brand i ventilationsutrymme.

$$\int_0^{t_1} 0,047 \cdot t^2 dt + \int_{t_1}^{t_{max}} \dot{Q}_{max} dt = 64,845 MJ \approx 65 MJ$$

Beräkningarna ovan visar att syret kommer begränsa branden till att utveckla den totala energin 65 MJ och att branden blir ventilationskontrollerad efter 160 sekunder. Den teoretiskt sett maximala

effektutvecklingen blir då 1200 kW enligt *figur G.2*. Detta grundas dock på att branden därefter tvärt upphör, vilket inte kommer bli fallet i verkligheten eftersom en avsvalningsfas kommer avsluta branden. Brandens maximala effektutveckling kommer alltså inte överstiga 1200 kW.

### G.2.1 Syreinflöde

I *ekvation G.3* (Karlsson & Quintiere, 2000) nedan görs en grov beräkning för att kontrollera vilken maximal effekt som det inflödande syret tillåter i ventilationsutrymmet. Det antas vara trä som representerar bränslet i utrymmet .

$$\dot{Q}_{max} = 0,09 \cdot A_0 \cdot \sqrt{H_0} \cdot \Delta H_{eff,wood} = 0,09 \cdot (2 \cdot 0,9) \cdot \sqrt{2} \cdot 17 \approx 4MW$$

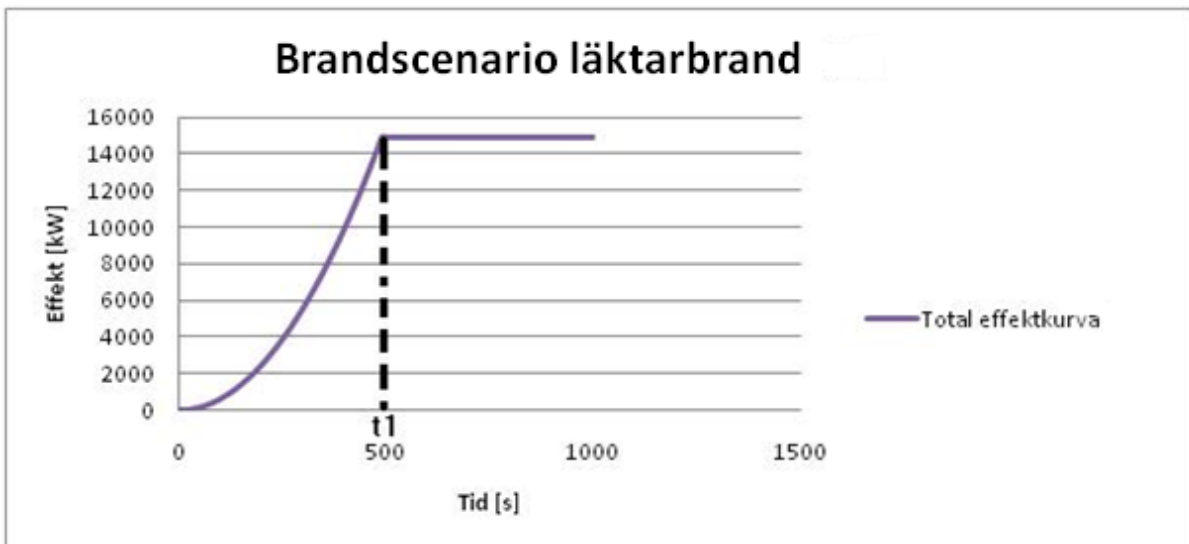
(Ekvation G.3)

### G.3 Brandscenario 8 – Brand under läktare

Ishallen där läktaren är placerad har måtten (65,6 x 36,6 x 7) m<sup>3</sup> och effektutvecklingen i rummet beskrivs med *figur G.3*. Den totala energin som kan utvecklas i rummet blir enligt *ekvation G.1* 29000 MJ.

$$16778 \cdot 1,2 \cdot 0,11 \cdot 13,1 = 29013 MJ$$

För att kontrollera hur länge den dimensionerande branden kan fortgå krävs det att den frigjorda energin från branden beräknas. Den frigjorda energin motsvarar arean under grafen i *figur G.3* . Detta görs med *ekvation G.2*.



Figur G.3 - Effektutvecklingskurva för läktarbrand.

$$\int_0^{t_1} 0,062 \cdot t^2 dt + \int_{t_1}^{t_{max}} \dot{Q}_{max} dt = 29013 MJ$$



*Ekvation G.2* visar att syret som finns tillgängligt i ishallen kommer begränsa branden i ishallen efter 38 minuter. Detta är långt in i förloppet och syret kommer alltså inte vara en begränsande faktor för brand i läktaren.

## Bilaga H – Analysmetod, datorprogram

*I denna bilaga beskrivs det tillvägagångssätt som används vid analys av brandscenarierna samt teori om och osäkerheter i programmen.*

### H.1 FDS

Fire Dynamics Simulator (FDS5) är ett program som används för att skapa Computational Fluid Dynamic (CFD)-modeller. Det är en metod för att beräkna och analysera strömningsproblem, som ett alternativ till fullskaleförsök. CFD programmen är uppbyggda genom att volymen som är av intresse delas in i en stor mängd kontrollvolym (celler). Programmet tar hänsyn till turbulens och effektutveckling i varje enskild cell.

FDS används för att simulera brandförlopp och på så sätt få fram utdata som i sin tur används för att bestämma när kritiska förhållanden uppstår. FDS-simuleringarna är en central del i rapporten då resultaten och åtgärdsförslagen till stor del bygger på utdata från simuleringarna.

Det är användarens eget ansvar att anpassa modellen för att ta hänsyn till de fenomen som påverkar respektive simulering. Exempelvis att ställa in termiska egenskaper på material och anpassa effekt så att det på ett bra sätt efterliknar vad som hade skett vid en verklig brand (McGrattan et al, 2007).

#### H.1.1 Hydrodynamisk modell

FDS jobbar numeriskt med Navier-Stokes ekvationer, anpassade för att lämpligt beräkna långsamt termiskt drivna flöden. Programmet har en inriktning på rök- och värmetransport. Algoritmen som används är en så kallad predictor-corrector algoritm, vilken innebär att programmet uppskattar ett värde för att lösa ekvationen. Sedan anpassas detta värde till dess att ekvationen är löst (Dittmer & Jämtäng, 2006).

Turbulens hanteras genom Large Eddy simulations (LES), Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) eller kan teoretiskt även beräknas med Direct Numerical Solution (DNS).

Om inget annat anges använder FDS Large Eddy Simulations för att beräkna turbulensen. LES baseras på antagandet att meshen, volymen som innehåller cellerna, är tillräckligt förfinad för att tillåta formation av virvlar. Dock moduleras bara den turbulens som är mindre än cellens karakteristiska diameter, större turbulens beräknas direkt (Dittmer & Jämtäng, 2006). Det innebär att fenomen som är större än gridstorleken återges av programmet, medan allt som är mindre än återges i submodeller. Alltså desto mindre celler, desto mer liknar modellen verkligheten (Dittmer & Jämtäng, 2006).

#### H.1.2 Förbränningsmodell

FDS använder sig av en så kallad "Mixture fraction model". Främst använder programmet en kemisk reaktion i ett steg vars produkter spåras med blandningsfraktioner i två parametrar. Den första massfraktionen består av obränt bränsle och den andra av använt bränsle (McGrattan et al, 2007).

Det innebär att bränsle som har direktkontakt med syre förbränns momentant. Alltså kan inte bränsle och syre finnas i samma cell samtidigt (Dittmer & Jämtäng, 2006).

### H.1.3 Strålningsmodell

FDS använder en metod som kallas Finite Volume method (FVM) för att lösa en strålningsmodell. Den modell som används är Finite Volume Radiation Model, vilken är härledd från Radiative Transfer Equation (RTE). Antagandet som görs i ekvationen leder till att strålningen endast kan absorberas av en grå gas eller passera rakt genom en cell (Dittmer & Jämtäng, 2006).

### H.1.4 Osäkerheter

Osäkerheterna i FDS bygger till största del på vilken indata som väljs för simuleringarna och det är därför användaren som ansvarar för att välja indata som så väl som möjligt överensstämmer med ett verkligt brandförlopp. En central del i att få så representativa resultat som möjligt är att välja en bra cellstorlek. Ju mindre celler som används i modellerna desto bättre blir resultat. Programmets begränsningar, förenklingar och antaganden är följande:

- Medeltemperaturer över cellen används (Dittmer & Jämtäng, 2006)
- Gashastigheten i cellen antas vara homogen (Dittmer & Jämtäng, 2006)
- Temperaturer överskattas vid för stora celler eftersom bränsle förbränns momentant vid kontakt med syre. Syre och bränsle kan alltså inte finnas i samma cell samtidigt (Dittmer & Jämtäng, 2006)
- Programmet antar att alla gaser beter sig som gråa kroppar vid strålningsberäkningar för att reducera tidsåtgången vid simulering (Dittmer & Jämtäng, 2006)
- Mesher i programmet kan endast göra rektilinjära, vilket innebär att alla föremål i programmet måste vara rektangulära (McGrattan et al, 2007)
- Indatan kan inte anges med sannolikhetsfördelningar utan fixa värden på brandens egenskaper (till exempel tillväxtfaktor och maxeffekt) måste anges. Således erhålls inte heller ur programmet någon sannolikhetsfördelning över tiden till kritiska förhållanden.

## H.2 Simulex

Simulex är ett datorprogram som används för simulering av utrymning ur byggnader. Programmet syftar till att ge en bild av hur en utrymning med önskade egenskaper kan se ut och utifrån det uppskatta tiden det tar för personer att förflytta sig.

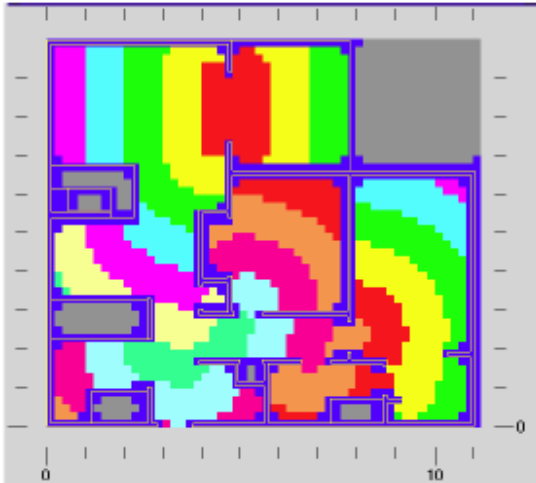
Programmet används för att simulera förflyttningstiden för personerna som befinner sig i anläggningen. Förflyttningstiden utgör en stor del av den totala tiden till utrymning som jämförs med tiden till kritiska förhållanden.

Utifrån ritningar över byggnaden ritas det upp en modell för varje våningsplan av byggnaden i ett CAD-program som importeras till Simulex. Dessa våningsplan kan sedan förbindas med varandra genom att det i Simulex läggs till trappor som fungerar som länkar mellan planen. Vidare definieras nödutgångar, och programmet räknar därefter automatiskt ut alla gångavstånd. Resultatet av dessa beräkningar kan illustreras i en avståndsritning, se *figur H.1*.

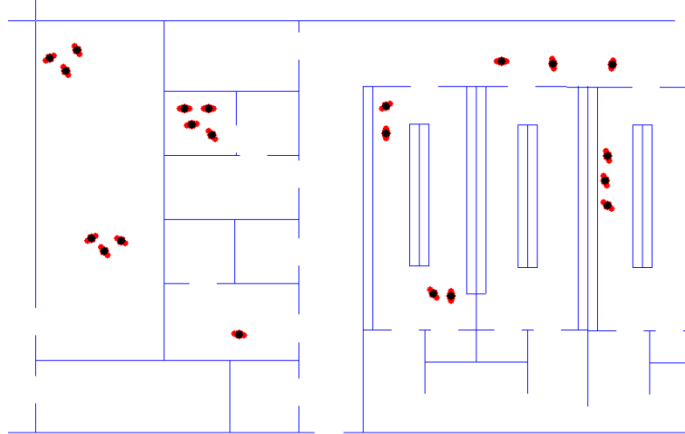
Ett önskat antal personer placeras ut på valfria platser i byggnaden, se *figur H.2*. Det går att ställa in önskade egenskaper hos dessa personer, bland annat gånghastighet och reaktionstid. Det går dessutom att ställa in vilken utgång en enskild person skall röra sig mot. De algoritmer som används för att beräkna personernas rörelsemönster baseras på data insamlade från verkliga utrymningsförsök.

Personerna i simuleringen utgör en population. I programmet finns det en mängd färdiga populationer att välja mellan där personerna har tilldelats varierande egenskaper.

Genom att starta en utrymningssimulering och spela in denna kan utrymningen studeras i detalj. Så kallade "flaskhalsar" och andra kritiska områden där det uppstår trängsel kan därmed lokaliseras (Frantzich, 1998)



Figur H.1 - Avståndsritning från Simulex.



Figur H.2 - Personers placering i en försöksupställning från Simulex.

Programmet innehåller en del förenklingar av verkligheten

- Varje person ges en normal, obehindrad gånghastighet.
- Personerna kan inte självmant välja en annan utgång under utrymningen än den de programmerats att välja. Detta kan innebära att det uppstår sådan trängsel att personerna inte kommer ut ur byggnaden.
- Varje person rör sig mot utgångarna i en riktning som ligger i rät vinkel mot konturerna på avståndsritningen.

### H.3 @RISK

Programmet används för att få fram sannolikhetsfördelningar för utrymningstiderna. Vid beräkningarna utför programmet 10 000 iterationer och de triangelfördelningar som används har följande principiella utseende: RiskTriang(min;medel;max). Konfidensintervallet som används vid resultaten sätts till 100 % för att slutna intervall används.

@RISK är ett tillägsprogram till Microsoft Excel. I programmet definieras matematiska samband med olika variabler och indatavariablerna ges olika statistiska fördelningar och intervall inom vilket variabeln skall variera. Programmet bygger på Monte Carlo-simuleringar som innebär att beräkningarna genomförs många gånger samtidigt som de olika variabelernas värde plockas slumpmässigt utifrån de definierade fördelningarna. På så sätt fås ett resultat presenterat som ett intervall som innehåller en sannolikhetsfördelning, med bland annat medelvärde och standardavvikelse angivna, och de mest troliga värdena kan plockas fram ur fördelningen (Palisade Corporation, 2008).

Programmet kan även göra känslighetsanalyser på fördelningarna och indatavariablerna. Då analyseras hur de ingående variablerna inverkar på slutresultatet och på så sätt kan variabler som påverkar mycket identifieras och eventuellt förändras så att osäkerheten kring dessa minskar och resultatet innehåller färre osäkerheter (Palisade Corporation, 2008).

I rapporten används triangelfördelningar om inget annat anges. De tider som används i fördelningarna bygger på observationer i FDS och Simulex. I en triangelfördelning används tre olika värden som är minimivärde, medelvärde och maximivärde. På så sätt blir fördelningen sluten och varierar endast inom det intervall som angivits med medelvärdet som troligaste värde. På grund av det slutna intervallet blir de inneboende osäkerheterna lägre jämfört med ett öppet intervall, exempelvis normalfördelning. Att använda en likformig fördelning hade inte återspeglat verkligheten eftersom alla tider då antagits vara lika sannolika. Att endast ansätta punktvärden istället för fördelningar är inte aktuellt eftersom tiderna inte är så exakta att de kan ses som konstanta.

#### H.4 Detact QS

Detact QS är ett program som räknar ut hur lång tid det tar för en detektor att aktiveras. Programmet används för att ta reda på hur lång tid det tar innan en rökdetektor placerad i ventilationsutrymmet aktiveras givet den effektutveckling som kan förekomma i rummet.

Programmet används generellt för att beräkna aktiveringstider för anordningar monterade på fria tak, till exempel sprinkler och värmedetektorer. Detact QS förutsäger en aktiveringstid utifrån en brand med given effektutveckling, givna rumsförhållanden och egenskaper hos anordningen. Programmet baseras på korrelationer utifrån storskaliga experiment och löser flera integraler och ekvationer för att förutsäga aktiveringstiden (Aragón et al, 2003).

Vid användning av programmet är det viktigt att vara medveten om dess begränsningar. Detact QS bygger på följande antaganden och begränsningar (Aragón et al, 2003)

- Innertaket är plant och horisontellt utan hinder som påverkar brandgasernas utbredning
- Endast konvektiv värmeutbredning
- Ledningsförluster och strålningsvärme beaktas ej
- Ingen transporttid för de varma gaserna beaktas, från källan till taket.
- Underskattar temperaturer vid låga innertak och korta radiella avstånd

Resultaten från Detact QS får ses som en fingervisning om hur lång tid det tar till dess att detektorn aktiveras.

## Bilaga I – Vald indata för FDS-simuleringar

*Denna bilaga innehåller information om de indata som valts för FDS-simuleringarna i rapporten.*

För att undersöka hur snabbt kritiska förhållanden uppstår vid brand under läktaren i ishallen görs en CFD-modell. Anledningen till att en komplex CFD-modell används snarare än en tvåzonsmodell är att en CFD-modell ger bättre resultat då volymen delas in många mindre zoner jämfört med en tvåzonsmodell som enbart delar in volymen i två zoner.

### I.1 Dimensionerande brandscenario

Under läktaren förvaras föremål som kan anses som lättantändliga. För övrigt består det brännbara materialet i hallen främst av träläktare på båda långsidor. Eftersom träet är helt obehandlat kommer det ske en snabb effektutveckling och maxeffekten kommer också bli hög. Maxeffekt nås efter cirka 460 sekunder enligt en  $\alpha t^2$ -kurva. Det är i stort sett bara trä som kommer brinna och därför väljs det brännbara materialet som cellulosa i programmet. Sotfraktioner och förbränningsvärme väljs utifrån värden för cellulosa (SFPE, 2002).

I simuleringarna används ingen strålning. Den värmetransport som sker är via konvektion. Standardinställning för energiförlust i FDS används och denna förlustfaktor är 0,35. Detta innebär att 35 % av den totala effektutvecklingen kommer att betraktas som förluster till omgivningen.

Det mest optimala sättet att simulera branden hade varit med hjälp av en så kallad brandspridningsmodell. Detta kräver dock stor kunskap om programmet hos användaren. Branden approximeras istället som en brand med tillväxande effekt.

I dessa simuleringar definieras endast en brännare med en given area. Ett annat lämpligt sätt att simulera försöket på hade varit genom att ändra brännarens area under tiden branden tillväxer.

I simuleringarna sätts olika materialegenskaper på väggar, golv och tak. Värden hämtas från litteratur (Burström, 2007).

### I.2 Geometri

Förenklingar har gjorts i modellens geometri. Taket är trappformat istället för ett plant snedtak. Detta eftersom geometrier endast kan återges som rektangulära former. Eftersom trappformningen är så stor bör det inte påverka turbulensen i den mån att resultatet blir annorlunda.

Vidare är det enda föremål som är inkluderat i modellen den borte läktaren. Den andra läktaren är inte inkluderad eftersom den inte påverkar rökspridningen. Takstolarna i taket är öppna och därför kommer inga fackverk att uppstå. Öppningar till hallen antas inte påverka eftersom hallen utgör en stor volym.

Modellen är uppdelad i två olika nät, mesher. Över läktaren används en finare mesh eftersom det är här det är mest intressant att se vad som sker vid brand. Denna mesh består av celler med storleken  $(0,125 \times 0,125 \times 0,125) \text{ m}^3$ . Resten av volymen består av en mesh med celler vars storlek är  $(0,25 \times 0,25 \times 0,25) \text{ m}^3$ .

## Bilaga J – Känslighetsanalys FDS

*I denna bilaga redovisas en känslighetsanalys av FDS-simuleringarna.*

### J.1 Uppställning

Det vanligaste sättet att göra känslighetsanalys på simuleringar i FDS är genom att använda 8N celler där N är antalet celler för originalsimuleringen. På grund av tidsbrist kunde inte denna sortens känslighetsanalys utföras. Istället görs två andra simuleringar.

Då träläktaren är det som antas brinna i Bräcke ishall och ingen brandspridningsmodell förekommer så görs ingen känslighetsanalys på brandens placering.

Ingen känslighetsanalys på brandens effektutvecklings görs eftersom 15000 kW antas vara så pass högt att det är ett konservativt värde.

#### J.1.1 Känslighetssimulering sotproduktion

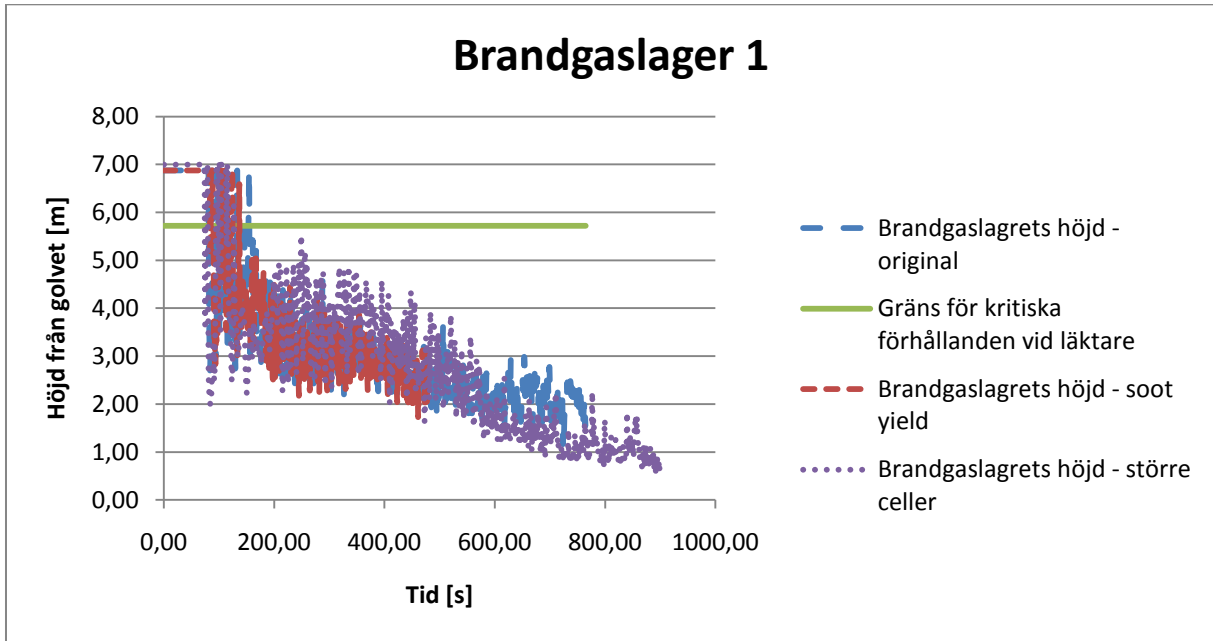
Eftersom det förekommer olika sorters material vid branden, men mestadels trä, har bränslet antagits vara cellulosa. Sotproduktionen för cellulosabaserade material varierar förhållandevis mycket. Vid originalsimuleringen används ett lågt värde på 0,0045 och vid känslighetssimuleringen används ett högt värde på 0,01 (SFPE, 2002).

#### J.1.2 Känslighetssimulering cellstorlek

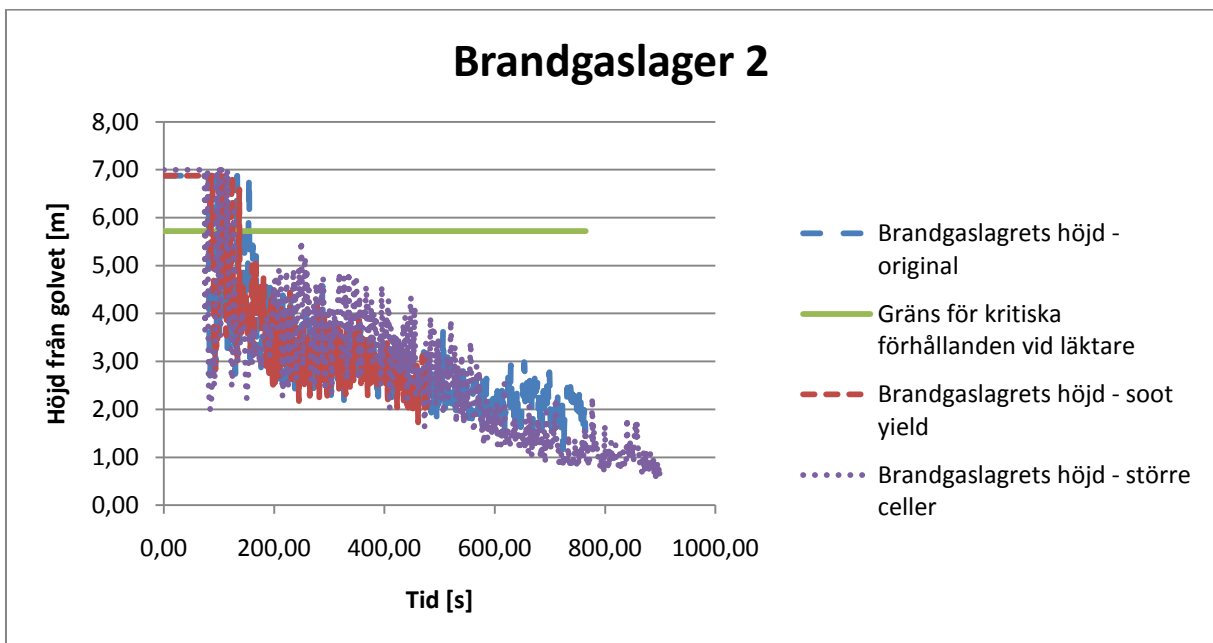
På grund av tidsbrist gjordes som sagt ingen simulering med 8N celler. Istället gjordes en simulering med N/8 antal celler. Denna sortens känslighetsanalys är mindre bra eftersom den inte direkt validerar originalsimuleringen. Hade simuleringarna gjorts i den andra ordningen, det vill säga med de stora cellerna först hade detta varit en bra känslighetsanalys. Simuleringen tas dock med i resultatet för att påvisa principen.

### J.2 Resultat

Det som är mest intressant i simuleringarna är brandgaslagrets höjd över marken. Därför görs en jämförelse på resultaten av simuleringarna på brandgaslagret. Jämförelsen illustreras i *figur J.1 – J. 6* för olika placeringar av mätpunkter. Det visar sig att kurvorna korrelerar relativt bra. Det är först efter 600 sekunder som de på allvar skiljer sig från varandra.

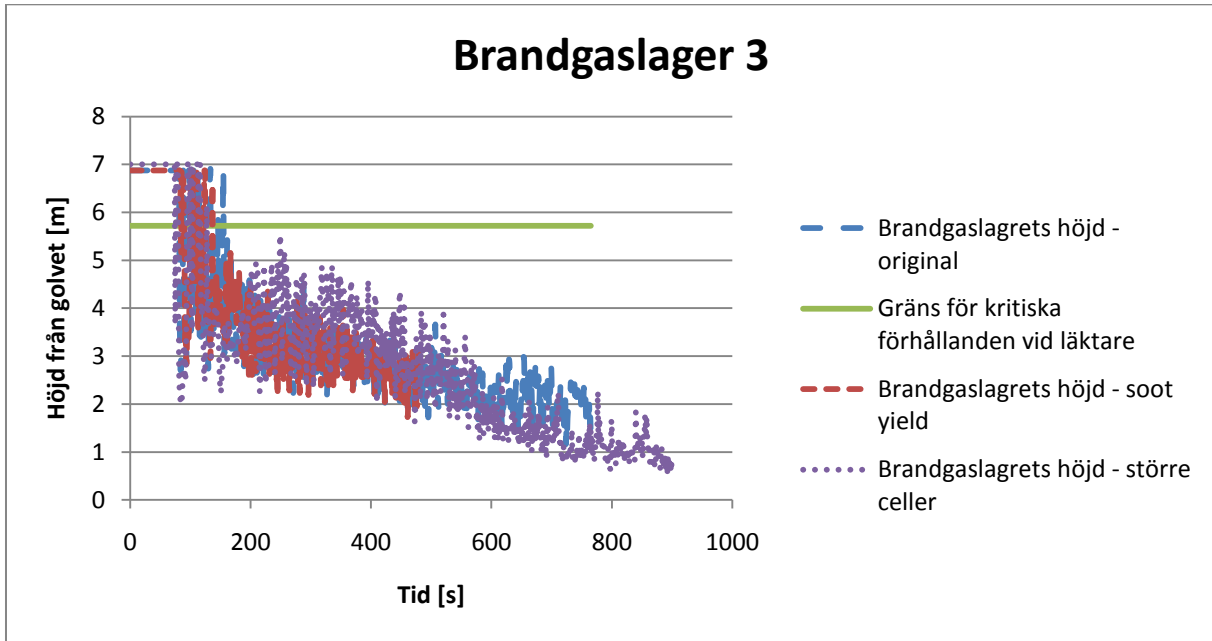


Figur J.1 - Diagram över brandgaslagrets höjd med olika simuleringsindata.

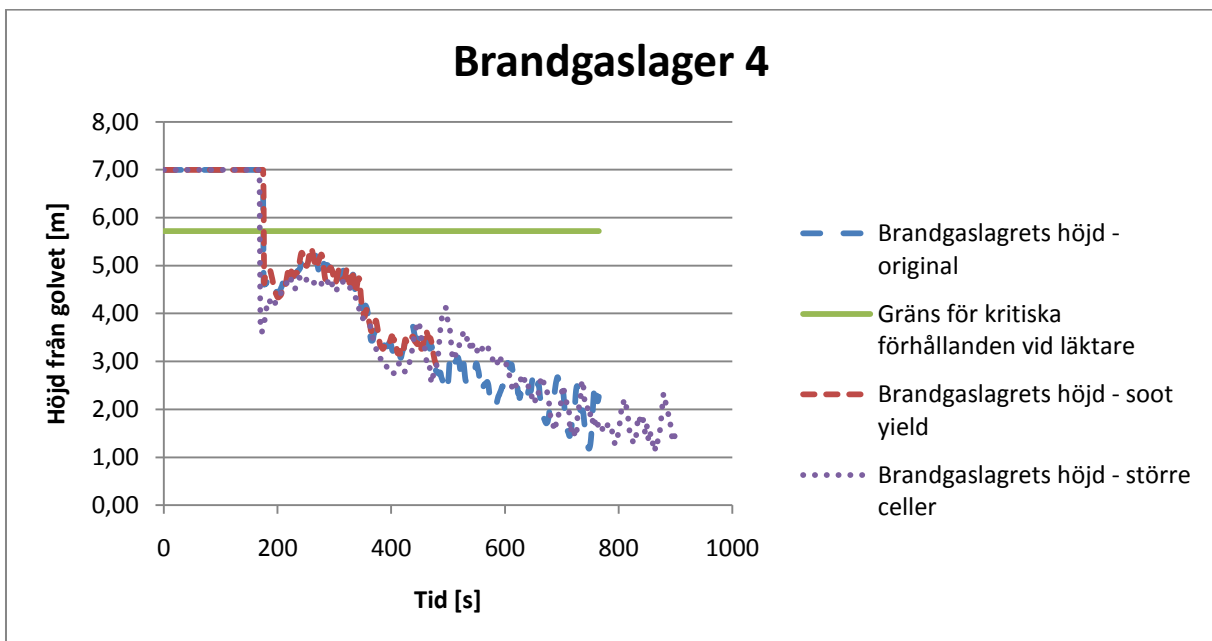


Figur J.2 - Diagram över brandgaslagrets höjd med olika simuleringsindata.

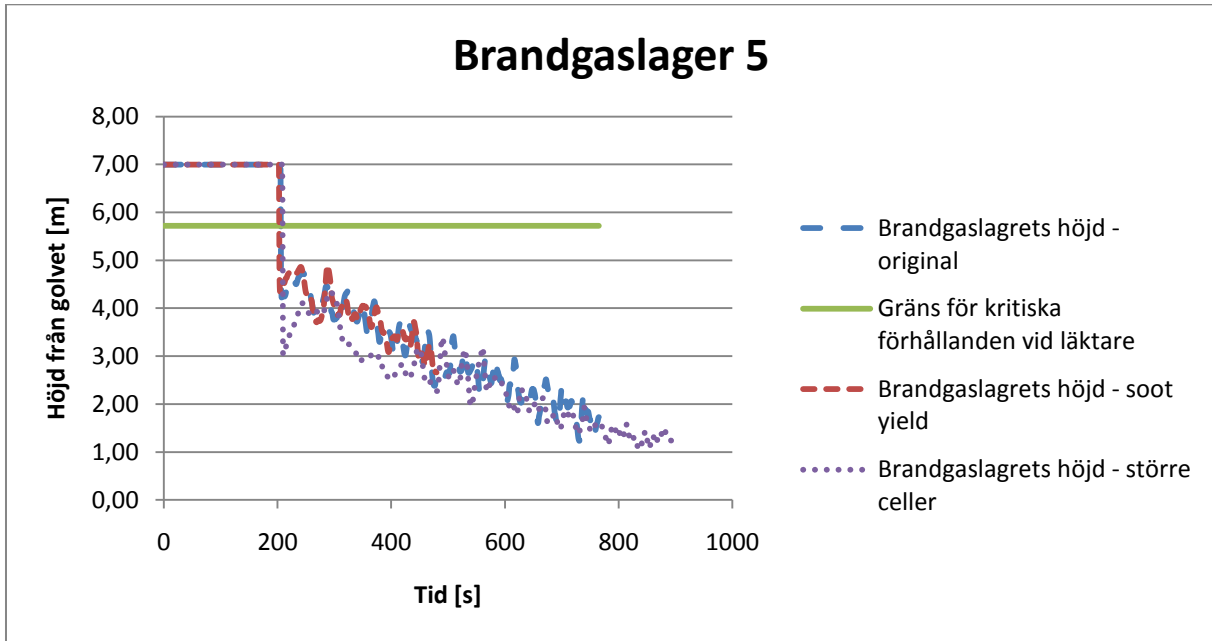




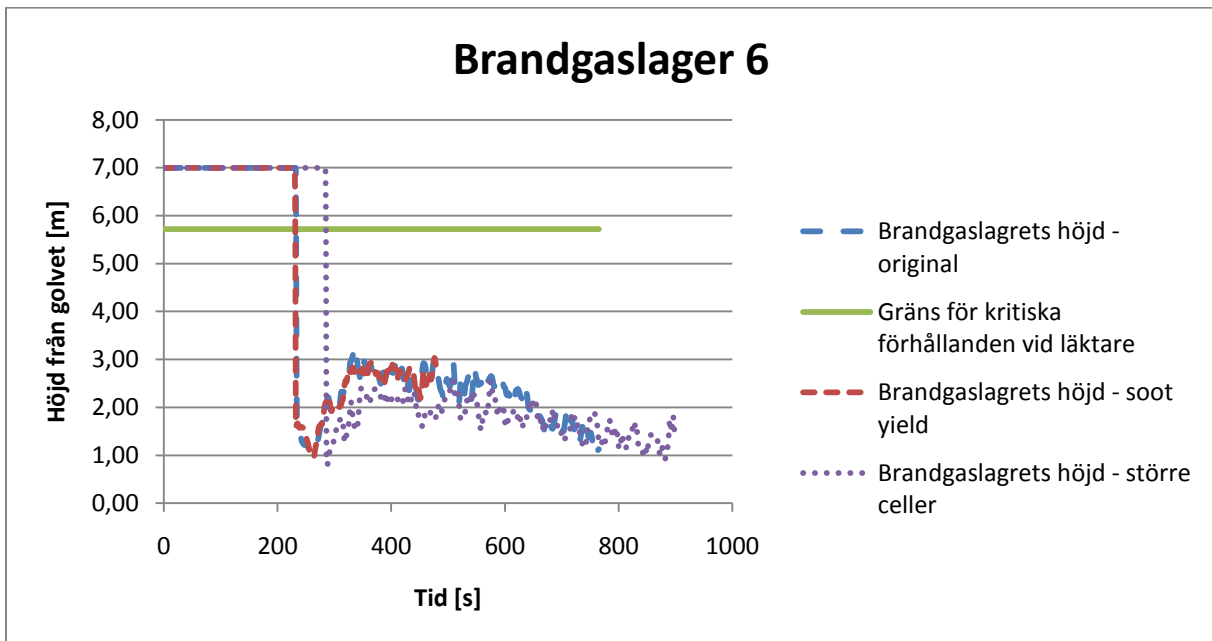
Figur J.3 - Diagram över brandgaslagrets höjd med olika simuleringsindata.



Figur J.4 - Diagram över brandgaslagrets höjd med olika simuleringsindata.



Figur J.5 - Diagram över brandgaslagrets höjd med olika simuleringsindata.



Figur J.6 - Diagram över brandgaslagrets höjd med olika simuleringsindata.

## Bilaga K – Simulex

I denna bilaga redovisas detaljer kring de simuleringar som görs i Simulex.

### K.1 Indata

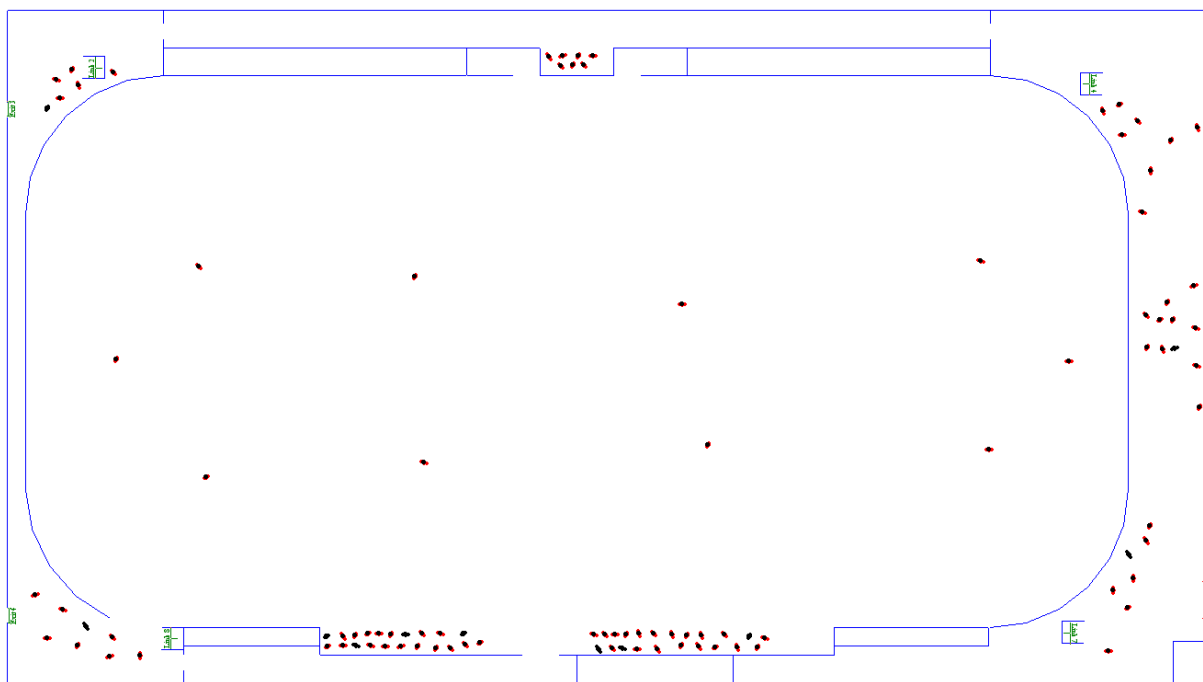
De indata som valts för populationen för simuleringarna i Simulex redovisas i *tabell K.1*.

Tabell K.1 - Indata för ingående variabler för populationer i Simulex.

Typ av person	Andel [%]	Gånghastighet	Standardavvikelse	Multipliseringsfaktor trappa
Män	49	1,35	0,2	0,6
Kvinnor	35	1,15	0,2	0,6
Barn	5	0,9	0,3	0,6
Äldre	11	0,8	0,3	0,6

### K.2 Försökuppställning

I simuleringarna har personer placerats ut i bygganden enligt *figur K.1* och *K.2*.



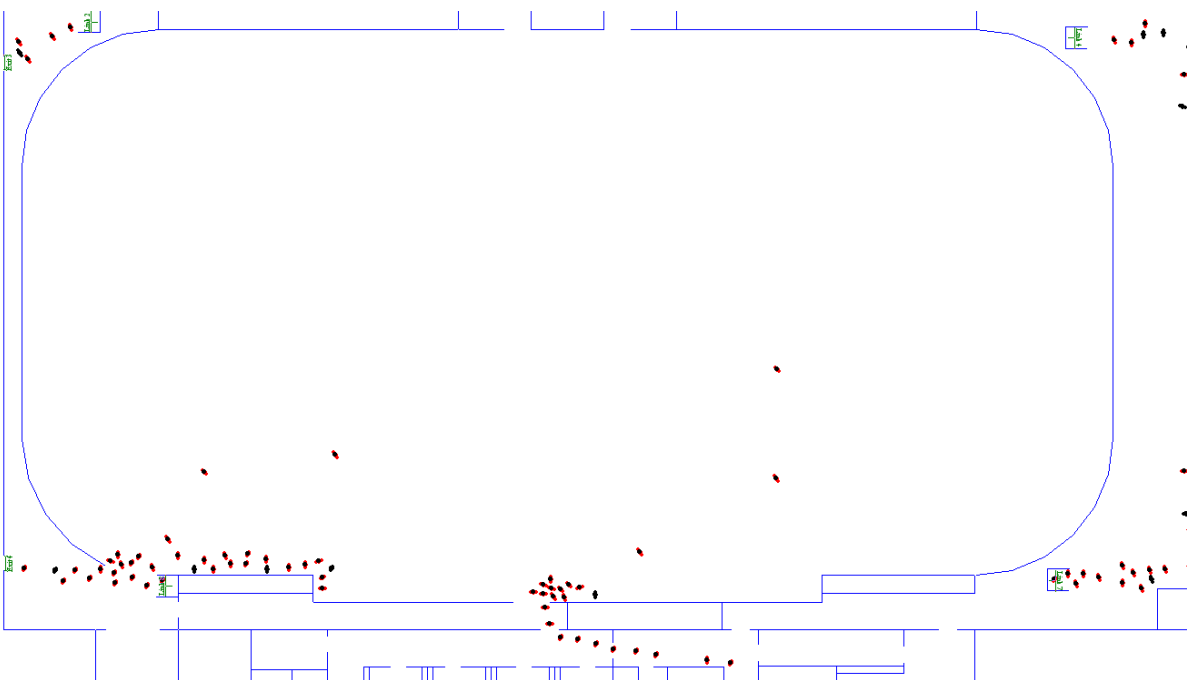
Figur K.1 - Personers placering vid rinken i Simulex.



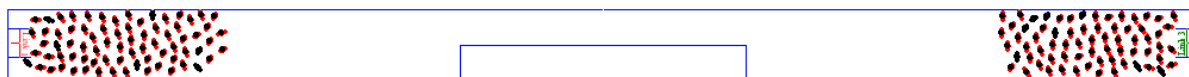
Figur K.2 - Personers placering på läktarna i Simulex.

### K.3 Ögonblicksbild av simulering

I figur K.3 och K.4 syns det hur förloppet ser ut vid en viss tidpunkt efter att utrymningen påbörjats.



Figur K.3 - Ögonblicksbild av utrymmande personer vid rinken i Simulex.



Figur K.4 - Ögonblicksbild av utrymmande personer på läktarna i Simulex.

## Bilaga L – Strålningsberäkningar

Denna bilaga redovisar de handberäkningar som gjorts i rapporten.

### L.1 Strålning från brandgaslager i ishall

Infallande strålning på personer i ishallen beräknas med *ekvation L.1* (Drysdale, 2000).

$$\dot{q}'' = \varnothing \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (\text{Ekvation L.1})$$

$\varepsilon = 1$  då brandgaslagret antas stråla som en svartkropp.

$\varnothing = 1$  då brandgaslagret antas fylla ut hela takytan.

Båda dessa antaganden ger ett konservativt värde på strålningen.

Från FDS-simuleringar fås temperatur på brandgaslagret och från dessa temperaturer beräknas strålningen. Eftersom temperaturen varierar beroende på var i lokalen den mäts tas temperaturen från olika punkter, detta för att göra en känslighetsanalys på strålningsintensiteten. Resultaten redovisas i *tabell L.1 - L.3*.

**Tabell L.1 - Strålningsnivåer från brandgaslagret vid mitten av brandutsatt läktare.**

Tid [s]	Temperatur [°C]	Temperatur [K]	Strålning [kW/m <sup>2</sup> ]
350	50	323	0,62
700	70	343	0,78

**Tabell L.2 - Strålningsnivåer från brandgaslagret vid utgången på motsatt läktare.**

Tid [s]	Temperatur [°C]	Temperatur [K]	Strålning [kW/m <sup>2</sup> ]
350	40	313	0,54
700	90	363	0,98

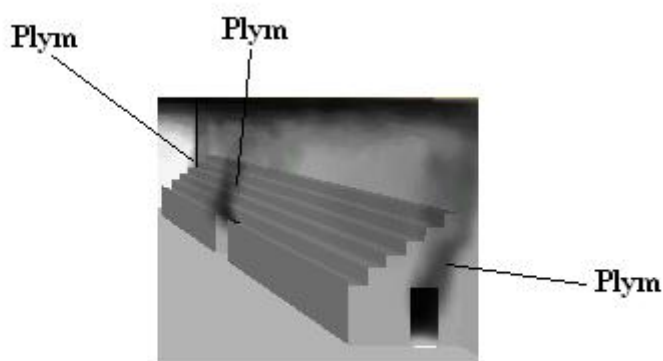
**Tabell L.3 - Strålningsnivåer från brandgaslagret vid mitten av motsatt läktare.**

Tid [s]	Temperatur [°C]	Temperatur [K]	Strålning [kW/m <sup>2</sup> ]
350	50	323	0,62
700	120	393	1,35

Det föreligger alltså ingen risk att strålningen från brandgaslagret skall nå gränsen för kritiska förhållanden som är 2.5 kW/m<sup>2</sup>.

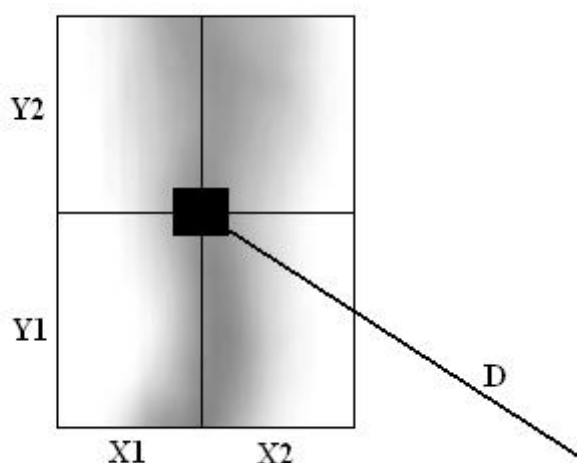
### L.2 Strålning från plym vid läktartrappa

När personer skall ner från läktare kommer de behöva passera brandplymen som kommer från dörren till gången under läktaren, se *figur L.1*.



Figur L.1 - Plymernas utbredning runt läktaren.

För att förenkla beräkningarna approximeras plymen som en rektangel enligt *figur L.2*. Beräkningarna antar även att det strålar från platta till punkt. Eftersom det föreligger svårigheter vid bestämning av plymens storlek så beräknas lite olika storlekar för en känslighetsanalys.



Figur L.2 - Approximation av brandplym.

Lite beroende på var branden startar kommer det efter en viss tid även slå ut lågor ur dörren. Eftersom FDS-simuleringen inte bygger på någon brandspridningsmodell är det oklart när lågorna egentligen slår ut från dörren.

Från FDS-simuleringen fås temperatur. Temperaturen varierar kraftigt, både med tiden och på vilken höjd den mäts. Eftersom temperatur är en stor faktor i strålningsberäkningar är det viktigt att en rimlig temperatur används. Beräkningarna görs därför med flera olika temperaturer för jämförelse.

$D$  enligt *figur L.2* är två meter.

Synfaktorn  $\varnothing$  beräknas med *ekvation L.2 och L.3* och utifrån värden från tabell i (Drysdale, 2000).

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{Y \cdot X}{D^2} \\ S &= \frac{Y}{X} \end{aligned} \right\}$$

(Ekvation L.2 och ekvation L.3)

### L.2.1 Storlek på plym 3 x 4 meter

Utifrån förutsättningen att plymens storlek är 3 x 4 (X x Y) meter varierar strålningen med temperaturen enligt *tabell L.4*.

$$\left\{ \begin{aligned} S &= 0,75 \\ \alpha &= 0,75 \end{aligned} \right. \rightarrow \varnothing = 0,477$$

Tabell L.4 - Strålningsnivåer för 3 x 4 meters plym.

Tid [s]	Temperatur [°C]	Temperatur [K]	Strålning [kW/m <sup>2</sup> ]
300 (inga flammor)	50-100	323-373	0,29 - 0,52
485 (flammor)	250-900	523-1173	2,02 - 51,89

### L.2.2 Storlek på plym 2 x 2 meter

Utifrån förutsättningen att plymens storlek är 2 x 2 (X x Y) meter varierar strålningen med temperaturen enligt *tabell L.5*.

$$\left\{ \begin{aligned} S &= 1,00 \\ \alpha &= 0,25 \end{aligned} \right. \rightarrow \varnothing = 0,24$$

Tabell L.5 - Strålningsnivåer för 2 x 2 meters plym.

Tid [s]	Temperatur [°C]	Temperatur [K]	Strålning [kW/m <sup>2</sup> ]
300 (inga flammor)	50-100	323-373	0,18 - 0,32
485 (flammor)	250-900	523-1173	1,02 - 25,76

### L.2.3 Storlek på plym 4 x 6 meter

Utifrån förutsättningen att plymens storlek är 4 x 6 (X x Y) meter varierar strålningen med temperaturen enligt *tabell L.6*.

$$\left\{ \begin{aligned} S &= 0,67 \\ \alpha &= 1,50 \end{aligned} \right. \rightarrow \varnothing = 0,61$$

Tabell L.6 - Strålningsnivåer för 4 x 6 meters plym.

Tid [s]	Temperatur [°C]	Temperatur [K]	Strålning [kW/m <sup>2</sup> ]
300 (inga flammor)	50-100	323-373	0,38 - 0,67
485 (flammor)	250-900	523-1173	2,59 - 65,48

Enligt strålningsberäkningarna föreligger det ingen risk för att den kritiska gränsen överskrids när strålning endast sker från brandplymen. Det är först då flammor slår ut genom öppningarna i läktaren som kritiska förhållanden uppstår. Vid vilken tidpunkt detta sker beror på brandens



placering under läktaren. Simuleringen visar att flammor inte börjar slå ut förrän långt in i brandförloppet då utrymningen redan pågått under en längre tid.

### L.3 Strålning från brandgaslager servicedel

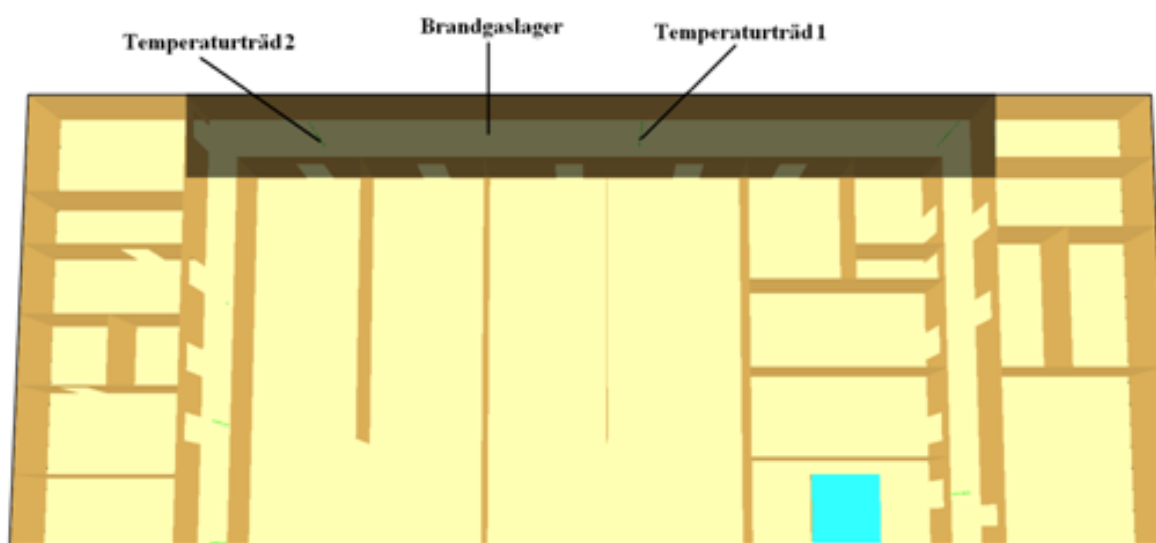
Infallande strålning på personer i servicedelen beräknas med *ekvation L.1*.

Eftersom brandgaslagret breder ut sig i en lång korridor är det svårt att avgöra vilken temperatur som skall användas i beräkningarna eftersom temperaturen varierar mycket beroende på var i korridoren temperaturträden är placerade. Temperaturträdens placering framgår av *figur L.3*.

Därför beräknas istället en temperatur fram då kritiska strålning uppstår ( $2,5 \text{ kW/m}^2$ ) vid de olika mätpunkterna. Den kritiska temperaturen med avseende på strålning blir 458 K. Utifrån FDS-simuleringen kontrolleras när temperaturen överstiger 458 K vid de olika punkterna på träden och ett medelvärde för dessa punkter redovisas i *tabell L.7*.

Tabell L.7 - Tid till kritisk strålning.

Träd	Medeltid till kritisk strålning (458 K) [s]
1	≈ 260
2	≈ 270
Medelvärde	≈ 265



Figur L.3 - Temperaturträdens placering i servicedelen.

## Bilaga M - Brandgaslagrets höjd

För att beräkna när brandgaslagrets höjd når en kritisk gräns används Tanaka-Yamanas metod (Tanaka & Yamana, 1985). Metoden beräknar tiden till dess att brandgaslagret når 5.72 meter över golvet, det vill säga den höjd då kritiska gränsen passeras för de som befinner sig högst upp på läktaren. Ingen hänsyn tas till att branden är placerad under läktaren och inte heller att en så kallad balkongplym bildas. Resultaten från handberäkningarna kommer således att avvika jämfört med FDS-simuleringarna, eftersom FDS tar hänsyn till brandens placering och att balkongplymer förekommer.

För att handberäkna brandgaslagrets höjd används *ekvation M.1 – M.3*. Först antas ett värde på densiteten för att kunna beräkna  $k$  i *ekvation M.2*. Därefter beräknas en tid ut med *ekvation M.1*. Beräkningarna kontrolleras till sist med ekvationen för energibalansen, *ekvation M.3*, där den framräknade densiteten skall bli så nära den som antas i *ekvation M.2* som möjligt. Beräkningarna har utförts i Excel för att lättare iterera fram resultaten.

$$t = \left[ \left( z^{-2/3} - \frac{1}{H^{2/3}} \right) \cdot \frac{A \cdot (n + 3)}{2 \cdot k \cdot \alpha^{1/3}} \right]^{\frac{1}{1+n/3}}$$

(Ekvation M.1)

där

$$Z = 5,72 \text{ [m]}$$

$$H = 7 \text{ [m]}$$

$$A = 2340 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$N = 2 \text{ [-]}$$

$$\alpha = 0,062 \text{ [kW/s}^2\text{]}$$

$$k = \frac{0,21}{\rho_a} \left( \frac{\rho_a^2 \cdot g}{c_p \cdot T_a} \right)^{1/3}$$

(Ekvation M.2)

där

$$\rho_a = 0,9289 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

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

$$c_p = 1,0 \text{ [kJ/kg K]}$$

$$T_a = 293 \text{ [K]}$$

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

(Ekvation M.3)

Känslighetsanalys med olika tillväxskoefficienter görs för att kontrollera hur snabbt brandgaslagret sjunker beroende på hur snabbt branden tillväxer, där  $\alpha$ -värdet  $0,062 \text{ kW/s}^2$  är det värde som använts för simuleringarna för läktarbranden.

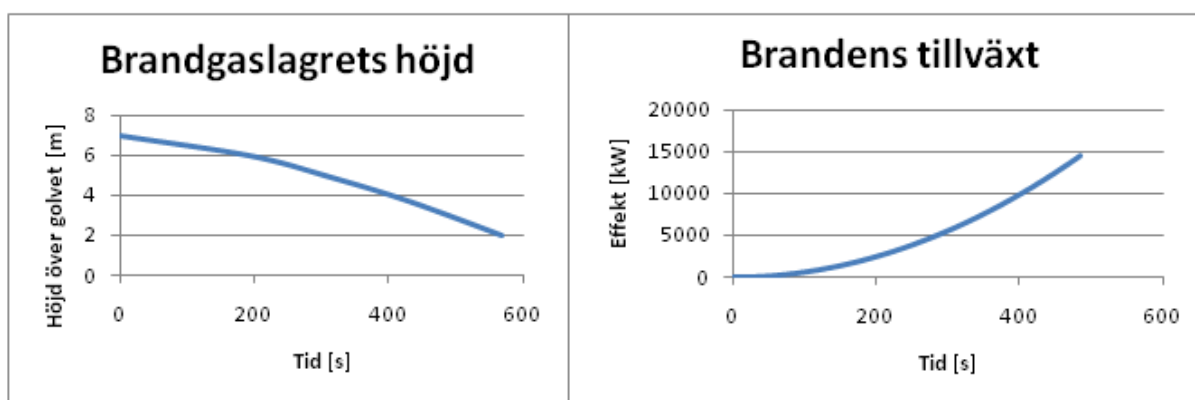
$$\alpha = 0,047 \text{ [kW/s}^2\text{]} \rightarrow t = 240 \text{ s}$$

$$\alpha = 0,062 \text{ [kW/s}^2\text{]} \rightarrow t = 225 \text{ s}$$

$$\alpha = 0,19 \text{ [kW/s}^2\text{]} \rightarrow t = 175 \text{ s}$$

Enligt FDS-simuleringarna når brandgaslagrets höjd 5,72 meter efter mellan 155-310 sekunder, med ett medelvärde på 223 sekunder. Detta medelvärde jämförs med det handberäknade värdet på 226 sekunder. Handberäkningarna verkar alltså korrelera bra mot medelvärdet från FDS.

Figur M.1 visar hur brandgaslagret sjunker i förhållande till effektutvecklingen.



Figur M.1 - Diagram över hur brandgaslagret varierar jämfört med effektutvecklingen ( $\alpha=0,062 \text{ kW/s}^2$ ).

## Bilaga N – FDS resultat

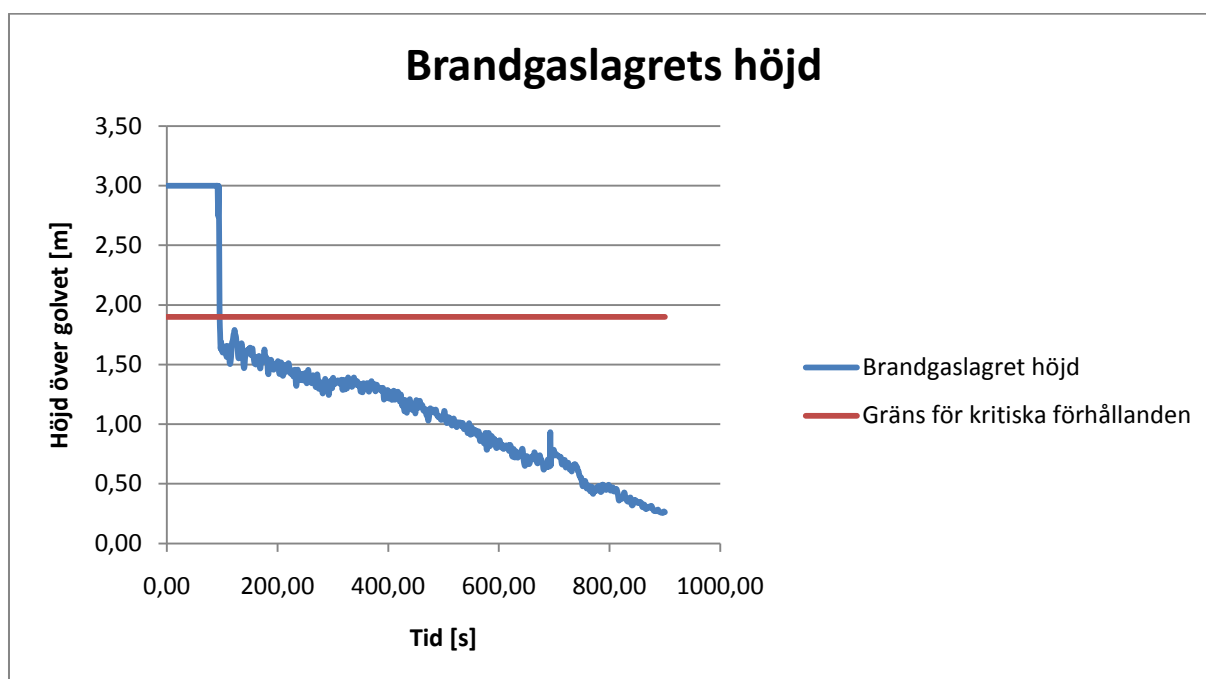
I denna bilaga redovisas grafer av alla de resultat som erhållits från FDS-simuleringarna.

### N.1 Ventilationsutrymmet innan åtgärder

I detta avsnitt presenteras de resultat som erhållits från simuleringarna i ventilationsutrymmet innan åtgärder.

#### N.1.1 Brandgaslagrets höjd

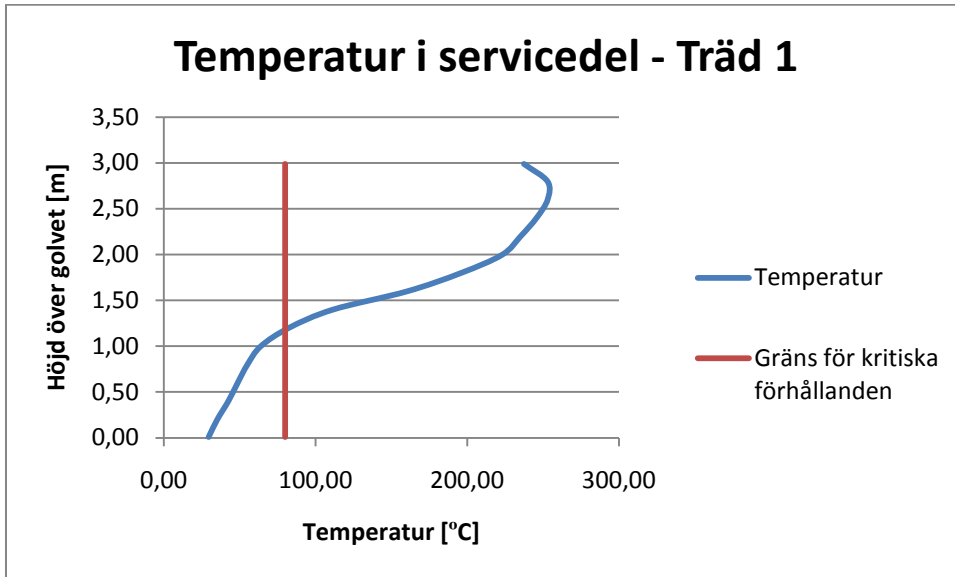
I figur N.1 redovisas brandgaslagrets höjd över golvet i sevedelen.



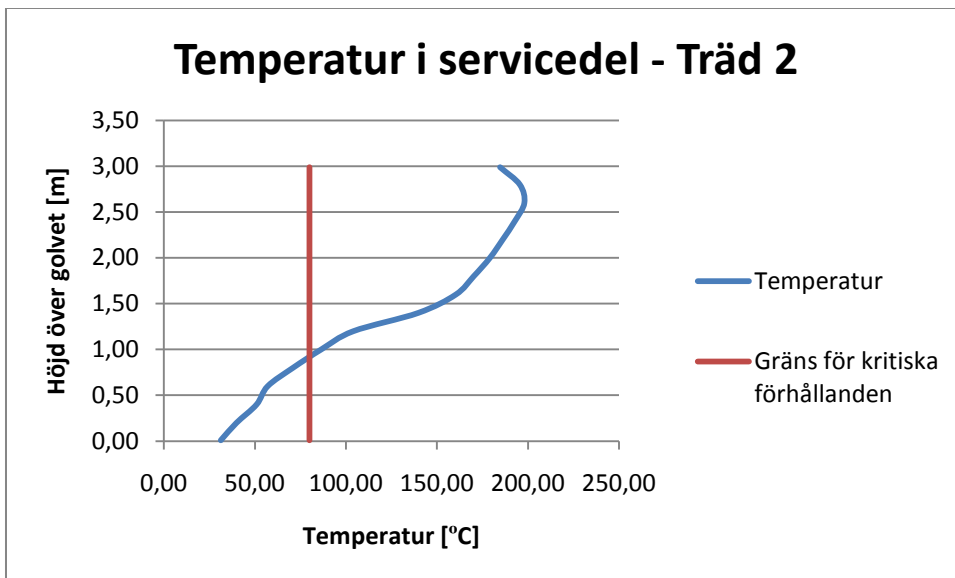
Figur N.1 - Brandgaslagrets höjd över golvet vid brand i ventilationsutrymmet.

### N.1.2 Temperatur

I figur N.2 och N.3 redovisas temperaturen i servicedelen.



Figur N.2 - Temperaturen vid olika höjder över golvet vid brand i ventilationsutrymmet, träd 1.



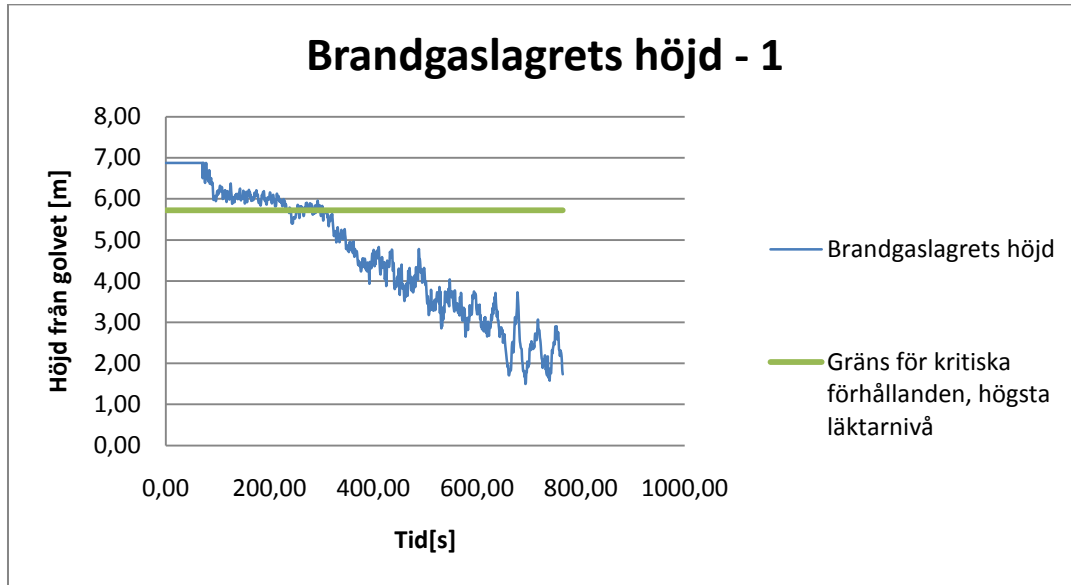
Figur N.3 - Temperaturen vid olika höjder över golvet vid brand i ventilationsutrymmet, träd 2.

## N.2 Läktarbrand innan åtgärder

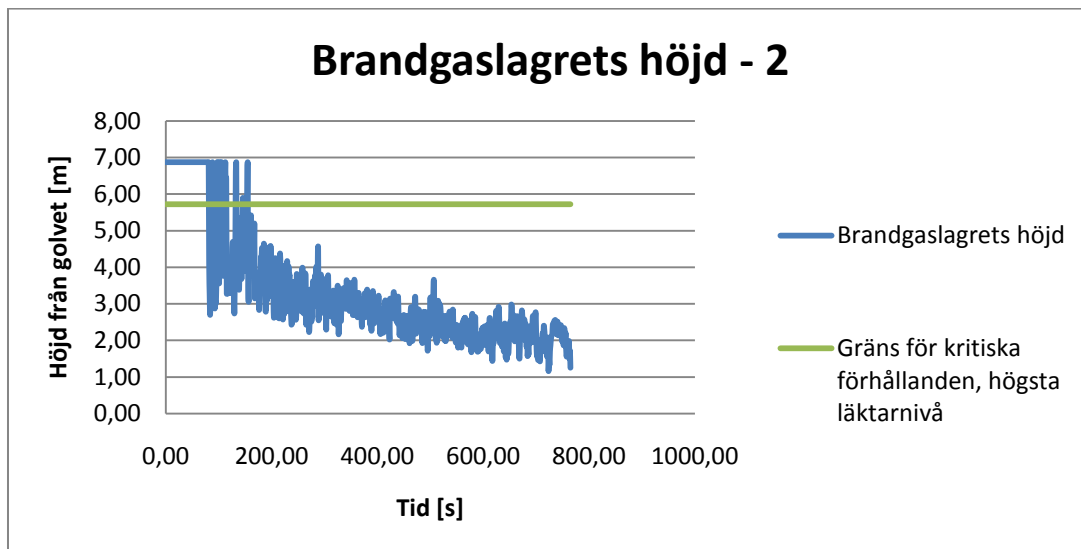
I detta avsnitt presenteras de resultat som erhållits från simuleringarna i ishallen innan åtgärder.

### N.2.1 Brandgaslagrets höjd

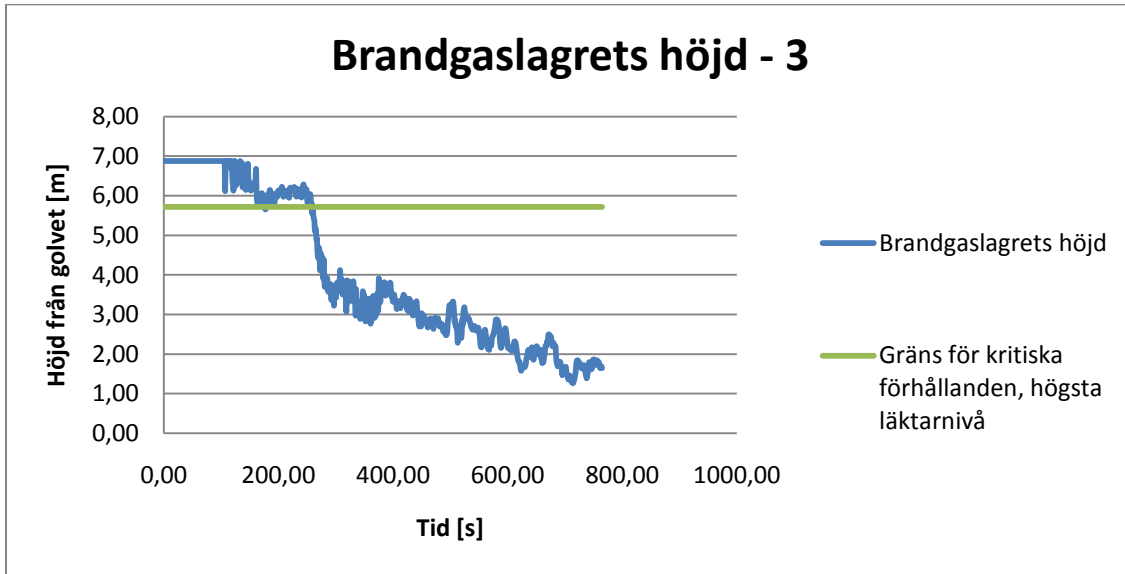
I figur N.4 - N.9 redovisas brandgaslagrets höjd över golvet i ishallen.



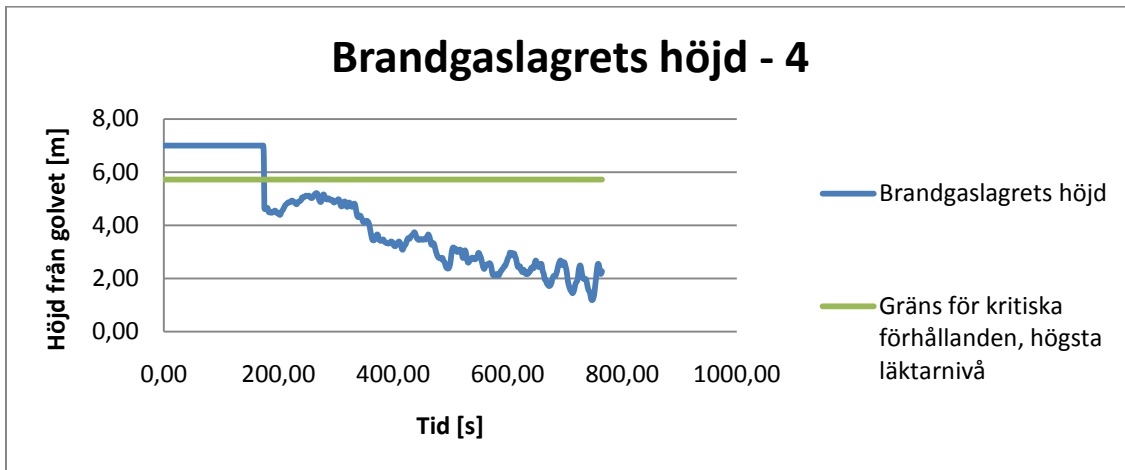
Figur N.4 - Brandgaslagrets höjd över golvet vid brand i ishallen, mät punkt 1.



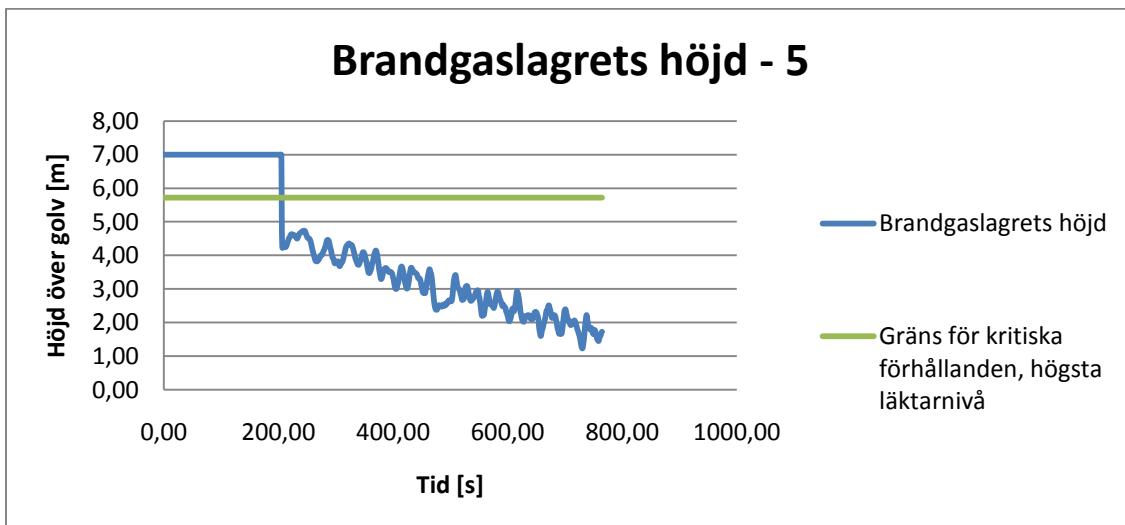
Figur N.5 - Brandgaslagrets höjd över golvet vid brand i ishallen, mät punkt 2.



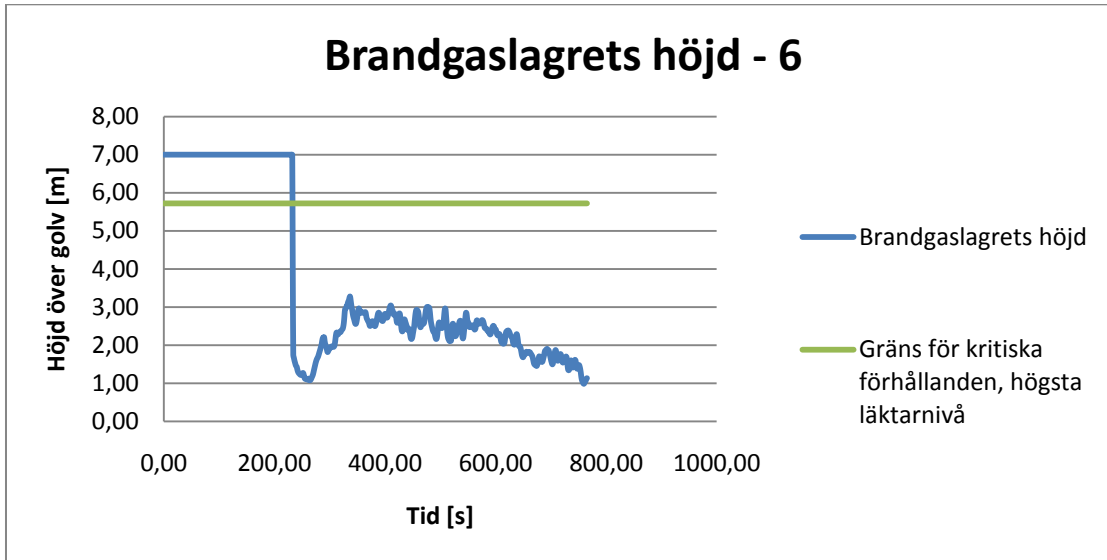
Figur N.6 - Brandgaslagrets höjd över golvet vid brand i ishallen, mät punkt 3.



Figur N.7 - Brandgaslagrets höjd över golvet vid brand i ishallen, mät punkt 4.



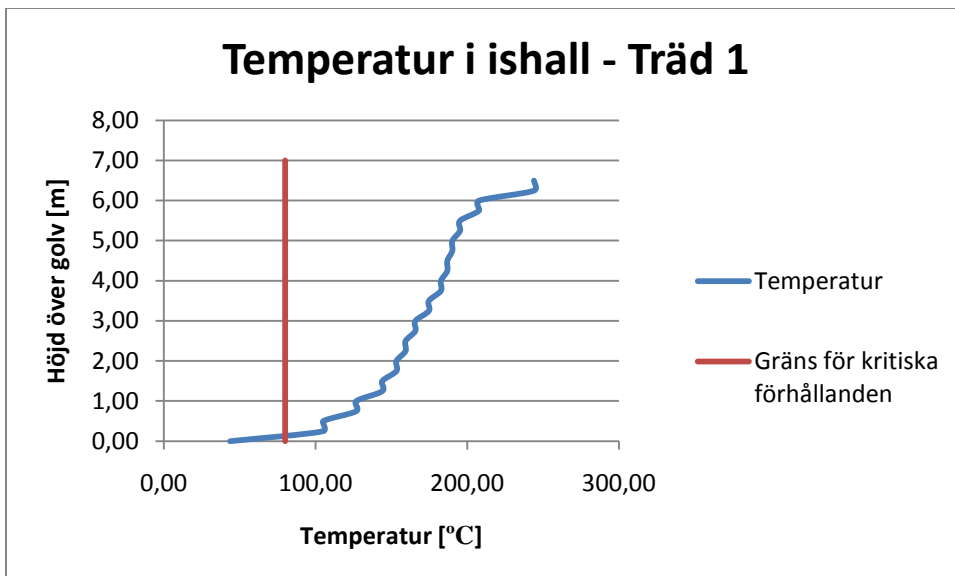
Figur N.8 - Brandgaslagrets höjd över golvet vid brand i ishallen, mät punkt 5.



Figur N.9 - Brandgaslagrets höjd över golvet vid brand i ishallen, mätpunkt 6.

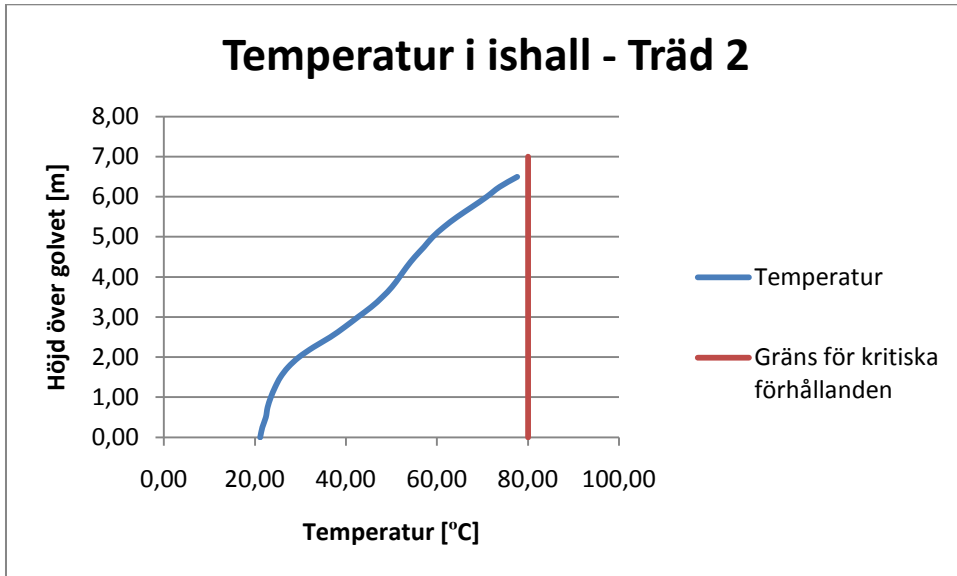
## N.2.2 Temperatur

I figur N.10 - N.15 redovisas temperaturen i ishallen.

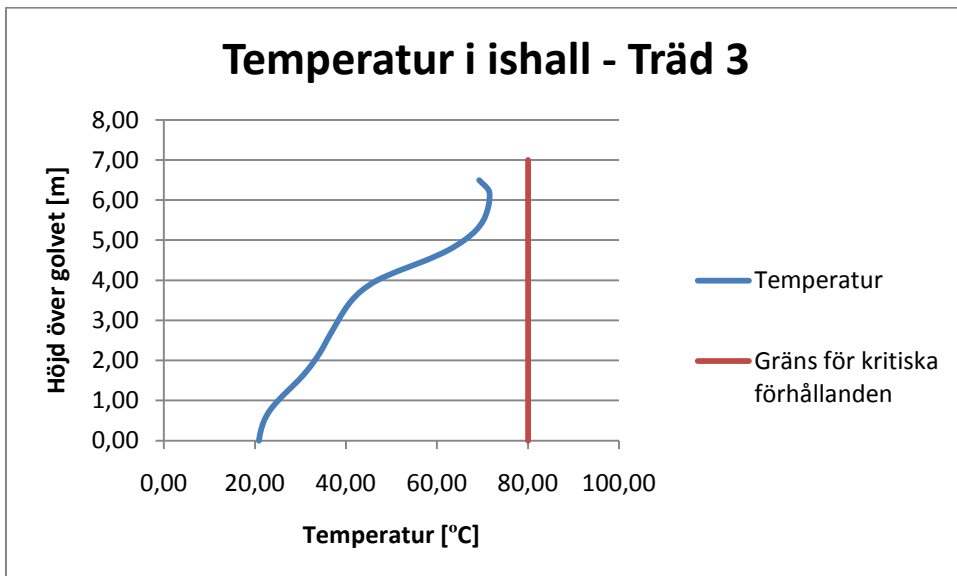


Figur N.10 - Temperaturen vid olika höjder över golvet vid brand i ishallen, träd 1.

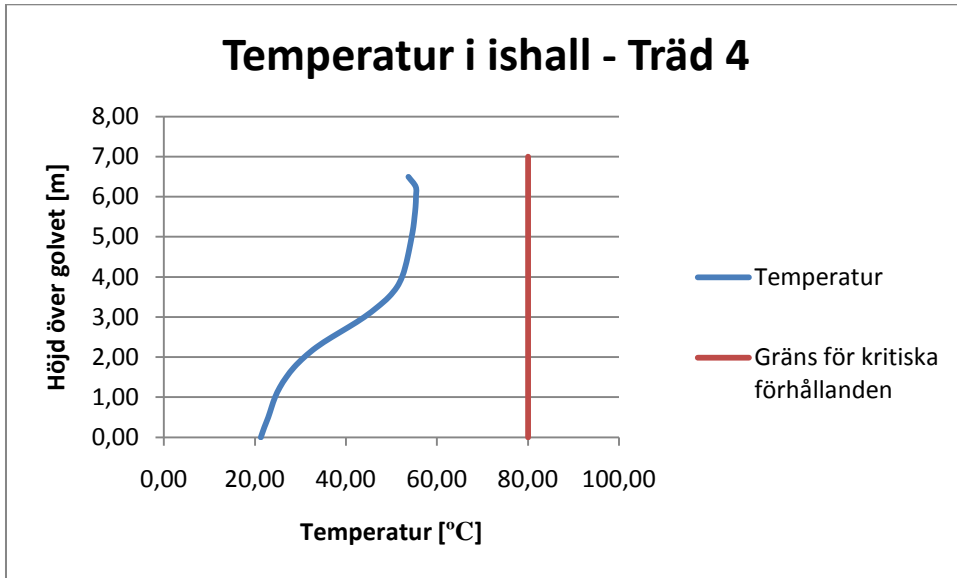




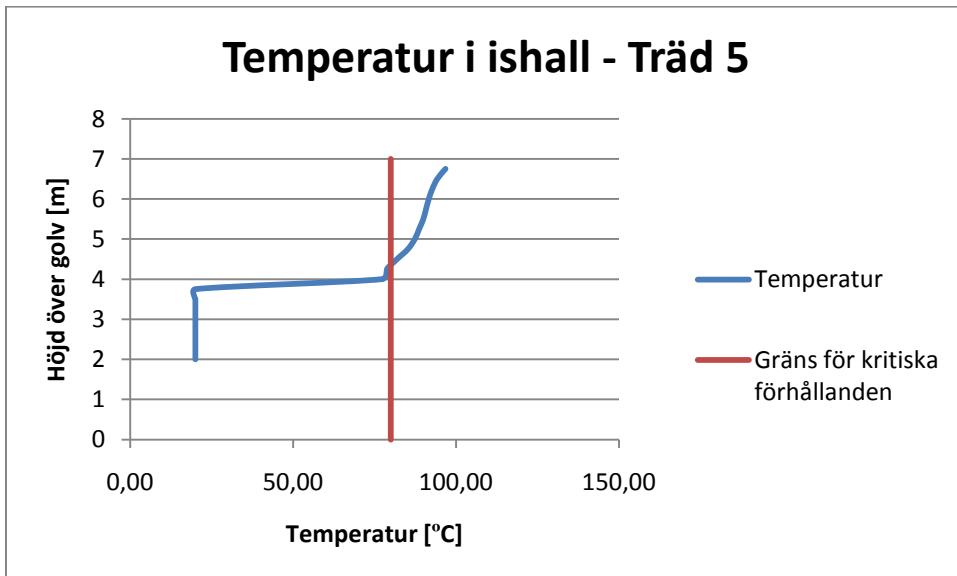
Figur N.11 - Temperaturen vid olika höjder över golvet vid brand i ishallen, träd 2.



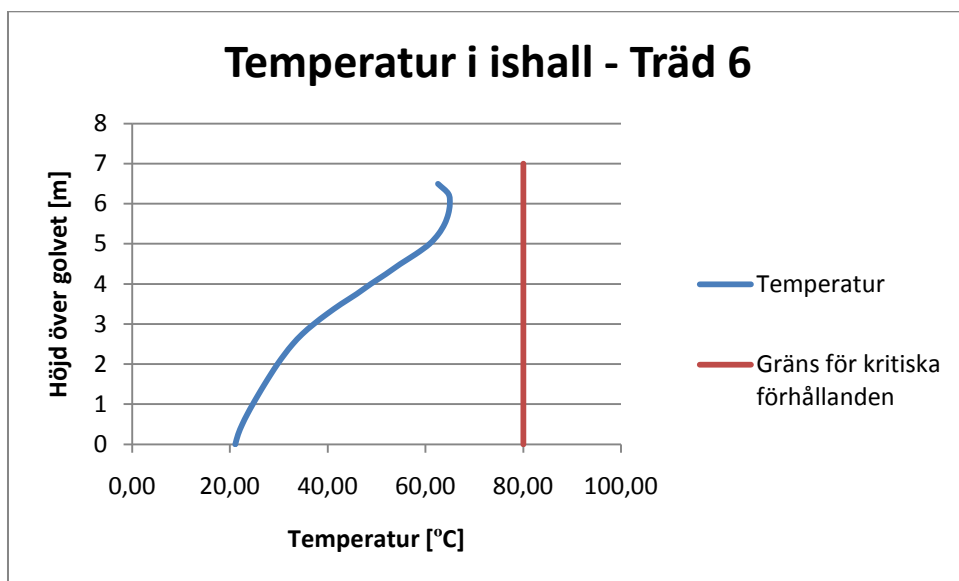
Figur N.12 - Temperaturen vid olika höjder över golvet vid brand i ishallen, träd 3.



Figur N.13 - Temperaturen vid olika höjder över golvet vid brand i ishallen, träd 4.



Figur N.14 - Temperaturen vid olika höjder över golvet vid brand i ishallen, träd 5.



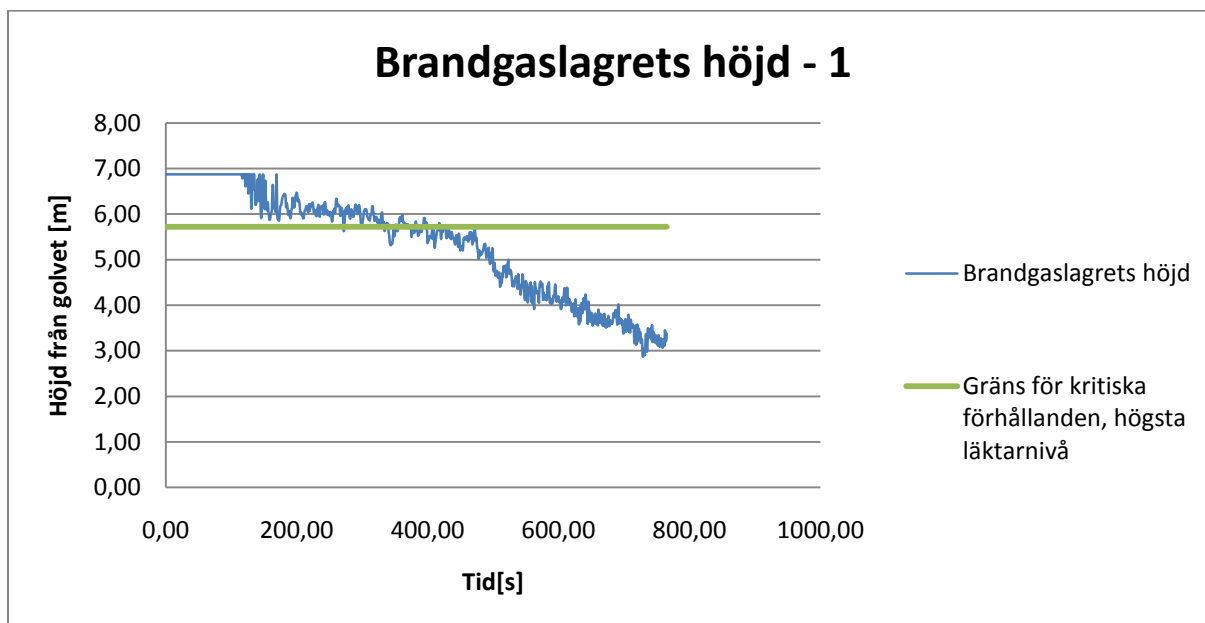
Figur N.15 - Temperaturen vid olika höjder över golvet vid brand i ishallen, träd 6.

## N.3 Läktarbrand efter åtgärder

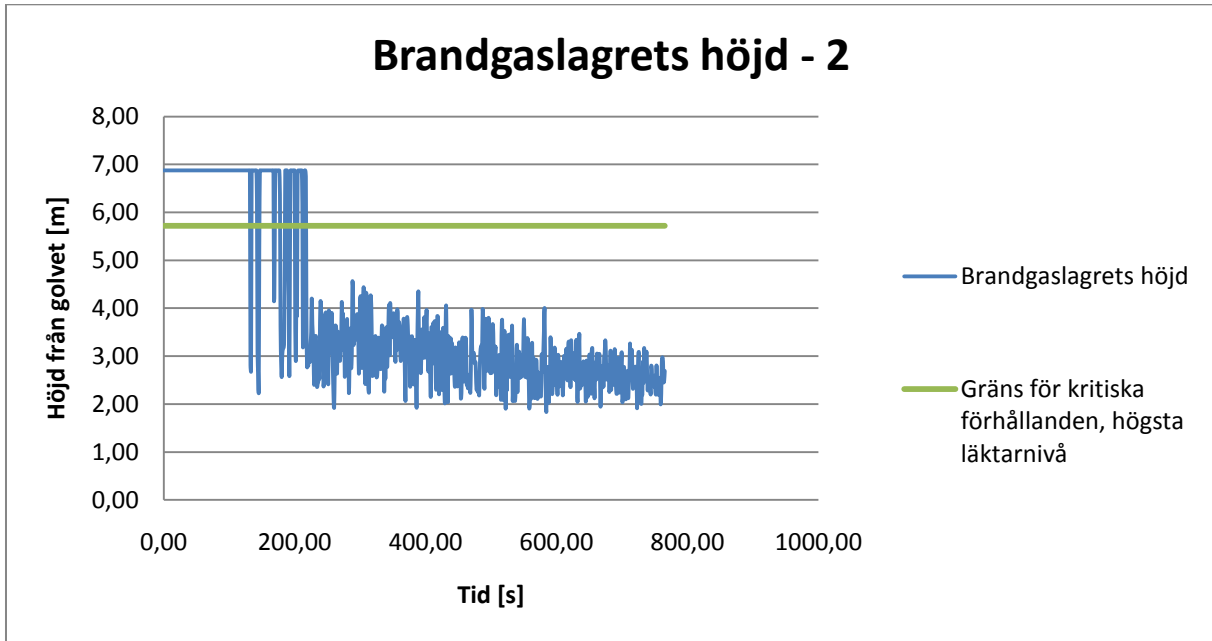
I detta avsnitt presenteras de resultat som erhållits från simuleringarna i ishallen efter åtgärder.

### N.3.1 Brandgaslagrets höjd

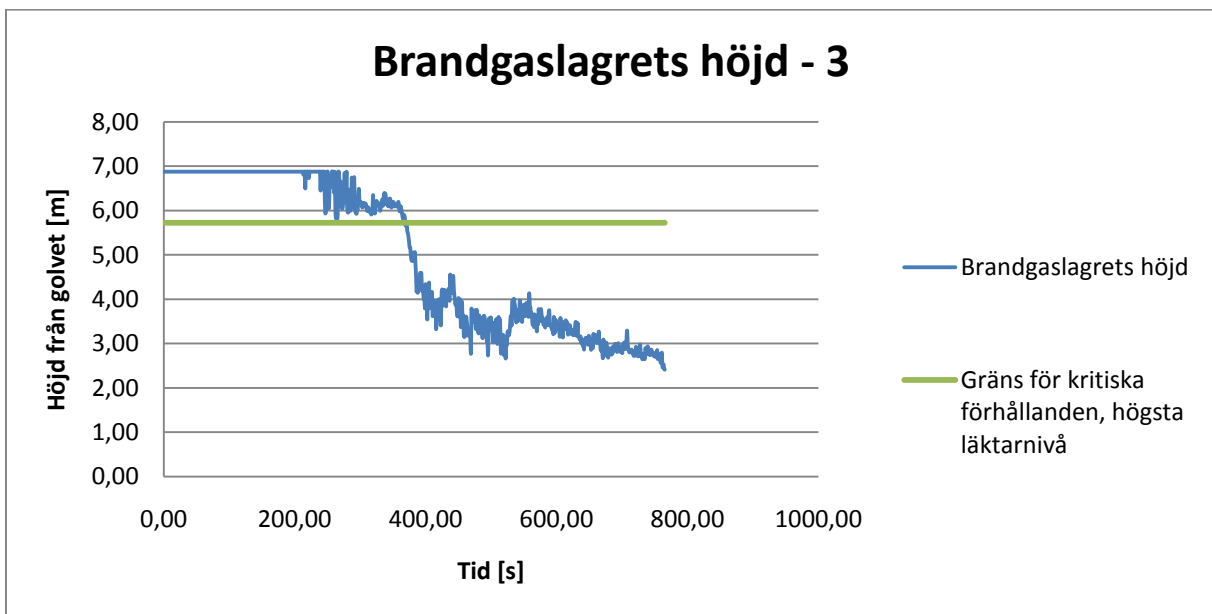
I figur N.16 - N.21 redovisas brandgaslagrets höjd över golvet i ishallen.



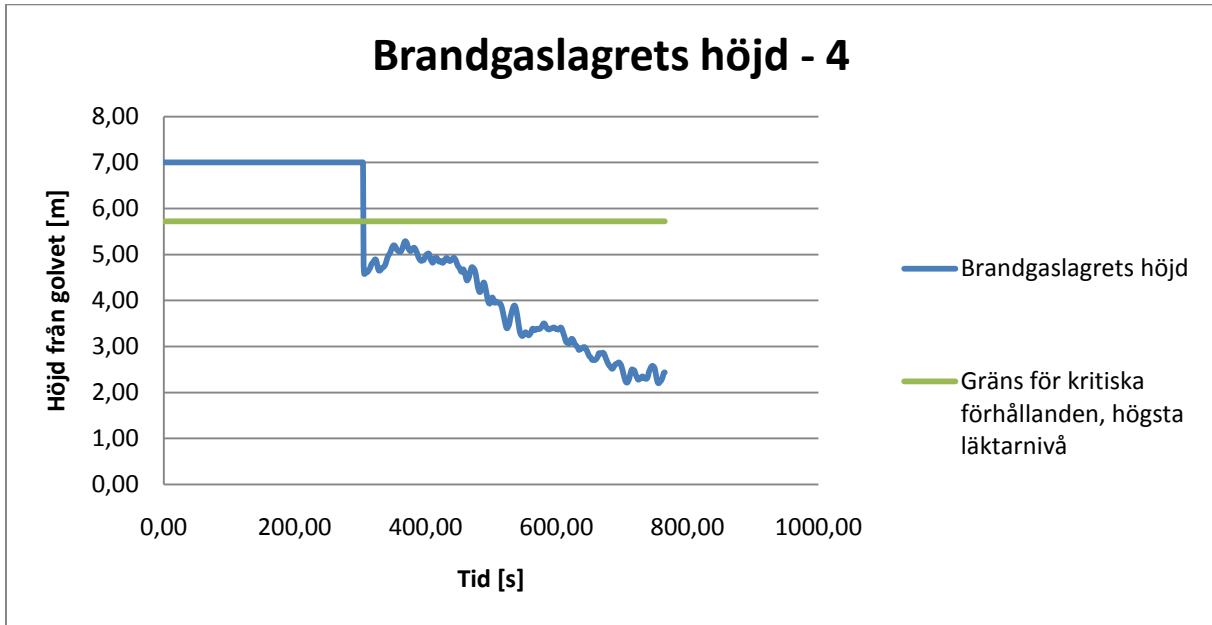
Figur N.16 - Brandgaslagrets höjd över golvet vid brand i ishallen, mätpunkt 1.



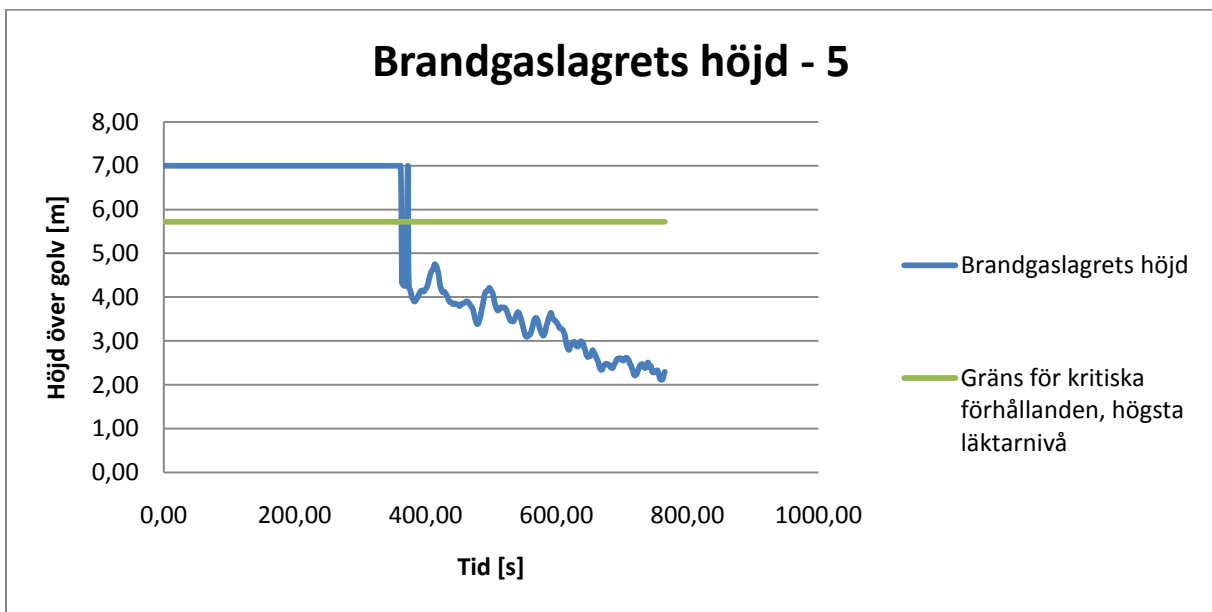
Figur N.17 - Brandgaslagrets höjd över golvet vid brand i ishallen, mätpunkt 2.



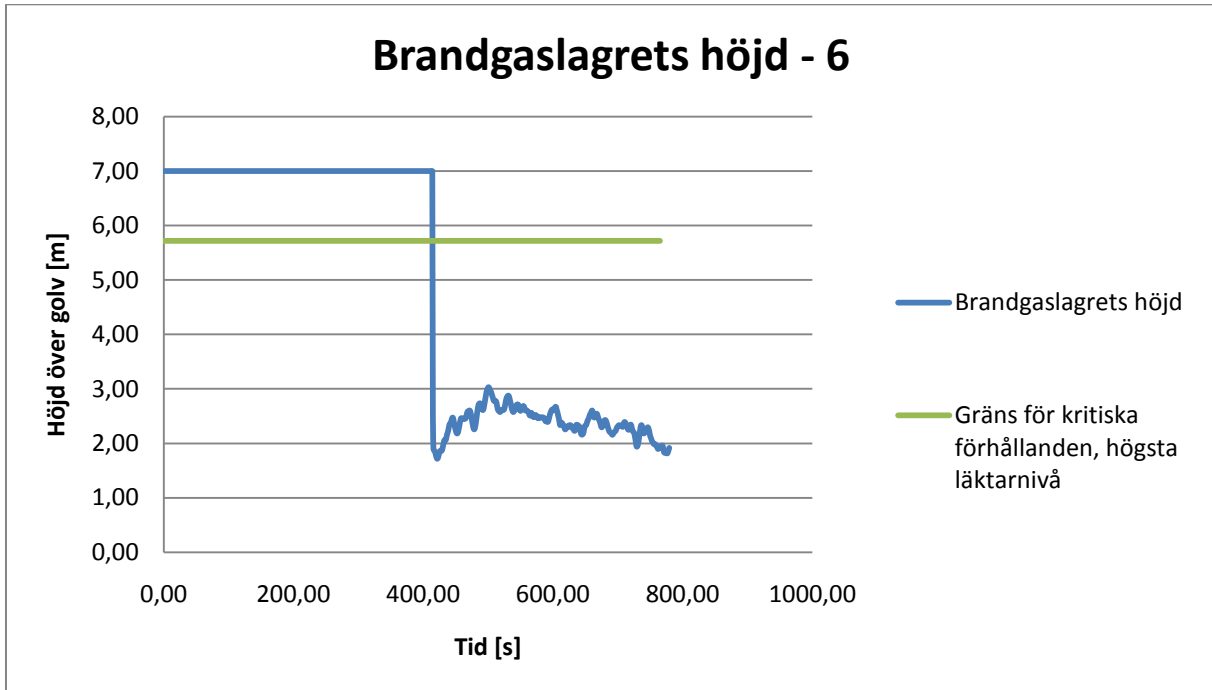
Figur N.18 - Brandgaslagrets höjd över golvet vid brand i ishallen, mätpunkt 3.



Figur N.19 - Brandgaslagrets höjd över golvet vid brand i ishallen, mätpunkt 4.



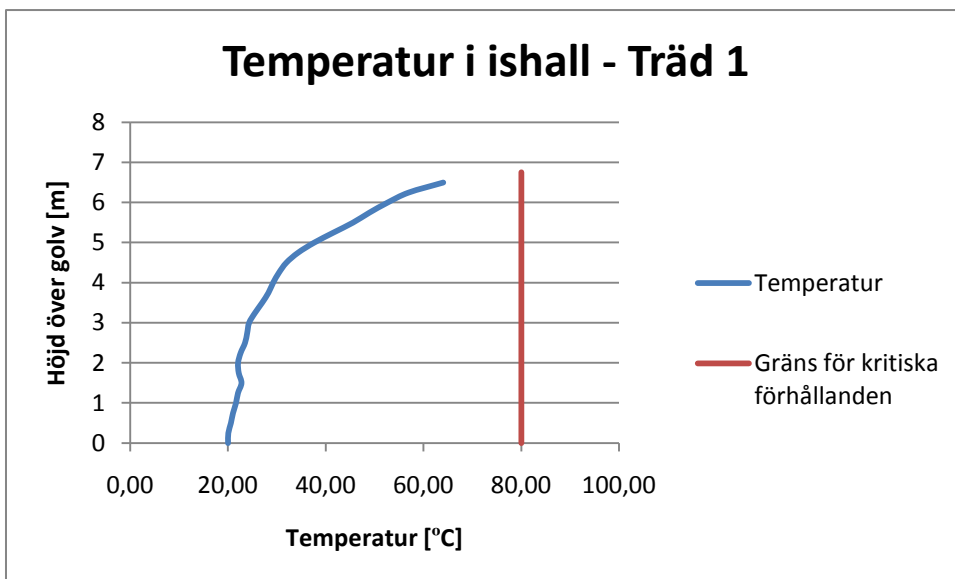
Figur N.20 - Brandgaslagrets höjd över golvet vid brand i ishallen, mätpunkt 5.



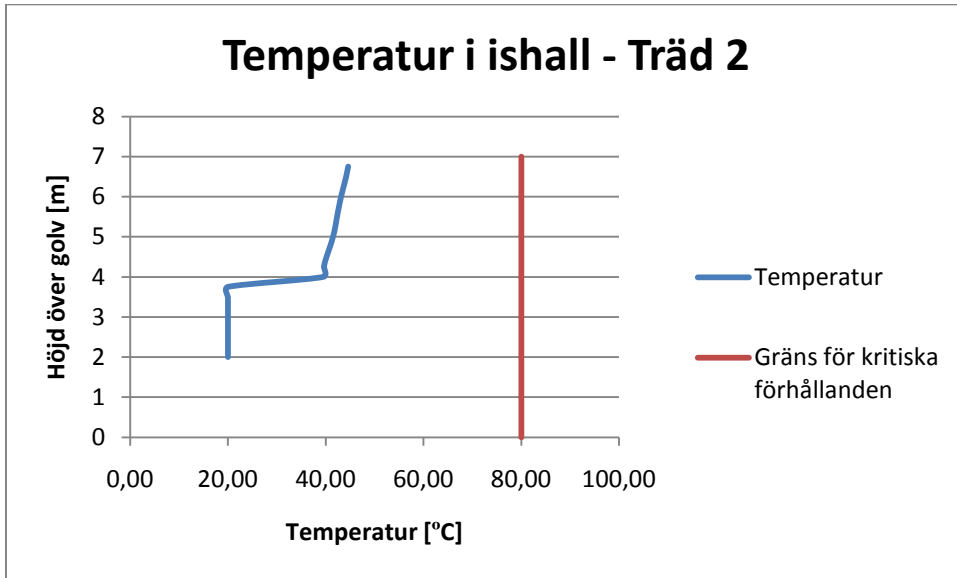
Figur N.21 - Brandgaslagrets höjd över golvet vid brand i ishallen, mätpunkt 6.

### N.3.2 Temperatur

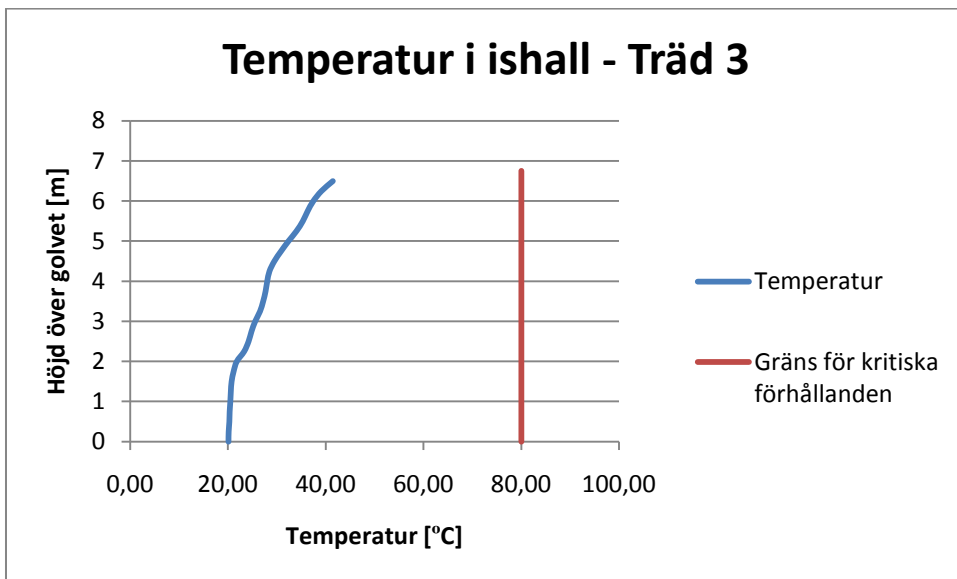
I figur N.22 - N.27 redovisas temperaturen i ishallen.



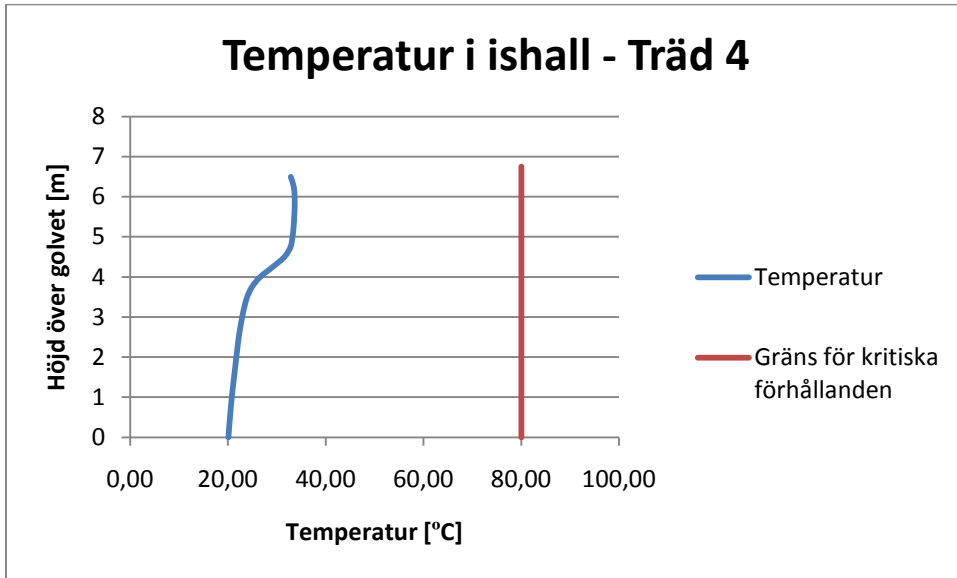
Figur N.22 - Temperaturen vid olika höjder över golvet vid brand i ishallen, träd 1.



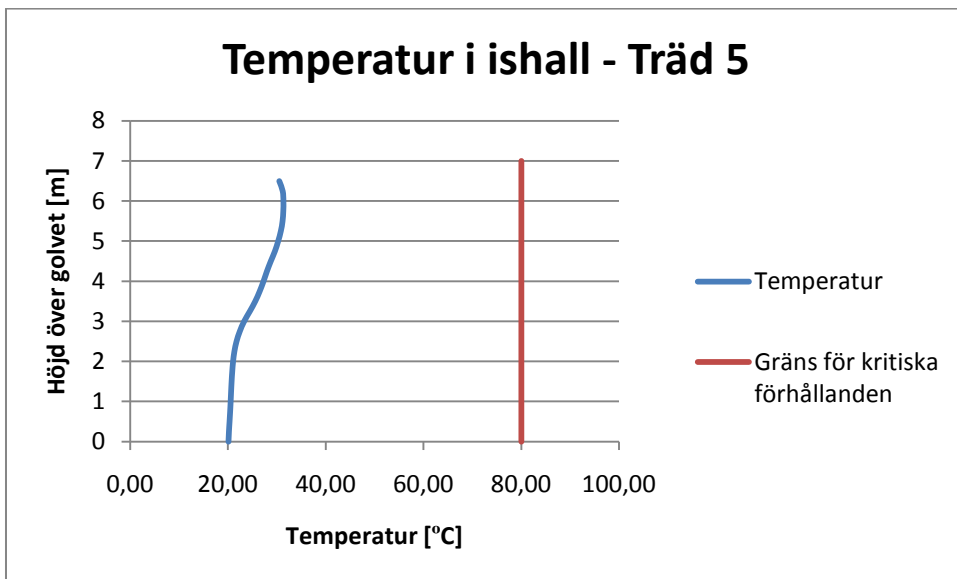
Figur N.23 - Temperaturen vid olika höjder över golvet vid brand i ishallen, träd 2.



Figur N.24 - Temperaturen vid olika höjder över golvet vid brand i ishallen, träd 3.

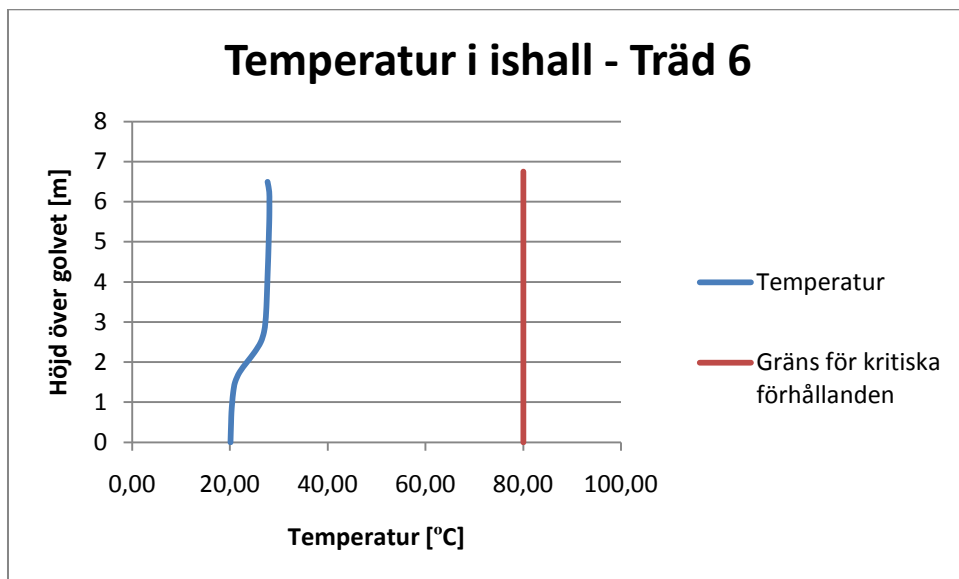


Figur N.25 - Temperaturen vid olika höjder över golvet vid brand i ishallen, träd 4.



Figur N.26 - Temperaturen vid olika höjder över golvet vid brand i ishallen, träd 5.





Figur N.27 - Temperaturen vid olika höjder över golvet vid brand i ishallen, träd 6.

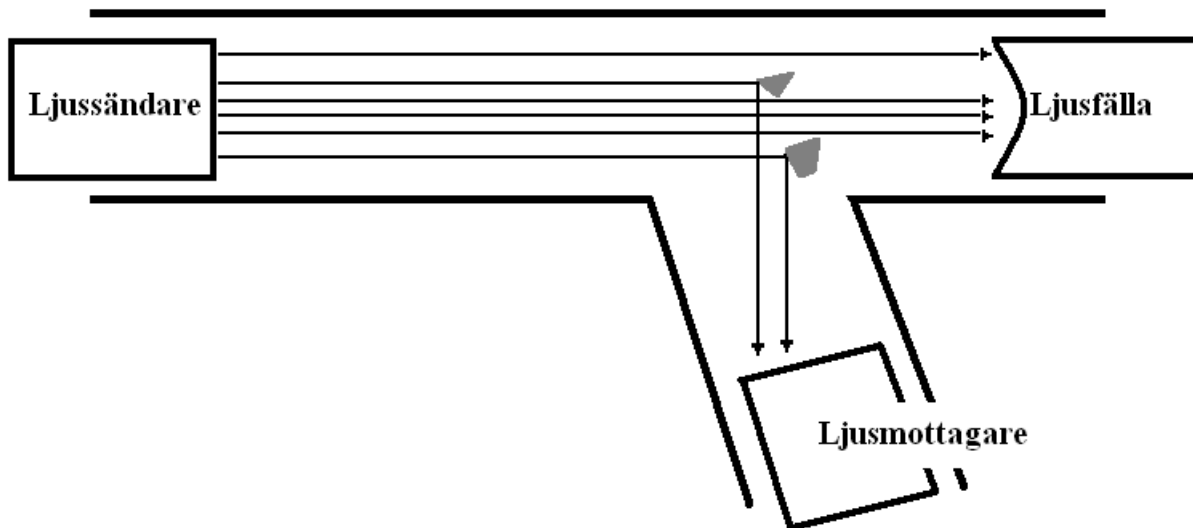
## Bilaga 0 - Detektion teori

I denna bilaga presenteras kort teori om detektion.

Det finns det idag ett stort antal olika detektorer. De kan delas upp i grupperna flamdetektorer, gasdetektorer, rökdetektorer, värmedetektorer, speciella detektorer och multidetektorer. Av dessa grupper är flamdetektorer, gasdetektorer, speciella detektorer och multidetektorer inte relevanta för installation i ishallens servicedel då de är onödigt avancerade för övervakning av servicedelen.

De grupper av detektorer som kan vara av intresse för installation är rök- och värmedetektorer. Dessa typer av detektorer är generellt sett relativt billiga och det finns möjlighet att seriekoppla flera detektorer så att om en larmar så larmar alla. I servicedelen anses dock rökdetektorer vara mest lämpliga då värmedetektorer ger en sen detektion av brand och för att de inte är bra på att upptäcka bränder som inte genererar varma brandgaser, till exempel glödbränder (Nilsson & Holmstedt, 2008).

Den vanligaste typen av rökdetektorer är optiska ljusspridningsdetektorer vilka är detektorer som aktiveras när utsänt ljus inuti detektorn reflekteras mot en ljusmottagare. Vid normal drift, det vill säga när det inte förekommer brandgaser, slukas det utsända ljuset av en ljusfälla. Detektorn larmar först när partiklar kommer in i detektorn och ljuset studsar mot dessa och en viss ljusintensitet når en mottagare som är monterad i vinkel mot ljussändaren, se principen i *figur 0.1*. Optiska ljusspridningsdetektorer är därför särskilt känsliga mot större partiklar eftersom dessa på grund av sin stora yta kan reflektera mycket ljus (Nilsson & Holmstedt, 2008).



Figur 0.1 - Princip för en optisk ljusspridningsdetektor.

Oftast ryker det en hel del från en brand innan branden börja accelerera ordentligt. Detta innebär att det finns goda möjligheter att upptäcka en brand snabbt om utrymmet är utrustat med en rökdetektor. En snabb detektion är viktig för att kunna påbörja utrymning, larma räddningstjänst och eventuellt bekämpa branden. Risken finns att det inte går att höra detektorn om den befinner sig i ett dolt utrymme men detta problem går att undkomma då det finns detektorer som kan seriekopplas och på så sätt larmar alla detektorer om en detektor aktiveras. Ett sådant system skulle

med fördel kunna installeras i servicedelen för att på så sätt möjliggöra en snabb detektion av eventuell brand. Lämpliga placeringar för detektorer är i samtliga förråd, omklädningsrummen, ventilationsutrymmet, sekretariatet, domarrummet, vilorummet, tvättutrymmet samt i korridorerna. På så sätt fås en heltäckande övervakning av servicedelen vilket leder till att personer som vistas i utrymmet snabbt kan bli varse om det brinner.

## 0.1 Tid till aktivering

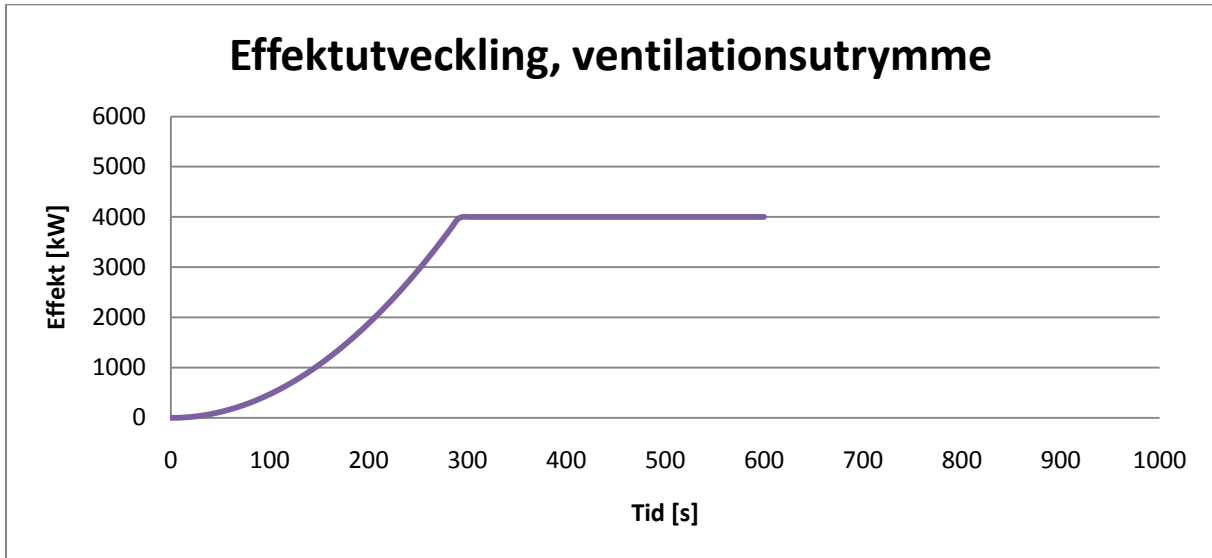
Då rapporten behandlar ett brandscenario i ventilationsrummet så görs lämpligen beräkningar av detektionstid för detta scenario. För att beräkna aktiveringstiden används programmet Detact QS. De indata som behövs i programmet är:

- Takhöjd
- Radiellt avstånd från brand till detektor
- Initial rumstemperatur
- Aktiveringstemperatur detektor
- RTI-värde för detektor

Aktiveringstemperatur för detektorn kan inte användas rakt av då en rökdetektor inte aktiveras av temperatur utan av partiklar i brandgaserna. Det finns då modeller som antar att rökdetektorer aktiverar då temperaturen höjts ett visst antal grader jämfört med omgivningstemperaturen. Oftast används temperaturökningen 13 °C (Nilsson & Holmstedt, 2008). Detta innebär att aktiveringstemperaturen blir 13 °C plus omgivningens temperatur. RTI-värdet sätts till ett lågt värde, till exempel runt 0,5 (ms)<sup>1/2</sup>. Ett lågt RTI-värde innebär att detektorn i princip momentant antar brandgasernas temperatur (Nilsson & Holmstedt, 2008). De indata som används för beräkning av aktiveringstiden i ventilationsrummet redovisas i *tabell O.1*. Detact QS använder sig av det amerikanska måttsystemet och dessa indata återfinns även de i *tabell O.1*. För beräkningarna används det radiella avståndet från brand till detektor 2,75 meter eftersom detta motsvarar en brand i hörnet av utrymmet och att detektorn är placerad i mitten av taket, vilket är den mest logiska placeringen av en detektor i detta utrymme. Detta ger största möjliga avstånd mellan brand och detektor och förfarandet blir konservativt. Detact QS använder sig av en given effektutveckling för att beräkna aktiveringstiden. Den effektutvecklingskurva som används illustreras i *figur O.2*.

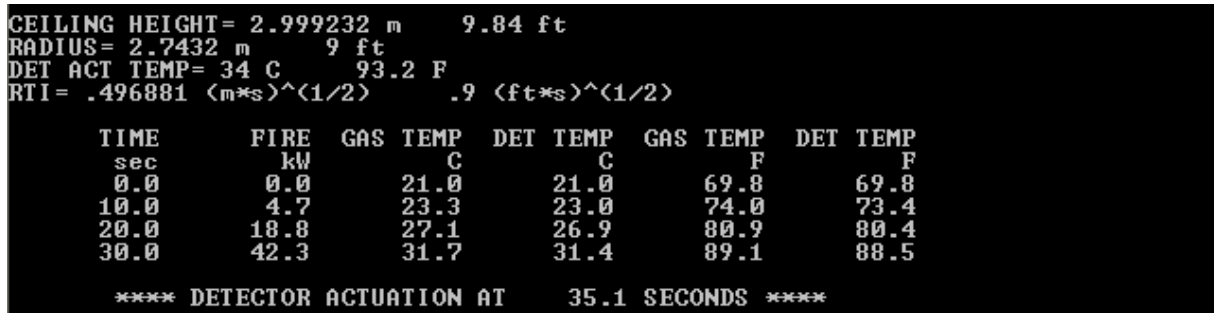
Tabell O.1 - Indata som används i Detact QS.

Takhöjd	3 m	9,84 ft
Radiellt avstånd från brand till detektor	2,75 m	9 ft
Initial rumstemperatur	21 °C	69,8 F
Aktiveringstemperatur detektor	21+13=34 °C	93,2 F
RTI-värde detektor	0,5 (m·s) <sup>1/2</sup>	0,9 (ft·s) <sup>1/2</sup>



Figur O.2 - Effektutvecklingskurva för en brand i ventilationsutrymmet.

Utifrån dessa förutsättningar blir aktiveringstiden 35 sekunder vilket illustreras av *figur O.3*.



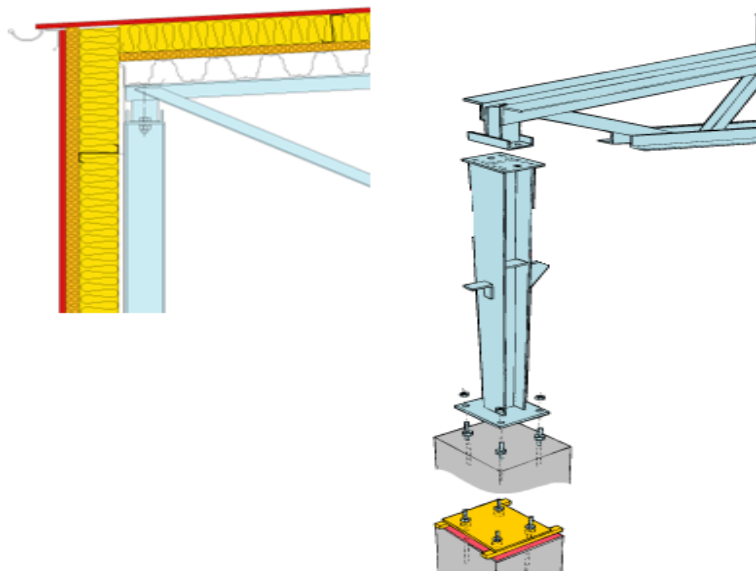
Figur O.3 - Resultat för aktiveringstid från Detact QS.

## Bilaga P – Bärverk

I detta avsnitt kommer ishallens stålkonstruktion att utredas med avseende på hållfasthet vid brand.

### P.1 Förutsättningar

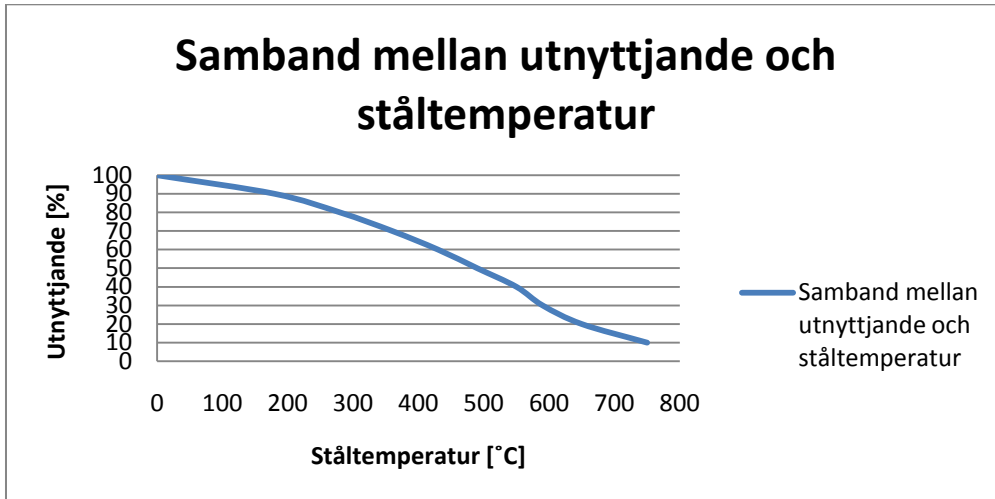
Den bärande konstruktionen i ishallen utgörs av stålbalkar i väggar och tak som inte är brandskyddsbehandlade. Taket hålls upp av nockfackverk som står på stålpelare, se *figur P.1*.



Figur P.1 - Principskiss över bärverket i Bräcke ishall.

När en brand uppstår i ishallen kommer en temperaturökning ske och stålstommen utsätts för termisk påverkan. När stålets temperatur ökar avtar hållfastheten och därmed även bärförmågan.

Den dimensionerande ståltemperatur som alla stålkonstruktioner skall klara av att utsättas för utan att hållfastheten påverkas är 450 °C (Andersson, 1993). För att stålkonstruktionen skall klara kravet på 450 °C är den vanligtvis lastutnyttjad till 60 - 65 % av maximal lastkapacitet (Andersson, 1993). Desto lägre stålkonstruktionens maximala lastkapacitet utnyttjas ju högre temperaturer klarar den av innan den ger vika på grund av termisk påverkan. Sambandet beskrivs i *figur P.2*.

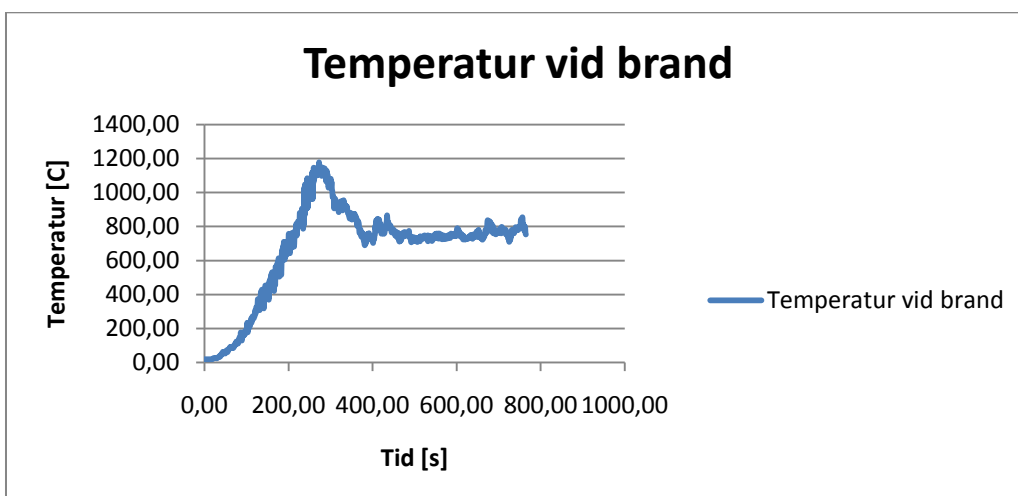


Figur P.2 - Samband mellan lastutnyttjande och temperatur för stål (Andersson, 1993)

För att en säker utrymning skall kunna ske krävs det att den bärande konstruktionen är intakt och inte kollapsar innan alla personer har lyckats utrymma. Räddningstjänsten skall också kunna utföra en säker insats och bärverken i ishallen bör ha kvar sin bärförmåga i 30 minuter. Eftersom bärverket i ishallen inte är brandskyddsbehandlat i dagsläget måste en utredning göras om stålbalkarna behöver brandskyddas.

För att avgöra om branden i läktaren påverkar stålkonstruktionen används resultat från FDS - simuleringar gjorda för ett brandscenario i läktaren. Eftersom det inte finns några uppgifter på lastutnyttjandet för stålkonstruktionen i ishallen antas den vara 60 %, vilket är ett konservativt värde. Således får inte temperaturerna i stålbalkarna överstiga 450 °C. FDS-resultaten i *figur P.3* påvisar att temperaturer upp till 1200 °C kan förekomma nära branden vid en brand under läktaren och åtgärder gällande brandskyddsbehandling av bärande stålpelare måste vidtas.

När det gäller takfackverken kommer dessa inte att tappa sin bärförmåga då temperaturerna i brandgaslagret inte överstiger 450 °C och således kommer inte stålet i takfackverken att uppnå en temperatur som överstiger 450 °C .



Figur P.3 - Temperatur nära brandkällan från FDS-simulering.

## Bilaga Q – Indata till FDS

I denna bilaga redovisas input-data till FDS-simuleringarna som gjorts i rapporten.

### Q.1 Indatafil för läktarbrand

2 134 080 celler, 15000 kW brand.

Brand under läktare

```
&HEAD CHID='brand_laktare', TITLE='Brand under läktare' /

&MESH ID='Mesh', IJK=520,24,72, XB=0.00,65.00,0.00,3.00,0.00,9.00,
MPI_PROCESS=0 /
&MESH ID='Mesh2', IJK=260,132,36, XB=0.00,65.00,3.00,36.00,0.00,9.00,
MPI_PROCESS=1 /

'Simuleringstid'
&TIME T_END = 900.0 /

&MISC RADIATION=.FALSE. /

'Egenskaper på väggar'
&MATL ID='PLYWOOD', CONDUCTIVITY=0.17, DENSITY=600, SPECIFIC_HEAT=0.9 /
&MATL ID='CONCRETE', CONDUCTIVITY=0.80, DENSITY=1600, SPECIFIC_HEAT=1.8 /
&MATL ID='wood', CONDUCTIVITY=0.14, DENSITY=500, SPECIFIC_HEAT=1.6 /
&MATL ID='PLAT', CONDUCTIVITY=60, DENSITY=7850, SPECIFIC_HEAT=0.46 /

&SURF ID='YTTERVAGG',
MATL_ID='PLYWOOD','CONCRETE',BACKING='INSULATED',THICKNESS=0.025,0.3,
COLOR='SILVER' /
&SURF ID='TAK', MATL_ID='PLAT', BACKING='INSULATED', THICKNESS=0.2 /
&SURF ID
='LAKTARE',MATL_ID='PLYWOOD','wood','PLYWOOD',BACKING='EXPOSED',THICKNESS=0
.1,0.3,0.1, COLOR='GRAY' /

'Egenskaper på bränsle'
&REAC ID='CELLULOSA'
    SOOT_YIELD=0.0045
    C=6.
    H=10.
    O=5.
    HEAT_OF_COMBUSTION=17470.
    IDEAL=.TRUE./

'Brännare'
&SURF ID='BURNER', HRRPUA=1500., COLOR='CYAN', TAU_Q = -490. /
&OBST XB= 15.00,25.00,0.0,1.0,0.25,0.375, SURF_IDS='BURNER','INERT','INERT'
/
'Bygga geometrin'
'väggar'
&OBST XB=0.0,65.0,0.0,0.0,0.0,7.0, SURF_ID='YTTERVAGG' /
&OBST XB=0.0,0.0,0.0,36.0,0.0,7.0, SURF_ID='YTTERVAGG' /
&OBST XB=65.0,65.0,0.0,36.0,0.0,7.0, SURF_ID='YTTERVAGG' /
&OBST XB=0.0,65.0,36.0,36.0,0.0,7.0, SURF_ID='YTTERVAGG' /

&OBST XB=0.0,0.0,3.6,32.4,7.0,7.4, SURF_ID='YTTERVAGG' /
&OBST XB=0.0,0.0,7.2,28.8,7.4,7.8, SURF_ID='YTTERVAGG' /
&OBST XB=0.0,0.0,10.8,25.2,7.8,8.2, SURF_ID='YTTERVAGG' /
&OBST XB=0.0,0.0,14.4,21.6,8.2,8.6, SURF_ID='YTTERVAGG' /
```

## Brandteknisk riskvärdering av Bräcke Ishall

```
&OBST XB=65.0,65.0,3.6,32.4,7.0,7.4, SURF_ID='YTTERVAGG' /
&OBST XB=65.0,65.0,7.2,28.8,7.4,7.8, SURF_ID='YTTERVAGG' /
&OBST XB=65.0,65.0,10.8,25.2,7.8,8.2, SURF_ID='YTTERVAGG' /
&OBST XB=65.0,65.0,14.4,21.6,8.2,8.6, SURF_ID='YTTERVAGG' /

'golv'
&OBST XB=0.0,65.0,0.0,36.0,0.0,0.2, SURF_ID='INERT', COLOR='SILVER' /

'Tak'
&OBST XB=0.00,65.00,0.00,3.60,7.00,7.40, SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='INERT',
COLOR='BLACK', TRANSPARENCY = 0.25, SURF_ID='TAK' /
&OBST XB=0.00,65.00,3.40,7.20,7.40,7.80, SAWTOOTH=.FALSE., SURF_ID='INERT',
COLOR='BLACK', TRANSPARENCY = 0.25, SURF_ID='TAK' /
&OBST XB=0.00,65.00,7.00,10.80,7.80,8.20, SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='INERT', COLOR='BLACK', TRANSPARENCY = 0.25, SURF_ID='TAK' /
&OBST XB=0.00,65.00,10.60,14.40,8.20,8.60, SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='INERT', COLOR='BLACK', TRANSPARENCY = 0.25, SURF_ID='TAK' /
&OBST XB=0.00,65.00,14.20,18.00,8.60,9.00, SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='INERT', COLOR='BLACK', TRANSPARENCY = 0.25, SURF_ID='TAK' /
&OBST XB=0.00,65.00,32.20,36.00,7.00,7.40, SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='INERT', COLOR='BLACK', TRANSPARENCY = 0.25, SURF_ID='TAK' /
&OBST XB=0.00,65.00,28.60,32.40,7.40,7.80, SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='INERT', COLOR='BLACK', TRANSPARENCY = 0.25, SURF_ID='TAK' /
&OBST XB=0.00,65.00,25.00,28.80,7.80,8.20, SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='INERT', COLOR='BLACK', TRANSPARENCY = 0.25, SURF_ID='TAK' /
&OBST XB=0.00,65.00,21.40,25.20,8.20,8.60, SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='INERT', COLOR='BLACK', TRANSPARENCY = 0.25, SURF_ID='TAK' /
&OBST XB=0.00,65.00,18.00,21.60,8.60,9.00, SAWTOOTH=.FALSE.,
SURF_ID='INERT', COLOR='BLACK', TRANSPARENCY = 0.25, SURF_ID='TAK' /

'läktare med brand'
&OBST XB=
8.0,30.5,2.0,3.0,0.0,1.92, SURF_ID='LAKTARE' /
&OBST XB=
34.5,57.0,2.0,3.0,0.0,1.92, SURF_ID='LAKTARE' /
&OBST XB=8.0,57.0,0.0,2.5,1.92,2.32, SURF_ID='LAKTARE' /
&OBST XB=8.0,57.0,0.0,2.0,2.32,2.72, SURF_ID='LAKTARE' /
&OBST XB=8.0,57.0,0.0,1.5,2.72,3.12, SURF_ID='LAKTARE' /
&OBST XB=8.0,57.0,0.0,1.0,3.12,3.52, SURF_ID='LAKTARE' /
&OBST XB=8.0,57.0,0.0,0.5,3.52,3.82, SURF_ID='LAKTARE' /

'dörrar på sidorna'
'Dörr närmast'
&OBST XB=8.0,8.0,0.0,2.0,0.0,1.92, SURF_ID='LAKTARE' /
&HOLE XB=7.9,8.1,0.6,1.4,0.0,1.90 /

'Dörr längst bort'
&OBST XB=57.0,57.0,0.0,2.0,0.0,1.92, SURF_ID='LAKTARE' /
&HOLE XB=56.9,57.1,0.6,1.4,0.0,1.90 /

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.00,0.00,0.00,36.00,0.00,7.00, COLOR='INVISIBLE' /
Vent Min X for Mesh
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=65.00,65.00,0.00,36.00,0.00,7.00,
COLOR='INVISIBLE' / Vent Max X for Mesh
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.00,65.00,0.00,0.00,0.00,7.00, COLOR='INVISIBLE' /
Vent Min Y for Mesh
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.00,65.00,36.00,36.00,0.00,7.00,
COLOR='INVISIBLE' / Vent Max Y for Mesh
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.00,65.00,0.00,36.00,0.00,0.00,
COLOR='INVISIBLE' / Vent Min Z for Mesh
```



'Motstående laktare'?

'Skapa output'  
'temperatur i tak'

'Vänster om läktare'

```
&DEVC ID='trad1_0.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,0.25 /
&DEVC ID='trad1_0.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,0.5 /
&DEVC ID='trad1_0.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,0.75 /
&DEVC ID='trad1_1.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,1.0 /
&DEVC ID='trad1_1.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,1.25 /
&DEVC ID='trad1_1.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,1.5 /
&DEVC ID='trad1_1.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,1.75 /
&DEVC ID='trad1_2.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,2.0 /
&DEVC ID='trad1_2.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,2.25 /
&DEVC ID='trad1_2.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,2.5 /
&DEVC ID='trad1_2.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,2.75 /
&DEVC ID='trad1_3.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,3.0 /
&DEVC ID='trad1_3.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,3.25 /
&DEVC ID='trad1_3.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,3.5 /
&DEVC ID='trad1_3.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,3.75 /
&DEVC ID='trad1_4.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,4.0 /
&DEVC ID='trad1_4.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,4.25 /
&DEVC ID='trad1_4.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,4.5 /
&DEVC ID='trad1_4.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,4.75 /
&DEVC ID='trad1_5.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,5.0 /
&DEVC ID='trad1_5.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,5.25 /
&DEVC ID='trad1_5.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,5.5 /
&DEVC ID='trad1_5.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,5.75 /
&DEVC ID='trad1_6.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,6.0 /
&DEVC ID='trad1_6.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,6.25 /
&DEVC ID='trad1_6.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,6.5 /
&DEVC ID='trad1_6.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,6.75 /
&DEVC ID='trad1_7.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,0.2,7.0 /
```

'höger om läktare'

```
&DEVC ID='trad2_0.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,0.25 /
&DEVC ID='trad2_0.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,0.5 /
&DEVC ID='trad2_0.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,0.75 /
&DEVC ID='trad2_1.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,1.0 /
&DEVC ID='trad2_1.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,1.25 /
&DEVC ID='trad2_1.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,1.5 /
&DEVC ID='trad2_1.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,1.75 /
&DEVC ID='trad2_2.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,2.0 /
&DEVC ID='trad2_2.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,2.25 /
&DEVC ID='trad2_2.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,2.5 /
&DEVC ID='trad2_2.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,2.75 /
&DEVC ID='trad2_3.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,3.0 /
&DEVC ID='trad2_3.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,3.25 /
&DEVC ID='trad2_3.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,3.5 /
&DEVC ID='trad2_3.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,3.75 /
&DEVC ID='trad2_4.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,4.0 /
&DEVC ID='trad2_4.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,4.25 /
&DEVC ID='trad2_4.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,4.5 /
&DEVC ID='trad2_4.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,4.75 /
&DEVC ID='trad2_5.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,5.0 /
&DEVC ID='trad2_5.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,5.25 /
&DEVC ID='trad2_5.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,5.5 /
&DEVC ID='trad2_5.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,5.75 /
```

```
&DEVC ID='trad2_6.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,6.0 /
&DEVC ID='trad2_6.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,6.25 /
&DEVC ID='trad2_6.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,6.5 /
&DEVC ID='trad2_6.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,6.75 /
&DEVC ID='trad2_7.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,0.2,7.0 /
```

'Mitten'

```
&DEVC ID='trad5_2.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,2.0 /
&DEVC ID='trad5_2.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,2.25 /
&DEVC ID='trad5_2.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,2.5 /
&DEVC ID='trad5_2.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,2.75 /
&DEVC ID='trad5_3.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,3.0 /
&DEVC ID='trad5_3.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,3.25 /
&DEVC ID='trad5_3.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,3.5 /
&DEVC ID='trad5_3.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,3.75 /
&DEVC ID='trad5_4.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,4.0 /
&DEVC ID='trad5_4.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,4.25 /
&DEVC ID='trad5_4.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,4.5 /
&DEVC ID='trad5_4.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,4.75 /
&DEVC ID='trad5_5.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,5.0 /
&DEVC ID='trad5_5.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,5.25 /
&DEVC ID='trad5_5.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,5.5 /
&DEVC ID='trad5_5.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,5.75 /
&DEVC ID='trad5_6.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,6.0 /
&DEVC ID='trad5_6.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,6.25 /
&DEVC ID='trad5_6.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,6.5 /
&DEVC ID='trad5_6.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,6.75 /
&DEVC ID='trad5_7.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,0.2,7.0 /
```

'Mitten motsatt'

```
&DEVC ID='trad6_0.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,0.25 /
&DEVC ID='trad6_0.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,0.5 /
&DEVC ID='trad6_0.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,0.75 /
&DEVC ID='trad6_1.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,1.0 /
&DEVC ID='trad6_1.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,1.25 /
&DEVC ID='trad6_1.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,1.5 /
&DEVC ID='trad6_1.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,1.75 /
&DEVC ID='trad6_2.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,2.0 /
&DEVC ID='trad6_2.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,2.25 /
&DEVC ID='trad6_2.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,2.5 /
&DEVC ID='trad6_2.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,2.75 /
&DEVC ID='trad6_3.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,3.0 /
&DEVC ID='trad6_3.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,3.25 /
&DEVC ID='trad6_3.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,3.5 /
&DEVC ID='trad6_3.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,3.75 /
&DEVC ID='trad6_4.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,4.0 /
&DEVC ID='trad6_4.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,4.25 /
&DEVC ID='trad6_4.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,4.5 /
&DEVC ID='trad6_4.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,4.75 /
&DEVC ID='trad6_5.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,5.0 /
&DEVC ID='trad6_5.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,5.25 /
&DEVC ID='trad6_5.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,5.5 /
&DEVC ID='trad6_5.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,5.75 /
&DEVC ID='trad6_6.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,6.0 /
&DEVC ID='trad6_6.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,6.25 /
&DEVC ID='trad6_6.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,6.5 /
&DEVC ID='trad6_6.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,6.75 /
&DEVC ID='trad6_7.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=32.5,35.5,7.0 /
```

'Vänster om motsatt läktare'

```
&DEVC ID='trad3_0.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,0.25 /
&DEVC ID='trad3_0.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,0.5 /
&DEVC ID='trad3_0.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,0.75 /
&DEVC ID='trad3_1.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,1.0 /
&DEVC ID='trad3_1.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,1.25 /
&DEVC ID='trad3_1.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,1.5 /
&DEVC ID='trad3_1.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,1.75 /
&DEVC ID='trad3_2.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,2.0 /
&DEVC ID='trad3_2.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,2.25 /
&DEVC ID='trad3_2.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,2.5 /
&DEVC ID='trad3_2.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,2.75 /
&DEVC ID='trad3_3.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,3.0 /
&DEVC ID='trad3_3.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,3.25 /
&DEVC ID='trad3_3.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,3.5 /
&DEVC ID='trad3_3.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,3.75 /
&DEVC ID='trad3_4.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,4.0 /
&DEVC ID='trad3_4.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,4.25 /
&DEVC ID='trad3_4.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,4.5 /
&DEVC ID='trad3_4.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,4.75 /
&DEVC ID='trad3_5.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,5.0 /
&DEVC ID='trad3_5.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,5.25 /
&DEVC ID='trad3_5.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,5.5 /
&DEVC ID='trad3_5.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,5.75 /
&DEVC ID='trad3_6.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,6.0 /
&DEVC ID='trad3_6.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,6.25 /
&DEVC ID='trad3_6.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,6.5 /
&DEVC ID='trad3_6.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,6.75 /
&DEVC ID='trad3_7.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.5,35.5,7.0 /
```

'Höger om motsatt läktare'

```
&DEVC ID='trad4_0.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,0.25 /
&DEVC ID='trad4_0.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,0.5 /
&DEVC ID='trad4_0.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,0.75 /
&DEVC ID='trad4_1.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,1.0 /
&DEVC ID='trad4_1.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,1.25 /
&DEVC ID='trad4_1.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,1.5 /
&DEVC ID='trad4_1.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,1.75 /
&DEVC ID='trad4_2.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,2.0 /
&DEVC ID='trad4_2.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,2.25 /
&DEVC ID='trad4_2.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,2.5 /
&DEVC ID='trad4_2.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,2.75 /
&DEVC ID='trad4_3.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,3.0 /
&DEVC ID='trad4_3.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,3.25 /
&DEVC ID='trad4_3.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,3.5 /
&DEVC ID='trad4_3.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,3.75 /
&DEVC ID='trad4_4.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,4.0 /
&DEVC ID='trad4_4.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,4.25 /
&DEVC ID='trad4_4.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,4.5 /
&DEVC ID='trad4_4.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,4.75 /
&DEVC ID='trad4_5.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,5.0 /
&DEVC ID='trad4_5.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,5.25 /
&DEVC ID='trad4_5.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,5.5 /
&DEVC ID='trad4_5.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,5.75 /
&DEVC ID='trad4_6.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,6.0 /
&DEVC ID='trad4_6.25', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,6.25 /
&DEVC ID='trad4_6.5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,6.5 /
&DEVC ID='trad4_6.75', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,6.75 /
&DEVC ID='trad4_7.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=57.5,35.5,7.0 /
```

```

&DEVC ID='Temp_brand',XYZ=17.75, 0.5, 1.5, QUANTITY=TEMPERATURE /

'Slice-filer'
&SLCF PBX=7.8, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&SLCF PBX=32.5, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&SLCF PBX=57.2, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&SLCF PBY=1.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&SLCF PBY=4.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&SLCF PBY=33.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&SLCF PBY=34.5, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&SLCF PBX=7.8, QUANTITY='VISIBILITY' /
&SLCF PBX=32.5, QUANTITY='VISIBILITY' /
&SLCF PBX=57.2, QUANTITY='VISIBILITY' /

&SLCF PBY=1.0, QUANTITY='VISIBILITY' /
&SLCF PBY=4.0, QUANTITY='VISIBILITY' /
&SLCF PBY=33.0, QUANTITY='VISIBILITY' /
&SLCF PBY=34.5, QUANTITY='VISIBILITY' /

&SLCF PBX=7.8, QUANTITY='carbon dioxide' /
&SLCF PBX=32.5, QUANTITY='carbon dioxide' /
&SLCF PBX=57.2, QUANTITY='carbon dioxide' /

&SLCF PBY=1.0, QUANTITY='carbon dioxide' /
&SLCF PBY=4.0, QUANTITY='carbon dioxide' /
&SLCF PBY=33.0, QUANTITY='carbon dioxide' /
&SLCF PBY=34.5, QUANTITY='carbon dioxide' /

&SLCF PBX=7.8, QUANTITY='VELOCITY' /
&SLCF PBX=32.5, QUANTITY='VELOCITY' /
&SLCF PBX=57.2, QUANTITY='VELOCITY' /

&SLCF PBY=1.0, QUANTITY='VELOCITY' /
&SLCF PBY=4.0, QUANTITY='VELOCITY' /
&SLCF PBY=33.0, QUANTITY='VELOCITY' /
&SLCF PBY=34.5, QUANTITY='VELOCITY' /

&SLCF PBZ= 1.8, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&SLCF PBZ= 1.8, QUANTITY='VELOCITY' /
&SLCF PBZ= 1.8, QUANTITY='carbon dioxide' /
&SLCF PBZ= 1.8, QUANTITY='VISIBILITY' /

&SLCF PBZ= 3.72, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&SLCF PBZ= 3.72, QUANTITY='VELOCITY' /
&SLCF PBZ= 3.72, QUANTITY='carbon dioxide' /
&SLCF PBZ= 3.72, QUANTITY='VISIBILITY' /

&DEVC XB= 4.0, 4.0, 2.5, 2.5, 0.1, 7.0, QUANTITY='LAYER HEIGHT',
ID='BRANDGASLAGRER 1' /
&DEVC XB= 32.5, 32.5, 3.0, 3.0, 0.1, 7.0, QUANTITY='LAYER HEIGHT',
ID='BRANDGASLAGRER 2' /
&DEVC XB= 61.0, 61.0, 2.5, 2.5, 0.1, 7.0, QUANTITY='LAYER HEIGHT',
ID='BRANDGASLAGRER 1' /

&DEVC XB= 4.0, 4.0, 32.0, 32.0, 0.1, 7.0, QUANTITY='LAYER HEIGHT',
ID='BRANDGASLAGRER 1' /
&DEVC XB= 32.5, 32.5, 35.0, 35.0, 0.1, 7.0, QUANTITY='LAYER HEIGHT',
ID='BRANDGASLAGRER 2' /

```

```
&DEVC XB= 61.0, 61.0, 32.0, 32.0, 0.1, 7.0, QUANTITY='LAYER HEIGHT',  
ID='BRANDGASLAGRER 1' /
```

```
&DUMP DT_SLCF=5, DT_RESTART=10/
```

```
&TAIL /
```

## Q.2 Indatafil för brand i ventilationsutrymmet

1 228 800 celler, 4000 kW brand.

```
&HEAD CHID='brand_ventilationsrum', TITLE='Brand i Ventilationsrum' /
```

```
&MESH ID='Mesh', IJK=320,128,30, XB=0.00,32.00,0.00,12.80,0.00,3.00/
```

```
'Simuleringstid'
```

```
&TIME T_END = 900.0 /
```

```
&MISC RADIATION=.FALSE./
```

```
'Egenskaper på väggar'
```

```
&MATL ID='GIPS', CONDUCTIVITY=0.13, DENSITY=600, SPECIFIC_HEAT=0.9 /
```

```
&MATL ID='CONCRETE', CONDUCTIVITY=0.50, DENSITY=1750, SPECIFIC_HEAT=0.96 /
```

```
&SURF ID='Brandcellsvagg',
```

```
MATL_ID='CONCRETE', BACKING='EXPOSED', THICKNESS=0.3 /
```

```
&SURF ID='GIPSVAGG', MATL_ID='GIPS', BACKING='EXPOSED', THICKNESS=0.3 /
```

```
'Egenskaper på bränsle'
```

```
&REAC ID='CELLULOSA'
```

```
SOOT_YIELD=0.0045
```

```
C=6.
```

```
H=10.
```

```
O=5.
```

```
HEAT_OF_COMBUSTION=17470.
```

```
IDEAL=.TRUE./
```

```
'Brännare'
```

```
&SURF ID='BURNER', HRRPUA=1000., COLOR='CYAN', TAU_Q = -300. /
```

```
&OBST XB= 22.5,24.5,0.1,2.1,0.0,0.3, SURF_IDS='BURNER','INERT','INERT' /
```

```
'Bygga geometrin'
```

```
'väggar'
```

```
'vänster'
```

```
&OBST XB=0.0,0.0,2.0,12.8,0.0,3.0, SURF_ID='Brandcellsvagg' /
```

```
&OBST XB=0.0,4.5,2.0,2.0,0.0,3.0, SURF_ID='Brandcellsvagg' /
```

```
&OBST XB=4.5,4.5,0.0,2.0,0.0,3.0, SURF_ID='Brandcellsvagg' /
```

```
'Ner'
```

```
&OBST XB=4.5,32.0,0.0,0.0,0.0,3.0, SURF_ID='Brandcellsvagg' /
```

```
'Upp'
```

```
&OBST XB=0.0,32.0,12.8,12.8,0.0,3.0, SURF_ID='Brandcellsvagg' /
```

'Höger'

&OBST XB=32.0,32.0,0.0,5.0,0.0,3.0, SURF\_ID='Brandcellsvagg' /  
&OBST XB=29.5,32.0,5.0,5.0,0.0,3.0, SURF\_ID='Brandcellsvagg' /  
&OBST XB=29.5,29.5,5.0,9.0,0.0,3.0, SURF\_ID='Brandcellsvagg' /  
&OBST XB=29.5,32.0,9.0,9.0,0.0,3.0, SURF\_ID='Brandcellsvagg' /  
&OBST XB=32.0,32.0,9.0,11.0,0.0,3.0, SURF\_ID='Brandcellsvagg' /  
&OBST XB=27.5,32.0,11.0,11.0,0.0,3.0, SURF\_ID='Brandcellsvagg' /  
&OBST XB=27.5,27.5,11.0,12.8,0.0,3.0, SURF\_ID='Brandcellsvagg' /

'innerväggar'

'vänster'

&OBST XB=4.5,4.5,2.0,12.8,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /  
&OBST XB=0.0,4.5,4.5,4.5,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /  
&OBST XB=2.5,2.5,4.5,6.5,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /  
&OBST XB=0.0,4.5,6.5,6.5,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /  
&OBST XB=0.0,4.5,8.5,8.5,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /  
&OBST XB=0.0,4.5,10.0,10.0,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /

'omklädningsrum'

&OBST XB=6.0,6.0,0.0,11.0,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /  
&OBST XB=6.0,26.0,11.0,11.0,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /  
&OBST XB=26.0,26.0,0.0,11.0,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /  
&OBST XB=20.5,20.5,0.0,11.0,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /  
&OBST XB=13.0,13.0,0.0,11.0,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /  
&OBST XB=16.5,16.5,3.0,11.0,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /  
&OBST XB=9.5,9.5,3.0,11.0,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /

'toa och forrad'

&OBST XB=20.5,26.0,2.5,2.5,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /  
&OBST XB=20.5,26.0,5.0,5.0,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /  
&OBST XB=20.5,26.0,7.5,7.5,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /

&OBST XB=23.5,23.5,7.5,11.0,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /  
&OBST XB=23.5,26.0,8.5,8.5,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /

'högerdel'

&OBST XB=27.5,27.5,0.0,11.0,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /  
&OBST XB=27.5,29.5,5.0,5.0,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /  
&OBST XB=27.5,29.5,9.0,9.0,0.0,3.0, SURF\_ID='GIPSVAGG' /

DEVC XYZ=5,5,2, ID='timer 1', SETPOINT= 50., QUANTITY='TIME',  
INITIAL\_STATE=.FALSE.

'dörrar'

'Vänstersida'

&HOLE XB=4.4,4.6,3.0,3.8,0.0,2.0 / Dörr till tvätt  
&HOLE XB=4.4,4.6,5.0,5.8,0.0,2.0 / Dörr till städ  
&HOLE XB=4.4,4.6,7.5,8.3,0.0,2.0 / Dörr till domarrum  
&HOLE XB=4.4,4.6,11.8,12.6,0.0,2.0 / Dörr till vilorum  
&HOLE XB=0.9,1.7,4.4,4.6,0.0,2.0, COLOR='PINK' / Dörr till Torkrum  
&HOLE XB=2.5,3.3,8.4,8.6,0.0,2.0 / Dörr till omklädningsrum och toa domarrum

'Omklädningsrum och andra rum i mittensektion'

&HOLE XB=7.5,8.3,10.9,11.1,0.0,2.0 / Första omklädningsrum  
&HOLE XB=11.0,11.8,10.9,11.1,0.0,2.0 / Andra  
&HOLE XB=15.0,15.8,10.9,11.1,0.0,2.0 / tredje  
&HOLE XB=18.5,19.3,10.9,11.1,0.0,2.0 / fjärde

&HOLE XB=21.5,22.3,10.9,11.1,0.0,2.0 / Dörr toalett  
&HOLE XB=25.9,26.1,1.1,1.9,0.0,2.0 / Förråd  
&HOLE XB=25.9,26.1,3.0,3.8,0.0,2.0 / Förråd  
&HOLE XB=25.9,26.1,5.5,6.3,0.0,2.0 / Förråd  
&HOLE XB=25.9,26.1,7.6,8.4,0.0,2.0 / Städ  
&HOLE XB=25.9,26.1,9.0,9.8,0.0,2.0 / Förråd

'Högersida'

&HOLE XB=27.4,27.6,0.6,1.2,0.0,2.0 / Kansli  
&HOLE XB=27.4,27.6,6.5,7.3,0.0,2.0 / Förråd  
&HOLE XB=27.4,27.6,9.1,9.9,0.0,2.0 / Toalett

'Skapa output'

'Utrymningsdörr utanför skridskoslip'

&DEVC ID ='utrymndorr1\_0.01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,0.1,0.01 /  
&DEVC ID ='utrymndorr1\_0.2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,0.1,0.2 /  
&DEVC ID ='utrymndorr1\_0.4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,0.1,0.4 /  
&DEVC ID ='utrymndorr1\_0.6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,0.1,0.6 /  
&DEVC ID ='utrymndorr1\_0.8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,0.1,0.8 /  
&DEVC ID ='utrymndorr1\_1.00', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,0.1,1.0 /  
&DEVC ID ='utrymndorr1\_1.2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,0.1,1.2 /  
&DEVC ID ='utrymndorr1\_1.4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,0.1,1.4 /  
&DEVC ID ='utrymndorr1\_1.6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,0.1,1.6 /  
&DEVC ID ='utrymndorr1\_1.8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,0.1,1.8 /  
&DEVC ID ='utrymndorr1\_2.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,0.1,2.0 /  
&DEVC ID ='utrymndorr1\_2.2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,0.1,2.2 /  
&DEVC ID ='utrymndorr1\_2.4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,0.1,2.4 /  
&DEVC ID ='utrymndorr1\_2.6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,0.1,2.6 /  
&DEVC ID ='utrymndorr1\_2.8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,0.1,2.8 /  
&DEVC ID ='utrymndorr1\_2.99', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,0.1,2.99 /

'Utanför tvättrum'

&DEVC ID ='korridor1\_0.01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,3.5,0.01 /  
&DEVC ID ='korridor1\_0.2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,3.5,0.2 /  
&DEVC ID ='korridor1\_0.4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,3.5,0.4 /  
&DEVC ID ='korridor1\_0.6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,3.5,0.6 /  
&DEVC ID ='korridor1\_0.8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,3.5,0.8 /  
&DEVC ID ='korridor1\_1.00', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,3.5,1.0 /  
&DEVC ID ='korridor1\_1.2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,3.5,1.2 /  
&DEVC ID ='korridor1\_1.4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,3.5,1.4 /  
&DEVC ID ='korridor1\_1.6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,3.5,1.6 /  
&DEVC ID ='korridor1\_1.8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,3.5,1.8 /  
&DEVC ID ='korridor1\_2.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,3.5,2.0 /  
&DEVC ID ='korridor1\_2.2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,3.5,2.2 /  
&DEVC ID ='korridor1\_2.4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,3.5,2.4 /  
&DEVC ID ='korridor1\_2.6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,3.5,2.6 /  
&DEVC ID ='korridor1\_2.8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,3.5,2.8 /

&DEVC ID ='korridor1\_2.99', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=5.5,3.5,2.99 /

'Utanför omklädningsrum'

&DEVC ID ='korridor2\_0.01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=8.0,12,0.01 /

&DEVC ID ='korridor2\_0.2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=8.0,12,0.2 /

&DEVC ID ='korridor2\_0.4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=8.0,12,0.4 /

&DEVC ID ='korridor2\_0.6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=8.0,12,0.6 /

&DEVC ID ='korridor2\_0.8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=8.0,12,0.8 /

&DEVC ID ='korridor2\_1.00', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=8.0,12,1.0 /

&DEVC ID ='korridor2\_1.2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=8.0,12,1.2 /

&DEVC ID ='korridor2\_1.4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=8.0,12,1.4 /

&DEVC ID ='korridor2\_1.6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=8.0,12,1.6 /

&DEVC ID ='korridor2\_1.8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=8.0,12,1.8 /

&DEVC ID ='korridor2\_2.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=8.0,12,2.0 /

&DEVC ID ='korridor2\_2.2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=8.0,12,2.2 /

&DEVC ID ='korridor2\_2.4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=8.0,12,2.4 /

&DEVC ID ='korridor2\_2.6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=8.0,12,2.6 /

&DEVC ID ='korridor2\_2.8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=8.0,12,2.8 /

&DEVC ID ='korridor2\_2.99', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=8.0,12,2.99 /

'Utanför dörr1 från ishall'

&DEVC ID ='korridor3\_0.01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=17.5,12,0.01 /

&DEVC ID ='korridor3\_0.2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=17.5,12,0.2 /

&DEVC ID ='korridor3\_0.4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=17.5,12,0.4 /

&DEVC ID ='korridor3\_0.6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=17.5,12,0.6 /

&DEVC ID ='korridor3\_0.8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=17.5,12,0.8 /

&DEVC ID ='korridor3\_1.00', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=17.5,12,1.0 /

&DEVC ID ='korridor3\_1.2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=17.5,12,1.2 /

&DEVC ID ='korridor3\_1.4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=17.5,12,1.4 /

&DEVC ID ='korridor3\_1.6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=17.5,12,1.6 /

&DEVC ID ='korridor3\_1.8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=17.5,12,1.8 /

&DEVC ID ='korridor3\_2.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=17.5,12,2.0 /

&DEVC ID ='korridor3\_2.2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=17.5,12,2.2 /

&DEVC ID ='korridor3\_2.4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=17.5,12,2.4 /

&DEVC ID ='korridor3\_2.6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=17.5,12,2.6 /

&DEVC ID ='korridor3\_2.8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=17.5,12,2.8 /

&DEVC ID ='korridor3\_2.99', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=17.5,12,2.99 /

'Utanför dörr 2 från ishall även utanför kök'

&DEVC ID ='korridor4\_0.01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,12,0.01 /

&DEVC ID ='korridor4\_0.2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,12,0.2 /

&DEVC ID ='korridor4\_0.4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,12,0.4 /

&DEVC ID ='korridor4\_0.6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,12,0.6 /

&DEVC ID ='korridor4\_0.8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,12,0.8 /

&DEVC ID ='korridor4\_1.00', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,12,1.0 /

&DEVC ID ='korridor4\_1.2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,12,1.2 /

&DEVC ID ='korridor4\_1.4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,12,1.4 /

&DEVC ID ='korridor4\_1.6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,12,1.6 /

&DEVC ID ='korridor4\_1.8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,12,1.8 /

&DEVC ID ='korridor4\_2.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,12,2.0 /

&DEVC ID ='korridor4\_2.2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,12,2.2 /

&DEVC ID ='korridor4\_2.4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,12,2.4 /

&DEVC ID ='korridor4\_2.6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,12,2.6 /



```
&DEVC ID ='korridor4_2.8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,12,2.8 /
&DEVC ID ='korridor4_2.99', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,12,2.99 /

'Utanför förråd, brandrum2'
&DEVC ID ='korridor5_0.01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,1.5,0.01 /
&DEVC ID ='korridor5_0.2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,1.5,0.2 /
&DEVC ID ='korridor5_0.4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,1.5,0.4 /
&DEVC ID ='korridor5_0.6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,1.5,0.6 /
&DEVC ID ='korridor5_0.8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,1.5,0.8 /
&DEVC ID ='korridor5_1.00', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,1.5,1.0 /
&DEVC ID ='korridor5_1.2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,1.5,1.2 /
&DEVC ID ='korridor5_1.4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,1.5,1.4 /
&DEVC ID ='korridor5_1.6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,1.5,1.6 /
&DEVC ID ='korridor5_1.8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,1.5,1.8 /
&DEVC ID ='korridor5_2.0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,1.5,2.0 /
&DEVC ID ='korridor5_2.2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,1.5,2.2 /
&DEVC ID ='korridor5_2.4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,1.5,2.4 /
&DEVC ID ='korridor5_2.6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,1.5,2.6 /
&DEVC ID ='korridor5_2.8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,1.5,2.8 /
&DEVC ID ='korridor5_2.99', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=26.5,1.5,2.99 /

'Brandgaslager'
&DEVC ID='gaslager1', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=5.5,5.5,7.0,7.0,0.0,3.0 /
&DEVC ID='gaslager2', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=13.0,13.0,12.0,12.0,0.0,3.0 /
&DEVC ID='gaslager3', QUANTITY='LAYER HEIGHT',
XB=26.5,26.5,12.0,12.0,0.0,3.0 /

'SLICE-FILER'

&SLCF PBX = 5.25, QUANTITY='VELOCITY' /
&SLCF PBY = 11.75, QUANTITY='VELOCITY' /
&SLCF PBX = 26.75, QUANTITY='VELOCITY' /

&SLCF PBX = 5.25, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&SLCF PBY = 11.75, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&SLCF PBX = 26.75, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&SLCF PBX = 5.25, QUANTITY='VISIBILITY' /
&SLCF PBY = 11.75, QUANTITY='VISIBILITY' /
&SLCF PBX = 26.75, QUANTITY='VISIBILITY' /

&SLCF PBX = 5.25, QUANTITY='carbon dioxide' /
&SLCF PBY = 11.75, QUANTITY='carbon dioxide' /
&SLCF PBX = 26.75, QUANTITY='carbon dioxide' /

&DUMP DT_SLCF=5, DT_RESTART=10/

&TAIL /
```

### Q.3 Övriga simuleringar

Vid känslighetssimuleringarna samt simulering av ny effekt vid läktarbrand används snarlika indatafiler. Följande rader ändras för respektive simulering.

#### Q.3.1 Effekt efter åtgärder, läktarbrand

```
&SURF ID='BURNER', HRRPUA=230., COLOR='CYAN', TAU_Q = -420. /
```

#### Q.3.2 Känslighetsanalys, sotproduktion

```
&REAC ID='CELLULOSA'  
    SOOT_YIELD=0.01  
    C=6.  
    H=10.  
    O=5.  
    HEAT_OF_COMBUSTION=17470.  
    IDEAL=.TRUE. /
```

#### Q.3.3 Känslighetsanalys, större celler

266 760 celler

```
&MESH ID='Mesh', IJK=260,12,36, XB=0.00,65.00,0.00,3.00,0.00,9.00, /  
&MESH ID='Mesh2', IJK=130,66,18, XB=0.00,65.00,3.00,36.00,0.00,9.00, /
```

## Bilaga R – Artikel rörande läktarbrand i Vänersborg

I denna bilaga visas en del av en artikel som skrivits rörande branden på Vänersborgs Isstadion, figur R.1.



The image is a screenshot of a news article from Expressen. At the top left is the Expressen logo. Below it is a navigation bar with links for 'EXPRESSEN START', 'NÖJE', 'SPORT', 'EXPRESSEN.TV', and 'RESOR'. On the left side, there is a 'Logga in' section with an email input field, a password field, and an 'OK' button. Below that are options to 'Kom ihåg mig' and 'Bli medlem /Glömt lösen'. A sidebar contains several news snippets: 'EXPRESSEN' with a red arrow pointing to 'KD och C under riksdagsspärren', 'MP:s krav: Ta två reaktorer ur drift', and 'BYT SAJT' with a dropdown menu set to 'Gå till sajt'. Below the sidebar is a list of links for 'GT.se' including 'Nyheter', 'Bloggar GT', 'GT granskar', 'Göteborgsvarvet', 'Krönikörer', 'Kultur GT', 'Ledare GT', 'Läsarnas bilder', 'Sanktan Göteborg', and 'Webbtester'. At the bottom of the sidebar are links for 'Mer på Expressen.se', 'Förstasidan', and 'Jobsök'. The main content area features a large photograph of a fire at night. Above the photo is a 'Skriv ut' button and a 'Textstorlek:' section with three icons. Below the photo is a caption: 'HELT OVERTANT. Branden fick ett snabbt förlopp och ett trettiotal brandmän bekämpade elden så att den inte skulle få spridning. Huvudläktaren färdigställdes till säsongen 2002-2003 och kostade 6,4 miljoner kronor att bygga. Foto: Räddningstjänsten'. The main headline reads 'Deras arena förstördes av lågorna'. Below the headline is a sub-headline: 'VÄNERSBORG. Ett ovanligt dumdrigt pojkstreck eller ett planerat brandattentat?'. The main text continues: 'Minst tre brandhärdar upptäcktes innan elden snabbt spred sig över läktaren på Isstadion i Vänersborg. Omklädningsrummen totalförstördes och endast en mindre del av läktaren återstod när branden var släckt.'

Figur R.1 - Urklipp från tidningsartikel om läktarbrand i Vänersborg 2008-09-21 (Expressen, 2008)

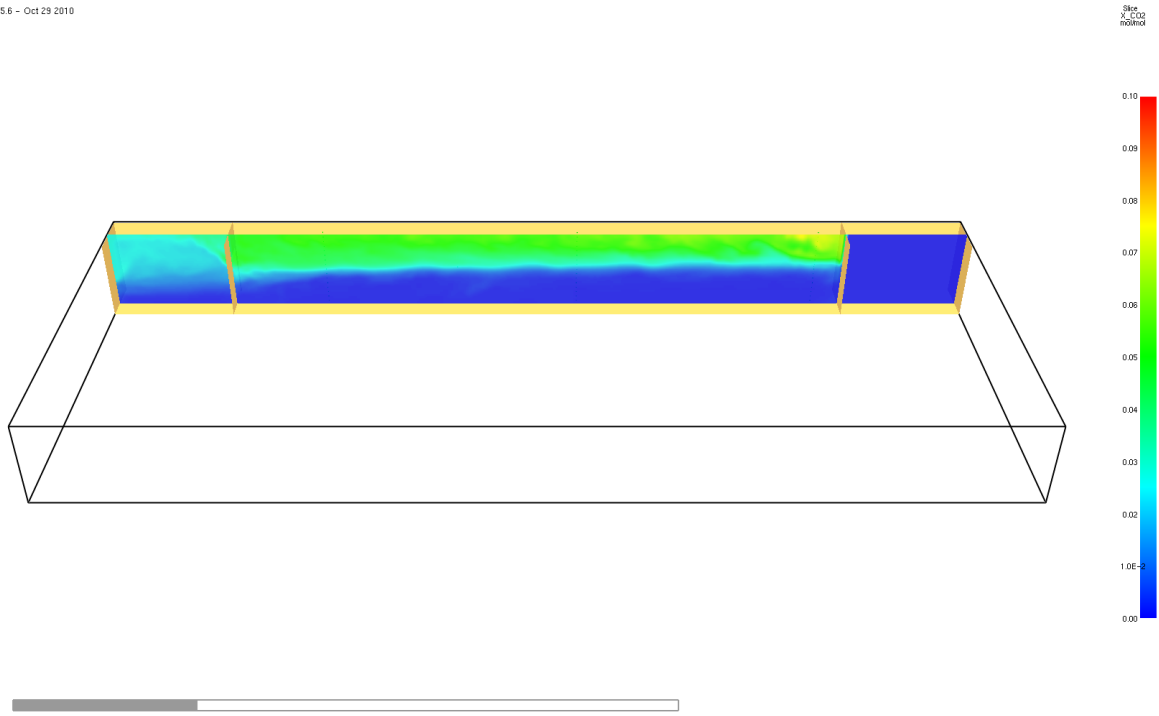
## Bilaga S – Skärmdumpar från FDS

I denna bilaga visas ett antal skärmdumpar från de FDS-simuleringar som gjorts.

### S.1 Brandscenario 4 – Brand i ventilationsutrymme

#### S.1.1 Toxicitet

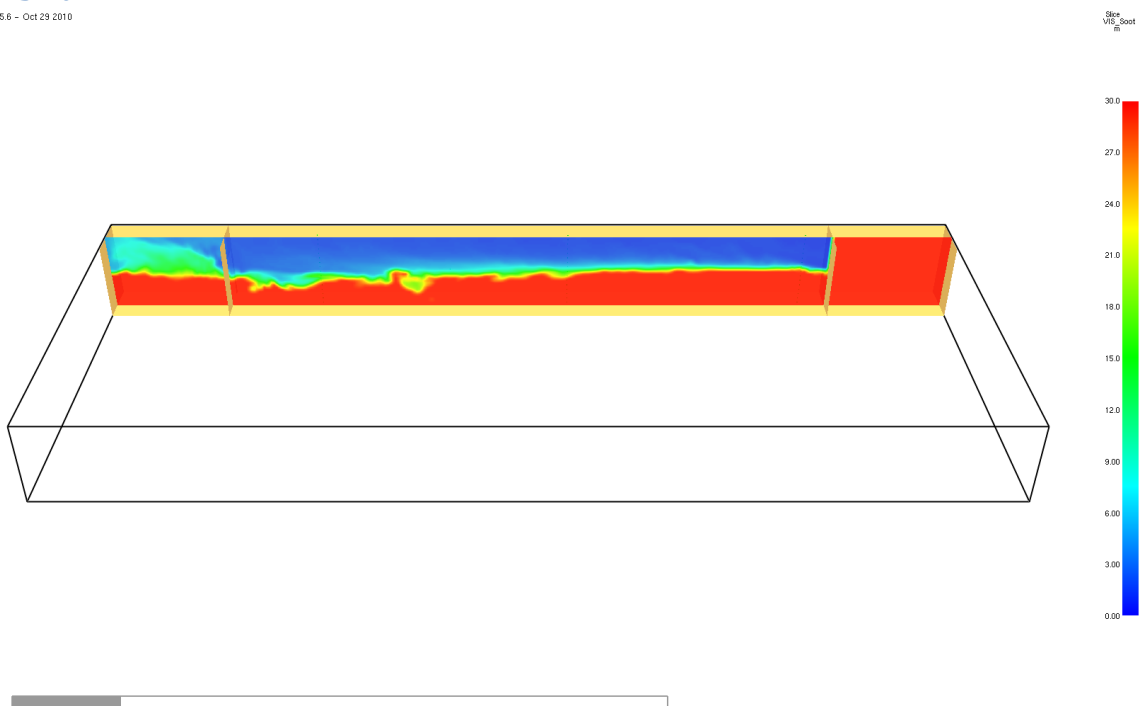
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Figur S.1 – Koldioxidhalten utanför omklädningsrummen i brandcell 2.

#### S.1.2 Sikt

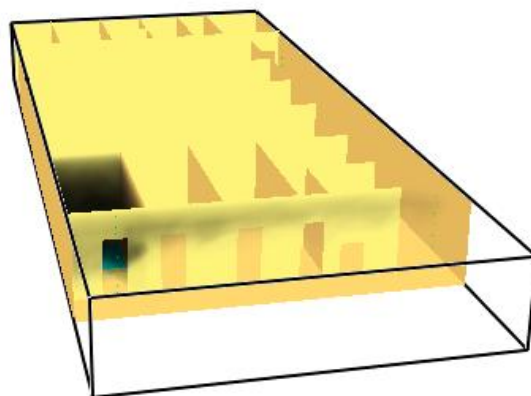
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010




Figur S.2 - Sikt utanför omklädningsrummen i brandcell 2.

### S.1.3 Brandgasspridningsförlopp

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

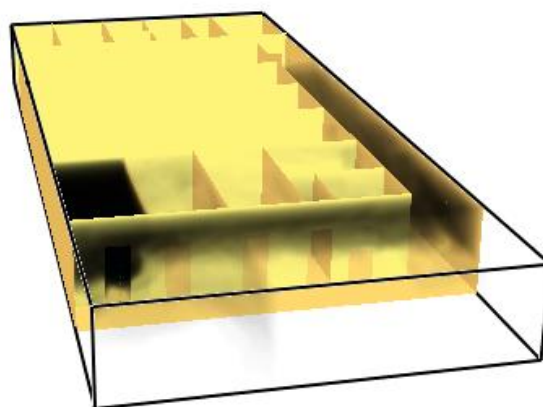


Frame: 12  
Time: 60.0



Figur S.3 – Brandgasspridning efter 60 sekunder.

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010

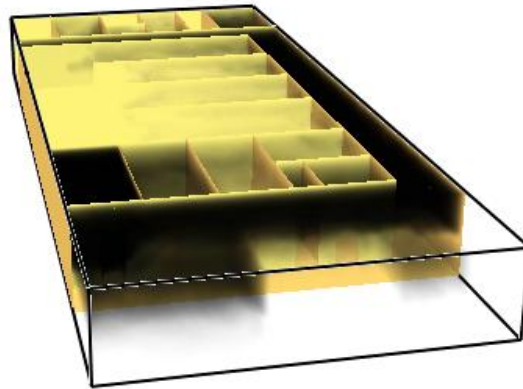



Frame: 20  
Time: 100.0



150  
Figur S.4 – Brandgasspridning efter 100 sekunder.

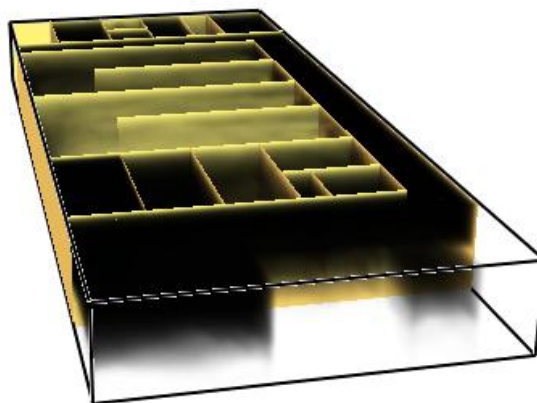
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010




Frame: 30  
Time: 150.0 

Figur S.5 – Brandgasspridning efter 150 sekunder.

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 40  
Time: 200.0 

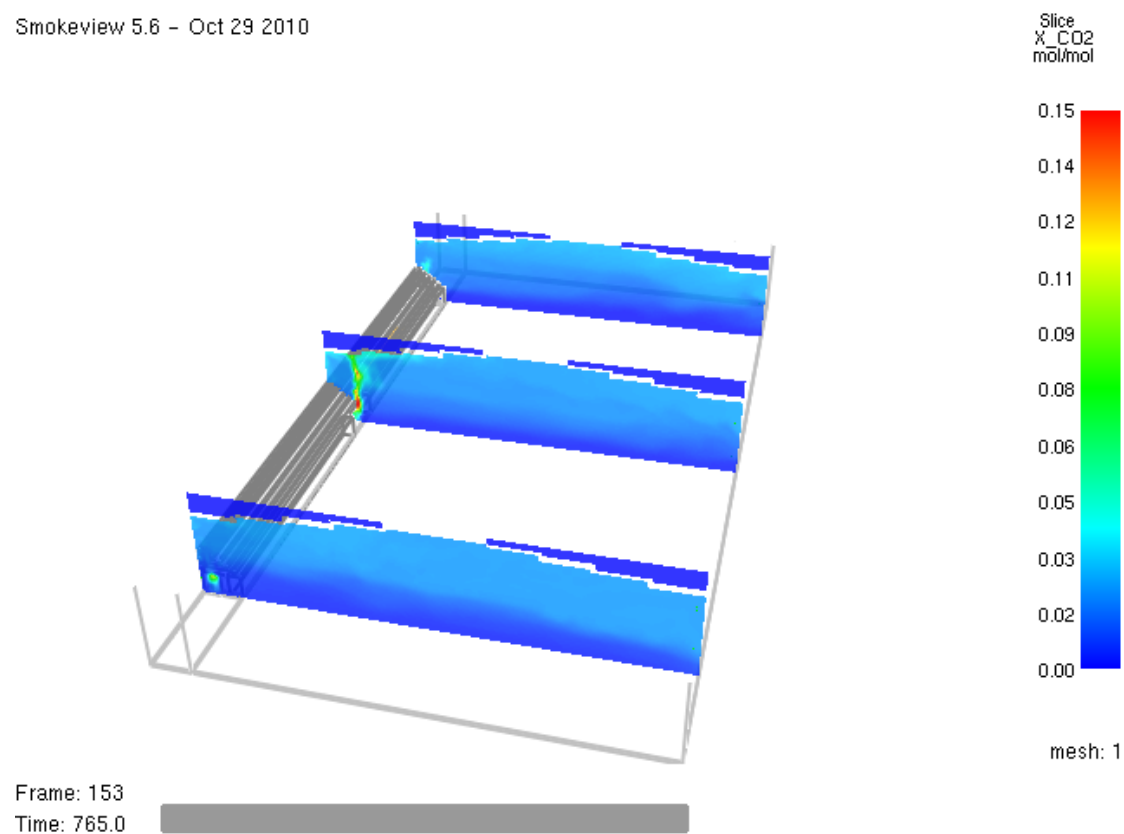
Figur S.6 – Brandgasspridning efter 200 sekunder.

## S.2 Brandscenario 8 – Brand under läktare

### S.2.1 Innan åtgärder

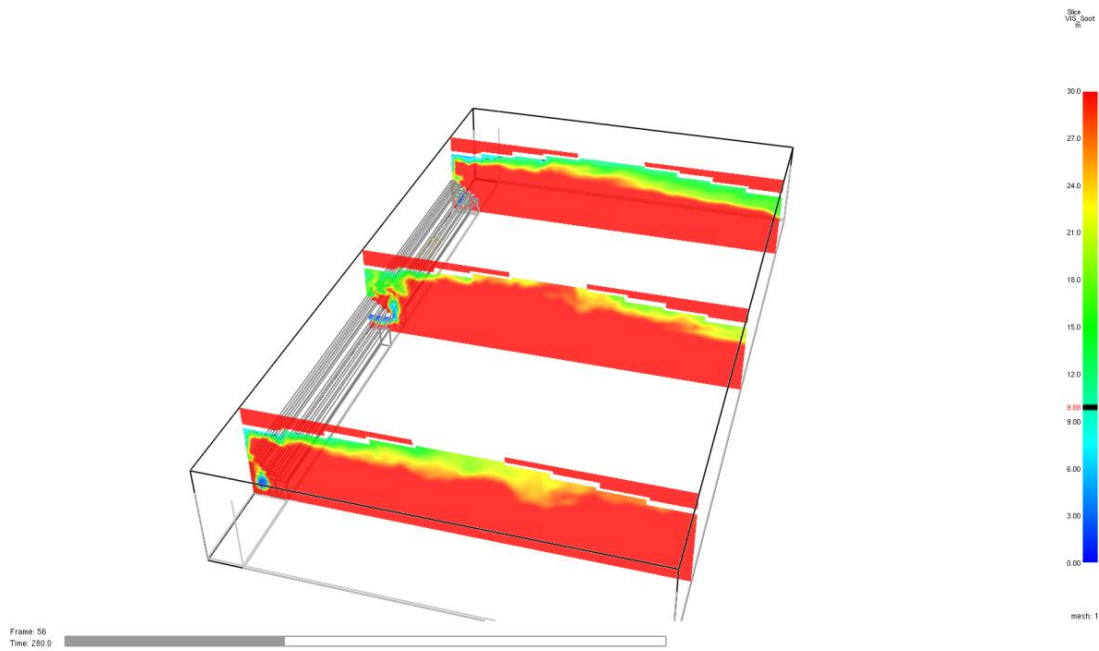
#### S.2.1.1 Toxicitet

Smokeview 5.6 – Oct 29 2010



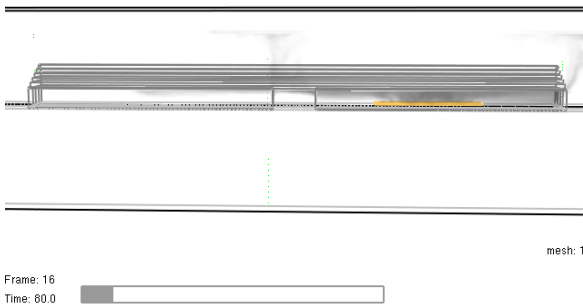
Figur S.7 – Koldioxidhalten i brandcell 4.

### S.2.1.2 Sikt

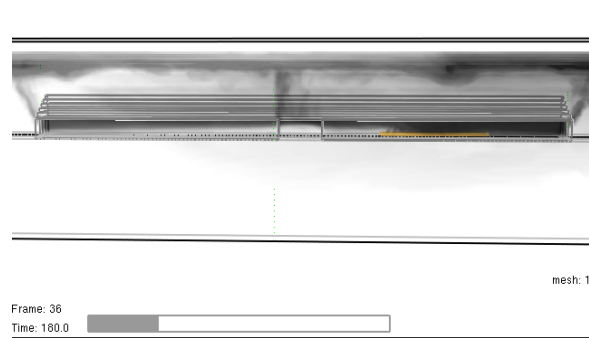


Figur S.8 – Sikt i brandcell 4.

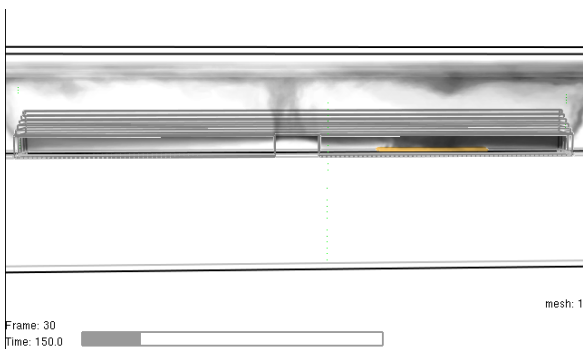
### S.2.1.3 Brandgasspridningsförlopp



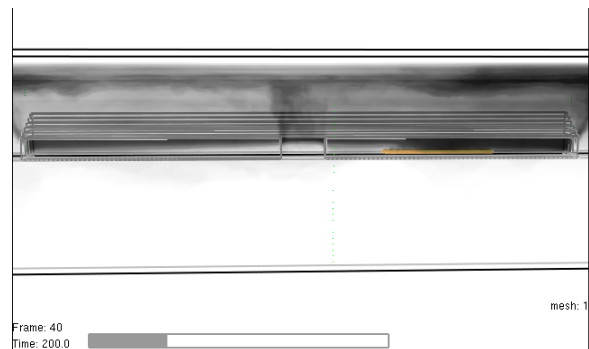
Figur S.9 – Brandgasspridning efter 60 sekunder.



Figur S.10 – Brandgasspridning efter 100 sekunder.

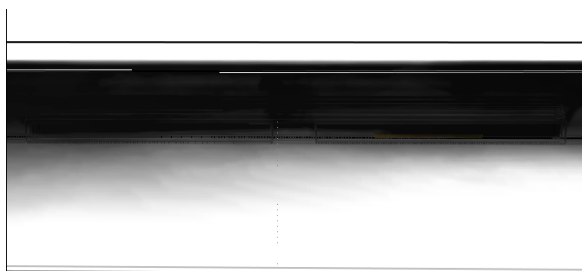


Figur S.11 - Brandgasspridning efter 150 sekunder.



Figur S.12 – Brandgasspridning efter 200 sekunder.





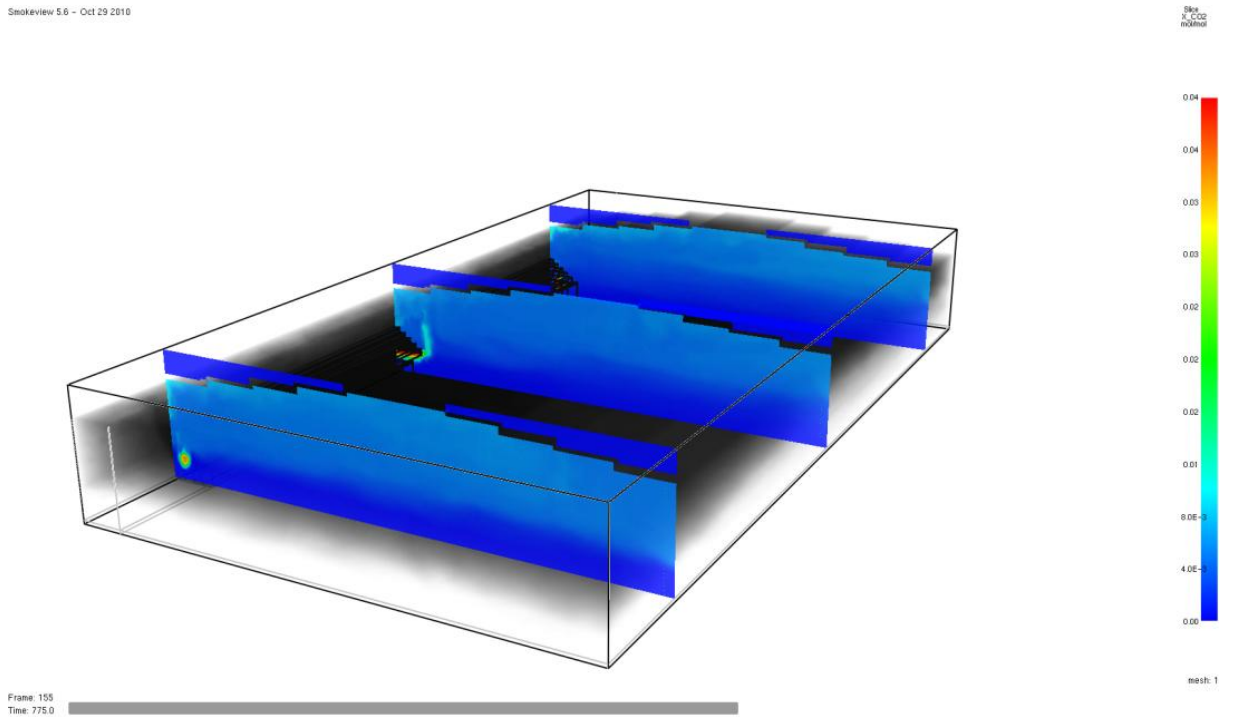
Figur S.13 – Brandgasspridning efter 300 sekunder.

time: 000.0

## S.2.2 Efter åtgärder

### S.2.2.1 Toxicitet

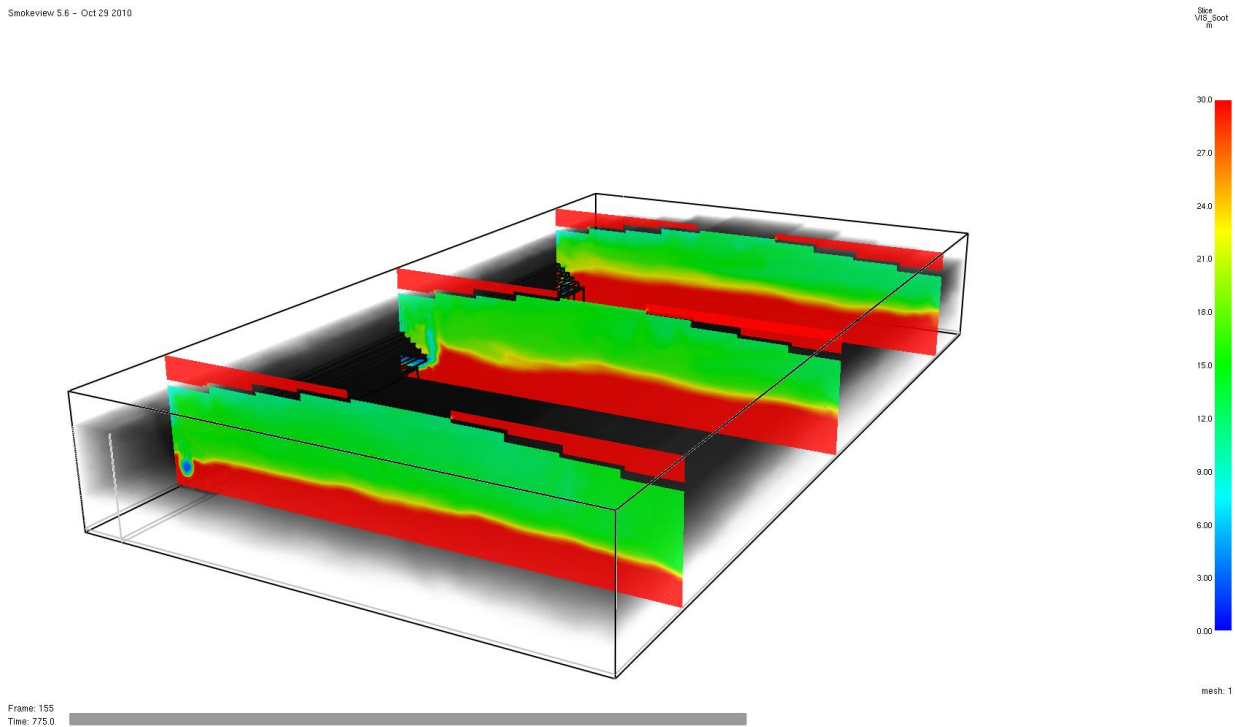
Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Figur S.14 – Koldioxidhalten i brandcell 4 efter åtgärder.

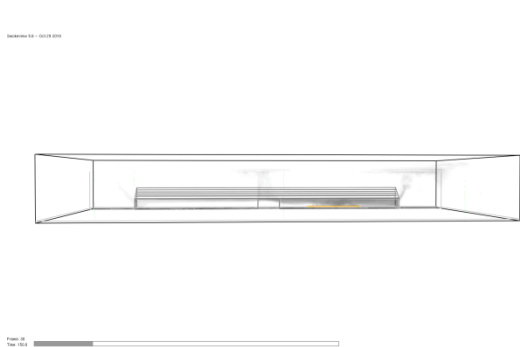
### S.2.2.2 Sikt

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Figur S.15 – Sikt i brandcell 4 efter åtgärder.

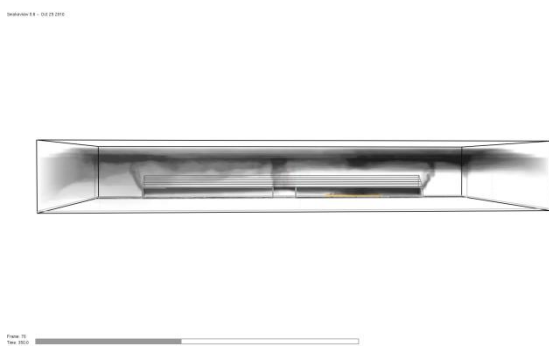
### S.2.2.3 Brandgasspridningsförlopp



Figur S.16 – Brandgasspridning efter 150 sekunder.



Figur S.17 – Brandgasspridning efter 150 sekunder.



Figur S.18 – Brandgasspridning efter 350 sekunder.



Figur S.19 – Brandgasspridning efter 450 sekunder



Figur S.20 – Brandgasspridning efter 550 sekunder.

