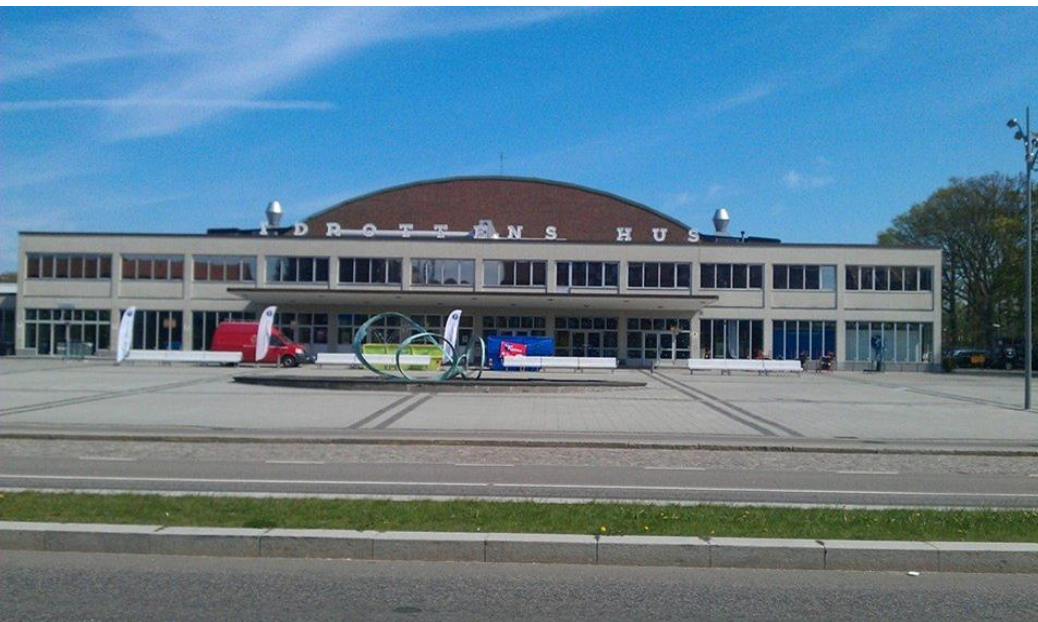


2014

Brandteknisk riskvärdering av Idrottens hus i Helsingborg



Eleonora Grönlund
Louise Lund
Björn Nilsson
Pontus Studahl

Rapport 9462



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Brandteknisk riskvärdering av Idrottens hus i Helsingborg

Eleonora Grönlund
Louise Lund
Björn Nilsson
Pontus Studahl

Handledare
Bjarne Husted
Emma Bäckman

Lund 2014

Följande rapport är framtagen i undervisningen. Det huvudsakliga syftet har varit träning i problemlösning och metodik. Rapportens slutsatser och beräkningsresultat har inte kvalitetsgranskats i den omfattning som krävs för kvalitetssäkring. Rapporten måste därför användas med stor försiktighet. Den som åberopar resultaten från rapporten i något sammanhang bär själv ansvaret.

Rapport/Report

9462

Titel/Title

Brandteknisk riskvärdering av Idrottens hus i Helsingborg
Fire safety evaluation of Idrottens hus in Helsingborg

Antal sidor/Number of pages

100 (Inklusive bilagor/Including appendix)

Författare/Authors

Eleonora Grönlund, Louise Lund, Björn Nilsson, Pontus Studahl

Nyckelord

Brandteknisk riskvärdering, Idrottens hus, Helsingborg, personsäkerhet, FDS,
idrottsanläggning, utrymning, Simulex, kritiska förhållanden, brandscenario

Keywords

Fire safety evaluation, Idrottens hus, Helsingborg, human safety, FDS, sports arena,
evacuation, Simulex, critical conditions, fire scenario

Språk/Language

Svenska/Swedish

Abstract

This report is part of the course *VBR054 Fire Safety Evaluation* at the Department of Fire Safety Engineering at Lund University. The report is an evaluation of the fire safety regarding evacuation at Idrottens hus in Helsingborg. Idrottens hus is a multi-purpose arena which hosts concerts and various sports events. A number of likely fire scenarios are identified and three of the scenarios are chosen for further analysis. The fire scenarios are simulated in FDS and the evacuation is simulated in Simulex. By comparing the time to critical conditions and evacuation time the margin for evacuation can be evaluated. A number of improvements are suggested to increase the safety. If these improvements are implemented the overall fire safety of Idrottens hus is considered satisfying.

Avdelningen för Brandteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet
Box 118
221 00 Lund
Sverige

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>
Telefon: 046 222 73 60

Fax: 046 222 46 12

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

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>
Telephone: +46 46 222 73 60

Fax: +46 46 222 46 12

Förord

Rapporten är resultatet av ett projektarbete i kursen VBR054 Brandteknisk riskvärdering som ges under tredje året på brandingenjörsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola. I rapporten utvärderas personsäkerheten ur utrymningssynpunkt på Idrottens hus i Helsingborg. Under arbetets gång har vi fått hjälp av många och ett speciellt tack vill vi därför rikta till följande personer:

Bjarne Husted – Mange tak for din vejledning gennem hele projektet.

Emma Bäckman – Tack för din handledning och för hjälpen vid besöket.

Krister Green – Tack för den intressanta rundvisningen och att du svarade på frågor.

Håkan Frantzich – Tack för svar på de frågor vi haft under projektets gång.

Sammanfattning

I denna rapport behandlas personsäkerheten vid utrymning av Idrottens hus i Helsingborg. Idrottens hus är en multisportarena som används till konserter, mässor och idrottsevenemang. Rapporten är resultatet av ett projektarbete i kursen VBR054 Brandteknisk riskvärdering som ges på brandingenjörsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola.

Arbetet inleddes med ett platsbesök på objektet där det befintliga brandskyddet kontrollerades. Besöket låg även till grund för en grovanalys av tänkbara brandscenarier. Därefter fördjupades analysen för de tre scenarier som var mest utmanande sett till sannolikhet och konsekvens.

De tre scenarier som analyserades var brand i förråd under norra läktaren, brand på scen samt brand i idrottsmuseet. Brandscenarierna simulerades i FDS och utrymningen i Simulex för att med hjälp av RSET-/ASET-metoden avgöra om utrymning kan ske säkert.

Ett antal känslighetsanalyser gjordes för att undersöka hur osäkerheter i vissa parametrar påverkar resultatet. Analyserna visade att personsäkerheten i de flesta fall var god även då parametrar ändrades till mer konservativa värden.

De goda utrymningsmöjligheterna medför att besökare kan utrymma byggnaden på kort tid. Vid vissa scenarier uppstår det kritiska förhållanden vid utrymning men tack vare att det finns flera alternativa utrymningsvägar kan säker utrymning ändå ske. Resultatet av rapporten ger upphov till följande rekommendationer:

Åtgärder som skall vidtas

- Se till att samtliga nödutgångar är tydligt skyltade
- Ta bort museiföremål som blockerar nödutgångar i museet
- Se över så att samtliga dörrar som används vid utrymning är lättöpnade
- Installera automatiska dörrstängare till förråden under läktarna

Åtgärder som bör vidtas

- Installera rökdetektorer i förråden
- Se över läktarnas utformning
- Placera alltid scenen i B-hallen vid konserter

Om *skall*-åtgärderna vidtas kan brandskyddet på Idrottens hus anses tillfredsställande men det finns fortfarande utrymme för ytterligare förbättringar.

Nomenklatur

A	Area [m^2]
A_D	Öppningsarea för inflödande gaser [m^2]
A_E	Öppningsarea för utflödande gaser [m^2]
A_W	Area som är i kontakt med heta brandgaser [m^2]
A_0	Öppningsarea [m^2]
b	Dörrbredd [m]
C_d	Öppningsfaktor [-]
c_p	Omgivande fluids värmekapacitet [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]
D^*	Karakteristisk diameter [m]
f	Dimensionerat personflöde genom dörr [personer/(s·m)]
g	Tyngdacceleration [m/s^2]
H_0	Höjd på öppning [m]
H_E	Takhöjd [m]
ΔH_c	Förbränningsentalpi [kJ/kg]
h	Värmeledningskoefficient [$\text{kW}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$]
l	Avstånd till utgång [m]
m	Massa [kg]
\dot{m}	Massflöde [kg/s]
\dot{m}_a	Massflöde luft genom öppning [kg/s]
\dot{m}_e	Massflöde ut ur lokalen [kg/s]
\dot{m}_p	Massflöde plym [kg/s]
n	Antalet personer som ska passera dörr [-]
Q	Energi [MJ]
\dot{Q}	Effektutveckling [kW]
\dot{q}''	Effektutveckling per areaenhet [kW/m^2]
ΔP_l	Tryckskillnad undre brandgaslager [Pa]
R	Avstånd från flammans centrum [m]
T_a	Omgivande lufts temperatur [K]
T_g	Brandgasers temperatur [K]
T_∞	Omgivande fluids temperatur [K]
t	Tid [s]
$t_{\text{förberedelse}}$	Förberedelsetid [s]
$t_{\text{förflyttning}}$	Förflyttningstid [s]
t_{kritisk}	Tid till kritiska förhållanden [s]
$t_{\text{utrymning}}$	Utrymningstid [s]
$t_{\text{varseblivning}}$	Varseblivningstid [s]
V	Rumsvolym [m^3]
v	Aktuell gånghastighet [m/s]
z	Brandgaslagrets höjd [m]
α	Tillväxtshastighet [kW/s^2]
ε	Emissivitet [-]

ϕ	Synfaktor [-]
ρ	Densitet [kg/m ³]
ρ_a	Densitet omgivande luft [kg/m ³]
ρ_∞	Omgivande fluids densitet [kg/m ³]
σ	Stefan-Boltzmanns konstant [W/(m ² ·K ⁴)]
χ_r	Strålningsfraktion [-]

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Syfte	1
1.2 Mål	1
1.3 Metod	1
1.4 Avgränsningar	3
1.5 Skyddsmål	3
2 Objektets utformning	5
2.1 A-hall	5
2.2 B-hall	6
2.3 Foajén	7
2.4 Helsingborgs idrottsmuseum	7
2.5 Korridorer med omklädningsrum	8
2.6 Kontor	8
2.7 Ventilation	8
3 Befintligt brandskydd	9
3.1 Brandcellsindelning	9
3.2 Utrymningsvägar	9
3.3 Rutiner vid utrymning	11
3.4 Detektionssystem	11
3.5 Brand- och utrymningslarm	11
3.6 Släckutrusning	12
3.7 Brandgasventilation	12
3.8 Räddningstjänsten	12
3.9 Underhåll och rutiner	12
4 Kontroll av brandskydd enligt BBR	13
4.1 Larmsystem	13
4.2 Möjlighet till utrymning vid brand	13
4.3 Skydd mot utveckling och spridning av brand och brandgaser inom byggnader ..	13
4.4 Övriga observationer under besöket	14
5 Teori om utrymning	15
5.1 Kritiska förhållanden	15
5.2 Utrymningstid	15
5.3 Simulex	16
6 Grovanalys	19

6.1 Statistik.....	19
6.2 Riskidentifiering	20
6.3 Riskmatris	25
6.4 Val av scenarier	26
7 Scenario 1 – Brand i förråd under norra läktaren	27
7.1 Beskrivning av scenario.....	27
7.2 Effektkurva	28
7.3 FDS	28
7.4 Tid till utrymning	29
7.5 Simulex	29
7.6 Resultat.....	29
7.7 Känslighetsanalys.....	30
8 Scenario 3 – Brand på scen	33
8.1 Beskrivning av scenario.....	33
8.2 Effektkurva	33
8.3 FDS	34
8.4 Tid till utrymning	34
8.5 Simulex	35
8.6 Resultat.....	36
8.7 Känslighetsanalys.....	36
9 Scenario 7 – Brand i museet	39
9.1 Beskrivning av scenario.....	39
9.2 Effektkurva	39
9.3 FDS	40
9.4 Tid till utrymning	40
9.5 Simulex	41
9.6 Resultat.....	41
9.7 Känslighetsanalys.....	41
10 Åtgärder	43
10.1 Validering.....	44
10.2 Förslag på åtgärder	46
11 Diskussion.....	47
11.1 Utrymning.....	47
11.2 Brandscenarier	48
11.3 Modeller	49
11.4 Förslag som valts bort.....	51

12 Slutsats	53
Litteraturförteckning	55
Bilaga A – SBF 110:6.....	57
Bilaga B – Datormodeller.....	59
CFD	59
Pyrosim.....	62
Simulex	62
Bilaga C – Statistik.....	63
Bilaga D – Effektkurvor	65
Ekvationer	65
Scenario 1 – Brand i förråd under norra läktaren	66
Scenario 3 – Brand på scen	68
Scenario 7 – Brand i museet.....	69
Bilaga E – Utrymningstider.....	71
Scenario 1 – Brand i förråd under norra läktaren	71
Scenario 7 – Brand i museet.....	72
Bilaga F – FDS-resultat	73
Scenario 1 – Brand i förråd under norra läktaren	73
Scenario 3 – Brand på scen	76
Scenario 7 – Brand i museet.....	81
Bilaga G – Handberäkningar.....	89
Utrymning.....	89
A-hall.....	91
B-hall.....	92
Strålning.....	93
Bilaga H – Inputfiler FDS.....	95
Scenario 1 – Brand i förråd under norra läktaren	95
Scenario 3 – Brand på scen	97
Scenario 7 – Brand i museet.....	99

1 Inledning

Idrottens hus tillsammans med Helsingborgs Arena är Helsingborgs största anläggning för inomhusidrott och andra evenemang. Anläggningen används bland annat till sportevenemang, konserter och mässor. Då lokalerna är nyrenoverade och Helsingborgs idrottsmuseum har flyttat in i byggnaden är det av intresse att undersöka om utrymning kan ske på ett tillfredsställande sätt.

1.1 Syfte

Syftet med rapporten är att utvärdera personsäkerheten vid händelse av brand i Idrottens hus i Helsingborg. Syftet är även att utveckla studenternas analytiska tänkande och att tillämpa lärdomar från denna kurs och tidigare kurser under utbildningens gång. Ett särskilt önskemål från räddningstjänsten har varit att titta på utrymningsmöjligheter genom det nybyggda idrottsmuseet som finns i foajén i Idrottens hus.

1.2 Mål

Målet med rapporten är att genom beräkningar, simuleringar och analyser avgöra om utrymning av Idrottens hus i Helsingborg kan ske på ett tillfredsställande sätt. Vid behov ska lämpliga åtgärder föreslås för att förbättra eventuella brister i personsäkerheten.

1.3 Metod

I rapporten kommer objektet granskas utifrån BBR:s rekommendationer och sedan kommer en brandteknisk riskvärdering göras utifrån representativa brandscenarier.

Inledningsvis studeras byggregler och ritningar över byggnaden. Under ett platsbesök tillsammans med handledare, anläggningsvärd och brandingenjör från Helsingborgs brandförsvår observeras byggnaden samt det befintliga brandskyddet och möjliga brandscenarier tas fram.

I en grovanalys listas brandscenarierna och möjliga tändkällor. Scenarierna bedöms utifrån sannolikhet och konsekvens för att sedan föras in i en riskmatris. Sannolikheten och konsekvensen baseras på statistik och kvalitativa resonemang. Tre scenarier, som anses vara de värsta troliga ur utrymningssynpunkt, väljs ut för vidare analys.

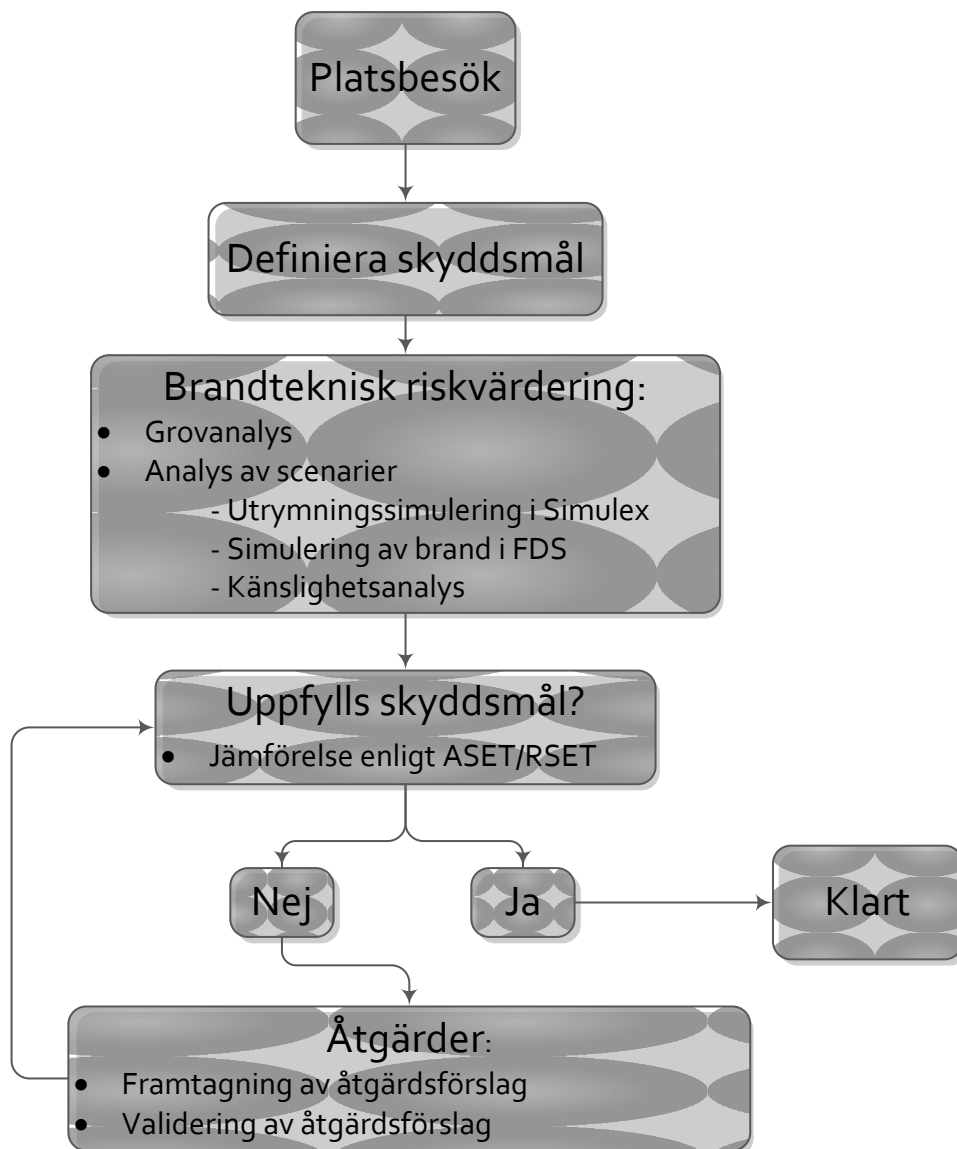
För att bestämma huruvida en säker utrymning kan ske används den så kallade RSET-/ASET-metoden. Denna metod innebär att tiden från brandens start till dess att kritiska förhållanden uppnås, ASET – Available Safe Escape Time, jämförs med tiden det tar att utrymma byggnaden, RSET – Required Safe Escape Time.

För varje scenario tas en effektkurva fram som används för att göra datorsimuleringar av bränderna i programmet FDS. Med hjälp av programmet Simulex samt kvalitativa resonemang räknas utrymningstiderna ut och dessa jämförs med tiderna till kritiska förhållanden. Om en tillfredsställande utrymning inte kan ske måste åtgärder vidtas

varpå en ny analys genomförs. Detta är en iterativ process som fortgår till dess att målen uppfylls.

Då det görs ett antal förenklingar och antaganden i en riskanalys kommer det finnas ett flertal osäkerheter. Dessa kan bland annat vara kopplade till osäkerheter i modeller och indata. För att hantera osäkerheterna görs en känslighetsanalys som visar effekten på slutresultatet beroende på variationer i ingångsdata.

Slutligen förs en diskussion kring resultatet och de osäkerheter som finns. Tillvägagångssättet visas i figur 1.



Figur 1. Översikt av tillvägagångssätt

1.4 Avgränsningar

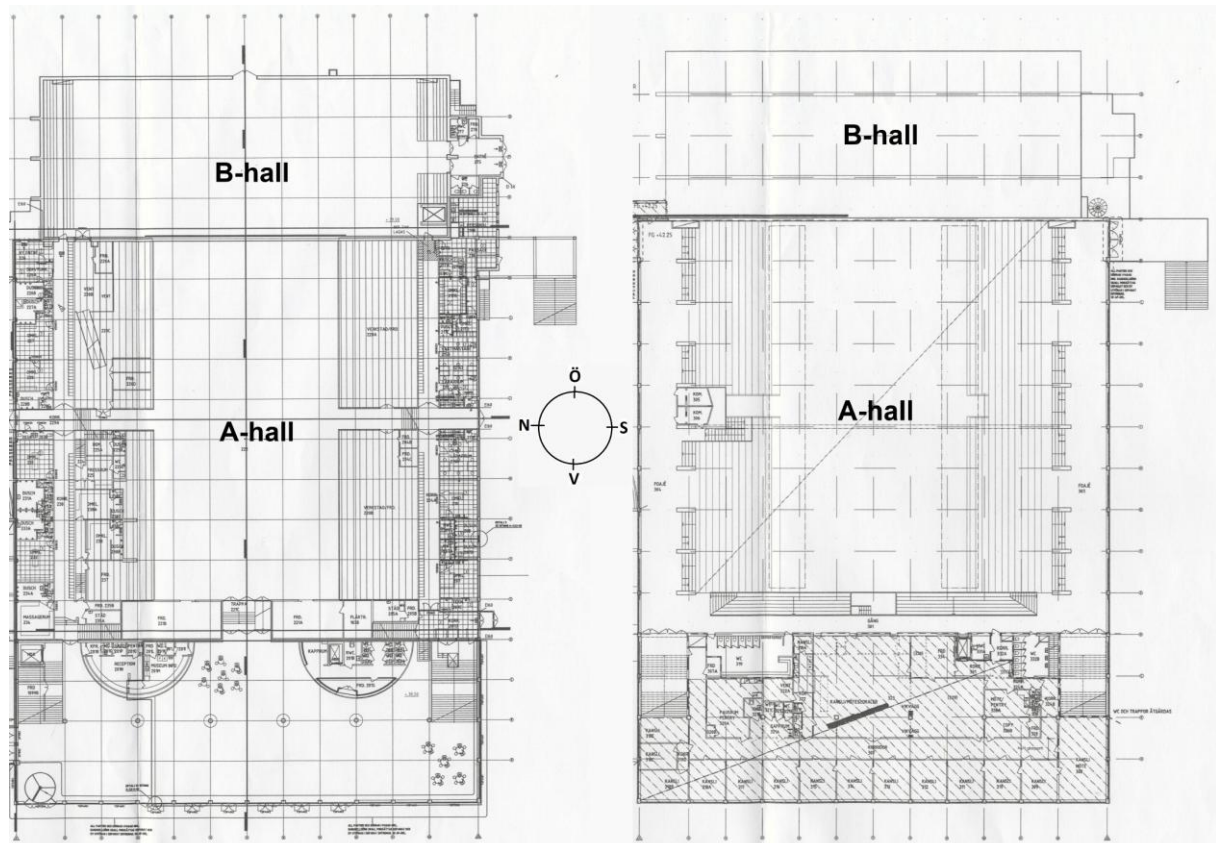
Vissa avgränsningar har gjorts för att uppgiften ska passa in i kursen och inte bli allt för omfattande. I rapporten behandlas de två övre planen innehållandes A-hall, B-hall, foajé, kontorsdel och idrottsmuseet. I samråd med räddningstjänst och handledare avgränsas källaren från analysen. I rapporten ligger fokus på brandens initiala skede och tiden till dess att utrymning är avslutad varför ingen hänsyn tas till byggnadens hållfasthet. Ingen hänsyn tas till skador på egendom eller miljö.

1.5 Skyddsmål

Skyddsmålet definieras till att ingen person som vistas i Idrottens hus ska orsakas personskada genom att utsättas för kritiska förhållanden vid händelse av brand.

2 Objektets utformning

Idrottens hus byggdes år 1957 och består av ett källarplan, ett entréplan samt ytterligare en våning för kontorsverksamhet. Byggnaden rymmer lokaler för bland annat handboll, innebandy, bordtennis, bowling, judo och skytte. År 2010 påbörjades uppförandet av Helsingborgs arena i anslutning till Idrottens hus, vilka tillsammans rymmer fem fullstora idrottsplaner under sina tak. Byggnaden består i huvudsak av betong. I figur 2 visas planritningen för de två planen.



Figur 2. Planritning för våning 1 och 2

2.1 A-hall

Planen i A-hallen är cirka 1000 m² och är ritad som en multisportplan. Läktarna rymmer vid idrottsevenemang 2700 åskådare fördelade på åtta sektioner, varav 1800 av dessa är sittplatser och 900 är ståplatser. Sektion A-D ligger på den norra läktaren och sektion E-H på den södra. Vid större konserter finns det plats för upp till 4200 åskådare då även planen kan användas för stå- eller sittplatser. Planen rymmer 1500 stående eller 1000 sittande åskådare. Under konserter används en portabel scen som monteras i antingen A- eller B-hallen. Om scenen står i B-hallen kan väggen mellan hallarna öppnas upp.

Läktarna består av betong försedd med fällbara plaststolar. Under läktarna finns ett flertal omklädningsrum och toaletter. Det finns även förråd där diverse idrottsredskap förvaras. I läktargången ovanför sittplatserna finns en kiosk med några ståbord utplacerade. Under dagtid används hallen av skolklasser och under kvällstid främst av idrottsföreningar. Höjden från golvet till taket i hallen varierar mellan 3 och 15,5 meter. A-hallen visas i figur 3.



Figur 3. A-hallen

2.2 B-hall

Planen i B-hallen är cirka 600 m² och är även den ritad som en multisportplan. Vid idrottsevenemang rymmer läktarna 120 åskådare. Under dagtid står bordtennisbord uppställda i hallen men även andra idrotter utövas. Hallen används för diverse mässor och som övernattningslokal för klubblag vid större cuper i Helsingborg. Läktarstolarna består av plast. Takhöjden varierar mellan 6 och 14 meter. B-hallen visas i figur 4.



Figur 4. B-hallen

2.3 Fojén

Huvudingången leder till foajén som ligger i västra delen av byggnaden. Foajén består av en reception och ett idrottsmuseum som är åtskilda med en glasvägg. I receptionsdelen finns även en samlingsplats med diverse sittplatser och bord. Från foajén kan man ta sig direkt in till A-hallen och till omklädningsrummen under läktarna. Receptionen är bemannad dagtid. Vid större evenemang används delar av foajén som garderob. Foajén visas i figur 5.



Figur 5. Fojén

2.4 Helsingborgs idrottsmuseum

År 2013 flyttade det lokala idrottsmuseet in sin verksamhet i Idrottens hus. Museet som hyllar Helsingborgs idrottsprofiler genom tiderna rymmer glasmontrar där medaljer och tävlingsutrustning förvaras. Museet binds samman med A-hallen via en vikhöjning från planen samt en trappa till den södra läktaren. Under trappan från läktarna ner till idrottsmuseet finns ett kontor där en stor mängd material förvaras, bland annat kartonger med papper. Takhöjden i museet är 4 meter. Idrottsmuseet som är bemannat dagtid visas i figur 6.



Figur 6. Idrottsmuseet

2.5 Korridorer med omklädningsrum

Under läktarna på långsidorna i A-hallen finns två korridorer; en i lokalens norra del och en i den södra. Korridorerna löper från foajén och idrottsmuseet längs A-hallens långsida till B-hallen. I korridorerna finns omklädningsrum, toaletter, vaktmästarens kontor samt byggnadens centralapparat där hantering av larm och detektorer sker. Korridorerna är förbundna med planen i A-hallen med ingångar i mitten av långsidan. Vid dessa ingångar finns förråd där det förvaras gymnastikredskap, bordtennisbord och övrig idrottsutrustning. Den norra korridoren visas i figur 7.



Figur 7. Den norra korridoren

2.6 Kontor

På andra våningen ovanför foajén finns en kontorsdel som är bemannad dagtid. Här sitter de ansvariga för Idrottens hus samt personal från olika föreningar som har sin verksamhet i lokalerna. Förutom kontor finns det även personalrum och konferensrum med plats för upp till 140 personer. Den här delen av byggnaden är nyrenoverad.

2.7 Ventilation

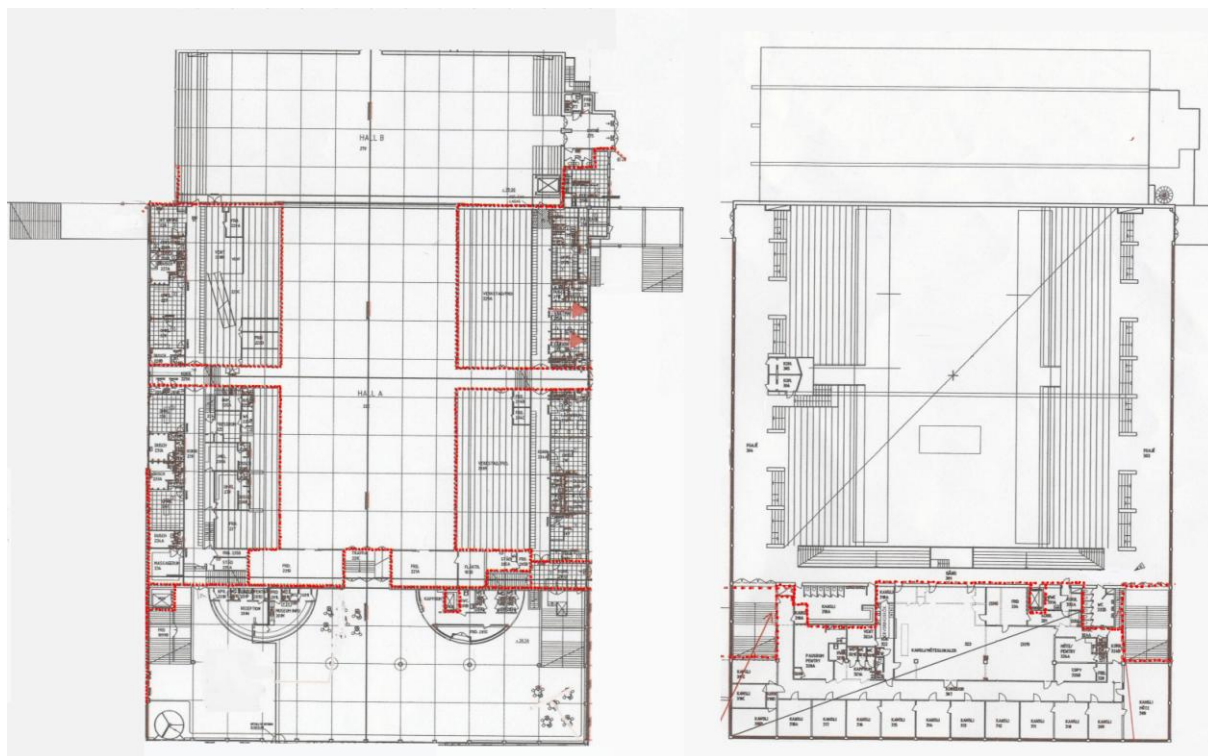
I Idrottens hus finns idag ingen brandgasventilation. Den ventilation som finns kan stängas av manuellt från centralapparaten och personalen har som rutin att stänga av den vid brand. På grund av rummens volym och öppna geometrier förväntas det ta lång tid innan trycket blir så stort att brandgaserna flödar in i tilluftskanalerna. I rapporten antas att personalen hinner stänga av ventilationen innan ett tryck som kan innebära brandgasspridning uppnås.

3 Befintligt brandskydd

Nedan följer en genomgång av det befintliga brandskyddet i byggnaden.

3.1 Brandcellsindelning

Brandcellsindelningen visas i figur 8. Utrymmena under läktarna är uppdelade i fyra brandceller med klass EI30. Foajén och idrottsmuseet utgör tillsammans en brandcell, A- och B-hallen utgör en cell samt kontorsdelen en.



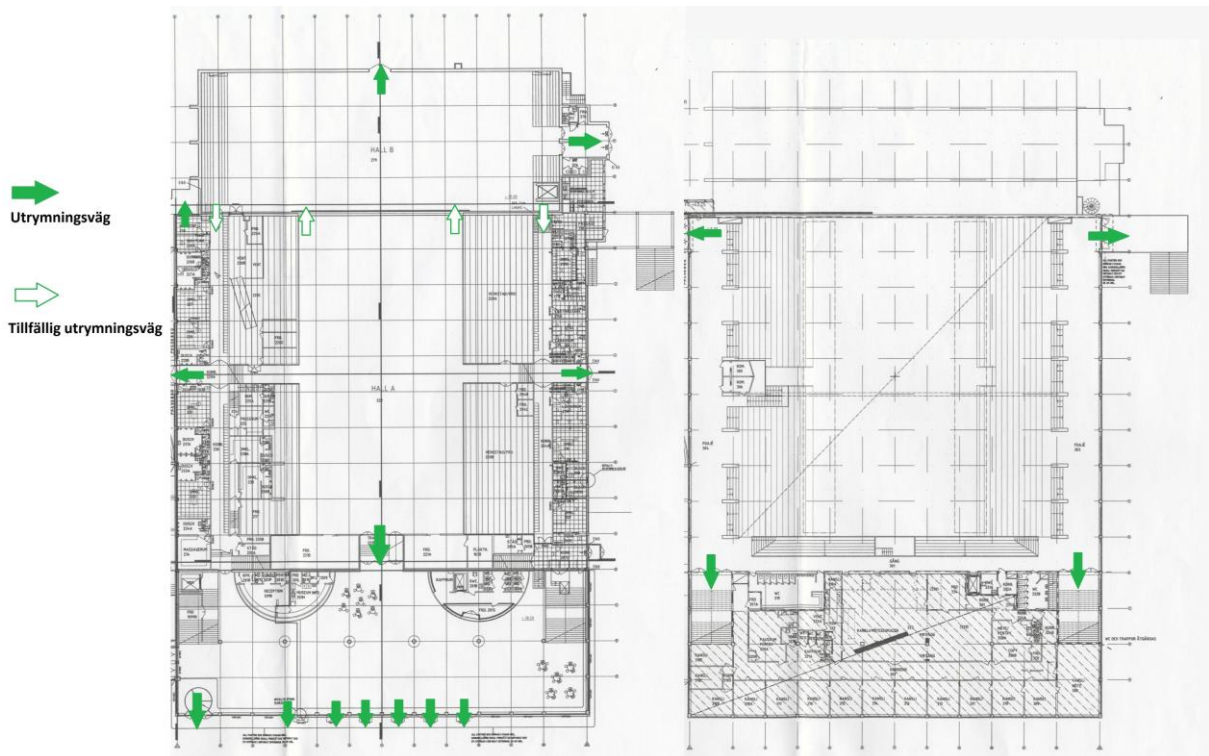
Figur 8. Brandcellsindelningen för plan 1 och 2

3.2 Utrymningsvägar

Vid utrymning av Idrottens hus finns en återsamlingsplats utanför entrén. Denna återsamlingsplats gäller för hela byggnaden.

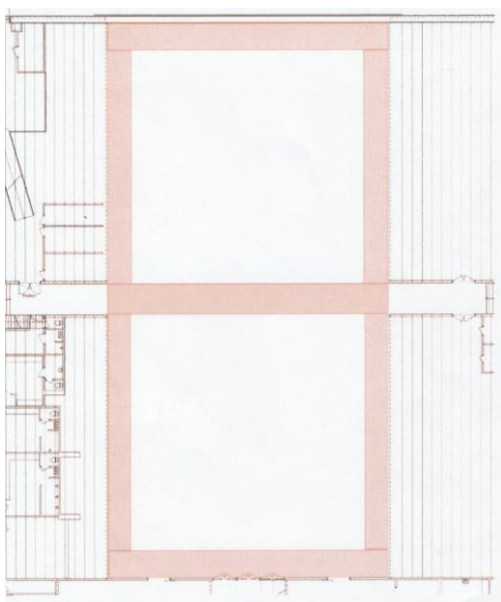
I A-hallen finns sex stycken nödutgångar. Fyra av dessa är placerade över läktarna och de andra två är placerade längs med A-planens mittlinje. Tanken är att varje utgång ovanför läktaren skall kunna tömma två sektioner vardera. I trappan på läktaren finns nödljus installerade och ovanför utgångarna genomlysta skyltar. Under större evenemang då publik vistas på golvet i A-hallen finns ytterligare nödutgångar att tillgå. Bland annat kan en vikedörr öppnas så att personer på golvet kan utrymma ut genom idrottsmuseet. Personer som befinner sig på scenen kan utrymma via B-hallen.

I B-hallen finns två nödutgångar med genomlysta skyltar; en på hallens kortsida och en på långsidan. Dessa dörrar leder direkt ut i det fria. Vid vissa arrangemang, exempelvis handbollsmatcher, installeras ett sekretariat framför utgången på långsidan samtidigt som utgången på kortsidan blockeras av undanplockade bordtennisbord. Vid dessa tillfällen används två dörrar som leder till korridorerna som tillfälliga nödutgångar, se figur 9.



Figur 9. Utrymningsvägar för plan 1 och 2 i A-hallen

Då golvet används vid evenemang får inte möblering ske i de rödmarkerade områdena som visas i figur 10.



Figur 10. Möbleringskarta för golvet i A-hallen

I entrén och idrottsmuseet finns ett antal dörrar på kortsidan av byggnaden som leder direkt ut i det fria. Från omklädningsrummen går utrymningsvägarna genom korridorerna ut till antingen entrén eller direkt ut i det fria. Dessa dörrar är utrustade med genomlysta skyltar och visas i figur 11.



Figur 11. Genomlysta skyltar i museet och korridorerna

3.3 Rutiner vid utrymning

Under evenemang är det arrangören som ansvarar för att det finns brandvakter som hjälper till vid ett eventuellt tillbud. De här personerna ska ha kunskap om utrymningsvägar samt var handbrandsläckare är utplacerade. Deras huvuduppgift är att guida publiken till rätt nödutgång vid en eventuell brand. Det är även dessa personer som manuellt aktiverar brandlarmet om detektionen är urkopplad vid arrangemanget. Brandvakterna genomgår ingen utbildning men har en checklista att följa. Vid dagliga aktiviteter, exempelvis skolgymnastik, är det lärare och personal som ansvarar för utrymningen. Det genomförs utrymningsövningar en gång per år.

3.4 Detektionssystem

I A- och B-hallen finns det tre linjerökdetektorer som sitter i taket över planen samt ett antal rökdetektorer ovanför läktarna. I korridorerna finns det rökdetektorer. I omklädningsrummen och förråden under läktarna finns inget detektionssystem. I foajén och idrottsmuseet sker detektion genom rökdetektorer placerade i taket.

3.5 Brand- och utrymningslarm

Idrottens hus är utrustat med ett direktlarm till SOS Alarm vid detektion av brand. Larmet är ett adresserbart system med 11 olika sektioner. Utrymningslarmet som är direkt kopplat till brandlarmet är ett talat meddelande på både svenska och engelska.

Det finns tre brandlarmsknappar för manuell aktivering; den ena vid sekretariatet i A-hallen, den andra i receptionen i entrén och den tredje vid larmcentralen. Vid ett eventuellt larm stängs musik och dyligt av i hallarna. Under evenemang med konströk och pyroteknik samt vid vissa renoveringsarbeten stängs larmet för berörda sektioner av. När larmet stängs av används en timer så att det går igång vid en viss tidpunkt för att säkerställa att återaktivering av larmet inte uteblir.

3.6 Släckutrusning

I lokalerna finns både handbrandsläckare och fasta inomhusbrandposter. Det finns handbrandsläckare vid varje nödutgång.

3.7 Brandgasventilation

Det finns ingen brandgasventilation i hallen. Däremot finns det fläktar i taket som kan användas till att ventilera ut rök. Det går även att stänga av den vanliga ventilationen manuellt vid behov.

3.8 Räddningstjänsten

Räddningstjänsten förväntas vara på plats inom 10 minuter vid larm. Närmaste station ligger tre minuters körtid bort.

3.9 Underhåll och rutiner

Brandlarmet sköts och underhålls av Larmteknik. Det kontrolleras enligt SBF 110:6, se bilaga A.

4 Kontroll av brandskydd enligt BBR

En översiktlig kontroll av brandskyddet görs med utgångspunkt i förenklad dimensionering enligt Boverkets byggregler. Nedan tas de punkter upp där avsteg gjorts eller frågor finns. Objektet bedöms vara verksamhetsklass 2B (Vk2B) eftersom det är en samlingslokal för fler än 150 personer. Byggnadsklassen bedöms vara Br1 på grund av att Vk2B ligger i två plan. (Boverket, 2013)

4.1 Larmsystem

Objektet är utrustat med automatiskt brandlarm där detektion sker genom rökdetektorer eller linjerökdetektorer. Utrymningslarmet är ett talat meddelande på svenska och engelska och aktiveras automatiskt med brandlarmet eller manuellt. Frågetecken finns kring detektionstid av brand vid större arrangemang då stor del av brandlarmet ibland inaktiveras.

4.2 Möjlighet till utrymning vid brand

Utrymning genom annan brandcell är tillåtet i Vk2B om den avsedda brandcellen utgör lokalens huvudentré. Detta är fallet vid utrymning genom foajén och museet. Högsta tillåtna gångavstånd till närmaste utrymningsväg är 30 meter för aktuell verksamhetsklass. Detta krav uppfylls inte då vägen blir betydligt längre från flera platser på läktaren. Dörrar för utrymning skall vara lätta att identifiera. I museet finns en dörr försedd med utrymningshandtag men som saknar övrig utmärkning i form av skyltar. Bänkrader bör inte bestå av fler än 10 platser i de fall då utrymning endast kan ske åt ett håll. Läktarna är uppdelade i sådana sektioner om 20 platser. Nödbelysning bör finnas i trappor som används vid utrymning. Detta finns på läktaren men saknas i trapporna som leder ner till foajén och museet. Vägledande skyltar saknas på vissa platser.

4.3 Skydd mot utveckling och spridning av brand och brandgaser inom byggnader

Byggnaden är i huvudsak utförd i betong. Därför anses väggar, tak och golv inte bidra i någon större omfattning till en brands utveckling.

Med hjälp av *Boverkets Handbok om Brandbelastning* (Boverket, 2008) bedöms den dimensionerande brandbelastningen vara mindre än 800 MJ/m². Detta då objektet anses jämförbart med en teater eller biograf. Utifrån bedömningen kan utläsas att avgränsande konstruktion bör utföras i EI60 efter dagens byggregler. Byggnaden är dimensionerad efter äldre byggregler och har avskiljande konstruktioner i klass EI30. Brister i brandcellgränser har observerats på några platser. Exempelvis finns stora glipor under dörrar i brandcellsgränser under läktarna.

4.4 Övriga observationer under besöket

Under platsbesöket på Idrottens hus gjordes följande observationer av bristande brandskydd:

- Utrymningsskylt saknas i A-hallen vid den norra läktaren, se figur 12.



Figur 12. Utrymningsskylt saknas vid norra läktaren

- Ett antal utrymningsdörrar/nödutgångar var svåra att öppna.
- En stor glipa observerades under dörren som ska vara en brandcellsgräns mellan förrådet under norra läktaren och B-hallen, se figur 13.



Figur 13. Stor glipa i brandcellsgräns

- Bakom en pelare i B-hallen satt en skymd utrymningsskylt.
- Blockerad nödutgång i idrottsmuseet.
- Avsaknad av utrymningsskyltar i korridor under södra läktaren.

Flertalet av dessa brister beror troligtvis på den pågående renoveringen av Idrottens hus. Av denna anledning förutsätts dessa brister vara åtgärdade i denna analys.

5 Teori om utrymning

Det finns två sätt att hantera utrymning enligt BBR; förenklad dimensionering och analytisk dimensionering. Den förenklade går ut på att följa de krav som finns i BBR. I de fall där dessa krav inte uppfylls måste en analytisk dimensionering göras. Analytisk dimensionering går ut på att undersöka om utrymningen kan ske på tillfredsställande sätt innan kritiska förhållanden uppnås i utrymningsvägarna, det vill säga $t_{kritisk} > t_{utrymning}$ som är det samma som RSET-/ASET-metoden.

5.1 Kritiska förhållanden

Med kritiska förhållanden åsyftas de gränsvärden för när utrymning inte längre kan ske säkert. BBRAD (Boverket, 2013) listar fem olika kriterier som kan användas när utrymning dimensioneras. Dessa fem innefattar brandgaslagrets höjd över golvet, sikt, värmestrålning, temperatur samt toxicitet. Då skyddsmålet är att utrymma Idrottens hus utan att någon personskada uppstår är därför värmestrålning, temperatur och toxicitet de kriterier som kommer att läggas extra stor vikt vid. Detta görs då dessa kriterier anses vara de som utgör ett direkt hot mot människors hälsa. Även siktbarheten kommer att beaktas vid utvärderingen då dålig sikt kan medföra betydligt längre utrymningstider.

Siktbarhet	10,0 m i utrymmen > 100 m ² 5,0 m i utrymmen < 100 m ²
Värmestrålning	Strålningsintensiteten bör inte överstiga 2,5 kW/m ²
Temperatur	Max 80°C
Toxicitet	CO-koncentration > 2000 ppm CO ₂ -koncentration > 5 % O ₂ -koncentration < 15 %

(Boverket, 2013)

Tiden för att uppnå dessa kriterier tas fram genom beräkningsmodeller eller datorprogram. I rapporten används FDS för att simulera tiden till kritiska förhållanden.

5.2 Utrymningstid

Utrymningstiden brukar delas upp i tre olika delar; varseblivningstid, förberedelsetid samt förflyttningstid vilka beskrivs nedan.

5.2.1 Varseblivningstid

Varseblivningstid är den tid det tar för en person att bli medveten om att det brinner, antingen genom egna iakttagelser eller exempelvis ett utrymningslarm. Varseblivningstiden kan variera från sekunder till minuter beroende på byggnad, larm och brandens placering. Varseblivningstiden bör inte understiga 30 sekunder för personer som ser branden. I övrigt ges inte några generella rekommendationer (Boverket, 2011).

5.2.2 Förberedelsetid

Förberedelsetid är tiden det tar för en person att reagera och börja utrymma. Denna tid kan variera mycket beroende på en rad olika faktorer såsom typ av larm, om personer ser branden, sociala faktorer och individuella skillnader. Generellt sett har ett larm med talat meddelande kortare förberedelsetid än larm med bara ljud. Förberedelsetiden kan förkortas ytterligare om det finns personal som hjälper till och instruerar vid utrymning (Boverket, 2011).

5.2.3 Förflyttningstid

Förflyttningstid avser den tid det tar från det att en person börjar utrymma till dess att personen är ute. Faktorer som påverkar förflyttningstiden kan vara personfördelning i lokalen, hur utrymningsvägarna är utformade och personers förmåga att förflytta sig. En annan viktig faktor för att hålla nere förflyttningstiden är att minimera köbildningen vid utrymning (Boverket, 2011).

5.2.4 Total utrymningstid

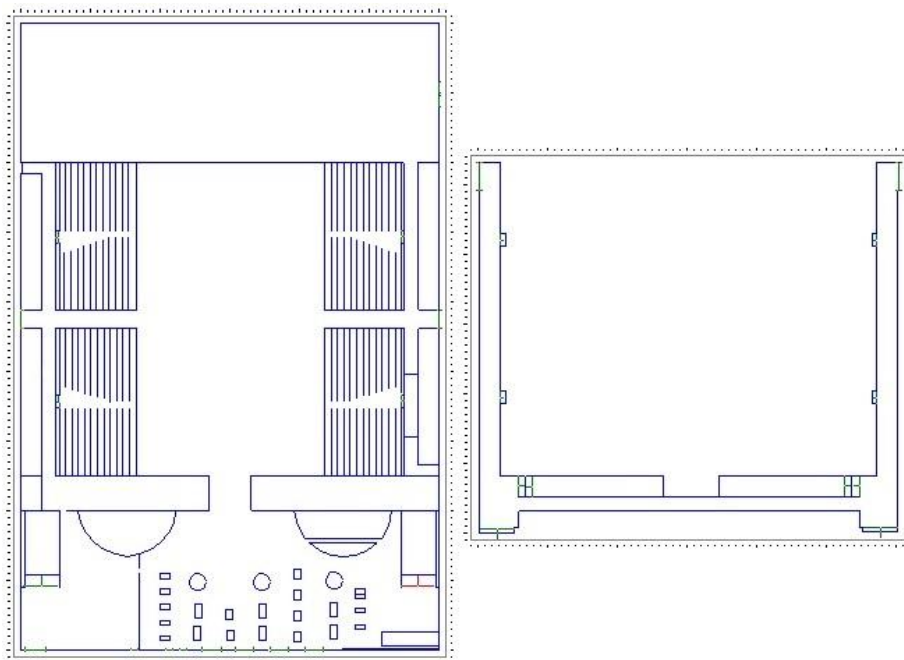
För att beräkna den totala utrymningstiden adderas tiden för de olika faserna enligt följande:

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

Denna tid jämförs med tiden till kritiska förhållanden, $t_{kritisk}$, för att bedöma om det går att utrymma säkert (Frantzich, 2001).

5.3 Simulex

Simulex är ett utrymningsprogram som använder en flödesmodell för att simulera förflyttningstid vid utrymning. I bilaga B beskrivs programmet utförligare. I figur 14 nedan visas en översikt av geometrin som använts vid simuleringarna.



Figur 14. Geometrin som används i Simulex

Då det inte går att simulera läktare på något exakt sätt ritas läktarna som en plan geometri istället för den verkliga trappformen. Istället får personerna gå genom en kort trappa på en meter innan de når övre plan. Detta upplägg anses vara representativt för det aktuella fallet. Sittande personer på golvet simuleras på liknande sätt som de på läktarna genom att dragna linjer representerar stolsrader. I de aktuella simuleringarna har endast förflyttningstiden simulerats. Denna tid kommer sedan att läggas till de antagna varseblivnings- och förberedelsetiderna.

Då rullstolsplatserna är begränsade i antalet samt placerade nära utgångarna på läktarna har ingen särskild hänsyn tagits till de rullstolsburna vid utrymning.

Det finns vissa problem med Simulex som gör att tiden kan bli längre än vad den skulle vara vid en verklig utrymning. När personerna i Simulex utrymmer tar de alltid den närmaste vägen, vilket medför att orealistisk köbildning kan ske i hörn och trånga utrymmen. För att kontrollera att utrymningstiderna är rimliga utförs handberäkningar som sedan jämförs med Simulex-resultatet. Dessa handberäkningar redovisas i bilaga G.

6 Grovanalys

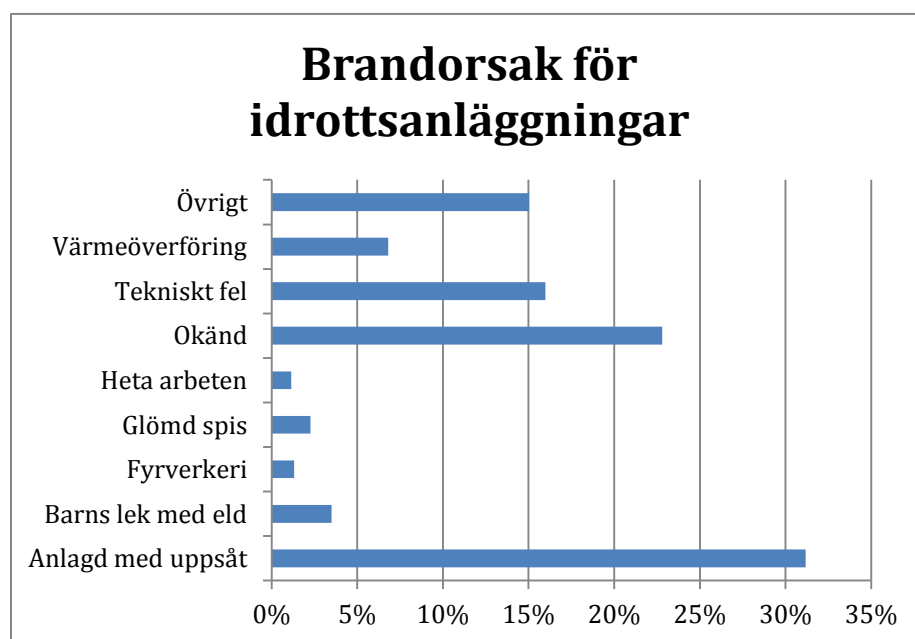
En riskidentifiering genomförs för att kartlägga var en brand kan starta och vilka konsekvenser den kan tänkas leda till. Det finns många tänkbara brandscenarier men då tid är en begränsande faktor i arbetet med rapporten kommer ett urval göras. De tre brandscenierna som bedöms utgöra högst risk för personsäkerheten vid utrymning ur byggnaden väljs ut och analyseras vidare.

6.1 Statistik

För att kunna uppskatta sannolikhet för olika brandscenarier är statistik över tidigare händelser ett bra hjälpmedel. Den statistik som används i rapporten är baserad på data från räddningstjänstens insatsrapporter, sammanställd av Myndigheten för Samhällsskydd och beredskap under perioden 1998-2012 (MSB, 2014). Nedan presenteras de vanligaste brandorsakerna och startplatserna. Statistiken som ligger till grund för diagrammet för brandorsaker redovisas i bilaga C.

6.1.1 Brandorsak

Statistiken för bränder i allmänna idrottsanläggningar visar att anlagd brand är den vanligaste brandorsaken och att den står för över 30 procent av alla brandtillbud. Andra vanliga brandorsaker är tekniskt fel och värmeöverföring. I figur 15 redovisas orsakerna till brand i allmänna idrottsanläggningar.



Figur 15. Orsaker till brand i allmänna idrottsanläggningar

6.1.2 Startutrymme

Förutom brandorsak är det av intresse att veta var i verksamheten som bränder vanligtvis startar. Statistiken visar att de vanligaste platserna i allmänna idrottsanläggningar är samlingslokal och badrum/toalett/bastu (MSB, 2014).

6.2 Riskidentifiering

Ett flertal tänkbara brandscenarier identifieras och bedöms utifrån sannolikhet och konsekvens. Sannolikheten för varje scenario baseras på statistiken i kapitel 6 och kvalitativa bedömningar. Konsekvensen tas fram genom logiska resonemang. Sannolikheten för att en brand ska inträffa och vilken konsekvens den får rangordnas enligt tabell 1.

Tabell 1. Rangordning av sannolikhet och konsekvens

Värde	Sannolikhet	Konsekvens
1	Mycket låg	Ingen risk för personskada
2	Låg	Liten risk för personskada
3	Medelhög	Medelhög risk för personskada
4	Hög	Hög risk för personskada
5	Mycket hög	Mycket hög risk för personskada eller dödsfall

Efter platsbesöket på Idrottens hus identifierades en mängd möjliga brandscenarier. Då det inte är möjligt att behandla alla väljs nio scenarier som anses troliga och representerar olika delar av byggnaden.

6.2.1 Scenario 1 - brand i förråd under norra läktaren

Under norra läktaren i A-hallen finns ett förråd där det förvaras diverse gymnastikredskap, bordtennisbord och annat brännbart material. Det finns inga detektorer i utrymmet vilket gör att en brand kan fortgå en lång tid innan den upptäcks. Då utrymmet är relativt litet är risken stor att rök från en eventuell brand sprider sig till angränsande delar av arenan. Förrådet står öppet på dagarna för att skolklasser ska kunna använda redskapen som förvaras där. Vid större evenemang brukar förrådet vara låst. Då förrådet är tillgängligt från både omklädningsrum och A-planen är insynsskyddat finns en risk för anlagd brand. Om brand uppstår i förrådet föreligger risk att brandröken blockerar en nödutgång för de som befinner sig på planen i A-hallen. Förrådet visas i figur 16.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 3



Figur 16. Förrådet under norra läktaren

6.2.2 Scenario 2 - brand i förråd under södra läktaren

Under södra läktaren i A-hallen finns ett förråd som liknar det under den norra läktaren. Även detta utrymme saknar detektor och här förvaras en något mindre mängd brännbart material än i förrådet under motsatta läktaren. Om det brinner i förrådet finns en risk att brandröken blockerar en nödutgång för de som befinner sig på planen i A-hallen. Förrådet visas i figur 17.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 3



Figur 17. Förrådet under södra läktaren

6.2.3 Scenario 3 - brand på scen vid konsert

Vid konserter i A-hallen kan väggen till B-hallen öppnas upp för att scenen ska kunna byggas mellan hallarna. Det finns ett flertal elinstallationer på scenen och vid vissa evenemang används pyroteknik vilket förhöjer risken för brand. Vid en slutsåld konsert kan upp till 4200 personer befinna sig i A-hallen och en eventuell brand kan få mycket hög konsekvens. I de fall då pyroteknik eller rökmaskiner används stängs linjerökdetektorerna av och en brand på scenen måste då upptäckas och larmas manuellt genom att trycka en av de tre larmknapparna. Figur 18 visar väggen som kan öppnas mellan hallarna.

Sannolikhet: 4

Konsekvens: 4



Figur 18. Öppningsbara väggen mellan hallarna

6.2.4 Scenario 4 - brand i omklädningsrum

I omklädningsrummen under läktarna är brandbelastningen liten men om det är fullt med kläder, handdukar och dylikt kan rök eventuellt spridas ut i korridoren. Det mest troliga scenariot är att någon anlägger en brand då det inte finns några andra egentliga tändkällor. Sannolikheten för brand antas här vara högre än för förråden då toaletter statistiskt sett är ett vanligare startutrymme samt är mer lättillgängliga. Om det skulle börja brinna är det troligt att utrymning sker snabbt. I omklädningsrummen finns inga detektorer utan de närmaste sitter i korridoren utanför omklädningsrummet. Ett av omklädningsrummen som finns under läktarna visas i figur 19.

Sannolikhet: 4

Konsekvens: 1



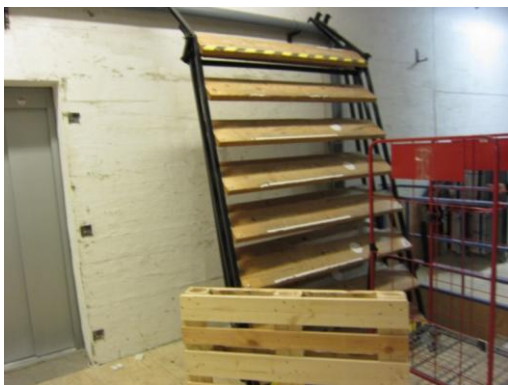
Figur 19. Omklädningsrum under läktaren

6.2.5 Scenario 5 - brand i förråd på planens kortsida

På kortsidan av A-hallen mot entrén finns ett förråd som ligger i anslutning till ett fläktrum. Vid brand i förrådet finns det en risk att brandgaser sprider sig ut i A-hallen. Förutom en träpall, ett par spånskivor och mobila trappor finns det inte mycket brännbart material i förrådet. Förrådet, som visas i figur 20, är svårtillgängligt och dolt bakom ett draperi vilket gör att det är osannolikt att en brand börjar här. Det mest troliga scenariot är att det börjar brinna i fläktrummet och sprider sig.

Sannolikhet: 2

Konsekvens: 3



Figur 20. Förråd på kortsidan av A-hallen

6.2.6 Scenario 6 - brand i garderoben i foajén

Under evenemang används en del av foajén som garderob. Denna yta är markerad och visas i figur 21. I glasväggen som skiljer receptionen från idrottsmuseet finns öppna hål vilket medför att brandgaser kan spridas och blockera ett flertal nödutgångar. Den troligaste brandorsaken är anlagd brand.

Garderoben är alltid bemannad och utrustad med handbrandsläckare så det är troligt att en eventuell brand släcks innan den hinner växa till sig.

Sannolikhet: 1

Konsekvens: 3



Figur 21. Foajén med utmarkerad garderob

6.2.7 Scenario 7 - brand i museet

Direkt under utrymningstrappan i idrottsmuseet finns ett kontor med bord, bokhyllor och ett antal lådor, vissa tomma och vissa fyllda med papper. Brandbelastningen här anses stor och vid en brand kommer museet sannolikt rökfyllas snabbt på grund av geometrin. Då det finns fasta installationer, exempelvis montrar, som kan försvåra utrymningen finns det risk för köbildning. En del av kontoret i museet visas i figur 22.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 3



Figur 22. En del av kontoret under trappan i idrottsmuseet

6.2.8 Scenario 8 - brand i B-hallen – mäs

I B-hallen anordnas ibland mässor av olika slag vilket medför att mycket folk och montrar samlas på en mindre yta. Beroende på hur mässan utformas kan utrymningen försvåras för deltagarna som förmodligen har dålig lokalkännedom. Under mässor kan det finnas elinstallationer som kan kortsluta. Hallen visas i figur 23.

Sannolikhet: 2

Konsekvens: 3

6.2.9 Scenario 9 - brand i B-hallen – övernattn

Vid stora idrottsturneringar i Helsingborg kan B-hallen användas som övernattningsal för idrottslag. Antalet sovande personer för sådana tillfällen är dock begränsad till cirka 30. Brandbelastningen vid en övernattning anses liten i förhållande till den stora hallen. Utrymningsmöjligheterna från B-hallen är goda. Hallen visas i figur 23.

Sannolikhet: 2

Konsekvens: 3



Figur 23. B-hallen

6.2.10 Scenario 9 - brand i konferensrum

På kortsidan av planen i A-hallen på andra våning ligger en kontorsavdelning där det även finns ett fik/konferensrum. Till rummet är ett kök anslutet. Rummet, se figur 24, är möblerat med bord, stolar och klädhängare och har plats för ungefär 140 personer. Köket ses som den mest troliga tändkällan. Då kontorsdelen är brandtekniskt avskild från A-hallen anses risken inte vara särskilt stor att en eventuell brand sprider sig.

Sannolikhet: 2

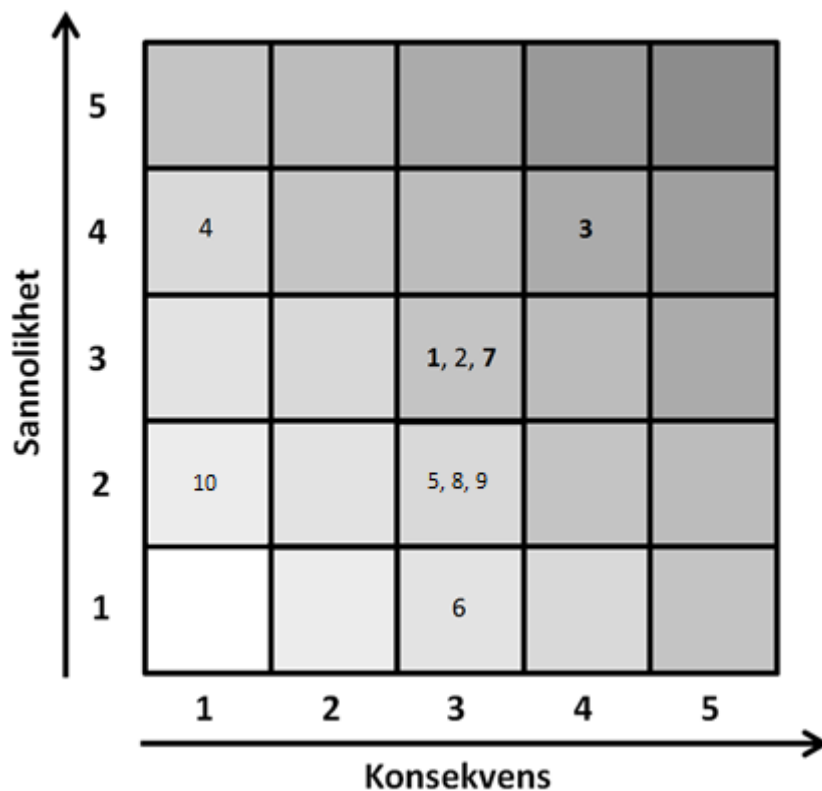
Konsekvens: 1



Figur 24. Konferensrummet på kontorsavdelningen

6.3 Riskmatris

Brandscenarierna i grovanalysen presenteras i en riskmatris, se figur 25. Ju mörkare området i riskmatrisen är desto större anses risken vara.



Figur 25. Riskmatris över grovanalysen

6.4 Val av scenarier

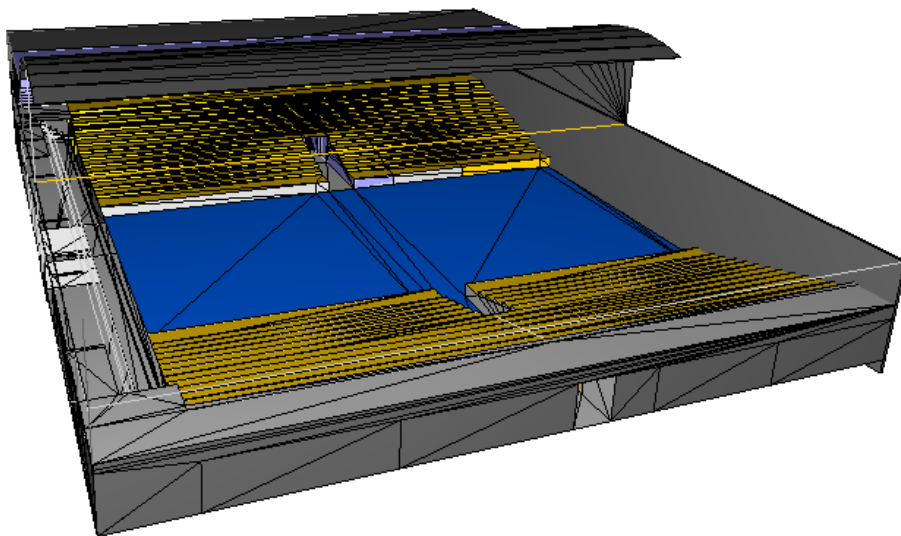
De scenarier som kommer analyseras djupare är scenario 1, 3 och 7. Riskmatrisen visar tydligt att scenario 3 är det som anses vara störst risk för personsäkerheten i Idrottens hus. Scenario 1 väljs då det finns mycket brännbart material i förrådet under norra läktaren och avsaknaden av detektionssystem gör att branden kan fortgå en längre tid utan att upptäckas vilket medför att den kan uppnå en hög effekt. Dessutom är det den norra läktaren som brukar användas vid mindre evenemang, såsom innebandymatcher, vilket gör att detta scenario blir intressant att undersöka vidare. Scenariot anses även vara representativt för scenario 2 då förråden har liknande geometri, placering och innehåll. Scenario 7 väljs då de andra två scenarierna med samma bedömda risk är snarlika varandra.

7 Scenario 1 – Brand i förråd under norra läktaren

Nedan analyseras scenario 1.

7.1 Beskrivning av scenario

För scenario 1 används ett utrymningsscenario där A-hallen förväntas vara fullsatt, exempelvis en konsert. Det totala antalet är 4200 varav 1500 står på golvet. Under läktaren förvaras gymnastikredskap och bordtennisbord. Det mesta bedöms bestå av trä. I förrådet finns inga detektorer vilket gör att branden kan växa till sig utan att upptäckas. Då det inte finns några direkta tändkällor är det mest troligt att branden är anlagd. Under hela brandförloppet förväntas dörren vara öppen eftersom de saknar automatisk dörrstängning. En kontroll visar att branden har tillgång till syre som ger en maxeffekt på drygt 4 MW, se bilaga D. Denna kontroll baserades på att en av dörrarna till förrådet stod öppen. Då förrådet har begränsad volym finns det risk att rök sprider sig ut i A-hallen och blockerar en av nödutgångarna. Risken för att branden sprider sig till intilliggande utrymmen anses liten på grund av den begränsade mängden brännbart material och därför görs inga beräkningar för detta. Figur 26 visar modellen av A-hallen som använts vid simuleringarna i FDS.

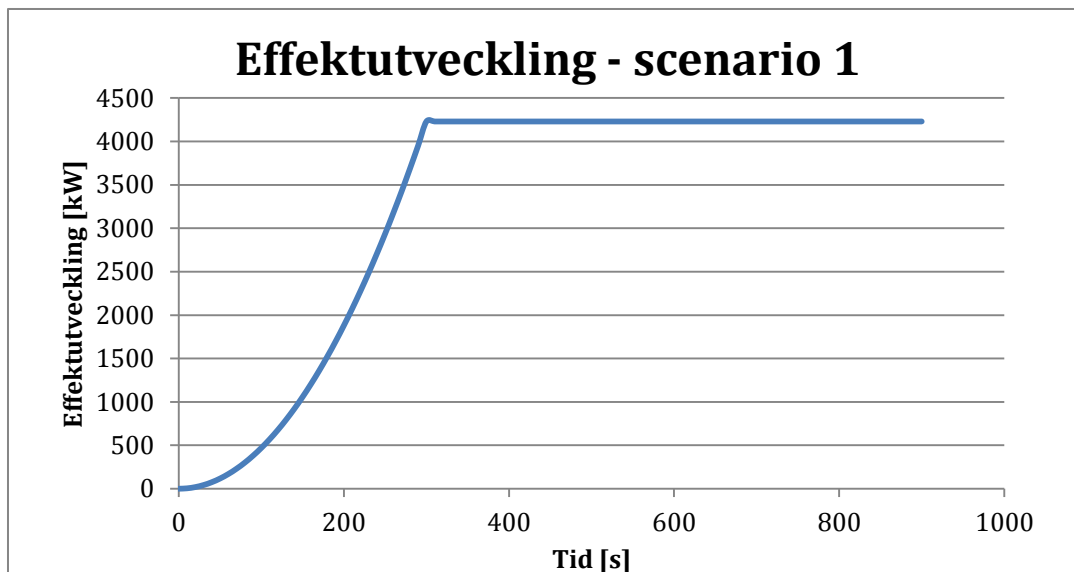


Figur 26. Modellen av A-hallen som användes i FDS

Scenariot har tre utrymningsvägar som kan komma att påverkas av kritiska förhållanden. Dessa är nödutgången i gången utanför förrådet där publik från golvet ska utrymma samt de två nödutgångarna ovanför läktaren på den norra sidan av A-hallen där publiken på läktaren ska utrymma.

7.2 Effektkurva

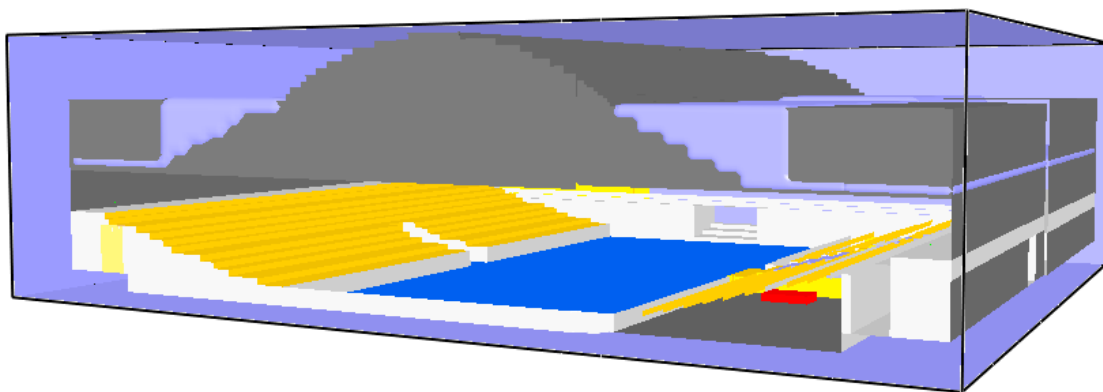
I figur 27 presenteras effektkurvan för scenariot och ett detaljerat tillvägagångssätt hur den tagits fram redovisas i bilaga D.



Figur 27. Effektkurva för scenario 1 - brand i förråd under norra läktaren

7.3 FDS

För simulering i FDS av Scenario 1 har koden för geometrin genererats i Pyrosim. I figur 28 visas modellen för A-hallen samt brandens placering som den röda lådan.



Figur 28. Brandens placering i förrådet under läktaren i A-hallen

Taket i A-hallen efterliknas i FDS-simuleringarna med hjälp av trappformade rätblock då programmet inte kan hantera cirkulära former. Rätblocken kompletteras med en programfunktion som minskar den påverkan som rätblockens kanter tillför olika fluider (Floyd, et al., 2010). Därför antas brandröken i FDS-simuleringen transportera sig på ett liknande sätt som den skulle gjort om riktig brandrök spred sig längs hallens tak.

A-hallens volym delas in i flera mesher där cellstorleken varierar mellan 10 och 40 centimeter beroende av närhet till branden och viktiga mätpunkter. Cellstorleken beräknas med hjälp av ekvation B.1. som förklaras i bilaga B. Vid simulering i FDS används den effektutveckling som redovisas i figur 27. Dock begränsas effektutvecklingen till följd av syrebrist i förrådet vilket medför att effektutveckling fluktuerar. Vid simuleringen används soot-yield 0,015 och CO-yield 0,005 eftersom det är mestadels trä som förbränns (Craig, et al., 2002) . Outputdata och inputfilen redovisas i bilaga F respektive H.

7.4 Tid till utrymning

Detektorerna i taket i hallen är avstängda då pyroteknik används. Detta medför att branden måste upptäckas av brandvakt eller av publiken och utrymningslarmet aktiveras manuellt om inte röken sprider sig och aktiverar rökdetektorn som sitter i korridoren. I bilaga E redovisas utförligt hur varseblivnings- och förberedelsetid tagits fram.

7.4.1 Varseblivningstid

Varseblivningstiden sätts till 140 sekunder vilket är den tid det tar för detektorn i korridoren att aktivera.

7.4.2 Förberedelsetid

Förberedelsetiden bedöms till 30 sekunder.

7.5 Simulex

Utrymningssimuleringen grundar sig på att det är fullsatt både på läktarna och på golvet. Populationen i simuleringarna väljs som "office staff". Detta innebär en fördelning mellan 40 % män, 30 % kvinnor och 30 % medelpersoner. Medelpersoner är ett medelvärde mellan män och kvinnor (Frantzich, 98). Då alla utgångar är tillgängliga blir förflyttningstiden 200 sekunder för golvet och 380 sekunder för läktarna. Det tar ytterligare 20 sekunder att förflytta sig genom museet och hela byggnaden är därför utrymd efter 400 sekunder.

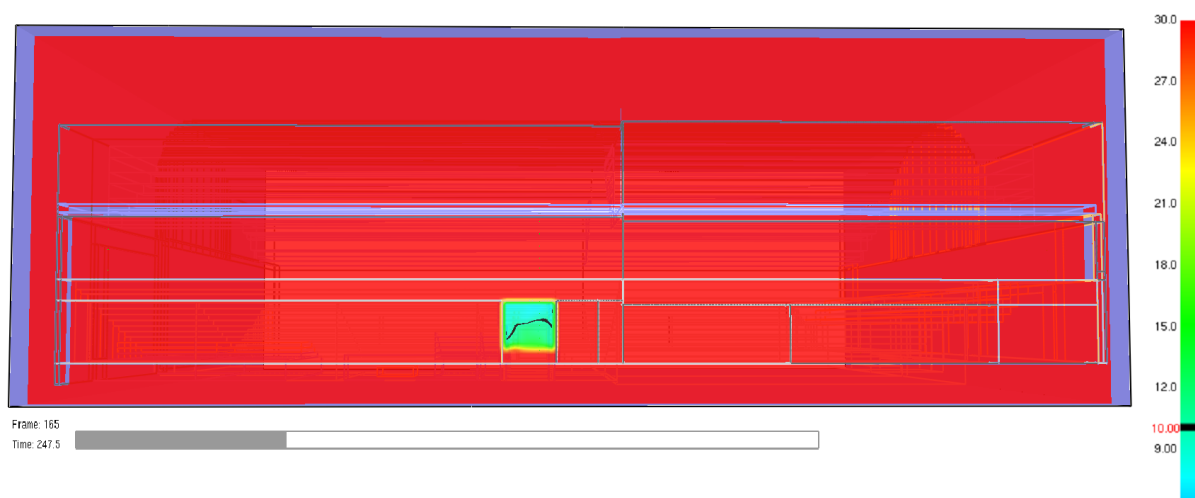
7.6 Resultat

Simuleringarna i FDS visar att kritiska förhållanden med avseende på temperatur, strålning och koldioxidhalt uppnås vid nödutgången utanför förrådet efter ungefär 580-600 sekunder. Kritiska förhållanden i form av begränsad siktbarhet uppnås dock redan efter 250 sekunder. Kritiska förhållanden uppnås ovanför läktaren endast i form av begränsad siktbarhet i gången. Tabell 2 visar tiden till de kritiska kriterierna.

Tabell 2. Tid till kritiska förhållanden i scenario 1

	Tid till kritiska förhållanden [s]				
	Siktbarhet	Temperatur	Strålning	CO ₂	CO
Gång ovanför läktare	600	-	-	-	-
Gång utanför förråd	250	600	580	600	-

Figur 29 visar sikten vid 250 sekunder i gången under norra läktaren.



Figur 29. Sikten i antal meter vid nödutgången utanför förrådet

För detta scenario blir den totala utrymningstiden från golvet när samtliga utgångar används 370 sekunder. Om ingen utrymmer genom utgången vid förrådet tar golvet istället omkring 440 sekunder att tömma. Att tömma läktaren ovanför förrådet tar 550 sekunder. En sammanställning av resultatet redovisas i tabell 3. I bilaga F redovisas FDS-resultatet mer i detalj.

Tabell 3. Utrymningstid och tid till kritiska förhållanden

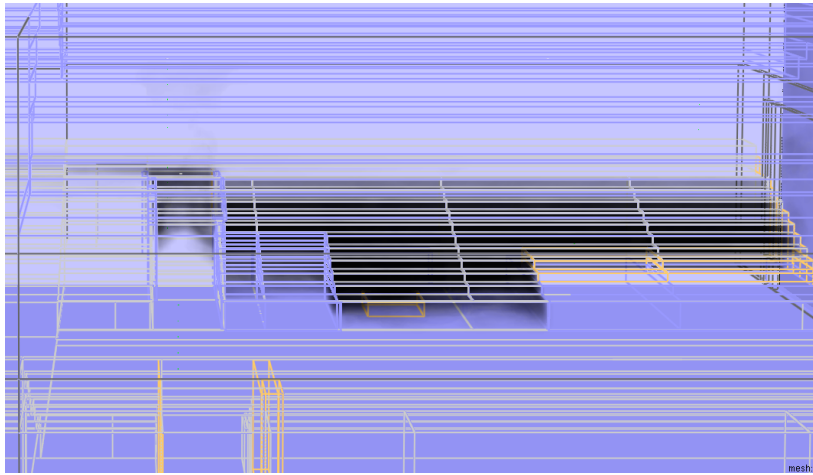
	Total utrymningstid [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]	Säker utrymning
Läktaren	550	600	Ja
Golvet	370	250	Nej

7.7 Känslighetsanalys

Ett antal parametrar undersöks för att jämföra med och se hur ändringar påverkar resultatet. Analysen omfattar följande punkter:

- Detektor som felfungerar eller är avstängd
- Jämförelse mellan simulerad förflyttningstid och handberäknad

Om detektorn som sitter i korridoren bakom förrådet inte fungerar eller är avstängd måste manuell detektion ske. Denna tid bedöms till ungefär 200 sekunder då röken sprider sig upp på läktaren. Förberedelsetiden bedöms vara 30 sekunder. Detta ökar utrymningstiden till 430 sekunder för golvet och 610 sekunder för läktaren. Den totala utrymningstiden överskrider då tiden till kritiska förhållanden för både läktaren och golvet varför säker utrymning inte kan ske. Figur 30 visar hur branden sprider sig upp på läktaren efter 200 sekunder.



Figur 30. Rökspridningen ut ur förrådet upp på läktaren efter 200 sekunder

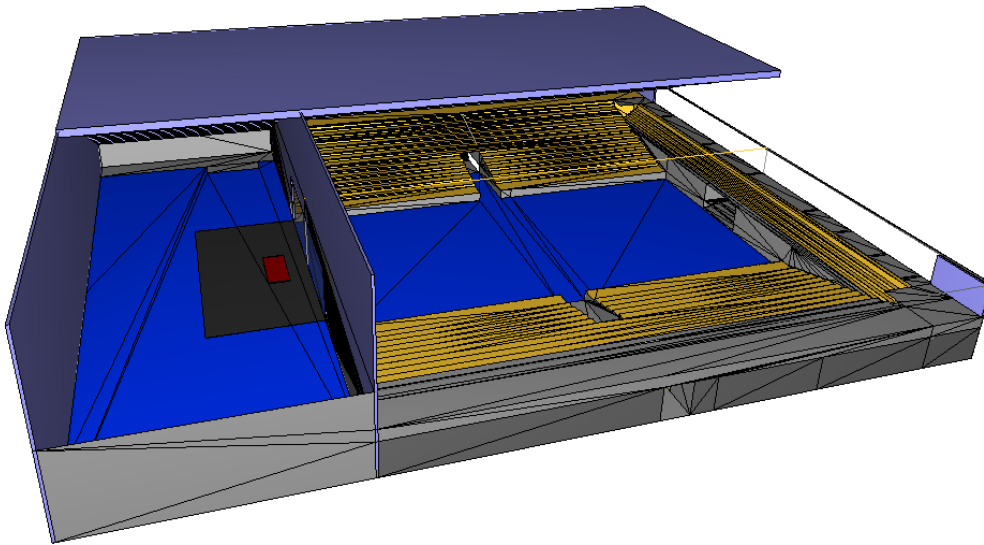
De handberäknade tiderna för utrymning som redovisas i bilaga G är för golvet 420 sekunder och för läktarsektion C-D 550 sekunder. Tidsökningen om handberäkningar används kommer inte påverka utrymnings säkerheten då tiden understiger tiden till kritiska förhållanden.

8 Scenario 3 – Brand på scen

Nedan analyseras scenario 3.

8.1 Beskrivning av scenario

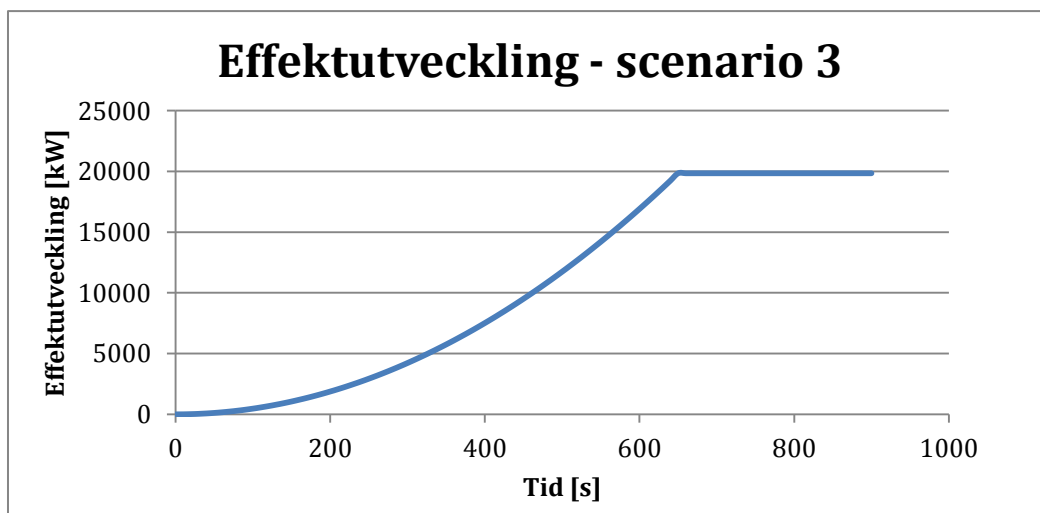
Vid konserter används ibland pyroteknik vilket är en potentiell tändkälla. Ofta vid konserter används en hängande scendekor som kan fatta eld. Vid framtagandet av effektkurvan antogs en del av scenen användas till rekvisita, högtalare och dylikt. Under konserter med pyroteknik är detektorer och brandlarm urkopplat så detektion och larmning måste ske manuellt. Figur 31 visar modellen av A- och B-hallen som använts vid simuleringarna i FDS.



Figur 31. Modellen av A- och B-hall som använts vid simuleringarna i FDS. Branden är rödmarkerad

8.2 Effektkurva

Effektkurvan antas ha en snabb tillväxt och presenteras i figur 32. Detaljer kring framtagandet av kurvan redovisas i bilaga D.



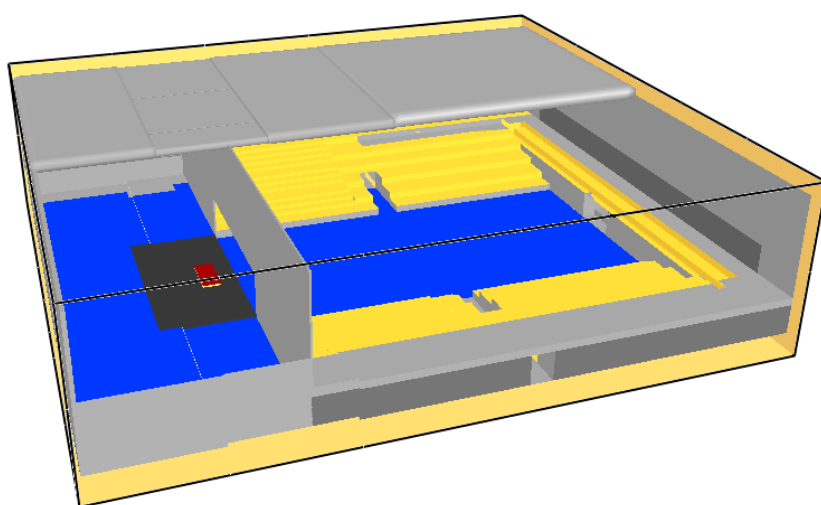
Figur 32. Effektkurvan för scenario 3 - brand på scen

8.3 FDS

För simulering i FDS av Scenario 3 har koden för A- och B-hallens geometri genererats i Pyrosim. I figur 33 visas modellen för A- och B-hallen samt brandens placering.

Taken i A- och B-hallen efterliknas i FDS-simuleringarna med hjälp av trappformade rätblock då programmet inte kan hantera cirkulära former.

A-hallens volym delas in i flera mesher där storleken på cellerna varierar mellan 20 och 80 centimeter beroende av närhet till branden och viktiga mätpunkter. Cellstorleken beräknas med hjälp av ekvation B.1. som förklaras i bilaga B. Vid simuleringen används soot-yield 0,015 och CO-yield 0,005 eftersom det är mestadels trä som förbränns (Craig, et al., 2002). Outputdata och inputfilen redovisas i bilaga F respektive H.



Figur 33. Brandens placering i B-hallen

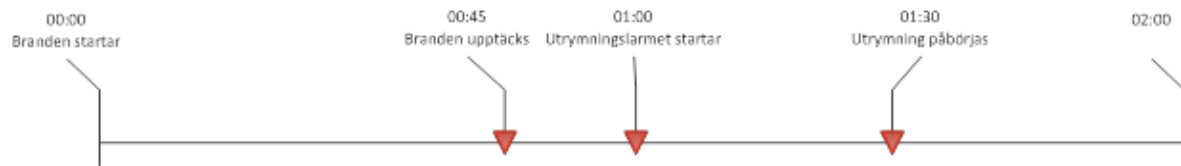
8.4 Tid till utrymning

I fallet med brand på scen antas A-hallen vara fullsatt likt scenario 1 och detektorerna i taket antas vara avstängda då pyroteknik används. Detta medför att branden måste upptäckas av brandvakt eller publiken och utrymningslarmet måste aktiveras manuellt.

Då detektionen inte sker automatiskt görs en bedömning för tiderna i det tidiga händelseförloppet. Jämförelse kan göras med nattklubbsbranden på The station i New York där branden upptäckts efter 11 sekunder och ordentlig utrymning sker efter 30 sekunder (Bryner, et al., 2005).

I det fallet var lokalen betydligt mindre och publiken befann sig närmare scenen. Branden anses vara synlig för både publik och brandvakter när den når en effekt på omkring 100 kW. Detta sätts som tiden till upptäckt. Uppskattningsvis kan sedan larmet utlösas manuellt efter ytterligare 15 sekunder.

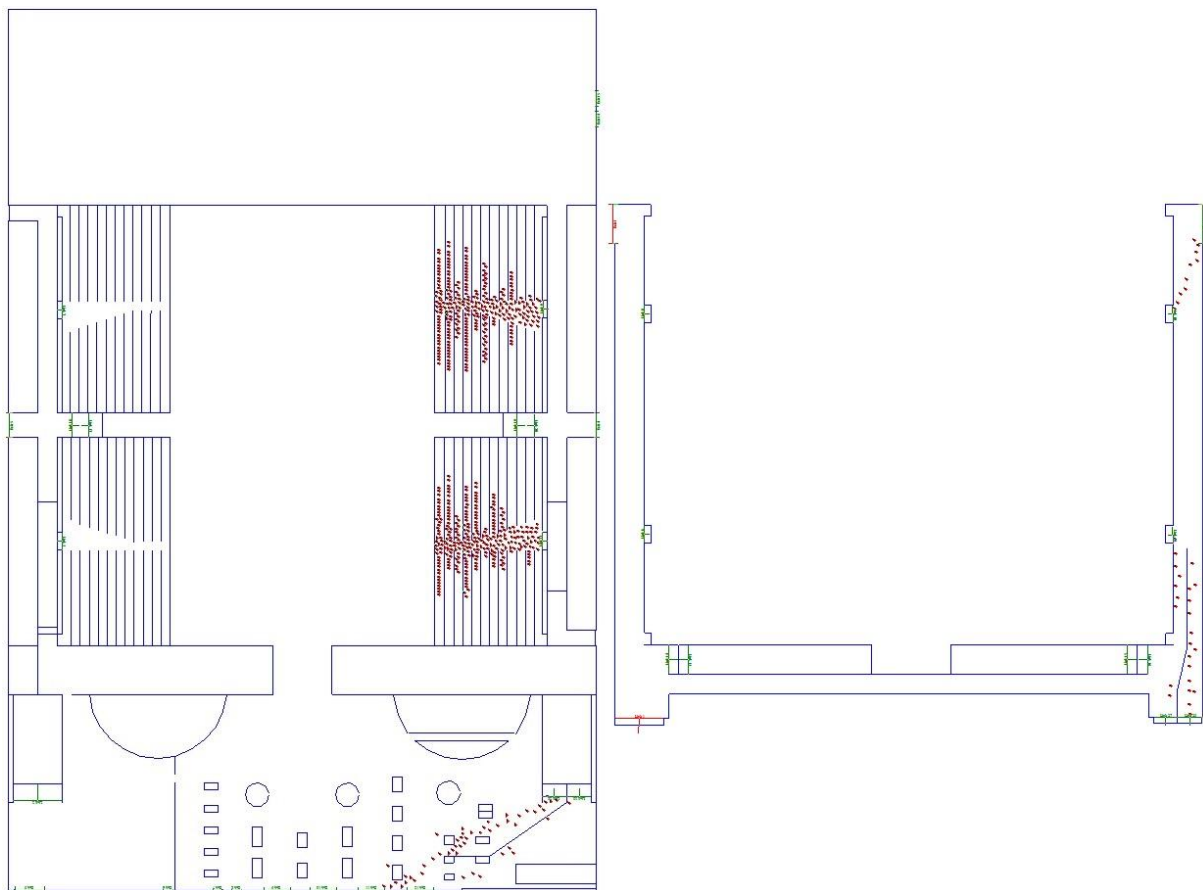
Då större delen av publiken vid det här laget troligen ser branden och att larmet består av ett talat meddelande görs antagandet att utrymningen påbörjas efter ungefär 1 minut och 30 sekunder efter att branden startat. Förloppet illustreras av tidsaxeln i figur 34.



Figur 34. Tidsaxel som visar tid till att utrymning påbörjas

8.5 Simulex

Den simulerade utrymningstiden bygger på att hallen är fullsatt och att alla nödutgångar är tillgängliga. Populationen i simuleringarna väljs som "office staff". Detta innebär en fördelning mellan 40 % män, 30 % kvinnor och 30 % medelpersoner. Medelpersoner är ett medelvärde mellan män och kvinnor (Frantzich, 98). Likt tidigare scenario är förflyttningstiden från golvet 200 sekunder medan den är 400 sekunder för hela byggnaden. Flaskhalsen för utrymningen är trapporna på läktaren, se figur 35.



Figur 35. Bild över köbildning vid utrymning från läktaren.

8.6 Resultat

Förutom en begränsad siktbarhet uppnås inga kritiska förhållanden för personerna som utrymmer byggnaden. Efter nästan 400 sekunder uppnås kritisk temperatur i B-hallen men då det inte förväntas befinna sig några personer där vid den tiden analyseras inte detta vidare. Strålningsberäkningar visar att ingen kritisk strålning uppnås från brandgaslagret, dessa beräkningar redovisas i bilaga G. Inte heller strålning från flaman uppnår kritiska nivåer. Tabell 4 visar en sammanställning av tiden till kritiska förhållanden.

Tabell 4. Tid till kritiska förhållanden för scenario 3 när branden är placerad i B-hallen.

	Tid till kritiska förhållanden [s]				
	Siktbarhet	Temperatur	Strålning	CO ₂	CO
Gång ovanför läktare	550	-	-	-	-
Gång utanför förråd	870	-	-	-	-
A-hall mitt på golv	900	-	-	-	-

Tabell 5 visar det sammanfattade resultatet för scenariot.

Tabell 5. Utrymningstid och tid till kritiska förhållanden

	Total utrymningstid [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]	Säker utrymning
Läktaren	490	550	Ja
Golvet	290	870	Ja

8.7 Känslighetsanalys

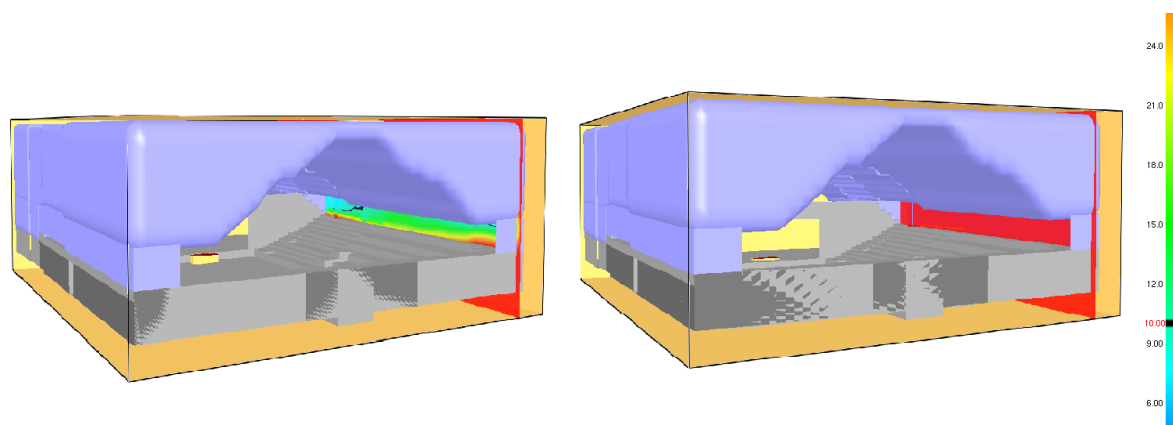
Ett antal parametrar undersöks för att jämföra med och se hur ändringar påverkar resultatet. Analysen omfattar följande punkter:

- Jämförelse av simulerad förflyttningstid mot handberäknad
- Scenen placeras i A-hallen istället för i B-hallen
- Högre soot-yield och CO-yield på grund av mer plastmaterial

Resultatet av handberäkningarna visar att golvutrymningen tar ca 60 sekunder längre tid vilket inte påverkar resultatet då inga kritiska förhållanden hinner uppstå under denna tid. Läktarna tar något längre tid än en minut extra att tömma vilket innebär att de kan utsättas för kritiska förhållanden. Handberäkningarna redovisas i bilaga G.

Då scenen placeras i A-hallen uppnås kritiska förhållanden i form av begränsad sikt. I utrymningsvägarna över läktarna understiger sikten 10 meter efter cirka 420 sekunder.

Figur 36 visar en jämförelse för sikten efter 420 sekunder i passagen över läktaren för placering av branden i A- respektive B-hallen.



Figur 36. Siktjämförelse beroende på brandens placering. Brand i A-hall till vänster och brand i B-hall till höger

Då branden befinner sig i B-hallen fungerar hallens volym som en buffert innan rök börjar sprida sig till A-hallen. Det medför att säker utrymning kan ske enligt simuleringarna i FDS. Tabell 6 visar en sammanställning av tiden till kritiska förhållanden vid känslighetsanalysen.

Tabell 6. Tid till kritiska förhållanden för känslighetsanalys i scenario 3

		Tid till kritiska förhållanden [s]				
Placering		Siktbarhet	Temperatur	Strålning	CO ₂	CO
A-hall	Gång ovanför läktare	420	600	-	-	-
	Gång utanför förråd	870	-	-	-	-
	A-hall mitt på golv	900	-	650	-	-
B-hall (plast)	Gång ovanför läktare	530	-	-	-	-
	Gång utanför förråd	810	-	-	-	-
	A-hall mitt på golv	850	-	-	-	-

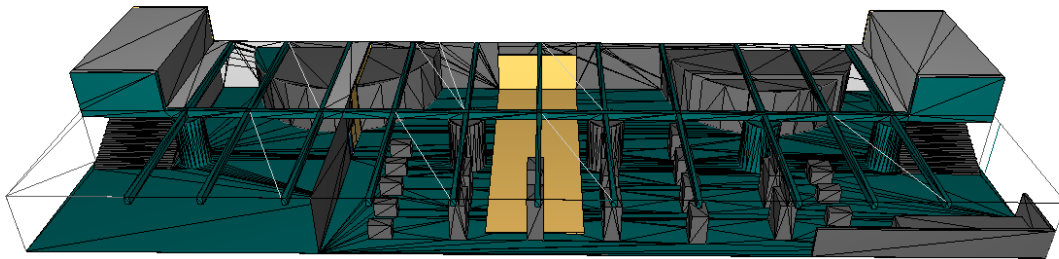
Då sammansättningen av material på scen i B-hallen förändras så att även en viss mängd plastmaterial brinner förändras både soot-yielden och CO-yielden. Mängden plast antogs vara en tiondel av allt material på scen och bestå av exempelvis kablar och musikutrustning. Därefter viktades både soot- och CO-yielden för att ge röken rätt proportioner. Båda dessa värden ökade gentemot simuleringen då ingen plast antogs finnas på scenen. Resultatet av simuleringarna visar en liten skillnad jämfört med fallet då ingen plast antas finnas på scen. De uppnådda nivåerna är dock fortfarande lägre än de kritiska.

9 Scenario 7 – Brand i museet

Nedan analyseras scenario 7.

9.1 Beskrivning av scenario

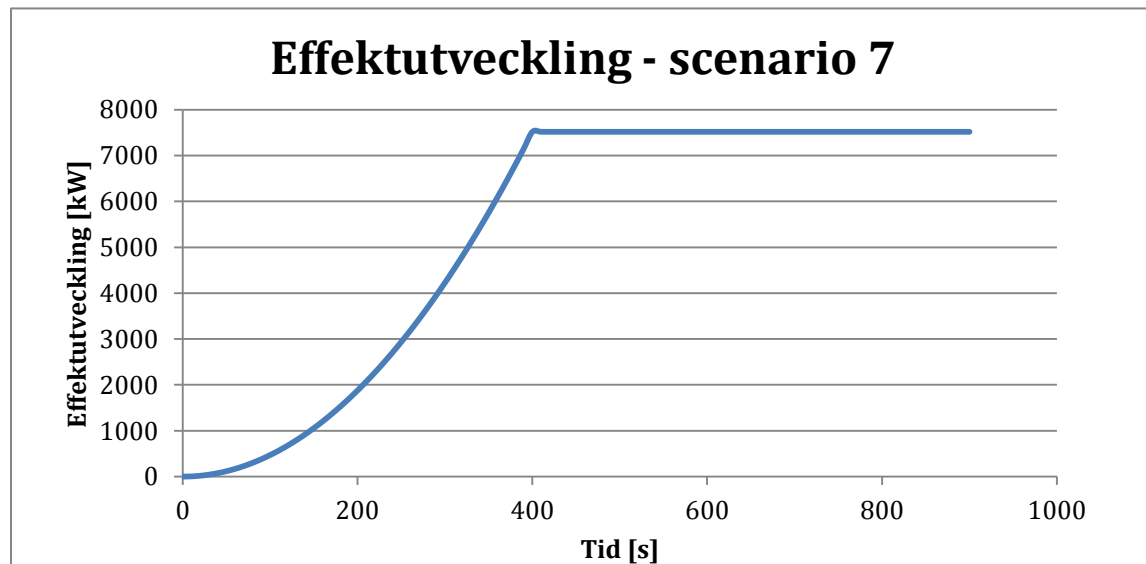
Under trappan till höger i museet finns mycket brännbart material i form av kartonger, bänkar och skåp. Museet är tillsammans med foajén en egen brandcell. Branden antas vara anlagd och börja i kartongerna som står på lastpallen under trappan för att sedan spridas till intilliggande föremål. I scenariot antas 50 barn och enstaka vuxna i form av en skolklass med lärare besöka museet och därför vara i behov av utrymning vid branden. Den modell som använts i FDS visas i figur 37.



Figur 37. Modellen av idrottsmuseet som använts i FDS

9.2 Effektkurva

I figur 38 visar effektkurvan för scenario 7. I bilaga D redovisas hur kurvan tagits fram.



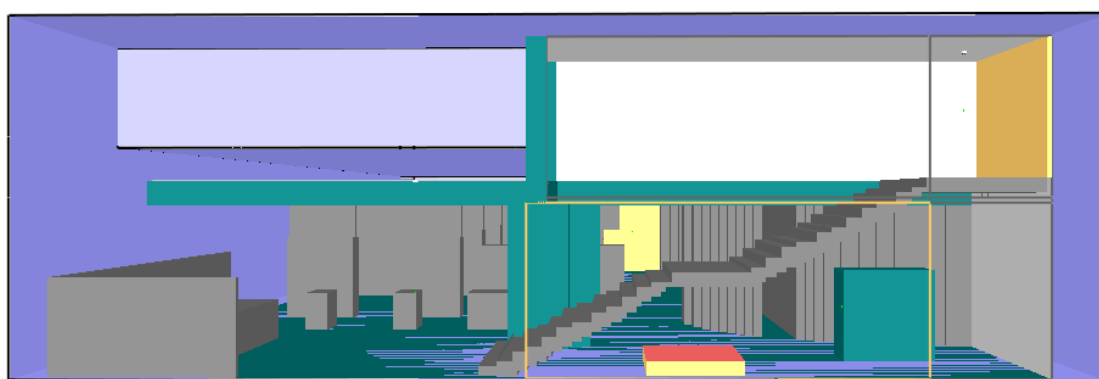
Figur 38. Effektkurvan för scenario 7 - brand i museet

9.3 FDS

För simulering av scenario 7 i FDS har koden för foajéns och idrottsmuseets geometri genererats i Pyrosim. I figur 39 visas modellen för museet samt brandens placering.

Foajéns och idrottsmuseets volym delas in i flera meshar. Meshernas cellstorlek varierar mellan 10 och 40 centimeter beroende av närhet till branden och viktiga mätpunkter. Cellstorleken beräknas med hjälp av ekvation B.1 som förklaras i bilaga B.

Vid simulering i FDS används den ovan redovisade effektutvecklingen. Vid känslighetsanalys har även en simulering med mindre cellstorlek gjorts för att undersöka nodkonvergens, se bilaga F. Vid simuleringen används soot-yield 0,015 och CO-yield 0,005 eftersom det är mestadels trä som förbränns (Craig, et al., 2002). Outputdata och inputfilen redovisas i bilaga F respektive H.



Figur 39. Brandens placering i idrottsmuseet

9.4 Tid till utrymning

För scenario 7 undersöks utrymningsmöjligheterna i museet i händelse av brand. Personerna som utrymmer antas vara två skolklasser med lärare. Detta val av population anses vara konservativt då barn rör sig långsammare än vuxna och inte bedömer risker på samma sätt.

9.4.1 Varseblivningstid

Varseblivningstiden sätts till den tid det tar för de närmst belägna rökdetektorerna i museet att aktivera. Den första detektorn som sitter ovanför trappan aktiverar efter 50 sekunder. Den andra som sitter i taket nedanför trappan aktiverar efter 80 sekunder, se bilaga E. I de flesta fall kommer larmet att gå efter 50 sekunder. Då det finns en risk att en detektor felfungerar genomförs en känslighetsanalys för att undersöka konsekvenserna av detta.

9.4.2 Förberedelsetid

Förberedelsetiden sätts till 60 sekunder enligt resonemanget i bilaga E.

9.5 Simulex

Vid utrymningssimuleringen av scenariot placeras 50 personer slumpmässigt ut i museet. I Simulex väljs fördelningen "all children" vilket innebär att endast barns förflyttningshastighet används. Simelex ger en förflyttningstid på 30 sekunder.

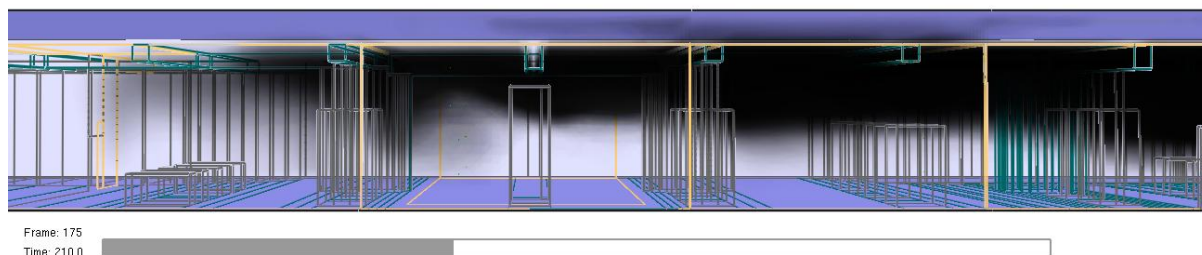
9.6 Resultat

Resultaten för tid till kritiska nivåer visas i tabell 7. I trappan ovanför branden uppnås kritiska förhållanden efter ca 180 sekunder, dock bedöms detta inte som relevant då inga personer förväntas uppehålla sig där.

Tabell 7. Tid till kritiska förhållanden för scenario 7

Tid till kritiska förhållanden [s]				
Siktbarhet	Temperatur	Strålning	CO ₂	CO
210	-	-	-	-

Vid viddörren uppstår kritiska förhållanden med avseende på siktbarhet efter 210 sekunder. Figur 40 visar brandgaslagrets höjd efter denna tid. Därefter sjunker brandgaslagret snabbt och lokalen blir nästan helt rökfylld.



Figur 40. Brandgaslagrets höjd efter 210 sekunder

Kolmonoxidhalten överstiger inte den kritiska koncentrationen vid någon av mätpunkterna. En kontroll som visar att brandgaslagrets strålning inte påverkar utrymmande personer redovisas i bilaga G.

En sammanställning av resultatet redovisas i tabell 8. I bilaga F redovisas FDS-resultatet mer i detalj.

Tabell 8. Utrymningstid och tid till kritiska förhållanden

Total utrymningstid [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]	Säker utrymning
140	210	Ja

9.7 Känslighetsanalys

Ett antal parametrar undersöks för att jämföra med och se hur ändringar påverkar resultatet. Analysen omfattar följande punkter:

- Detektor som felfungerar
- Jämförelse av simulerad förflyttningstid mot handberäknad

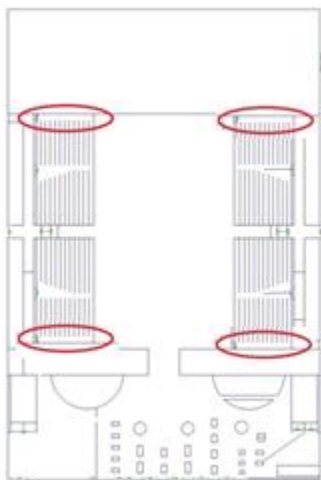
Om den första detektorn inte fungerar kommer varseblivningstiden stiga från 50 sekunder till 80 sekunder. Den totala utrymningstiden ökar då till 170 sekunder vilket inte utgör något hinder för säker utrymning.

För att jämföra resultatet från Simulex görs handberäkningar. Med handberäkningarna blir den totala utrymningstiden 155 sekunder. Detta visar att Simulex ger en något kortare förflyttningstid än handberäkningar. Om man istället för Simulex använder handberäkningar kommer det inte påverka utfallet i scenarioanalysen. Handberäkningarna redovisas i bilaga G.

10 Åtgärder

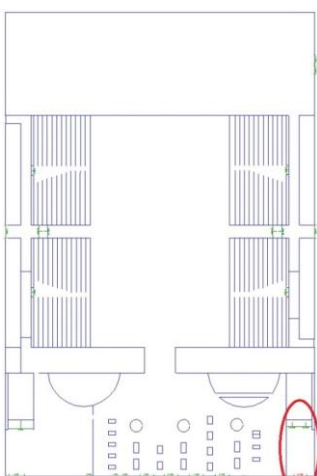
Det finns många möjliga åtgärder som kan utföras för att öka personsäkerheten i byggnaden. I detta avsnitt tas ett antal möjliga åtgärder fram och utvärderas för att sedan utmyнна i ett åtgärdsförslag. Åtgärderna som undersöks listas nedan utan inbördes rangordning.

- A. Då flaskhalsen vid utrymning av en fullsatt arena visat sig vara tömning av läktarna föreslås att läktarsektionerna minskas så att personflödet upp från läktarna kan bli smidigare. Det som föreslås i rapporten är att ta bort tre stolar längst ut i kanten på varje stolsrad på läktarna för att öppna upp en ny trappa. Figur 41 visar hur förslaget skulle kunna se ut.



Figur 41. Förslag till åtgärd på läktaren

- B. En möjlig åtgärd som föreslogs under objektsbesöket var att installera en ny dörr rakt fram sett från trappan i idrottsmuseet som ska fungera som utrymningsväg. På så vis ska inte personerna behöva utrymma genom själva museidelen. Dessutom blir den nya utgången tydligare. Figur 42 visar ett exempel på utformning.



Figur 42. Exempel på ny nödutgång i museet

- C. Under läktarna som löper längs A-hallens långsidor finns förråd som står öppna under dagtid. I Scenario 1 simuleras en brand i ett av dessa förråd vilket leder till att rök sprider sig till A-hallen och intilliggande korridorer. För att minska risken för detta och säkerställa en snabbare detektion föreslås att rökdetektorer installeras i alla förråden.
- D. Då förråden under läktarna ingår i en avskiljande konstruktion ska dessa utformas så att brandcellsgränser upprätthålls. Idag står dörrarna öppna under dagtid för att underlätta den dagliga verksamheten. Genom att installera automatiska dörrstängare som aktiverar samtidigt som brandlarmet.
- E. Känslighetsanalysen av branden på scen visade att det är stor skillnad om branden är placerad i A- eller B-hallen med avseende på siktbarheten vid nödutgångarna i A-hallen. Förslaget är att scenen alltid placeras i B-hallen för att på så vis kunna rökfylla den innan spridning sker till A-hallen.
- F. För att komma tillrätta med siktproblemet är ett annat förslag att installera brandgasluckor i taket av A-hallen eller B-hallen för att på så sätt kunna vädra ut brandgaserna.
- G. Vid besöket observerades vissa brister som enkelt skulle kunna åtgärdas. Förslaget blir att se över skyltningen så att inga skyltar saknas vid utrymningsvägar och att dessa är rätt placerade och tydliga. Förslaget innefattar även att se över alla dörrar i utrymningsvägarna då det finns dörrar som kärvar eller är väldigt tungöppnade. Det är även bra att se till att alla dörrar är täta. Detta kan uppfyllas genom ett korrekt systematiskt brandskyddsarbete.
- H. I idrottsmuseet föreslås att montrar och lös inredning arrangeras så att samtliga utrymningsvägar blir lätt synliga och tillgängliga då utrymning sker från A-hallen genom vikedörrarna.

10.1 Validering

För att undersöka förslag A, hur läktarsektionerna påverkar utrymningstiden från läktarna simuleras detta i Simulex. Den nya layouten framgår i figur 41 i det tidigare avsnittet. I övrigt används samma förutsättningar som i grundfallet. En jämförelse av förflyttningstiderna visas i tabell 9.

Tabell 9. Jämförelse av förflyttningstid med och utan åtgärd

Uppställning	Förflyttningstid [s]
Nuvarande utformning	400
Med åtgärd	330

Resultatet visar att genom att bara skapa en extra utgång längst ut på läktarna kan den totala utrymningstiden minskas med omkring 70 sekunder vilket är mycket under ett brandförlopp. Om den nya tiden jämförs med tiden till kritiska förhållanden i scenario 3 med scenen placerad i A-hallen, kan det konstateras att säkerhetsmarginalen blir noll

vilket innebär att en säker utrymning inte kan garanteras. Även påverkan av den nya utgången, förslag B, undersöks genom att simulera i Simulex med den layout som visas i figur 42. Resultatet framgår av tabell 10.

Tabell 10. Jämförelse av förflyttningstid med och utan åtgärd

Uppställning	Förflyttningstid [s]
Nuvarande utformning	400
Med åtgärd	390

Att döma av simuleringsresultatet har inte den planerade nya utgången någon större påverkan på den totala utrymningstiden. Alltså motiverar inte utrymningstiden att en ny dörr installeras i idrottsmuseet. Dock kan det finnas andra skäl till att det vill installeras en ny dörr som inte behandlas i denna rapport.

För att undersöka hur en rökdetektor i förrådet påverkar detektionstiden, förslag C, simulerades förrådsbranden under läktaren om med en detektor placerad i taket inne i förrådet. Tabell 11 visar en jämförelse mellan de tidigare simulerade resultaten och de med den nya detektorn.

Tabell 11. Jämförelse av detektionstid med och utan åtgärd

Uppställning	Detektionstid [s]
Nuvarande utformning	140
Med åtgärd	70

Simuleringarna visar att installation av en ny detektor kan minska detektionstiden markant och spara viktig tid i det tidiga brand- och utrymningsförloppet. Det löser inte problemet helt för de som utrymmer genom gången direkt utanför förrådet men det ger mer tid att hitta en annan utrymningsväg. Om detektorerna kompletteras med automatiska dörrstängare minskas problemet med rökspridning ytterligare.

För att visa hur stora brandgasluckor, förslag F, som krävs för att hålla brandgaslagret på en nivå ovanför utrymningsvägarna på läktarna har handberäkningar gjorts, se bilaga H. En beräkning har gjorts för en brand i A-hallen samt en för B-hallen. Båda uträkningar har gjorts med den maximala effekten från den dimensionerade branden, 20 MW, för att vara konservativa. Resultatet visas i tabell 12.

Tabell 12. Krävd area på brandgasventilation för A-hall och B-hall

Hall	Area brandgasventilation [m²]
A	22
B	10

Huruvida det är möjligt att installera luckor på grund av takets konstruktion och utformning är oklart och bör utvärderas av sakkunniga i ämnet.

Förslag D behöver ingen validering då det är självklart att spridning av brandgaser begränsas kraftigt om dörren till förrådet stängs vid aktivering av larm. Åtgärdsförslag E valideras i känslighetsanalysen i avsnitt 8.7. Förslag G och H valideras inte då de är förslag som baseras på regler och krav gällande det systematiska brandskyddsarbetet.

10.2 Förslag på åtgärder

Nedan listas de rekommenderade åtgärdsförslagen.

Åtgärder som skall vidtas

1. Se till att samtliga nödutgångar är tydligt skyltade
2. Ta bort material som blockerar nödutgångar i museet
3. Se över så att samtliga dörrar som används vid utrymning är lättöppnade
4. Installera automatiska dörrstängare till förråden under läktarna

Åtgärder som bör vidtas

5. Installera rökdetektorer i förråden
6. Se över läktarnas utformning
7. Placera alltid scenen i B-hallen vid konserter

Av de framtagna förslagen är de flesta relativt enkla och billiga. Gällande läktarnas utformning rekommenderas att den ses över. Vad som ska göras bör utredas med avseende på hur läktarna används. Faktorer som kostnad, kapacitet och säkerhet bör övervägas i detta avseende.

Möjligheten att installera brandgasluckor bör som tidigare nämnt utredas av någon som är sakkunnig. Om det är möjligt så kan det vara en effektiv åtgärd för att förbättra säkerheten för besökare vid större arrangemang.

11 Diskussion

Resultatet av den brandtekniska riskvärderingen visar att Idrottens hus i Helsingborg har en relativt god personsäkerhet på delen av anläggningen som utvärderingen avgränsats till. Det finns dock fortfarande utrymme för förbättringar. I efterföljande diskussion avhandlas diverse osäkerheter, felkällor och giltighet för analysen.

De avgränsningar som gjorts medför att analysen inte inkluderar hela det aktuella objektet. Idrottens hus är en multianläggning som är anpassad för ett stort antal sporter där ett flertal inryms i källaren och andra delar av byggnaden som inte utvärderas i rapporten. En annan begränsning av analysen är att ingen hänsyn har tagits till ventilationssystemets påverkan vid de olika brandscenarierna. Detta då det varit mycket svårt att få fram någon information eller ritningar över det aktuella systemet. Ventilationen är ett system som regleras manuellt och därmed slås från av anläggningsvärden vid händelse av brand. Då den avgränsade delen består av få och stora brandceller anses inte ventilationen ha någon större påverkan. Hade utvärderingen även skett av källaren hade troligen ventilationen haft en viktigare roll.

Platsbesöket försvårades av det faktum att Idrottens hus vid tillfället genomgick en större renovering vilket medförde att det blev svårt att identifiera brister. Skyltar var temporärt borttagna och det var svårt att veta vad som endast var tillfälliga brister och vad som var permanenta brister.

11.1 Utrymning

Utrymningsmöjligheterna på Idrottens hus är generellt goda. I de fall då kritiska förhållanden uppnås i en utrymningsväg finns alternativa vägar som kan användas för säker utrymning. Brandcellsindelningen ökar också möjligheten att utrymma säkert. Då museet och A-hallen är skilda brandceller förväntas utrymningen kunna ske säkert. I rapporten har ingen hänsyn tagits till brister i det systematiska brandskyddsarbetet. Med detta menas att skyltar, tröga dörrar med mera är åtgärdade i simuleringar och beräkningar.

För scenario 1 uppfylls inte skyddsmålet före åtgärder vidtas. Om automatisk dörrstängare och detektor installeras kan skyddsmålet uppfyllas. Av dessa åtgärder ses den förstnämnda som den viktigaste då brandgaserna inte kommer spridas ut i A-hallen i samma omfattning. Om dörrarna hålls stängda kommer även syretillgången begränsa brandens effekt. För scenario 3 visar analysen att utrymning kan ske säkert. Dock visar känslighetsanalysen att scenen bör placeras i B-hallen vid evenemang för att klara skyddsmålet. Ett annat alternativ är att utreda möjligheterna till att installera brandgasluckor i A-hallen. Emellertid är kostnaden för en sådan installation betydligt dyrare än att flytta scenen. Rapporten visar även att scenario 7 klarar skyddsmålet och resultatet anses giltigt då känslighetsanalysen indikerade att cellstorleken var tillfredsställande.

Två osäkra parametrar är varseblivnings- och förberedelsetid. Varseblivningstiden är relativt enkel att ta fram när det finns ett aktiverat detektionssystem. Vad som komplicerar det hela är när delar av systemet kopplas från. Då måste varseblivningen ske visuellt av någon som sedan kan larma övriga besökare. Denna tid är därför väldigt svår att uppskatta. Även förberedelsetiden är svår att ta fram då det finns en mängd resultat från olika försök som utförts men som inte alltid säger samma sak. I detta fall anses ändå den satta förberedelsetiden vara rimlig med tanke på att det används ett informativt talat meddelande. Vid utrymning har det genomgående antagits att så fort en person påbörjar utrymningen kommer resterande besökare att göra detsamma. Detta anses vara ett rimligt antagande.

Förenklad dimensionering enligt BBR anger att läktarna inte bör vara utformade som de är i dagsläget. Analysen visar dock att det ändå går att utrymma läktarna säkert. För att skapa en större säkerhetsmarginal kan ändå ett ingrepp vara önskvärt. Eftersom Helsingborg Arena har tagit över många av de större evenemangen, som tidigare arrangerats i Idrotten hus, har Idrottens hus inte längre lika många stora evenemang. Detta medför ett minskat behov av alla sittplatser varför ett antal platser kan offras för att skapa bättre utrymningsmöjligheter.

Det billigaste och enklaste sättet att öka säkerheten är att personal som jobbar vid arrangemang är medvetna om hur de ska agera vid händelse av brand. Vid större evenemang stängs ofta delar av detektionssystemen av vilket ställer krav på att personalen på plats ska upptäcka branden och larma. Framförallt är det av stor vikt att hänvisa personerna i byggnaden till att agera då larmet går samt utrymma genom rätt nödutgång. Det är viktigt att dessa rutiner upprätthålls genom det systematiska brandskyddsarbetet.

11.2 Brandscenarier

Vid sällningen av scenarier efter grovanalysen baserades mycket på kvalitativa resonemang och statistik. Scenariot på scenen var självklart då det rör sig om en kraftig brand och mycket människor i samma lokal. Branden under läktaren täcker in ungefär samma scenario men med skillnaden att branden istället är dold vilket försvårar upptäckt. För att även täcka in delen med foajén och det nya idrottsmuseet valdes branden under trappan. Den stora brandbelastningen i museet bidrog till att konsekvensen bedömdes högre i grovanalysen än vad resultatet visade.

En viktig del av rapporten är framtagandet av effektkurvor. Kurvorna i rapporten är framtagna på tre olika sätt och det är svårt att bedöma vilken metod som ger det mest trovärdiga resultatet. Anledningen till att tre olika metoder använts är att de olika scenarierna har olika förutsättningar.

Tillväxthastigheten i samtliga fall har satts till snabb vilket anses vara konservativt och rimligt. En snabbare tillväxthastighet ansågs inte rimligt då lokalen snarare bedömdes till en samlingslokal än ett entertainment center. Mest osäkerheter finns kring branden

på scen då förutsättningarna kan variera stort beroende av hur scenen är utformad och vilka material som används. Den valda branden på 20 MW anses representera värsta tänkbara fall. En glest möblerad scen med flamskyddade textilier kommer troligen ha en betydligt långsammare tillväxt och lägre maxeffekt. Branden på scen anses vara konservativ och eftersom den inte uppnår kritiska förhållanden då den är placerad i B-hallen bör inte heller en långsammare brand med lägre maxeffekt göra det. Vid känslighetsanalysen med extra plastmaterial antogs 10 % av det som brann bestå av plast. Detta är en ganska låg siffra men antagandet grundas i att scenen består av trä. Även vid de två bränder som antagits vara anlagda har en snabb tillväxtfas används.

I simuleringen med branden under läktaren begränsar syretillgången effekten efter ca 550 sekunder då branden nått upp till en effekt på 3,5 MW. Effektkurvan som går upp till 4,5 MW togs fram med handberäkningar. I dessa handberäkningar användes en förenkling av volymen under läktaren vilket troligen ledde till en överskattning av syretillgången.

Rökfyllnaden i museet blir konservativ då inga utflöden förutom ut till foajén finns. Då utrymningen sker snabbt har brandgaslagret inte hunnit sjunka till en höjd där gaserna transporteras ut genom dörren.

11.3 Modeller

Skälet till att FDS användes istället för tvåzonsmodeller är för att de sistnämnda inte är giltiga i stora volymer med komplexa geometrier. FDS är även en erkänd modell som används vid simulering av bränder. I FDS användes en så kallad sågtandsfunktion för att representera det välvda taket i A- och B-hallen. Detta innebär att kanters påverkan på fluiders rörelsemönster minskar för trappformade rätblock. Huruvida funktionen överensstämmer med verkligheten är svårt att avgöra utan verkliga experiment för samma geometri. I detta fall ansågs dock sågtandsfunktionen vara relevant att använda. Även programmets tendens att överskatta sotproduktionen har beaktats då FDS ger värden som kan anses konservativa.

För att validera resultatet från FDS testades en simulering med mindre cellstorlek för att undersöka om nodkonvergens uppnås. Nodkonvergens testades i det scenario som gav värst förhållanden snabbast, det vill säga brand i museet. Då samma beräkningsmetod använts vid cellstorleksberäkningarna anses simuleringarna vara giltiga. Ett annat antagande angående cellstorlekarna var att det var rimligt att ha olika cellstorlekar i olika mesher. Små cellstorlekar (fine grid) valdes nära branden och vid mätpunkter medan större storlekar (medium grid och coarse grid) användes till andra delar av volymerna. Hur mycket denna blandning av cellstorlekar påverkar resultatet är svårt att avgöra då det saknas underlag att jämföra resultaten. På grund av att möjligheten att jämföra resultaten saknas, är det även svårt att få en uppfattning av hur mesh-gränserna påverkar resultatet. För att validera FDS-resultaten hade fullskaliga försök behövts. Kvalitativa resonemang har dock förts för att validera rimligheten av resultaten.

Valet att använda Pyrosim gjorde att en realistisk geometri kunde byggas upp. En kontroll av FDS-koden genomfördes dock inför varje simuleringen för att undersöka om Pyrosim lagt till några oönskade parametrar.

I Simulex tar personer alltid den närmaste vägen till en utgång då hela utrymningen behandlas som ett flödesproblem. I verkligheten finns det dock ett flertal andra faktorer som påverkar människors val av utrymningsväg. Det kan röra sig om saker som lokalkännedom, köbildning, sociala koder och specifika instruktioner från personal. Problemet med orealistisk köbildning i Simulex löstes till stor del genom att sätta ut linjer som delar upp trappor och korridorer för att få ett bättre flöde. Detta medför att gångbredden utnyttjas på ett bättre sätt samt ger en mer realistisk simulering.

Personfördelningen i Simulex för scenario 1 och 3 var satt till "office staff" som kan låta som ett något okonservativt val. Dock antas inte resultatet påverkas särskilt mycket då köbildningen bidrar till att gånghastigheten blir av mindre betydelse. Ingen hänsyn har tagits till funktionshindrade personer som exempelvis kan vara rullstolsburna. Då andelen funktionshindrade vid ett evenemang är begränsad och rullstolsplatserna är placerade relativt nära utgångarna i gångarna ovanför läktarna förväntas detta inte påverka den totala utrymningstiden i någon större utsträckning. Rullstolsburna brukar även ofta ha en ledsagare med sig. I scenario 7 valdes en skolklass som en trolig målgrupp för museet, varför fördelningen sattes till "all children".

Via handberäkningar uppnåddes något längre förflyttningstider än vid simulering i Simulex. Att dessa skiljer sig från tiderna i Simulex kan förklaras med att de bygger på olika beräkningsmodeller. Simulex tar mer hänsyn till den exakta geometrin genom att ritningar kan importeras direkt till simuleringssmodellen. Även om resultaten skiljer sig något så är de i samma härad och anses vara relevanta.

I utrymningssimuleringarna har den totala tiden att tömma byggnaden använts. En marginellt kortare tid hade kunnat fås ifall tiden hade räknats till dess att personerna gick in i en annan brandcell. Detta valdes dock bort då köbildning endast skedde vid förflyttning ut ur en brandcell och förflyttningen i den nya brandcellen kan försummas.

I valet av känslighetsanalyser har en rimlighetsbedömning gjorts med avseende på vad som faktiskt skulle kunna variera. Att exempelvis effektkurvorna lämnats orörda beror på att samtliga effekter redan har en snabb tillväxtfas samtidigt som en ultrasnabb tillväxtfas anses orimlig. Det är inte intressant att testa en mindre konservativ effektutveckling då det inte utmanar personsäkerheten. Det viktigaste resultatet som framkom av känslighetsanalyserna för scenario 3 var att det är betydligt bättre ur säkerhetssynpunkt att ha en scen placerad i B-hallen än i A-hallen. Då B-hallens volym fungerar som en buffert ger detta de utrymmande personerna extra tid innan kritiska förhållanden uppstår. För de andra två scenarierna visade känslighetsanalyserna att tidig detektion är viktigt.

11.4 Förslag som valts bort

De förslag på åtgärder som tagits fram diskuteras närmre under det tidigare åtgärdskapitlet. Ett antal åtgärder har även valts bort. Ett exempel på en åtgärd som valts bort är installation av ett aktivt släcksystem. Det finns inga krav på släcksystem för den aktuella verksamhetsklassen. I varken A- eller B-hallen är det branden som är det stora problemet, utan snarare rökspridningen. Av den anledningen ter sig ett släcksystem ineffektivt och ej ekonomiskt försvarbart. De manuella släckare och inomhusbrandposter som finns anses vara fullt tillräckligt. I museet är inventarierna till stor del inglasade. Den enda större potentiella brandbelastningen är just den kontorsliknande hörnan under trappan. Då de få personer som vistas samtidigt i museet hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår är det onödigt att lägga resurser på ett sprinklersystem.

Då inte allt för mycket folk vistas samtidigt i museet är det onödigt att lägga resurser på ett sprinklersystem.

Förslaget att installera en dörr nedanför trappan i museet har också valts bort. Detta eftersom det inte ger någon större effekt på utrymningstiden. Av detta kan slutsats dras att möbleringen av idrottsmuseet inte påverkar utrymningen i någon större uträkning. Dock kan dörren vara ett alternativ om man inte vill att utrymmande personer ska röra sig bland museets inventarier.

12 Slutsats

Rapportens slutsats är att Idrottens hus kan få en hög personsäkerhet vid utrymning om nedan förslagna *skall*-åtgärder vidtas. Det finns även ett antal *bör*-åtgärder som skulle förbättra säkerheten ytterligare. Rapporten visar också att utrymningsmöjligheterna i det nybyggda idrottsmuseet är goda. Kritiska förhållanden uppnås i vissa utrymningsvägar vid de analyserade scenarierna men detta medför inte att skyddsmålet ej uppnås då besökare med hjälp av sunt förnuft och guidning kan välja andra utrymningsvägar. Detta visar även tydligt vikten av oberoende utrymningsvägar.

Åtgärder som skall vidtas

- Se till att samtliga nödutgångar är tydligt skyltade
- Ta bort museiföremål som blockerar nödutgångar i museet
- Se över så att samtliga dörrar som används vid utrymning är lättöpnade
- Installera automatiska dörrstängare till förråden under läktarna

Åtgärder som bör vidtas

- Installera rökdetektorer i förråden
- Se över läktarnas utformning
- Placera alltid scenen i B-hallen vid konserter

Alla *skall*-åtgärder är för att uppfylla de grundkrav som ställs i BBR. *Bör*-åtgärderna är förslag som anses viktiga och relevanta för att säkerställa personsäkerheten.

Litteraturförteckning

Albrecht, C., 2014. Quantifying life safety Part 1: Scenario-based quantification. *Fire Safety Journal*, Volume 64, pp. 87-94.

Anon., 2014. *Tress*. [Online]
Tillgänglig: <http://www.tress.se/Gymnastik.aspx>
[Använd 14-03-2014].

Bengtsson, S., Hägglund, B. & Sedin, G., 2002. Brandskyddskrav på fasader nära transportleder för farligt gods. *Bygg och teknik nr 6*, pp. 57-60.

BIV, 2013. *Vägledning för CFD-modellering*, Stockholm: Föreningen för brandteknisk ingenjörsvetenskap.

Boverket, 2008. *Handbok om brandbelastning*. 1 ed. Karlskrona: Boverket.

Boverket, 2011. *Boverkets författningssamling, BBRAD 1*. 1 ed. s.l.:Yvonne Svensson.

Boverket, 2011. *Regelsamling för byggande, BBR 2012*. 1 ed. Karlskrona: Boverket.

Boverket, 2013. BBRAD 3. In: Y. Svensson, ed. *Boverkets författningssamling*. s.l.:Boverket, pp. 35-93.

Bryner, N., Grosshandler, W., Kuntz, K. & Madrzykowski, D., 2005. *Report of the Technical Investigation of The Station Nightclub Fire*, Washington: National Institute of Standards for Technology.

Carlsson, J., 2003. *Computational strategies in flame-spread modelling involving wooden surfaces - An evaluation study*, Lund: Lunds Universitet.

Craig, B. L. et al., 2002. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. 3 ed. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association.

Davidsson, G. et al., 2003. *Handbok för riskanalys*. 1 ed. s.l.:Räddningsverket.

Drysdale, D., 2011. *An Introduction to Fire Dynamics*. 3rd ed. s.l.:John Wiley & Sons.

Floyd, J., Hostikka, S., McDermott, R. & McGrattan, K., 2010. *Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide*. Gaithersburg: National Institut of Standards and Technology.

Frantzich, H., 2001. *Tid för utrymning vid brand*, Karlstad: Räddningsverket.

Frantzich, H., 98. *Användarmanual till Simulex ver 1.2*. Lund: Lunds Tekniska Högskola.
Helsingborg Kommun 1, 2013. *Helsingborg Kommun*. [Online]
Tillgänglig: <http://www.helsingborg.se/Medborgare/Uppleva-och-gora/Anlaggningar-och-sporthallar/idrottens-hus/>
[Använd 30-01-2014].

Helsingborg Kommun 2, 2013. *Helsingborg Kommun*. [Online]
Tillgänglig: <http://www.helsingborg.se/Besokare/gora/museer/helsingborgs-idrottsmuseum/>
[Använd 30-01-2014].

Karlsson, B. & Quintiere, J. G., 2000. *Enclosure Fire Dynamics*. Boca Raton, FL: CRC Press LLC.

Mangs, J. & Keski-Rahkonen, O., 1996. *Full scale fire experiments on electronics cabinets II*, Espoo: VTT Building Technology.

MSB, 2014. *Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap - IDA*. [Online]
Tillgänglig: <http://ida.msb.se/ida2#page=a0087>
[Använd 06-02-2014].

Nilsson, D., 2007. *Datorsimulering av utrymning vid brand - inventering av tre angreppssätt*, Lund: Department of Fire Safety Engineering, Lund University.

Nystedt, F., 2000. *Risikanalysmetoder*. Lund: Department of Fire Safety Engineering.
SP, 2014. *SP Technical Research Institute of Sweden*. [Online]
Tillgänglig: www.sp.se/fire/fdb
[Använd 15-03-2014].

Särdqvist, S., 1993. *Initial Fires*, Lund: Swedish Fire Research Board.

7.4 Kontroller och skötsel som anläggningsinnehavaren skall svara för

Den regelbundna kontrollen skall omfatta alla delar i anläggningen som är av väsentlig betydelse för anläggningens effektivitet. Anläggarfirmans skötsel- och underhållsinstruktioner ska följas.

Följande minimikrav gäller beträffande omfattning och tidsintervall för kontroll och provning av anläggningen:

7.4.1 Månadsprov

Minst en gång per månad ska följande kontroller och provningar utföras:

- Prov av centralutrustningens indikeringar och funktioner enligt skötselinstruktionen.
- Kontroll av batterier och strömförsörjning.

Månadsprov ska noteras i kontrolljournal. Avvikelse från normalläget undersöks och åtgärdas snarast.

7.4.2 Kvartalsprov

Minst en gång per kvartal ska följande kontroller och provningar utföras i samband med det ordinarie månadsprovet:

- Larmprov av detektorer. En detektor per sektion i minst 10% av antalet sektioner provas varje kvartal. På ett år ska samtliga sektioner vara provade.
- Funktionsprov av inkopplade larmdon, dörrhållarmagneter och övriga styrningar inom de sektioner som larmprovas (enligt ovan).
- Funktionsprov av förbindelsen med larmcentralen.

Kvartalsprov ska noteras i kontrolljournal med angivande av vilka sektioner som larmprovats. Avvikelse från normalläget undersöks och åtgärdas snarast.

Figur A.1. Utdrag ur SBF 110:6

Bilaga B – Datormodeller

Nedan förklaras de datormodeller som används.

CFD

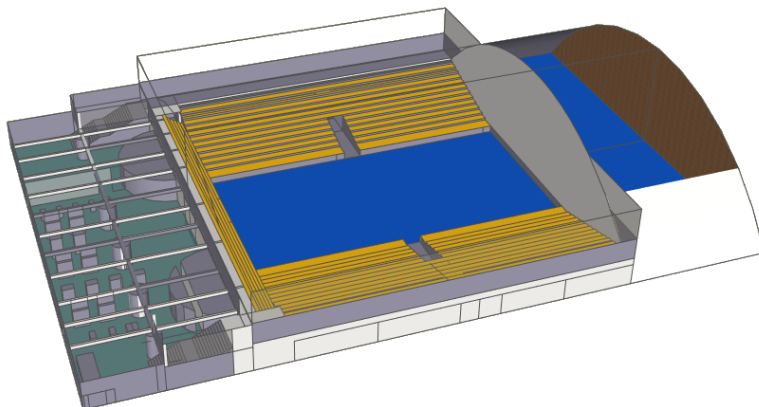
Computational Fluid Dynamics är en beräkningsmetod som används för att lösa olika icke-linjära partiella differentialekvationer som beskriver de fysikaliska grundlagarna, bland annat bevarandet av massa, energi och kemiska ämnen. CFD löser numeriskt Navier-Stokes-ekvationer som beskriver fluiders flöde. De här ekvationerna är för komplexa för att fullständigt lösas med datorer och därför används vissa förenklade delmodeller som komplement. Exempel på dessa är modeller som beskriver transport, turbulens, förbränning och strålning.

CFD-simuleringar ger inga exakta lösningar utan dessa måste kompletteras med ingenjörsmässiga bedömningar för att efterlikna verkligheten på bästa möjliga sätt. (Carlsson, 2003)

FDS

FDS är en CFD-modell som är utvecklad av National Institute of Standards and Technology (NIST). Programmet som används i den här rapporten är FDS 5. FDS beräknar Navier-Stokes ekvationer numeriskt efter att stora volymer delats upp i mindre celler. Ekvationerna löses så att uniforma förhållanden uppstår för varje cell. Denna förenkling medför att resultatet blir mer tillförlitligt ju mindre cellstorleken är. Dock ökar behovet av datorkapacitet med mindre celler vilket medför att tiden är en begränsande faktor för hur bra resultat som erhålls (Floyd, et al., 2010).

Idrottens hus ritas upp i Google SketchUp för att sedan importeras till PyroSim. I PyroSim placeras diverse mätpunkter ut och bränderna definieras. Modellen visas i figur B.1. För varje scenario anpassas modellen för att få relevanta resultat från simuleringen. PyroSim genererar en FDS-kod som redigeras manuellt innan simuleringen startas i FDS 5.



Figur B.1. Modellen som importeras i Pyrosim

Vid simulering av stora volymer är det främst datorkapaciteten som begränsar noggrannheten i FDS. Vid simulering delas volymen upp i ett antal mesher där de matematiska beräkningarna sker stegvis för varje cell samtidigt som alla mesher är på samma "räknesteg". Därför är det lämpligt att alla mesher innehåller ett hyfsat jämnt antal celler. Vissa mesher i närheten av branden har därför samma cellstorlek som intilliggande mesher. Faktorer som påverkar val av meshernas cellstorlek är exempelvis avstånd till branden och noggrannhet av rökspridning. Nära branden och vid viktiga mätpunkter har generellt en finare cellstorlek valts. Detta för att simuleringarna flyter på smidigare om antalet celler i de olika mesherna inte skiljs åt för mycket.

Vid beräkning av lämplig cellstorlek har nedanstående formel används. Med hjälp av formeln beräknas den karakteristiska diametern beräknas.

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} \cdot c_p \cdot T_{\infty} \cdot \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad \text{Ekvation B.1}$$

Den karakteristiska diametern D^* divideras sedan med cellstorleken δx för att jämföras mot en konstant som representerar om cellerna är fine (16), medium (10) eller coarse (4). Dessa konstanter representerar därmed hur många celler som den karakteristiska diametern täcks av. Ju finare cellerna är, desto noggrannare kan simuleringarna antas vara. Dock är det fortfarande av stor vikt att andra antaganden som gjorts vid simuleringar angående exempelvis temperatur, rumsstorlek och ventilationsmöjligheter har gjorts på ett korrekt sätt. Tabell B.1 visar cellstorlek och antalet celler för huvudsimuleringen i scenario 1.

Tabell B.1. FDS för scenario 1

Mesh	Cellstorlek [m]	Antal celler	D*/Dx
1	0.1	737280	16
2	0.1	737280	-
3	0.1	737280	-
4	0.1	737280	-
5	0.2	468000	-
6	0.2	414720	-
7	0.2	155520	-
8	0.4	349920	-
9	0.4	437400	-
Totalt		4 774 680	

Tabell B.2 visar cellstorlek och antalet celler för huvudsimuleringen i scenario 3.

Tabell B.2. FDS för scenario 3

Mesh	Cellstorlek [m]	Antal celler	D*/Dx
1	0.2	172800	16
2	0.2	172800	-
3	0.2	172800	-
4	0.2	172800	-
5	0.2	172800	-
6	0.2	172800	-
7	0.2	172800	-
8	0.2	172800	-
9	0.2	230400	-
10	0.2	230400	-
11	0.4	122880	-
12	0.4	122880	-
13	0.4	122880	-
14	0.8	76800	-
15	0.4	122880	-
Totalt		2 411 520	

Tabell B.3 visar cellstorlek och antalet celler för huvudsimuleringen i scenario 7. I simuleringen för undersökande om nodkonvergens användes det dubbla värdet av D*/Dx, vilket även innebar att alla mesher hade åtta gånger så många celler som tabell B.3 visar.

Tabell B.3. FDS för scenario 7

Mesh	Cellstorlek [m]	Antal celler	D*/Dx
1	0.1	276480	16
2	0.1	276480	-
3	0.2	55296	-
4	0.2	165888	-
5	0.4	11664	-
6	0.2	103680	-
7	0.4	32400	-
8	0.4	14580	-
Totalt		936 468	

Genomgående har även funktionen "SAWTOOTH" används då FDS saknar förmågan att simulera cirkulära former såsom taket på Idrottens hus. Funktionen minskar kanters påverkan på fluiders rörelsemönster och används då cirkulära former ersatts med trappformade rätblock (Floyd, et al., 2010).

Koncentrationer av sot och dess toxiska innehåll har behandlats med försiktighet då detta beräknas som funktion av många andra parametrar i FDS. Då programmet överskattar sotkoncentrationer antas framtagna värden vara konservativa. Programmet

har speciellt svårt att uppskatta sotproduktionen vid underventilerade bränder (BIV, 2013).

Pyrosim

Pyrosim är ett program utvecklat av Thunderhead Engineering. Programmet ger användaren ett användarvänligt gränssnitt för att skapa FDS-simuleringar. Genom ett lättmanövrerat menysystem kan användaren göra önskade inställningar och genom att grafiskt bygga upp modellen ges en bra överblick över geometrin.

Nackdelen med Pyrosim är dock att det är svårt att ha kontroll över alla parametrar då programmet har ett flertal default-inställningar. Detta gör att användaren ändå måste kontrollera FDS inputfil manuellt innan simuleringen körs.

Simulex

För att simulera förflyttningstiden används programmet Simulex. Det är ett utrymningsprogram som använder en partikelmodell. Detta innebär att personerna som simuleras kan röra sig fritt i modellen utan att vara låsta till ett rutsystem eller liknande. Varje person är utrustad med en X- och en Y-koordinat samt en riktningsvinkel som programmet använder för att beräkna förflyttningar (Nilsson, 2007). En fördel med Simulex jämfört med andra utrymningsprogram är att hänsyn tas till avstånd till framförvarande person samt köbildning.

Geometrin importeras till programmet från CAD-filer. Genom att definiera öppningar och länka samman våningsplan med så kallade links kan programmet räkna fram avståndskartor till närmaste utgång. Genom att välja vilka utgångar och länkar som ska vara aktiva kan man skapa flera olika avståndskartor att använda och dedikera en specifik karta till en viss grupp av personer i byggnaden. På så vis kan personer exempelvis välja den väg de kommit in istället för närmaste väg ut.

Bilaga C – Statistik

Statistiken är framtagen från MSBs informationssystem IDA från 1998 till 2012. I tabell C.1 redovisas den data som ligger till grund för diagrammet som visar brandorsaker för idrottsanläggningar.

Tabell C.1. Andel och antal insatser för olika brandorsaker (MSB, 2014)

Orsak	Antal insatser	Andel
Anlagd med uppsåt	357	0.31
Barns lek med eld	40	0.04
Fyrverkeri	15	0.01
Glömd spis	26	0.02
Heta arbeten	13	0.01
Okänd	261	0.23
Tekniskt fel	183	0.16
Värmeöverföring	78	0.07
Övrigt	172	0.15
Totalt	1145	1

Ett antal orsaker som antingen anses vara försumbara eller bidra till få insatser i Idrottens hus har kategoriserats som övrigt. De orsaker som klassats som övrigt redovisas i tabell C.2.

Tabell C.2. De orsaker som klassats som övrigt (MSB, 2014)

Orsak	Antal insatser
Annan	107
Blixtnedslag	3
Explosion	1
Friktion	7
Gnistor	8
Hantverkare	4
Levande ljus	7
Rökning	10
Självtändning	13
Soteld	1
Återantändning	11
Totalt	172

Bilaga D – Effektkurvor

Nedan redovisas hur effektkurvorna till de tre scenarierna tagits fram.

Ekvationer

Samtliga effektkurvor har antagits följa en så kallad αt^2 -kurva då en brands tillväxthastighet brukar vara accelererande. Sambandet visas i ekvation D.1 och är bara giltig i tillväxtfasen. Efter tillväxtfasen antas effekten vara konstant.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad [\text{kW}] \quad \text{Ekvation D.1}$$

Energiinnehållet för ett bränsle kan beräknas med ekvation D.2. Genom att jämföra den dimensionerande brandens energiinnehåll med bränslets innehåll kan det bedömas om branden blir bränslekontrollerad eller inte.

$$Q = m \cdot \Delta H_c \quad [\text{MJ}] \quad \text{Ekvation D.2}$$

För att beräkna energiinnehållet i de dimensionerade bränderna måste ytan under effektkurvan beräknas. Detta görs genom att integrera kurvan från 0 till t, se ekvation D.3.

$$\int_0^t \dot{Q} \, dt \quad [\text{kJ}] \quad \text{Ekvation D.3}$$

Med ekvation D.4 kan en kontroll göras över hur stor energi syret som finns i rummet kan generera. Detta förutsatt att syrehalten kan sjunka till 12 % innan förbränning inte kan ske (Craig, et al., 2002) och att varje kg syre kan generera 13,2 MJ.

$$Q = 13,2 \cdot \rho \cdot V \cdot (0,23 - 0,11) \quad [\text{MJ}] \quad \text{Ekvation D.4 (Karlsson & Quintiere, 2000)}$$

Om en brand blir ventilationskontrollerad styrs effektutvecklingen av hur mycket syre som tränger in i utrymmet. Massflödet luft in i brandrummet kan beräknas enligt ekvation D.5.

$$\dot{m}_a = 0,5 \cdot A_0 \cdot \sqrt{H_0} \quad [\text{kg/s}] \quad \text{Ekvation D.5}$$

Då 1 kg syre ger 13,2 MJ och massprocenten syre i luft är 23 % kan den maximala effektutvecklingen beräknas enligt ekvation D.6. För att vara konservativ antas då allt syre kunna förbrukas i förbränningen.

$$\dot{Q} = 13,2 \cdot 0,23 \cdot \dot{m}_a \quad [\text{MW}] \quad \text{Ekvation D.6}$$

Ett annat sätt att beräkna effektutvecklingen är att titta på den maximala effektutvecklingen per areaenhet och multiplicera denna med arean som brinner.

$$\dot{Q} = \dot{q}'' \cdot A \quad [\text{kW}] \quad \text{Ekvation D.7}$$

För att kontrollera om branden sprider sig kan ekvation D.8 användas.

$$\dot{q}'' = \frac{\dot{Q} \cdot \chi_r}{4\pi R^2} \quad [\text{kW/m}^2]$$

Ekvation D.8

(Karlsson & Quintiere, 2000)

Scenario 1 – Brand i förråd under norra läktaren

För scenariot med brand i förrådet under läktaren bedömdes först brandbelastningen i utrymmet. Resultatet visas i tabell D.1, materialet bedöms vara trä, se figur D.1.



Figur D.1. Föremål under norra läktaren

Tabell D.1. Föremål och vikt

Föremål	Vikt [kg]
2 plintar	170
4 bänkar	76
3 bockar	141
2 pallplintar	32
4 bordtennisbord	200
Ramp	50
4 balansbommar	84
Totalt	753

(Anon., 2014)

Genom att använda $\Delta H_c = 17 \text{ MJ/kg}$ för trä (Karlsson & Quintiere, 2000) beräknas energiinnehållet i bränslet med hjälp av ekvation D.2.

$$E = 753 \cdot 17 = 12801 \text{ MJ}$$

Med ekvation D.4 beräknas hur stor energi det befintliga syret i rummet kan generera då rumsvolymen är 210 m^3 och densiteten på luften är 1 kg/m^3 .

$$Q = 13,2 \cdot 1 \cdot 210 \cdot (0,23 - 0,11) = 332,6 \text{ MJ}$$

Ekvation D.3 visar då att branden kommer bli ventilationskontrollerad efter 277 sekunder då ett α -värde antagits till fast (0,047 kW/s²) vilket motsvarar högt staplade pallar och anses jämförbart med en anlagd brand i förrådet.

$$332,6 = \int_0^t 0,047 \cdot t^2 dt \rightarrow t = 276,9 s$$

Med ekvation D.5 beräknas massflödet in i rummet och en dörr (2,1 m · 0,9 m) antas stå öppen.

$$\dot{m}_a = 0,5 \cdot 1,89 \cdot \sqrt{2,1} = 1,37 kg/s$$

Detta ger sedan med ekvation D.6 en maximal effekt på 4,16 MW.

$$\dot{Q} = 13,2 \cdot 0,23 \cdot 1,35 = 4,16 MW$$

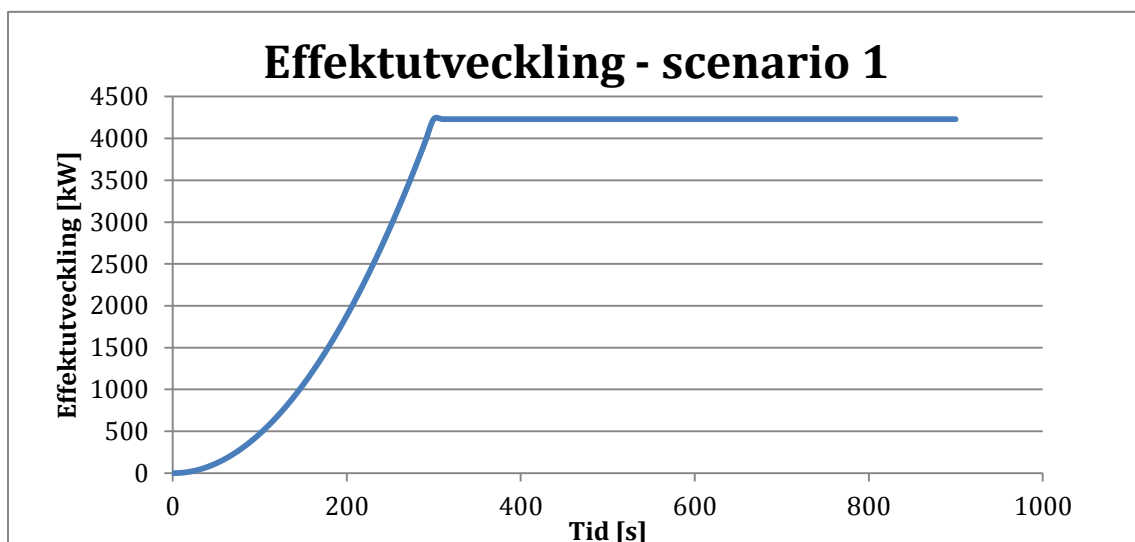
Genom att använda ekvation D.1 beräknas tiden till maxeffekten.

$$4157,6 = 0,047 \cdot t^2 \rightarrow t = 297 s$$

För att sedan antas vara konstant tills bränslet brunnit slut, efter cirka 2900 sekunder.

$$12801000 = \int_0^t 4157,6 \cdot 297^2 + 4160 \cdot t dt \rightarrow t = 2980 s$$

Då simuleringen i FDS begränsas till 15 minuter redovisas bara kurvan för denna tid. Kurvan visas i figur D.2.



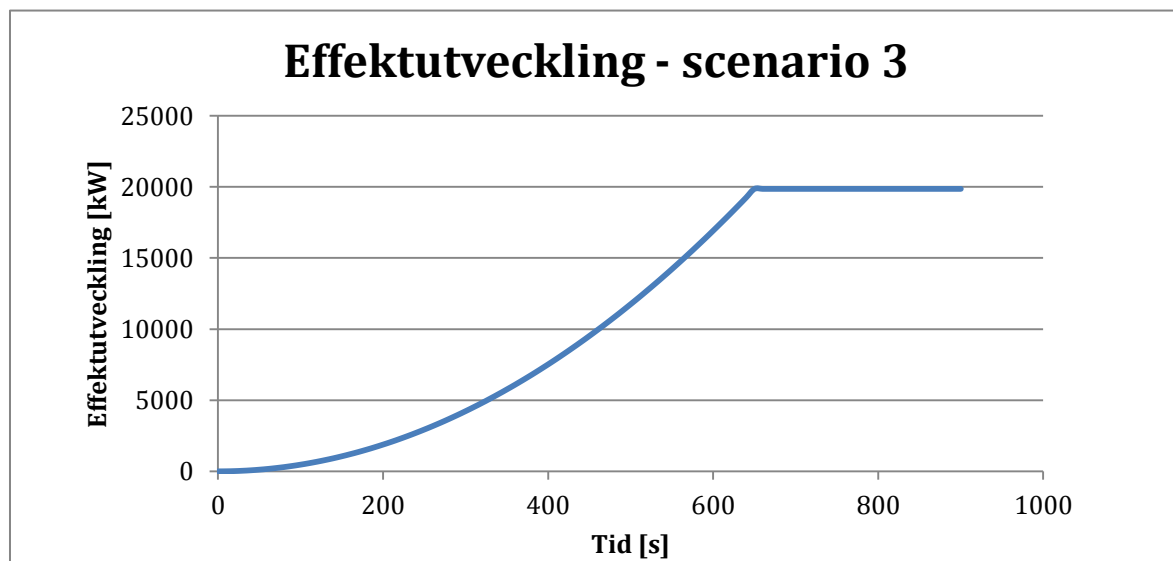
Figur D.2. Effektkurvan för scenario 1

Scenario 3 – Brand på scen

För branden på scen har ekvation D.7 använts. Scenen antas vara $10 \cdot 7 \text{ m}^2$ och 15 % av scenen antas användas för rekvisita, förstärkare och dylikt. Effekten per kvadratmeter för den använda delen sätts till 500 kW/m^2 och den oanvända till 250 kW/m^2 (Albrecht, 2014).

$$\dot{Q} = 500 \cdot 70 \cdot 0,15 + 250 \cdot 70 \cdot 0,85 = 20125 \text{ kW}$$

Då det förväntas finnas scendrapierier som, även om de i de flesta fall är brandskyddsbehandlade, brinner fort sätts tillväxtshastigheten till fast ($0,047 \text{ kW/s}^2$). Tillväxtshastigheten är dock osäker men enligt BBRAD bör α för samlingslokaler vara fast för en dimensionerande brand (Boverket, 2013). Enligt *Enclosure Fire Dynamics* (Karlsson & Quintiere, 2000) är tillväxthastigheten för entertainment center och shopping centers ultra fast. Idrottens hus bedöms dock inte vara ett entertainment center utan snarare en samlingslokal. Hur stor andel av scenen som används och vad den används till är en väldigt osäker faktor. Då branden har syretillgång från hela A-hallen och B-hallen antas inte branden bli ventilationskontrollerad. Effektkurvan redovisas i figur D.3.



Figur D.3. Effektkurvan för scenario 3

Scenario 7 – Brand i museet

För att ta fram effektkurvan för scenario 7 inventerades utrymmet under trappan som används som kontor. Kurvor för olika föremål togs fram.

Det resulterade i att kurvor för fyra bokhyllor, en lastpall, kartonger staplade till 1,15 meters höjd och spånskivor togs fram. Branden startar i kartongerna och det troligaste är att branden är anlagd eller startar i datorn på grund av elfel. Utrymmet visas i figur D.4 och totaleffekten sammanfattas i tabell D.2.



Figur D.4. Utrymmet under läktaren

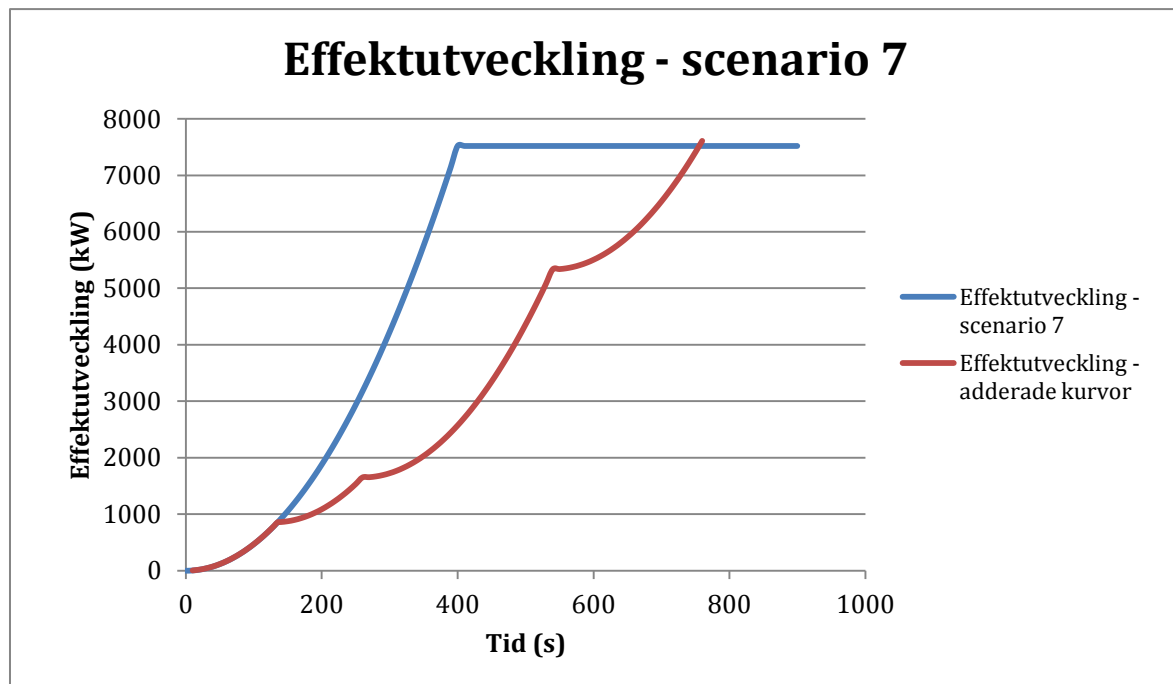
Tabell D.2. Effekter för materialet under trappan

Föremål	Effekt [kW]	Tillväxthastighet	Källa
Bokhyllor	3600	Fast	(Särdqvist, 1993)
Lastpall	710	Fast	(Karlsson & Quintiere, 2000)
Kartonger	850	Fast	(Karlsson & Quintiere, 2000)
Spånskivor	2221	Fast	(SP, 2014)
Total effekt	7381		

Antagandet har gjorts att spridning mellan föremålen sker via flamspridning eller strålning och att detta sker när ett visst föremål uppnått sin maximala effektutveckling. Den röda kurvan i figur D.5. visar hur effekten ser ut när dessa föremål adderas. Dock antas räddningstjänsten vara på plats inom tio minuter och kontrollera branden varför effekten sattes till konstant efter denna tid. Samtliga föremål har ett α -värde som motsvarar fast men om kurvorna adderas blir detta värde lägre. Då detta baseras på att nästa föremål börjar brinna först efter att maximal effekt uppnåtts för ett föremål sätts α till fast för den dimensionerade branden. Detta motsvarar att alla föremål börjar brinna samtidigt och blir därför konservativt. För att styrka antagandet att branden sprider sig från kartongerna och lastpallen till närliggande föremål görs strålningsberäkningar med ekvation D.8. \dot{q}'' är satt till 15 kW/m^2 (Bengtsson, et al., 2002) och χ_r är satt till 0,35 (Craig, et al., 2002).

$$15 = \frac{(850 + 710) \cdot 0,35}{4\pi R^2} \rightarrow R = 1,70 \text{ m}$$

Då avståndet mellan föremålen understiger detta mått kommer strålningen kunna antända närliggande föremål även om inte flamspridning sker. Eftersom museet är stort och syretillförsel kommer ske från foajén antas inte branden bli ventilationskontrollerad. Effektkurvan visas i figur D.5.



Figur D.5. Effektkurvan för scenario 7

Bilaga E – Utrymningstider

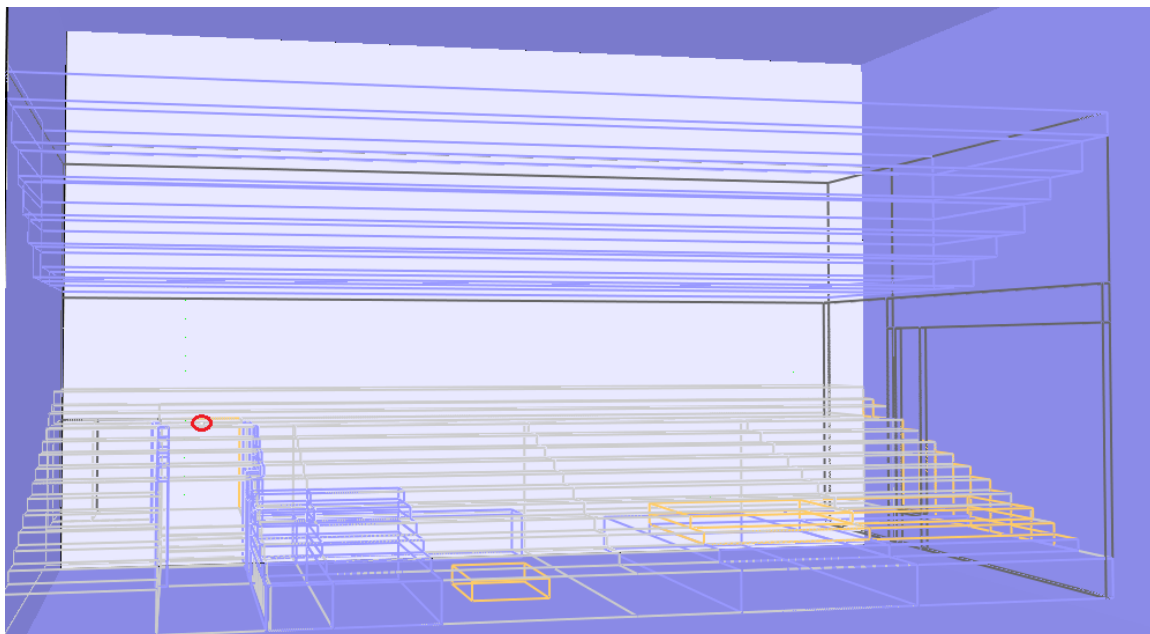
Framtagandet av varseblivnings- och förberedelsetiden för scenario 1 och 7 redovisas nedan.

Scenario 1 – Brand i förråd under norra läktaren

Nedan redovisas varseblivning- och förberedelsetid för scenario 1.

Varseblivningstid

Varseblivningstiden bedöms till den tid det tar för rökdetektorn i korridoren att aktivera. Simuleringarna i FDS visar att detta sker efter ungefär 140 sekunder. Om detektorn skulle felfunktionera är det rimligt att anta en manuell upptäckt, av en person som sitter på läktaren ovanför förrådet eller en brandvakt, inom denna tid. Figur E.1 visar var rökdetektorn i korridoren är placerad.



Figur E.1. Rökdetektorns placering utanför förrådet

Förberedelsetid

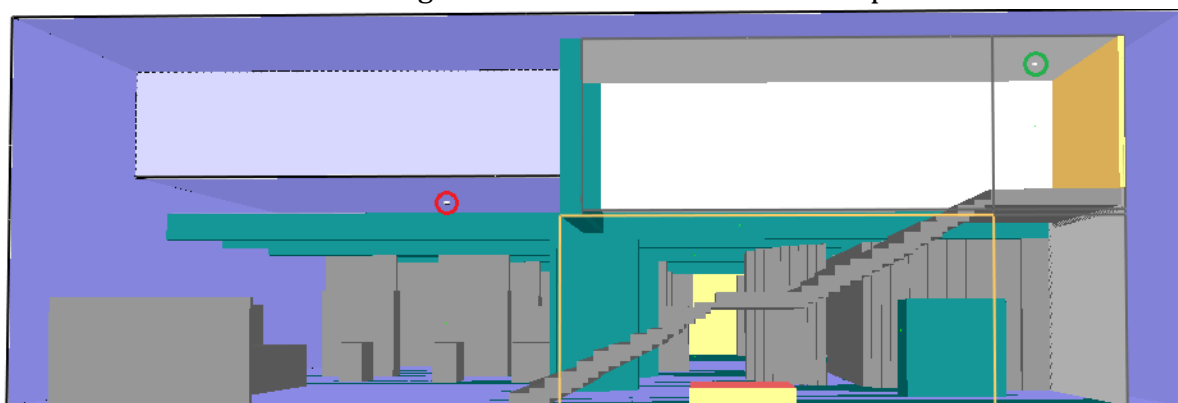
Vid larm med talat meddelande kan riktvärdet 60 sekunder användas som förberedelsetid (Boverket, 2011) men denna tid kan påverkas av flera faktorer som exempelvis om personer kan se branden eller om personal hjälper till att utrymma. I detta fall finns det brandvakter i lokalen, talat meddelande samt att rök kommer sprida sig från utrymmet. Med detta i beaktande sätts förberedelsetiden till 30 sekunder.

Scenario 7 – Brand i museet

Nedan redovisas varseblivning- och förberedelsetid för scenario 7.

Varseblivningstid

Varseblivningstiden är satt till den tid det tar för den närmst belägna rökdetektorn i idrottsmuseet att aktivera. Detektionstiden är simulerad i FDS och visar att den första detektorn, som sitter ovanför trappan och är markerad med en grön ring, aktiverar efter 50 sekunder. För känslighetsanalysen antas den första detektorn felfungera och varseblivningstiden bedöms vara den tid det tar för nästa detektor att aktivera. Den andra detektorn, som sitter i taket nedanför trappan och är markerad med en röd ring, aktiverar efter 80 sekunder. Figur E.2 visar var detektorerna är placerade.



Figur E.2. Detektorernas placering i idrottsmuseet. Detektorn som är markerad med en grön ring detekterar efter 50 sekunder. Detektorn som är markerad med en röd ring detekterar efter 80 sekunder.

Förberedelsetid

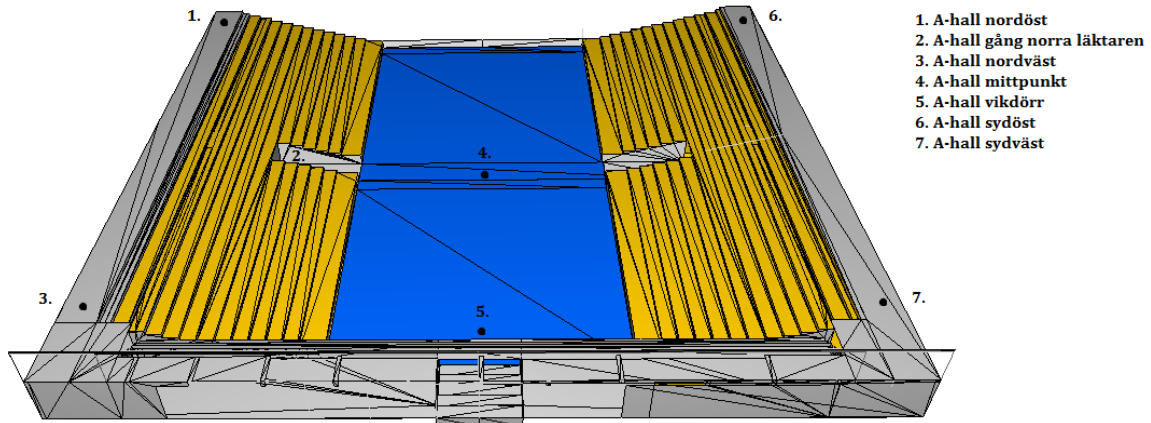
Förberedelsetiden bedöms vara 60 sekunder då utrymningslarmet är ett talat meddelande (Boverket, 2011). Då det i scenariot förväntas vara barn, exempelvis skolklasser, som vistas i museet anses värdet vara rimligt. Förmodligen får barnen hjälp av lärare eller personal vilket kan förkorta förberedelsetiden men för att räkna konservativt används 60 sekunder.

Bilaga F – FDS-resultat

Nedan följer resultaten som framtogs med hjälp av simuleringar i FDS.

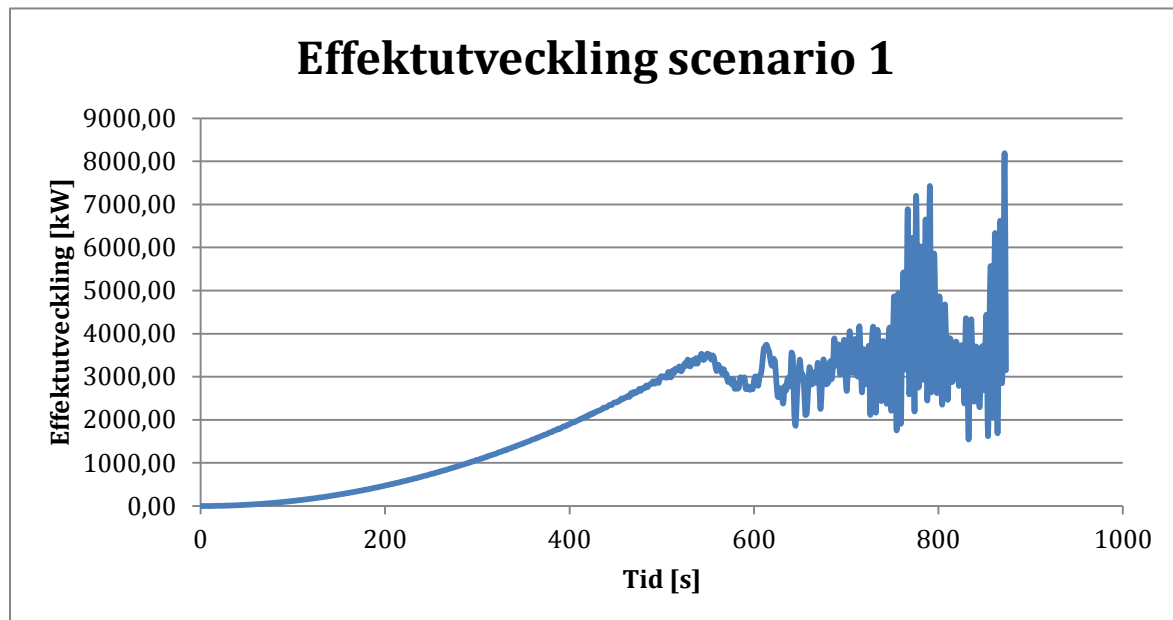
Scenario 1 – Brand i förråd under norra läktaren

Vid sammanställning av resultatet från FDS har mätpunkter med positioner enligt figur F.1 används. Alla mätpunkter sitter på höjden 1,5 meter varpå det antas alla personer påverkas av de förhållanden som mätpunkterna visar. Mätpunkten som heter "2. A-hall gång norra läktaren" sitter i gången vid mittlinjens norra del.



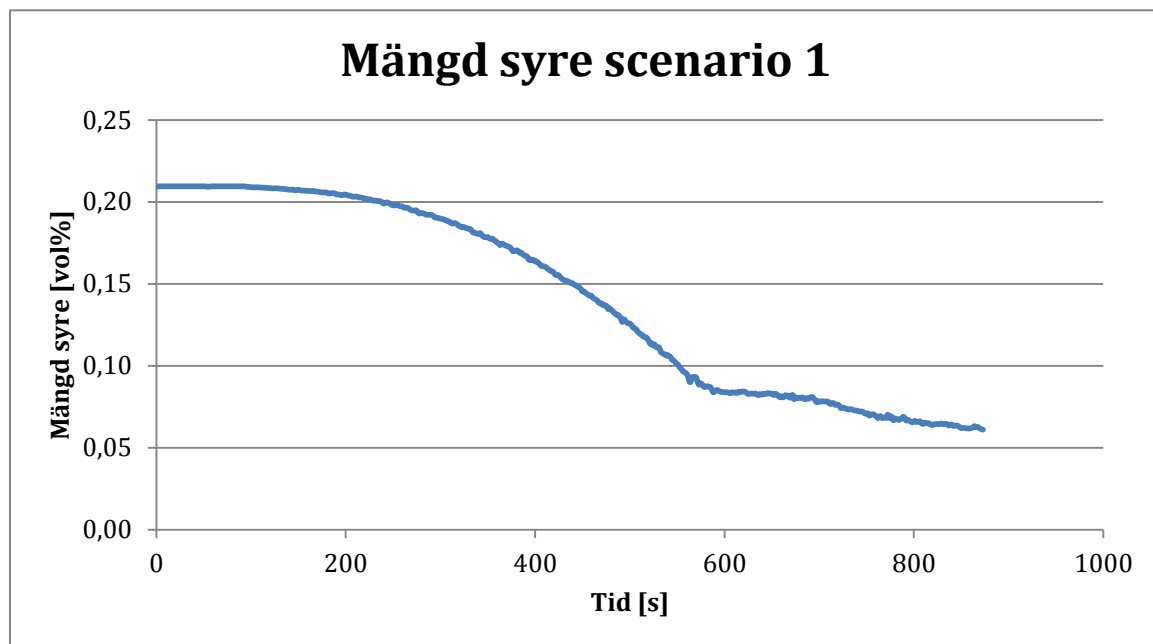
Figur F.1 Placering av mätpunkter i A-hallen

Simuleringen under läktaren hade effektutvecklingen som visas i figur F.2 nedan.



Figur F.2. Effektutvecklingen för scenario 1 i FDS

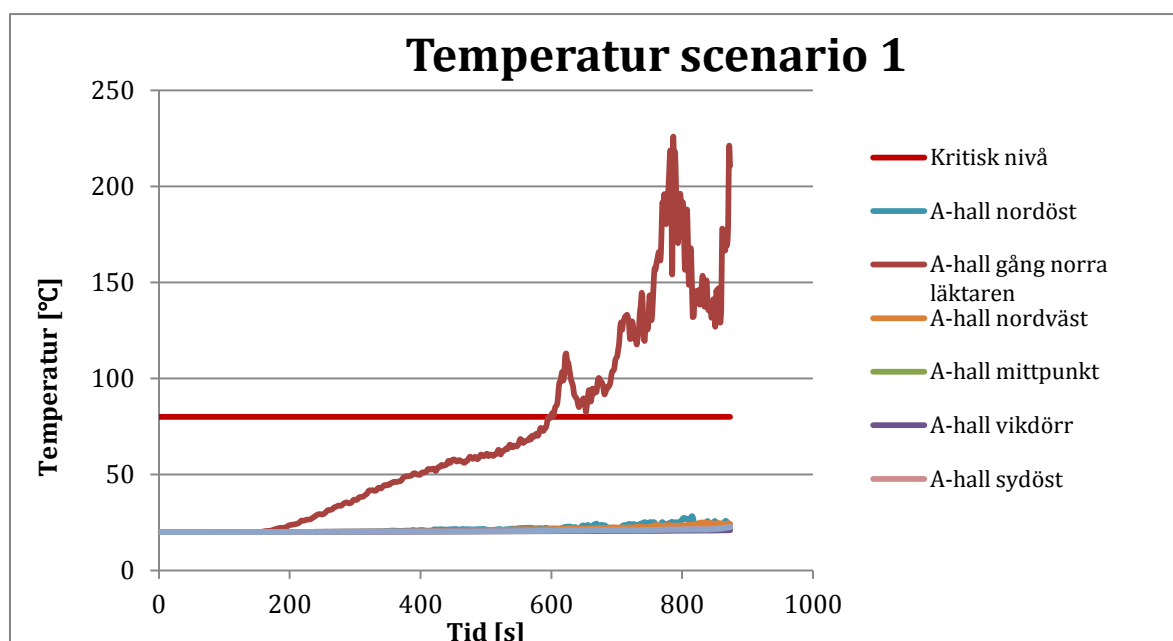
Fluktuationerna beror av att syrenivån under läktaren följde kurvan i figur F.3. Vid 12 vol% börjar elden kvävas på grund av syrebrist (Craig, et al., 2002).



Figur F.3. Syrehalten i förrådet under simuleringen i FDS

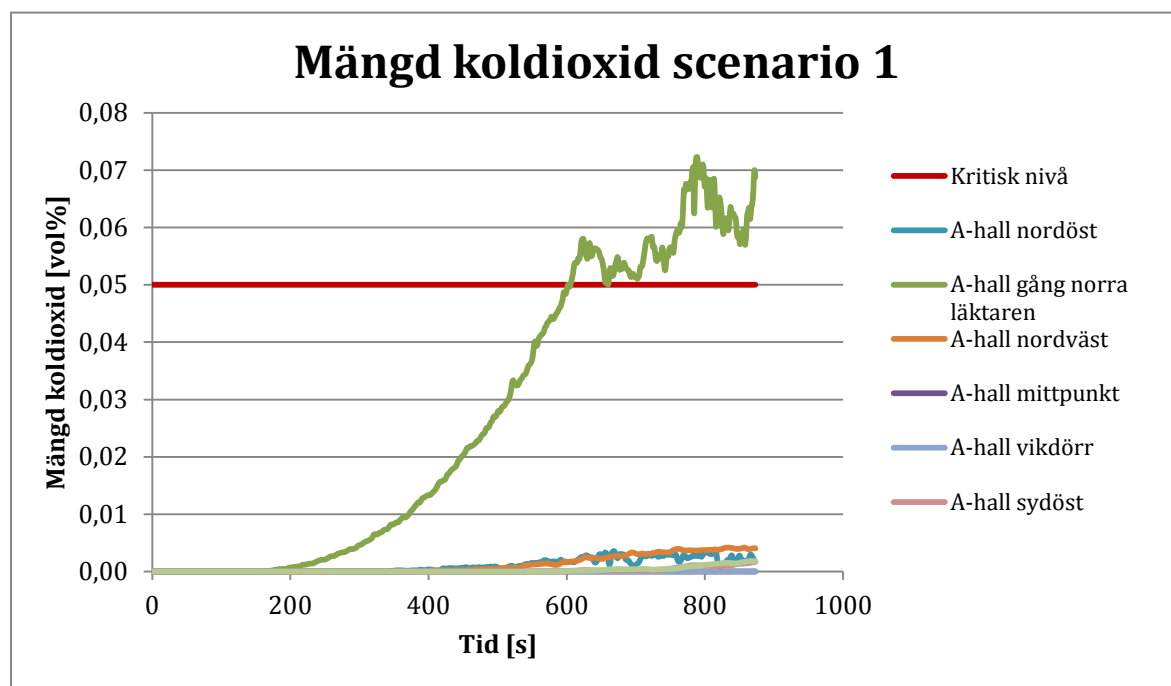
Simuleringar från FDS visar att temperaturen för olika platser i A-hallen varierade enligt diagrammet nedan. Den röda linjen visar den kritiska temperaturen på 80 °C.

Temperaturen i "A-hall gång norra läktaren" varierar mycket då effektutvecklingen fluktuerar på grund av syrebrist i förrådet. Samma mätpunkt visar att kritiska nivåer uppnås. Besökare kommer dock inte utrymma denna väg då den rökfylls vid ungefär samma tidpunkt som branden detekteras. Temperaturerna redovisas i figur F.4.



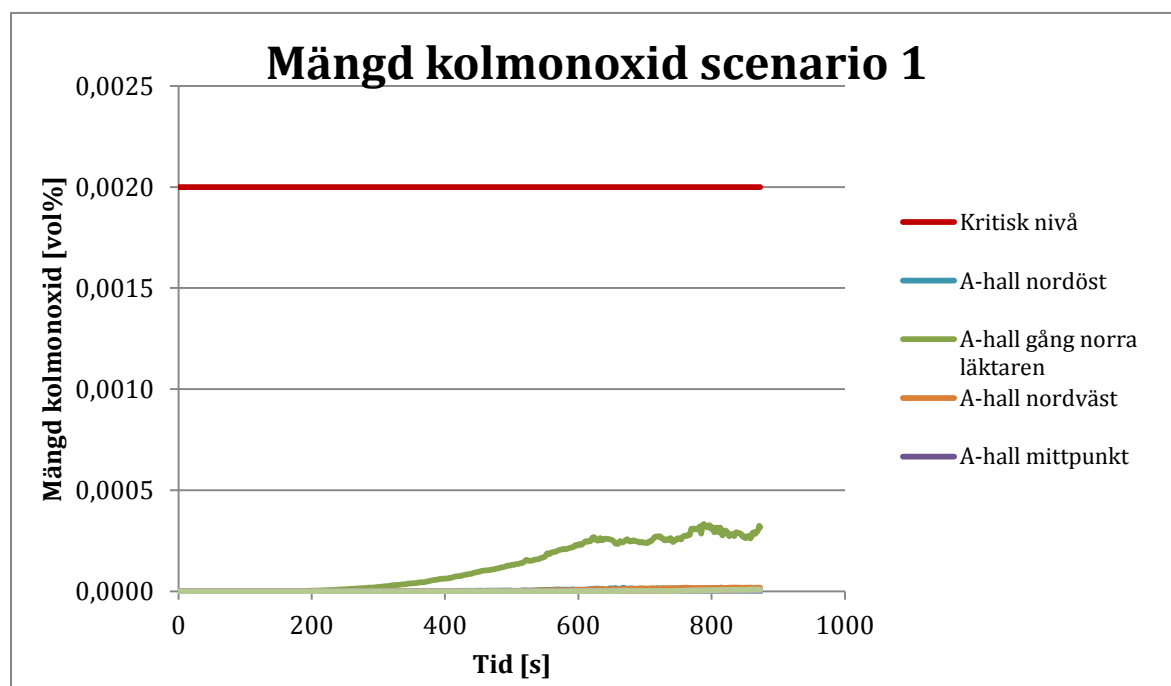
Figur F.4. Temperaturen för olika platser i A-hallen

Koldioxiden i A-hallen kunde vid mätpunkterna mätas upp enligt figur F.5 nedan. Den kritiska nivån ligger på 0,05 vol% och uppnås endast i "A-hall gång norra läktaren". Av ovan nämnda anledningar anses inte detta skapa problem för de utrymmande besökarna.



Figur F.5. Koldioxidhalten för olika platser i A-hallen

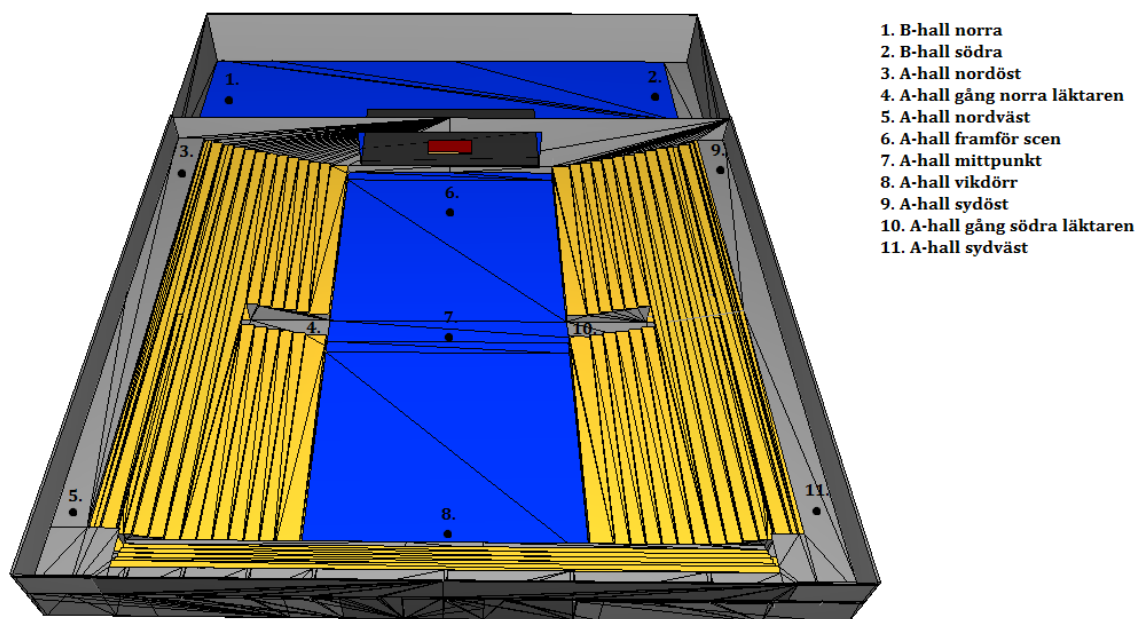
Mängden kolmonoxid uppnådde nivåer som redovisas i figur F.6. Den kritiska nivån är 0,002 vol% och uppnås aldrig under scenariot. Även här visar simuleringen förhöjda nivåer i "A-hall gång norra läktaren".



Figur F.6. Kolmonoxidhalten för olika platser i A-hallen

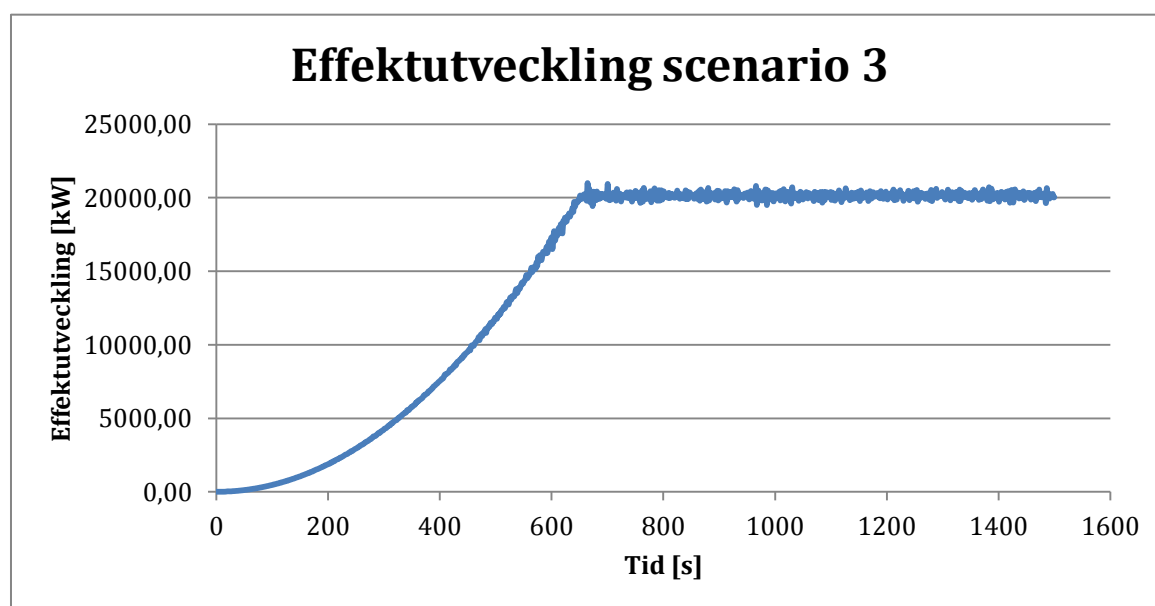
Scenario 3 – Brand på scen

Vid sammanställning av resultatet från FDS har mätpunkter med positioner enligt figur F.7 används. Alla mätpunkter sitter på höjden 1,5 meter varpå det antas alla personer påverkas av de förhållanden som mätpunkterna visar. Mätpunkterna som heter "2. A-hall gång norra läktaren" och "10. A-hall gång södra läktaren" sitter i gångarna som går längs med A-hallens mittlinje.



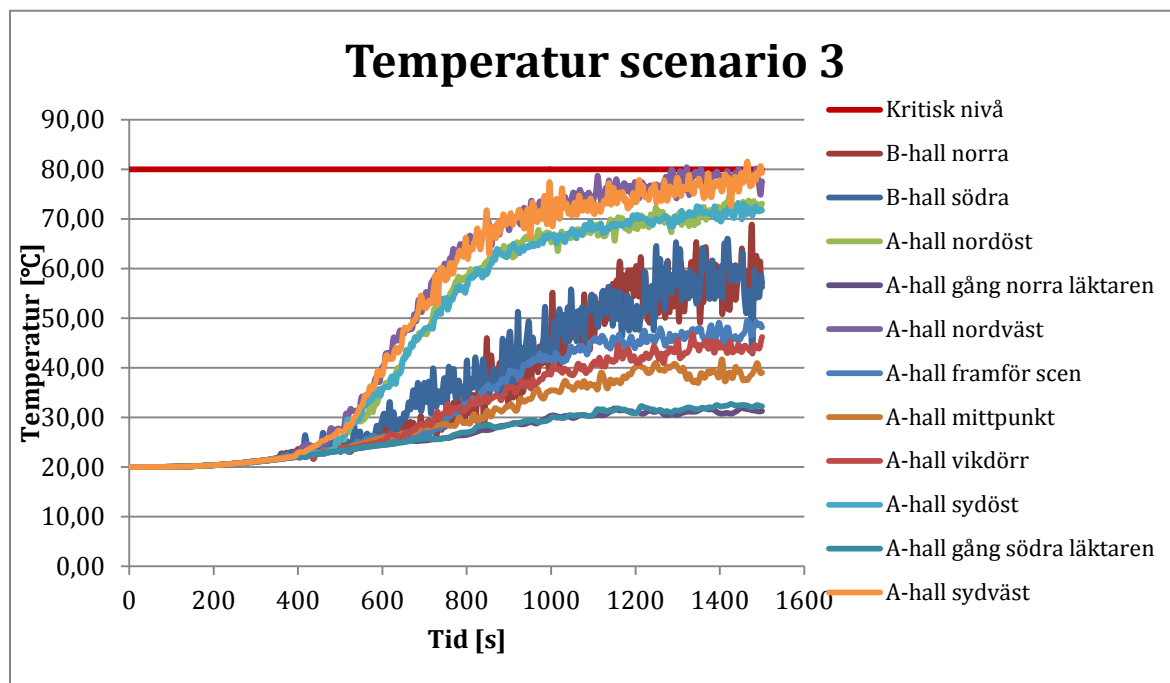
Figur F.7. Placeringen av mätpunkter i A-hallen⁴¹

Simuleringen i FDS genererade en effektutveckling enligt figur F.8. Denna effektutveckling stämmer väl överens med den beräknade effektutvecklingen i bilaga D.



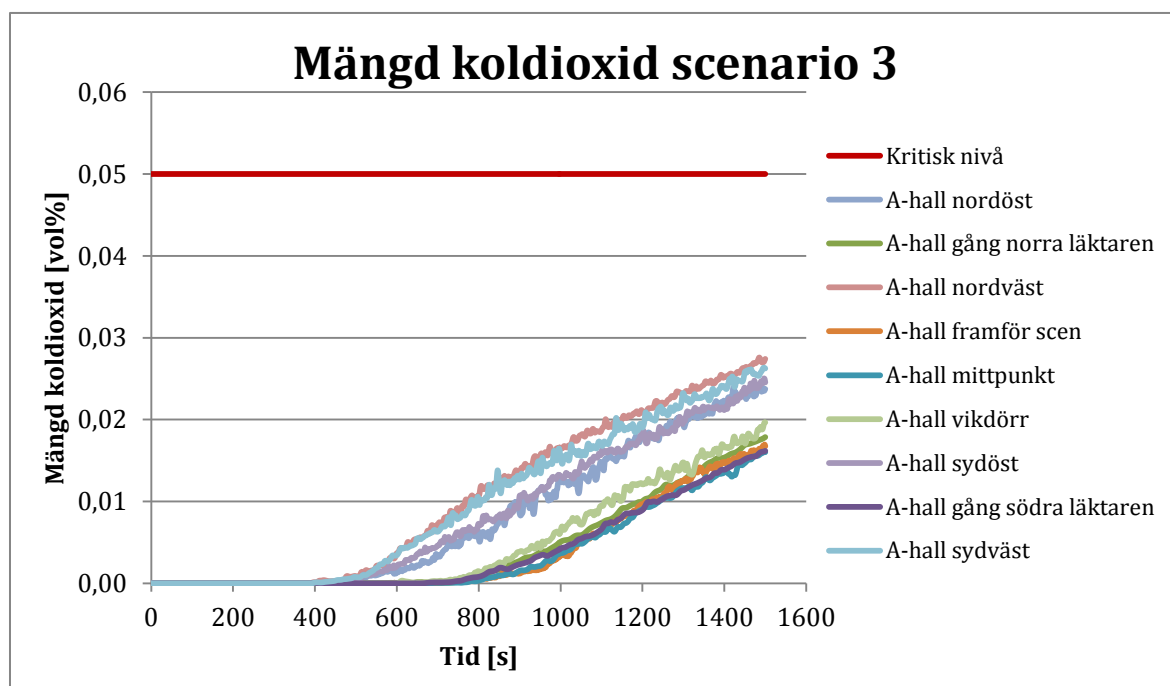
Figur F.8. Effektutvecklingen för simuleringen av scenario 3 i FDS

Med effektutvecklingen enligt figur F.8 blev temperaturen vid de olika mätpunkterna enligt följande, se figur F.9. Den kritiska nivån ligger på 80 °C och uppnås i A-hallens västra del efter cirka 25 minuter. Besökarna i Idrottens hus antas dock ha utrymt byggnaden vid denna tidpunkt varför besökarna ej anses utrymma under kritiska förhållanden.



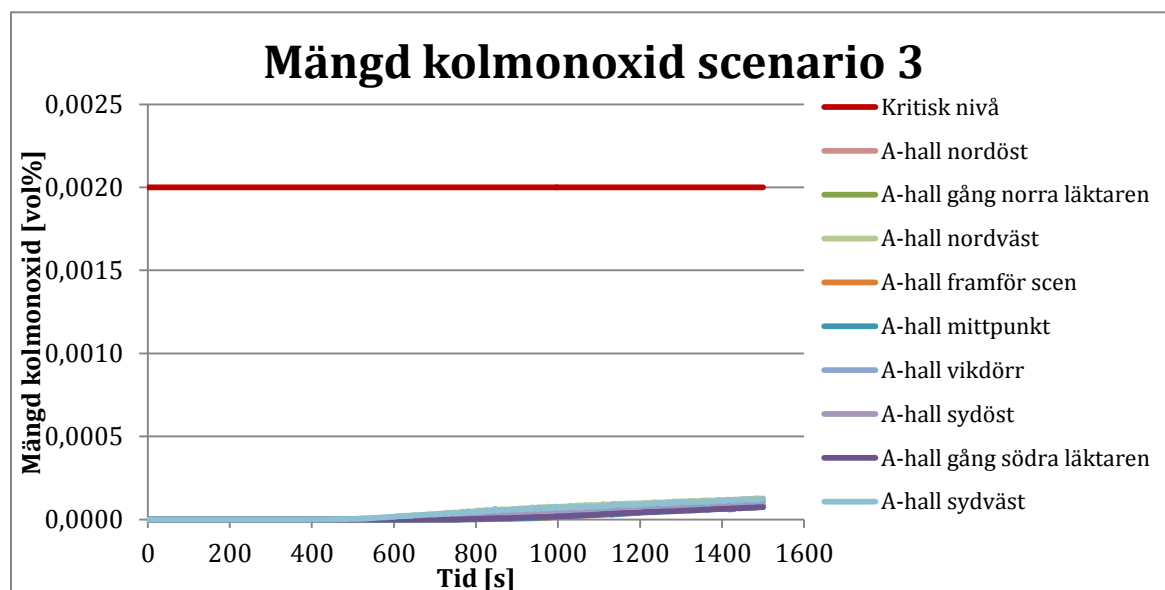
Figur F.9. Temperaturen i A- och B-hallen för scenario 342

Koldioxidhalten vid brand på scen följer enligt figur F.10 nedan. Den kritiska nivån på 0,05 vol% uppnås aldrig.



Figur F.10. Koldioxidhalten i A-hallen för scenario 3

Kolmonoxidhalten vid scenario 3 då det simulerades med FDS blev enligt figur F.11. Den kritiska halten kolmonoxid på 0,002 vol% uppnås aldrig.

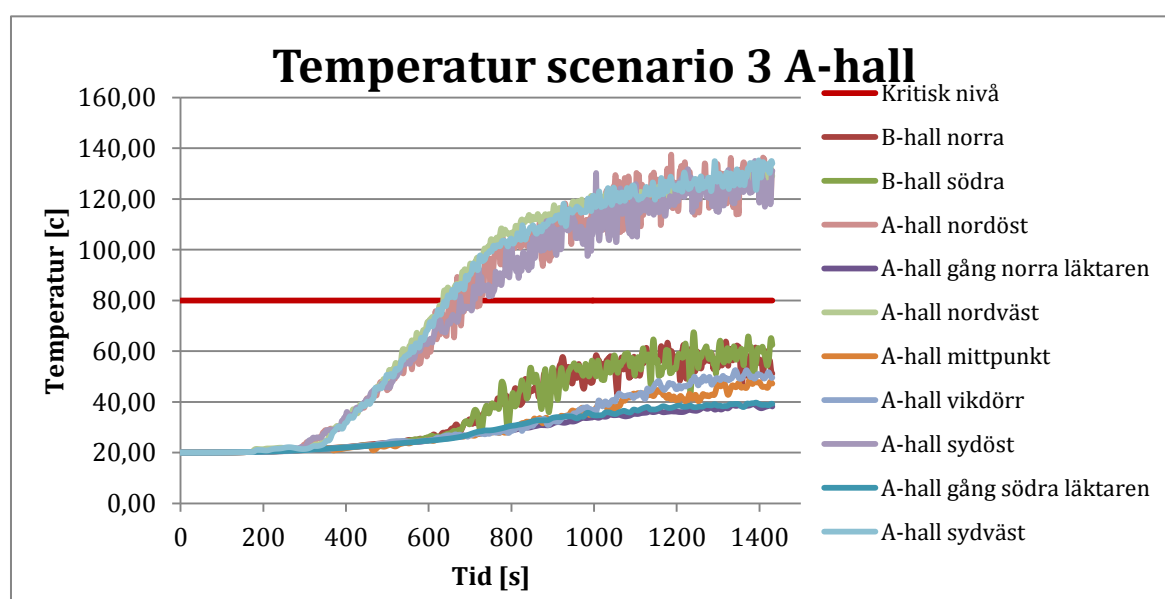


Figur F.11. Koldioxidhalten i A-hallen för scenario 3

Scen i A-hallen

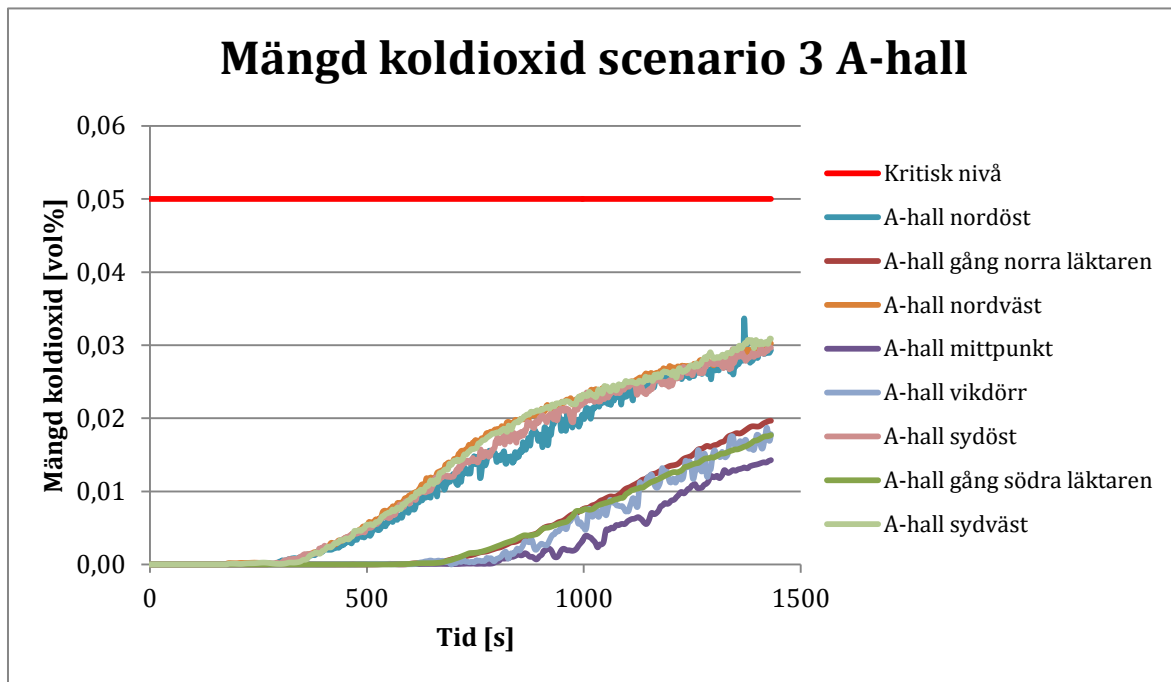
Vid simuleringen då scenen placeras i A-hallen istället för B-hallen uppnås resultaten som visas nedan. Det kan konstateras att resultaten överlag visar högre nivåer än i simuleringen då scenen står i B-hallen eftersom röken nu sprids direkt i A-hallen.

Resultatet av denna simulering visar att temperaturen stiger mycket snabbare i gångarna ovanför läktarna än vid simuleringen då scenen placerades i B-hallen, se figur F.12. Temperaturen uppnår dock inte kritiska förhållanden under tiden då besökare utrymmer.



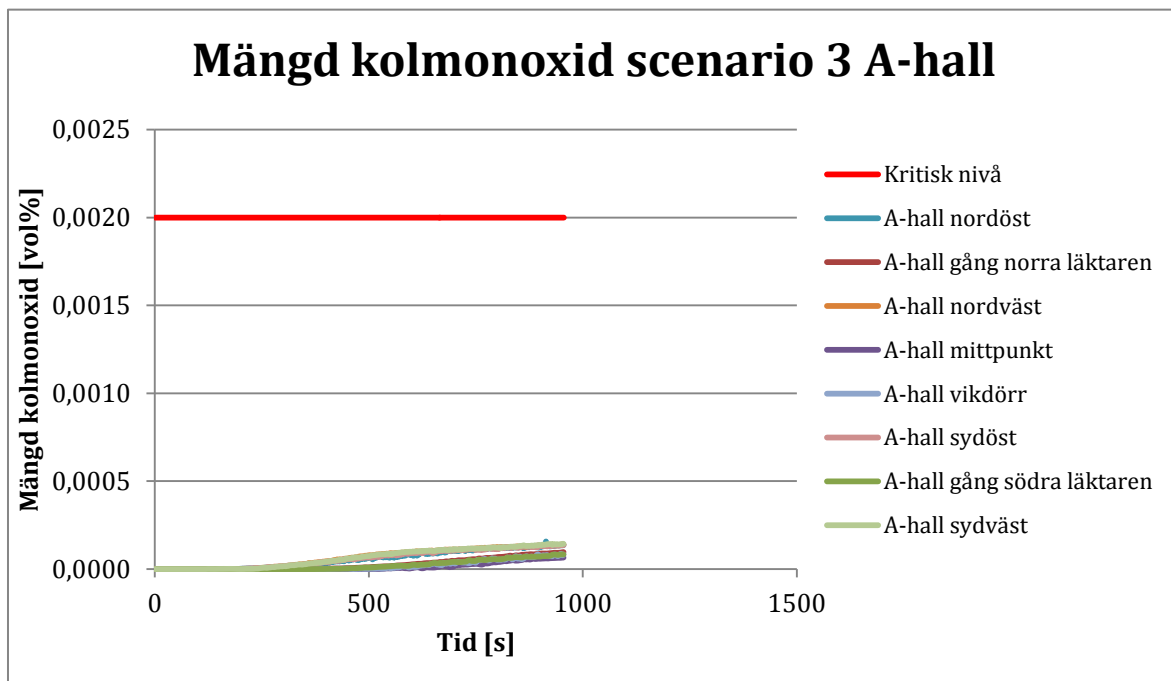
Figur F.12. Temperaturer i A- och B-hallen för scenario 3 med branden placerad i A-hallen

Resultatet av mängden koldioxid vid simuleringen då scenen är placerad i A-hallen visas nedan i figur F.13. Även här uppnås högre nivåer än simuleringen då scenen är placerad i B-hallen. Några kritiska nivåer uppnås aldrig.



Figur F.13. Koldioxidhalt i A-hallen för scenario 3 med branden placerad i A-hallen

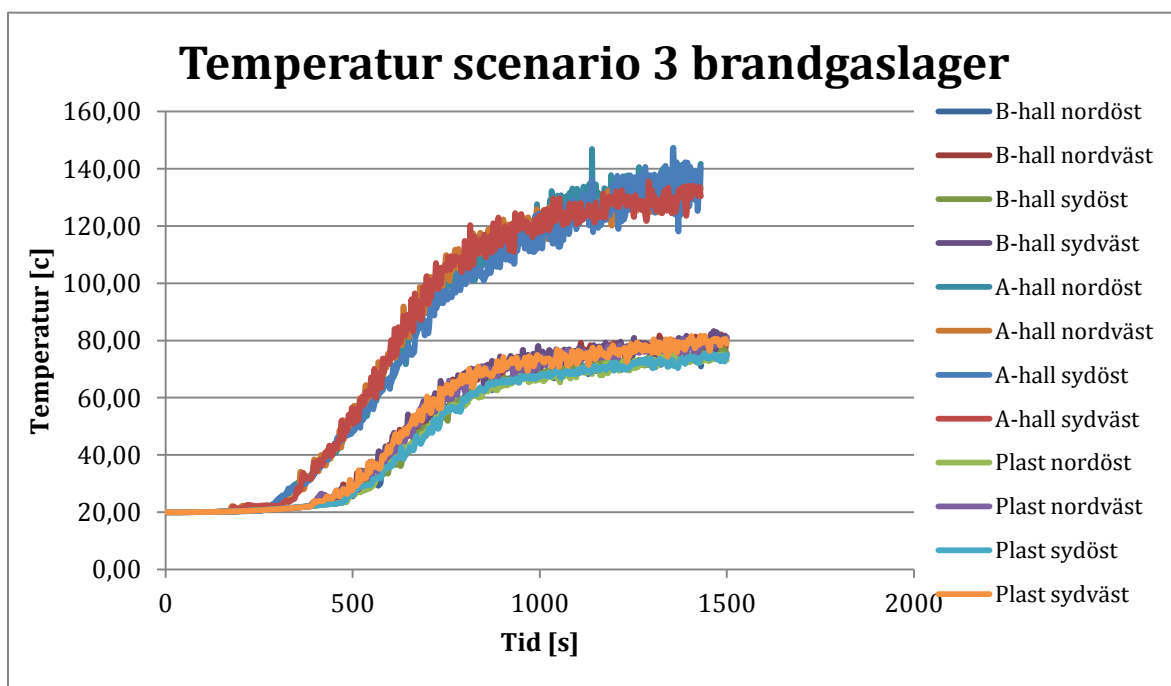
Då scenen är placerad i A-hallen uppnår kolmonoxiden mängder enligt figur F.14 nedan. Liket då scenen är placerad i B-hallen når kolmonoxiden aldrig några kritiska nivåer.



Figur F.14. Kolmonoxidhalten i A-hallen för scenario 3 med branden placerad i A-hallen

För att avgöra om kritiska strålningsnivåer uppnås mäts även temperaturen högre upp i brandgaslagret. Höjden för dessa mätpunkter är 2.5 m. Om temperaturen vid mätpunkterna överstiger den kritiska nivå som beräknas i ekvation G.8 i bilaga G uppnås inte skyddsmålet. Vid en konservativ beräkning av ekvationen konstateras det att kritiska strålningsnivåer uppnås vid temperaturen 185 °C. I figur F.15 nedan kan det avläsas att brandgaslagret aldrig når dessa temperaturer. Därför dras slutsatsen att kritiska strålningsnivåer inte uppstår.

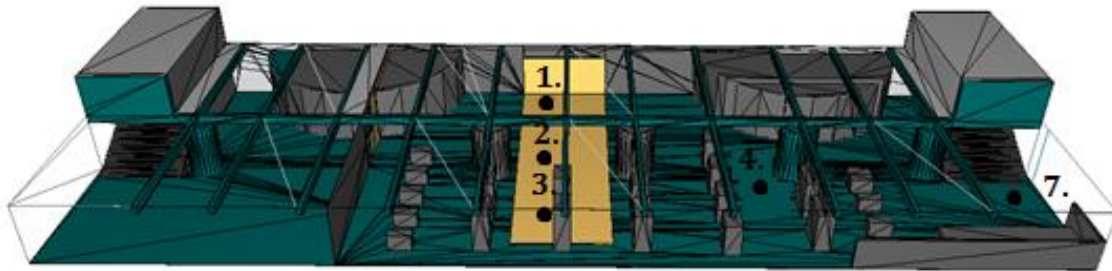
Vid denna grafiska redovisning är endast mätpunkterna i gångarna ovanför läktarna representerade. Vid mätningarna på 1.5 meters höjd kunde det konstateras att högre temperaturer uppnås vid dessa punkter jämfört med mätpunkterna vid vikedörren och planens mittpunkt.



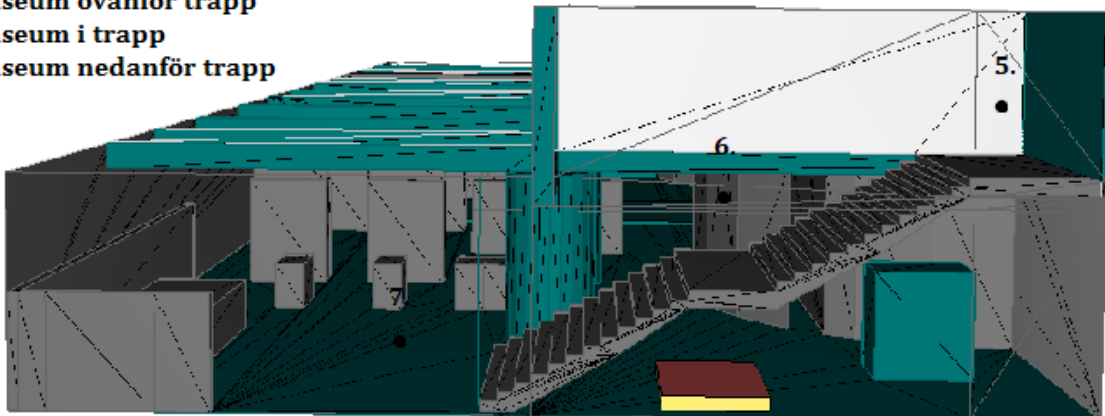
Figur F.15. Temperaturer i A- och B-hallen på 2.5 meters höjd för scenario 3

Scenario 7 – Brand i museet

Vid simulering av scenario 7 i FDS har positionerna som visas i figur F.16 nedan använts. Alla mätpunkter sitter på höjden 1,5 meter varpå det antas alla personer påverkas av de förhållanden som mätpunkterna visar. Mätpunkterna "1. Museum vid vikedörr", "2. Museum vid vikedörr 2" och "3. Museum vid vikedörr 3" har olika långa avstånd till utrymningsvägen som syns i figurens nederkant. Den nedre bilden i figuren visar kortsidan där branden startar.

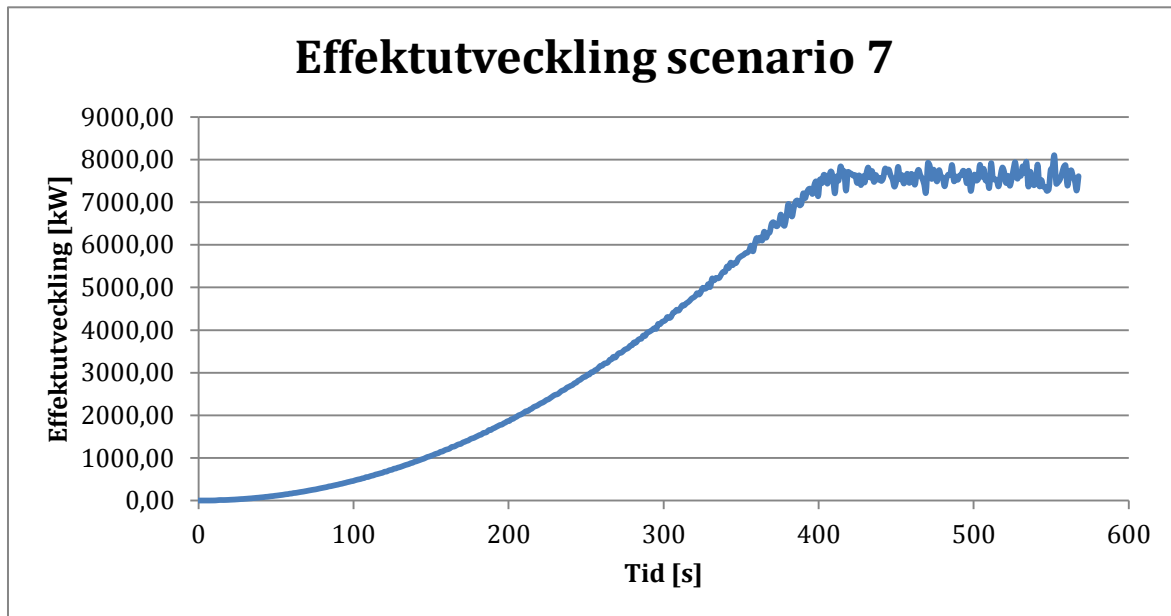


1. Museum vid vikedörr
2. Musuem vid vikedörr 2
3. Museum vid vikedörr 3
4. Museum vid prispall
5. Museum ovanför trapp
6. Museum i trapp
7. Museum nedanför trapp



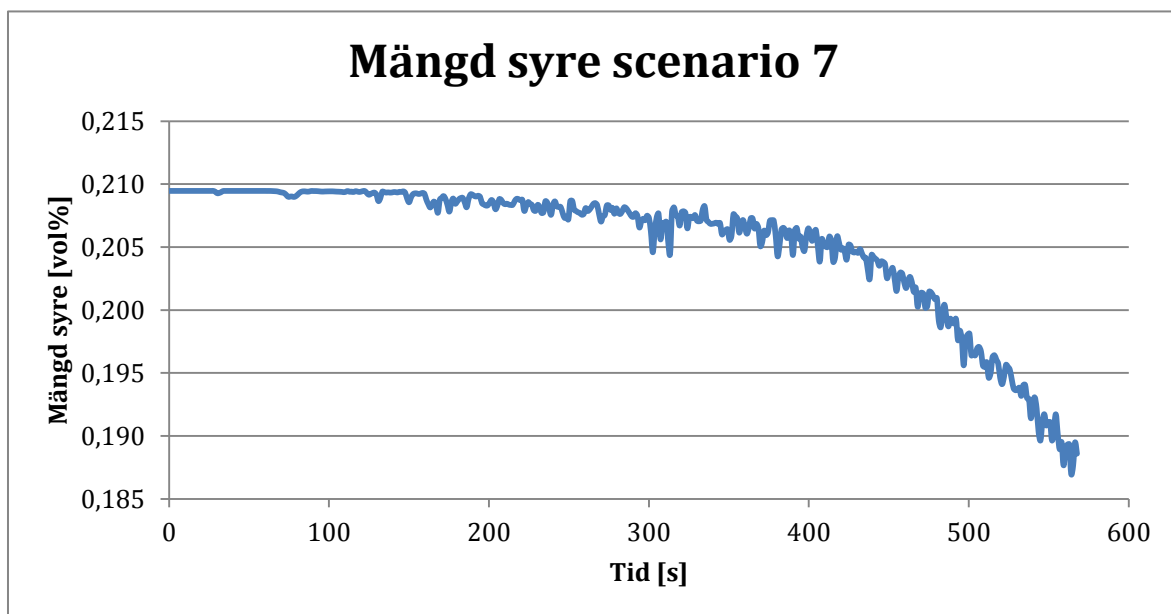
Figur F.16. Placering av mätpunkter i simuleringen av scenario 7 i FDS

Effektutvecklingen av branden följer enligt figur F.17 nedan. Resultatet visar att effektutvecklingen som används i FDS överensstämmer med den framtagna i Bilaga D.



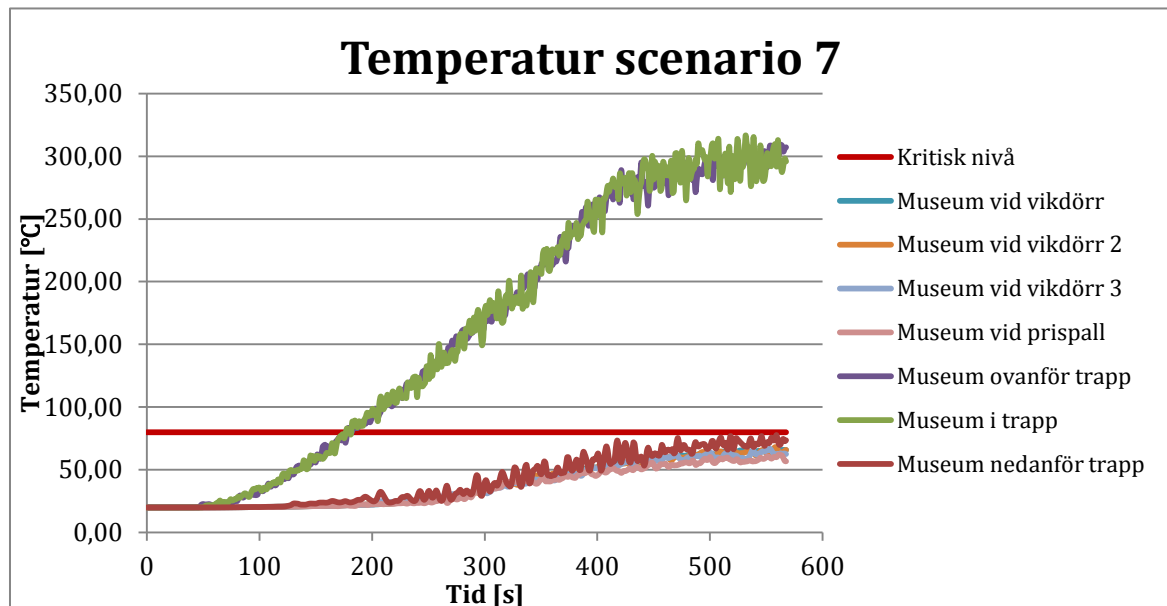
Figur F.17. Effektutvecklingen som används i simuleringen i FDS

En undersökning av syretillgången under trappan resulterade i grafen som visas i figur F.18. Resultatet visar att branden inte kommer kvävas av syrebrist.



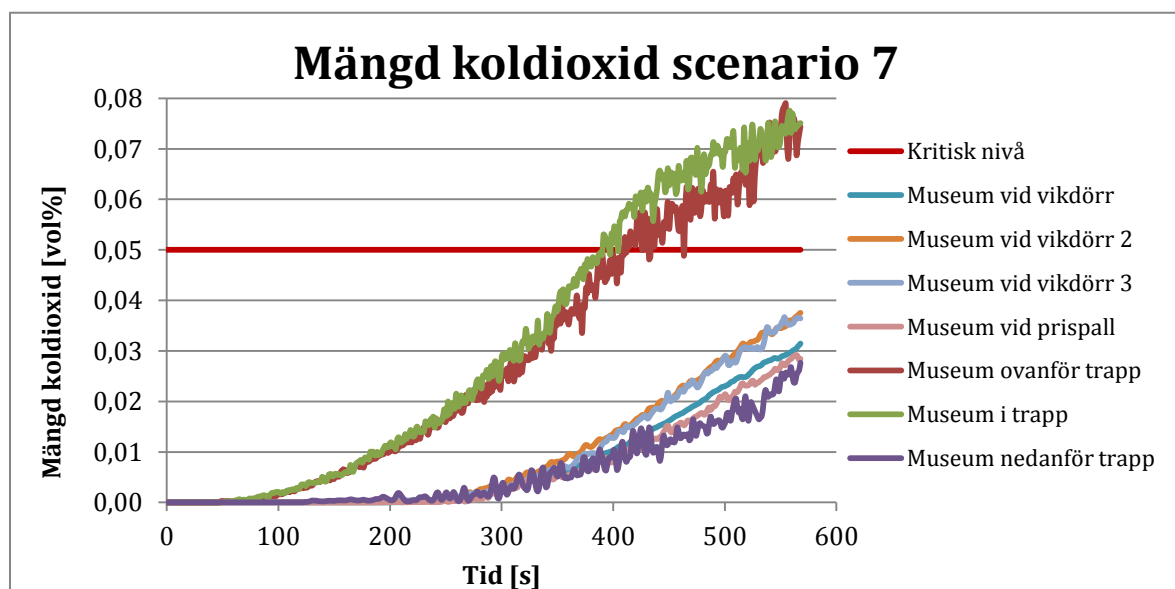
Figur F.18. Syrekonzentrationen i Idrottsmuseet under simuleringen i FDS

Temperaturer som erhöles vid mätpunkterna under simuleringen visas i figuren nedan. Den kritiska temperaturen på 80 °C överstigs snabbt i trappan ovanför branden. Dock förväntas ingen befinna sig i trappan efter att utrymning har påbörjats.



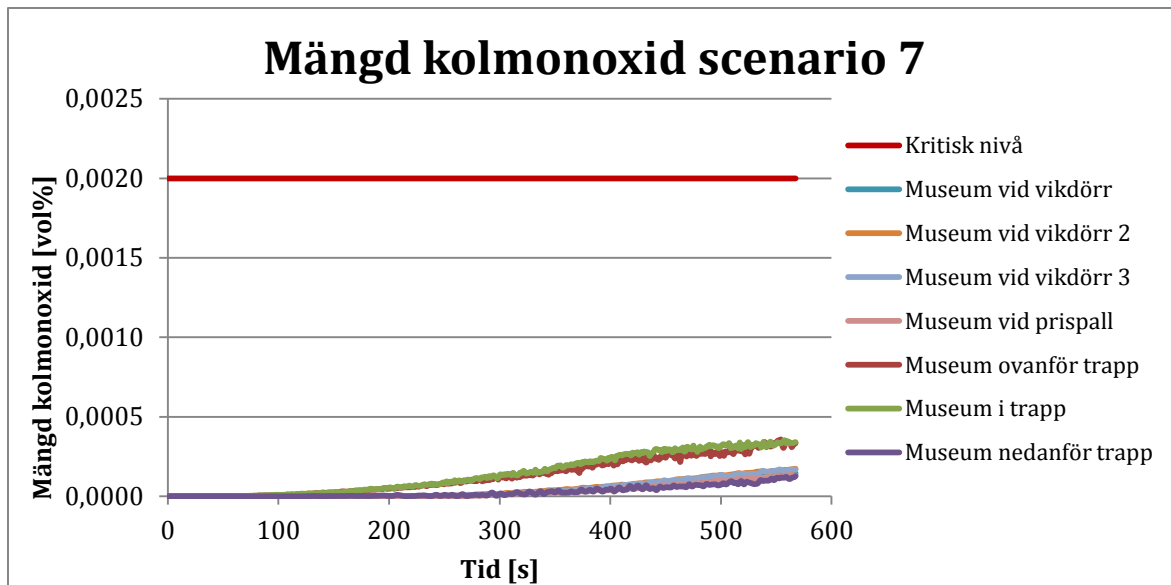
Figur F.19. Temperaturen vid mätpunkterna för scenario 7

Nedan i figur F.20. visas mängden koldioxid vid de olika mätpunkterna i museet. Likt temperaturmätningen så överstiger båda mätpunkterna i trappan den kritiska nivån för mängd koldioxid.



Figur F.20. Koldioxidhalten vid mätpunkterna för scenario 7

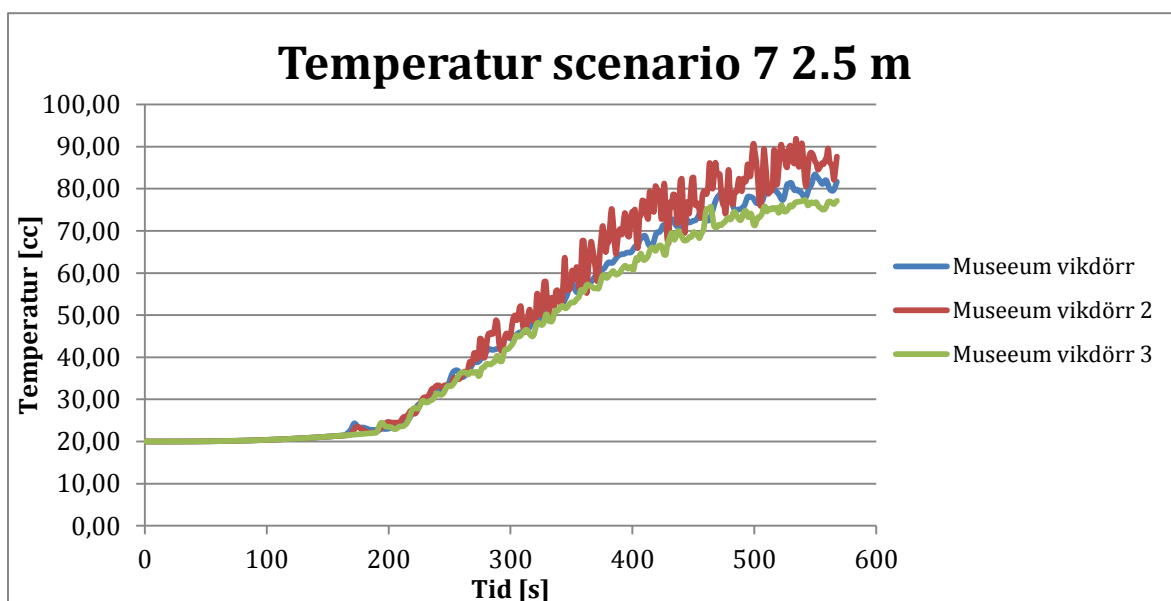
Mängden kolmonoxid vid brand i museet uppmättes vid mätpunkterna enligt figur F.21. nedan. Figuren visar att den kritiska nivån på 0,002 vol% aldrig uppnås i museet.



Figur F.21. Kolmonoxidhalten för scenario 7

Temperaturen i brandgaslagret mäts för att avgöra om den infallande strålningen når kritiska nivåer. Höjden för dessa mätpunkter är 2.5 m. Om temperaturen vid mätpunkterna överstiger den kritiska nivån som beräknas i ekvation G.8 i bilaga G så uppnås inte skyddsmålet. Då ekvationen beräknas ur ett konservativt perspektiv konstateras det att kritiska strålningsnivåer uppnås vid temperaturen 185 °C. I figuren nedan kan det avläsas att brandgaslagret är långt ifrån dessa temperaturer. Därför dras slutsatsen att kritiska strålningsnivåer inte uppstår.

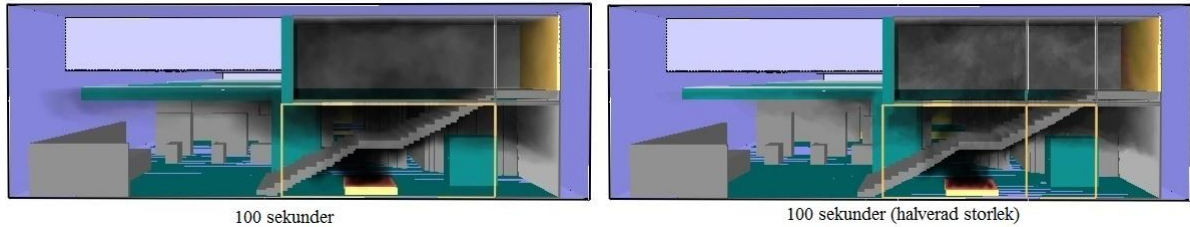
Vid denna mätning används endast mätpunkter vid vikedörren då det tidigare konstaterats att trappan direkt ovanför branden inte är säker.



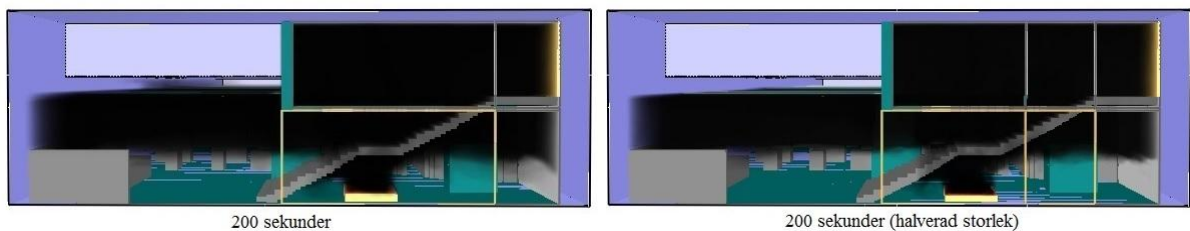
Figur F.22. Temperaturen på höjden 2.5 m vid mätpunkterna i scenario 7

Nodkonvergens

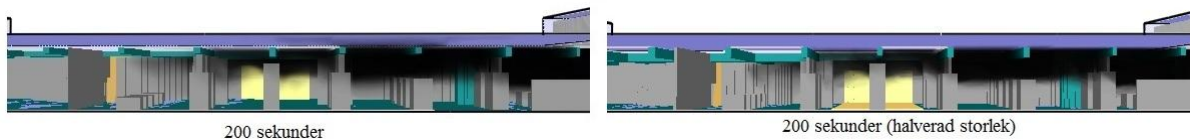
Tillförlitligheten i FDS-simuleringarna testas genom att simulera ett av scenarierna med halverad cellstorlek i mesherna, det vill säga åtta gånger fler celler. I detta fall väljs branden i museet då detta scenario skapar de svåraste förhållandena på kortast tid. Figur F.23 – F.26 visar en jämförelse av rökspridningen vid olika tidpunkter.



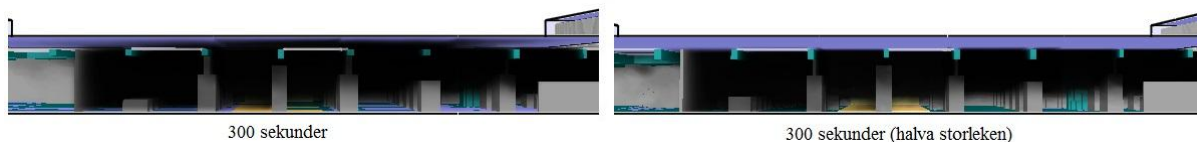
Figur F.23. Rökspridningen vid trappan efter 100 sekunder med beräknad och halverad cellstorlek



Figur F.24. Rökspridningen vid trappan efter 200 sekunder med beräknad och halverad cellstorlek



Figur F.25. Rökspridningen vid vikedörren efter 200 sekunder med beräknad och halverad cellstorlek

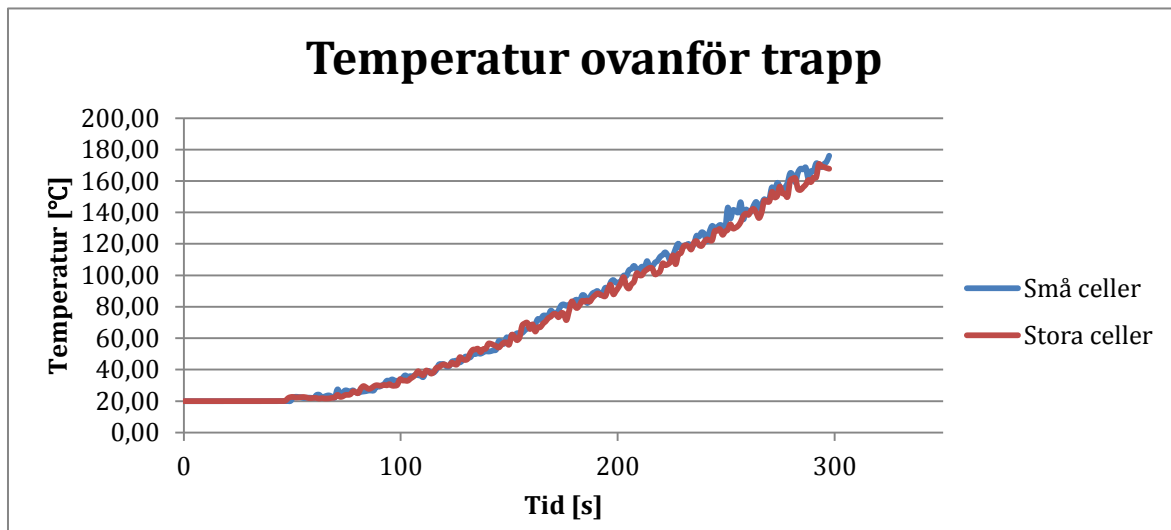


Figur F.26. Rökspridningen vid vikedörren efter 300 sekunder med beräknad och halverad cellstorlek

Av figurerna ovan kan utläsas att rökspridningen sker likvärdigt i de två fallen. Den mer högupplösta modellen ger något mer detaljerade virvlar men på det stora hela är skillnaderna marginella. Jämförelserna i diagrammen i figur F.27-F.31 visar också att skillnaderna är mycket små. Marginellt större fluktuationer kan observeras i de försöken med större celler men kurvornas lutning följer ändå varandra väl. Detta indikerar att valet av cellstorlek är rimlig.

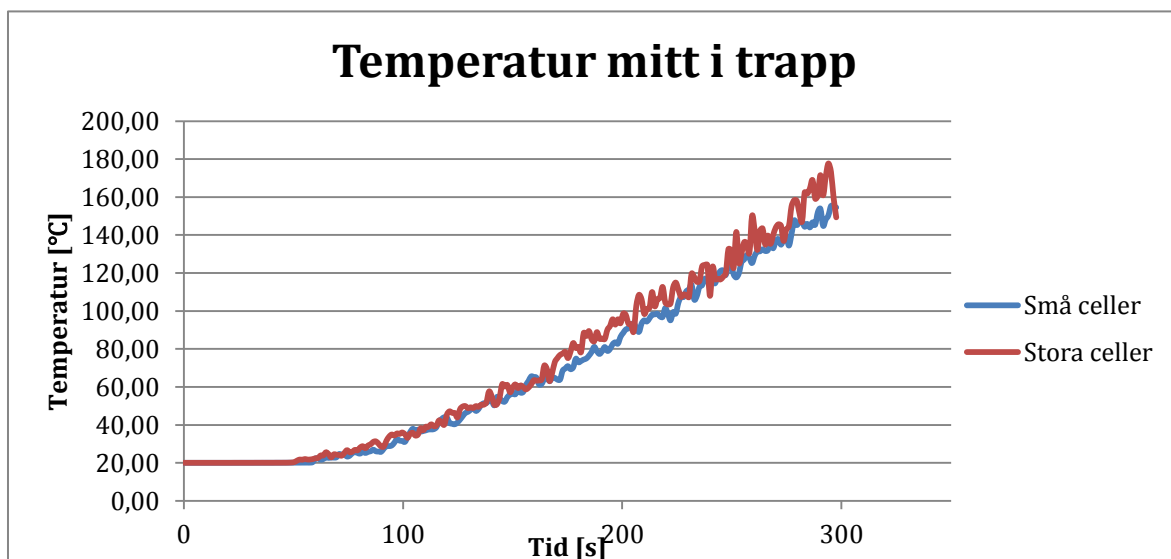
Vid undersökningen om nodkonvergens uppnått jämfördes resultaten vid mätpunkterna i trappan samt vid vikedörren. Nedan redovisas jämförelserna för temperatur och koldioxid i vid de mest kritiska mätpunkterna. De röda graferna representerar grundsimuleringen med cellstorlekar framtagna enligt ekvation B.1 med den karakteristiska diametern D^* . De blå graferna representerar simuleringen då cellerna var hälften så stora. På grund av den datorkapacitet som krävs för att göra

simuleringen med hälften så stora celler så blev simuleringstiden kortare än den ursprungliga simuleringen. Då jämförelsen visar så marginella skillnader mellan simuleringarna görs antagandet att den korta simuleringstiden kan bortses.



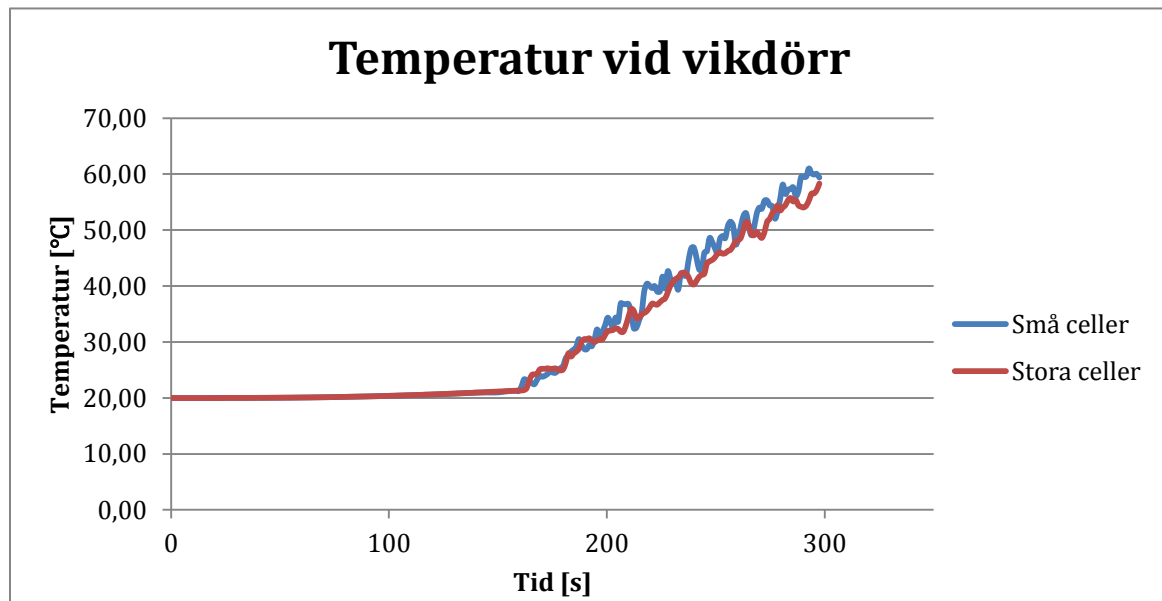
Figur F.27. Jämförelse av temperatureren vid mätpunkten ovanför trappan i scenario 7

Jämförelsen visar att temperaturerna är snarlika vid mätpunkten ovanför trappan.



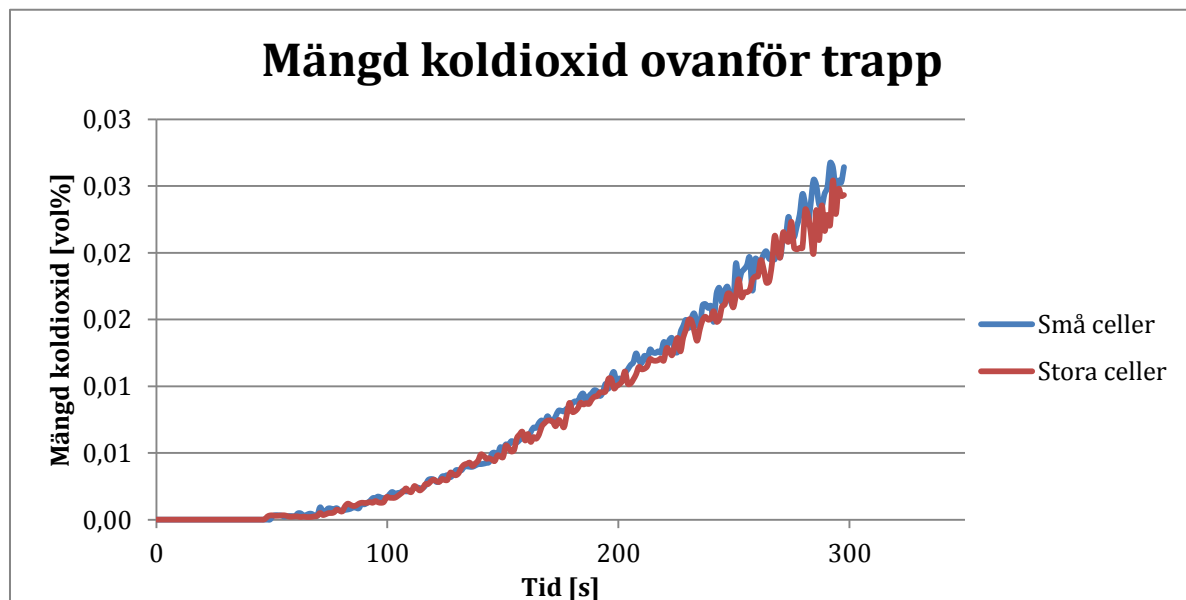
Figur F.28. Jämförelse av temperaturen vid mätpunkten i trappan i scenario 7

Denna jämförelse visar att temperaturen mitt i trappan är relativt lika men att temperaturen för de stora cellerna alltid några grader högre. Differensen anses dock vara så marginell att den kan bortses.



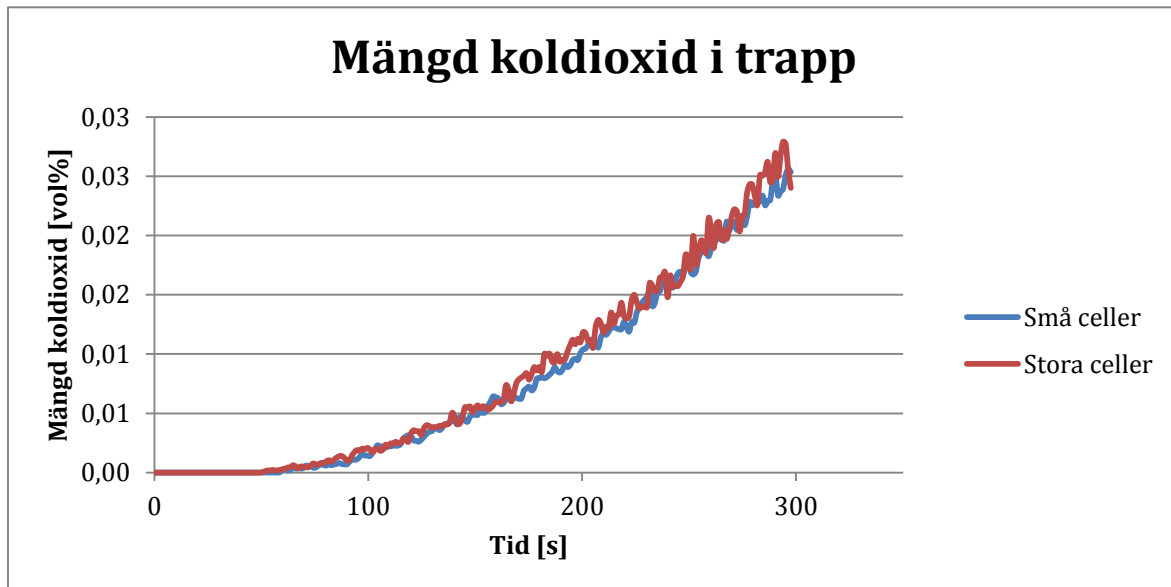
Figur F.29. Jämförelse av temperaturen vid mätpunkten vid vikedörren i scenario 7

Jämförelsen av temperaturen vid vikedörren visar att temperaturerna håller samma nivå men att temperaturen för de små cellerna är lite högre. Skillnaden anses även här vara så liten att den kan bortses.



Figur F.30. Jämförelse av koldioxidhalten vid mätpunkten ovanför trappan i scenario 7

Mätningen av koldioxid ovanför trappan visar att båda simuleringarna ger snarlika resultat.



Figur F.31. Jämförelse av koldioxidhalten vid mätpunkten mitt i trappan i scenario 7

Även denna jämförelse visar relativt lika resultat oberoende av cellernas storlek. Likt temperaturgrafan vid mätningen mitt i trappan ger denna mätning en aningen högre mängd vid simuleringen med stora celler.

Bilaga G – Handberäkningar

Nedan redovisas handberäkningar för utrymning, ventilation och strålning.

Utrymning

En handberäkningsmodell för förflyttningstiden ser ut enligt följande:

$$t_{gång} = \frac{l}{v} [s] \quad \text{Ekvation G.1}$$

$$t_{dörr} = \frac{n}{b \cdot f} [s] \quad \text{Ekvation G.2}$$

(Boverket, 2011)

Gånghastigheter och personflöde ges av tabell G.1. Tabellen gäller för utrymmen med hög persontäthet.

Tabell G.1. Tabell med gånghastigheter och personflöde vid olika förbindelser (Boverket, 2011)

Förbindelse	Gånghastighet	Minsta bredd	Personflöde
Horisontell	0,6 m/s	0,9 m	1,2 person/sm
Uppför trappa	0,5 m/s	0,9 m	-
Nedför trappa	0,5 m/s	0,9 m	1 person/sm
Dörr	-	0,8 m	0,75–1,1 person/sm

(Boverket, 2011)

Scenario 1 – Brand i förråd under norra läktaren

Utrymning från läktarsektion C-D genom museet beräknas med hjälp av ekvation G.1 och G.2. Beräkningarna avser en person som sitter på sämsta plats på läktaren och köbildningen i trappan har beräknats som en köbildning vid en dörr.

$$t_{gång} = \frac{16}{0,5} + \frac{10}{0,6} = 49 \text{ s}$$

$$t_{dörr} = \frac{450}{4 \cdot 1,1} + \frac{450}{1,8 \cdot 1,1} = 329 \text{ s}$$

$$t_{förflyttning} = 49 + 102 = 378 \text{ s}$$

Utrymningen från golvet beräknas med samma ekvationer som ovan och är gjorda för 500 personer som står på golvet och utrymmer genom dörren på norra sidan.

$$t_{gång} = \frac{41}{0,6} + \frac{2}{0,5} = 72 \text{ s}$$

$$t_{dörr} = \frac{500}{2,5 \cdot 1,1} = 182 \text{ s}$$

$$t_{förflyttning} = 49 + 102 = 254 \text{ s}$$

Scenario 3 – Brand på scen vid konsert

Utrymning från den del av läktaren som tar längst tid att utrymma, det vill säga sektion E-F genom museet, beräknas med hjälp av ekvation G.1 och G.2. Beräkningarna avser en person som sitter på sämsta plats på läktaren och köbildningen i trappan har beräknats som en köbildning vid en dörr.

$$t_{g\ddot{a}ng} = \frac{16}{0,5} + \frac{10}{0,6} + \frac{7}{0,5} + \frac{15}{0,6} = 88 \text{ s}$$

$$t_{d\ddot{o}rr} = \frac{450}{5 \cdot 1,1} + \frac{450}{5,2 \cdot 1,1} + \frac{450}{1,8 \cdot 1,1} = 388 \text{ s}$$

$$t_{f\ddot{o}rflyttning} = 88 + 388 = 476 \text{ s}$$

Utrymningen från golvet beräknas med samma ekvationer som ovan och är gjorda för 500 personer som står på golvet och utrymmer genom dörren på norra sidan.

$$t_{g\ddot{a}ng} = \frac{41}{0,6} + \frac{2}{0,5} = 72 \text{ s}$$

$$t_{d\ddot{o}rr} = \frac{500}{2,5 \cdot 1,1} = 182 \text{ s}$$

$$t_{f\ddot{o}rflyttning} = 49 + 102 = 254 \text{ s}$$

Scenario 7 – Brand i museet

Utrymning från museet beräknas med hjälp av ekvation G.1 och G.2. Beräkningarna avser en person som har störst avstånd till närmaste nödutgång.

$$t_{g\ddot{a}ng} = \frac{20}{0,6} = 33 \text{ s}$$

$$t_{d\ddot{o}rr} = \frac{50}{5 \cdot 1,1} = 9 \text{ s}$$

$$t_{f\ddot{o}rflyttning} = 33 + 9 = 42 \text{ s}$$

Ventilation av brandgaser

För att beräkna hur stor öppningsarea det behövs för att hålla brandgaserna på en viss höjd över golvet används Yamana-Tanakas modell för naturlig ventilation från övre brandgaslagret. För att den naturliga ventilationen ska fungera krävs en viss öppningsarea där luft kan flöda in i lokalen. Massbalansen ger att plymflödet måste vara lika med flödet in i respektive ut ur lokalen.

Med ekvation G.3 beräknas plymens massflöde när brandgaslagret befinner sig på en viss höjd.

$$\dot{m} = \dot{m}_e = \dot{m}_p = 0,21 \left(\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3} \cdot \dot{Q}^{1/3} \cdot z^{5/3} \text{ [kg/s]} \quad \text{Ekvation G.3}$$

Tryckskillnaden över öppningarna vid det undre lagret beräknas med ekvation G.4.

$$\Delta P_l = \frac{\dot{m}^2}{2\rho_a(C_d A_D)^2} \text{ [Pa]} \quad \text{Ekvation G.4}$$

Brandgaslagrets temperatur beräknas med ekvation G.5.

$$T_g = T_a + \frac{\dot{Q}}{c_p \dot{m}_e + h A_W} \text{ [K]} \quad \text{Ekvation G.5}$$

Densiteten på gaserna i brandgaslagret beräknas med ekvation G.6.

$$\rho_g = 353/T_g \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad \text{Ekvation G.6}$$

Då massflödet ut ur byggnaden ska vara samma som plymens massflöde kan öppningsarean som behövs lösas ut från ekvation G.7.

$$\dot{m}_e = C_d A_E \sqrt{2\rho_g \left(-\Delta P_l + (\rho_a - \rho_g)g(H_E - z) \right)} \text{ [kg/s]} \quad \text{Ekvation G.7}$$

(Karlsson & Quintiere, 2000)

A-hall

För att rök inte ska sprida sig och blockera utgångarna på läktaren får inte brandgaslagret sänka sig under 8 meter. Med $\dot{Q} = 20 \text{ MW}$, $\rho_a = 1,2 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $T_a = 293 \text{ K}$, $c_p = 1,0 \text{ kJ/kg K}$ ger ekvation G.3:

$$\dot{m} = \dot{m}_e = \dot{m}_p = 0,21 \left(\frac{1,2^2 \cdot 9,81}{1 \cdot 293} \right)^{1/3} \cdot 20000^{1/3} \cdot 8^{5/3} = 66,4 \text{ kg/s}$$

Ekvation G.4 ger tryckskillnaden över öppningarna vid det undre lagret med $C_d = 0,6$ och $A_D = 46 \text{ m}^2$.

$$\Delta P_l = \frac{66,4^2}{2 \cdot 1,2(0,6 \cdot 46)^2} = 2,4 \text{ Pa}$$

Temperaturen i brandgaslagret beräknas med ekvation G.5. Med $A_W = 2420 \text{ m}^2$ och $h = 0,033 \text{ kW/m}^2\text{K}$ fås:

$$T_g = 293 + \frac{20000}{1 \cdot 66,39 + 0,033 \cdot 2420} = 418,7 \text{ K}$$

Densiteten ges av ekvation G.6.

$$\rho_g = \frac{353}{418,7} = 0,84 \text{ kg/m}^3$$

Slutligen beräknas A_E med ekvation G.7. H_E är satt till 13 m.

$$A_E = \frac{66,39}{0,6 \cdot \sqrt{2 \cdot 0,84(-2,4 + (1,2 - 0,84)9,81(13 - 8))}} = 21,8 \text{ m}^2$$

B-hall

Om det börjar brinna i B-hallen och det inte är önskvärt att brandgaserna sprider sig till A-hallen sätts z till 6 meter.

$$\dot{m} = \dot{m}_e = \dot{m}_p = 0,21 \left(\frac{1,2^2 \cdot 9,81}{1 \cdot 293} \right)^{1/3} \cdot 20000^{\frac{1}{3}} \cdot 6^{\frac{5}{3}} = 40,9 \text{ kg/s}$$

Ekvation G.4 ger tryckskillnaden över öppningarna vid det undre lagret med $C_d = 0,6$ och $A_D = 100 \text{ m}^2$.

$$\Delta P_l = \frac{40,9^2}{2 \cdot 1,2(0,6 \cdot 100)^2} = 0,19 \text{ Pa}$$

Temperaturen i brandgaslagret beräknas med ekvation G.5. Med $A_W = 2320 \text{ m}^2$ och $h = 0,033 \text{ kW/m}^2\text{K}$ fås:

$$T_g = 293 + \frac{20000}{1 \cdot 40,9 + 0,033 \cdot 2320} = 452,2 \text{ K}$$

Densiteten ges av ekvation G.6.

$$\rho_g = \frac{353}{452,2} = 0,78 \text{ kg/m}^3$$

Slutligen beräknas A_E med ekvation G.7. H_E är satt till 13 m.

$$A_E = \frac{66,39}{0,6 \cdot \sqrt{2 \cdot 0,78(-0,19 + (1,2 - 0,78)9,81(13 - 6))}} = 10,2 \text{ m}^2$$

Strålning

För att beräkna hur brandgaslagrets temperatur ger upphov till strålning på människor som utrymmer används ekvation G.8. Ekvationen avser strålning från en yta till en punkt. För att vara konservativa används en synfaktor och emissivitet satt till 1.

$$\dot{q}'' = \phi \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4 \text{ [kW/m}^2\text{]} \quad \text{Ekvation G.8}$$

(Drysdale, 2011)

Ur ekvationen löses den temperatur ut som krävs på brandgaslagret för att uppnå den kritiska strålningen 2,5 kW/m². Resultatet jämförs sedan med temperaturerna som redovisas i bilaga F.

$$T = \sqrt[4]{\frac{2500}{1 \cdot 1 \cdot (5,67 \cdot 10^{-8})}} = 458 \text{ K} = 185 \text{ }^\circ\text{C}$$

Bilaga H – Inputfiler FDS

Nedan redovisas inputfilerna för de olika simuleringarna i FDS.

Scenario 1 – Brand i förråd under norra läktaren

```
&HEAD CHID='ihuln2'/
&TIME T_END= 1500.0/

&MISC SURF_DEFAULT='vagg', CO_PRODUCTION=.TRUE., BACKGROUND_SPECIES='CARBON MONOXIDE'/

&MESH ID='AHALL NW', IJK=72,128,80, XB=-57.4,-50.2,5.4,18.2,-2.0,6.0, MPI_PROCESS=0/
&MESH ID='AHALL NE', IJK=72,128,80, XB=-64.6,-57.4,5.4,18.2,-2.0,6.0, MPI_PROCESS=1/
&MESH ID='AHALL NWW', IJK=72,128,80, XB=-50.2,-43.0,5.4,18.2,-2.0,6.0, MPI_PROCESS=2/
&MESH ID='AHALL NEE', IJK=72,128,80, XB=-71.8,-64.6,5.4,18.2,-2.0,6.0, MPI_PROCESS=3/
&MESH ID='AHALL N UPP', IJK=144,64,50, XB=-71.8,-43.0,5.4,18.2,6.0,16.0, MPI_PROCESS=4/
&MESH ID='AHALL NN', IJK=144,32,90, XB=-71.8,-43.0,-1.0,5.4,-2.0,16.0, MPI_PROCESS=5/
&MESH ID='AHALL S', IJK=144,12,90, XB=-71.8,-43.0,18.2,20.6,-2.0,16.0, MPI_PROCESS=6/
&MESH ID='AHALL SS', IJK=72,108,45, XB=-71.8,-43.0,20.6,63.8,-2.0,16.0, MPI_PROCESS=6/
&MESH ID='AHALL W', IJK=60,162,45, XB=-43.0,-19.0,-1.0,63.8,-2.0,16.0, MPI_PROCESS=7/

&SPEC ID='CARBON MONOXIDE'/

&REAC ID='BROTE',
  C=3.4,
  H=6.2,
  O=2.5,
  N=0.0,
  X_O2_LL=0.12,
  HEAT_OF_COMBUSTION=1.7E4,
  CO_YIELD=0.005,
  SOOT_YIELD=0.015/

&MATL ID='CONCRETE',
  FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',
  SPECIFIC_HEAT=1.04,
  CONDUCTIVITY=1.8,
  DENSITY=2280.0/

&SURF ID='vagg',
  RGB=153,153,255,
  MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.2/

&SURF ID='BURNER',
  RGB=255,102,102,
  HRRPUA=692.834,
  TAU_Q=-590.0/

&OBST XB=-56.0,-54.0,12.0,15.0,-1.0,-0.5, SURF_IDS='BURNER','INERT','INERT'/ ELDEN

&PROP ID='Heskestad Ionization', QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION', LENGTH=1.8/

&DEVC ID='SD MITT', PROP_ID='Heskestad Ionization', XYZ=-47.5,4.0,3.0/
&DEVC ID='VF OXYGEN UL', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', XYZ=-62.0,10.0,1.0/
&DEVC ID='SD UL', PROP_ID='Heskestad Ionization', XYZ=-60.0,6.5,2.65/ Detektorn under läktare
```

&BNDF QUANTITY='RADIOMETER'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=-47.0/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=-47.0/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', PBX=-47.0/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBX=-47.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=1.5/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBY=1.5/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', PBY=1.5/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBY=1.5/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=-62.0/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=-62.0/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBX=-62.0/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', PBX=-62.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=-32.0/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=-32.0/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBX=-32.0/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', PBX=-32.0/

Mätpunkter har även placerats på olika höjd vid nödutgångarna samt på planen i A-hallen.

Scenario 3 – Brand på scen

&HEAD CHID='ihpsf2'/

&TIME T_END= 1500.0/

&MISC CO_PRODUCTION=.TRUE./

&MESH ID='BW', IJK=60,60,48, XB=-77.6,-65.6,23.0,35.0,-2.6,7.0, MPI_PROCESS=0/
&MESH ID='BW UPPE', IJK=60,60,48, XB=-77.6,-65.6,23.0,35.0,7.0,16.6, MPI_PROCESS=0/
&MESH ID='BW S', IJK=60,60,48, XB=-77.6,-65.6,35.0,47.0,-2.6,7.0, MPI_PROCESS=1/
&MESH ID='BW S UPPE', IJK=60,60,48, XB=-77.6,-65.6,35.0,47.0,7.0,16.6, MPI_PROCESS=1/
&MESH ID='BW N', IJK=60,60,48, XB=-77.6,-65.6,11.0,23.0,-2.6,7.0, MPI_PROCESS=2/
&MESH ID='BW N UPPE', IJK=60,60,48, XB=-77.6,-65.6,11.0,23.0,7.0,16.6, MPI_PROCESS=2/
&MESH ID='BW NN', IJK=60,60,48, XB=-77.6,-65.6,-1.0,11.0,-2.6,7.0, MPI_PROCESS=3/
&MESH ID='BW NN UPPE', IJK=60,60,48, XB=-77.6,-65.6,-1.0,11.0,7.0,16.6, MPI_PROCESS=3/
&MESH ID='BW SS', IJK=60,80,48, XB=-77.6,-65.6,47.0,63.0,-2.6,7.0, MPI_PROCESS=4/
&MESH ID='BW SS UPPE', IJK=60,80,48, XB=-77.6,-65.6,47.0,63.0,7.0,16.6, MPI_PROCESS=5/
&MESH ID='BE', IJK=32,160,24, XB=-90.4,-77.6,-1.0,63.0,-2.6,7.0, MPI_PROCESS=6/
&MESH ID='BE UPPE', IJK=32,160,24, XB=-90.4,-77.6,-1.0,63.0,7.0,16.6, MPI_PROCESS=6/
&MESH ID='AE', IJK=36,160,24, XB=-65.6,-51.2,-1.0,63.0,-2.6,7.0, MPI_PROCESS=7/
&MESH ID='AW', IJK=40,80,24, XB=-51.2,-19.2,-1.0,63.0,-2.6,16.6, MPI_PROCESS=7/
&MESH ID='AE UPPE', IJK=36,160,24, XB=-65.6,-51.2,-1.0,63.0,7.0,16.6, MPI_PROCESS=7/

&REAC ID='ELD',

FYI='Wood <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2007/W66.pdf>,
C=3.4,
H=6.2,
O=2.5,
N=0.0,
X_O2_LL=0.12,
HEAT_OF_COMBUSTION=1.7E4,
CO_YIELD=0.005,
SOOT_YIELD=0.015/ Scen med trä

&REAC ID='ELD',

FYI=' http://nashaucheba.ru/docs/7/6284/conv_1/file1.pdf,
C=3.4,
H=6.2,
O=2.5,
N=0.0,
X_O2_LL=0.12,
HEAT_OF_COMBUSTION=1.7E4,
CO_YIELD=0.0075,
SOOT_YIELD=0.023/ Scen med plast

&MATL ID='CONCRETE',

FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',
SPECIFIC_HEAT=1.04,
CONDUCTIVITY=1.8,
DENSITY=2280.0/

&SURF ID='vagg',

RGB=153,153,255,
MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
THICKNESS(1)=0.2/

&SURF ID='BURNER',
RGB=153,0,0,
HRRPUA=2012.5,
TAU_Q=-652.0/

&OBST XB=-74.0,-72.0,27.5,32.5,0.0,0.1, SURF_IDS='BURNER','INERT','INERT'/ ELDEN B-HALL
&OBST XB=-69.5,-67.5,27.5,32.5,-1.0,0.0, SURF_IDS='BURNER','INERT','INERT'/ ELDEN A-HALL

&BNDF QUANTITY='RADIOMETER'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=-47.0/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=-47.0/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', PBX=-47.0/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBX=-47.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=-62.0/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=-62.0/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBX=-62.0/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', PBX=-62.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=-32.0/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=-32.0/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBX=-32.0/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', PBX=-32.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=1.5/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=1.5/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', PBX=1.5/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBX=1.5/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=30/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=30/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', PBX=30/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBX=30/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=58/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=58/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', PBX=58/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBX=58/

Mätpunkter har även placerats på olika höjd vid nödutgångarna samt på plan i A-hallen.

Scenario 7 – Brand i museet

&HEAD CHID='ihut1'/

&TIME T_END=1200.0/

&MISC SURF_DEFAULT='vagg', CO_PRODUCTION=.TRUE., BACKGROUND_SPECIES='CARBON MONOXIDE'/

&MESH ID='TRAPPEN NERE', IJK=120,64,36, XB=-21.0,-9.0,54.0,60.4,0.0,3.6/

&MESH ID='TRAPPEN UPPE', IJK=120,64,36, XB=-21.0,-9.0,54.0,60.4,3.6,7.2/

&MESH ID='NEDAN TRAPP', IJK=48,32,36, XB=-9.0,0.6,54.0,60.4,0.0,7.2/

&MESH ID='PRISPALL', IJK=108,64,24, XB=-21.0,0.6,41.2,54.0,0.0,4.8/

&MESH ID='VD TILL PALL', IJK=54,18,12, XB=-21.0,0.6,34.0,41.2,0.0,4.8/

&MESH ID='VD AHALL IHM', IJK=108,40,24, XB=-21.0,0.6,26.0,34.0,0.0,4.8/

&MESH ID='FOAJE', IJK=54,50,12, XB=-21.0,0.6,6.0,26.0,0.0,4.8/

&MESH ID='FOAJE TRAPP', IJK=54,15,18, XB=-21.0,0.6,0.0,6.0,0.0,7.2/

&SPEC ID='CARBON MONOXIDE'/

&REAC ID='ELD',

FYI='Wood <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2007/W66.pdf>,

C=3.4,

H=6.2,

O=2.5,

N=0.0,

X_O2_LL=0.12,

HEAT_OF_COMBUSTION=1.7E4,

CO_YIELD=0.005,

SOOT_YIELD=0.015/

&PROP ID='Heskestad Ionization', QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION', LENGTH=1.8/

&MATL ID='CONCRETE',

FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',

SPECIFIC_HEAT=1.04,

CONDUCTIVITY=1.8,

DENSITY=2280.0/

&SURF ID='vagg',

RGB=153,153,255,

MATL_ID(1,1)='CONCRETE',

MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,

THICKNESS(1)=0.2/

&SURF ID='BURNER',

RGB=255,102,102,

HRRPUA=1268.41,

TAU_Q=-402.0/

&OBST XB=-14.0,-12.0,56.5,59.5,0.0,0.25, SURF_IDS='BURNER','INERT','INERT'/ ELDEN

&DEVC ID='SYRET', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='oxygen', XYZ=-16.0,59.1397,1.375/

&DEVC ID='SDUPPETRAPP', PROP_ID='Heskestad Ionization', XYZ=-19.0,57.0,6.75/

&DEVC ID='SDNERETRAPP', PROP_ID='Heskestad Ionization', XYZ=-7.0,57.0,3.95/

&DEVC ID='SD_OPENING_AHALL', PROP_ID='Heskestad Ionization', XYZ=-12.0,31.0,3.95/

&BNDF QUANTITY='RADIOMETER'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=57.0/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon dioxide', PBY=57.0/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBY=57.0/
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='carbon monoxide', PBY=57.0/

Mätpunkter har även placerats på olika höjd i trappan samt vid vikedörren.

