



LUNDS
UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

BRANDTEKNISK RISKVÄRDERING AV ROSVALLA NYKÖPING EVENTCENTER

Malin Hanson, Stefan Karlquist,
Glenn Marklund & Jack Rohrstock



Lund, 2013

Rapport 9443

Avdelningen för Brandteknik och
Riskhantering, Lunds Tekniska
Högskola, Lunds Universitet

Department of Fire Safety
Engineering and Systems Safety,
Lund University

Brandteknisk riskvärdering av Rosvalla Nyköping Eventcenter

Malin Hanson
Stefan Karlquist
Glenn Marklund
Jack Rohrstock

Lund 2013

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

9443 © Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2013

Titel/ Title

Brandteknisk riskvärdering av Rosvalla Nyköping Eventcenter
Fire Safety Evaluation of Rosvalla Nyköping Eventcenter

Antal sidor/ Number of pages

174

Tabeller/ Tables

30

Figurer/ Figures

130

Språk/ Language

Svenska / Swedish

Bilder

Fotografierna är tagna med tillstånd under platsbesöket.

Författare/ Authors

Malin Hanson, Stefan Karlquist, Glenn Marklund, Jack Rohrstock

Nyckelord/ Keywords

Brandteknisk riskvärdering, utrymning, idrottsanläggning, kritiska förhållanden, CFAST, FDS, Simulex, Rosvalla, Rosvalla Nyköping Eventcenter, ishall, konsert, mässa, dold **brand**, deterministisk

Fire safety evaluation, evacuation, sports center, stadium, critical conditions, CFAST, FDS, Simulex, Rosvalla, Rosvalla Nyköping Eventcenter, concert, ice arena, hidden fire, exhibition, deterministic

Abstract

An evaluation of occupant safety in case of a fire has been made for Rosvalla Nyköping Eventcenter as a part of the educational programme of Fire Protection Engineering at Lund University. The condition for occupant safety was that evacuation could be done under safe conditions. A deterministic approach has been applied during the project, which means qualitative and quantitative discussions have been made throughout the entire report. The method that has been used to evaluate if evacuation is safe or not, is based on qualitative scenario analysis. The three chosen scenarios were composed by models, which in turn made it possible to calculate the required safe egress time (RSET) and compare it to the available safe egress time (ASET). If the result became $RSET < ASET$ it was declared a safe evacuation. The conclusions turned out to be that the existing fire protection wasn't good enough and a few changes have been suggested. All the proposals passed the validation tests.

Avdelningen för Brandteknik
och Riskhantering
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet
Box 118
221 00 Lund
brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60
Telefax: 046 - 222 46 12

Department of Fire Safety Engineering
and Systems Safety
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund, Sweden
brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +4946 - 222 73 60
Fax: +4646 - 222 46 12

Sammanfattning

Rapporten behandlar objektet Rosvalla Nyköping Eventcenter där upp till 12 000 personer kan huseras samtidigt. Den är framtagen som en del i undervisningen på brandingenjörsutbildningen vid Lunds Tekniska Högskola och syftar till att ge studenterna praktisk användning och knyta samman de kunskaper som erhållits under utbildningen. Syftet tillgodosågs genom en värdering av personsäkerheten och utrymningsmöjligheterna på objektet i händelse av brand.

Målet med rapporten var att säkerställa en tillfredställande utrymningssituation i händelse av brand genom kontroller av det befintliga brandskyddet och i de fall det inte var tillräckligt gavs förslag på åtgärder som löste utrymningsproblematiken. Slutsatsen som drogs av utredningen var att det befintliga brandskyddet inte var tillräckligt och ett antal åtgärdsförslag presenteras.

Genomgående tillämpades ett deterministiskt angreppssätt, det vill säga undersökningar med punktvärden som representerade värsta troliga och därmed dimensionerande scenario. Anledningen var att det inte fanns tillräckligt detaljerad statistik och information om fördelningar tillgänglig kring de ingående variablerna. Osäkerheterna som det deterministiska angreppssättet mynnade ut i fångades in med hjälp av känslighetsanalyser. Vidare fördes såväl kvalitativa som kvantitativa undersökningar och resonemang. Metoden som användes byggde till stora delar på en så kallad scenarioanalys där möjliga brandscenarier identifierades och de värsta troliga valdes ut och analyserades vidare. För att möjliggöra undersökningarna av scenarierna användes och byggdes modeller för att kvantitativt och vetenskapligt beskriva dem. I slutändan jämfördes krävd utrymningstid (RSET) och tillgänglig utrymningstid (ASET), och då $RSET < ASET$ ansågs tillfredställande utrymning vara möjlig. Då det befintliga brandskyddet inte ansågs vara tillräckligt, enligt undersökningarna, togs följande åtgärdsförslag fram. Validering visar att de var tillräckliga.

Åtgärder som *skall* genomföras

- Installera detektionssystem där det inte finns i dagsläget
- Automatisera brandgasluckorna i Lilla ishallen
- Använda brandvakter och följ tydliga organisatoriska rutiner när detektionssystemet är avstängt

Åtgärder som *bör* genomföras

- Ta bort kravallstaketet i Entréhallen
- Vidare utredning av utrymningsmöjligheterna då nybyggnationen färdigställts
- Tydliggöra ansvaret för brandskyddet
- Förbättra det systematiska brandskyddsarbetet
- Göra utrymningsvägarna mer tilltalande
- Se över rutinerna för brandgasluckorna
- Se över placering av skyltning till handbrandsläckare
- Undvika brännbart material i eller i anslutning till utrymningsvägar
- Se över utrymningsplaner så att de är uppdaterade
- Täta genomföringar i brandcellsgränser
- Göra det möjligt att enkelt stänga av detektionssystemet sektionsvis
- Installera larmknappar
- Vidare utredning av beständigheten av byggnadens bärande konstruktioner i händelse av brand

Författarnas tack

Författarna vill rikta ett stort tack för handledning och stöd i olika delar av arbetet till följande personer.

Erik Almgren, Konsult, Bengt Dahlgren Brand & Risk AB. För värdefulla kommentarer och synpunkter på rapporten.

Stefan Blom, Brandinspektör, Sörmlandskustens Räddningstjänst. För ett välorganiserat platsbesök och svar på frågor.

Karl Fridolf, Doktorand, Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola. För enastående handledande från början till slut.

Martin Haase, Arenachef, Rosvalla Nyköping Eventcenter. För ett välorganiserat platsbesök och svar på frågor.

Smick Hall-Hardgrave, Fotograf, All Round Productions AB. För tillåtelse att använda fotografier.

Curt Hjelm, Sportchef/Arbetsledare, Rosvalla Nyköping Eventcenter. För ett välorganiserat platsbesök och svar på frågor.

Robert Jönsson, Associate Professor/Universitetslektor, Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola. Examinator och kursansvarig.

Hanna Karlsson Sälgfors, Brandingenjör, Sörmlandskustens Räddningstjänst. För ett välorganiserat platsbesök, svar på frågor samt värdefulla kommentarer och synpunkter på rapporten.

Daniel Nilsson, Associate Professor/Universitetslektor, Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola. För värdefull hjälp under arbetets gång.

Opponentgruppen bestående av Marika Andersson, Emma Ingmarsson, Stefan Karlsson och Ida Pettersson. För värdefulla kommentarer och synpunkter på rapporten.

Cedrik Persson, Konsult, Bengt Dahlgren Brand & Risk AB. För värdefulla kommentarer och synpunkter på rapporten.

Maria Spring, Fotograf, PR & Media Leasing AB. För tillåtelse att använda fotografier.

Mikael Stålbrand, Vaktmästare, Rosvalla Nyköping Eventcenter. För ett välorganiserat platsbesök och svar på frågor.

Patrick van Hees, Professor, Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola. För stöd kring frågor rörande brandspridning.

Nomenklatur

A_D	Krävd area på öppningarna under brandgaslagret [m^2]
A_E	Arean på brandgasluckorna [m^2]
A_w	Arean för de väggar som är i kontakt med brandgaserna [m^2]
C_d	Flödeskoefficient [-]
c_p	Omgivningens specifika värmekapacitet [$kJ/(kgK)$]
d	Diametern på branden [m]
D^*	Karaktäristisk branddiameterdiameter [m]
dx	Cellens karaktäristiska sidlängd i FDS [m]
g	Tyngdaccelerationen [m/s^2]
h	Höjden från golvet upp till brandgaslagret [m]
H	Rummets höjd [m]
H_E	Lokalens höjd [m]
L	Rummets längd [m]
t	Tiden sedan brandstart [s]
\dot{m}	Massflödet brandgaser som branden ger upphov till [kg/s]
T_∞	Omgivningens temperatur [K], [$^\circ C$]
T_a	Omgivningens temperatur [K], [$^\circ C$]
T_g	Brandgasernas temperatur [K], [$^\circ C$]
T_o	Omgivningens temperatur [K], [$^\circ C$]
u_o	Hastigheten på brandgaserna i mitten av plymen [m/s]
u_{max}	Brandgasernas hastighet längs taket [m/s]
$\dot{V}_{fläkt}$	Fläktens krävda kapacitet [m^3/s]
\dot{q}''	Brandens strålningsintensitet [kW/m^2]
\dot{Q}	Brandens effektutveckling [kW]
r	Sträckan längs taket [m]
R	Avståndet mellan flamman och objektet som träffas av strålningen [m]
W	Rummets bredd [m]
z	Nivån där brandgaserna vill undersökas [m]
z_0	Virtuell källa [m]
α	Brandens tillväxtfaktor [kW/s^2]
θ	Vinkel mellan branden och objektet som träffas av strålningen [$^\circ$]
ΔP_f	Tryckdifferensen genom öppningen under brandgaslagret [Pa]
χ	Andel strålning som avges från flamman [-]
ρ_∞	Omgivningens densitet [kg/m^3]
ρ_a	Omgivningens densitet [kg/m^3]
ρ_g	Brandgasernas densitet [kg/m^3]

Förkortningar

AB	Aktiebolag
ASET	Available Safe Egress Time, tillgänglig utrymningstid
BBR	Boverkets byggregler
BBRAD	Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd
CFAST	Consolidated Fire and Smoke Transport Model
EFD	Enclosure Fire Dynamics
FDS	Fire Dynamics Simulator
FTX	Från- och tilluftssystem med värmeåtervinning
KB	Kommanditbolag
LSO	Lagen (2003:778) om skydd mot olyckor
MDF	Medium Fibre Density
MSB	Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap
NIST	National Institute of Standards and Technology
Rosvalla	Rosvalla Nyköping Eventcenter
RSET	Required Safe Egress Time, krävd utrymningstid
SBA	Systematiskt brandskyddsarbete
SRVFS	Statens räddningsverks författningssamling

Innehållsförteckning

1 Inledning.....	1
2 Objektsbeskrivning.....	7
3 Metod	23
4 Identifiering av brandscenarier.....	33
5 Brand i utrymningsväg	37
6 Brand under mässa	51
7 Brand under konsert	65
8 Diskussion	77
9 Sammanställning av åtgärdsförslag.....	81
10. Litteraturförteckning	83
Bilaga A Brandcellsindelning	87
Bilaga B Ventilationsritningar.....	89
Bilaga C Teori om använda datorprogram	91
Bilaga D Identifierade brandscenarier.....	95
Bilaga E Statistik gällande bränder i Idrottsanläggningar	113
Bilaga F Detaljerad beskrivning av valda brandscenarier	115
Bilaga G FDS	127
Bilaga H Förflyttningstid.....	151
Bilaga J CFAST.....	169
Bilaga K Validering av detektionstid i Stora ishallen	173

1 Inledning

I detta kapitel beskrivs bakgrunden till rapporten, vilka lagar och föreskrifter som ligger till grund för bedömningar, syftet och målet med rapporten samt den följda arbetsgången.

Rapporten genomfördes i kursen Brandteknisk riskvärdering VBR054 som ges för tredjeårsstudenter på brandingenjörsutbildningen vid Lunds Tekniska Högskola. Den var, tillsammans med en muntlig presentation av arbetet, den huvudsakliga examinerande uppgiften i kursen. Arbetet med rapporten genomfördes i grupp och pågick under hela vårterminen 2013. För handledning fanns en doktorand vid Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, externa kontakter vid Sörmlandskustens Räddningstjänst samt kontaktpersoner vid objektet. Arbetet syftade till att öka förståelsen för brandtekniska modeller av verkligheten samt knyta ihop, sammanfatta och få praktisk användning av kunskaperna som erhållits under de kurser som hittills getts under brandingenjörsutbildningen.

1.1 Bakgrund

Objektet i rapporten är Rosvalla Nyköping Eventcenter, vidare i rapporten kallat "Rosvalla". Första delen byggdes år 1982, men byggdes senare ut och stod 2003 färdigt i sin nuvarande form. Rosvalla omfattar i dagsläget två ishallar, en multihall, lokaler för utställningar, en bowlinghall samt föreningslokaler med bland annat plats för kampsport, fäktning och bordtennis. Ytterligare en sporthall är under uppbyggnad och förväntas stå klar hösten 2014. Förutom de idrottsliga evenemangen som hålls på Rosvalla så anordnas även mässor och konserter. Under dessa görs förändringar av den dagliga verksamheten, som oftast leder till en ökning av brandbelastningen. I so mliga fall innebär det även att stora delar av det automatiska detektionssystemet stängs av.

Sörmlandskustens räddningstjänsts intresse har legat i att utvärdera hur en utrymningssituation på Rosvalla skulle kunna te sig i händelse av brand, vilket är i enighet med kursplanen och det pedagogiska syftet för undervisningen i kursen *Brandteknisk riskvärdering*. Vidare skall även ett allmänt utlåtande kring det befintliga brandskyddet och dess användning göras.

1.2 Syfte

Syftet med rapporten var att få praktisk användning av och knyta samman de kunskaper som erhållits under utbildningen genom en värdering av utrymningssituationen och personsäkerheten i Rosvalla Nyköping Eventcenter i händelse av brand. Vidare syftade arbetet till att utveckla färdigheten att använda, analysera och kritiskt granska modeller av verkligheten, det vill säga att vidga variationen av angreppssätt och öka förmågan att lösa problem.

1.3 Mål

Målet med rapporten var att undersöka huruvida det brandtekniska skyddet på Rosvalla tillgodosåg behoven för en säker utrymning vid händelse av brand. Om det brandtekniska skyddet inte tillgodosåg behoven var målet att kunna ge adekvata förslag på åtgärder som förbättrade det befintliga brandskyddet.

1.4 Lagar och föreskrifter

Nedan följer viktiga lagar och föreskrifter som rapporten tar hänsyn till.

1.4.1 Boverkets byggregler – BBR

Boverkets byggregler (BBR) är en samling byggregler som syftar till att de lagar och föreskrifter som finns för nybyggande skall kunna följas genom hela byggprocessen. BBR ser också till så att byggnader efter renovering håller den standard de skall enligt lag, till exempel med avseende på brandskyddet. Efter renovering eller ändring av byggnad skall brandskyddet vara likadant som för en nybyggnation vid aktuell tid.

I BBR kapitel 5 behandlas krav på brandskyddet i byggnader rörande exempelvis möjlighet till utrymning vid brand (BBR 5:3), skydd mot uppkomst av brand (BBR 5:4), brandspridning (BBR 5:5 och 5:6), möjlighet till räddningsinsats (BBR 5:7) och krav på brandskydd vid ändring av byggnader (BBR 5:8). Kraven i BBR studerades och kontrollerades på Rosvalla, såväl under platsbesöket som i det efterföljande arbetet. Dock bör det nämnas att då byggnaderna uppfördes gällde en tidigare version av BBR och således kan inte krav utifrån de nya reglerna ställas på byggnaden.

Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd (BBRAD) är ett komplement till flera lagar, däribland BBR, som används vid analytisk dimensionering. (Svensson, 2011)

1.4.2 Lagen om skydd mot olyckor – LSO

Lagen (2003:778) om skydd mot olyckor (LSO) reglerar bland annat den enskildes, kommunens och statens skyldighet vid alla skeenden vid olycka, det vill säga både förebyggande och uppföljning. Det ställs krav vid nyttjande av byggnader och kompletterar extremfallen som BBR inte täcker in vad gäller regler och föreskrifter om brandskyddsdimensionering. Med extrema fall menas exempelvis byggnader där stora mängder brandfarlig vara hanteras.

Enligt LSO 2 kap. 2§ är det ägaren alternativt nyttjanderättshavaren som skall upprätthålla ett skäligt brandskydd. Om det är nyttjanderättshavaren som har ansvaret och om det är flera nyttjanderättshavare i olika delar av byggnaden bör det tydligt framgå i kontraktet vem som ansvarar för angränsande utrymmen såsom toaletter, utrymningsvägar och ventilationsrum.

1.4.4 Systematiskt brandskyddsarbete – SBA

Ett systematiskt brandskyddsarbete (SBA), allmänt råd SRVFS 2004:3 där räddningstjänst och förebyggande åtgärder enligt lagen om skydd mot olyckor beskrivs (Söderberg, 2004), är ett sätt att kontrollera att den brandtekniska utrustningen fungerar som det är tänkt och som den är dimensionerad att göra i driftsskedet. Enligt 2 kap. 2 § Lagen (2003:778) om skydd mot olyckor vilar ansvaret för att detta sker på fastighetsägaren och nyttjanderättshavaren. Enligt SRVFS 2004:3 bör följande dokumentation ingå i det systematiska brandskyddsarbetet (Söderberg, 2004).

- Generell beskrivning av byggnaden
- Generell beskrivning av verksamheten och dess risker
- Ansvarsfördelning för brandskyddet
- Beskrivning av tekniska brandskyddsåtgärder

- Förutsättningarna för att med egen personal och med hjälp av räddningstjänsten utföra en akut insats i byggnaden/verksamheten
- Plan för utbildning och övning, med uppgifter om vilka som ska övas/utbildas, typ av övningar/utbildning och hur ofta de ska ske
- Genomförda kontroller av brandskyddsåtgärder
- Genomförd utbildning och övning
- Rutiner för information till hantverkare, besökare med flera
- Tillstånd för hantering av brandfarlig eller explosiva varor och andra tillstånd som rör brandskyddet eller beroende av brandskyddet bör komplettera dokumentationen
- Genomförda och planerade förändringar i organisationen, byggnaden eller verksamheten och som påverkar brandskyddet bör framgå av dokumentationen
- Revision av dokumentationen

1.5 Arbetsgång

Nedan i Figur 1 syns en illustrativ beskrivning av arbetsgången som följdes under projektet. Vid analysen av brandskyddet och utrymningssituationen på Rosvalla användes deterministiska modeller. Anledningen var att det inte fanns tillräckligt detaljerad statistik och information om fördelningar tillgänglig kring de ingående variablerna. Osäkerheterna som det deterministiska angreppssättet mynnade ut i fångades in med hjälp av känslighetsanalyser.

Rapporten har ett semikvantitativt angreppssätt i form av olika handberäkningsmodeller och datorsimuleringar – CFAST, FDS och Simulex. Däremot fördes även kvalitativa resonemang med stöd från studier som är utförda i liknande modeller som på Rosvalla.

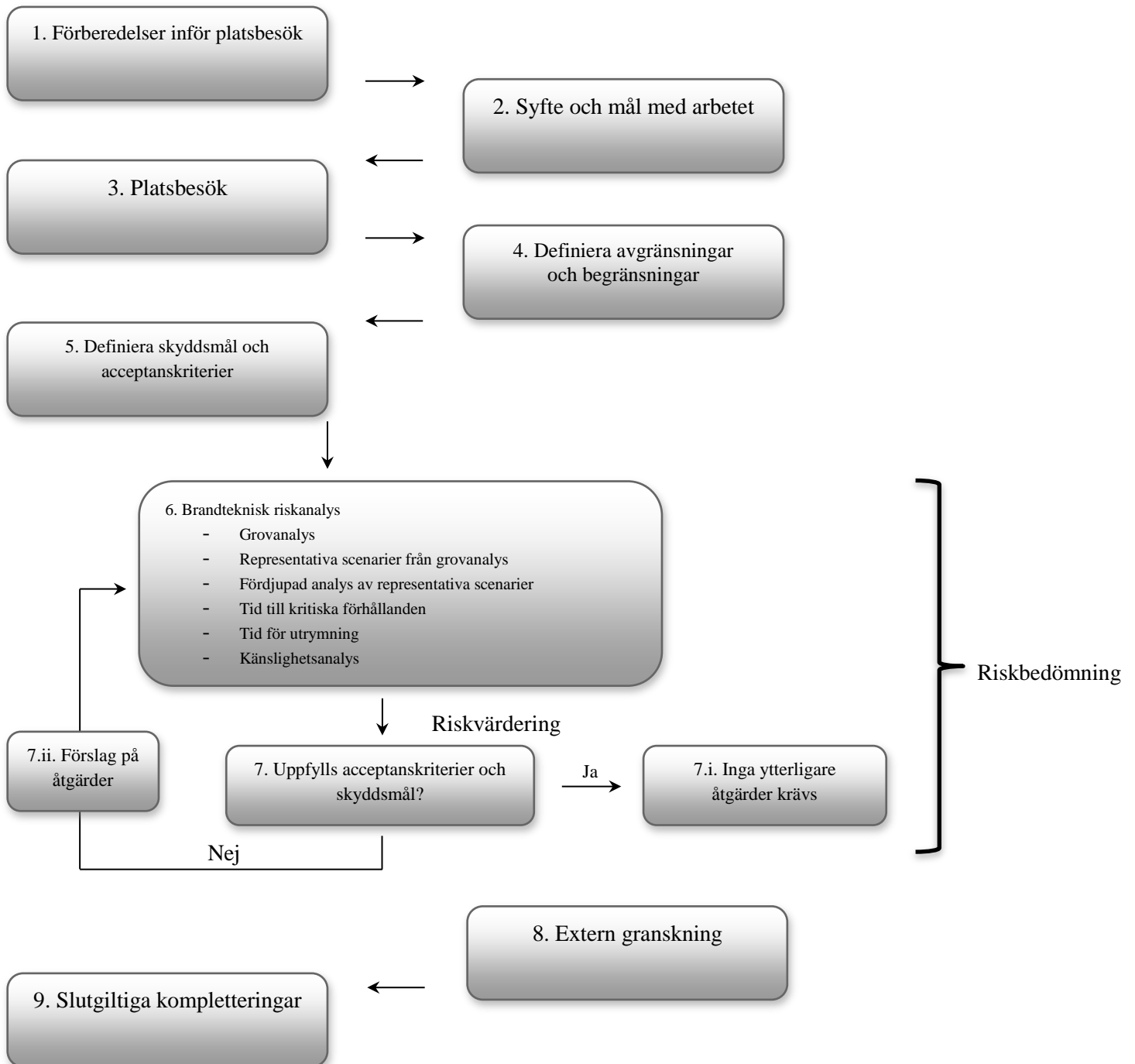
Inledningsvis genomfördes förberedelser inför platsbesöket där tidigare brandtekniska utredningar, ritningar, räddningstjänstens material, väsentlig statistik och litteratur studerades. Under hela arbetsprocessen hölls möten med handledaren från Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering vid Lunds Tekniska Högskola. I ett tidigt skede upprättades en grov tidsplan för arbetet, som gjorde det möjligt att bedöma hur arbetet fortskred.

I samband med det inledande arbetet bestämdes arbetets syfte och mål. Platsbesöket på Rosvalla Nyköping Eventcenter ägde rum fredagen den 8 februari 2013 tillsammans med handledarna från såväl Brandteknik som räddningstjänsten samt representanter från Rosvalla. Besöket inleddes med en presentation av räddningstjänsten, möte med de verksamhetsansvariga på objektet och avslutades med rundvandring. Under rundvandringen erhöles en översiktlig bild av anläggningen. Fortlöpande under dagen togs fotografier och en mängd frågor ställdes till de ansvariga på Rosvalla – exempelvis rörande deras rutiner vid en utrymningssituation och deras systematiska brandskyddsarbete. Med hjälp av informationen från förstudierna av objektet, informationen som erhöles under platsbesöket, diskussioner med ansvariga på Rosvalla och handledarna bestämdes arbetets avgränsningar. Därefter definierades skydds målet och acceptanskriterierna. En mer detaljerad beskrivning av arbetsmetodiken följer senare i rapporten i Avsnitt 3 Metod.

Nästa steg i arbetsprocessen var den brandtekniska riskbedömningen. Den inleddes med en grovanalys då möjliga brandscenarier identifierades – se Avsnitt 4 Identifiering av brandscenarier. De möjliga brandscenarierna jämfördes sinsemellan med fokus på sannolikhet och konsekvens. Sannolikheten bedömdes utifrån tidigare olycksstatistik, samtal med handledare samt personal på Rosvalla och placerades på en skala 1-3. Konsekvensen rangordnades också 1-3 genom att respektive scenario

jämfördes med liknande händelser som ägt rum tidigare samt med hjälp av egna bedömningar. För att åskådliggöra rangordningen av brandscenerierna fördes samtliga scenarier in i en så kallad riskmatris med sannolikheten på ena axeln och konsekvensen på andra, se Avsnitt 4 Identifiering av brandscenerier, varefter de tre värsta tänkbara scenarierna i händelse av brand valdes ut för vidare studier och analys. De representativa scenarierna skulle vara representativa i den bemärkelsen att de täckte in alla identifierade brandscenerier som togs fram genom grovanalysen. Tack vare att de värsta troliga representativa brandscenerierna valdes ut var lösningarna konservativa och om acceptanskriterierna uppfylldes för de utvalda scenarierna, så antogs det att sannolikheten var stor att de skulle göra det även för resterande scenarier. De vidare studierna bestod exempelvis av simuleringar för att bestämma tid till kritiska förhållanden och tid för utrymning – se Avsnitt 5-7. Varje scenario avslutades med en känslighetsanalys av de ingående parametrarna samt diskussion och verifiering av de åtgärdsförslag som presenterades. Åtgärdsförslagen delades in i åtgärder som skall respektive bör genomföras för att uppfylla acceptanskriterierna och därigenom skyddsmålet. I de fall där skyddsmålet inte uppfylldes togs åtgärder fram som skall genomföras för att uppfylla skyddsmålet och i annat fall togs åtgärdsförslag fram som borde genomföras för att förbättra utrymningsituationen på objektet.

Arbetsprocessen avslutades med att utkastet granskades av opponentgruppen och handledarna från räddningstjänsten samt Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering som gav sina kommentarer på rapporten, varpå den första revideringen genomfördes. Tisdagen den 7 maj lämnades rapporten till tryck och den 20 maj hölls en muntlig presentation i samband med vilken opponenter kunde ge sina synpunkter på projektet. Avslutningsvis gjordes en sista revidering med de slutgiltiga kompletteringarna och därefter publicerades rapporten på Avdelningen för Brandteknik och Riskhanterings hemsida.



Figur 1. Illustration av arbetsgången som tillämpades under projektet (Illustration: Glenn Marklund, 2013).

2 Objektsbeskrivning

I detta kapitel beskrivs objektet som utvärderades. Bland annat förklaras objektets fysiska delar och lokaler, dess ägande och förvaltning, ventilationssystemet, det befintliga brandskyddet och tillgängligheten för räddningstjänsten.

Rosvalla Nyköping Eventcenter är en anläggning för många olika idrotter samt en plats för mässor och konserter. Den är belägen i Nyköping, lättåtkomlig från E4:an cirka 10 mil sydväst om Stockholm. Förutom huvudbyggnaden innehållandes ett antal olika sammanbyggda idrottshallar, så finns även fotbollsplaner, tennisbanor och boulebanor i närheten. Totalt kan ungefär 12 000 personer huseras samtidigt (KB Rosvalla, 2013). Hösten 2014 kommer en ny sporthall för inomhussporter, som handboll och innebandy, att stå färdig. Den kommer att byggas ihop med den befintliga huvudbyggnaden via en ny länk enligt Figur 2 nedan. Den nya sporthallen kommer att innehålla en stor matchhall, två mindre träningshallar samt utrymmen för affärer och restauranger. Figur 2 nedan visar en översiktsbild över huvudbyggnaden som delats in i sektioner. Motsvarande ritning syns i Figur 3, dock är inte de nya byggnaderna G och H med i denna.

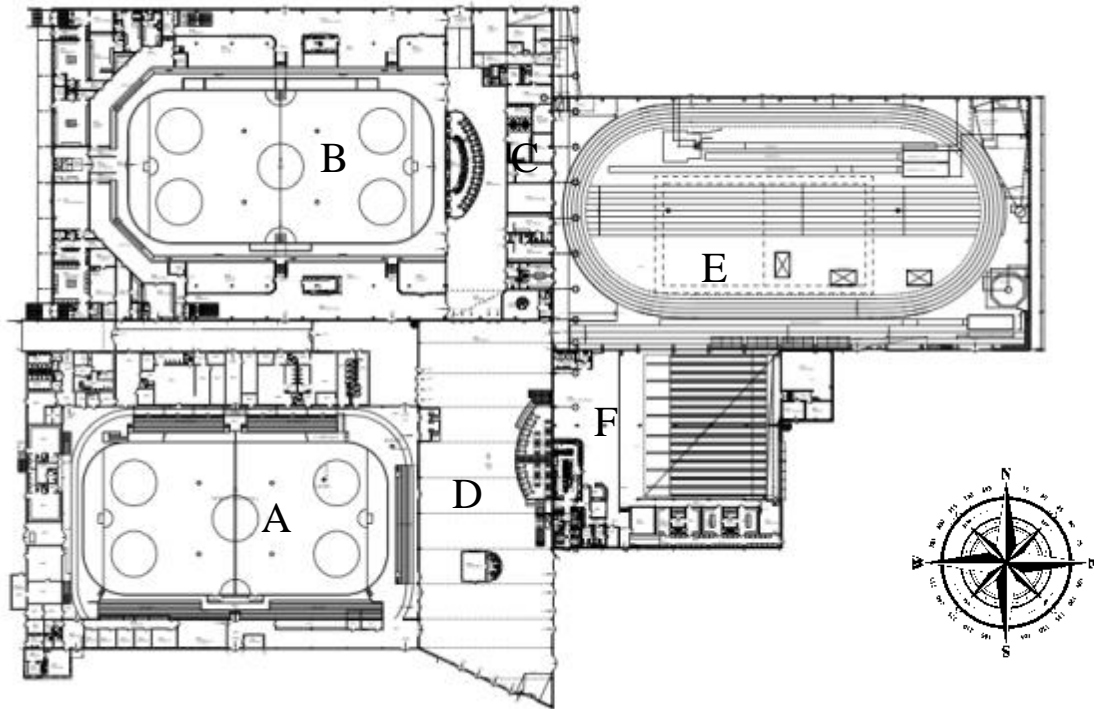
- A. Lilla ishallen
- B. Stora ishallen
- C. Länk mellan Stora ishallen och övriga delar
- D. Entréhallen
- E. Multisporthallen
- F. Föreningslokalen inklusive bowlinghall
- G. Länken mellan Nya hallen och Entréhallen
- H. Nya hallen



Figur 2. Grafisk framställning av Rosvalla Nyköping Eventcenter (Pettersson, 2013). A: Lilla ishallen, B: Stora ishallen, C: Länken mellan Stora ishallen och Entréhallen, D: Entréhallen, E: Multisporthallen, F: Bowlinghallen och Föreningslokalen, G: Länken mellan Nya hallen och Entréhallen, H: Nya hallen.

2.1 Huvudbyggnaden

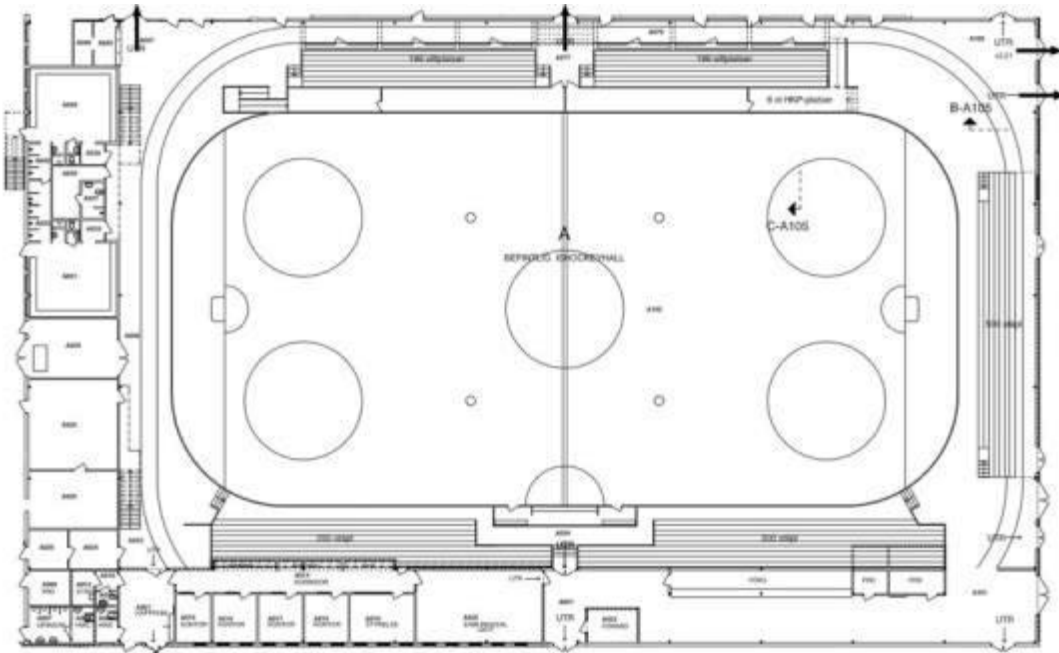
Det är i huvudbyggnaden som de flesta personerna vistas vid ett besök på Rosvalla. Ishockeymatcher, friidrottstävlingar, mässor och konserter är några exempel på aktiviteter i anläggningen som ökar persontätheten. Förutom evenemangen är eventcentret en arbetsplats som ger plats åt vardaglig verksamhet i form av exempelvis vaktmästeri, kontorsplatser och möteslokaler.



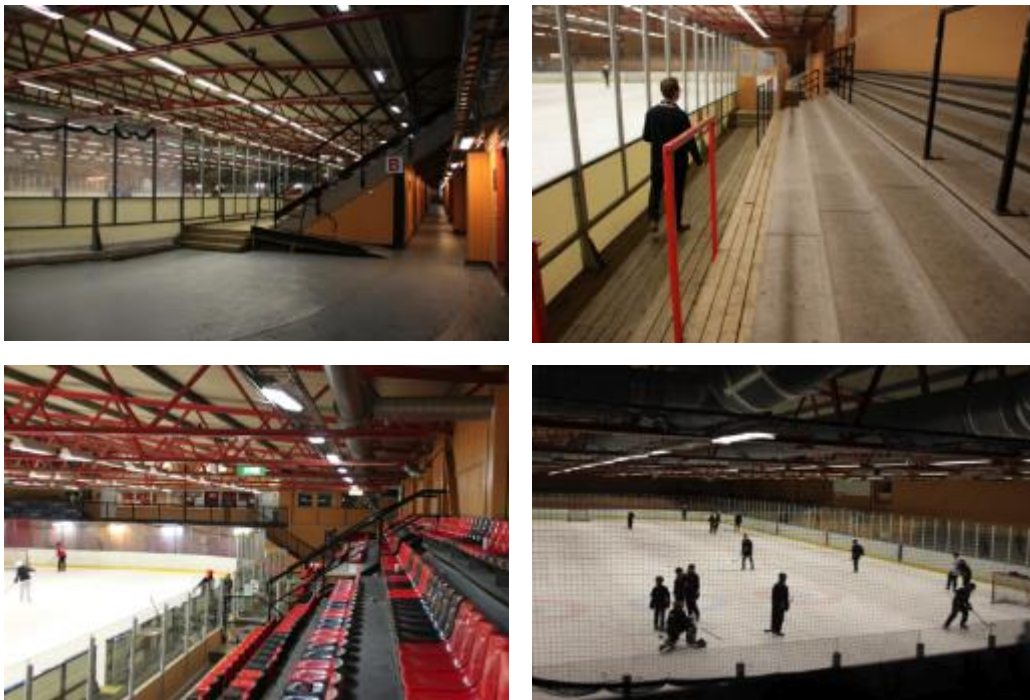
Figur 3. Första våningen av Rosvallas huvudbyggnad där från ovan vänster till höger, Stora ishallen, Länken, Multisporthallen, Lilla ishallen, Entréhallen samt Bowlinghallen (PEAB, 2004).

2.1.1 Lilla ishallen

Den Lilla ishallen byggdes klart 1982 och har sedan dess använts till framförallt ishockey. I Figur 2 är den markerad med bokstaven A och i Figur 3 syns den längst ned till vänster. I dagsläget utgör den även lokal för mässor och utställningar, vid vilka montrar och liknande uppställningar leder till en ökning av mängden brännbart material. Förutom själva samlingslokalen, som har plats för ungefär 1800 personer, så finns det en fritidsgård för skolungdomar i årskurs fyra till nio, omklädningsrum samt förråd. Fritidsgården är belägen på ena kortsidan, på ett entresolplan, och ligger vägg i vägg med ett ventilationsrum. Vid evenemang på Rosvalla anläggs vanligtvis en temporär garderob i Lilla ishallen, i utrymmet som angränsar till Entréhallen. Inne från ishallen finns det två stycken av varandra oberoende utrymningsvägar utöver de som leder till Entréhallen. Ytterligare tre utrymningsvägar finns från ishallen men var vid platsbesöket tagna ur drift, med tillstånd från räddningstjänsten. I Figur 4 visas en översikt över Lilla ishallen och i Figur 5 finns bilder tagna under platsbesöket.



Figur 4. Översikt över Lilla ishallen. Pilarna representerar utrymningsvägar som är i bruk (PEAB, 2004) (Modifierad av: Malin Hanson).

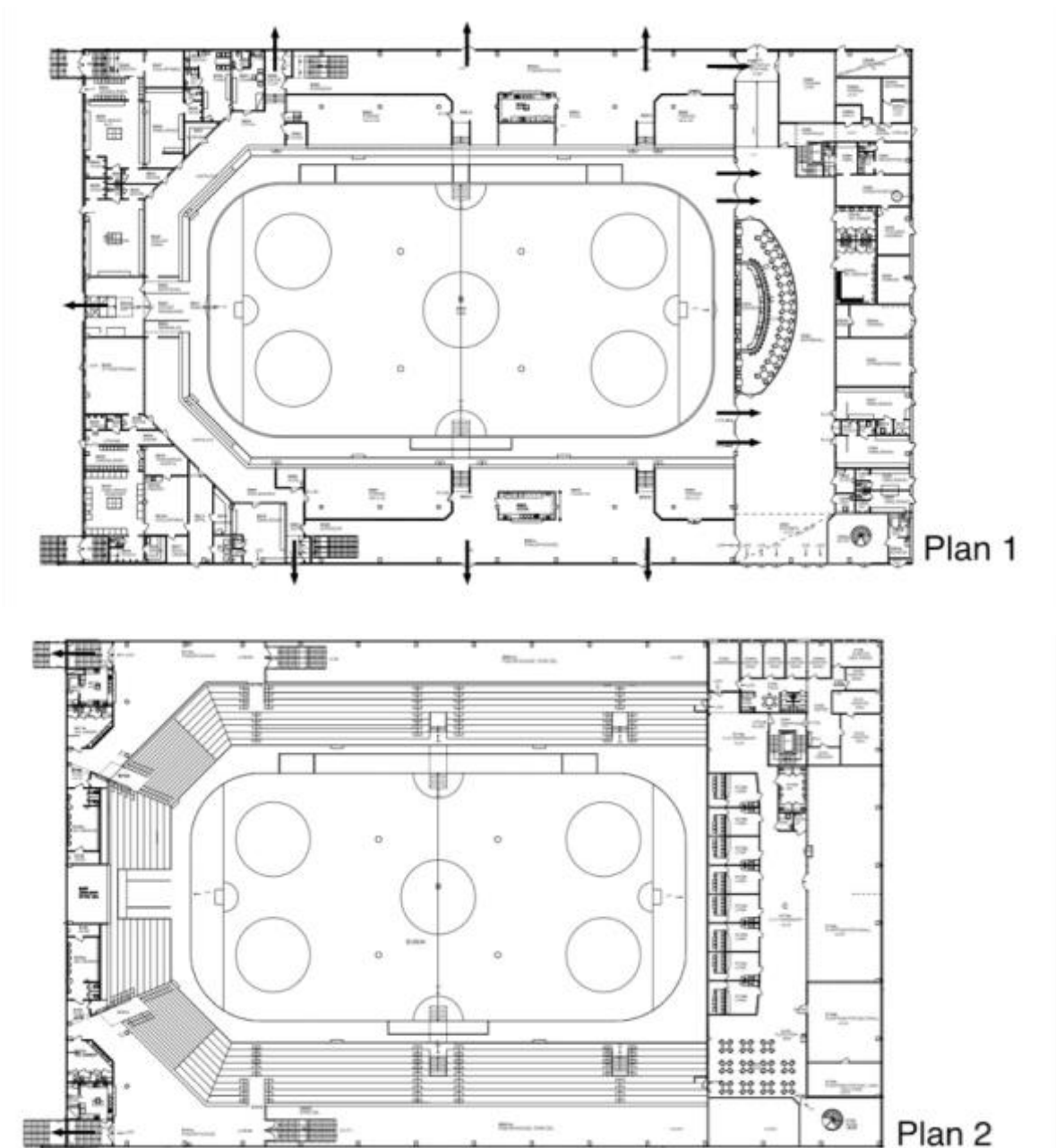


Figur 5. Lilla ishallen. Från ovan vänster till höger: Vid ingången i hallen, ståläktaren (nedre läktaren i Figur 4), sittläktaren (övre läktaren i Figur 4), utsikt från entresolplanet med fritidsgården (Foto: Malin Hanson, 2013).

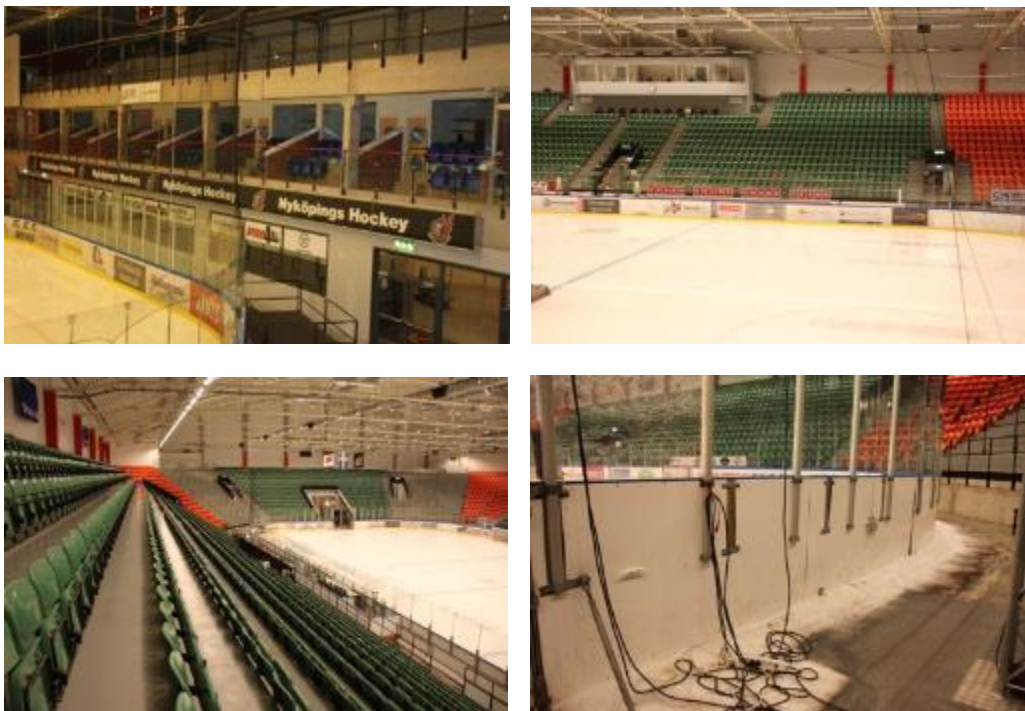
2.1.2 Stora ishallen

Förutom träning och matcher i ishockey, så används Stora ishallen även för konserter. I Figur 2 som illustrerar Rosvalla är Stora ishallen markerad med bokstaven B och i Figur 3 syns den överst till vänster. Hallen invigdes 2003 och har en kapacitet på 5 000 åskådare vid idrottsevenemang, 6 500 vid konserter och ungefär 3 000 vid mässor. Förutom rinkens och läktarens finns där även omklädningsrum,

förråd, pressrum samt en kiosk. Inne från ishallen finns det 20 stycken utrymningsvägar, där några leder direkt ut i det fria medan andra leder till en annan brandcell. I Figur 6 visas en översikt över Stora ishallen och i Figur 7 finns bilder tagna under platsbesöket.



Figur 6. Översikt Stora ishallen. Pilarna representerar utrymningsvägarna ur lokalen på respektive plan (PEAB, 2004) (Modifierad av: Malin Hanson).



Figur 7. Stora ishallen från ovan vänster till höger: sittläktare med speakerbås (övre läktaren i Figur 6), VIP-avdelningen (till höger i Figur 6), rinken vid ismaskinsrummet (till vänster i Figur 6), sittläktare (nedan i Figur 6) och stålläktaren (vänster i Figur 6) (Foto: Malin Hanson, 2013).

2.1.3 Länken mellan Stora ishallen och Entréhallen

Länken mellan Stora ishallen och Entréhallen är i Figur 2 markerad med bokstaven C och i Figur 3 ses den överst i mitten. På bottenvåningen i Länken finns en affär som säljer diverse idrottsutrustning. I övrigt utgör den endast en passage till och från övriga delar i anläggningen. Vägg i vägg med Länken finns det förråd och omklädningsrum som hör till Multisporthallen. En våning upp finns det kontor för de som jobbar med det administrativa på anläggningen samt utrymme för konferenser. I Länken finns det utrymningsmöjligheter i två riktningar, den ena går via Entréhallen och den andra direkt ut i det fria. Utrymningen som sker där igenom är främst tänkt för besökare från Stora ishallen. I Figur 8 finns bilder tagna under platsbesöket.

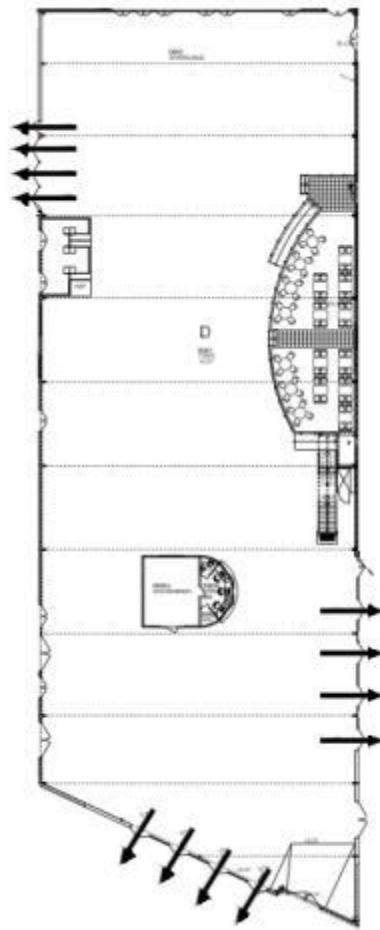


Figur 8. Länken från vänster till höger: passage mellan Stora ishallen och Entréhallen med affären till höger, inuti affären (Foto: Malin Hanson, 2013).

2.1.4 Entréhallen

Entréhallen är i Figur 2 markerad med bokstaven D och i Figur 3 är den belägen nedan i mitten. Förutom att det är i Entréhallen som de flesta besökare kommer in när de ska besöka Rosvalla så är det även en viktig knutpunkt för huvudbyggnaden. Utrymmet nyttjas vid utställningar samt mässor och är ungefär 1 700 m² stort. Vid evenemang i andra delar av Rosvalla upprättas vanligtvis en temporär garderob i Entréhallen. I dagsläget går det att utrymma i tre olika riktningar, dock var den ena blockerad med ett kravallstaket vid platsbesöket. Figur 10 visar hur det såg ut.

I framtiden när den nya sporthallen är klar kommer Entréhallen att byggas ihop med den via en ny länk. Hur det ser ut i dagsläget i Entréhallen ses i Figur 10. I Figur 9 visas en översikt över Entréhallen.



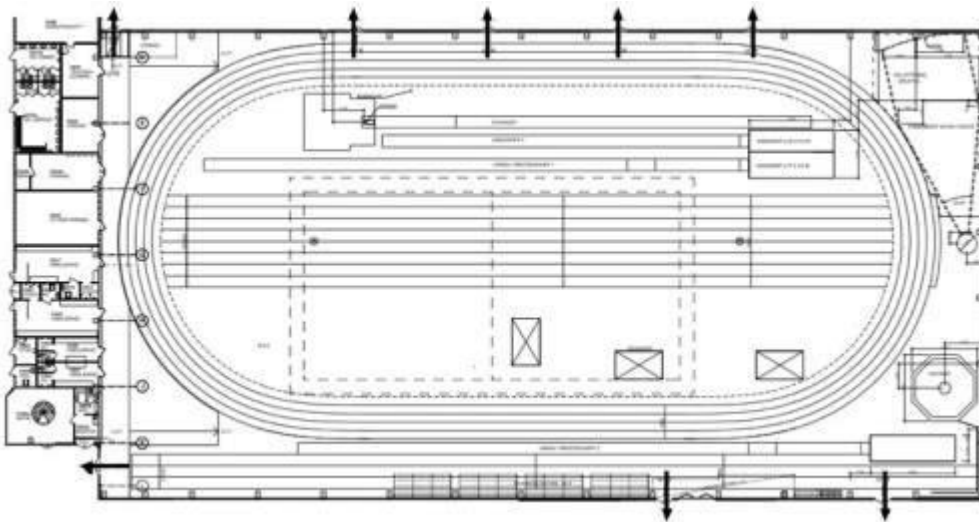
Figur 9. Översikt Entréhallen. Pilarna representerar utrymningsvägarna från lokalen (PEAB, 2004). Till höger syns restaurangdelen som tillhör bowlinghallen och längst ner i bild är den blockerade utrymningsvägen placerad. Längst ner till höger är huvudentrén. (Modifierad av: Malin Hanson).



Figur 10. Den vänstra bilden visar bowlinghallens restaurangdel och i bakgrunden syns biljettluckan. I den högra bilden syns den blockerade utrymningsvägen. (Foto: Malin Hanson)

2.1.5 Multisporthallen

Multisporthallen är en stor idrottshall på ungefär 4 600 m² med utrymme för framförallt friidrott, handboll och innebandy. I Figur 2 är den markerad med bokstaven E och i Figur 3 syns den högst upp till höger. Vid idrottsevenemang är publikkapaciteten ungefär 1 000, varav 200 sittandes. När hallen används till utställningar och mässor beräknas ungefär 2 000 personer få plats och på samma sätt som i Lilla och Stora ishallen ökar då mängden brännbart material. Det finns sju stycken av varandra oberoende utrymningsvägar förutom den som leder till Entréhallen. I Figur 11 visas en översikt över Multisporthallen och i Figur 12 finns bilder tagna under platsbesöket.



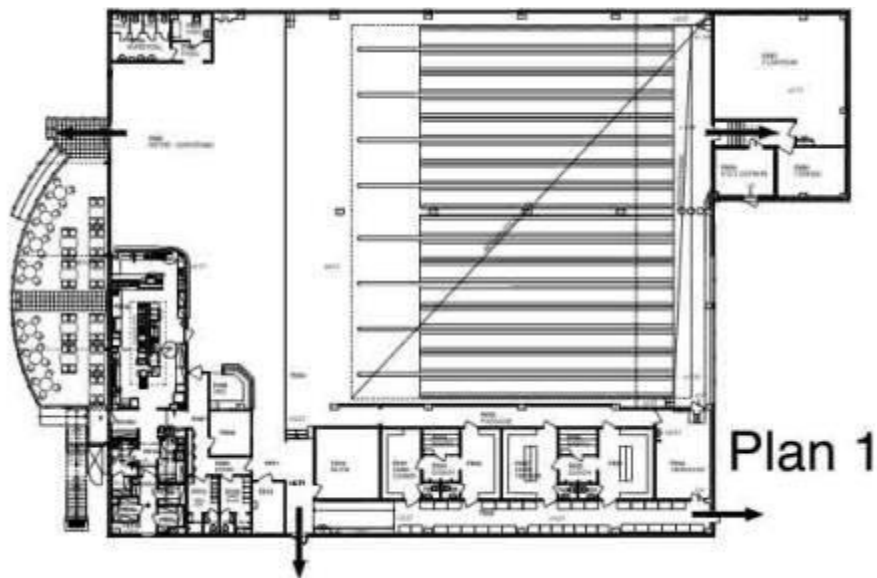
Figur 11. Översikt Multisporthallen. Pilarna representerar utrymningsvägar från lokalen (PEAB, 2004) (Modifierad av: Malin Hanson).



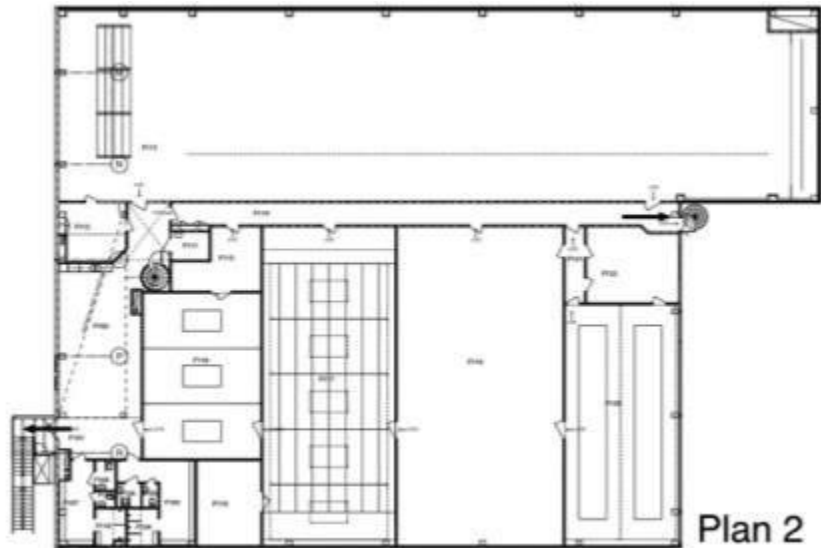
Figur 12. Entréhallen från vänster till höger: bild tagen ifrån nedan vänstra hörnet Figur 11 sett, bild tagen från övre vänstra hörnet Figur 11 sett (Foto: Malin Hanson, 2013).

2.1.6 Bowlinghallen och Föreningslokalen

I Figur 2 markeras Bowlinghallen och Föreningslokalen av bokstaven F och i Figur 3 ses dem längst ned till höger. Bowlinghallen är placerad på bottenplan och föreningshallen är belägen på andra våningen. I bowlinghallen finns förutom bowlingbanorna en tillhörande restaurang. Själva bowlingområdet är anpassat för 200 och restaurangen för 100 personer. Utrymningsvägar finns i två olika riktningar förutom den som går via Entréhallen. I föreningshallen huseras allt från tjejgym och luftgevärsskyttehall till fåktningslokal. Det finns förutom utrymningsvägen via Entréhallen ytterligare en utrymningsväg via en spiraltrappa. I Figur 13 och Figur 14 visas en översikt över Bowlinghallen och Föreningshallen, i Figur 15 finns bilder tagna under platsbesöket.



Figur 13. Översikt bowlinghallen. Pilarna representerar utrymningsvägarna från lokalen (PEAB, 2004) (Modifierad av: Malin Hanson).



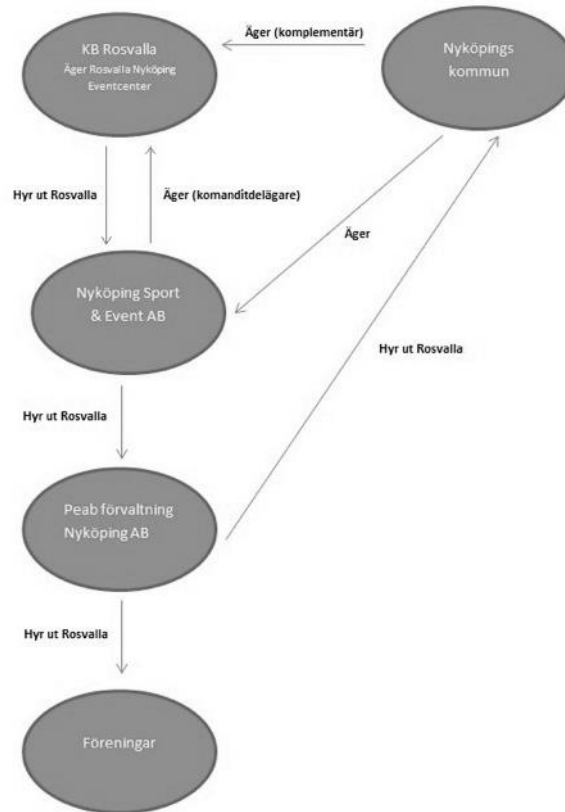
Figur 14. Översikt Föreningshallen. Pilarna representerar utrymningsvägarna från lokalen (PEAB, 2004) (Modifierad av: Malin Hanson).



Figur 15. Föreningshallen, från vänster till höger: utrymningsvägen i slutet av korridoren i föreningshallen (höger i Figur 11), korridoren som leder till de olika föreningarna (Foto: Malin Hanson).

2.2 Ägande och förvaltning

Ägandet och uthyrningen av Rosvalla beskrivs med hjälp av Figur 16. I grova drag är det Kommanditbolaget Rosvalla som är ägare av Rosvalla Nyköping Eventcenter, men det är PEAB som har hand om förvaltning och uthyrning. Vad det gäller brandskyddsfrågor, så är det enligt arenachefen föreningarna som hyr lokalerna som ansvarar för säkerheten. Det är dock enligt LSO 2 kap. 2§ ägaren alternativt nyttjanderättshavaren som skall upprätthålla ett skäligen brandskydd.



Figur 16. Illustration av ägande- och förvaltningsförhållandena på Rosvalla (Illustration: Jack Rohrstock, 2013).

2.3 Ventilationssystemet

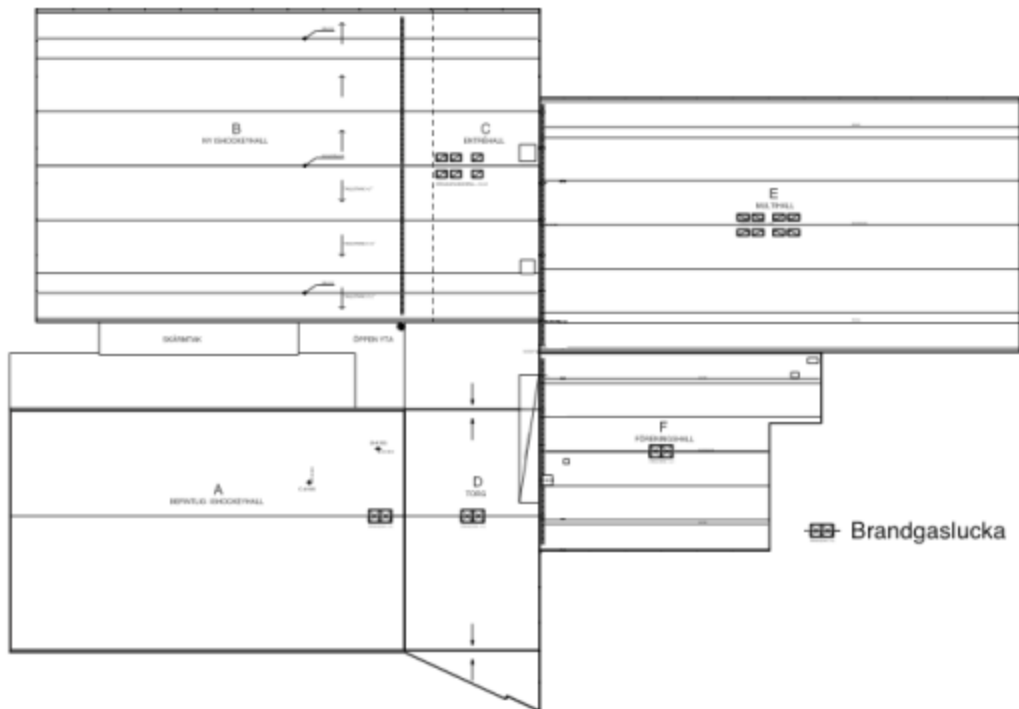
Rosvallas ventilationssystem består av mekanisk från- och tilluft, ett så kallat FTX system. Systemet innebär också att frånluften tar tillvara på värme genom avluftning. Tillgängliga ritningar behandlar Stora ishallen, Multisporthallen och Entréhallen. Gemensamt för samtliga är att de har varsitt fläktrum som försörjer de separata ventilationssystemen. Ritningar saknas över ventilationen i Lilla ishallen. Eftersom Lilla ishallen förr var fristående antas ventilationen vara separat från de övriga brandcellerna även där.

Vid platsbesöket sades att ventilationssystemet stängs av automatiskt i händelse av brand, för att på så sätt minimera risken för brand- och brandgasspridning till de andra brandcellerna än den berörda via ventilationssystemet. Av ritningarna framgår inga lösningar för automatisk avstängning av ventilation eftersom det saknas temperaturgivare och rökdetektorer som skulle kunna detektera en brand. Dock finns det en skylt som visar att någon form av detektion faktiskt existerar, se Figur 17.



Figur 17. Enligt skyltning i ventilationsrummet i Stora ishallen är ventilationssystemet utrustat med rökdetektorer. (Foto: Malin Hanson, 2013).

Samtliga av de större lokalerna har brandgasventilation i form av brandgasluckor i taket. Brandgasluckorna är placerade som Figur 18 visar. I Stora ishallen kan dessutom evakueringsfläktar användas för att driva ut brandgaserna genom luckorna i taket. Brandgasluckorna öppnas manuellt med hjälp av tryckknappar som manövreras vid centralappraten. Det finns även möjlighet att styra Stora ishallens brandgasluckor från speakerbåset. Det är dock bara räddningstjänsten som skulle använda luckorna i praktiken om det skulle behövas, då personalen på Rosvalla inte är säkra på när de bör användas enligt informationen som erhöles under platsbesöket.



Figur 18. Översikt av brandgasluckornas placering på Rosvalla (PEAB, 2004).

2.4 Befintligt brandskydd

I detta avsnitt behandlas det befintliga brandskyddet indelat efter passiva system, aktiva system, övrigt brandskydd och räddningstjänst.

På Rosvalla har brandskyddet utformats och tillämpats på olika sätt i byggnadens delar. Den största avvikelserna, jämfört med övriga byggnadsdelar, återfinns i Lilla ishallen som är byggd ungefär 20 år före resterande delar. De föreskrifter som finns beskrivna i Svensk Byggnorm 1975, som användes vid bygget av Lilla ishallen, skiljer sig från de som finns beskrivna i Boverkets Byggregler 2002, som tillämpades vid tillbyggnaderna av de andra delarna. Skulle Rosvalla ha byggts idag hade ytterligare nya krav funnits i Boverkets Byggregler 2012. (Boverket, 2011)

På Rosvalla finns ett talat informativt meddelande som lyder ”Brand har utbrutit, var god lämna lokalen genom närmaste utväg”. Det ljuder i samtliga delar av byggnaden då detektionssystemet har upptäckt en brand.

2.4.1 Passiva system

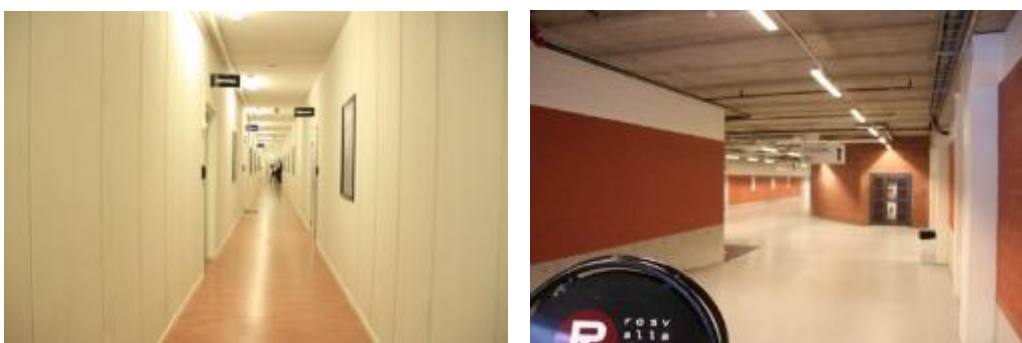
Passiva system är brandtekniska säkerhetssystem som inte aktiveras automatiskt i händelse av brand. Till passiva system räknas exempelvis brandtekniska åtgärder såsom strålningskärmar, brandväggar och brandcellsindelning.

En brandvägg är en vägg som ska begränsa en brand och dess påverkan på en byggnad. Brandväggsklassningen avgör bland annat hur länge den minst kan förväntas motstå branden och varierar beroende på vilken byggnadstyp som det rör sig om, i många fall beroende på vilken typ av verksamhet som äger rum. Brandväggarna utgör tillsammans brandcellsindelningen, där väggarnas brandtekniska klass regleras i BBR som beskrivs i avsnittet om lagar och föreskrifter. (Boverket, 2011)



Figur 19. Översikt av ytskikt. Från ovan vänster till höger: Stora ishallen, Multisporthallen, Lilla ishallen, Entréhallen (Foto: Malin Hanson).

I huvudsak utgörs Rosvallas passiva system av brandcellsindelningen. Förutom att varje hall är en egen brandcell, så är även några mindre utrymmen det, exempelvis sprinklercentralen, vissa förråd och ismaskinsutrymmena. Samtliga brandväggar är klassade som EI-60. I Bilaga A Brandcellsindelning finns en mer detaljerad beskrivning av brandcellsindelningen. Viktigt att ta upp då passiva system diskuteras är val av ytmaterial. I huvudsak har obrännbara material som betong och tegel använts i byggnaden, se Figur 19 och Figur 20. Dock består Lilla ishallens väggar till stor del av trä, och även om de skulle vara brandskyddsmålade så skulle en nybyggnation av liknande byggnad inte godkännas utan vidare med trä som väggytskikt (Persson, et al., 2012).



Figur 20. Översikt av ytskikt. Till vänster syns korridoren i Föreningshallen och till höger syns länken mellan Stora ishallen och Entréhallen (Foto: Malin Hanson).

2.4.2 Aktiva system

För att detektera en brand i ett så tidigt skede som möjligt är ett aktivt system av stor vikt. Aktiva system är brandtekniska säkerhetssystem som automatiskt aktiveras i händelse av brand. Systemet reagerar på brandsignaturer såsom förändring av strålning, gaser, aerosoler, temperatur eller ljud. Upptäckten av den potentiella branden sker alltså automatiskt och är inte beroende av att exempelvis mänskligt agerande. Sprinklersystem, automatiska brandlarm och branddetektorer är exempel på aktiva system. (Nilsson & Holmstedt, 2008)

Ett sprinklersystem består av en pump som via matarledningar förser grenrör och sprinklerhuvuden med vatten och används antingen för att släcka alternativt kontrollera branden (Jensen, 2002). Branddetektorer används för att detektera brand, finns i olika typer och är oftast anslutna till ett brandlarmssystem. Generellt sett fungerar alla detektorer genom att en värme- eller sotpartikelnivå har överskridits (Nilsson & Holmstedt, 2008).

Rosvalla har ett serviceavtal som innebär att Bravida kontrollerar rökdetektorerna ett par gånger om året och byter ut dem vid behov.

I Lilla ishallen finns vattensprinkler längs med ena långsidan under läktaren och i förråden som är lokaliserade där. Dessutom finns det vattensprinkler som skyddar under läktaren på den ena kortsidan, i förrådsutrymmet som finns där. Inget konventionellt detektionssystem återfinns i denna samlingslokal. Figur 21 visar utrymmet under läktaren i Lilla ishallen.



Figur 21. Sprinklat under sittläktaren i Lilla ishallen. (Foto: Malin Hanson, 2013).

Länken mellan Stora ishallen och Entréhallen är försedd med vattensprinkler samt rökdetektorer. Detta gäller även inne i shopen som är belägen där, detta ses i Figur 22. Entréhallen är utrustad med vattensprinkler och rökdetektorer.



Figur 22. Länken. Från vänster till höger: Sprinklat i Länken mellan Stora ishallen och Entréhallen, i affären som finns i Länken är det sprinklat (Foto: Malin Hanson, 2013).

Multisporhallen är försedd med optiska linjerökdetektorer. Detektorerna är dock urkopplade i väntan på besiktning, då de inte fungerat som fastighetsskötaren önskat. Att de inte fungerar är ett återkommande problem, vilket framkom under platsbesöket. I lokalen finns inget aktivt släcksystem.

Detektionssystemet som används i samlingslokalen är optiska linjerökdetektorer, vilka är fästa på kortsidorna. Dock har dem inte fungerat till fastighetsskötarens belåtenhet, varför de har stängts av i väntan på besiktning. Inget aktivt släcksystem finns i lokalen. I Figur 23 visas linjerökdetektorerna och brandgasluckorna i Stora ishallen.

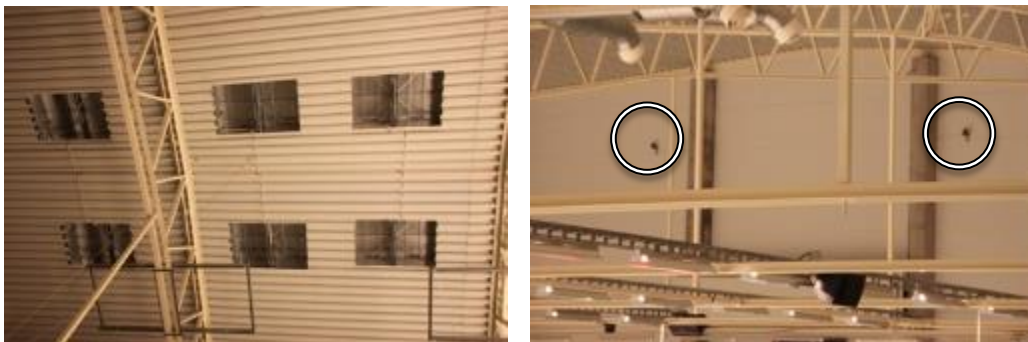
Föreningslokalen, inklusive bowlinghallen, är försedd med rökdetektorer, men saknar aktivt släcksystem.

2.4.3 Övrigt brandskydd

Under denna rubrik diskuteras brandskydd som varken är ett aktivt eller passivt system. Hit hör exempelvis lös brandutrustning som hanteras manuellt, till exempel handbrandsläckare, men även brandgasluckor. Brandgasluckor finns placerade i Lilla ishallen, Entréhallen och i Multisporhallen. Handbrandsläckare finns utplacerade i alla lokaler på Rosvalla.

I Stora ishallen finns brandgasluckor och evakueringsfläktar, för att så effektivt som möjligt kunna få ut brandgaserna som bildas i lokalen vid en brand.

I samtliga lokaler finns handbrandsläckare utplacerade på jämna mellanrum. De återfinns i typerna pulver-, skum- och koldioxidsläckare.



Figur 23. Stora ishallen. Från vänster till höger: brandgasluckorna i taket, linjeröksdetektorerna på ena kortsidan (Foto: Malin Hanson).

2.4.4 Räddningstjänst

Den räddningstjänst som larmas vid ett brandtillbud på Rosvalla är Sörmlandskustens Räddningstjänst. De har en station som är bemannad dygnet runt och belägen ungefär fem kilometer från objektet, vilket innebär att de kan vara på plats inom tio minuter. Räddningstjänsten hjälpte till med att utforma det systematiska brandskyddsarbetet, men nu är de i princip bara i kontakt med varandra när oklarheter uppstår och om personalen på Rosvalla behöver rådfråga brandkunniga på räddningstjänsten.

3 Metod

I detta kapitel beskrivs gjorda avgränsningar och begränsningar, skyddsmålet som mynnar ut i acceptanskriterierna, scenariometodiken, utrymningstiden, säkerhetsmarginalen för tillfredställande utrymning samt hanteringen av osäkerheter. Metoden beskriver de delar av arbetsgången som numreras 4-7 i Figur 1 under Avsnitt 1.5 Arbetsgång.

3.1 Avgränsningar och begränsningar

Fokus i denna rapport låg på utrymning av byggnaden i händelse av brand, det vill säga personsäkerheten. Miljö- och ekonomiska skador har åsidosatts. Rapporten tar alltså inte upp vad som händer efter att alla människor kunnat utrymma på ett tillfredställande sätt. Verifieringen av de brandskyddsförbättrande åtgärdsförslagen prioriterade främst att lösningen förbättrade utrymningssituationen – någon fullständig utvärdering av kostnaderna att upprätta åtgärdsförslagen har inte gjorts. Inga beräkningar utfördes vad gäller påverkan på de bärande konstruktionerna i händelse av brand, utan det förutsattes att en eventuell kollaps av byggnaden skulle ske först efter att utrymningen var avklarad. Vidare gjordes ingen kontroll av befintligt sprinklersystem då det antogs fungera som det skulle på de platser det fanns installerat.

Rapporten behandlar endast huvudbyggnaden av Rosvalla Nyköping Eventcenter, se Avsnitt 2 Objektsbeskrivning. I denna ingår inte exempelvis fotbolls, tennis- och bouleplanerna. Anledningen var att denna del av anläggningen ansågs intressant ur ett utrymningsperspektiv. I huvudbyggnaden gjordes en del avgränsningar och extra fokus lades på den Lilla samt den Stora ishallen. Ur ett utrymningsperspektiv var dessa lokaler mest intressanta av olika anledningar. Den Lilla ishallen var delvis utrustad med sprinkler, men var i huvudsak uppbyggd av trä och annat brännbart material. Dessutom förekom brännbart material som inte var lagrat i förråd. I grovanalysen identifierades tre scenarier i Entréhallen som var intressanta ur brandsynpunkt. Entréhallen var helsprinklad och därför ansågs det vara av större värde att vidare analysera bränderna i Lilla och Stora ishallen. Bränderna i Entréhallen skulle sedermera täckas in av de representativa scenarierna. Den Stora ishallen ansågs intressant främst på grund av sin höga persontäthet. I Multihallen var överblickbarheten god och det fanns många tydliga och lättillgängliga utrymningsvägar som ledde antingen direkt ut i det fria eller till en annan brandcell. Persontätheten var betydligt lägre än i den Stora ishallen, men högre än i den Lilla ishallen. Anledningen till att den Lilla ishallen valdes framför Multihallen var att utrymningen uppskattades vara mer komplex och svårare i den samt att kritiska förhållanden borde uppstå tidigare där. I föreningslokalerna var persontätheten jämförelsevis låg och de som vistades där hade oftast god lokalkännedom och antogs därför känna till närmaste utrymningsväg. Därför togs föreningslokalerna inte med i den brandtekniska utredningen. Specifika avgränsningar för brandscenarierna finns beskrivna för respektive scenario, se Avsnitt 5 Brand i utrymningsväg till och med 7 Brand under konsert, men gemensamt för samtliga scenarier är att byggnaden har antagits bestå under hela utrymningsförloppet. Rapporten bortser från byggnationen av del G och H, se Figur 2 i Avsnitt 2 Objektsbeskrivning.

Under arbetets gång har en rad brandtekniska beräkningar och simuleringar genomförts med en handfull olika ekvationer och datorprogram, vilka besitter en del begränsningar. Den kanske viktigaste begränsningen och iakttagelsen var att alla program och beräkningsmetoder som används endast var modeller av verkligheten – de beskriver inte exakt vad som kommer att ske. För mer konkreta begränsningar med varje program, se Bilaga C Teori om använda datorprogram.

3.2 Skyddsmål

I enighet med vad som beskrivs i arbetsgången inleds den brandtekniska riskanalysen med en så kallad grovanalys där skyddsmålet och acceptanskriterierna definieras.

Vid en utrymningssituation i samband med ett brandtillbud är det primära målet att personerna som vistas i lokalen ska kunna utrymma innan kritiska förhållanden uppstår. Som tidigare nämnts är en avgränsning att byggnadsverket antas bestå oavsett brandscenario och således kommer enbart påverkan från brandgaser att tas i beaktande vid avgörande huruvida personerna utsätts för kritiska förhållanden eller ej. Vad som innebär kritiska förhållanden definieras i Avsnitt 3.2.1

Acceptanskriterier nedan. Skyddsmålet är alltså att ingen av de som vistas på Rosvalla skall utsättas för kritiska förhållanden i händelse av brand.

3.2.1 Acceptanskriterier

Målet är således att inga personer får utsättas för kritiska förhållanden vid en utrymning. Vad det innebär mer konkret går att specificera i ett antal punkter med utgång i vad Boverkets författningssamling 2011 (Svensson, 2011) definierat som kriterier som kan accepteras vid utrymning. För att säker utrymning ska kunna antas ske ska punkt ett eller två samt tre till sex vara uppfyllda.

1. Brandgaslagrets höjd ovanför golvet skall vara mer än $1,6 + 0,1 \cdot \text{rumshöjden}$
2. Sikten två meter ovanför golvet skall överstiga tio meter i lokaler som är större än 100 m^2
3. Temperaturen skall understiga $80 \text{ }^\circ\text{C}$
4. Värmestrålningen skall ej överstiga $2,5 \text{ kW/m}^2$
5. Värmedosen skall vara maximalt 60 kJ/m^2 utöver en strålningsnivå på $1,0 \text{ kW/m}^2$
6. Toxiciteten två meter ovanför golvet skall uppfylla följande värden
 - Kolmonoxidhalten (CO), $< 2000 \text{ ppm}$
 - Koldioxidkoncentrationen (CO_2), $< 5 \%$
 - Syrgaskoncentrationen (O_2), $> 15 \%$

Då ett antal simuleringar i denna rapport använder sig av en tvåzonsmodell samt att koncentrationerna av toxiska ämnen är svår att uppskatta så används endast kriterierna 1, 3 och 4. Eftersom att ingen toxicitet eller siktnedsättning kan inträffa under brandgaslagret i simuleringarna så anses denna förenkling inte påverka resultatet. Acceptanskriterierna för att kunna utföra en säker utrymning blir följande tre punkter som alla måste vara uppfyllda.

- Brandgaslagrets höjd ovanför golvet skall vara mer än $1,6 + 0,1 \cdot \text{rumshöjden}$
- Temperaturen skall understiga $80 \text{ }^\circ\text{C}$
- Värmestrålningen skall ej överstiga $2,5 \text{ kW/m}^2$

3.3 Scenariometodik

Med hjälp av nedanstående frågeställningar identifieras brandtekniska risker på Rosvalla.

- Vilka verksamheter bedrivs i lokalerna? Avvikelser från de normala verksamheterna – mässor till exempel?
- Hur ofta bedrivs verksamheterna?
- Hur många personer vistas normalt sett i lokalerna? Finns det extremfall – till exempel derbyn? Hur stor andel av besökarna går ut i Entréhallen i pauserna?

- Finns det ansamling i lokalerna som skulle kunna leda till ett snabbt brandförlopp under stor effektutveckling?
- Materialval av exempelvis läktare, väggar/tak, stolar, inredning etc.?
- Vad finns det för branddetektionssystem? Hur informeras besökarna i händelse av branddetektion? Hur informeras besökarna i händelse av konstaterad brand? Någon skillnad?
- Vad finns det för möjligheter till begränsning eller släckning av brand i ett tidigt skede?
- Hur ser byggnadernas brandcellsindelning ut?
- Hur ser den befintliga utrymningsplanen ut?
- Hur påverkas utrymningen av läktarmiljön?
- Hur stor är risken för brandgasspridning?
- Vilken utbildning har personalen i frågor rörande brand och säkerhet?
- Hur ser rutinerna ut för kontroll och underhåll av skadebegränsande brandutrustning – till exempel handbrandsläckare, sprinklersystem, detektionssystem?

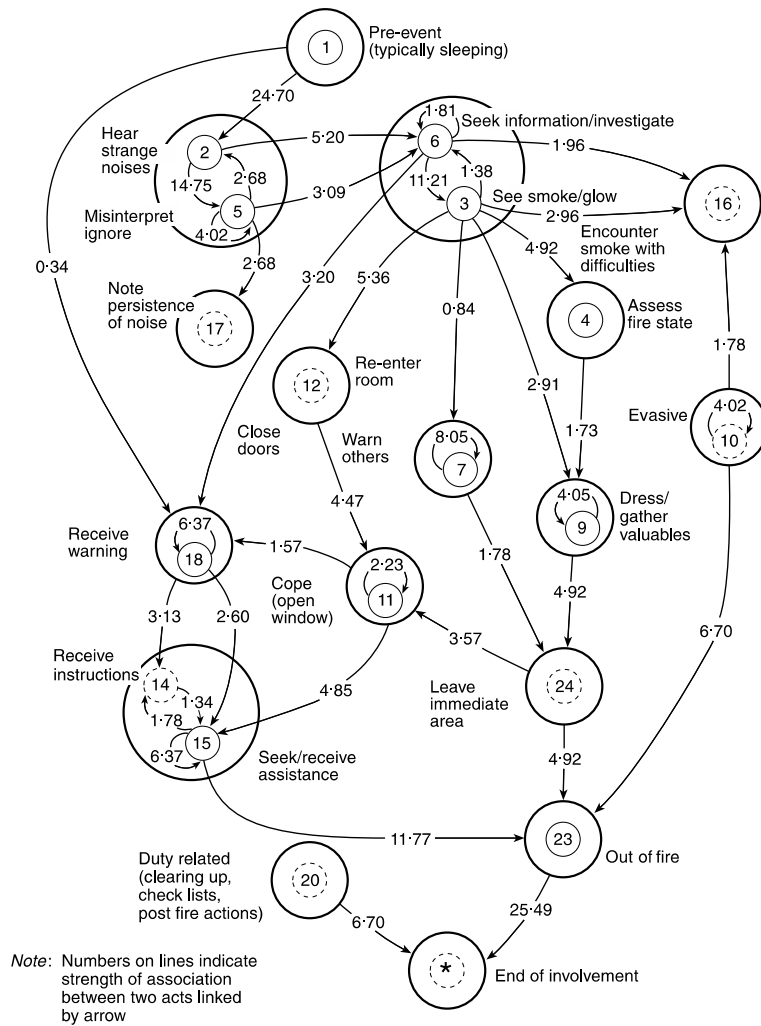
(Davidsson, et al., 2003)

En betydande del av scenarierna identifieras under platsbesöket och resterande i efterhand med den information som erhålls under platsbesöket. Utifrån grovanalysen genomförs systematiska kontroller av samtliga brandscenarier och ett mindre antal representativa scenarier väljs ut. Målet med rationaliseringsprocessen är att i största möjliga grad täcka in samtliga scenarier som kan tänkas uppstå utan att studera samtliga scenarier i detalj.

Metodvalet leder till en noggrannare och mer koncentrerad analys kring tre representativa brandscenarier. Valet av dessa är gjort på ett sådant sätt att de täcker in alla de identifierade scenarierna, vilket ansågs mer effektivt och tidsmässigt försvarbart. Det är inte relevant att studera exempelvis brand i papperskorg i detalj, då detta scenario täcks in av en större brand – se brandscenarioavsnittet.

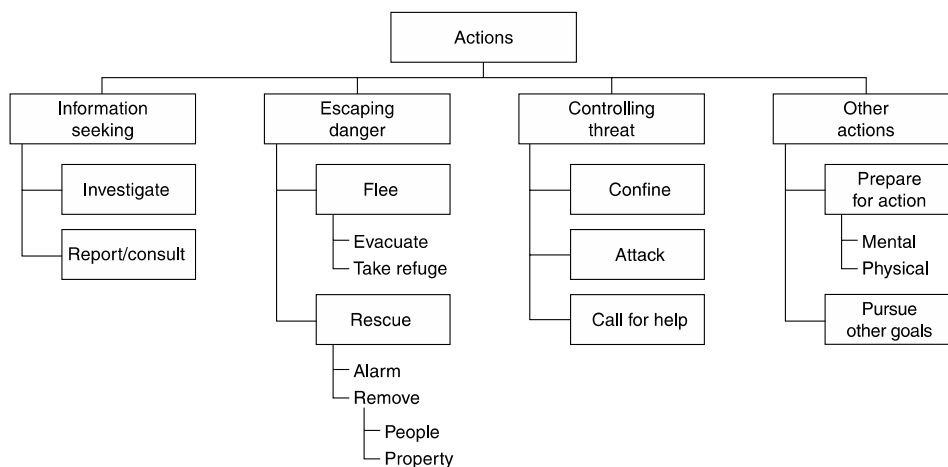
3.4 Utrymningstid

Utrymningstiden är givetvis en individuell tid med naturlig variation och beror på att människor agerar olika i en utrymningssituation i händelse av brand. Syftet med nedanstående figurer är att illustrera hur komplex en utrymningssituation är. Komplexiteten och det faktum att processen i hög grad beror på individen gör det svårt att ta fram en modell för kvantitativ bestämning av utrymningstiden. Figur 24 nedan illustrerar ett exempel på utrymningsförloppet för en individ.



Figur 24. En illustration som syftar till att beskriva hur komplicerad en utrymningsituation kan vara i verkligheten, vilket är orsaken till att det är så svårt att modellera den (DiNenno et al., 2002).

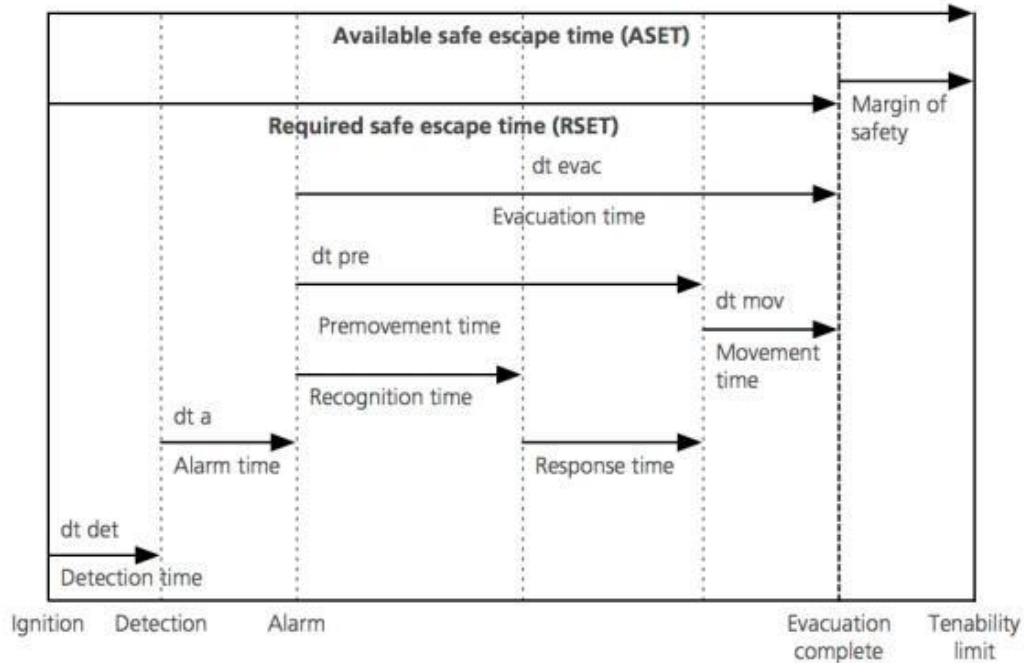
Figur 25 nedan illustrerar vilka olika agerande en individ i en utrymningsituation skulle kunna vidta.



Figur 25. Olika reaktioner vid utrymningsituation i händelse av brand (DiNenno et al., 2002).

Figur 26 nedan beskriver en modell för att kvantitativt kunna beskriva utrymningsprocessen. Det bör beaktas att det är en modell av det verkliga utrymningsförloppet som oftast är betydligt mer invecklat. I verkligheten är de olika faserna i förloppet blandade och utgör inte skilda delar som i figuren nedan. (DiNenno, et al., 2002)

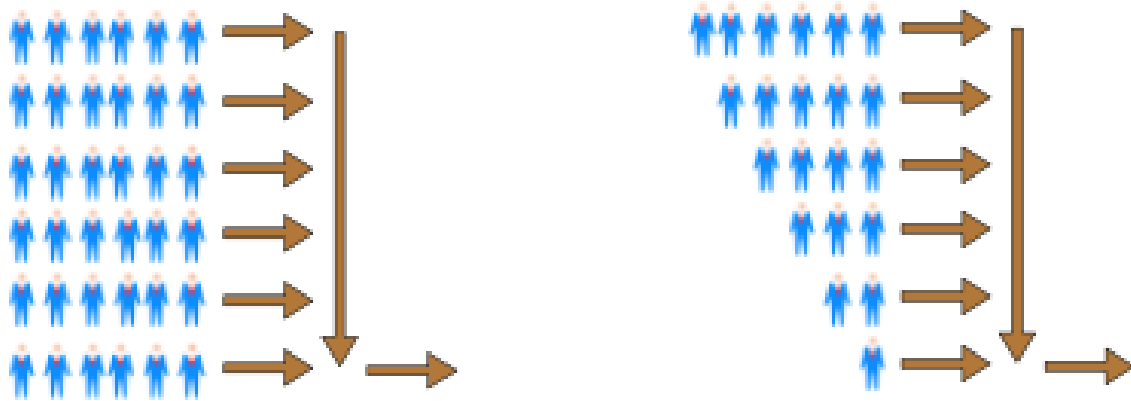
Under Avsnitt 3.4.1.1 Krävs utrymningstid – RSET beskrivs beräkningsmodellen närmare och kopplat till detta arbete.



Figur 26. En modell som kvantitativt skulle kunna beskriva ett utrymningsförlopp i händelse av brand (DiNenno, et al., 2008).

För att minska utrymningstiden är det viktigt att utforma utrymningsvägar på ett så smart sätt som möjligt. Gibson utvecklade Theory of Affordances (Gibson, 1978) och 2003 vidareutvecklade Hartson teorin för att underlätta skapandet av interaktiv design (Hartson, 2003). Hartson gjorde indelningen sensoriska (känna eller se), kognitiva (förståelse), fysiska (användbarhet) och funktionella affordances (uppfyllande av målet). I korta drag innebär teorin att utrymningsvägen skall vara så enkel att se, förstå och använda som möjligt. Sensoriska affordances ökar genom att till exempel använda en annan färg på dörren jämfört med omgivningen, strategiska placeringar av utrymningsskyltar så att de är lätta att se. Studier har dessutom visat att glaspartier som gör det möjligt att se vad som finns på andra sidan dörren inbjuder till utrymning. Ytterligare ett sätt att öka benägenheten att använda alternativa utrymningsvägar är att dörrar automatiskt öppnas i en utrymningsituation. En sådan anordning skulle exempelvis kunna vara kopplad till ett detektionssystem. (Nilsson, 2013)

Det finns studier som visar att utrymning via trappor kan innebära vissa försvårande omständigheter. 2011 skrev Boyce en rapport som menar att personerna högst upp i trappan får möjlighet att utrymma senare än de som befinner sig närmare golvet till följd av motsvarande "blixtlåsprincip" som används vid påfarter inom trafiken. Att personerna högst upp får vänta en längre tid än de längre ner skulle kunna innebära problem ur ett utrymningsperspektiv. Nedanstående figur illustrerar fenomenet. (Boyce, et al., 2011)



Figur 27. Åskådliggörande figur över hur utrymningsförloppet i trappor brukar utveckla (Boyce, et al., 2011).

3.4.1 Säkerhetsmarginal

För var och ett av de dimensionerande scenarierna i denna rapport görs beräkningar och simuleringar av brandförloppen och utrymningarna. För att avgöra huruvida säker utrymning kan ske eller inte används den så kallade egress time line-modellen, då den krävda tiden för säker utrymning, RSET, jämförs med den tillgängliga tiden för säker utrymning, ASET. I simuleringarna av brandförloppen undersöks vid vilken tid kritiska förhållanden uppnås, det vill säga ASET. Med kritiska förhållanden menas att ett eller flera av skadekriterierna inträffar. I utrymningssimuleringarna uppskattas det hur lång tid det tar för människorna i lokalen att ta sig till en säker plats, det vill säga RSET. Genom att jämföra tiderna RSET och ASET fås säkerhetsmarginalen. Om $RSET < ASET$ anses en säker utrymning kunna ske, men om $RSET > ASET$ behövs det någon form av åtgärd för att säkerställa en acceptabel utrymningssituation i händelse av brand.

3.4.1.1 Krävd utrymningstid – RSET

RSET står för required safe egress time, det vill säga den tid som krävs för säker utrymning av en byggnad i händelse av brand och är en modell av utrymningsförloppet. Med hjälp av modellen kan en kvantitativ beskrivning av utrymningstiden göras med hjälp av exempelvis utrymningssimuleringar och handberäkningar för varseblivningstiden, se beskrivning nedan. Utrymningssimuleringarna syftar till att bestämma förberedelse- samt förflyttningstiden och kan utföras i Simulex till exempel. RSET definieras enligt Ekvation 1 nedan.

$$RSET = t_d + t_a + t_o + t_i + t_e \quad (\text{Ekvation 1})$$

<i>RSET</i>	krävd tid för säker utrymning (required safe egress time), det vill säga den tid som erhålls genom exempelvis utrymningssimuleringar i Simulex inklusive beräknad varseblivningstid och förberedelsestid
t_d	detektionstiden, det vill säga tiden från antändning till detektion
t_a	varseblivningstiden, det vill säga tiden från detektion tills personerna som vistas i byggnaden upptäcker eller förstår att det är en brand i byggnaden

t_o	beslutstiden, det vill säga tiden från upptäckt av brand till beslut om agerande tas
t_i	reaktionstiden, det vill säga tiden från beslut om agerade till utrymning påbörjas
t_e	förflyttningstiden, det vill säga tiden från påbörjad utrymning till färdig utrymning av byggnaden

(DiNenno, et al., 2002)

3.4.1.1.1 Detektionstid

Detektionstiden är den tid som förflyter från antändning till detektion av brand sker. Det kan till exempel röra sig om att ett brandlarm ljuder. Saknas detektionssystem utgörs detektionstiden av tiden som förlöper innan personerna i byggnaden ser själva branden, brandgaserna, känner röklukt eller på annat sätt själv detekterar branden. Detektionstiden kan beräknas med hjälp av handberäkningsmodeller eller datorprogram, exempelvis CFAST eller FDS.

3.4.1.1.2 Varseblivningstid

Varseblivningstiden är den tid det tar från detektion tills individen blir varse om att det rör sig om en brand. Är branden synlig blir varseblivningstiden följaktligen kort, men utvecklas branden i ett dolt utrymme blir varseblivningstiden längre. Denna del av utrymningstiden är oftast svår att bestämma och utgör följaktligen en svaghet i egress time line-modellen. Vid exempelvis konsert och urkopplat detektionssystem och åhörarna själva måste detektera och bli varse om branden (såvida brandvakterna inte sköter sitt jobb) kan den tiden variera beroende på var i lokalen personen befinner sig. Bestämningen av varseblivningstiden är oftast resonerande och kvalitativ med stöd av jämförbara studier som gjorts.

3.4.1.1.3 Beslutstid

Beslutstiden är den tid det tar från att branden upptäcks till beslut om agerande tas. Det är under beslutstiden som individen reagerar på brandsignalementen, som exemplifierades ovan, och beslutar huruvida utrymning är nödvändig eller inte. Precis som för varseblivningstiden bestäms beslutstiden kvalitativt och skulle därför kunna innebära en svaghet i egress time line-modellen.

3.4.1.1.4 Reaktionstid

Reaktionstiden är den förflutna tiden från beslut om agerande till utrymning påbörjas. Under reaktionstiden reagerar individen på det fattade beslutet. Den rådande aktiviteten som individen sysselsätter sig med och i vilken konstellation individen befinner sig (social påverkan) har stor inverkan på reaktionstiden. Exempelvis blir ofta reaktionstiden längre om individen sitter på en restaurang och precis har fått in sin beställning. Befinner sig individen dessutom i ett sällskap har grupptricket och iakttagande av hur andra beter sig en stor inverkan. Liksom varseblivnings- och beslutstid bestäms reaktionstid genom kvalitativa resonemang och kan därför också utgöra en svaghet i egress time line-modellen. En faktor som kan påverka förflyttningstiden är det faktum att individer i en utrymningssituation tenderar att ta med personliga ägodelar ut (Canter, et al., 1980).

3.4.1.1.5 Förflyttningstid

Förflyttningstiden är den sista delen i egress time line-modellen och utgör den tid det tar för individen från att utrymning påbörjas till att den avslutas. Utrymningen anses avslutad då individen befinner sig i en annan brandcell eller ute i det fria. Förflyttningstiden kan beräknas med hjälp av datorprogram för utrymningssimulering såsom Steps och Simulex, men även med hjälp av handberäkningsmodeller (Svensson, 2011). Förslagsvis skulle handberäkningsmodellerna kunna nyttjas som komplement till Simulex i de fall där flaskhalsar bildas. Normalt sett är dock förflyttningstid enkel att bestämma relativt de andra termerna i egress time line-modellen.

Den tid det tar att förflytta sig beror på vilka förutsättningar personen som utrymmer har. I simuleringarna kommer en blandad befolkning att väljas, bestående av 40 % män, 40 % kvinnor, 10 % äldre och 10 % barn. De olika gruppernas egenskaper presenteras i Tabell 1 nedan.

Tabell 1. Indata i Simulex gällande egenskaper hos representerade grupper (Integrated Environmental Solutions Limited, u.d.).

Persontyp	Kroppsradi [m]	Gånghastighet [m/s]	Variation gånghastighet [m/s]	Hastighet ned för trappor [m/s]	Hastighet upp för trappor [m/s]
Män	0,27	1,35	+0,2	0,8	0,67
Kvinnor	0,24	1,15	+0,2	0,7	0,57
Äldre	0,25	0,8	+0,3	0,5	0,4
Barn	0,21	0,9	+0,3	0,5	0,45

3.4.1.2 Tillgänglig utrymningstid – ASET

ASET står för available safe egress time, det vill säga den tillgängliga tiden för säker utrymning. Det är alltså den tid som finns innan kritiska förhållanden i byggnaden uppstår, den tid som förflyter innan något av acceptanskriterierna inte längre är uppfyllda – se Avsnitt 3.2.1 Acceptanskriterier. ASET kan erhållas genom handberäkningar alternativt simuleringar i exempelvis programmen CFAST eller FDS. Hur ASET har beräknats i denna rapport framgår ur respektive brandscenario, se Avsnitt 5 Brand i utrymningsväg till och med 7 Brand under konsert. I bilagan finns de använda datorprogrammen och handberäkningsmodellerna beskrivna.

3.5 Hantering av osäkerheter

Riskanalysen behandlas genom en deterministisk approach. Det innebär att stor vikt ligger vid konsekvens vid val av scenarier tillsammans med invägd frekvens, även om frekvensen inte tilläggs lika stor vikt. Beräkningarna utgår ifrån scenarier som klassats som värsta troliga scenarier, vilket gör att resultaten oftast kan beaktas som konservativa. I varje scenario finns en mängd osäkerheter, till exempel brandens effektutveckling, utrymningstid med mera. Osäkerheterna som uppstår vid beräkningarna behandlas genom att göra känslighetsanalyser som belyser vilka parametrar som påverkar slutresultatet mest i de olika fallen.

3.5.1 Osäkerheter kopplade till bristfälliga resurser

Det finns en stor osäkerhet gällande ventilationen i byggnaden då det inte existerade ritningar över hela komplexet utan endast för Stora ishallen, Entréhallen och Multisporhallen.

Objektet besöktes i samband med uppstarten av projektet och på grund av avståndet till objektet har inte något återbesök kunnat göras för att kontrollera mått, brandceller, med mera. Under projektets gång har en god kontakt med främst Sörmlandskustens räddningstjänst och Rosvalla upprätthållits, något som underlättat arbetet, men inte kunnat eliminera osäkerheterna helt.

3.5.2 Osäkerheter kopplade till antaganden och beslut

Under rapportens framtagning har många antaganden och beslut gjorts utan fullständig information. För varje antagande och beslut har osäkerheter funnits vilket gör att osäkerheterna är svåra att hantera. Eftersom riskanalyser ofta är underlag för beslut är det viktigt att personer som ska ta del av analysen, till exempel beslutsfattare, inte misstolkar innehållet så felaktiga beslut tas (Davidsson, et al., 2003). Därför eftersträvas största möjliga transparens genom hela rapporten.

3.5.3 Modellosäkerheter

Metoder, beräkningar och program som använts i rapporten är endast modeller av verkligheten, vilket innebär att de inte tar hänsyn till alla parameterar som kan tänkas påverka förloppen. Bland annat används datorprogrammen CFAST och FDS för att simulera brandförloppen och de har båda sina respektive begränsningar. Datorprogrammet Simulex där förflyttningstiden simuleras innehåller en mängd förenklingar av verkligheten. För närmare beskrivning av datorprogrammen, se Bilaga C Teori om använda datorprogram.

Förutom modellerna ovan som alla är vedertagna inom branschen har även andra modeller använts när de olika effektutvecklingarna tagits fram. Det gäller främst brandspridning inom och mellan olika objekt, till exempel brandspridning i gardin i scenariot Brand under konsert och brandspridning i MDF-skiva i scenariot Brand under mäsas. Brandspridningsmodeller är till en början osäkra och med material där inga försöksdata finns att tillgå är osäkerheterna ännu högre.

3.5.4 Osäkerheter kopplade till indata och parametrar

När utrymningssäkerhet skall analyseras finns det många osäkra parametrar att ta hänsyn till. Antal personer, brandens effektutveckling, människors förberedelse- och varseblivningstid, människors placering i förhållande till utrymningsvägar är bara några av de parametrar som skall uppskattas för att få en tillfredställande riskbild.

De modeller som använts i rapporten är inte optimerade för en spridning av indata, utan är deterministiska. Det innebär att spridningen av osäkerheterna i rapporten måste undersökas på något annat sätt.

För att se hur stor inverkan de ingående parametrarna har på slutresultatet så görs en känslighetsanalys, vilket i rapporten innebär att en parameter i taget varieras. På så sätt kan en bedömning göras huruvida det uppskattade värdet kan anses robust eller ej samt vilka parametrar som kan vara extra intressanta att försöka förbättra ur utrymningssäkerhetssynpunkt ifall kritiska förhållanden uppstår. I de scenarier där kritiska förhållanden uppstår testas mindre konservativa

värden på parametrarna medan det testas mer konservativa värden i de motsatta scenarierna, för att på så sätt få en uppfattning om enbart en mindre förändring hade kunnat resultera i ett annat slutresultat. Om så är fallet bör det tas ställning till ifall ett värsta troligt scenario verkligen valts ut, det vill säga om punktskattningarna faktiskt kan anses vara representativa.

Mängden parametrar som går att variera är många och det finns ingen möjlighet att undersöka alla. Följande parametrar rekommenderas att undersöka närmare då de oftast påverkar resultatet mest (Nystedt, 2011).

- Detektionstiden
- Varseblivningstiden
- Beslutstiden
- Reaktionstiden
- Antal personer i lokalen
- Antal tillgängliga utrymningsvägar
- Brandens effektutveckling
- Brandens tillväxthastighet

Speciellt viktigt är det att utreda parameters betydelse ifall känslighetsanalysen visar att det inte krävs stor ökning av parameterns värde för att uppnå kritiska förhållanden (Nystedt, 2011). Hur mycket respektive parameter ändras för att undersöka hur stor påverkan på slutresultatet det får är av sekundär betydelse.

4 Identifiering av brandscenarier

I detta avsnitt behandlas den del i arbetsgången som kallas grovanalys, det vill säga identifieringen av möjliga brandscenarier. Grovanalysen bygger på resonemang som grundar sig i information från förstudier och tidigare erfarenheter (Davidsson, et al., 2003). I grovanalysen tas en rad aspekter in i bedömningen, till exempel den potentiella brandens tillväxthastighet, möjlighet till utrymning och yttre påverkan som till exempel detektions- och släcksystem. Hänsyn tas även till persontätheten i utrymmet, överblickbarheten, ytmaterialet på väggar, golv samt tak och antalet utrymningsvägar. I den Lilla ishallen identifieras 16 stycken, i den Stora ishallen 16 och i Entréhallen fyra brandscenarier. De åskådliggörs och beskrivs kort i tabellen nedan. En mer utförlig beskrivning om varje brandscenario återfinns i Bilaga D Identifierade brandscenarier, där visas även var i lokalerna som de framtagna brandscenarierna är lokaliserade, vilka omnämns i korthet i Tabell 2 nedan.

Tabell 2. Identifierade brandscenarier i grovanalysen.

<i>Lilla ishallen</i>	
1.	Brand i dolt utrymme (förråd under läktare långsida)
2.	Brand i dolt utrymme (i utrymningsvägen längs långsida)
3.	Brand i dolt utrymme (förråd under läktare kortsida)
4.	Brand i dolt utrymme (ventilationsutrymme kortsida)
5.	Brand i papperskorg (längs långsida vid ingång)
6.	Brand i bråte (bord, stolar etc. i hörnet)
7.	Brand i fritidslokal (under öppettid)
8.	Brand i fritidslokal (efter öppettid)
9.	Brand i kansliet (korridor längs långsida)
10.	Brand på läktare (stolar, trävägg)
11.	Brand i ismaskin
12.	Brand i ismaskinsrum
13.	Brand på entresolplan (vid fritidslokal)
14.	Brand i monter (mässa)
15.	Brand i omklädningsrum
16.	Brand i garderob
<i>Stora ishallen</i>	
17.	Brand i shopen (utanför vid kortsida)
18.	Brand på entresolplan (elkablarna)
19.	Brand i dolt utrymme (ventilationsutrymme)
20.	Brand på läktare
21.	Brand i ismaskin
22.	Brand i ismaskinsrum
23.	Brand i kiosk (under långsida)
24.	Brand kablage (längs sargkanten)
25.	Brand under läktare (kortsida)
26.	Brand i omklädningsrum (A-laget)
27.	Brand i omklädningsrum (övriga)
28.	Brand i speakerbås (högst upp långsida)
29.	Brand i pressrum (tavla mot element)
30.	Brand under konsert (scenen)
31.	Brand under konsert (läktare)

Entréhallen	
32.	Brand i monter (mäss)
33.	Brand i utställningsmaterial
34.	Brand i soffor (biljettförsäljningen)
35.	Brand i garderob

Sannolikheten för respektive scenario bestäms med stöd från statistik, se Bilaga E Statistik gällande bränder i Idrottsanläggningar, samt intryck och bedömningar under platsbesöket på Rosvalla. Sannolikheten för respektive scenario graderas enligt Tabell 3 nedan. Sannolikheterna är inbördes jämförbara, det vill säga att någonting som är har ”hög sannolikhet” bedöms hända oftare än någonting som har ”låg sannolikhet”. Som exempel kan nämnas att brand i omklädningsrum (scenario 15) har högre sannolikhet att inträffa jämfört med brand på läktare (scenario 10) med hänsyn till att många bränder i motsvarande lokaler startar i omklädningsrum till följd av anlagd brand, enligt statistik från MSB, se Bilaga E Statistik gällande bränder i Idrottsanläggningar.

Konsekvenserna kategoriseras efter försumbar, farlig eller allvarlig där försumbar konsekvens tolkas som inga eller ringa personskador, farlig som mindre personskador och allvarlig som betydande personskador. På motsvarande sätt graderas konsekvenserna 1-3, enligt Tabell 4.

Tabell 3. Definition av de tre nivåerna av sannolikhet i grovanalysen.

1.	Låg sannolikhet
2.	Sannolikt
3.	Hög sannolikhet

Tabell 4. Definition av de tre nivåerna av konsekvens i grovanalysen.

1.	Försumbar (ingen eller ringa personskador)
2.	Farlig (mindre personskador)
3.	Allvarlig (betydande personskador)

Utifrån denna dokumentation av de identifierade brandscenerierna tas en så kallad riskmatris fram, där risken för respektive scenario kan ses som en sammanvägning av sannolikheten och konsekvensen. Riskmatrisen bör främst ses som en inbördes rangordning mellan brandscenerierna, snarare än att tolka definitionerna i tabellerna ovan strikt. Tabell 5 visar den inbördes rankingen mellan de olika scenarierna. (Kaplan & Garrick, 1981)

För varje lokal så undersöks närmare vilka scenarier i riskmatrisen som ställer högst krav på utrymnings säkerheten. I princip innebär det att avgöra vilket brandscenario som snabbast leder till kritiska förhållanden i de respektive lokalerna och hur utrymnings situationen ser ut med avseende på till exempel köbildning.

Tabell 5. Åskådliggör brandscenarierna från grovanalysen i en riskmatris. De representativa scenarierna är understrukna.

Hög sannolikhet		13 15	<u>2</u> 23 27	<u>14</u>
Sannolikt	5 17 18 24 35	6 7 8 9	12 16 26 32	<u>30</u>
Låg sannolikhet	1 3 19	25 28 33 34	4 10 11 20	21 22 29 32
Sannolikhet Konsekvens	Försumbar	Farlig	Allvarlig	

Ur riskmatrisen väljs tre scenarier som anses dimensionerande, scenario 2, 14 och 30. Scenario 2 är brand i dolt utrymme och presenteras närmare i Avsnitt 5 Brand i utrymningsväg. Scenario 14 är brand i monter under mässa och presenteras närmare i Avsnitt 6 Brand under mässa. Scenario 30 är brand under konsert på scenen och presenteras närmare i Avsnitt 7 Brand under konsert. I respektive avsnitt förklaras ytterligare varför de anses vara dimensionerande.

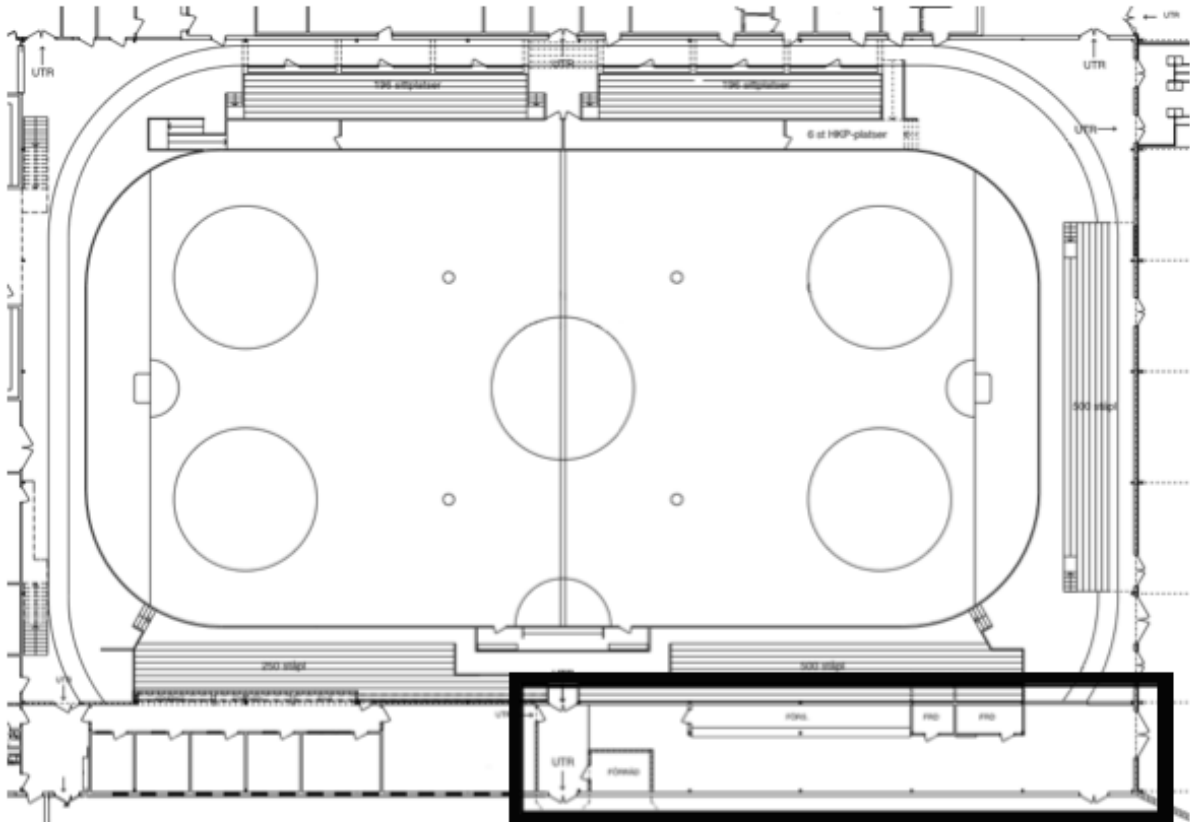
5 Brand i utrymningsväg

I detta avsnitt beskrivs det första representativa brandscenariot kallat Brand i utrymningsväg. Det görs med hjälp av att definiera en dimensionerande brand, beräkna krävd respektive tillgänglig utrymningstid, utvärdera risk för brandspridning via ventilationssystemet, sammanställa resultat och utföra känslighetsanalyser. Avslutningsvis presenteras åtgärdsförslag samt verifiering av åtgärdsförslagen.

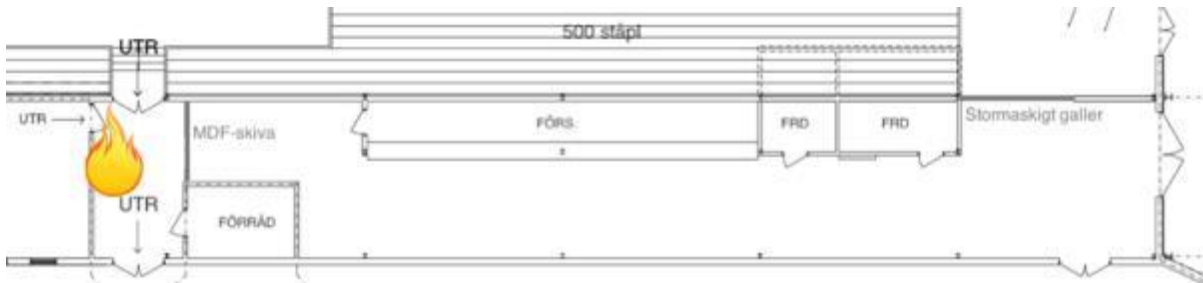
Scenariot Brand i utrymningsväg antas täcka in och innefatta samma utrymningsproblematik som alla de dolda brandscenarierna, brand i fritidslokalen, brand på kansliet, brand i ismaskinsrummet och brand i omklädningsrum, det vill säga Brandscenario 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 12, 15 – se Tabell 2 i Avsnitt 4 Identifiering av brandscenarier.

Den Lilla ishallen används inte för de matcher som förväntas dra en stor publik, då de spelas i den Stora ishallen. Matcherna som spelas i Lilla ishallen är i första hand med ungdomslag där det inte är lika troligt att hallen fylls. I scenariot har det antagits att ungefär 700 personer befinner sig i lokalen. Det är en siffra som anses vara ett värsta troligt antal. Majoriteten av personerna som vistas i hallen vid ishockeymatcher får anses vara ovana brukare av hallen. Det innebär att de inte är vana vid att ta sig runt på området och har således en större benägenhet att enbart använda de kända utgångarna (Frantzich, 2000).

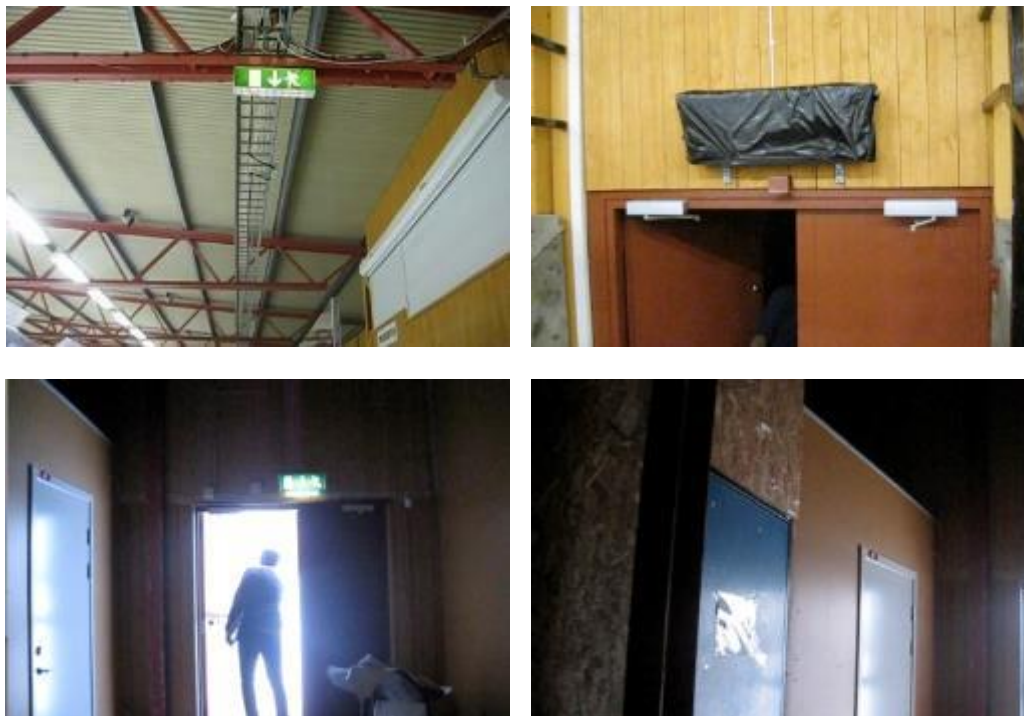
Utrymningsvägen där branden startar är belägen i Lilla ishallen, se Figur 28 och Figur 29. I dagsläget används inte utrymningsvägen, vilket är godkänt av räddningstjänsten. Det innebär att dörren går att öppna men att utrymningsskyltarna är övertäckta till vardags, men att arrangören har ansvar för att säkerställa att utrymningsvägen uppfyller kraven när det förväntade personantalet i lokalen kräver ytterligare utrymningsvägar. Utrymningsvägen löper genom ett utrymme som är dolt från övriga ishallen och som dessutom saknar ett brandtekniskt detektionssystem. I utrymmet finns mycket brännbart material, främst i form av träprodukter. Innerväggar i utrymmet samt väggen mot ishallen är i trämaterial.



Figur 28. Översikt Lilla ishallen. Markerade området representerar utrymningsvägen och det dolda utrymmet (PEAB, 2004) (Modifierad av: Malin Hanson).



Figur 29. Översikt dolda utrymmet. Själva utrymningsvägen är där branden är placerad. Lite till höger om branden i Figuren finns en MDF-skiva placerad som förhindrar tillträde till det dolda utrymmet (PEAB, 2004) (Modifierad av: Malin Hanson).



Figur 30. Utrymningsvägen i Lilla ishallen. Ovan till vänster syns utrymningsskylten som hänvisar till utrymningsvägen, ovan till höger syns utrymningsvägen med förtäckt utrymningsskylt, nedan till vänster visar hur det ser ut i utrymningsvägen, nedan till höger syns MDF-skivan som förhindrar intrång (se placering i Figur 29) (Foto: Stefan Tibell Karlquist, 2013).

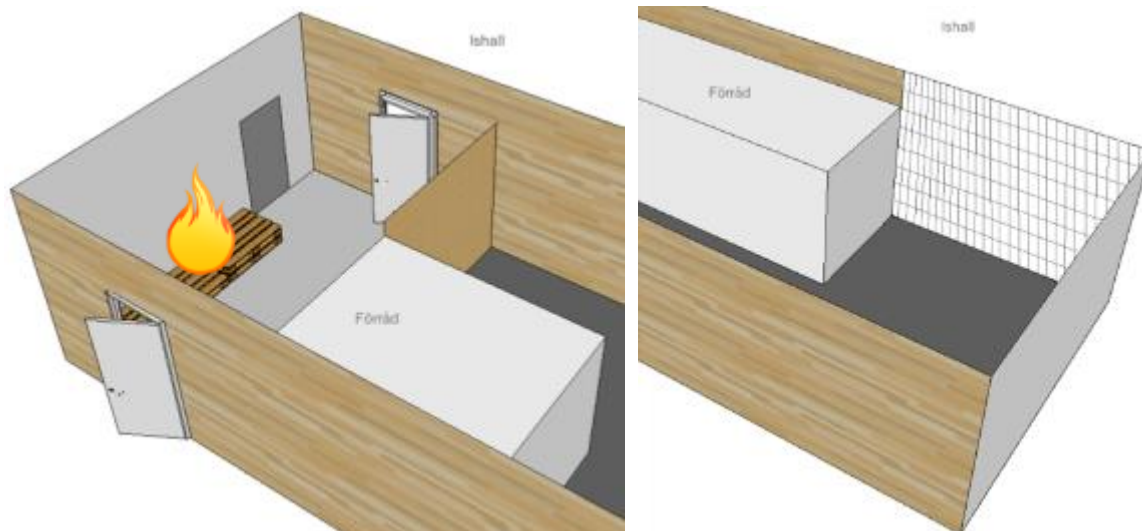
Sannolikheten för att en brand ska inträffa i detta utrymme bedöms som hög i förhållande till de övriga brandscenarierna. Miljön med mycket brännbart material och kablage samt risken för anlagd brand identifieras som troliga orsaker till brand. Anlagd brand är en vanlig brandorsak generellt för idrottsanläggningar, se Bilaga E Statistik gällande bränder i Idrottsanläggningar. Det finns dessutom försvårade omständigheter som ökar sannolikheten för anlagd brand just i det utrymme, exempelvis att platsen är olåst, skyddad från insyn och att det förvaras brännbart material där. Dessutom finns det en ungdomsgård i Lilla ishallen för årskurserna 4 till och med 9, vilket skulle kunna ses som en förhöjd risk. Då det kan komma att ta lång tid innan branden upptäcks så spelar tillväxthastighet och exakt placering av initialbranden mindre roll. Om branden upptäcks i ett sent skede gör det också att den kan vara väl utvecklad när den börjar påverka resten av ishallen där människor befinner sig. Det gör att scenariot anses täcka in andra brandscenarier i Lilla ishallen då denna brand snabbt leder till kritiska förhållanden från det att branden upptäcks. Branden bedöms upptäckas då rök börjar ta sig ut ifrån det dolda utrymme till själva ishallen.

5.1 Ventilation

I det dolda utrymme där branden antas starta finns ingen ventilation, varför det inte antas kunna ske någon brandgasspridning via ventilationsrören i brandens första skede. I Lilla ishallen finns ventilation och om den inte stängs av är den största risken för brandspridning via frånluftventilationen. Ventilationen leder dock inte vidare till en annan brandcell. Eftersom ishallen är stor i förhållande till branden blir tryckkuppbyggnaden inte speciellt stor inom den intressanta tidsaspekten, varför inte brandspridning heller beaktas genom tilluftsventilationen.

5.2 Dimensionerande brand

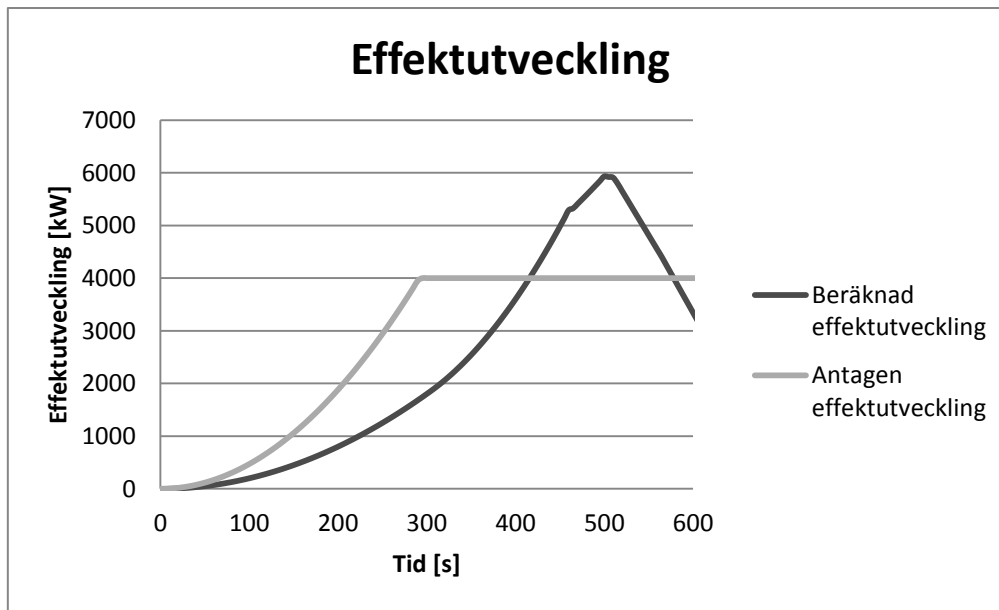
Utrymmet, som är avlångt med måtten 35,5 och 5,5 m, är delvis avspärrat med en MDF-skiva för att förhindra obehöriga att ta sig in i förrådet. Ovanför förrådet och MDF-skivan är det öppet från ca 2 m höjd, vilket innebär att vid brand kommer brandgaslagret spridas vidare och inte enbart befinnas i utrymningsvägen. Det dolda utrymmet är ett avlångt utrymme som befinner sig under läktaren. I utrymningsvägen fanns under platsbesöket brännbart material i form bland annat wellpapp och träplankor. Utrymmet som beskrivs ovan åskådliggörs genom bilder tagna på platsbesöket i Figur 30 samt schematiskt i Figur 31.



Figur 31. Dolda utrymmet. Från vänster till höger: själva utrymningsvägen där branden startar (vänster i Figur 29), gallret som släpper ut brandgaserna till Lilla ishallen (höger i Figur 29) (Illustration: Malin Hanson).

Den stora variationen av brännbart material i utrymningsvägen gör det svårt att bestämma en dimensionerande brand. Mängden och typen av material anses kunna representeras av fyra stycken träpallar. Branden antas starta enligt Figur 31, till höger visas hur det ser ut längst bort från utrymningsvägen där ett grovmaskigt galler gör det möjligt för brandgaser att spridas ut till ishallen i händelse av brand. Tillväxthastigheten för den initierande branden anses vara $0,02 \text{ kW/s}^2$ vilket är resultatet från försök med fyra staplade pallar (Karlsson & Quintiere, 2000). Branden sprider sig sedan vidare till MDF-skivan som är placerad mellan förrådet och väggen in till ishallen.

Strålningsberäkningar har gjorts för att uppskatta brandspridning mellan objekt enligt Point Source-modellen. Indata och resultat för samtliga beräkningar finns presenterade i Bilaga F.1 Brand i utrymningsväg. MDF-skivan är placerad ungefär 4 meter ifrån startobjekten, de fyra träpallarna, vilket i Point Source-beräkningarna ger att MDF-skivan antänds efter cirka 300 sekunder från brandens start. Med strålningsberäkningarna som utgångspunkt när de involverade objekten antänds, beräknas en effektutvecklingskurva som ses i Figur 32 nedan. I figuren finns även en förenklad, antagen, effektutvecklingskurva som används som dimensionerade på grund av de höga osäkerheterna kring den beräknade effektutvecklingen. Den antagna effektutvecklingen har en tillväxtfaktor motsvarande fast, det vill säga $\alpha = 0,047 \text{ kW/m}^2$ och är sedan stabil kring 4 MW under en längre tid.



Figur 32. Den dimensionerande brandens effektkurva för Brand i utrymningsväg.

Eftersom MDF-skivan inte är stabilt placerad antas den delvis ha förbränts alternativt fallit från sitt fäste efter 200 sekunder, vilket ökar genomströmningen av brandgaser. För en utförligare beskrivning av den beräknande effektutvecklingen se F.1 Brand i utrymningsväg.

Eftersom utrymningsvägen är ett dolt utrymme har beräkningar gjorts huruvida branden skulle vara ventilationskontrollerad eller inte. Beräkningarna som presenteras i sin helhet i Bilaga G.1.3.2 Kontroll av bränslekontrollerad brand visar att branden förblir bränslekontrollerad.

5.3 Krävd utrymningstid – RSET

Då inga detektorer finns i den Lilla ishallen antas branden upptäckas först då någon av besökarna upptäcker den. Eftersom branden befinner sig i ett dolt utrymme så antas den att kunna detekteras först då rök kommer ut till Lilla ishallen. Då många personer befinner sig i hallen är det troligt att någon av dem kommer att upptäcka röken relativt tidigt. Det som talar emot en tidig upptäckt är att uppmärksamheten är riktad mot planen och något som inträffar vid sidan av kanske inte upptäcks (Frantzich, 2000). Det som anses vara värsta troliga scenario är att röken upptäcks när den börjar strömma ut med ett jämt flöde, vilket inträffar efter ungefär 80 sekunder efter brandstart enligt de simuleringarna som gjorts i FDS.

Varseblivningstiden är den tid som förflyter från att röken är detekterad till det att personen förstår att det är en brand i byggnaden. Varseblivningstiden kan anses vara mycket kort i de fall där människor ser branden (Frantzich, 2000). Då branden befinner sig i ett dolt utrymme vid det aktuella scenariot och det enbart är röken som blir synlig, i den tidiga delen av brandförloppet, antas varseblivningstiden bli längre än om branden varit synlig. Vad det innebär i tid är svårt att avgöra, men enligt BBRAD bör inte varseblivningstiden understiga 30 sekunder i det fall där branden är synlig (Svensson, 2011). Varseblivningstiden sätts till 60 sekunder, vilket får anses vara konservativt.

Från det att människor förstått att det är en brand i byggnaden tills att de beslutar sig för att utrymma kallas för beslutstid. Denna anges tillsammans med reaktionstiden som är den tid som förflyter från det att beslut om utrymning fattats tills att de verkligen börjar utrymma. Forskning pekar på att

medelvärde för besluts- och reaktionstiden är 90 sekunder för personer som befinner sig i ett varuhus utan larm och där de ser branden (Frantzich, 2000). Ishallen kan liknas vid varuhuset då de båda är relativt stora lokaler. Att besökarnas fokus är riktat i en och samma riktning i ishallen i större utsträckning än i ett varuhus har det tagits hänsyn till i detektionstiden och tidsfördröjningen i att förstå att röken kommer från en brand är medräknat i varseblivningstiden. Det antas att beslut om att utrymma inte tas direkt eftersom ingen känner sig ha det ansvaret då alla är där som besökare (Frantzich, 2000). Besluts- och reaktionstiden väljs till 90 sekunder.

Förflyttningstiden är den faktiska tid som det tar för folket att lämna ishallen från det att de börjat utrymma. Tiden simuleras fram med hjälp av datorprogrammet Simulex men beräknas även med handberäkningar. Det har antagits att besökarna kommer att utrymma genom den väg som de använde när de gick in i hallen, nämligen huvudingången, eftersom de förmodas att inte känna till ishallen (Frantzich, 2000). Att någon hade använt en alternativ utrymningsväg hade kunnat tänkas, men då ingen duglig utrymningsväg passeras på vägen ut av de som befinner sig på de södra läktarna samt att det är ett värsta troligt scenario att samtliga väljer samma väg så har detta underlag använts i simuleringen. Endast personerna i lokalen simuleras då de i angränsande lokaler inte kommer att påverka möjligheten att utrymma via entréhallen, se Bilaga H Förflyttningstid. Personerna som befinner sig på norra läktarna väntas dock använda båda nedgångarna från läktaren. Det är rimligt att tro att båda vägarna används då folk gått upp på läktaren. Handberäkningarna utförs i två steg, först beräknas hur lång tid det tar att tömma den ena norra läktaren eftersom det anses ta längst tid för folk att ta sig ner och därefter adderas den med tiden som det skulle ta att gå ut från hallen därifrån. Den första deltiden används som den ungefärliga tiden vid vilka personerna överst på läktaren lämnat det området. Tiden till det att sista personen lämnat den övre delen av läktaren simuleras till 130 sekunder och den totala förflyttningstiden till 260 sekunder. Motsvarande tider med handberäkningarna blir 170 sekunder respektive 220 sekunder, vilka är relativt nära de simulerade. Det finns för- och nackdelar med båda metoderna, till exempel så tar Simulex hänsyn till köbildning på ett sätt som inte görs med handberäkningar. Samtidigt så kan simuleringarna bli orealistiska på grund av ett onormalt flöde ut genom dörrar då personer tenderar att blockera varandra. Det sistnämnda gäller framförallt i de fall då ett stort antal människor närvarar. Resultatet blir att ett medelvärde används, 150 sekunder respektive 240 sekunder.

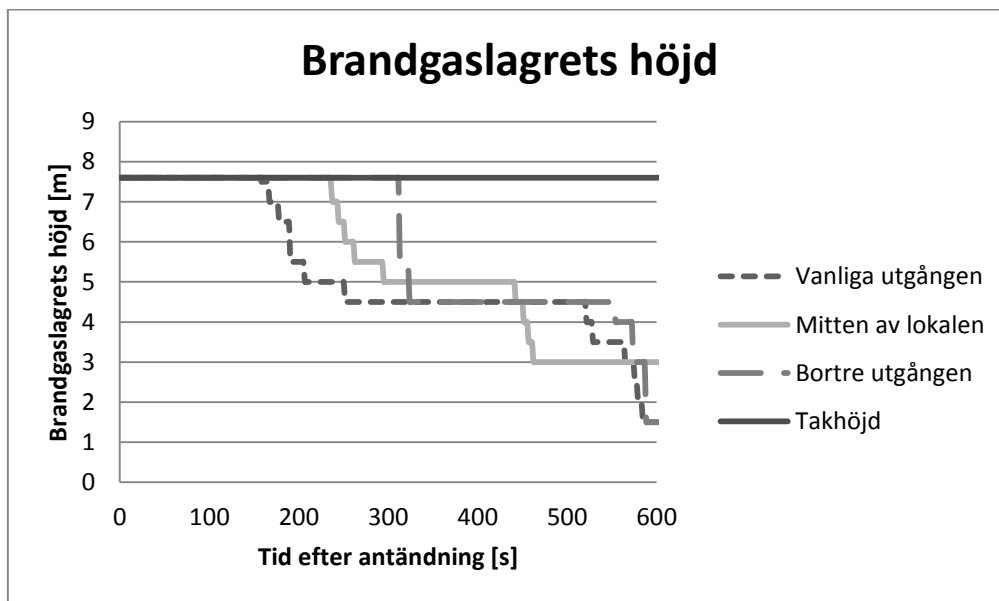
En sammanställning av tiderna visas i Tabell 6.

Tabell 6. Sammanställning av tiderna som låg till grund för beräkningen av RSET.

Plats	Översta läktarplatserna	Golvnivån
Detektionstid [s]	80	80
Varseblivningstid [s]	60	60
Beslutstid [s]	90	90
Reaktionstid [s]		
Förflyttningstid (från det att utrymningen påbörjats till sista person har lämnat respektive plats) [s]	150	240
RSET [s]	380	470

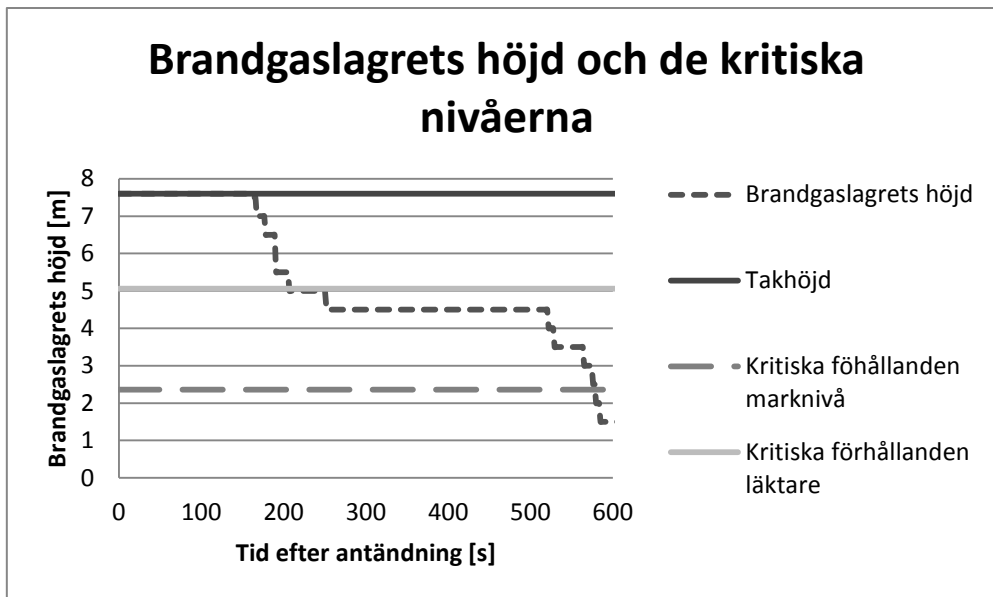
5.4 Tillgänglig utrymningstid – ASET

Tid till kritiska förhållanden, det vill säga ASET, tas fram genom att beakta de olika acceptanskriterierna som tidigare nämnts i Avsnitt 3.2.1 Acceptanskriterier. Brandscenariot simuleras i FDS och de tre acceptanskriterierna undersöks som en funktion av tiden. Brandgaslagrets höjd mäts på tre olika platser i Lilla ishallen. Punkt 1 är vid den dörr som utrymningen förväntas att ske. Punkt 2 är vid den bortre utrymningsvägen och punkt 3 är i mitten av lokalen. Brandgaslagret definieras som den höjd där en tydlig temperaturstegring sker, detta jämförs med det visuella resultatet vilka presenteras i Bilaga G.1.2.1 Brandgasfyllnad. De båda uppmätta höjderna stämmer väl överens med varandra. I Figur 33 nedan visas brandgaslagrets höjd i de olika punkterna som en funktion av tiden.



Figur 33. Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden vid en rad specifika höjder.

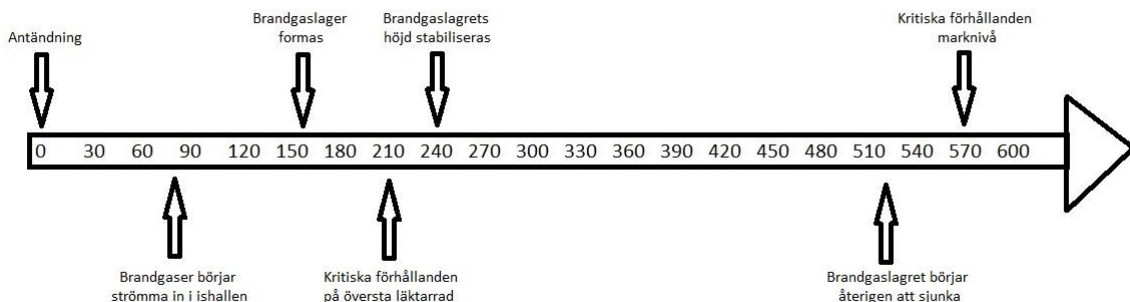
Den kantiga strukturen beror på att temperaturmätarna är placerade med 0,5 meters mellanrum på grund av upplösningen i FDS-simuleringen. Det är förhållandevis stor skillnad på brandgaslagrets höjd på olika platser i rummet, framför allt i början av brandförloppet. Då den största andelen personer förväntas befinna sig vid den vanliga utgången då kritiska förhållanden uppstår så görs den konservativa förenklingen att brandgashöjden vid denna plats anses gälla i hela lokalen. I Figur 34 nedan visas brandgashöjden som anses gälla i hela lokalen samt de höjder som är accepterade ur utrymningssynpunkt.



Figur 34. Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden vid kritiska förhållanden på en rad referenshöjder.

Taket i Lilla ishallen är gjort av metall och kyler effektivt brandgaserna. Temperaturen på brandgaserna då de strömmar in i ishallen är kring 250°C . Ju längre brandgaserna sedan färdas längs taket desto mer sjunker temperaturen. Vid den bortre utrymningsvägen är temperaturen i de övre delarna av brandgaslaget knappt 30°C . Temperaturerna i de olika mätpunkterna presenteras i Bilaga G.1.2.2 Temperaturer brandgaslager. De låga temperaturerna gör att strålningen från brandgaslaget blir låg och således är det endast brandgaslagrets höjd som avgör när kritiska förhållanden uppstår.

Tiden från det att ett brandgaslager börjar bildas till det att kritiska förhållanden uppstår på översta delen av läktaren är mycket kort. Efter ungefär fyra minuter stabiliserar sig brandgaslaget kring 4,5 meters höjd under ett par minuter vilket förklaras av att det under denna tid sprids till största del horisontellt. När brandgaslaget befinner sig på ungefär samma höjd vid alla mätplatser börjar det återigen att sjunka. Ur simuleringen utläses ett antal nyckeltider vid vilka viktiga händelser anses inträffa, dessa presenteras på en tidslinje i Figur 35 nedan. Tiden till kritiska förhållanden i hela lokalen från antändning uppskattas till 570 sekunder, då är brandgaslagrets höjd kring 2.5 meter. Den kritiska höjden för lokalen beräknas med ekvationen som anges vid punkt 1 i 3.2.1 Acceptanskriterier till 2.4 meter. En sammanställning av den tillgängliga tiden ses i Tabell 7.



Figur 35. Viktiga händelser längs en tidsaxel (Illustration: Stefan Karlquist, 2013).

Tabell 7. Sammanställning av tiderna till kritiska förhållanden vid övre läktarplatserna och Lilla ishallen.

Plats	Översta läktarplatserna	Lilla ishallen
ASET [s]	210	570

5.4.1 Kontroll av simulering

För att bedöma giltigheten i simuleringen kontrolleras ett antal känsliga parametrar. Dessa kontrolleras med olika metoder så som handberäkningar, ytterligare simuleringar och ingenjörsmässiga rimlighetsbedömningar. Undersökningsmetod och undersökta parametrar samt huruvida de överensstämmer med simuleringen presenteras i Tabell 8 nedan och presenteras i sin helhet i Bilaga G.1.3 Kontroll av resultat.

Tabell 8. Sammanställning av valideringen av resultaten.

Parameter i simuleringen	Kontrollmetod	Simulering trovärdig
Tid till att brandgaser strömmar in i ishallen	Handberäkning med Alpert's Ceiling Jet	Ja
Branden blir aldrig ventilationskontrollerad	Handberäkning med tillgänglig mängd syre	Ja
Cellstorleken tillräckligt liten	Simulering i FDS med åtta gånger fler celler	Ja
Brandgaslagrets höjd	Andra mätinstrument i FDS	Ja
Acceptabla förhållanden under brandgaslaget	Andra mätinstrument i FDS	Ja

Branden och brandgasspridningen betar sig som förväntat samt att de kontroller som gjorts bekräftar simuleringens giltighet gör dock att den betraktas som tillräckligt korrekt för att beskriva förhållandena i Lilla ishallen vid aktuellt brandscenario.

5.5 Resultat

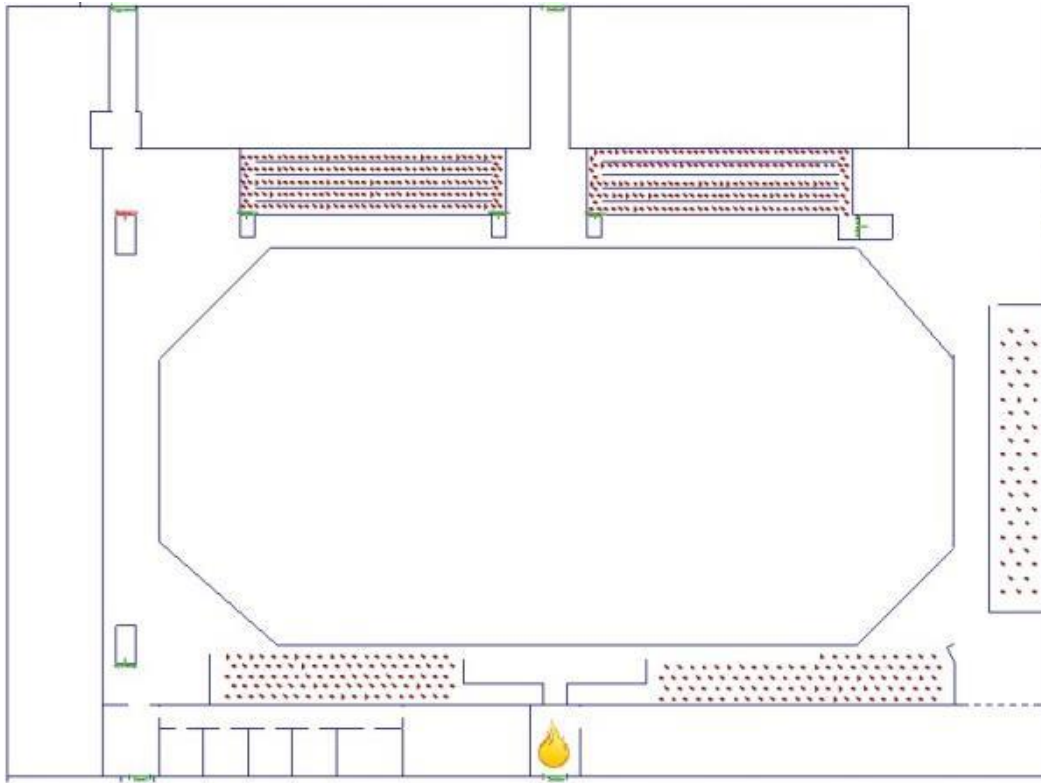
Genom en jämförelse av de framtagna tiderna, RSET och ASET, erhöles information om huruvida kritiska förhållanden hade infunnit sig i lokalen eller ej. Om RSET var större än ASET antogs personerna utsättas för kritiska förhållanden. I Tabell 9 åskådliggörs resultatet.

Tabell 9. Sammanställning av RSET, ASET och huruvida kritiska förhållanden hade infunnit sig eller inte på översta läktarplatsen samt i Lilla ishallen.

Plats	Översta läktarplatsen	Lilla ishallen
RSET [s]	380	470
ASET [s]	210	570
Kritiska förhållanden [ja/nej]	Ja	Nej

Resultatet föreföll att kritiska förhållanden skulle uppstå för de människor som befann sig vid de översta läktarplatserna, medan resterande besökare bedömdes klara utrymningen i tid. Då skyddsmålen var att samtliga skulle kunna utrymma säkert så ansågs inte det befintliga brandskyddet vara tillräckligt.

Den tid som förflöt innan personerna i ishallen började utrymma var 230 sekunder enligt beräkningar och simuleringar. Dock uppstod kritiska förhållanden efter 210 sekunder för de som befann sig på de översta delarna av läktarna, det vill säga att folket började utrymma först 20 sekunder efter att de som befann sig på den översta delen av läktarna utsattes för kritiska förhållanden. Figur 36 visar var människorna befann sig i ishallen då kritiska förhållanden uppstod för de personer som befann sig överst på läktarna, enligt utförd simulering.



Figur 36. Bild tagen från Simulex-simulering i Lilla ishallen vid tidpunkten då kritiska förhållanden beräknas uppstå för de som befinner sig på de översta läktarplatserna. Som synes skulle inte en säker utrymningsituation vara möjlig enligt simuleringarna.

5.6 Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen syftar till att utreda vilka parametrar som har kommit att påverka resultatet i stor utsträckning. Med hjälp av analysen kommer åtgärdsförslag, som i huvudsak är riktade mot de parametrar som gör störst skillnad, kunna tas fram.

Detektionstiden, varseblivningstiden samt besluts- och reaktionstiden påverkar resultatet. Att helt få bort de tiderna är inte möjligt, men att minska dem skulle minska RSET. Om detektionstiden ändras med 25 % så ändras RSET av översta läktarplatserna med 5 %. Om varseblivningstiden istället justeras med 25 % så ändras RSET för de översta läktarplatserna med 4 %. Motsvarande förändring av RSET är 6 %, om besluts- och reaktionstiden justeras med 25 %.

Antal personer i ishallen bör ha en direkt påverkan på resultatet då antalet personer påverkar förflyttningstiden. Två simuleringar av förflyttningstiden utförs där antalet personer i lokalen ökas respektive sänks med 25 %. Simuleringarna visar att kritiska förhållanden fortfarande endast uppstår uppe på läktarna. Förflyttningstiden, bort från översta delen av läktaren, då personantalet sänkts med 25 % blir ungefär 90 sekunder, jämfört med 130 sekunder tidigare. Med handberäkningar blir motsvarande nya siffra 130 sekunder vilket jämförs med det gamla resultatet på 170 sekunder. Ett

sammanvägt resultat blir förflyttningstiden 110 sekunder, vilket innebär att RSET av de översta läktarplatserna minskas med 10 %. Tiden för att utrymma hela lokalen från det att förflyttning påbörjats blir 200 sekunder, en minskning med 40 sekunder. En ökning av personantalet med 25 % ger den nya förflyttningstiden 150 sekunder från den översta läktarraden vilket är detsamma som tidigare då inga fler personer får plats på läktaren. På motsvarande sätt uppskattas tiden att lämna lokalen från det att utrymning påbörjats till 180 sekunder, en ökning med 10 sekunder.

Brandens effektutveckling varierar för att undersöka den parametrarnas inverkan på resultatet. Brandens maximala effektutveckling minskas respektive ökas med 25 %. Då effektutvecklingen sänks så blir ASET för de översta läktarplatserna 24 % högre, vilket innebär att de utrymmande skulle ha 50 sekunder längre tid på sig att lämna läktaren. Då branden blir ventilationskontrollerad så leder en ökning av maximal effektutveckling inte till någon skillnad i praktiken. En sammanställning av parametrarna som undersöktes i känslighetsanalysen presenteras i Tabell 10.

Tabell 10. Sammanställning av känslighetsanalysen för Brand i utrymningsvägen.

Undersökt parameter	Variation av parametern	Påverkan på RSET [s]	Påverkan på ASET [s]
Detektionstiden	- 25 %	20 (- 5 %)	-
Detektionstiden	+ 25 %	20 (+ 5 %)	-
Varseblivningstiden	- 25 %	15 (- 4 %)	-
Varseblivningstiden	+ 25 %	15 (+ 4 %)	-
Besluts- och reaktionstiden	- 25 %	22,5 (- 6 %)	-
Besluts- och reaktionstiden	+ 25 %	22,5 (+ 6 %)	-
Antal personer på läktarna	- 25 %	Översta läktarrad: 37,5 (- 10 %) Marknivå: 40 (- 11 %)	-
Antal personer på läktarna	+ 25 %	Översta läktarrad: 0 (0 %) Marknivå: 10 (+ 3 %)	-
Effektutvecklingen	- 25 %	-	136,8 (+ 24 %)
Effektutvecklingen	+ 25 %	-	0 (+ 0 %)

5.7 Åtgärdsförslag

Då kritiska förhållanden uppstår för personerna på översta delen av läktaren så måste några åtgärder vidtas för att undvika detta. Nedan kommer ett antal förslag att presenteras och i Avsnitt 5.8 Verifiering av åtgärdsförslag kommer förslagen att utvärderas för att se vilket eller vilka som krävs för att en säker utrymning ska kunna genomföras i händelse av brand i utrymningsvägen.

I känslighetsanalysen kom det fram att en förkortning av detektions-, varseblivnings-, besluts-, reaktions- och förflyttningstiden medför en kortare RSET, vilket är positivt ur utrymningssynpunkt. Önskvärt blir därför att vidta åtgärder som förkortar någon, eller några av dessa.

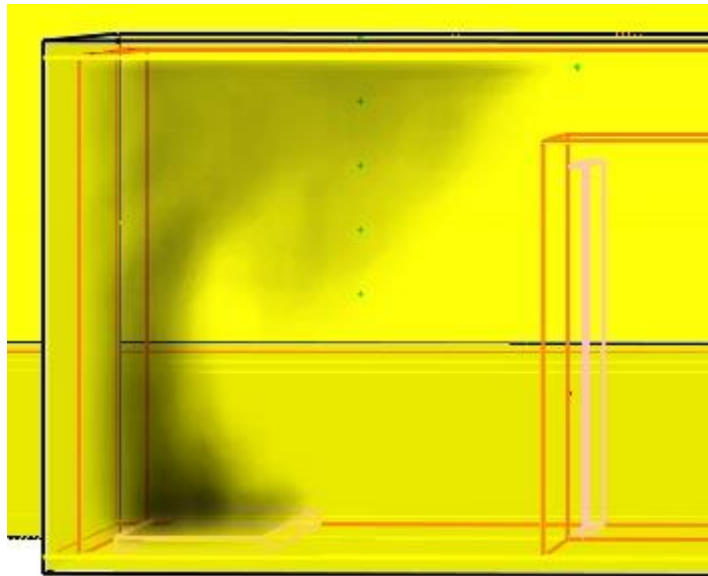
Ett sätt att förkorta detektionstiden är att branden upptäcks av ett tekniskt system i ett tidigt skede. Detta tros kunna ske genom installation av detektorer i det dolda utrymnet.

Detektorerna skulle lämpligen kunna vara kopplade till utrymningslarmet som redan existerar på Rosvalla med ett informativt talat meddelande. Meddelandet medför att personerna som vistas i Lilla ishallen, efter att ha lyssnat klart på meddelandet, kan anses ha blivit varseblivna om att det är en brand som utbrutit. Det faktum att det är ett informativt talat meddelande medför även att besluts- och reaktionstiden blir kortare (Frantzich, 2000).

Det faktum att personantalet på läktaren har en relativt stor påverkan på RSET visades i känslighetsanalysen. Ett förslag till åtgärd blir således att minska antalet tillåtna, och därmed närvarande, personer på läktarna. Detta gäller de norra läktarna där personer på de översta läktarnivåerna utsattes för kritiska förhållanden.

5.8 Verifiering av åtgärdsförslag

Detektion med rökdetektorer antas ske då temperaturökningen är 5 °C (Nilsson & Holmstedt, 2008). Enligt utförda FDS simuleringar sker detta efter 15 sekunder om detektorn är placerade i själva utrymningsvägen. Figur 37 visar hur förhållandena är i utrymningsvägen enligt utförda simuleringar.



Figur 37. Visar förhållandena i utrymningsvägen enligt genomförda simuleringar i FDS.

Varseblivningstiden ansätts till den tid som det tar att spela upp meddelandet som talar om att en brand utbrutit plus en tonsignal som antas föregå själva meddelandet. I utförda försök på en biograf tog det mellan 15 och 20 sekunder beroende på om det var en manlig eller kvinnlig röst. Det konservativa värdet på 20 sekunder väljs.

Tack vare det informativa utrymningslarmet kan en kortare besluts- och reaktionstid väljas. För folk som befinner sig i ett varuhus och som inte ser branden föreslås 60 sekunder vilket därmed används (Frantzich, 2000).

Om personantalet på de norra läktarna minskas till 150 personer på respektive läktare så kommer det att ta 110 sekunder, enligt beräkningarna utförda i känslighetsanalysen, för personerna på den översta nivån av läktaren att förflytta sig därifrån. Totala förflyttningstiden för att tömma hela ishallen simuleras till 240 sekunder och beräknas för hand till 180, tiden 210 väljs som ett representativt värde.

En sammanställning av de nya tiderna som återgårderna gav upphov till ses i Tabell 11.

Tabell 11. Sammanställning av tiderna efter att åtgärderna genomförts, enligt simuleringarna.

Plats	Översta läktarplatserna	Lilla ishallen
Detektionstid [s]	15	15
Varseblivningstid [s]	20	20
Beslutstid [s]	60	60
Reaktionstid [s]		
Förflyttningstid (från det att utrymningen påbörjats till sista person har lämnat respektive plats) [s]	110	210
RSET [s]	205	305

Med dessa åtgärder erhålls resultaten angående kritiska förhållanden enligt Tabell 12.

Tabell 12. Sammanställning av RSET, ASET och huruvida kritiska förhållanden hade infunnit sig eller inte på översta läktarplatsen samt i Lilla ishallen, enligt simuleringarna.

Plats	Översta läktarplatsen	Lilla ishallen
RSET [s]	205	305
ASET [s]	210	570
Kritiska förhållanden [ja/nej]	Nej	Nej

Med de föreslagna åtgärderna bedöms således inga kritiska förhållanden uppstå.

5.9 Diskussion

Tiden till det att personer börjar utrymma är längre än tiden då kritiska förhållanden uppstår på de översta läktarraderna. Att folk inte utrymmer innan de utsätts för kritiska förhållanden kan vid första anblicken vara anmärkningsvärt. Observera dock att med kritiska förhållanden i detta scenario så menas då brandgaslagret befinner sig ungefär två meter ovanför den översta läktarplatsen. Personer utsätts alltså inte för brandgaserna när de påbörjar sin förflyttning men brandgaserna är så pass nära att det enligt acceptanskriterierna räknas som kritiska förhållanden. Tiden från det att röken börjar strömma in till det att kritiska förhållanden uppstår är dessutom förhållandevis kort, därför anses det rimligt att kritiska förhållanden kan uppstå innan utrymningen påbörjas.

Mätningen av brandgaslagrets höjd är förhållandevis grov vilket gör det svårt att veta exakt när den kritiska höjden uppnås. Brandgaslagret mäts vid varje 0,5 meter och den kritiska höjden för acceptabel utrymning vid marknivå är 2,4 meter, det uppkommer då en fråga om värdet 2,5 eller 2,0 är att betrakta som den kritiska nivån. Då brandgaslagret sjunker relativt snabbt från tre till två meters höjd så får denna mätosäkerhet en mycket liten påverkan på slutresultatet.

För att simuleringarna i FDS inte ska ta för lång tid i anspråk så används en *coarse*-upplösning utanför det dolda utrymnet. Ett nodkonvergenstest visar att nodkonvergens med största sannolikhet har uppnåtts. Det finns dock en risk för att eventuella problem med de olika gridstorlekarna inte upptäcks av nodkonvergenstest då dessa kan finnas med i båda simuleringarna. Det hade varit önskvärt att simulera brandförloppet med samma gridstorlek i hela utrymnet men för detta saknades tillräckliga resurser.

Rimligheten av förflyttningstiden som simuleras i Simulex kontrolleras främst genom att studera utrymningsbeteendet i simuleringen. I simuleringen blir flödet ut genom dörrarna lågt på grund av köbildningen kring dörrarna. För att avgöra ifall Simulex underskattar flödet så utförs en enkel beräkning av förflyttningstiden som visar på att dörrarna borde klara av ett större flöde människor. Resultaten av handberäkningen och simuleringen är dock snarlika så ett medelvärde av dessa anses vara en bra uppskattning av förflyttningstiden.

I verifieringen av åtgärdsförslagen visas att en säker utrymning kan genomföras för detta brandscenario ifall ett detektionssystem installeras. Dock är detta brandscenario inte dimensionerande för brandsäkerheten. En brand som är placerad inne i Lilla ishallen ställer högre krav på åtgärder, läs vidare i Avsnitt 6 Brand under mässa.

Det är svårt att avgöra hur en läktare kommer att utrymmas i ett skarpt läge. I utrymningssimuleringarna förutsätts personer att lämna läktaren på vanligt vis, det vill säga följa sin stolsrad ut mot närmaste kant och sedan rakt ner längs trapporna. I verkligheten kommer antagligen ett antal personer ta genvägar över stolsrader för att undvika köer och för att snabbare komma bort från brandgaserna. Det är osäkert ifall detta kommer leda till en snabbare utrymning av läktaren men det kommer med all sannolikhet göra att de översta raderna kommer bli utrymda snabbare än i simuleringen, därför anses värdet för RSET vid översta läktarplatserna vara konservativt.

6 Brand under mässa

I detta avsnitt beskrivs det andra representativa brandscenariot kallat Brand under mässa. Det görs med hjälp av att definiera en dimensionerande brand, beräkna krävd utrymningstid och tillgänglig utrymningstid, utvärdering av risk för brandspridning via ventilationssystemet, resultat och en känslighetsanalys. Avslutningsvis presenteras åtgärdsförslag samt en verifiering av åtgärdsförslagen.

Brand under mässa i Lilla ishallen anses intressant främst på grund av att det saknas detektionssystem samt att sprinklersystemet är begränsat och inte täcker hela lokalen. Scenariot Brand under mässa antas täcka in och innefatta samma utrymningsproblematik som brand i papperskorg, brand i bråte och brännbart material som finns öppet lagrat i Lilla ishallen, brand på läktaren, brand på entresolplanet utanför fritidslokalen, garderobsbrand och de identifierade bränderna i Entréhallen, det vill säga Brandscenario 5, 6, 10, 13, 14, 16, 31, 32, 33, 35 – se Tabell 2 i Avsnitt 4 Identifiering av brandscenarier. Argument för att scenariot täcker in de övriga är att det brukar vara mycket folk i rörelse under mässan, få som är på plats känner till lokalen under den aktuella utformningen. Utställarna har ofta många slags material i sina montrar, vid en brand finns inget tydligt ansvar av utrymning och möjligheten att släcka en brand manuellt anses liten då det inte finns brandsläckare inom räckhåll. I scenariot antas 700 personer befinna sig i lokalen.



Figur 38. Exempel på montrar under mässa i Lilla ishallen (Foto: Maria Spring, PR & Media Leasing AB).

I relation till de tänkbara brandscenarierna i Lilla ishallen så anses brand under pågående mässa vara sannolik. Det finns exempel i statistiken på anlagda bränder på mässor men den mest troliga brandorsaken uppskattas vara något elfel i alla de kablar och maskiner som kan tänkas finnas på en mässa. Brandtillväxthastigheten är beroende av vilken typ av brännbara material som finns i brandens närhet. Några exempel på montrar finns i Figur 38.

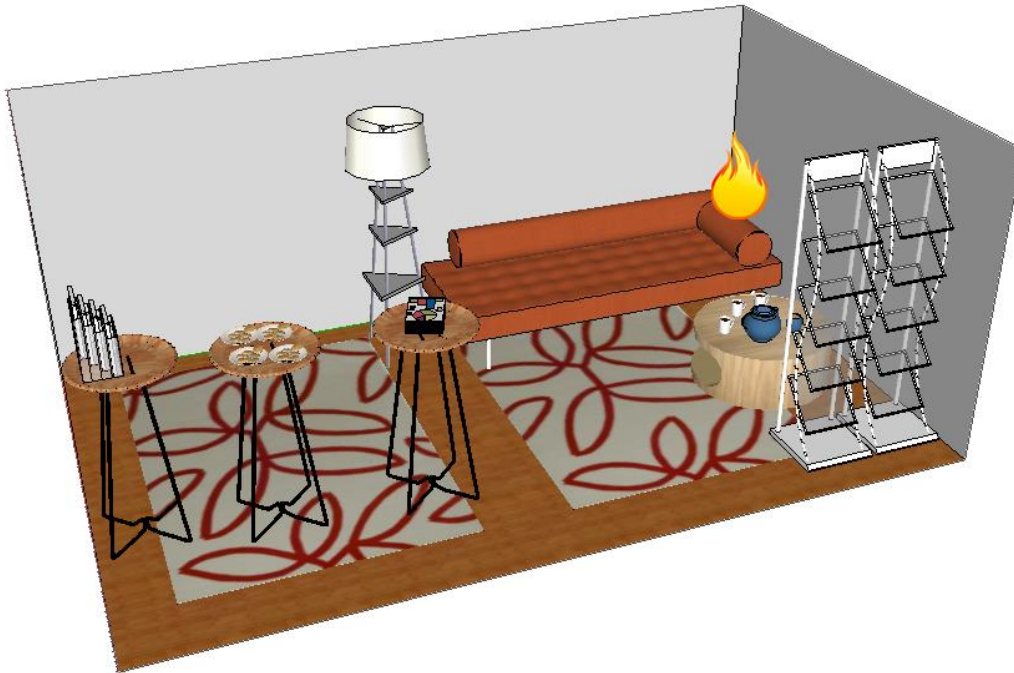
6.1 Ventilation

I Lilla ishallen bedöms ventilationen vara separat från den övriga byggnaden. Det innebär att brandspridning till annan brandcell via ventilationssystemet inte anses vara troligt.

6.2 Dimensionerande brand

Scenariot utgörs av ett fall då en mässa äger rum i Lilla ishallen. Montrarnas utseende och placering har tagits fram genom studier av fotografier från tidigare mässor i Lilla ishallen. I scenariot uppskattas

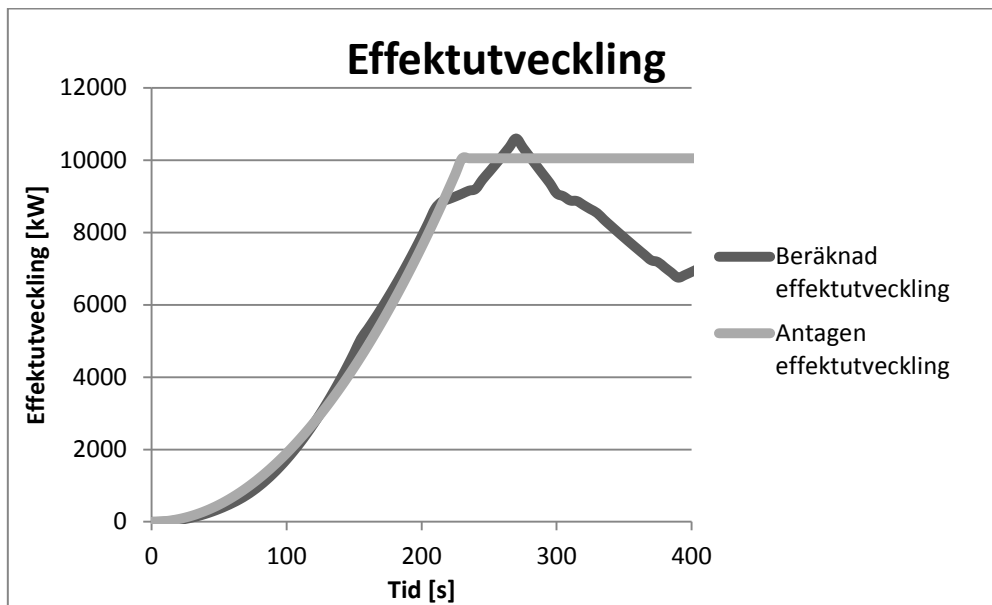
montern vara fem meter lång, tre meter bred samt två meter hög och väggarna består av MDF-skivor. Innehållet i montern beror starkt på vad för verksamhet som gör reklam genom montern. Representativt innehåll anses vara en soffa, golvbeklädnad, soffbord, broschyrer etc. För att se hur objekten är placerade i montern, se Figur 39.



Figur 39. Illustration av montern och tänkt placering av initialbrand i scenariot Brand under mässa (Illustration: Malin Hanson).

Branden antas starta i hörnet under soffan i kablar på grund av elfel. För att närmare tidsbestämma brandspridningen mellan objekt har strålningsberäkningar gjorts med Point Source-modellen (Karlsson & Quintiere, 2000). Samtliga beräkningar finns i Bilaga F.2 Brand under mässa. Soffan och väggen beräknas antända vid en strålningsintensitet på 13 respektive 10 kW/m², eftersom startkällans effektutveckling anses varar försumbar börjar den beräknade effektutvecklingen då soffan antänds. Efter att soffan antänds tar det ungefär fem sekunder innan väggen antänds. När branden har spridit sig till toppen av väggen, vilket sker efter ungefär 50 sekunder, antas nästa monter antändas. Nästa objekt som antänds är soffbordet som antänds efter 120 sekunder att soffan startat. Därefter är det reklamstället med tillhörande reklam och barbordet som börjar brinna efter 190 respektive 300 sekunder. I monter nummer två sprider sig branden inom montern innan branden sprids vidare till nästa monter och då antas branden i första montern dämpas.

Tillväxthastigheten är väldigt snabb i det beräknade scenariot vilket gör att tillväxthastigheten i den approximerade effektutvecklingen anses vara ultrafast, $\alpha = 0,19 \text{ kW/s}^2$. Lokalen innehåller fler montrar än de två som nämnts ovan, däremot är osäkerheterna kring effektutvecklingens utseende efter det initierade skedet stora. Därför antas effektutvecklingen vara stabil efter att andra montern nått sin fulla effektutveckling eftersom branden fortsätter att spridas samtidigt som tidigare montrar brunnit ut. Effektutvecklingen antas vara stabil när den uppnått 10 MW och ses i Figur 40 samt beskrivs i sin helhet i Bilaga F.2 Brand under mässa.



Figur 40. Den dimensionerande brandens effektkurva för Brand under mässa.

6.3 Krävd utrymningstid – RSET

Då inga detektorer finns i den Lilla ishallen kommer branden att upptäckas först då någon av besökarna upptäcker den. Det förutsätts alltid finnas minst en person i varje monter som kan detektera en brand. Då brandens start definieras som den tidpunkt då soffan antänds och att väggen antänds endast fem sekunder efter detta så bör branden detekteras omgående. Detektionstiden anses vara försumbar.

Varseblivningstiden är den tid som förflyter från att branden i soffan är detekterad till det att personerna i närheten förstår att det är en brand i byggnaden. Varseblivningstiden kan anses vara kort i det fall där människorna ser branden (Frantzich, 2000). De allmänna råden i BBRAD föreslår en tid på minst 30 sekunder för personer som ser branden (Svensson, 2011). Då inga försvårande förutsättningar föreligger sätts tiden till 30 sekunder, vid vilken flammhöjden är cirka 0,7 meter. Flammorna är då så höga att de antas upptäckas av förbipasserande. Det är svårt att uppskatta varseblivningstiden för de personer som är längre bort och som inte ser branden. För folk som inte direkt ser branden kan det ta fyra minuter innan utrymning påbörjas i lokaler som inte är överskådliga (Frantzich, 2000). I scenariot med brand i monter under mässa är förvisso lokalen svåröverskådlig, men besökarna förväntas alltid att se någon annan människa. Varseblivningen av branden antas således äga rum efterhand som besökarna blir underrättade av någon som är på väg bort från branden. Den varierande fördröjda varseblivningstiden för personer i lokalen läggs därför ihop med förflyttningstiden istället för att hanteras enskilt.

Den tid som förflyter från att människorna förstått att det är en brand i byggnaden till att de beslutar sig för att utrymma kallas för beslutstid. Denna anges tillsammans med reaktionstiden som är den tid som förflyter från det att beslut om utrymning fattats tills att de verkligen börjar utrymma. Enligt en Delphiundersökning blev medelvärdet för besluts- och reaktionstiden 90 sekunder för personer som befinner sig i ett varuhus utan larm och där de såg branden (Frantzich, 2000). Ishallen kan liknas vid ett varuhus då de båda är relativt stora lokaler. Därför väljs besluts- och reaktionstiden 90 sekunder.

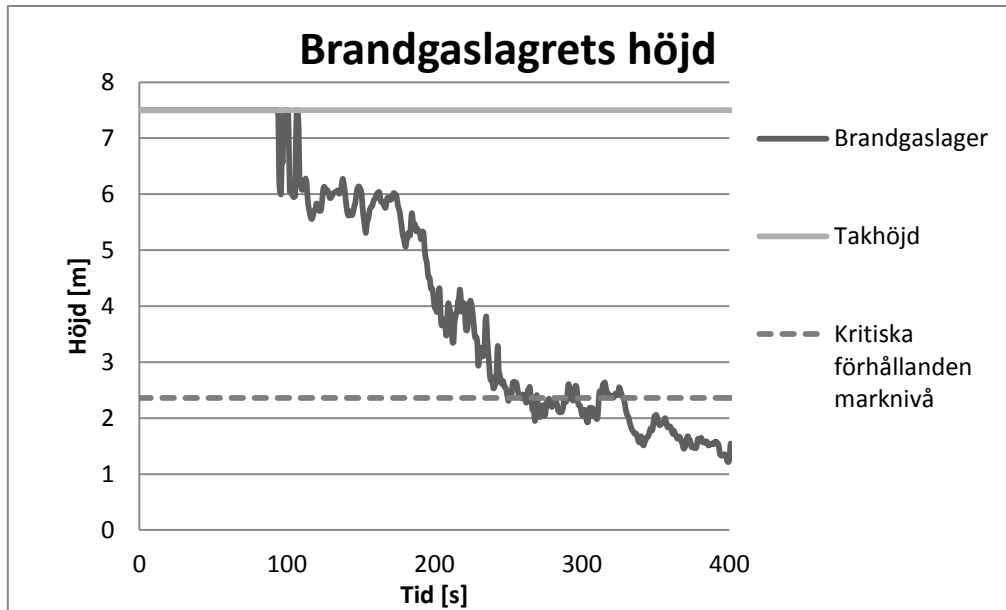
Förflyttningstiden är den faktiska tid som det tar för folket att lämna ishallen från det att de börjat utrymma. Denna tid simuleras med hjälp av datorprogrammet Simulex men beräknas även med handberäkningar. Tiden är främst beroende på antalet personer i lokalen, den sammanlagda bredden på de dörrar som används samt avstånden inom lokalen. Vilka dörrar som används varierar beroende på var branden befinner sig och vilken kännedom besökarna har om lokalen. Förflyttningstiden kommer alltså att variera ifall dessa parametrar ändras. Endast personerna i lokalen simuleras då besökare i angränsande lokaler inte kommer att påverka möjligheten att utrymma via entréhallen, se Bilaga H Förflyttningstid. Ett antal olika förhållanden simuleras och beräknas och det med längst förflyttningstid anses vara dimensionerande. I detta scenario anses Simulex bättre representera utrymningen än vad den enklare handberäkningen gör eftersom handberäkningarna i det här fallet överskattar köbildningen vid dörrarna. Simuleringarna presenteras närmare i Bilaga H Förflyttningstid. Den dimensionerande tiden som simuleras i Simulex blir 400 sekunder. Resultatet av samtliga deltider som ingår i RSET redovisas i Tabell 13 nedan.

Tabell 13. Sammanställning av tiderna som låg till grund för beräkning av RSET.

Detektionstid [s]	0
Varseblivningstid [s]	30
Beslutstid [s]	90
Reaktionstid [s]	
Förflyttningstid (från det att utrymningen påbörjats till sista person har lämnat respektive plats) [s]	400
RSET [s]	520

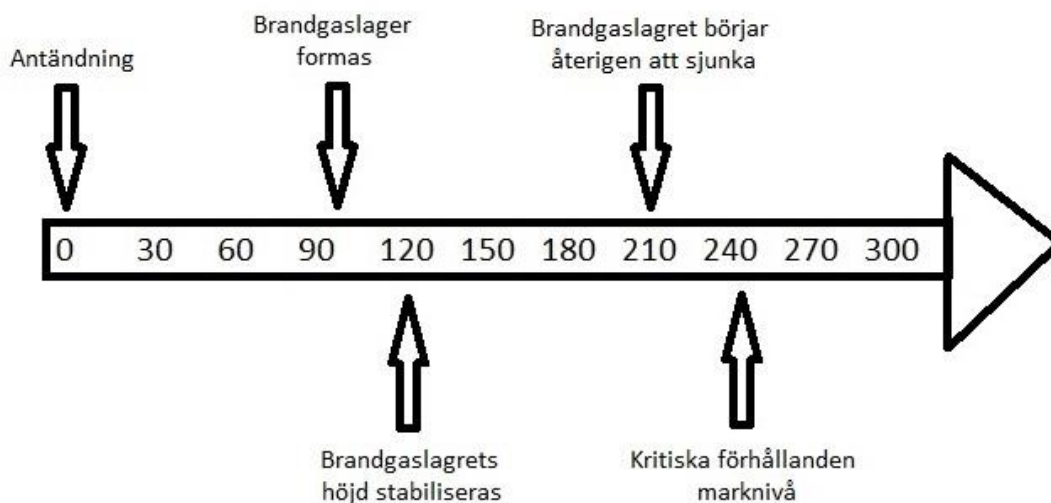
6.4 Tillgänglig utrymningstid – ASET

Tid till kritiska förhållanden, det vill säga ASET, tas fram genom att beakta de olika acceptanskriterierna som tidigare nämnts i Avsnitt 3.4.1.2 Tillgänglig utrymningstid – ASET. Brandscenariot simuleras i FDS och de tre acceptanskriterierna undersöks som en funktion av tiden. Eftersom brandgaslagrets temperatur är betydligt högre än den omgivande luftens, så fungerar algoritmen i FDS för att uppskatta brandgaslagrets höjd bra. Brandgaslagrets höjd mäts i mitten samt vid utgångarna i lokalen. Värde för de mätpunkter närmast branden är betydligt lägre än i övriga lokalen och anses inte representativa för brandgaslagrets höjd där personer förväntas finnas. Ett genomsnitt för den uppmätta brandgaslagerhöjden i de andra mätplatserna anses representera brandgaslagrets höjd och presenteras som en funktion av tiden tillsammans med de kritiska höjderna för brandgaslagret i Figur 41 nedan.



Figur 41. Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden. I grafen syns också takhöjden och höjden för kritiska förhållanden på marknivå.

Ett tydligt brandgaslager börjar uppträda omkring 100 s efter det att branden startar. Brandgaslagret sjunker till drygt fem meters höjd på cirka en halv minut och stannar stabilt på den höjden i ytterligare ungefär 100 s. Kritiska förhållanden vid marknivå uppstår 240 sekunder efter brandstart. Dessa nyckeltider presenteras på en tidslinje i Figur 42.



Figur 42. Viktiga händelser längs en tidsaxel (Illustration: Stefan Karlquist, 2013).

Den genomsnittliga temperaturen i brandgaslagret vid kritisk brandgaslagerhöjd är under 100 °C, vilket kan ses i Bilaga G.2.2.2 Temperatur brandgaslager. De låga temperaturerna gör att strålningen från brandgaslagret blir låg och således är det endast brandgaslagrets höjd som avgör när kritiska förhållanden uppstår.

6.4.1 Kontroll av simulering

För att bedöma giltigheten i simuleringen kontrolleras ett antal känsliga parametrar. Dessa kontrolleras med olika metoder så som handberäkningar, ytterligare simuleringar och ingenjörsmässiga rimlighetsbedömningar. Undersökningsmetod och undersökta parametrar samt huruvida de överensstämmer med simuleringen presenteras i Tabell 14 nedan och presenteras i sin helhet i Bilaga G.2.3 Kontroll av resultat.

Tabell 14. Sammanställning av valideringen av resultaten.

Parameter i simuleringen	Kontrollmetod	Simulering trovärdig
Cellstorleken tillräckligt liten	Simulering i FDS med åtta gånger fler celler	Ja
Brandgaslagrets höjd	Acceptabla förhållanden under brandgaslagret	Ja
Acceptabla förhållanden under brandgaslagret	Andra mätinstrument i FDS	Ja

Kontrollerna av simuleringen bekräftar dess korrekthet.

6.5 Resultat

Den sammanlagda utrymningstiden, RSET, uppskattades till 520 sekunder från det att branden startade. Tiden till det att kritiska förhållanden, ASET, uppstod i lokalen var endast 240 sekunder från brandstart. Detta presenteras i Tabell 15 nedan.

Tabell 15. Sammanställning av RSET, ASET och huruvida kritiska förhållanden hade infunnit sig eller inte i Lilla ishallen, enligt simuleringarna.

RSET [s]	520
ASET [s]	240
Kritiska förhållanden [ja/nej]	Ja

I Figur 43 nedan visas personernas placering i lokalen då kritiska förhållanden beräknades uppstå, enligt simulering. De två nedre utrymningsvägarna i figuren var avstängda och användes därför inte under utrymningen. Den övre utrymningsvägen användes inte då folk inte antogs söka sig närmare branden vid val av utrymningsväg.



Figur 43. Bild tagen från Simulex-simulering i Lilla ishallen vid tidpunkten då kritiska förhållanden beräknas uppstå. Som synes skulle inte en säker utrymningssituation vara möjlig enligt simuleringarna.

I dagsläget uppfyller lokalen med andra ord inte kraven på att en säker utrymning ska kunna genomföras. Dessa tider byggde på ett antal antaganden och uppskattningar som var valda för att spegla en konservativ modell av veckligheten. I Avsnitt 6.6 Känslighetsanalys undersöks närmare hur dessa antaganden påverkar tiderna. I Avsnitt 6.7 Åtgärdsförslag diskuteras ett antal åtgärdsförslag som behövs för att kunna genomföra en säker utrymning.

6.6 Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen syftar till att utreda hur mycket olika uppskattade parametrar har påverkat slutresultatet. Ingående parametrar som anses intressanta justeras med 25 % åt vardera håll för att se hur mycket detta påverkar RSET och ASET.

En brand med effektutvecklingen 7500 kW, det vill säga 25 % mindre än den dimensionerande branden, simuleras för att undersöka effektutvecklingens påverkan på tiden till kritiska förhållanden. I Figur 44 nedan visas brandgaslagrets höjd som en funktion av tiden. Detta leder till att ASET, tiden till kritiska förhållanden, ändras från 240 sekunder till 320 sekunder. I figur € nedan visas brandgaslagrets höjd som en funktion av tiden.



Figur 44. Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden. Den andra linjen anger kritiska förhållanden.

På motsvarande sätt simuleras en brand med 25 % högre maximal effektutveckling. ASET för en sådan brand minskar med 55 sekunder till 185 sekunder.

De olika deltiderna i RSET justeras med 25 % var för sig och deras påverkan på resultatet presenteras i Tabell 16 nedan. I tabellen redovisas dessutom hur antalet personer i lokalen samt vilka utrymningsvägar som används påverkar resultatet.

Tabell 16. Sammanställning av känslighetsanalysen för Brand under mäsas.

Undersökt parameter	Variation av parametern	Påverkan på RSET [s]	Påverkan på ASET [s]
Varseblivningstiden	- 25 %	7,3 (- 1,4 %)	-
Varseblivningstiden	+ 25 %	7,3 (+ 1,4 %)	-
Besluts- och reaktionstiden	- 25 %	22,4 (- 4,3 %)	-
Besluts- och reaktionstiden	+ 25 %	22,4 (+ 4,3 %)	-
Antal personer i lokalen	- 25 %	99,8 (- 19,2 %)	-
Antal personer i lokalen	+ 25 %	50 (+ 9,6 %)	-
Antalet utrymningsvägar som används	+ 1 st	80,1 (- 15,4 %)	-
Effektutvecklingen	- 25 %	-	79,2 (+ 33 %)
Effektutvecklingen	+ 25 %	-	55,0 (- 22,9 %)

Känslighetsanalysen visar att brandens effektutveckling och tillväxthastighet har en stor inverkan på resultatet. I utrymningssimuleringarna visas att en stor del av förflyttningstiden är på grund av köbildning så när antalet personer minskas eller fler utrymningsvägar görs tillgängliga så får detta också stor påverkan på resultatet.

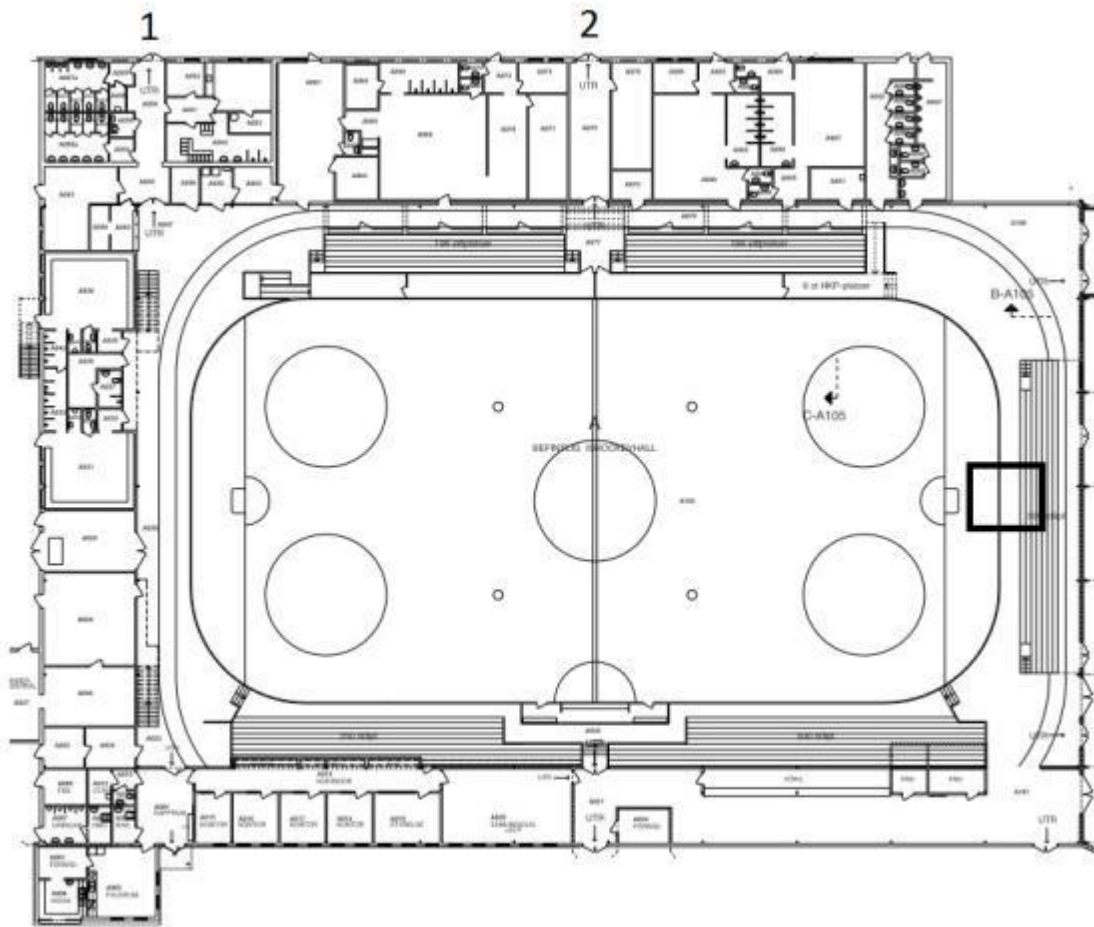
6.7 Åtgärdsförslag

Simulering av brandförlopp och utrymningsförlopp visar att utrymningen inte kan ske inom acceptanskriterierna. För att förkorta varseblivningstiden rekommenderas installation av branddetektionssystem som kan larma i ett tidigt skede. För att upptäcka även mindre bränder i god tid så rekommenderas någon form av rökdetektionsutrustning. Med tanke på alla dolda utrymnen och det plana taket så passar optiska ljusspridningsdetektorer utmärkt. Dessa skall placeras så att den övervakade ytan per detektor inte överstiger 100 m² och att ingen del av taket är på ett större horisontellt avstånd än 10 m. (Svenska Brandskyddsföreningen, 2001)

Simuleringar visar dock att tiden det tar att utrymma från varseblivning till det att personerna når en säker plats är längre än tiden till kritiska förhållanden. Därför krävs ytterligare insatser för att garantera en säker utrymning. Ifall samtliga befintliga utgångar görs tillgängliga för de utrymmande så kommer detta att minska köbildningarna vid en utrymningssituation. Tillgängliga innebär inte bara att de ska öppnas och markeras med skyltning utan också att möbleringen i lokalen ska möjliggöra en enkel väg till dessa. Simuleringar visar dock att denna åtgärd inte räcker för att garantera en säker utrymning. Det finns brandgasluckor i dagsläget men dessa styrs manuellt och räddningstjänsten har detta är något som från förvaltningen överlåtits till räddningstjänsten att sköta. En automatisering av brandgasluckorna för att ventileras bort brandgaserna rekommenderas för att öka den tillgängliga utrymningstiden.

Det finns olika metoder för att ventileras bort brandgaser med brandgasluckor, men generellt kan de delas in i tre olika kategorier. Kategori ett utnyttjar brandgasernas egen stigningskraft för att de ska ventileras bort. Dessa kräver att dörrar eller fönster under brandgaslagret öppnas för att på så sätt skapa tillräckliga tryckskillnader. Kategori två använder en mekanisk fläkt vid brandgasluckan för att driva ut brandgaserna, dessa kräver inga öppna dörrar eller fönster under brandgaslagret då den skapar tillräcklig stor tryckskillnad själv men det krävs någon form av lufttillströmning för att återfylla lokalen varefter brandgaserna ventileras ut. Kategori tre använder en mekanisk fläkt någonstans under brandgaslagret som driver in luft i lokalen för att öka tryckskillnaden och på så sätt driver ut brandgaserna genom brandgasluckan.

De kritiska parametrarna för brandgasluckor av kategori ett som inte har någon mekanisk fläkt är brandgasluckornas area, de öppna dörrarnas och fönsternas area samt brandens effektutveckling. Med värdena från den dimensionerande branden och med de aktuella brandgasluckornas area så beräknas vilken area på öppningarna under brandgaslagret som krävs för att brandgaslagret inte ska sjunka under tre meters höjd. Denna beräkning utförs i Bilaga I.1 Beräkning av öppningsarea under brandgaslager och resultatet blir att öppningsarean 3,1 m² krävs. Detta motsvarar att förslagsvis en eller gärna båda dörrarna som vetter mot Stora ishallen måste öppnas, se Figur 45 nedan. En positiv sideeffekt av att öppna utrymningsvägar automatiskt är att personer i lokalen då blir medvetna om dessa vägar ifall de inte tillhör den normala vägen att lämna lokalen.



Figur 45. Bild som illustrerar åtgärdsförslagen för scenariot Brand under mässa i Lilla ishallen. Till höger syns brandgasluckans placering. Siffrorna 1 och 2 visar ovan nämnda utrymningsvägar som förslagsvis öppnas i händelse av utrymningsituation (PEAB, 2004) (Modifierad: Stefan Karlquist).

En nackdel ovanstående lösning är att dörrar till lokalen öppnas även vid fellarm något som givetvis inte är önskvärt, framför allt på tider då lokalen är obemannad. För att slippa problemet med att dörrar öppnas vid fellarm så kan istället brandgasluckor av kategori två eller tre användas. Brandgasluckor med mekanisk frånluftfläkt kräver dock också någon form av tilluft till lokalen så att ny luft kan fylla de utblåsta brandgasernas plats. Då dessa möjligheter kan vara begränsade på grund av stängda dörrar och för ändamålet underdimensionerat ventilationssystem så bedöms brandgasluckor med mekanisk tilluft till lokalen vara ett bra alternativ ifall risken med oönskad dörröppning är för stor. Fläktens kapacitet avgör hur mycket brandgaser som kan ventileras ut. Den fläktkapacitet som krävs för att behålla brandgaslagret över tre meters höjd beräknas i Bilaga I.2 Beräkning av mekanisk tilluft till 70 000 m³/h.

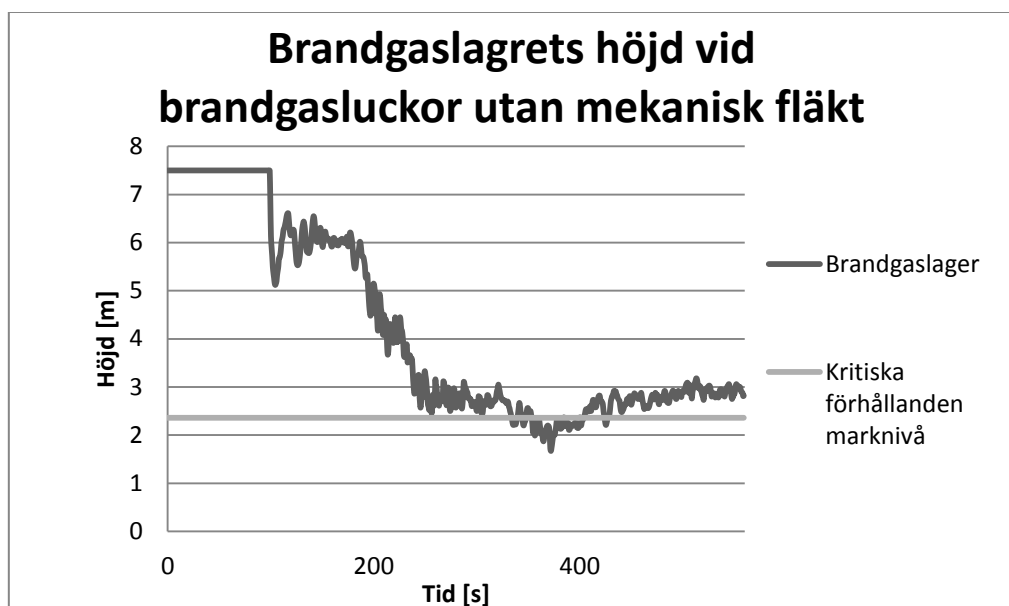
Brandgasluckor med mekanisk frånluft identifieras som den bästa metoden för att ventileras ut brandgaser. Den krävda kapaciteten beräknas inte i denna rapport utan överläts åt installatörer av brandgasfläktarna att avgöra.

6.8 Verifiering av åtgärdsförslag

De tre föreslagna åtgärderna med de olika kategorierna av brandgasluckor testas i varsin FDS-simulering. Den dimensionerande branden med effektutvecklingen 10 MW används. För lösningen med brandgasluckor utan mekanisk fläkt så öppnas brandgasluckorna samt dörrarna som är markerade i Figur 45 ovan då de optiska ljusspridningsdetektorerna detekterar brand. På motsvarande sätt öppnas brandgasluckorna och den mekaniska tilluftsfläkten startar vid branddetektion i fallet med mekanisk tilluft. En detektor kan enligt föreslagen montering befinna sig som längst fem meter ifrån branden så detta fall används i simuleringen. Det finns en rad metoder för att avgöra när en detektor av föreslagen typ detekterar men de flesta av dessa bygger på kännedom om vilken typ av material som är inblandat i branden. Då det i scenariot med brand under mässa är mycket svårt att förutspå materialtyp används här förenklingen att detektorn reagerar när temperaturen vid den ökar 5 °C, vilket är ett bra riktvärde för moderna rökdetektorer (Nilsson & Holmstedt, 2008). Simuleringen presenteras närmare i Bilaga G.2.4.1 Verifiering av åtgärdsförslag Brandgaslucka utan fläktar.

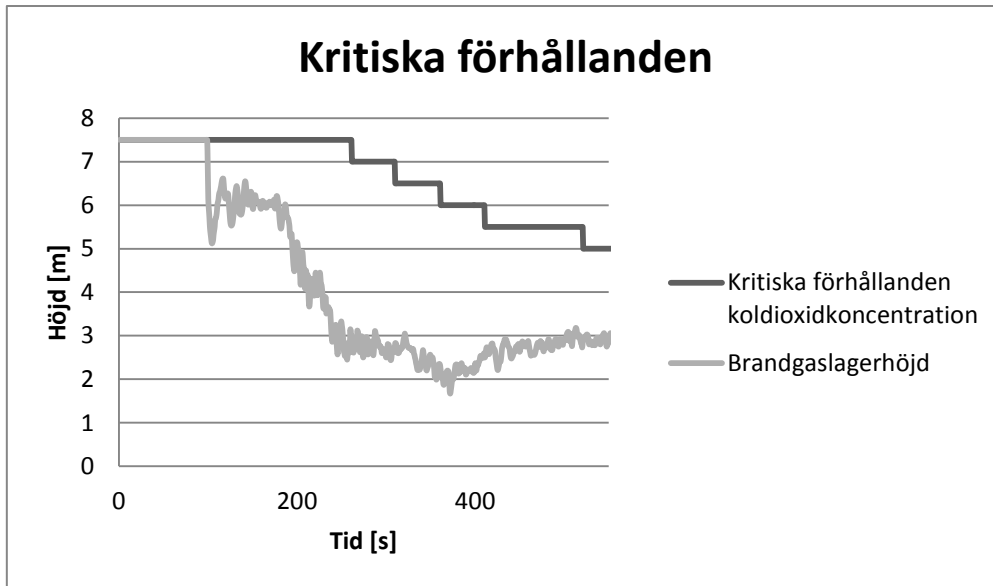
6.8.1 Verifiering av brandgasluckor utan mekanisk fläkt

I Figur 46 nedan presenteras brandgaslagrets höjd i simuleringarna med åtgärdsförslaget utan mekanisk fläkt.



Figur 46. Diagrammet visar brandgaslagrets höjd över marknivå då ingen fläkt används för att få brandgaserna att ta sig ut ur lokalen.

Den beräkning som genomfördes placerade brandgaslagret på tre meters höjd, vilket inte fullt ut verifieras av FDS-simuleringen. Det finns en antydning till att brandgaslagret möjligen ser ut att stabilisera sig kring tre meters höjd men då resurser inte fanns att simulera en längre tid än cirka 600 sekunder så är det inte möjligt att uttala sig närmare om detta. I simuleringen så uppträder under en period kritiska förhållanden, men då brandgaslagrets höjd är ett konservativt acceptanskriterium så undersöks detta närmare. I de punkter där brandgaslagrets höjd mäts så mäts också koncentrationen toxiska gaser på olika höjder som en funktion av tiden. Höga värden för produktionen av dessa gaser är medvetet valda i indata till simuleringen för att inte underskatta toxiciteten. I Bilaga G.2.4.1.2 Resultat FDS-simulering presenteras resultatet av denna mätning i detalj och i Figur 47 nedan presenteras vilken höjd kritiska förhållanden råder som en funktion av tiden.

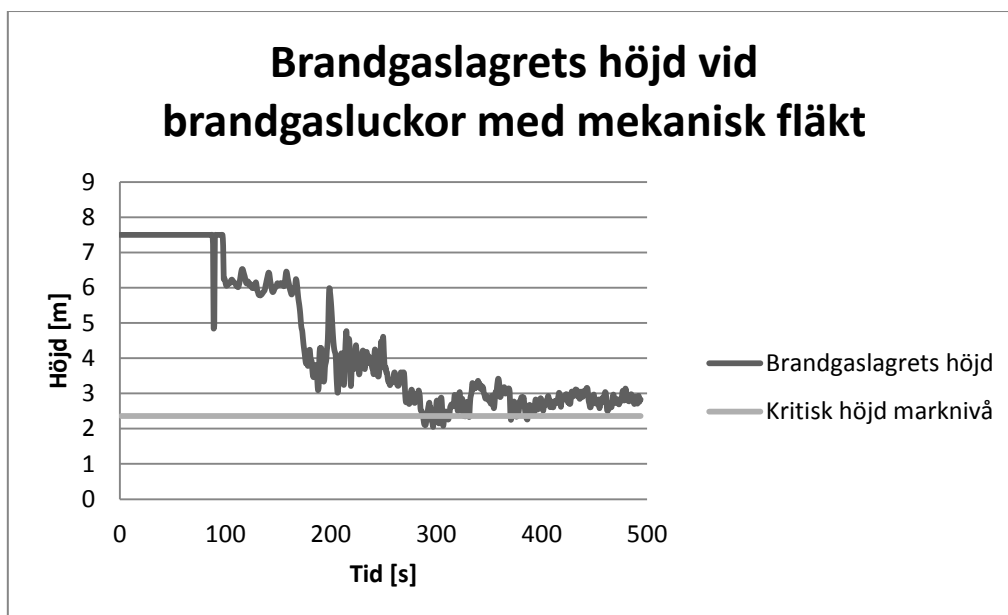


Figur 47. Diagrammet visar vid vilken höjd kritiska förhållanden uppstår gällande koldioxidkoncentration och jämför den med vilken höjd brandgaslagret har vid samma tillfälle.

Då både handberäkningar och simuleringen pekar mot att brandgaslagrets höjd stabiliserar sig kring tre meters höjd så anses åtgärdsförslaget verifierat. Under en kort stund befinner sig brandgaslagret under den acceptabla höjden men efter en närmare studie över toxiciteten i brandgasen anses det ändå möjligt att genomföra en utrymning under de förhållandena.

6.8.2 Verifiering av brandgasluckor med mekanisk tilluft

I Figur 48 nedan presenteras brandgaslagrets höjd i simuleringarna med åtgärdsförslaget med mekanisk tilluftsfläkt. Simuleringen presenteras mer ingående i Bilaga G.2.4.2 Verifiering av åtgärdsförslag Brandgaslucka och mekanisk tilluft.



Figur 48. Diagrammet visar brandgaslagrets höjd över marknivå då fläkt används för att få brandgaserna att ta sig ut ur lokalen.

Brandgaslagrets höjd befinner sig över acceptansnivån under hela simuleringen förut i ett fåtal unika mätögonblick då det hamnar precis under den höjd som accepterats. Den tydliga tendensen i simuleringen placerar brandgaslagret på ungefär den höjd som beräknats och därför anses åtgärdsförslaget verifierat.

6.9 Diskussion

Lokalens storlek och takets material som leder bort värme väl gör att brandgasernas temperatur är relativt låga speciellt i de delar av lokalen som är långt bort från branden. Simuleringen i FDS visar att temperaturen ändå är tillräcklig för att skapa ett tydligt brandgaslager. Dock är all ventilation bortförenklad i simuleringarna något som annars möjligtvis skulle kunna skapa tillräcklig turbulens för att driva ner toxiska gaser under den uppskattade brandgaslagerhöjden. Det finns då också en risk att dessa inte är tillräckligt varma för att återigen stiga. Det är denna effekt som gör det svårt att förutse brandgasutbredning och att tillämpa enkla brandmodeller i stora lokaler. Detta är en osäkerhet som är svår att fånga i en känslighetsanalys men det faktum att värden för den toxiska produktionen av gaser är konservativ och att FDS inte ger toxiska nivåer under brandgaslagret tolkas som att temperaturen ändå är tillräcklig för att brandgaserna inte ska blandas ut och nå längre ner än beräknat.

Tidsdelarna i RSET är svåra att kvantifiera då dessa är helt beroende på hur varje enskild individ i lokalen reagerar och betar sig. Värdena som används är de värden som gäller som förslag för analytisk dimensionering. En rimlighetsprövning av dessa görs sedan men värdena får ändå ses som osäkra. Dock visar en känslighetsanalys att dessa värden har förhållandevis liten påverkan på utrymningstiden.

Generellt är konservativa värden valda då osäkerheter funnits vilket gör att RSET med stor sannolikhet överskattas och att ASET underskattas. Detta leder till att resultatet utan åtgärder antagligen är överskattat vad gäller hur snabbt kritiska förhållanden uppstår och hur lång tid en utrymning tar. Men också att förslagen med åtgärder verkligen fungerar då de är utformade för denna överskattning. Dessutom visar känslighetsanalysen att även om de faktorer som har störst inverkan på dessa tider minskas med 25 % så uppstår ändå kritiska förhållanden i lokalen innan alla har kunnat utrymma.

Då simuleringar i FDS kräver stora resurser i form av datorkraft och tid så har det inte funnits möjlighet att göra alla de simuleringar som hade varit önskvärt, framför allt inom känslighetsanalysen där det hade varit önskvärt att undersöka fler parametrar inom verifieringen av åtgärdsförslagen. Då värden är valda konservativt anses resultatet för verifiering av åtgärdsförslagen ändå mycket säkra. Det fanns inte tid och datorkraft att genomföra ett nodkonvergenstest för simuleringarna av åtgärdsförslagen men då geometrin är mycket lik de andra simuleringarna antas nodkonvergens även gälla i dessa fall. Det hade dock varit önskvärt att genomföra detta test för att se att strömningarna kring öppningarna simulerades korrekt. Däremot bör en eventuell för stor grid påverka strömningens kapaciteten negativt då en större del brandgaser påverkas av algoritmerna för strömningar kring öppningarnas kanter, detta kan dock inte sägas med säkerhet.

Det genomförs kontroller av delresultat i FDS-simuleringarna men det genomförs inga undersökningar av slutresultatet med andra metoder, det på grund av att inga andra metoder anses fungera i en lokal med de geometrier som finns i detta fall. Det innebär ett problem att resultatet av FDS-simuleringarna inte kan kontrolleras med någon annan metod för att uppskatta korrektheten i slutresultatet. I brist på andra verktyg så anses FDS vara det bästa valet för att uppskatta förhållandena i lokalen vid brand och delkontrollerna bekräftar till viss del simuleringarnas giltighet.

I utrymningssimuleringarna där förflyttningstiden undersöks anses personerna vara i säkerhet då de lyckats lämna den Lilla ishallen. Ett stresstest görs för att undersöka hur de som utrymmer via Entréhallen påverkas av att personer från andra angränsande lokaler också utrymmer via Entréhallen. Dessa visar att det inte uppstår några betydande köer i detta utrymme tack vare de många utrymningsvägarna, stresstestet presenteras i Bilaga H Förflyttningstid. Simuleringarna med åtgärdsförslagen visar att brandgaserna inte når så lågt som dörrhöjden vilket innebär att acceptabla förhållanden bör råda även utanför lokalen. Av dessa anledningar anses personer som lämnat Lilla ishallen befinna sig i säkerhet.

Takets lutande form är svår att representera i FDS, därför görs förenklingen att taket är plant. Rummets volym görs samtidigt en aning mindre i simuleringen än i verkligheten för att inte underskatta några effekter av att simulera taket som plant. Brandgasluckorna som föreslås som åtgärd är placerade där taket är som högst mitt i lokalen. Takets lutning kommer sannolikt att förbättra brandgasluckornas prestanda jämfört med simuleringen då lutningen på taket leder brandgaserna till luckorna bättre än ett plant tak.

I rapporten ligger fokus på människors säkerhet vid brand men det bör nämnas att chansen att rädda materiella värden i salen ökar dramatiskt vid en så tidig detektion som möjligt. Då salen dessutom till stor del är konstruerad av material som lätt antänds så är det av största vikt att räddningstjänsten kan inleda en släckning så snabbt som möjligt. För att rädda materiella värden kan det även vara aktuellt att installera ett spinklersystem men detta är inte något som undersöks närmare i denna rapport.

I verifieringen av åtgärdsförslagen så visar simuleringen att handberäkningarna av brandgashöjden med brandgasluckor inte gäller under hela utrymningsförloppet. Brandgaslagret sjunker en tid under den acceptabla höjden för att senare stiga till en bit under den beräknade brandgashöjden. Brandgasernas sammansättning i närhet av den acceptabla höjden är aldrig toxisk därför anses dessa dippar ner under denna höjd vara acceptabelt. Det hade varit önskvärt att mäta fler egenskaper hos brandgaserna som nått under acceptabel höjd, så som siktbarhet för att ytterligare avgöra att dessa värden är godkända något som dock ej gjordes i simuleringen. Någon förklaring till varför denna dipp överhuvudtaget förekommer, och dessutom i båda åtgärdsförslagssimuleringarna, hittas inte.

Brandgaslagrets höjd mäts i ett antal punkter i lokalen och de uppmätta höjderna skiljer sig åt relativt mycket framförallt eftersom de fluktuerar, men de jämnas ut desto längre tiden går. Det hade varit önskvärt att genomföra ett antal simuleringar med branden placerad på olika platser i lokalen för att närmare kunna avgöra hur brandgashöjden i viktiga punkter, exempelvis vid utrymningsvägarna där köbildning förväntas, varierar beroende på brandplacering. Därför väljs konservativt hela tiden den lägsta uppmätta brandgaslagerhöjden i varje tidssteg.

Det råder osäkerheter kring huruvida de föreslagna brandgasventileringarna fungerar i praktiken. I teorin och i valideringarna så fungerar de, men då har hänsyn inte tagits till yttre faktorer så som vind. Detta gör att de beräknade värdena för brandgasluckorna bör ses som vägledande men inte absoluta sanningar. Ifall åtgärdsförslaget med brandgasluckor används så bör deras exakta konfiguration utredas vidare. I denna utredning bör också metoden med mekanisk frånluft tas med då den metoden inte är lika beroende av yttre förhållanden.

7 Brand under konsert

I detta avsnitt beskrivs det tredje representativa brandscenariot kallat Brand under konsert. Det görs med hjälp av att definiera en dimensionerande brand, beräkna krävd utrymningstid och tillgänglig utrymningstid, utvärdering av risk för brandspridning via ventilationssystemet, resultat och en känslighetsanalys. Avslutningsvis presenteras åtgärdsförslag samt en verifiering av åtgärdsförslagen.

Scenariot Brand under konsert antas täcka in och innefatta samma utrymningsproblematik som samtliga brandscenarier i Stora ishallen, det vill säga Brandscenario 16-30 – se Tabell 2 i Avsnitt 4 Identifiering av brandscenarier.

För den dagliga verksamheten i den Stora ishallen finns, som synes i riskmatrisen, ett antal tänkbara brandscenarier som uppskattas få konsekvenser på utrymningssäkerheten. Gemensamt för dessa är att det endast är ett fåtal människor i lokalen och att branden startar någonstans utanför själva arenan. Det identifieras dessutom att avsaknaden av brännbara material och den gedigna betongkonstruktionen gör det osannolikt att bränderna kommer att sprida sig från den platsen där de startar.

Vid speciella arrangemang är dock lokalen emellanåt fylld med betydligt mer brännbart material och fler människor. Under stormatcher och konserter är läktarna välfyllda och vid konserter är mängden brännbart material inne på själva arenan betydligt större än till vardags. Ett brandscenario under konsert där något börjar brinna på scenen anses ställa högst krav på utrymningssäkerheten och därför anses ett sådant scenario vara dimensionerande för utrymningen. Ett exempel på hur det kan se ut i arenan under konsert visas i Figur 49.



Figur 49. Exempel på hur det kan se ut i Stora ishallen vid konsert
(Foto: Smick Hall-Hardgrave, All Round Productions AB).

Det bedöms vara sannolikt, i relation till övriga brandscenarier, att en brand ska inträffa på scenen. Det finns ett antal tänkbara tändkällor så som en hel del kablage, starka scenlampor och eventuell pyroteknik. En brand på scen antas att kunna observeras av alla i publiken, dock visar tidigare liknande händelser att det tar ett tag innan folk uppfattar att det verkligen är en brand och inte en del av showen.

7.1 Ventilation

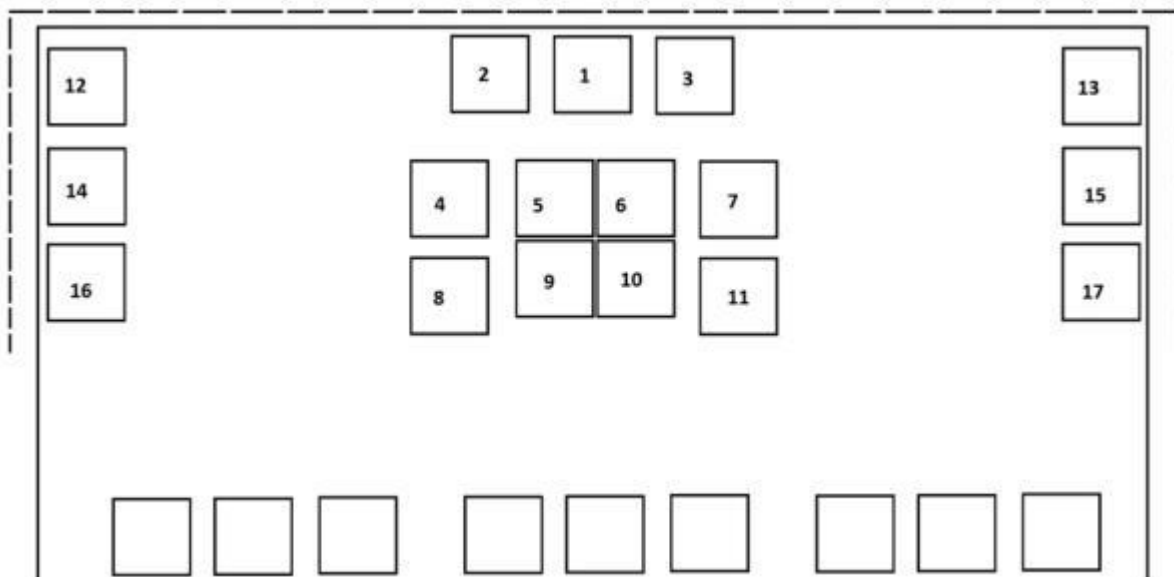
Under en brand i Stora ishallen bedöms inte tryckupbyggnaden i det inledande skedet att påverka ventilationssystemet, då lokalen omfattar en stor volym. Varken till- eller frånluftsystemen löper genom någon brandcellsgräns till de andra lokalerna. Av de anledningarna beaktas inte brandspridningen genom ventilationen.

7.2 Dimensionerande brand

Stora ishallen används ibland till konserter av olika storlekar. Bland de största finns Melodifestivalen som arrangerades 2007 och 2012. Under en konsert är publiken koncentrerade på underhållningen, vilket gör att en brand kan upptäckas sent. Dessutom finns det en stor risk för att en brand upplevs en del av showen (Nilsson, 2013).

I konsertsammanhang är det vanligt att ha stora tygstycken på scenen bland annat för att skapa en mysigare atmosfär och för att dölja elektronik. Det anses vara en relativt hög sannolikhet för att brand skall utbryta där eftersom flertalet tändkällor finns. Exempel på möjliga tändkällor skulle kunna vara pyroteknik, elfel och anlagd brand. Samtidigt bedöms konsekvenserna kunna bli stora på grund av mycket brännbart material, möjlighet till snabb brandspridning och framförallt hög persontäthet.

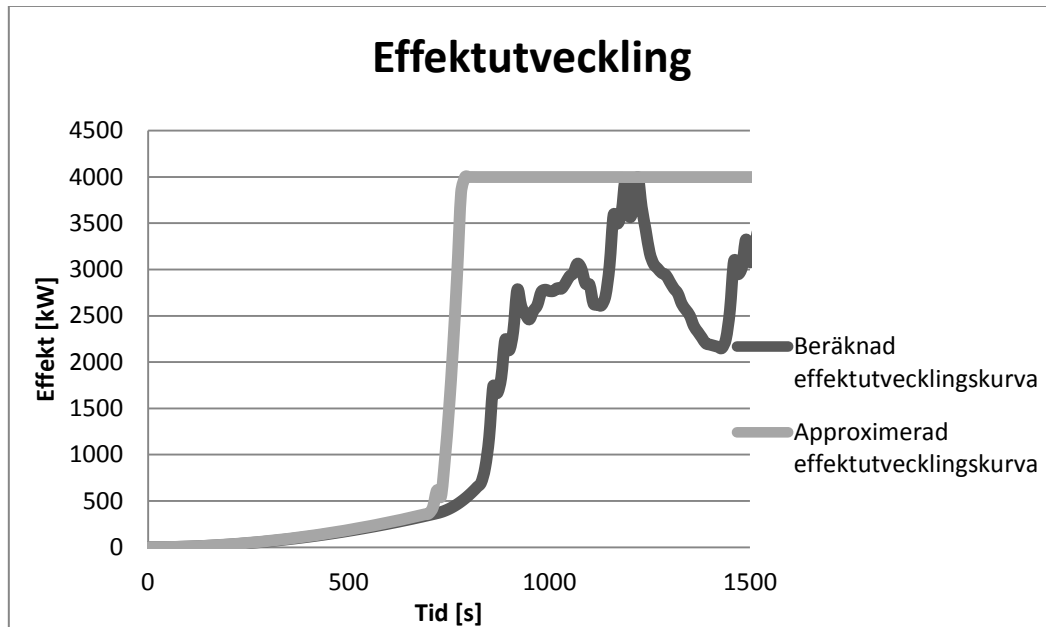
Det brännbara material som finns på scenen approximeras till att bestå av enbart högtalare förutom själva draperiet som hänger runt om. Runt om scenen finns det inga betydande mängder brännbart material, därför anses branden begränsas till scenområdet. En principskiss över scenen visas i Figur 50. De streckade linjerna är draperierna.



Figur 50. Principskiss över scenen där de streckade linjerna illustrerar draperierna. Kvadraterna motsvarar högtalare (Illustration: Jack Rohrstock, 2013).

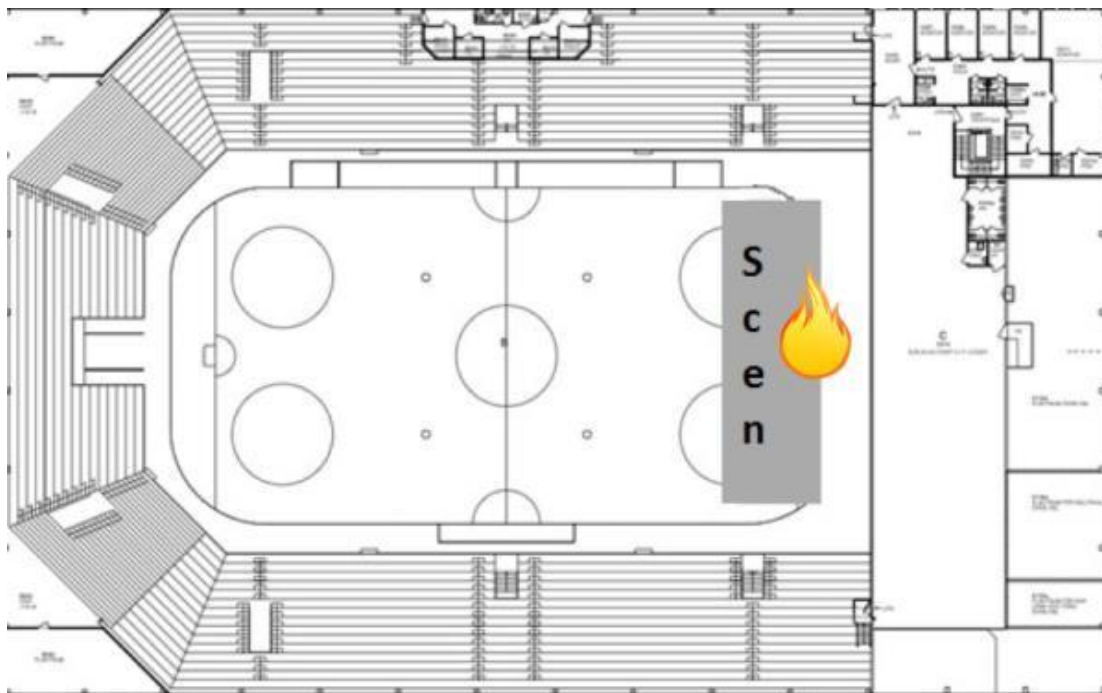
Den dimensionerande branden antas uppstå efter elfel i kablar som är placerade längst bak på scenen. Då de är inkopplade till diverse högtalare antas spridning först ske dit, för att sedan ta sig till draperiet. Med stålningberäkningar och flamspridningshastigheter beräknas sedan hur branden sprider sig till de andra högtalarna på scenen samt hur draperiet kommer att brinna. Effektutvecklingen har antagits till

en $\alpha \cdot t^2$ – kurva eftersom brandbelastningen varierar och en generell effektutveckling antas täcka in de flesta möjliga fall. Totalt sett approximeras effektutvecklingen efter att ha gjort en bedömning av hur brandförloppet kommer att se ut. Tillväxthastigheten har satts till $\alpha = 0,0052 \text{ kW/s}^2$ i början av scenariot och fortsätter sedan till $\alpha = 0,556 \text{ kW/s}^2$ i slutet för att följa den beräknade effektutvecklingen så mycket som möjligt. Den maximala effektutvecklingen sätts till 4 000 kW. Resultatet ses i Figur 51 och en utförligare beskrivning av beräkningar finns i Bilaga F.3 Brand under konsert.



Figur 51. Den dimensionerande brandens effektkurva för Brand under konsert.

Placeringen av branden i förhållande till lokalen åskådliggörs i Figur 52 nedan. Brandens startpunkt symboliseras av en flamma.



Figur 52. Bild som åskådliggör scenens och brandens placering i Stora ishallen (PEAB, 2004) (Modifiering av: Jack Rohrstock, 2013).

7.3 Krävd utrymningstid - RSET

Vid stora evenemang avaktiveras ofta branddetektionsutrustningen för att undvika onödiga larm orsakade av exempelvis pyroteknik på scenen. För att kompensera avsaknaden av detektorer använder arrangörer sig ibland av funktionärer som håller utkik efter brand, så kallade brandvakter. I det värsta troliga fallet finns det en brandvaktorganisation men den fungerar inte tillfredsställande.

Eftersom inga branddetektorer finns och organisationen med brandvakter fungerar dåligt så sker detektion då någon av besökarna upptäcker branden. Varseblivningstiden är den tid som går från att branden är upptäckt tills att personerna i omgivningen förstår att det är en brand i byggnaden.

Varseblivningstiden anges vara kortare om människor ser branden istället för bara rök (Frantzich, 2000). Eftersom besökare under en konsert är koncentrerade vid scenen och att det kan finnas många störmoment så som exempelvis organiserad pyroteknik, intensivt växlande mellan olika typer av ljus samt dekor som kan dölja branden, förväntas branden upptäckas tidigast när flamhöjden uppnår 1 meter. Då detektionstiden är svår att utskilja i det här fallet från varseblivningstiden är de båda sammanvävda. Den kombinerade tiden för detektionstid och varseblivningstid sätts till 550 sekunder, det vill säga när flamhöjden beräknas vara 1 meter.

Från att människor fått kännedom om att det finns en brand till att de bestämmer sig för att utrymma kallas för beslutstid. Här anges beslutstiden tillsammans med reaktionstid som är den tid från ett beslut att utrymma tagits till att utrymning faktiskt sker eftersom de båda är svåra att skilja åt. Det finns försök gjorda i varuhus där denna tid anges vara 90 sekunder (Frantzich, 2000). Samma tid anses lämplig då både varuhus och ishallar är stora lokaler och förutsättningarna som är skiljer situationerna åt har hanterats i varseblivningstiden.

Sista parametern för att beräkna vilken tid som krävs för utrymning är förflyttningstiden vilket här är tiden som det tar från att personerna i lokalen börjar lämna sin plats tills att de lämnat brandcellen alternativt tagit sig ut i det fria. Förflyttningstiden simuleras genom programmet Simulex och valideras med handberäkningar. Simulex tar hänsyn till köbildning på ett sätt som inte görs med handberäkningar, å andra sidan så tar sig alla testpersoner ut med hjälp av handberäkningar vilket inte är fallet med Simulex. En viktig parameter för förflyttningstiden är spridningen i användandet av utgångar. Endast personerna i lokalen simuleras då de i angränsande lokaler inte kommer att påverka möjligheten att utrymma via entréhallen, se Bilaga H Förflyttningstid.

Vanligtvis tenderar människor att ta sig ut samma väg som de kom in, vilket gör att huvudingången brukar vara kraftigt använd även i utrymningssammanhang. I försök i IKEA-varuhus var det många gånger fler än hälften som tog sig ut genom huvudentrén trots den komplexa geometrin (Frantzich, 2000). I intervjuer med överlevande från bränder (Sime, 1985) visas en tydlig trend att människor under stress inte benägna att prova nya vägar utan då mer än någonsin vill hålla sig till situationer det känner till. Simuleringen bestäms därför vara mer konservativ då det är ungefär 85 % som tar sig ut genom huvudentrén.

Stora ishallen är uppdelad i olika sektioner på olika nivåer. Eftersom det sker köbildning på de olika nivåerna är det intressant att se när total utrymning skett från respektive nivå. Simulering i Simulex ger att den översta stolsraden är utrymd efter 500 s, utgångar vid nivå två efter 540 s, utgångar vid nivå ett efter 1400 s och marknivå efter 1460 s. Motsvarande beräkningar för handberäkningarna blev 520, 540, 1345 samt 1400 s. Sammanvägning blir 510, 540, 1390 samt 1430 s.

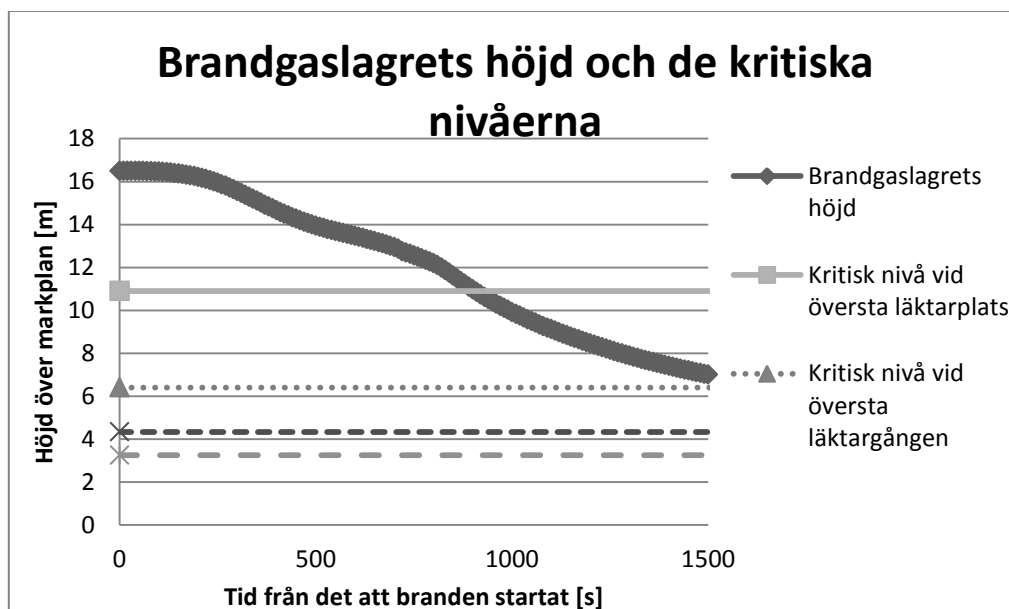
RSET, required safe egress time, för brand under konsert i Stora ishallen blir alltså olika för de olika nivåerna i lokalen. Resultaten presenteras i Tabell 17.

Tabell 17. Sammanställning av tiderna som låg till grund för beräkning av RSET

Plats	Översta läktarplatserna	Utgångar vid nivå två	Utgångar vid nivå ett	Golvnivå
Detektionstid [s]				
Varseblivningstid [s]	550	550	550	550
Beslutstid [s]				
Reaktionstid [s]	90	90	90	90
Förflyttningstid (från det att utrymningen påbörjats till sista person har lämnat respektive plats) [s]	520	540	1390	1430
RSET [s]	1160	1180	2030	2070

7.4 Tillgänglig utrymningstid – ASET

För att bedöma när kritiska förhållanden uppstår i för besökarna i Stora ishallen har simuleringar i CFAST gjorts. Med CFAST har det bedömts hur snabbt brandgaslagret kommer att sjunka för att på så sätt avgöra när kritiska förhållanden överlag uppstår. Resultatet av simuleringarna presenteras i Figur 53. Genom att granska båda simuleringarna går det att avgöra huruvida tillfredställande utrymning är möjlig eller inte. CFAST har en begränsad hantering av geometrier och därför har Stora ishallen approximerats till ett rätblock. Mer om begränsningar med programmen går att läsa i Bilaga C.1 CFAST. Observera att brandgasventilationen har bortsetts ifrån eftersom det i dagsläget endast är räddningstjänsten som sätter igång den då det saknas rutiner för det bland de anställda.

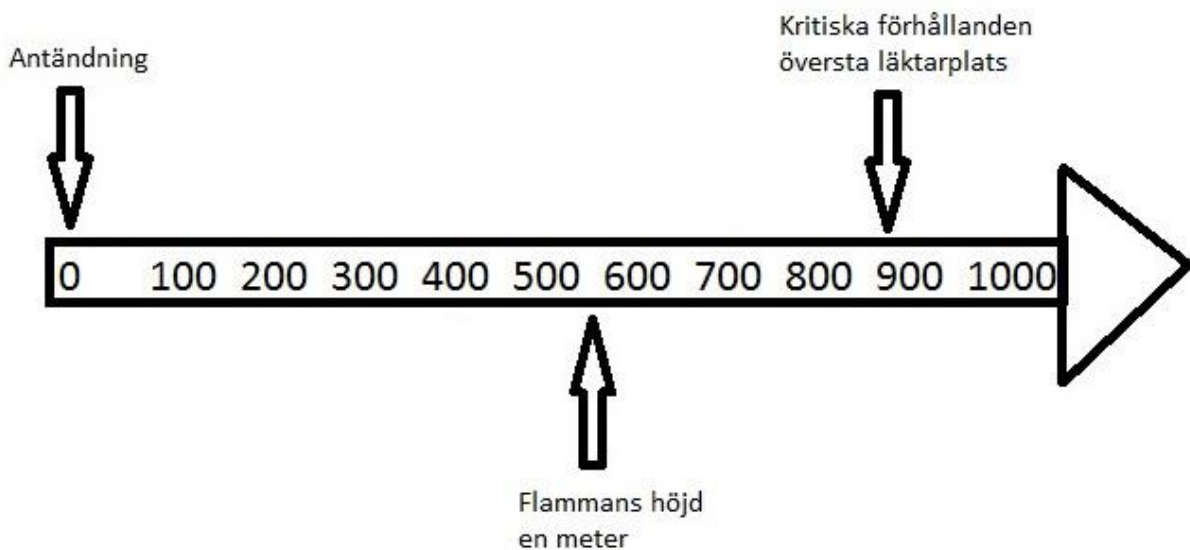


Figur 53. Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden vid kritiska förhållanden på en rad referenshöjder.

Då CFAST bygger på en tvåzonsmodell med homogena brandgaser i den övre zonen och enbart luft i den undre är det inte intressant att studera vilka resultat som datorprogrammet kommer fram till vad det gäller toxicitet. Den kritiska höjden för brandgaslagret kommer vara det kriterium som uppfylls först.

Temperaturen kommer att hålla rumstemperatur i den undre zonen. Det innebär att så länge inte brandgaserna sjunkit ner till personhöjd kommer temperaturen att vara oförändrad. För att vara konservativa studeras därför temperaturen i brandgaslagret. Resultatet redovisas i Bilaga J.3.2 Resultat av CFAST-simulering.

Strålningen mot golvet givet temperaturen i Figur 127, som ses i Bilaga J.3.2.2.1 Strålning mot golvet från brandgaslagret, ger att det inte blir kritisk strålning någon gång under brandförloppet som är intressant ur utrymningssynpunkt. I Bilaga F.3 Brand under konsert redovisas resultatet av strålningsberäkningarna. Figur 54 visar en kort sammanfattning av händelserna under beräkning av ASET.



Figur 54. Viktiga händelser längs en tidsaxel (Illustration: Stefan Karlquist, 2013).

7.5 Resultat

Jämförelse mellan de framtagna tiderna, RSET och ASET, visar huruvida kritiska förhållanden uppstår i lokalen eller ej. Om ASET, available safe egress time, var större än RSET, required safe egress time, antogs personerna i lokalen inte utsättas för kritiska förhållanden. I Tabell 18 visas resultatet.

Tabell 18. Sammanställning av RSET, ASET och huruvida kritiska förhållanden hade infunnit sig eller inte i Stora ishallen, enligt simuleringarna.

Plats	Översta läktarplatserna	Utgångar vid nivå två	Utgångar vid nivå ett	Golvnivå
RSET [s]	1160	1180	2030	2070
ASET [s]	880	1600	2500	3200
Kritiska förhållanden [ja/nej]	Ja	Nej	Nej	Nej

Resultatet föreföll att kritiska förhållanden sannolikt uppstod för de människor som befann sig vid de översta läktarplatserna, medan resterande besökare bedömdes klara utrymningen i tid. Då skydds målet var att samtliga skulle kunna utrymma säkert ansågs inte det vara uppfyllt. Enligt utförd simulering i Simulex såg det ut som Figur 55 visar i lokalen, då kritiska förhållanden för personerna på översta läktarplatserna uppstod.



Figur 55. Bild tagen från Simulex-simulering i Stora ishallen vid tidpunkten då kritiska förhållanden beräknas uppstå för personerna på översta läktarplatserna. Som synes skulle inte en säker utrymningssituation vara möjlig enligt simuleringarna.

7.6 Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen syftar till att utreda vilka parametrar som har kommit att påverka resultatet i stor utsträckning. Med hjälp av analysen kommer åtgärdsförslag som i huvudsak är riktade mot de parametrar som gör störst skillnad tas fram. Det är intressant att ta reda på hur mycket en parameter spelar in eftersom RSET grundas i antaganden kring människors beteende, varför det är möjligt att vissa värden är för konservativa.

Detektionstiden, varseblivningstiden samt besluts- och reaktionstiden påverkar resultatet. Självfallet går det inte att eliminera någon av dem, men genom att ändra var och en av variablerna med 25 % går det att se vilken parameter som har mest påverkan på det totala RSET. Detektionstiden och varseblivningstiden har slagits ihop eftersom inget detektionssystem finns. Om den kombinerade tiden justeras med 25 % så sjunker respektive ökar RSET för de översta läktarplatserna med 23 % vilket motsvarar ungefär 2,5 minuter. Om istället besluts- och reaktionstiden ändras med 25 %, ger det en förändring av RSET med 6 %.

Antal personer i ishallen bör ha en direkt påverkan på resultatet. Ett test utförs därför hur mycket en förändring av personantalet påverkar resultatet. Personantalet i lokalen minskas med 25 % jämnt

fördelat över alla läktarplatser samt ökas till 6500 personer vilket är maximalt antal personer som får plats. Simulering i Simulex för en minskning av personantalet ger då resultatet att förflyttningstiden gällande den övre delen av läktaren nu istället är 310 sekunder, vilket kan jämföras med tidigare 510 sekunder. Med handberäkningar blir motsvarande nya siffra 470 sekunder vilket jämförs med det gamla resultatet på 520 sekunder. Ett sammanvägt resultat blir att en ny förflyttningstid skulle vara 390 sekunder, vilket innebär att RSET av de översta läktarplatserna skulle minskas med 23 %. En ökning av personantalet ger på samma sätt förflyttningstiden 660 sekunder, vilket innebär att RSET för de översta läktarplatserna ökas med 20 %.

Brandens egenskaper varieras för att undersöka i vilken utsträckning dess parametrar påverkar resultatet. Brandens maximala effektutveckling minskas med 25 % till 3 MW samt ökas med 25 % till 5 MW. En sänkning av effektutvecklingen resulterar i att ASET vid de översta läktarplatserna ökar med 5 %. En ökning av effektutvecklingen sänker ASET vid de översta läktarplatserna med 3 %. Även brandens tillväxthastighet varieras. Istället för den direkt anpassade tillväxthastigheten av den beräknade effektutvecklingen $0,556 \text{ kW/s}^2$ vilken äger rum i brandens senare skede, så används den generella tillväxthastigheten ultrafast, $0,19 \text{ kW/s}^2$, vilket innebär en minskning på 88 %. En ökning av tillväxthastigheten med 88 % undersöks också. Resultaten av känslighetsanalysen finns i Tabell 19.

Tabell 19. Sammanställning av känslighetsanalysen för Brand under konsert.

Undersökt parameter	Variation av parametern	Påverkan på RSET [s]	Påverkan på ASET
Detektions- och varseblivningstiden	- 25 %	140 (- 13 %)	-
Detektions- och varseblivningstiden	+ 25 %	140 (+ 13 %)	-
Besluts- och reaktionstiden	- 25 %	25 (- 2 %)	-
Besluts- och reaktionstiden	+ 25 %	25 (+ 2 %)	-
Antal personer på läktarna	- 25 %	130 (- 23 %)	-
Antal personer på läktarna	+ 25 %	110 (+ 20 %)	-
Effektutvecklingen	- 25 %	-	40 (+ 5 %)
Effektutvecklingen	+ 25 %	-	30 (- 3 %)
Tillväxthastigheten	- 88 %	-	70 (+ 8 %)
Tillväxthastigheten	+ 88 %	-	10 (- 1 %)

Förändringar med en mindre brand och lägre effektutveckling medför egentligen att detektionstiden ökar men eftersom endast variation av en parameter är intressant i det här fallet försummas den förändringen.

7.7 Åtgärdsförslag

Åtgärdsförslag i Stora ishallen fokuserar främst organisatoriska förändringar. Det på grund av problematiken som uppstår genom varierande verksamheter i lokalen och därtill några som är speciellt problematiska ur branddetektionssynpunkt. På grund av olika pyrotekniska inslag är det svårt att få till någon mer lämplig detektor än de redan monterade linjerökdetektorerna. Lokalen har också högt i tak, varför någon form av aktivt släcksystem är svårt att motivera.

I känslighetsanalysen visas att en förkortning av detektions-, varseblivnings-, besluts- och reaktionstiden med 25 % skulle ge 15 % kortare krävd utrymningstid. Det är den parametern som påverkas mest förutom antalet besökare.

Under event så som till exempel konserter som är ett riskevenemang kan förkortning av detektions-, varseblivnings-, besluts- och reaktionstiden skulle kunna göras genom att förbättra brandvaktorganisationen och att ha linjerökdetektorerna igång. Larmlagring kan användas för att undvika utrymning på grund av fellarm. Larmet går direkt till den som har ansvar för brandvakterna som i sin tur meddelar vakterna att lokalisera den eventuella branden. Om ingen brand hittas, förväntas det vara ett fellarm och avbryts. Brandvakternas främsta uppgift är att se till att upptäcka en brand i ett tidigt stadium och meddela de övriga brandvakterna och berörda så utrymning kan påbörjas och en första insats mot branden kan startas. De brandvakter som inte hanterar branden hjälper publikvärdarna att effektivisera publikens utrymning.

Vid detektion av skall evenemanget omgående avbrytas och lokalen lysas upp. På så sätt förkortas varseblivningstid för publiken. För att förkorta förflyttningstiden som är en stor parameter är det viktigt att publikvärdar och brandvakter dirigerar publiken så att utrymningsvägar används på ett så effektivt sätt som möjligt. Därför är det viktigt att de ska ha en bra rolluppfattning och en tydlig arbetsfördelning.

7.8 Verifiering av åtgärdsförslag

Åtgärdsförslaget är att förbättra brandvaktorganisationen samt förbättra informationsrutinerna kring utrymning, speciellt vid event så som konserter när inte detektorerna är igång. Brandskyddet skall dock inte endast klara av konserter. Det skall också fungera vid andra arrangemang när linjerökdetektorerna är igång men brandvakter saknas. Förslagen verifieras i det här avsnittet i form av två scenarion.

Scenario ett innebär att detektions- och larmutrustningen är avstängd men det finns brandvakter och publikvärdar som hjälper till med utrymningen, vilket är förfarandet under till exempel konserter. Brandvakterna antas upptäcka branden då flammhöjden är 0,5 meter. Då funktionärerna visar vilka utrymningsvägar som finns tillgängliga förväntas alla i lokalen välja en optimal utrymningsväg.

Scenario två innebär att detektion och larmutrustning är igång samt att publikvärdar hjälper till med utrymningen, vilket gör att samtliga besökare väljer den mest optimala utgången. Scenariot är gällande för event som till exempel ishockeymatcher.

Detektionstiden i scenario två sätts till den tid då brandgaslagret har nått ner till linjerökdetektorernas position, något som anses vara konservativt då brandgaserna passerar linjerökdetektorerna innan de når taket. Mer om hur den tiden har beräknats finns i Bilaga K Validering av detektionstid i Stora ishallen. Larmlagring är inte inkluderat i beräkningarna.

Varseblivningstiden sätts till 20 sekunder för båda scenarierna vilket är tiden från att branden upptäckts till att utrymningslarmet aktiveras. Enligt Frantzich (2000) kan besluts- och reaktionstiden sättas till 60 sekunder då deltagarna inte ser branden, men får ett informativt utrymningsmeddelande i båda scenarierna.

I Tabell 20 och Tabell 21 finns alla faktorer som RSET består av för scenario ett respektive två.

Tabell 20. Verifiering av åtgärdsförslag med brandvakter och publikvärdar.

Plats	Översta läktarplatserna	Utgångar vid nivå två	Utgångar vid nivå ett	Golvnivå
Detektionstid [s]	420	420	420	420
Varseblivningstid [s]	20	20	20	20
Beslutstid [s]	60	60	60	60
Reaktionstid [s]				
Förflyttningstid (från det att utrymningen påbörjats till sista person har lämnat respektive plats) [s]	380	560	400	520
RSET [s]	880	1060	900	1020

Tabell 21. Verifiering av åtgärdsförslag med linjerökdetektorer och publikvärdar.

Plats	Översta läktarplatserna	Utgångar vid nivå två	Utgångar vid nivå ett	Golvnivå
Detektionstid [s]	330	330	330	330
Varseblivningstid [s]	20	20	20	20
Beslutstid [s]	60	60	60	60
Reaktionstid [s]				
Förflyttningstid (från det att utrymningen påbörjats till sista person har lämnat respektive plats) [s]	380	560	400	520
RSET [s]	790	910	810	930

7.9 Diskussion

Lokalens storlek påverkar brandgaslagret i stor utsträckning. På grund av de långa transportsträckorna sjunker brandgaslagrets temperatur och med den hastigheten eftersom hastigheten är beroende av temperaturskillnaden mellan brandgaserna och den omgivande luften. Det påverkar i sin tur egenskaperna för brandgaslagret. En nackdel med CFAST är att det antas vara samma temperatur och toxicitet inom hela brandgaslagret, vilket är en grov förenkling inte minst i en stor lokal. Om säkerhetsmarginalen hade varit mindre mellan de uträknade värdena för strålning och toxicitet och den skadliga strålningen och dosen toxicitet så hade en säkerhetskoll utförts. Nu är säkerhetsmarginalen väl tilltagen och därför förväntas inte det bli kritiska förhållanden förrän brandgaslagret når den acceptabla höjden.

Gällande RSET består den teoretiskt av ett par olika delar som alla är väldigt svåra att uppskatta eftersom de många gånger går ihop med varandra. Dessutom skiljer tiden stort mellan individer och situationer. Därför valdes det att ha med de parametrarna speciellt i känslighetsanalysen. Eftersom konservativa värden har varit att föredra genom hela rapporten har RSET med stor sannolikhet överskattats något och ASET underskattats något. Känslighetsanalysen visade dock att det uppstod kritiska förhållanden trots att parametrar minskades med 25 %.

I känslighetsanalysen har i parametrar ökats och minskats i regel med 25 %. Det är dock undantaget tillväxthastigheten i det här scenariot och innebär att när den beräknade effektutvecklingskurvan skulle approximerats så fördes en diskussion ifall den skulle bevaras som den var med tillväxtfaktor 0,556 kW/m² eller om den skulle approximeras med en ultrafast tillväxtfaktor. Eftersom den beräknade tillväxtfaktorn beslutades att vara kvar var det intressant att se hur robust resultatet var och i fall det

hade förändrats mycket ifall branden antagits ha en ultrafast tillväxtfaktor istället. Utav känslighetsanalysen kan utläsas att trots att en stor förändring gjordes i tillväxtfaktorn påverkade det inte ASET speciellt mycket och därför anses det beräknade värdet vara robust.

Detektions- och varseblivningstiden i scenariot brand under konsert har satts till samma tid som det tar för branden att sprida sig till en meters höjd i draperiet bakom scenen. Höjden kan förefalla låg, men eftersom spridningen sker relativt långsamt i draperiet anses det att branden upptäcks innan den når en meters höjd, men när den når en meter så förstår folk att det är något allvarligt varför en sammanslagning av detektions- och varseblivningstiden gjorts. Trots antagandet att branden upptäcks relativt tidigt blir förhållandena i lokalen kritiska, vilket gör att åtgärder sätts in ändå. Det hade varit mer intressant att variera flamhöjden ifall det inte hade blivit kritiskt vid en flamhöjd på en meter.

Förflyttningstiden som är en stor del av RSET har simulerats i Simulex men också jämförts med handberäkningar. Det eftersom Simulex i stort tar hänsyn till hur människorna är placerade i lokalen men inte riktigt hur de går igenom dörrar. Handberäkningarna visar däremot bättre överensstämmelse med flödet genom dörrar, men tar inte hänsyn till var i lokalen folk är placerade. Därför har den slutgiltiga förflyttningstiden varit en jämkning mellan de olika resultaten. Något annat som Simulex inte tar hänsyn till är impulsbeslut. Köerna för att utrymma blir omfattande och om det hade skett i en verklig händelse så kan personer ändra sitt val av utrymningsväg, speciellt ifall kön går rakt förbi en annan utrymningsväg. De långa tiderna för RSET och ASET kan förklaras med de konservativa ingångsvariablerna och vad som nyss nämnts som begränsningar i Simulex och handberäkningarna. Det belyser också vikten av brandvakternas agerande i händelse av brand, det vill säga utöver att upptäcka branden även fördela besökarna optimalt över de tillgängliga utrymningsvägarna.

I dagens läge finns det linjeröksdetektorer i lokalen, men de har inte fungerat på ungefär ett år och om det blir ett större event i lokalen stängs de av för att undvika fellarm. Alternativa detektorer, till exempel flamdetektorer, IR-detektorer och värmedetektorer, faller alla bort på grund av de många störningar som finns i konsertsammanhang eller på grund av lokalens storlek. Exempel på störningar är discorök, stora synfältsbortfall på grund av dekor och pyroteknik. Därför anses det att linjeröksdetektorerna är mest lämpliga idag, men hade såklart varit bättre ifall de faktiskt använts. I validering av åtgärdsförslag är larmlagringen medvetet bortvald för att se om det finns utrymme för larmlagring, vilket det finns.

Diskussion kring ett aktivt släcksystem har förts i gruppen, men det har förväntats att ingen eller dålig effekt uppnås framförallt på grund av lokalens storlek och verksamhet. Därför anses organisatoriska åtgärder vara de som gör mest nytta vid större och komplexa evenemang.

Lokalen är stor och används till många ändamål. Det är därför viktigt att hålla igång det brandskydd som finns och att det tas i beaktande att brandskyddet måste förändras i takt med förändrad verksamhet i lokalen. Det passiva brandskyddet bedöms som bra och det finns begränsat med brännbart i utrymmet förutom direkt i anknytning till scenen.

Det allmänna rådet i BBRAD, som diskuteras i Avsnitt 1.4.1 Boverkets byggregler – BBR, är att en lokal som Stora ishallen bör testas med en brand på 10 MW och därför skall det vara den dimensionerade branden. Arbetsgruppen har lagt mycket tid för att ta fram ett lämpligt representativt scenario i lokalen. Arbetet har utmynnats i att det inte är rimligt att anta en 10 MW brand med den rådande brandbelastning som finns i lokalen. Därför görs ett avsteg ifrån BBRAD:s rekommendationer trots att skillnaden mellan en 4 och en 10 MW brand är mycket stor.

8 Diskussion

I detta avsnitt förs en övergripande diskussion för arbetet som helhet samt avslutas med en sammanfattning av diskussionerna för respektive scenario – se Avsnitt 5.9 Diskussion, 6.9 Diskussion och 7.9 Diskussion.

Vid analysen av brandskyddet och utrymningsituationen på Rosvalla användes deterministiska modeller. Anledningen var att det inte fanns tillräckligt detaljerad statistik och information om fördelningar tillgänglig kring de ingående variablerna. Osäkerheterna som det deterministiska angreppssättet mynnade ut i fångades in med hjälp av känslighetsanalyser.

Rapporten har ett semikvantitativt angreppssätt i form av olika handberäkningsmodeller och datorsimuleringar – CFAST, FDS och Simulex. Det innebär att det även förs kvalitativa resonemang med stöd från studier som är utförda i liknande modeller som på Rosvalla.

Arbetsmetodiken som används under arbetet syftar till att analysera brandskyddet och på så vis kunna göra en bedömning av utrymningsituationen på Rosvalla. I grovanalysen väljs värsta troliga brandscenarier med målet att täcka in samtliga identifierade brandscenarier. De ingående parametrarna i analysen väljs så att ett så troligt värsta scenario som möjligt erhålls. Målet med en deterministisk scenarioanalys är att genomgående välja så pass konservativa värden på ingående data så att en underskattning av riskbilden undviks, men samtidigt undvika att överdimensionera brandskyddet. Någon fullständig kostnadsutredning har däremot inte gjorts.

Enligt Lagen om skydd mot olyckor (LSO 2 kap. 2§) vilar ansvaret för att säkerställa och upprätthålla ett skäligt brandskydd på ägaren alternativt nyttjanderättshavaren av byggnaden. I dagsläget verkar det råda osäkerhet kring vilken aktör som är ansvarig för brandskyddet på Rosvalla. Det är viktigt att det finns tydliga direktiv vem som har ansvar för vilken del av Rosvalla – speciellt de områden som kan te sig osäkra som till exempel toaletter, utrymningsvägar och ventilationsrum.

Ett verktyg för att fånga in osäkerheter i analyserna är att genomföra känslighetsanalyser av ingående parametrar i de respektive brandscenarierna – se Avsnitt 5.6 Känslighetsanalys, 6.6 Känslighetsanalys och 7.6 Känslighetsanalys. För scenariot Brand i utrymningsväg visar känslighetsanalysen att den parameter som påverkar resultatet mest är brandens effektutveckling och därefter i inbördes ordning antalet personer på läktarna, besluts- och reaktionstiden, detektionstiden och varseblivningstiden. Gemensamt för de undersökta parametrarnas inverkan på resultatet i scenariot Brand i utrymningsväg är att trots att de minskas med 25 % från sitt antagna värde, så skulle ändå kritiska förhållanden kunna uppstå i lokalen innan utrymningen är avslutad.

För scenariot Brand under mässa visar känslighetsanalysen att den parameter som påverkar resultatet mest är brandens effektutveckling och därefter i inbördes ordning antalet personer i lokalen, antalet utrymningsvägar som används, besluts- och reaktionstiden samt varseblivningstiden. Gemensamt för de undersökta parametrarnas inverkan på resultatet i scenariot Brand i utrymningsväg är att trots att de minskas med 25 % från sitt antagna värde, så skulle ändå kritiska förhållanden kunna uppstå i lokalen innan utrymningen är avslutad.

För scenariot Brand under konsert visar känslighetsanalysen att den parameter som påverkar resultatet mest är antalet personer på läktarna och därefter i inbördes ordning detektions- och varseblivningstiden, brandens tillväxthastighet, brandens effektutveckling samt besluts- och reaktionstiden. Gemensamt för de undersökta parametrarnas inverkan på resultatet i scenariot Brand i utrymningsväg är att trots att de minskas med 25 % från sitt antagna värde, så skulle ändå kritiska förhållanden kunna uppstå i lokalen innan utrymningen är avslutad.

Utöver de osäkerheter som är knutna till valet av ingående parametrar råder det osäkerhet kring använda modeller. Generellt gällande modeller är det viktigt att ha i åtanke att det endast är frågan av modeller av verkligheten. Vid skapandet av en modell bör naturligtvis visionen vara att den skall stämma överens med verkligheten till 100 %, men det är omöjligt i praktiken. Istället är målet att skapa en modell som så långt som möjligt efterliknar verkligheten. Detta fenomen gäller även de modeller som använts i detta arbete. FDS och CFAST är de två datorprogram som används för att simulera brandförlopp och de har båda sina begränsningar, se Bilaga C Teori om använda datorprogram. Som nämns i Bilaga C.1 CFAST har programmet en tendens att översätta såväl temperaturökningen som rökfyllnadstiden. För resultaten skulle det innebära en minskning av ASET och utmynna i en konservativ bedömning av säkerhetsmarginalen. Då konservativa antaganden gjordes i FDS-simuleringarna antas det få samma påverkan på resultatet som för CFAST.

Att använda layer height i FDS för att undersöka kritiska förhållanden är förenat med en del begränsningar. Osäkerheten är ifall det värdet är konservativt eller ifall det kan förekomma kritiska förhållanden under brandgaslagret. Därför läggs stora resurser på att mäta ett antal kritiska parametrar för att se att kritiska förhållanden aldrig förekommer under den uppmätta höjden av brandgaslagret. Det hade varit önskvärt att också mäta parametern sikt här men denna bör inte kunna bli kritisk under brandgaslagret.

För att modellera och simulera utrymningen används datorprogrammet Simulex som har ett antal begränsningar, vilka finns beskrivna i Bilaga C.3 Simulex. Vidare används även åtskilliga modeller för brandspridning, vilka är förenade med en rad osäkerheter och i de fall det saknas utförliga data eller gjorda experiment ökar det osäkerheterna kring använda brandspridningsmodeller.

I dagsläget så kan brandgasluckorna endast öppnas manuellt, några sådana rutiner finns dock inte på objektet så i praktiken är det bara räddningstjänsten som använder luckorna. I Stora ishallen ska det enligt uppgift finnas evakueringsfläktar, det vill säga mekaniska tilluftsfläktar, för att driva ut brandgaser genom brandgasluckorna. Det finns inga uppgifter på kapaciteten för dessa fläktar så ingen närmare kontroll av dessa kan genomföras. I rapporten visas att brandgasluckorna inte krävs för att kunna genomföra en säker utrymning men en tidig aktivering av dem är givetvis gynnsam för utrymningsmiljön, varför det föreslås att dessa automatiseras. I Lilla ishallen krävs en tidig aktivering av brandgasluckorna för att kunna genomföra en säker utrymning och därför måste dessa automatiseras för att säkerställa utrymningsmiljön.

I Lilla ishallen identifieras ett antal tänkbara brandscenarier, av vilka ett par representativa brandscenarier väljs ut nämligen en stor brand i samlingslokalen och en mindre brand i ett dolt utrymme. Brändernas storlek och tillväxthastigheter beräknas utifrån vad som observerats på plats och från bilder på arrangemang i lokalen. Detta används som indata i simulering av brandförlopp där fokus ligger på spridningen av brandgaser. Brandgasernas utbredning studeras för att avgöra efter hur lång tid kritiska förhållanden uppstår i lokalen, vilket jämförs med den tid som en utrymning beräknats att ta. I båda de undersökta scenariona så påvisas att säker utrymning inte kan garanteras i dagsläget. En känslighetsanalys visar att de parametrar som påverkar resultatet mest också är de som anses som mest tillförlitliga, därför anses slutsatsen att åtgärder måste genomföras som säker.

I Stora ishallen anses brand på scen under en konsert täcka in alla andra tänkbara brandscenarier vad gäller krav på brandskydd. Brandens storlek och tillväxthastighet beräknas utifrån studier av brännbart material i motsvarande lokaler under likartade arrangemang. Den uppskattade branden är avsevärt mindre än rekommenderad dimensionerande brand för denna typ av lokal men då stor noggrannhet och konservativa värden valts för beräkning av effektutvecklingen på branden i scenariot så anses den

av BBRAD rekommenderade branden överdimensionera de brandtekniska åtgärderna. I det undersökta scenariot påvisas att säker utrymning inte kan garanteras i dagsläget.

Enligt Simulex-simuleringarna kommer de åskådare som befinner sig högst upp på läktarna att utrymma sist, trots att det är där som kritiska förhållanden uppstår först enligt analyserna som gjorts. Detta faktum skulle kunna vara underlag i framtida utformningar av utrymningsvägar i trappor ifall nya läktare skall byggas. Det vill säga ha det i åtanke, möjliggöra snabbare evakuering för personerna högre upp i trappor vid konstruktion och design. Fenomenet beskrevs tidigare i rapporten med hjälp av Figur 27 under Avsnitt 3.4 Utrymningstid.

Samtliga simuleringar utgår ifrån att besökarna är säkra när de lämnar lokalen och kommer in i Entréhallen alternativt ut i det fria. Enligt det stresstest som gjorts för att kontrollera köbildningen i Entréhallen stämmer det. Det blir alltså inte köbildning så att någon person tvingas stanna kvar i den lokal de utrymmer ifrån. Något som inte visas i simuleringarna är den känsla av stress som kan infinna sig hos besökarna om det tar för lång tid att ta sig ut ifrån Rosvalla även om de rent praktiskt är säkra. Inom snar framtid kommer Rosvallas senaste tillbyggnad att färdigställas. Om besökarna i den nybyggda lokalen också förväntas utrymma genom Entréhallen kan problematik uppstå. Det är dock inget som undersökts ytterligare vilket är i enlighet i rapportens avgränsningar.

9 Sammanställning av åtgärdsförslag

I detta avsnitt görs en sammanställning av de åtgärdsförslag som läggs fram. De delas in i åtgärder som skall respektive bör genomföras för att uppfylla acceptanskriterierna och därigenom skyddsmålet. I de fall där skyddsmålet inte uppfylls tas åtgärder fram som skall genomföras för att uppfylla skyddsmålet och i annat fall tas åtgärdsförslag fram som bör genomföras för att förbättra utrymningsituationen på objektet

9.1 Åtgärder som *skall* genomföras

Nedan följer de åtgärder som skall genomföras för att en säker utrymning av Rosvalla skall kunna utföras, enligt den brandtekniska utredningen.

- Installera detektorer
 - I samtliga dolda utrymmen, inklusive utrymningsvägarna, skall optiska rökdetektorer installeras så att de täcker in den yta som rekommenderas enligt SBF 110:6 (Svenska Brandskyddsföreningen, 2001)
 - Installera ett detektionssystem i Lilla ishallen. Förslagsvis antingen optiska linjerökdetektorer eller optiska rökdetektorer, vidare utredning krävs för att avgöra vilket som anses bäst för aktuell lokal.
- Automatisering av brandgasluckorna i Lilla ishallen
- Vid tillfällen då detektionssystemet stängs av skall brandvakter noggrant patrullera sektionen där larmet är avstängt. De bör vara familjära med lokalen/lokalerna och vara väl införstådda med larm- och utrymningsrutiner
 - Brandvakterna skall dirigera publiken till optimal utrymningsväg
 - Vid brandtillbud skall samtliga lampor tändas för att underlätta utrymning
 - Vid brandtillbud skall musik stängas av
 - Vid brandtillbud skall personal meddela detta via högtalarsystemet ifall utrymningslarmet ej aktiveras, till exempel på grund av bortkoppling. Således krävs att närvarande personal är införstådd med larm- och utrymningsrutinerna
 - Vid evenemang som avviker från det dagliga, till exempel konserter eller mässor, så skall extra handbrandsläckare placeras ut strategiskt för att möjliggöra en snabb insats av personer på plats vid händelse av brand
- Detektionssystemet skall alltid vara i drift så till vida att inte punkten ovanför vidtas

9.2 Åtgärder som *bör* genomföras

Med intrycken från platsbesöken samt de samlade resultaten från dimensionerade brandscenarier läggs följande åtgärder fram som bör genomföras för att brandsäkerheten på Rosvalla ska förbättras. Det föreligger således inget direkt krav att genomföra dem, men det är starkt rekommenderat.

- Kravallstaketet i Entréhallen bör tas bort
- Vidare utredning av utrymningsmöjligheterna då nybyggnationen färdigställts bör utföras
- I de lokaler som har flera nyttjanderättshavare bör det tydligt framgå i kontraktet vem som har ansvar för angränsade utrymmen såsom toaletter, utrymningsvägar och ventilationsrum.
- Förbättrat systematiskt brandskyddsarbete
 - Förslagsvis de punkter som presenteras i Avsnitt 1.4.4 Systematiskt brandskyddsarbete – SBA

- Göra utrymningsvägarna mer tilltalande
 - Se över dörrarna på utrymningsvägarna, de bör vara inbjudande att använda och bör således helst inte vara röda eller försedda med dubbla budskap som till exempel en skylt som anger att det är en utrymningsväg medan en annan talar om det motsatta.
 - Förse utrymningsvägar med glaspartier på dörrarna som gör det möjligt att se vad som finns på andra sidan
 - Förse utrymningsvägarnas dörrar med andra färger än omgivningen för att dra till sig uppmärksamhet
 - Automatisera dörröppning i utrymningsvägarna i händelse av brand för att underlätta utrymning
 - Ta bort staketet i Entréhallen som blockerar den ena utrymningsvägen och undvik liknande konstellationer i framtiden
 - Se över utrymningsskyltarna
 - De bör vara tydliga, genomlysta och ej övertäckta
 - De bör inte placeras så att de står i strid med övrig information runt omkring
- Se över rutiner för brandgasluckorna i de fall de inte är automatiserade – vem har ansvar för dem och vilka rutiner finns det för dem
- Se över skyltningen till var handbrandsläckare är placerade
- Undvika brännbart material i och i anslutning till utrymningsvägar
 - Klädförvaring i anslutning till utrymningsvägar bör undvikas
 - Använd inte utrymningsvägar som förråd
- Använd inte ventilationsutrymna som förråd
- Se över utrymningsplaner så att de är uppdaterade
- Täta genomföringar i brandcellsgränser som i dagsläget inte är täta
 - Se till att samtliga branddörrar förses med skyltar ”Detta är en branddörr och skall hållas stängd” samt att de som är magnetupphängda verkligen stängs automatiskt vid händelse av brand
- Detektionssystemet bör kunna stängas av sektionsvis, så att enbart berörda delar kopplas ur vid behov
- Installation av larmknappar för möjlighet till manuell aktivering av utrymningslarmet, dessa bör placeras strategiskt runt om i lokalerna
- Vidare utredning av beständigheten av byggnadens bärande konstruktioner i händelse av brand bör utföras

10. Litteraturförteckning

Babrauskas, V., 1981. *Will the Second Item Ignite?*, Washinton DC, United States of America: Center for Fire Research, National Engineering Laboratory, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards.

Bengtsson, S., Frantzich, H., Jönsson, R. & Marberg, P.-A., 2012. *Brandskyddshandboken*. 1 red. Lund: TMG Sthlm.

Björnfot, J., 2008. *Skydd mot brandspridning mellan småhus*, Karlskrona: Boverket.

Boverket, 2011. *Boverket Byggregler - en historisk översikt*. [Online]
Available at: http://www.boverket.se/Global/Bygga_o_forvalta/Dokument/Bygg-och-konstruktionsregler/aldre-byggregler/historiska-byggregler-oversikt-11-11-30.pdf
[Använd 18 april 2013].

Boverket, 2011. *Boverkets byggregler BBR*, Karlskrona: Boverket Myndigheten för samhällsplanering, byggande och boende.

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

Boyce, K. E., Purser, D. A. & Shields, T. J., 2011. *Experimental studies to investigate merging behaviour in a staircase*, Newtownbbey, U.K.: John Wiley & Sons, Ltd..

Bravida AB, 2002. *Relationshandling 030915*. Nyköping: u.n.

Canter, D., Breaux, J. & Sime, J., 1980. *Domestic, Multiple Occupancy, and Hostipal Fires*, Surrey: Department of Psychology, University of Surrey.

Davidsson, G., Haeffler, L., Ljungdman, B. & Frantzich, H., 2003. *Handbok för riskanalys*. u.o.:Elanders Tofters 7838/Räddningsverket.

Davidsson, G., Haeffler, L., Ljungdman, B. & Frantzich, H., 2003. *Handbok för riskanalys*. Karlstad: Elanders Tofters 7838.

DiNenno, P. J. o.a., 2008. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. 4:e red. Quincy, Massachusetts, USA: NFPA.

DiNenno, P. J. o.a., 2002. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. 3 red. Quincy: NFPA.

Drysdale, D., 1998. *An introduction to fire dynamics*. 2 ed. red. Chichester: Wiley.

Fleury, R., 2010. *Evaluation of Thermal Radiation Models for Fire Spread Between Objects*, Christchurch, New Zealand: Department of Civil and Natural Resources Engineering, University of Canterbury.

Frantzich, H., 2000. *Tid för utrymning vid brand*, Karlstad: Räddningsverket.

Frantzich, H., 2013. *Datorprogram för simulering av utrymning*. Lund: u.n.

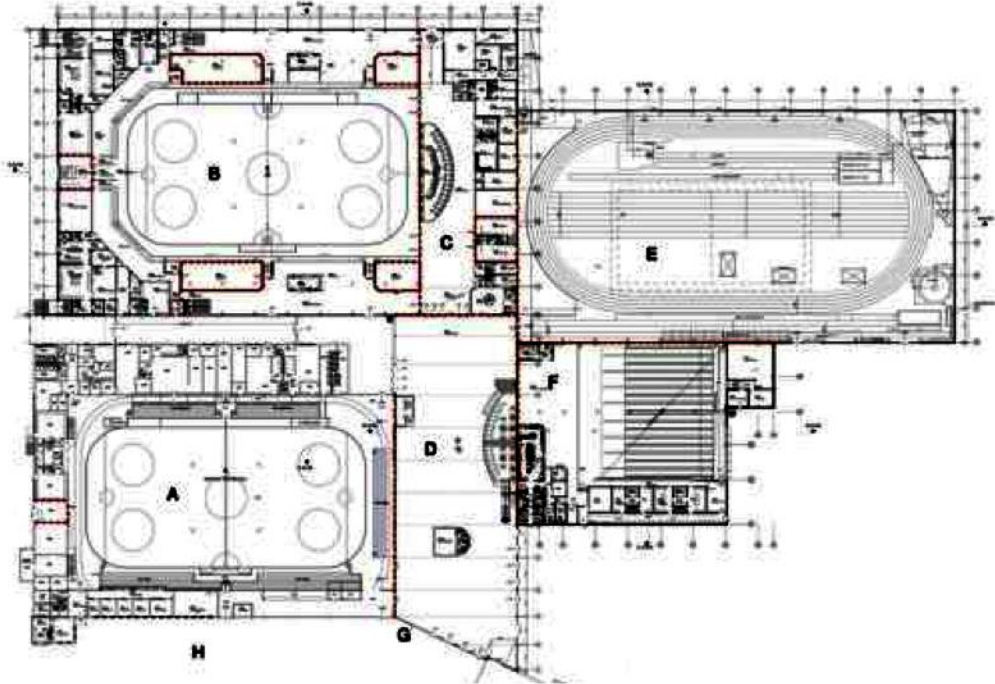
Frantzich, H., Nilsson, D. & Eriksson, O., 2007. *Utvärdering och validering av utrymningsprogram*, Lund: Department of Fire Engineering, Lund University.

- Gibson, J. J., 1978. *The ecological approach to visual perception*. Boston, MA, USA: Houghton Mifflin Company.
- Hartson, H. R., 2003. Cognitive, physical, sensory, and functional affordances in interaction design. *Behaviour & Information Technology*, Volym 22 (5), pp. 315-338.
- Integrated Environmental Solutions Limited, u.d. *Simulex User Guide <Virtual Environment> 6.0*. Glasgow: Integrated Environmental Solutions Limited.
- Jensen, L., 2002. *Dimensionering av sprinklersystem*, Lund: Avdelningen för installationsteknik, Institutionen för byggande och arkitektur, Lunds Universitet, Lunds Tekniska Högskola, Rapport TABK--01/7059.
- Kaplan, S. & Garrick, B. J., 1981. On The Quantitative Definition of Risk. i: *Risk Analysis, Vol.1, No.1*. Irvine: u.n., pp. 11-27.
- Karlsson, B. & Quintiere, J. G., 2000. *Enclosure Fire Dynamics*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- KB Rosvalla, 2013. *Rosvalla Nyköping Eventcenter*, Nyköping: u.n.
- Latané, B. & Darley, J. M., 1970. *The Unresponsive Bystander: Why Doesn't He Help*. New York: Appleton-Century Croft.
- Lundin, J., 1999. *Model Uncertainty in Fire Safety Engineering*, Lund: Department of Fire Safety Engineering, Lund University.
- Medite, 2008. *Youtube*. [Online]
Available at: <http://www.youtube.com/watch?v=I--kXk824pA>
[Använd 19 april 2013].
- Nilsson, D., 2012. *Föreläsning Branddynamik*. Lund: Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet.
- Nilsson, D., 2013. *Föreläsning Human Behaviour in Fire*. Lund: Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet.
- Nilsson, D. & Holmstedt, G., 2008. *Kompendium i Aktiva system - Detektion*. 1 red. Lund: Brandteknik och riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet.
- Nystedt, F., 2011. *Verifying Fire Safety Design in Sprinklered Buildings*, Lund: Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University.
- Olsson, F. & Frantzich, H., 1999. *Brandteknisk dimensionering med riskbaserade ekvationer*, Lund: Department of Fire Safety Engineering, Lund University.
- PEAB, 2004. *Rosvalla - uppdrag nummer 01 1000*. Stockholm: Comarc projektering AB.
- Peacock, R. D., Forney, G. P. & Reneke, P. A., 2011. *CFAST - Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) Technical Reference Guide*, Gaithersburg, United States of America: NIST Nation Institute of Standards and Technology.
- Persson, C., Sandvik, M., Fagergren, T. & Sedin, G., 2012. Skydd mot utveckling och spridning av brand och brandgas inom byggnader. i: *Brandskyddshandboken*. Lund: TMG Sthlm, pp. 126-164.

- Pettersson, F., 2013. *PEAB Nordens Samhällsbyggare*. [Online]
Available at: <http://www.peab.se/Produkter-tjanster/Kommersiella-fastigheter/Projekt/Rosvalla-Nykoping/>
[Använd 18 april 2013].
- Sandberg, A., 1997. *Unannounced evacuation of large retail-stores 'An evaluation of human behavior and computer model Simulex'*, Lund: Department of Fire Safety Engineering, Lund University.
- Sime, J. D., 1985. *MOVEMENT TOWARD THE FAMILIAR Person and Place Affiliation in a Fire Entrapment Setting*, Portsmouth, United Kingdom: School of Architecture, Portsmouth Polytechnic.
- Sjölander, K., 2011. *Räddningstjänstens insatser 1998-2011*. [Online]
Available at: <http://ida.msb.se/ida2#page=a0164>
[Använd 18 April 2013].
- Sundström, B., 1986. *BFull Scale Fire Testing of Surface Materials Fire Technology Technical Report 1986:45*, Borås: u.n.
- Sundström, B. o.a., 2009. *Brandskydd och lös inredning - en vägledning*, Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- Svenska Brandskyddsföreningen, 2001. *SBF 110:6*, Stockholm: Brandförsvarsföreningens Service AB.
- Svensson, Y., 2011. *Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd*, u.o.: Boverket.
- Särdqvist, S., 1993. *Initial Fires*, Lund: Lund University, Sweden Institute of Technology, Department of Fire Safety Engineering.
- Söderberg, E., 2004. *Statens räddningsverks allmänna råd och kommentarer om systematiskt brandskyddsarbete*, Stockholm: Key Hedström, Statens räddningsverk.

Bilaga A Brandcellsindelning

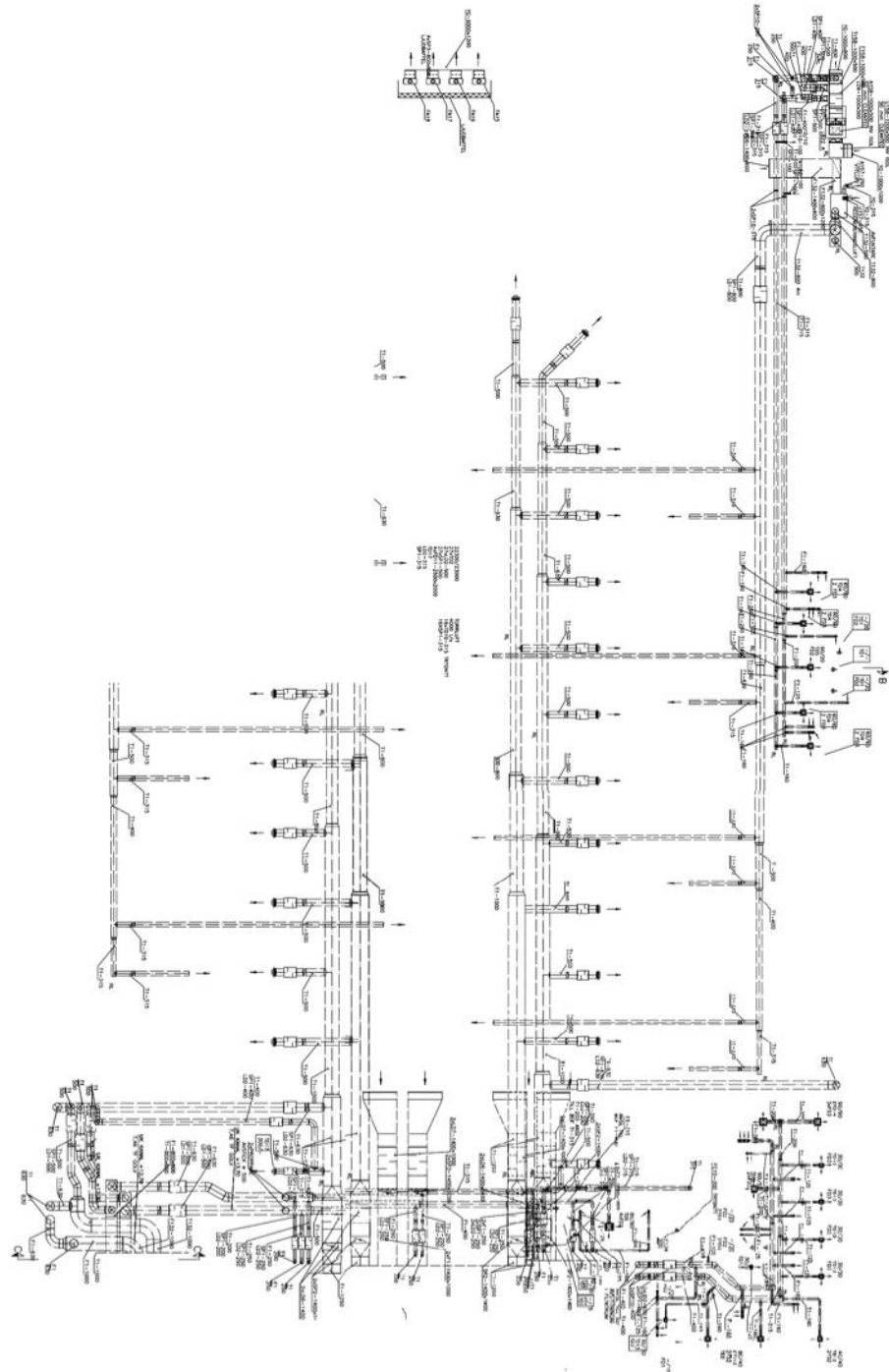
Denna bilaga innehåller information om Rosvallas brandcellsindelning. Samtliga brandväggar är av klassen EI-60 enligt ritningarna. Bokstäverna i Figur 56 stämmer överens med de i illustrationen i objektsbeskrivningen – se Figur 2. Ur Figur 56 framgår att varje hall utgör en egen brandcell. I Stora ishallen utgör ismaskinsrummet, vissa utrymningsvägar, förråd och omklädningsrum egna brandceller. I Lilla ishallen utgör ismaskinsrummet en egen brandcell. I illustrationen har endast innerväggarna har markerats, men även angränsande och vidtagande yttervägg utgör en brandvägg.



Figur 56. Illustration av brandcellsindelningen på Rosvalla (PEAB, 2004) (Modifierad av: Glenn Marklund 2013).

Bilaga B Ventilationsritningar

Ventilationsritningar saknas för Lilla ishallen, Föreningshallen, Entréhallen och Bowlinghallen. Eftersom inget av de utvalda scenarierna är placerade i Länken eller Multisporthallen visas endast ventilationsritningar för Stora ishallen och där endast plan 3 eftersom det är den översta delen av ventilationen som utsätts för brandgaser först på grund av den termiska stignakraften. För Stora ishallen visas ventilationsritningarna för plan 3 i Figur 58.



Figur 57. Ventilationsritningar för plan tre i Stora ishallen. På grund av saknade ritningar är den inte komplett. (PEAB, 2004)

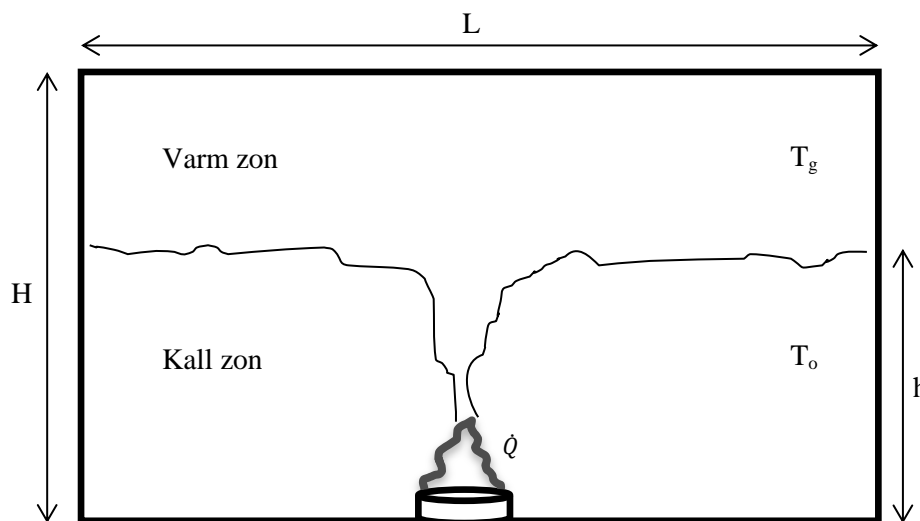
Bilaga C Teori om använda datorprogram

Denna bilaga innehåller information om de datorprogram som har använts i rapporten. En del av de avgränsningar och begränsningar som inte lyfts fram under rubriken 3.1 Avgränsningar och begränsningar tas upp här.

C.1 CFAST

CFAST (Consolidated Fire and Smoke Transport Model) är ett datorprogram framtaget av NIST (National Institute of Standards and Technology) och används för att simulera bränder i avgränsade, enklare lokaler. Bland annat kan inte hänsyn tas till sluttande tak eller golv. CFAST är en så kallad tvåzonsmodell, vilket innebär att lokalerna modelleras som två zoner i programmet – en varm zon med heta brandgaser med temperaturen T_g och en kall luftzon med temperaturen T_o . Så är naturligtvis inte fallet vid brand i verkligheten utan det är en förenkling som modellen gör, se Figur 58 nedan. CFAST räknar med brandgasspridning till angränsande rum, men ju fler antalet rum blir, desto större blir också osäkerheterna.

För att CFAST skall kunna simulera rumsbranden krävs en del viktiga ingångsdata. Exempelvis krävs numeriska värden för brandens effektutveckling per tidsenhet \dot{Q} , rummets geometri ($L*W*H$), vägg-/golvmaterial och rådande temperaturer, se Figuren nedan. Med hjälp av teorierna om massans och energins bevarande kan data kopplat till brandgaslagret beräknas – brandgastemperaturen T_g och brandgaslagrets höjd h . Det finns en rad olika plymmodeller och varje är förenad med olika antaganden som leder till att plymmodellerna är olika bra lämpade i varierande situationer. Den som används i CFAST är McCaffreys plymmodell. Denna modell tar inte hänsyn till olika bränslen, vilket är en detalj som bör iaktas (Karlsson & Quintiere, 2000).



Figur 58. Åskådliggörande skiss av tvåzonsmodellen som CFAST bygger på (Illustration av: Glenn Marklund, 2013).

Nedan följer en sammanfattning i punktform av de antaganden som görs i samband med tvåzonsmodellen och därigenom vid användandet av CFAST.

- *Två homogena lager.* I enlighet med figuren ovan antas brandgaserna samlas i en homogen blandning med samma temperatur överallt. I verkligheten kommer temperaturen vara högre

närmare flamman och således även den termiska stigkraften. Det innebär att ansamlingen av heta brandgaser inte kommer vara horisontell längs taket, vilket Figur 58 visar. Ju större, avlånga och mer komplexa lokalerna blir desto mer märkbar blir denna effekt.

- *Momentan spridning av brandgaserna.* Detta antagande bygger på att så fort plymen når taket sprids brandgaserna jämnt över takytan. Ju mindre kubisk lokalen är desto mer problematiskt blir det. Korridorer exempelvis kan delas in i mindre, kubiska delar för att råda bukt på antagandet och få en mer verklighetstrogen spridning av brandgaserna.
- *Föridentifierade bränder.* Användaren definierar själv branden i CFAST. Det ställer naturligtvis krav på användandet och kan vara en felkälla.

(Karlsson & Quintiere, 2000)

För att avgöra huruvida en lokal är rimlig att simulera rumsbränder med hjälp av CFAST eller inte har en rad empiriska kriterier tagits fram. De sammanfattas i Tabell 22 nedan med samma nomenklatur som tidigare i detta avsnitt.

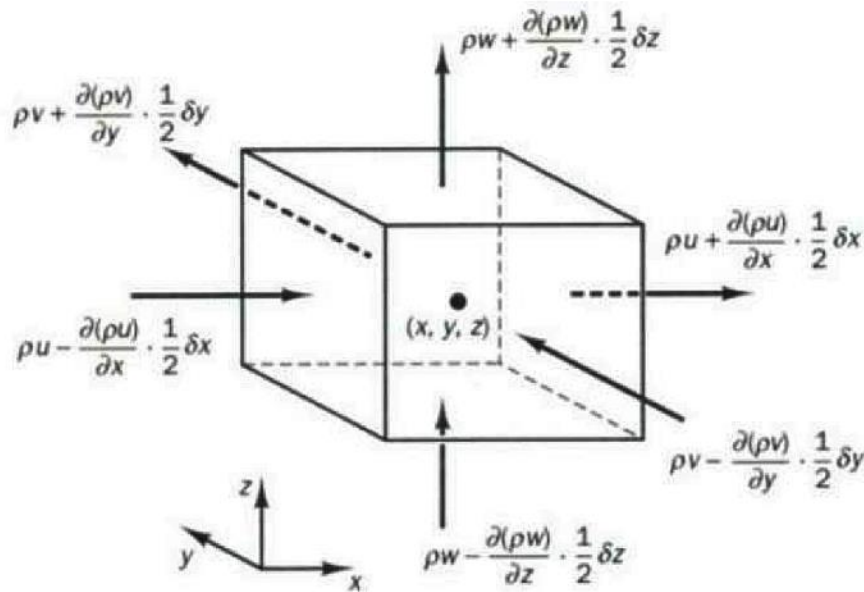
Tabell 22. Empiriska kriterier för användning av CFAST vid simulering av rumsbränder (Peacock, et al., 2011).

Acceptabelt	Särskild hänsyn krävs	Korridorskriterier
$(L/W) < 3$	$3 < (L/W) < 5$	$(L/W) > 5$
$(L/H) < 3$	$3 < (L/H) < 6$	$(L/H) > 6$
$(W/H) > 0,4$	$0,2 < (L/W) < 0,4$	$(L/W) < 0,2$

CFAST är förknippad med en rad osäkerheter (Peacock, et al., 2011). Exempelvis har programmet en tendens att överskatta såväl temperaturökningen som rökfyllnadstiden (Lundin, 1999), vilket skulle kunna leda till en överskattning av tiden till kritiska förhållanden och därigenom ett något överdimensionerat brandskydd i byggnaden (Olsson & Frantzich, 1999).

C.2 FDS

FDS är ett program som används för att simulera bränder. Programmet är anpassat för att beräkna långsamma flöden drivna av temperaturskillnader. Det aktuella utrymmet delas upp i kuber där varje kub betraktas som en egen kontrollvolym. Kubernas storlek definieras i varje simulering där fler kuber ger bättre exakthet. För varje sådan kub beräknas sedan dess innehålls rörelsemängd, massa och energi med utgångspunkt i energins bevarande. (Nilsson, 2012)



Figur 59. Ekvationer som används i kontrollvolymerna. (Nilsson, 2012)

Figur 59 illustrerar de ekvationerna som sätts upp för varje kub. Indata till dessa ekvationer är information från beräkningarna i kuberna bredvid och resultatet blir indata till dessa kuber. Alla dessa ekvationer beräknas simultant för alla kuber i varje tidssteg. Kuberna som bygger upp den volym där beräkningarna sker kallas tillsammans för grid eller mesh. (Nilsson, 2012)

Storleken på denna mesh måste vara tillräckligt liten för att fånga så mycket som möjligt av den turbulens som finns i samband med strömningarna som uppkommer vid brand. Den metod som används för att välja lämplig meshstorlek presenteras nedan och den bestäms genom att beräkna den karaktäristiska branddiametern med Ekvation 2 nedan.

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

Där

- D^* är karaktäristisk branddiameter [m]
- \dot{Q} är effektutveckling [kW]
- ρ_{∞} är omgivande luftens densitet [kg/m^3]
- c_p är omgivande luftens specifika värmekapacitet [kJ/kgK]
- T_{∞} är omgivande luftens temperatur [K]
- g är tyngdaccelerationen [m/s^2]

Den karaktäristiska branddiametern divideras sedan med cellernas storlek enligt Ekvation 3.

$$\text{Meshupplösning} = \frac{D^*}{dx} \quad (\text{Ekvation 3})$$

Där

D^* är karaktäristisk branddiameter [m]

dx är cellstorleken

Resultatet bör vara mellan 4-16 för att på ett så korrekt sätt som möjligt beskriva branden.

C.3 Simulex

Simulex är ett datorprogram som har utvecklats av Integrated Environmental Solutions Limited (Frantzich, 2013) för att simulera utrymning av byggnader och på så vis erhålls en kvantitativ beskrivning av förberedelse- och förflyttningstiden (Sandberg, 1997). Simulex kan hantera stora, komplexa byggnadsgeometrier (Karlsson & Quintiere, 2000). Med hjälp av modifierade CAD-ritningar där riktningstreck som inte utgör väggar eller dylikt kan byggnader smidigt modelleras (Frantzich, 2013), varefter Simulex använder en algoritm för att beräkna förflyttningstiden.

Anledningen till att streck som symboliserar dörrar, trappor etc. måste tas bort innan CAD-ritningarna importerats är att Simulex uppfattar dem som väggar eller dylikt, det vill säga som hinder. Istället för att låta trapporna i CAD-ritningarna vara kvar vid importeringen länkas istället våningsplan samman direkt i Simulex. På samma sätt matas dörrarna in. Därefter kan människor med valda egenskaper placeras in i byggnaden. Exempelvis kan kön, ålder, val av utrymningsväg och förberedelsetid anges för varje person. Att väga in sådana parametrar är bra och ger ett mer verklighetstroget resultat, eftersom människor har olika förutsättningar beroende på kön och ålder, de tenderar att oftast välja den dörr (utrymningsväg i händelse av brand) som användes vid inträdandet i byggnaden och även förberedelsetiden är individuell (Nilsson, 2013). Programmets styrka ligger framför allt i att beräkna förflyttningstiden, då denna del av utrymningen är lättast att beskriva med matematiska termer.

En fördel med Simulex är att gånghastigheten till viss del styrs av framförvarande individ, men är skillnaden för stor så kan långsammare personer passeras i simuleringen (Frantzich, 2013).

Eftersom Simulex är en så kallad partikelmodell ger programmet oftast tillfredställande resultat av utrymningssimuleringarna. Varje individ platsspecificeras med hjälp av koordinater och ger på så sätt en mer verklighetstrogen beräkning av förflyttningstiden. Programmet kan också användas för att identifiera eventuella flaskhalsar i byggnader och jämföra hur bra olika designalternativ är ur ett utrymningssäkert perspektiv. (Frantzich, 2013)

Även om Simulex ofta ger bra och verklighetstroga resultat finns det en del begränsningar med modellen. Det har till exempel visat sig att förflyttningstiden uppför trappor är kortare än motsvarande tid nedför trappor (Frantzich, et al., 2007). Skillnaden är mycket liten, men skvallrar likväl om att det kan finnas antaganden i de ingående beräkningslogaritmer som inte är helt korrekta. Andra exempel på begränsningar med programmet är avsaknaden av hänsynstagande till lutande golv och läktare. Det händer att personer fastnar i dörröppningar och i hörn av byggnaden och följderna blir att de personerna blockerar vägen för bakomvarande individer. I andra fall kan individer göra onaturliga vägval vid breda utgångar. Den sociala aspekten är en annan begränsning med Simulex. Det kan förekomma situationer då personer inom samma grupp, som befinner sig på samma plats i byggnaden då utrymningssimuleringen inleds, inte börjar utrymma samtidigt. I verkligheten skulle detta aldrig förekomma. (Nilsson, 2013) Dessutom kommer människorna i utrymningssimuleringarna alltid ta den närmaste vägen till den utgång som de har angivits att evakuera genom.

Bilaga D Identifierade brandscenarier

Nedan, i Tabell 23, följer komplement till brandscenarioavsnittet, där varje identifierat brandscenario beskrivs mer utförligt. I tabellen beskrivs varje scenario med hänsyn till de faktorer som bedömningarna baserades på. Numreringen av brandscenarierna stämmer överens med den i brandscenarioavsnittet – se Avsnitt 4 Identifiering av brandscenarier.

A	Brandens tillväxthastighet (Långsam/Medel/Snabb)
B	Utrymningsituation (till exempel antalet av varandra oberoende utrymningsvägar, hur tydligt utmärkta dem är)
C	Detektionssystem (Ja/Nej)
D	Släcksystem (Ja/Nej)
E	Persontäthet (Låg/Medel/Hög)
F	Överblickbarhet (Dålig/Medel/God)
G	Ytmaterial på väggar, golv, tak

Tabell 23. A: Brandens tillväxthastighet (Långsam/Medel/Snabb), B: Utrymningsituation (till exempel antalet av varandra oberoende utrymningsvägar, hur tydligt utmärkta dem är), C: Detektionssystem (Ja/Nej), D: Släcksystem (Ja/Nej), E: Persontäthet (Låg/Medel/Hög), F: Överblickbarhet (Dålig/Medel/God), G: Ytmaterial på väggar, golv, tak. Numrering av scenario stämmer överens med kvantitativ beskrivning nedan i denna bilaga samt i tabellen i brandscenarioavsnittet – se Avsnitt 4 Identifiering av brandscenarier.

Lilla ishallen							
	A	B	C	D	E	F	G
Scenari o 1	Medel, med hänsyn till vad som kan tänkas brinna (diverse idrottsutrustning).	Tre av varandra oberoende utrymning svägar.	Nej.	Ja, sprinkler.	Normalt sett låg, endast de som tränar där och de har god kännedom om lokalen. I händelse av exempelvis match eller mässa ökar persontätheten.	Medel.	Trä.

Scenari o 2	Relativt snabbt brandförlopp, då det är motsvarande träpallar som brinner. Dessutom sker brandutvecklingen i ett dolt osprinklat utrymme, vilket innebär att branden skulle kunna tillväxa längre utan att någon lägger märke till den.	Tre av varandra oberoende utrymning svägar.	Nej.	Nej.	Normalt sett låg, endast de som tränar där och de har god kännedom om lokalen. I händelse av exempelvis match eller mässa ökar persontätheten.	Medel.	Dels träpanel, dels plywoodliknande.
Scenari o 3	Medel, med hänsyn till vad som kan tänkas brinna (diverse idrottsutrustning).	Tre av varandra oberoende utrymning svägar.	Nej.	Ja, sprinkler.	Normalt sett låg, endast de som tränar där och de har god kännedom om lokalen. I händelse av exempelvis match eller mässa ökar persontätheten.	Medel.	Trä.
Scenari o 4	Relativt snabb. Dessutom fanns stolar lagrade i ventilationsutrymmet och brandväggen ut mot Lilla ishallen var inte tät.	Tre av varandra oberoende utrymning svägar.	Nej.	Nej.	Normalt sett låg, endast de som tränar där och de har god kännedom om lokalen. I händelse av exempelvis match eller mässa ökar persontätheten.	Medel.	Delvis gips, delvis träpanel, delvis betong.
Scenari o 5	Relativt snabb. Antar att det är papper och dylikt i papperskorgen	Tre av varandra oberoende utrymning svägar.	Nej.	Beror på var papperskorgen är placerad	Normalt sett låg, endast de som tränar där och de har god kännedom om lokalen. I händelse av exempelvis match eller mässa ökar persontätheten.	Medel.	Träpanel

Scenari o 6	Medel alternativt snabb. Mycket plaststolar och träbord lagrade.	Tre av varandra oberoende utrymning svägar.	Nej.	Nej.	Normalt sett låg, endast de som tränar där och de har god kännedom om lokalen. I händelse av exempelvis match eller mässa ökar persontätheten.	Medel.	I huvudsak träpanel .
Scenari o 7	Medel – antar samma ungefär samma möblering som i ett hem.	Tre av varandra oberoende utrymning svägar.	Nej.	Nej.	Uppskattningsvis runt 20 personer i fritidslokalen. Normalt sett låg persontäthet i Lilla ishallen. Antar att fritidset är stängt under exempelvis match eller mässa.	Medel.	I huvudsak gips och träpanel . Lite glasrutor.
Scenari o 8	Medel – antar samma ungefär samma möblering som i ett hem.	Tre av varandra oberoende utrymning svägar.	Nej.	Nej.	Tomt i fritidslokalen. Skulle kunna finnas några personer i Lilla ishallen som har morgon- eller kvällsträning.	Medel.	I huvudsak gips och träpanel . Lite glasrutor.
Scenari o 9	Relativt snabb tillväxthastighet i kontorsmiljö.	Tre av varandra oberoende utrymning svägar.	Nej.	Nej.	Uppskattningsvis runt 20 personer i kontorslokalen. Normalt sett låg persontäthet i Lilla ishallen.	Medel.	I huvudsak gips och träpanel . Några glaspartier.
Scenari o 10	Medel, plaststolar.	Tre av varandra oberoende utrymning svägar.	Nej.	Nej.	Normalt sett låg, endast de som tränar där och de har god kännedom om lokalen. I händelse av exempelvis match eller mässa ökar persontätheten.	Medel.	Betongs tomme, träpanel på väggarna. Träplan kor längst ner på golvet.
Scenari o 11	Medel, ismaskin med ungefär samma egenskaper som en personbil.	Utrymning svägar i två riktningar, varav den ena in i Lilla ishallen och den andra ut i det fria.	Nej.	Nej.	Normalt sett låg, endast de som tränar där och de har god kännedom om lokalen. I händelse av exempelvis match eller mässa ökar persontätheten.	Medel.	Mestadels betong, lite träpanel .

Scenari o 12	Medel, ismaskin med ungefär samma egenskaper som en personbil. I övrigt diverse verktyg.	Utrymning svägar i två riktningar, varav den ena in i Lilla ishallen och den andra ut i det fria.	Nej.	Nej.	Normalt sett låg, endast de som tränar där och de har god kännedom om lokalen. I händelse av exempelvis match eller mässa ökar persontätheten.	Medel.	Mestadels betong, lite träpanel.
Scenari o 13	Snabb, hängde en del ytterkläder utanför fritidsgården.	Tre av varandra oberoende utrymning svägar.	Nej.	Nej.	Normalt sett låg, endast de som tränar där och de har god kännedom om lokalen. I händelse av exempelvis match eller mässa ökar persontätheten.	Medel.	Träpanel och gipsskiva på väggarna, betonggolv.
Scenari o 14	Troligtvis väldigt snabb, beroende på vad utställarna har i montrarna. Gissningsvis mycket papper och annat lättantändligt och brännbart material.	Tre av varandra oberoende utrymning svägar.	Nej.	Nej.	Hög persontäthet vid mässa.	Medel.	Väggmaterial utgörs av montern, liknande träfiberskivor.
Scenari o 15	Relativt snabb, på grund av kläder, träbänkar, papperskorgar.	Tre av varandra oberoende utrymning svägar.	Nej.	Nej.	Normalt sett låg, endast de som tränar där och de har god kännedom om lokalen. I händelse av exempelvis match eller mässa ökar persontätheten.	Medel.	Mestadels tegel och träpanel.
Scenari o 16	Relativt snabb, på grund av ytterplagg och liknande.	Tre av varandra oberoende utrymning svägar.	Nej.	Nej.	Normalt sett låg. I händelse av exempelvis match eller mässa ökar persontätheten. Då Lilla ishallen används som garderob bör inga obehöriga äga tillträde dit.	Medel.	Mestadels trä eller träpanel och betong.

Stora ishallen							
	A	B	C	D	E	F	G
Scenari o 17	Relativt snabb, på grund av mycket kläder och dylikt.	Två av varandra oberoende utrymning svägar, en i vardera riktningen.	Ja.	Ja, sprinkler	Normalt sett låg, men i samband med matcher skulle den kunna öka.	God.	Träpanel på väggarna, betonggolv, bullerskivor i taket.
Scenari o 18	Relativt snabb, finns brännbart material i form av kartonger och vadderade stolar lagrade.	Inga obehöriga vistas på själva entresolplanet. Från Stora ishallen finns 20 utrymning svägar.	Finns linjerökdetektorer i Stora ishallen.	Nej.	Normalt sett relativt låg, men i samband med evenemang hög. Beroende på vilken typ av evenemang kan den bli mycket högt persontäthet.	Medel i samband med idrottsevenemang, dålig i samband med konsert (mörkt i lokalen).	Betong och stål.
Scenari o 19	Långsam.	Inga obehöriga vistas på själva entresolplanet. Från Stora ishallen finns 20 utrymning svägar.	Finns linjerökdetektorer i Stora ishallen.	Nej.	Normalt sett relativt låg, men i samband med evenemang hög. Beroende på vilken typ av evenemang kan den bli mycket högt persontäthet.	Medel i samband med idrottsevenemang, dålig i samband med konsert (mörkt i lokalen).	Betong och stål.

Scenari o 20	Medel, plaststolar.	20 utrymning svägar.	Ja, linjerökdetektorer.	Nej.	Normalt sett relativt låg, men i samband med evenemanget hög. Beroende på vilken typ av evenemanget kan den bli mycket hög persontäthet.	Medel i samband med idrottsevenemang, dålig i samband med konsert (mörkt i lokalen).	Betong och stål.
Scenari o 21	Medel, ismaskin med ungefär samma egenskaper som en personbil.	Utrymning svägar i två riktningar, varav den ena in i Stora ishallen och den andra ut i det fria.	Ja, linjerökdetektorer.	Nej.	Normalt sett relativt låg, men i samband med evenemanget hög. Beroende på vilken typ av evenemanget kan den bli mycket hög persontäthet.	Medel i samband med idrottsevenemang, dålig i samband med konsert (mörkt i lokalen).	Betong och stål.
Scenari o 22	Medel, ismaskin med ungefär samma egenskaper som en personbil. I övrigt diverse verktyg.	Utrymning svägar i två riktningar, varav den ena in i Stora ishallen och den andra ut i det fria.	Ja, linjerökdetektorer.	Nej.	Normalt sett relativt låg, men i samband med evenemanget hög. Beroende på vilken typ av evenemanget kan den bli mycket hög persontäthet.	Medel i samband med idrottsevenemang, dålig i samband med konsert (mörkt i lokalen).	Betong och stål.

Scenari o 23	Relativt snabb.	20 utrymning svägar.	Nej.	Nej.	Normalt sett relativt låg, men i samband med eveneman g hög. Beroende på vilken typ av eveneman g kan den bli mycket hög persontäth et.	Medel i samband med idrottseven emang, dålig i samband med konsert (mörkt i lokalen).	Betong, stål och tegel.
Scenari o 24	Relativt långsamt.	20 utrymning svägar.	Ja, linjerökdetektorer.	Nej.	Normalt sett relativt låg, men i samband med eveneman g hög. Beroende på vilken typ av eveneman g kan den bli mycket hög persontäth et.	Medel i samband med idrottseven emang, dålig i samband med konsert (mörkt i lokalen).	Betong och stål.
Scenari o 25	Medel, lite kablage, träbord och hockeymål.	20 utrymning svägar.	Ja, rökdetektorer.	Nej.	Normalt sett relativt låg, men i samband med eveneman g hög. Beroende på vilken typ av eveneman g kan den bli mycket hög persontäth et.	Medel i samband med idrottseven emang, dålig i samband med konsert (mörkt i lokalen).	Betong och stål.

Scenario 26	Relativt snabb, på grund av kläder, träbänkar, papperskorgar.	20 utrymning svägar.	Ja, rökdetektorer.	Nej.	Normalt sett relativt låg, men i samband med evenemanget hög. Beroende på vilken typ av evenemanget kan den bli mycket hög persontäthet.	Medel i samband med idrottsevenemang, dålig i samband med konsert (mörkt i lokalen).	Gipsväggar.
Scenario 27	Relativt snabb, på grund av kläder, träbänkar, papperskorgar.	20 utrymning svägar.	-	Nej.	Normalt sett relativt låg, men i samband med evenemanget hög. Beroende på vilken typ av evenemanget kan den bli mycket hög persontäthet.	Medel i samband med idrottsevenemang, dålig i samband med konsert (mörkt i lokalen).	Gipsväggar. Plastmatta på golvet.
Scenario 28	Relativt långsamt, lite kablage och trädetaljer.	20 utrymning svägar.	Ja, rökdetektorer.	Nej.	Normalt sett relativt låg, men i samband med evenemanget hög. Beroende på vilken typ av evenemanget kan den bli mycket hög persontäthet.	Medel i samband med idrottsevenemang, dålig i samband med konsert (mörkt i lokalen).	Gipsväggar.

Scenari rio 29	Medium, samma möblemang som i ett hem.	20 utrymning svägar.	Ja, linjerökdetektorer i Stora ishallen.	Nej.	Normalt sett relativt låg, men i samband med eveneman g hög. Beroende på vilken typ av eveneman g kan den bli mycket hög persontäth et.	Medel i samband med idrottseven emang, dålig i samband med konsert (mörkt i lokalen).	Gipsväggar.
Scenari rio 30	Långsam i början, därefter relativt snabb tillväxt.	20 utrymning svägar.	Ja, linjerökdetektorer. Avstängda under konsert.	Nej.	Hög persontäth et i samband med konsert.	Dålig i samband med konsert (mörkt i lokalen).	Betong och stål.
Scenari rio 31	Långsamt, plaststolar.	20 utrymning svägar.	Ja, linjerökdetektorer. Avstängda under konsert.	Nej.	Hög persontäth et i samband med konsert.	Dålig i samband med konsert (mörkt i lokalen).	Betong och stål.

Entréhallen

	A	B	C	D	E	F	G
Scenari rio 32	Troligtvis väldigt snabb, beroende på vad utställarna har i montrarna. Gissningsvis mycket papper och annat lättantändligt och brännbart material.	Utrymning i tre riktningar.	Ja.	Ja, sprinkler	Normalt sett låg, men i samband med eveneman g i någon av de angränsande hallarna alternativt mässa kan persontäth eten öka.	God.	Betong, glaspartier, stål, plåt.

Scenari o 33	Medel alternativt relativt snabb.	Utrymning i tre riktningar.	Ja.	Ja, sprinkler	Normalt sett låg, men i samband med eveneman g i någon av de angränsan de hallarna alternativt mässa kan persontäth eten öka.	God.	Betong, glaspartier, stål, plåt.
Scena rio 34	Medel, ungefär som i hemmet fast högre i tak.	Utrymning i tre riktningar.	Ja.	Ja, sprinkler	Normalt sett låg, men i samband med eveneman g i någon av de angränsan de hallarna alternativt mässa kan persontäth eten öka.	God.	Betong, glaspartier, stål, plåt.
Scena rio 35	Relativt snabb, på grund av ytterplagg och liknande.	Utrymning i tre riktningar.	Ja.	Ja, sprinkler	Normalt sett låg, men i samband med eveneman g i någon av de angränsan de hallarna alternativt mässa kan persontäth eten öka.	God.	Betong, glaspartier, stål, plåt.

D.1 Lilla ishallen

De fyra första brandscenarierna som identifieras i Lilla ishallen är brand i dolt utrymme med fyra olika förutsättningar. 1 och 3 behandlar båda brand i dolt utrymme i form av förråd under läktare. Förråden innehöll vid platsbesöket exempelvis gammal utrustning och statistik visar att anlagda bränder är vanligt förekommande i idrottsanläggningar, se Bilaga E Statistik gällande bränder i Idrottsanläggningar. Dock är förråden låsta, så ingen obehörig har tillträde och om en brand uppstår finns sprinkler installerade där. Därför bedöms såväl sannolikheten, som konsekvensen som låg. Såväl sannolikheten som konsekvensen sattes till 1. Brandscenario 2 innebar brand i utrymningsvägen längs långsidan i Lilla ishallen. Dörren är olåst vilket innebär att alla som vill har tillträde. Utrymmet innehåller mycket brännbart material, väggmaterialet är en träfiberskiva och utrymmet saknar såväl detektions- och sprinklersystem. Följaktligen sätts konsekvensen till 3 och eftersom statistik visar att många bränder i idrottshallar är anlagda sätts sannolikheten till 2. Scenario 4 innebar brand i ventilationsutrymmet på kortsidan och sannolikheten uppskattas som liten tack vare att utrymmet är låst och den sätts till 1. Däremot finns det mycket brännbart material, det fanns hål i brandväggen och området saknar såväl detektions-, som sprinklersystem. Därför sätts konsekvensen 2.

Scenario 5 innebar brand i papperskorg längs långsidan vid ingången. Eftersom området är publikt och besökarna i närheten med största sannolikhet har stort fokus på aktiviteterna på isen skulle antändning lätt kunna ske där utan att det upptäcks i ett tidigt skede. De flesta papperskorgarna på Rosvalla består dessutom av wellpapp, vilket underlättar antändningen och bidrar till ett snabbare och värre brandförlopp. Därför uppfattas detta scenario som sannolikt och graderas som sannolikhet 2. Dock finns det inte några större mängder brännbart material i närheten av papperskorgarna längs långsidan vid ingången i Lilla ishallen, varför konsekvenserna anses små och sätts till 1.

Scenario 6 behandlar en brand i ett stort lager av bord och stolar som förvaras i ena hörnet av lokalen. Det är ett stort utrymme med mycket brännbart material som dessutom är lättåtkomligt för allmänheten. Att utrymmet ligger någorlunda synligt från resten av lokalen gör att risken för anlagd brand minskar en aning, men det faktum att materialet som förvaras där är lättantändligt gör att en brand uppskattas vara sannolik. Konsekvenserna bedöms vara mycket allvarliga då det är en hel del brännbart och brandförloppet förväntas vara snabbt. Dessutom kan publikens fokus vid match eller annat evenemang vara på rådande aktivitet. Såväl sannolikheten som konsekvensen sätts till 2.

Både brandscenario 7,8 och 13 behandlar brand i och kring fritidslokalen. En rad brandorsaker kan tänkas ske, allt från en anlagd brand till att en platta glöms påslagen. Anlagd brand är en vanlig brandorsak i idrottsanläggningar, men det faktum att fritidslokalen antas vara under ständig uppsikt gör att sannolikheten sätts till 2 för scenario 7 och 8, det vill säga brandscenarierna inne i fritidslokalen. För scenario 13 sätts sannolikheten till 3, eftersom brandscenariot utspelar sig på entresolplanet utanför fritidslokalen, dit vem som helst till tillträde. Konsekvenserna för brandscenarierna 7, 8 och 13 sätts till 2, det vill säga farlig.

Scenario 9 är en brand i kansliet som ligger i direkt anslutning till ishallen. Lokalerna saknar helt branddetektion och är utom uppsyn från ishallen. En brand efter kontorstid kan pågå länge innan den väl upptäcks och utrymning från angränsande lokaler kan påbörjas. En brand i kontorsmiljö bedöms vara sannolik och sätts till 2. Det finns en hel del lättantändligt material och elektrisk utrustning i form av exempelvis element. Konsekvenserna bedöms som farliga, speciellt eftersom detektering av branden kan bli sen. Därför sätts konsekvenserna till 2.

Brand på läktare behandlas i brandscenario 10 och där antas en brand starta i plaststolarna av exempelvis pyroteknik. Sannolikheten för en sådan brand bedöms som låg då stolarna är svåra att

antända samt att en eventuell brand har svårigheter att sprida sig. Sannolikheten sätts till 1. Konsekvenserna hade kunnat bli stora om branden är illa placerad i publikmassan. Fördelen och nackdelen med en arenamiljö är att de flesta åskådare har blicken riktad i samma riktning. Om branden är placerad i den riktning i vilken de flesta riktar sitt fokus är det en fördel som skulle utmynna i en kort varseblivningstid och utrymning skulle kunna påbörjas i ett tidigt skede. Däremot är det inte sagt att det definitivt kommer bli så. Det finns exempel då branden varit placerad så att den tydligt syntes för publiken, men trots det påbörjades inte utrymning. Ett exempel på det är branden på Bradford Football Stadium (Nilsson, 2013). Det är naturligtvis inte heller säkert att branden är placerad inom blickfånget för åskådarna. Följaktligen sätts den sammanvägda konsekvensen till 2.

Scenario 11 är brand i ismaskin, något som bedöms som osannolikt med relativt små konsekvenser. Sannolikheten sätts till 1 och konsekvensen till 2.

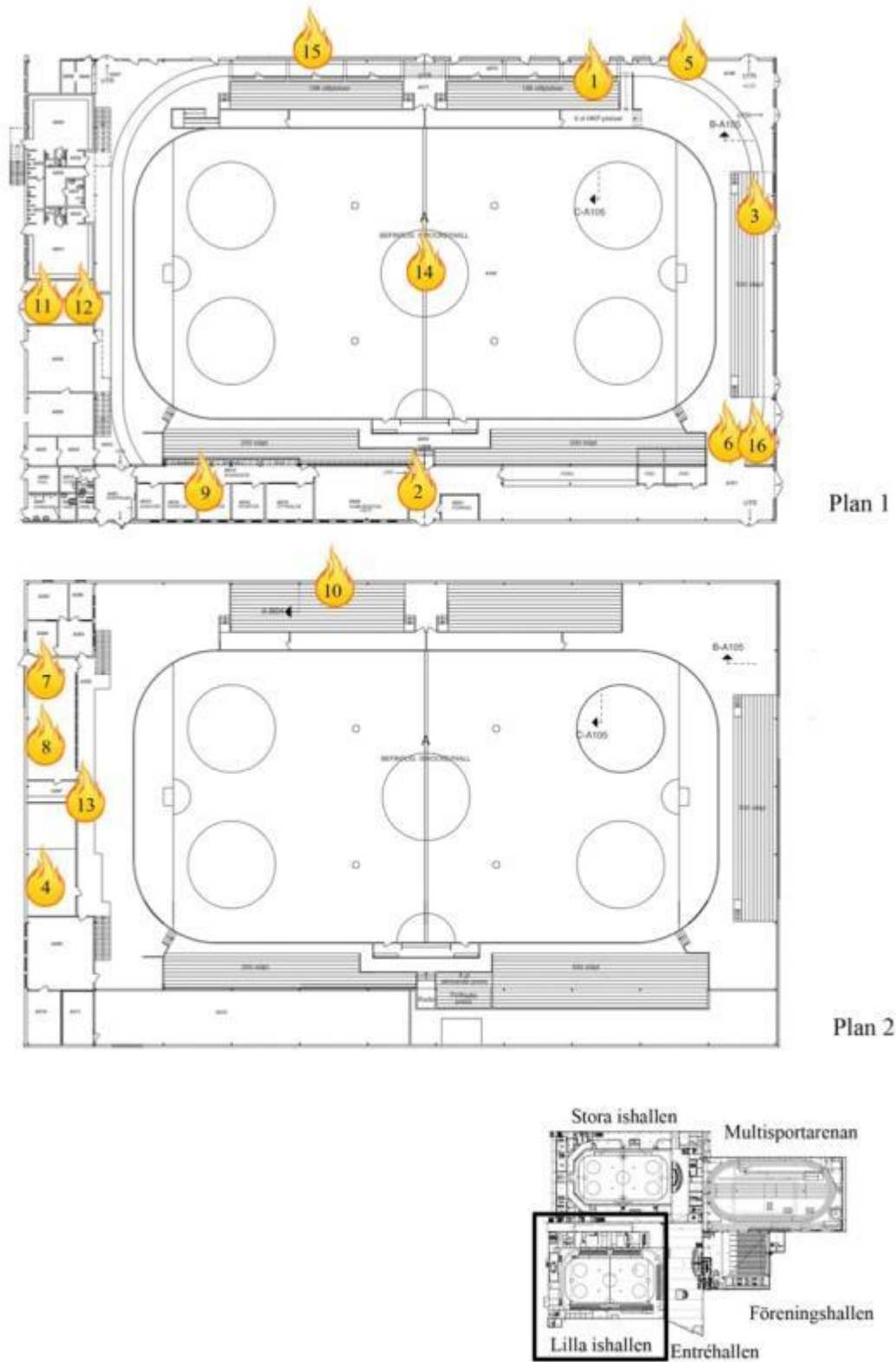
Scenario 12 behandlar en brand i rummet där ismaskinen normalt befinner sig. Detta är en egen brandcell som dock är helt utan branddetektion. En brand där kan alltså vara väl utvecklad när den väl upptäcks och då få allvarliga konsekvenser. Det bedöms också vara sannolikt med en brand där då rummet innehåller en hel del elektriska verktyg och batteriladdare för ismaskinen. Såväl sannolikheten som konsekvensen sätts till 2.

Brandscenario 14 är en brand som startar i en utställningsmonter på en mäsas. Då mycket folk kommer att befinna sig i lokalen och att överblickbarheten i lokalen försämras på grund av mässmontrarna, så bedöms konsekvensen vara allvarlig och den sätts till 3. Det bedöms vara sannolikt att en brand inträffar under en mäsas, eftersom anlagd brand är vanligt i denna typ av anläggningar och att den dåliga överblickbarheten skulle kunna innebära att den med målet att anlägga en brand kan arbeta utan att det uppmärksammas. Sannolikheten sätts till 3.

Scenario 15 avser brand i något av omklädningsrummen i Lilla ishallen. Sannolikheten bedöms vara hög då omklädningsrum är särskilt utsatta för anlagda bränder, enligt statistiken, och sannolikheten sätts till 3. Utrymmet utanför omklädningsrummen i ishallen är sprinklat, vilket gör att konsekvensen nedgraderas från allvarlig till farlig och konsekvensen till 2.

Scenario 16 behandlar brand i den temporära garderob som används vid evenemang på Rosvalla, i vilka besökarna kan hänga av sig exempelvis ytterplagg. Den placeras vanligtvis i Entréhallen och/eller i den del av Lilla ishallen som angränsar till Entréhallen. Garderoben ses som ett utrymme dit endast personal har tillträde, varefter sannolikheten sätts till 2. Mängden brännbart material är stor, men det faktum att utrymningsvägen där garderoben är placerad normalt sett inte är i bruk, så kommer en brand där inte att förvärra utrymningssituationen. På den plats där garderoben är placerad finns inget sprinklersystem. Sammantaget sätts konsekvensen till 2.

En fullständig överblick över scenariernas placering i Lilla ishallen finns i Figur 60.



Figur 60. Översikt brandscenarier i Lilla ishallen (PEAB, 2004) (Modifierad av: Malin Hanson, 2013)

D.2 Stora ishallen

Scenario 17 avser en brand i affären som ligger i anslutning till den Stora ishallen. Det finns en del brännbart material och en branduppkomst bedöms som sannolik, det vill säga 2. Utrymmet är dock sprinklat så konsekvensen bedöms vara låg, och sätts därför till 1.

En brand på entresolplanet ovanför VIP-avdelningen behandlas i scenario 18. Det finns kablar och lampor där, men i övrigt lite brännbart material. Sannolikheten graderas som 2 och konsekvensen som 1.

Brandscenario 19 är en brand i ventilationsrummet. Det finns en liten mängd brännbart material, få tändkällor och utrymmet är låst. Detta gör att en brand bedöms vara osannolik samt att konsekvensen är låg. Sannolikheten sätts till 1 och likaså konsekvensen.

Scenario 20 är brand på läktare och bedöms ha samma sannolikhet och konsekvens som motsvarande brand i Lilla ishallen, det vill säga sannolikheten 1 och konsekvensen 2. Det är fler människor i Stora ishallen, men kritiska förhållanden förväntas uppnås senare på grund av den höga takhöjden.

Scenario 21 avser brand i ismaskin, något som bedöms som osannolikt med tämligen små konsekvenser. Precis som i Lilla ishallen sätts sannolikheten till 1 och konsekvensen till 2.

Scenario 22 behandlar en brand i ismaskinsrummet. Utrymmet är en egen brandcell som är utan branddetektion. En brand där kan alltså vara långt in i brandförloppet när den upptäcks och då få allvarliga konsekvenser. Sannolikheten sätts till 1 och konsekvensen till 2.

En brand i kiosken under läktaren på långsidan behandlas i scenario 23. Sannolikheten bedöms som hög då kiosken har köksutrustning och en hel del brännbart material. Det har dessutom inträffat en incident som ledde till brand i en av kioskerna, men som kunde släckas med handbrandsläckare. Brandförloppet kan förväntas bli mycket snabbt med hänsyn till typen av brännbart material, men eftersom kiosken ligger väl avskilt från övrigt brännbart material skulle troligtvis inte någon betydande brandspridning ske. Sannolikheten sätts till 3 och konsekvensen bedöms som farlig, det vill säga 2.

Brandscenario 24 är brand i det kablage som finns längs med sidorna av sargen. Slitaget av kablaget gör att brand är sannolik, det vill säga 2, men det faktum att de befinner sig i direkt anslutning till isen gör att konsekvensen skulle kunna bli obetydliga.

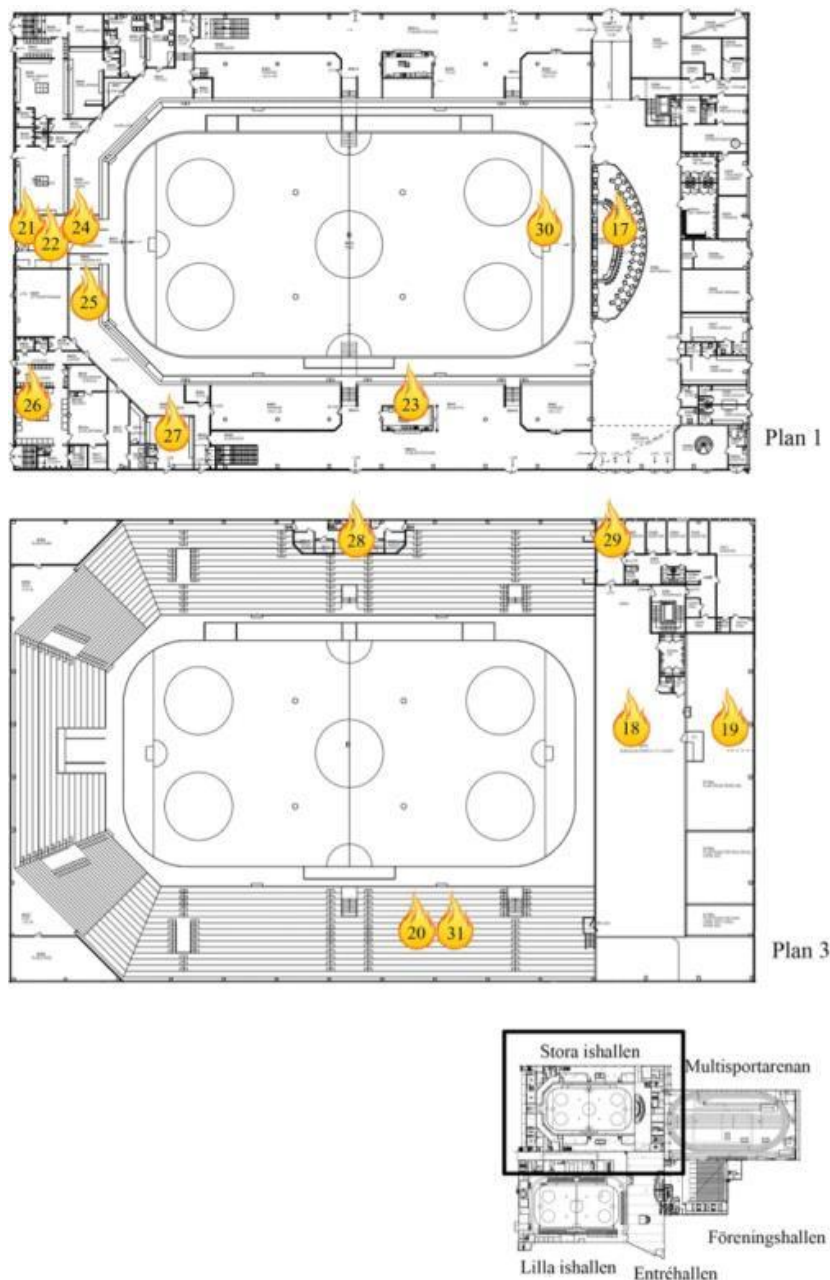
Scenario 25 är brand i utrymmet under läktarna. Det finns begränsat med brännbart material och tänkbara tändkällor är i det närmaste obefintliga, risken för anlagd brand torde vara mycket liten på grund av det öppna läget och avsaknade av brännbart material. Scenariot bedöms som osannolikt med små konsekvenser. Såväl sannolikheten som konsekvensen sätts till 1.

Scenario 26 beskriver en brand i A-lagets omklädningsrum. Det finns en bastu och en del teknisk apparatur, vilket gör att en brand bedöms vara sannolik. Därför sätts sannolikheten till 2. Det finns branddetektion i lokalen och branden beräknas inte spridas förbi brandcellsgränsen ut till arenan, detta gör att konsekvenserna begränsas till farlig, det vill säga 2.

Scenario 27 beskriver en brand i de publika omklädningsrummen. Sannolikheten bedöms vara hög, främst på grund av risken för anlagd brand som statistiskt oftast äger rum i omklädningsrum. Konsekvensen är desamma som brand i A-lagets omklädningsrum, det vill säga farlig. Således sätts sannolikheten till 3 och konsekvensen till 2.

Brandscenario 28 och 29 är bränder i små rum högt upp i Stora ishallen. Sannolikheten uppskattas vara låg då dessa rum är låsta och ingen obehörig äger tillträde. Mängden potentiella tändkällor är dessutom liten. För scenario 28 sätts såväl sannolikheten som konsekvensen till 1, medan för scenario 29 sätts sannolikheten till 1 och konsekvensen till 2.

Scenario 30 och 31 är bränder under pågående konsert – 30 på scenen och 31 på läktaren. Bränder på inomhuskonserter kan få allvarliga konsekvenser, då det är mycket folk och ofta snabba brandförlopp. Dessutom är det svårt att skilja vad som ingår i showen på scen och vad som skulle kunna vara en brand. Sannolikheten bedöms som 2 och konsekvensen som 3 för scenario 30, medan sannolikheten sätts till 1 och konsekvensen till 2 för scenario 31. En fullständig överblick över scenariernas placering i Stora ishallen finns i Figur 61.



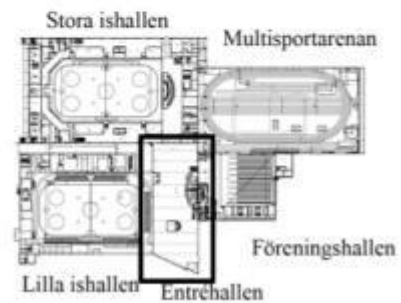
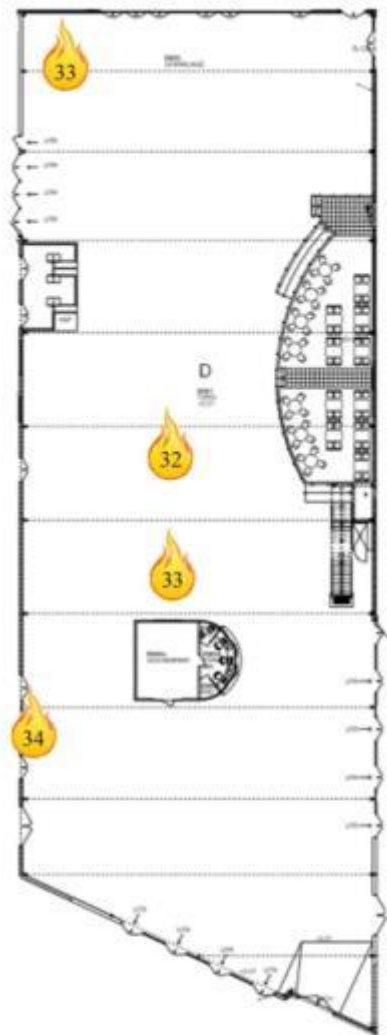
Figur 61. Översikt brandscenarier i Stora ishallen (PEAB, 2004)
(Modifierad av: Malin Hanson, 2013).

D.3 Entréhallen

Scenario 32 behandlar en brand i en utställningsmonter under pågående mäsas. Då mycket folk kommer att befinna sig i lokalen och överblickbarheten i lokalen blir sämre på grund av mässmontrarna så bedöms konsekvensen vara allvarlig, det vill säga 2. En förmildrande omständighet är att lokalen är sprinklad, medan en försvårande omständighet är att människor från angränsade lokaler förväntas evakuera genom Entréhallen, eftersom det är den väg de kom in genom och normalt sätt är utgången. Det bedöms vara sannolikt att en brand inträffar under en mäsas, då det är en del kablage och temporära maskiner där samt en betydande mängd brännbart material. Följaktligen sätts sannolikheten till 2.

Scenario 33 och 34 är en brand i de fåtal objekt som finns i Entréhallen under normala omständigheter. Sannolikheten bedöms vara låg och konsekvenserna försumbara på grund av de små mängderna brännbart material och det faktum att lokalen är utrustad med sprinkler. För scenario 33 sätts såväl sannolikheten som konsekvensen till 1 och för scenario 34 sätts sannolikheten till 1 och konsekvensen 1.

Scenario 35 behandlar brand i den temporära garderob som används vid evenemang på Rosvalla, i vilka besökarna kan hänga av sig exempelvis ytterplagg. Den placeras vanligtvis i Entréhallen och/eller i den del av Lilla ishallen som angränsar till Entréhallen. Garderoben ses som ett utrymme dit endast personal har tillträde, varefter sannolikheten sätts till 2. Mängden brännbart material i form av ytterkläder är stort, men det faktum att utrymningsvägen där garderoben är placerad normalt sett inte är i bruk, så skulle en brand där inte förvärra utrymningssituationen. Entréhallen är helsprinklad och sammantaget sätts konsekvensen till 1. En fullständig överblick över scenariernas placering i Entréhallen finns i Figur 62.

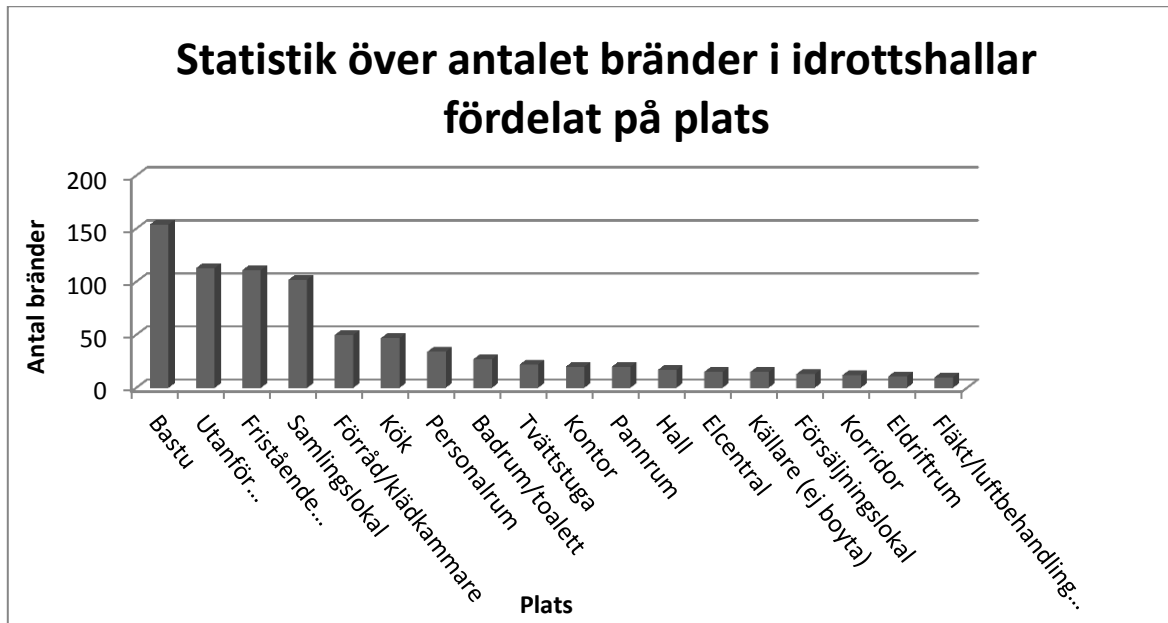


Figur 62. Översikt brandscenarier i Entréhallen (PEAB, 2004)
(Modifierad av: Malin Hanson, 2013)

Bilaga E Statistik gällande bränder i Idrottsanläggningar

Nedan följer statistik över bränder i svenska idrottsanläggningar redovisade för hela landet. Statistiken är hämtad från Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps statistik och analysverktyg, IDA, som bygger på räddningstjänsternas insatsrapporter mellan åren 1998 och 2011 (Sjölander, 2011).

I Figur 63 visas hur många bränder som startat på respektive plats i idrottsanläggningar. Platser med mindre än tio bränder har plockats bort då de anses vara irrelevanta i sammanhanget.



Figur 63. Diagrammet visar antalet bränder fördelat på startplats.

Statistiken visar att de vanligaste ställena som bränder startar i idrottsanläggningar är i Bastu, Utanför byggnaden och i själva Samlingslokalen men även i Förråd får ses som vanligt förekommande. Figur 64 nedan visar hur många bränder som startat till följd av olika orsaker.



Figur 64. Diagrammet visar antal bränder fördelade på brandorsak.

Av grafen att döma är den enskilt största orsaken till brands uppkomst i idrottsanläggningar i Sverige att någon Anlägger med uppsåt, men även Tekniskt fel och Barns lek med eld får ses som vanliga.

Bilaga F Detaljerad beskrivning av valda brandscenarier

Här behandlas brandscenarierna i detalj med avseende på brandspridning och de ingående parametrarna i de beräknande effektutvecklingarna. Först redogörs vilka olika parametrar som har påverkat beräkningen av effektutvecklingskurvorna och sedan redogörs varje scenario för sig specifikt i F.1 Brand i utrymningsväg, F.2 Brand under mässa, F.3 Brand under konsert.

För samtliga scenarier har en effektutvecklingskurva uppskattats genom att anta vad för brandbelastning som finns i de olika fallen. Effektutvecklingskurvan som antas i de olika avsnitten ska inte ses som ett försök till en exakt beskrivning av verkligheten då det utvalda scenariot egentligen bara är en dimensionerande brand för ett värsta troligt fall. För att få lämplig spridningshastighet mellan objekten som blir involverade i modellbranden har strålningsberäkningar utförts.

Strålningsberäkningarna har skett genom Point Source-metoden som är den modell som bedömts som mest verklighetstrogen (Fleury, 2010).

$$\dot{q}'' = \frac{\cos \theta \cdot \chi \cdot \dot{Q}}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \quad (\text{Ekvation 4})$$

där

\dot{q}''	strålningsintensitet [kW/m ²]
$\cos \theta$	vinkel till objektet [°]
χ	Andel strålning som avges från flamman [-]
\dot{Q}	Effektutveckling [kW]
R	Längden till objekt från flamma [m]

Faktorn $\cos \theta$ sätts till 1, eftersom det är mest konservativt. χ sätts till 0,35 för samtliga objekt i enighet med litteraturen (Karlsson & Quintiere, 2000). Siffran gäller egentligen för trä men används för draperiet i scenariot också på grund av bristande underlag. Samtliga värden utav strålningsintensiteten är tagna när materialet antänds utan pilotlåga, vilket kan te sig icke konservativt eftersom ett material antänds vid mycket lägre strålningsintensitet med pilotlåga. Anledningen till det valet är att brandspridningen mellan objekt sker på sådana avstånd att brandspridningen inte kan approximeras att ske med hjälp av pilotlåga.

Syftet med strålningsberäkningarna har varit att beräkna när nästa objekt blir involverad i branden. Eftersom information finns om vid vilken strålningsintensitet som de olika materialen antänds, kan den effektutveckling beräknas, vid vilken brandspridning sker. Därför skrivs ekvationen om till enligt nedan.

$$\dot{Q} = \frac{\dot{q}'' \cdot 4 \cdot \pi \cdot R^2}{1,0,35} \quad (\text{Ekvation 5})$$

Arbetsmetoden för att beräkna när nästa objekt antänds har gått till enligt följande.

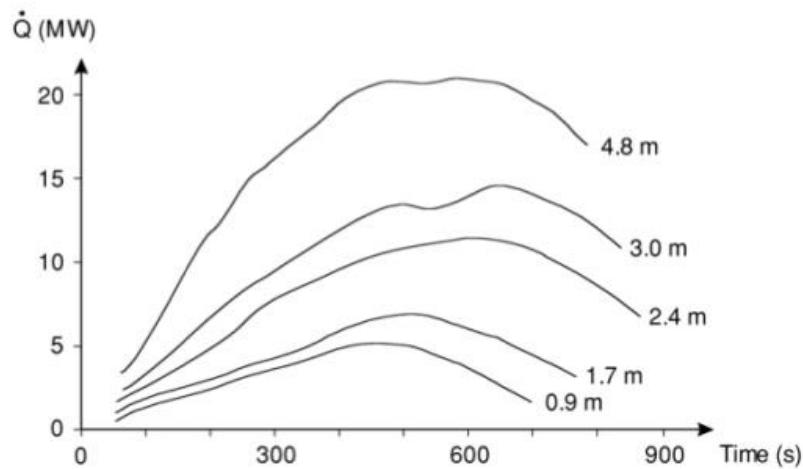
1. Effektutvecklingen för alla objekt som förväntas bli involverade i branden har tagits reda på genom tabeller eller diagram.
2. Tillväxthastigheten för varje objekt har beräknats utifrån informationen från steg 1.
3. En uppskattning görs i vilken ordning objekten kommer att antända och vilket som är involverad i initialbranden.
4. Med hjälp av Point Source-modellen beräknas hur stor effektutveckling som krävs för att antända nästa objekt.

5. Med hjälp av den beräknade tillväxthastigheten på objektet eller objekten som redan är involverade i branden, beräknas det hur lång tid det tar för att nå effektutvecklingen ifrån steg 4.

Brandspridningsberäkningarna används för att få en uppfattning av den maximala effektutvecklingen och tänkbar tillväxthastighet som scenarierna representerar. Därför förenklas den beräknade effektutvecklingen för varje scenario till mer etablerade värden för tillväxthastighet. Maxeffekten för varje scenario uppskattas till en nivå som anses vara trolig att bestå under en längre tid under brandförloppet. De här approximerade effektutvecklingarna används som ingångsvärden i simuleringarna. I några av scenarierna har modeller krävts för att beskriva flamspridning inom materialet och de diskuteras närmre i respektive fall.

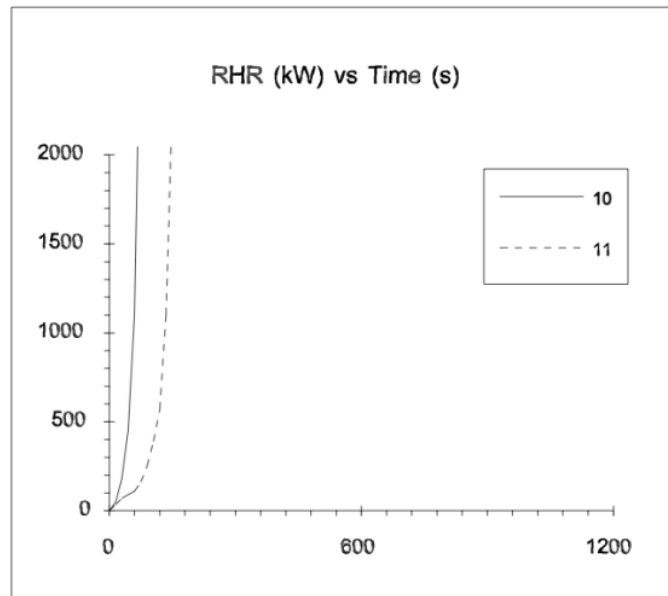
F.1 Brand i utrymningsväg

Utrymningsvägen är ett utrymme under läktaren i Lilla ishallen. Utrymmet sträcker sig under hela läktaren och innehåller förråd i olika storlekar. Ingången till förråden är förseglad av en MDF-skiva som sträcker sig till taket. I utrymmet finns bråte av olika träbaserade produkter. På grund av bråtet som också finns i liknande utrymningsvägar antas mängden bråte kunna representeras av fyra träpallar. Enligt EFD (Karlsson & Quintiere, 2000) kan den maximala effektutvecklingen för fyra pallar uppskattas till 4 MW, se Figur 65. Varje pall är 0,22 m hög och det är fyra pallar, det vill säga nästan 0,9 m.



Figur 65. Experimentellt framtagen effektkurva för träpallar. Kurvan som representerar höjden 0,9 meter användes vid framtagningen av den dimensionerande branden i utrymningsvägen (Karlsson & Quintiere, 2000).

Nästa objekt som antänds är MDF-skivan som förhindrar insyn i korridoren under läktaren. Sundström (Sundström, 1986) har gjort försök som visar att MDF-skivors effektutveckling. Se försök 11 i Figur 66. Försöket sker dock i ett slutet rum med väggar och tak av MDF-skivor. Hänsyn till skillnaden mellan försöket och MDF-skivan i utrymningsvägen görs och det antas att den maximala effektutvecklingen i det aktuella fallet istället är ungefär 1 MW.



Figur 66. Experimentellt framtagna effektkurvor för MDF-skivor. Nummer 10 användes vid framtagandet av den dimensionerande branden i Brand i utrymningsväg samt Brand under mässa (Särdqvist, 1993).

Efter att de båda objekten har varit involverade i branden ett tag förväntas träpanelen som är ytskikten på väggarna involveras och håller effektutvecklingen på en jämn hög nivå.

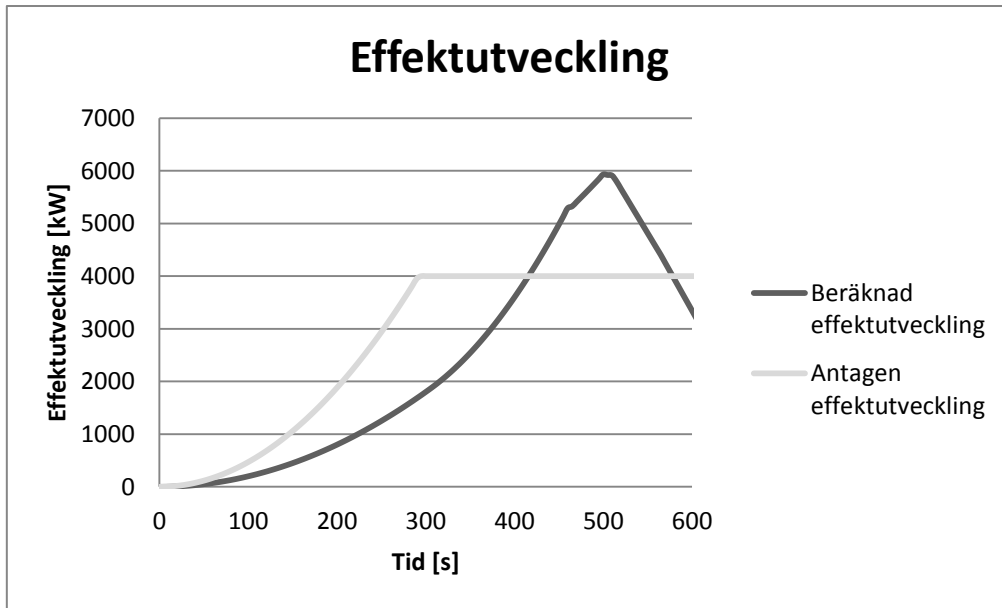
I scenariot är det enbart träbaserade material involverade, varför kritisk strålningsintensitet har satts till 12 kW/m^2 (Drysdale, 1998).

Tabell 24 nedan visar i vilken ordning branden sprider sig till de olika objekten, samt vilka ingångsvariabler som används i strålningsberäkningarna förutom de som nämns där Point Source-modellen beskrevs. Avstånden som anges är mellan närmsta brinnande föremål och det angivna objektet

Tabell 24. Åskådliggör hur branden skulle kunna sprida sig till de olika objekten samt vilka ingångsvariabler som användes vid strålningsberäkningarna.

Objekt som antänds	Avstånd mellan branden och objektet [m]	Strålningsintensitet som krävs för att objektet skall antändas [kW/m^2]	Effektutveckling som krävs för att objektet skall antända [kW]	Tid till antändning [s]
Träpallar	Initialbrand	-	-	0
MDF - skiva	4	10	1840	305

Beräkningarna enligt Tabell 24 leder till effektutvecklingskurvan som illustreras i Figur 67. Eftersom branden i scenariot är representativ förenklas effektutvecklingskurvan inför användandet i det fortsatta arbetet. Även den kurvan illustreras i Figur 67.

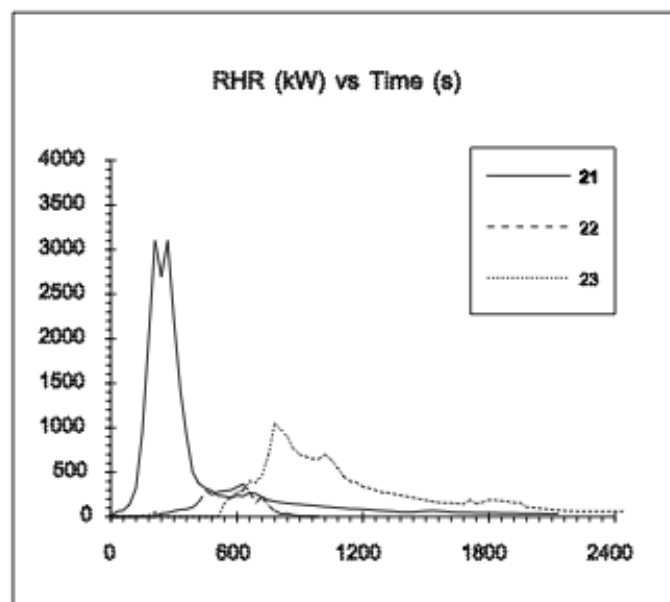


Figur 67. Effektutvecklingskurvorna för scenariot Brand i utrymningsväg.

Den approximerade effektutvecklingen som används vid simuleringarna har alltså en tillväxthastighet på $\alpha = 0,047 \text{ kW/m}^2$ för att sedan stabiliseras vid maxeffekten 4 MW.

F.2 Brand under mässa

Scenariot vid brand under mässa äger rum i Lilla ishallen. Under mässan antas samtliga montrar ha ett standardinnehåll av en soffa, ett soffbord, reklamställ med reklam samt tre barbord förutom väggarna som är gjorda utan MDF. I Initial Fires (Särdqvist, 1993) är ett flertal experiment för soffor gjorda. Representativt väljs nummer 21 som är en tresitssoffa med träram och PU skum. Experimentet har en gasbrännare som tändkälla, 50 kW, som ligger intill i ena hörnet ungefär 200 sekunder innan diagrammet startar, se Figur 68.



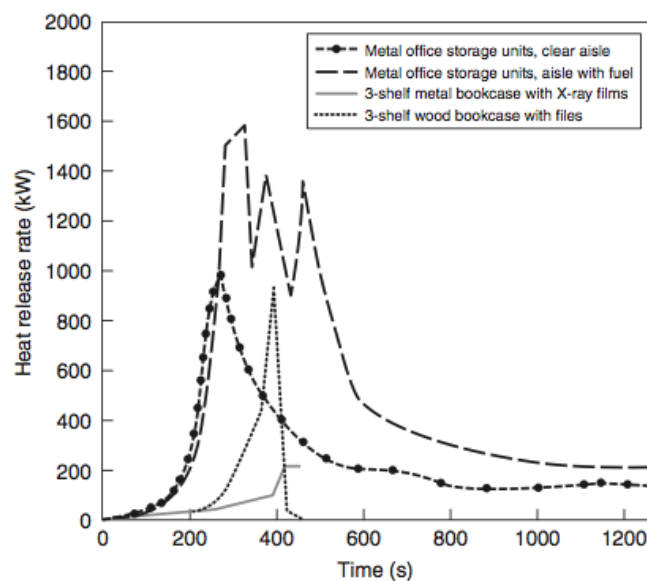
Figur 68. Experimentellt framtagna effektkurvor för soffor. Nummer 21 användes vid framtagandet av den dimensionerande branden i scenariot Brand under mässa (Särdqvist, 1993).

Mässväggar består ofta av kartongliknande alternativt någon form av laminat material, till exempel MDF. Enligt Sundström (Sundström, 1986) som gjort ett försök med just MDF, är tillväxthastigheten hög som ni kan se i Figur 66. Eftersom försöket överensstämmer till stor del av hur det ser ut i en mässmonter sätts den maximala effektutvecklingen till 2 MW.

I MDF-väggarna sprider sig branden vertikalt. Enligt An Introduction To Fire Dynamics (Drysdale, 1998) kan en metod med fördubblingshastighet användas eftersom tillväxten vertikalt är exponentiell. Med hjälp av studier av försök (Medite, 2008) beräknas flammorna nå högst upp på väggen efter 50 sekunder och strax därefter antänds intilliggande monter som förmodas ha samma effektutveckling som första montern.

Branden sprids till soffbordet som förutsätts bestå av europeisk björk som har förbränningsentalpi på 34,3 kJ/g enligt tabell 1-5.3 i SFPE-handboken (DiNenno, et al., 2002). Soffbordet förväntas väga ungefär 10 kg och tillväxthastigheten för trä är medium enligt EFD (Karlsson & Quintiere, 2000). Det ger att maxeffekten är ungefär 1300 kW och nås efter 330 sekunder.

Branden sprids sedan vidare till reklamaterialet. I SFPE-handboken (DiNenno, et al., 2002) är ett test gjort för en bokhylla av trä som innehåller papper, se Figur 69, som anses vara representativ för ett reklamställ med reklam i.



Figur 69. Experimentellt framtagna effektkurvor för bokhyllor. Bokhyllan med tre hyllor och papper användes vid framtagandet av den dimensionerande branden i scenariot Brand under mässa (DiNenno, et al., 2002).

Vidare sprids branden till barbord. Barborden har liknande egenskaper som soffbordet som tidigare nämnts. Skillnaden är att den totala vikten istället antas vara två kilogram vilket ger ungefärlig maxeffekt 430 kW efter 190 sekunder.

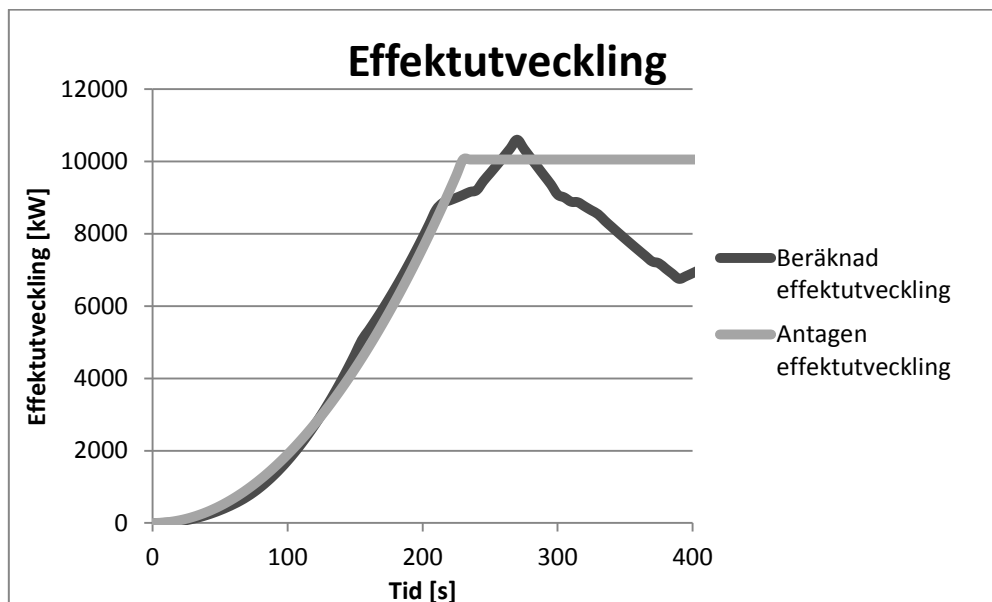
Samtliga objekt som involveras antas ha ungefär samma egenskaper som trä eftersom samtliga är träbaserade. Det innebär att den kritiska strålningen förväntas vara 12 kW/m² (Drysdale, 1998). Undantaget är soffan som till största del består av PU skum, vilket har en kritisk strålning på 13-40 kW/m² enligt Tabell 3-4.2 SFPE-handboken (DiNenno, et al., 2002). I beräkningarna har 13 kW/m² används för att vara på den säkra sidan.

Tabell 25 nedan visar i vilken ordning branden sprider sig till de olika objekten, samt vilka ingångsvariabler som används i strålningsberäkningarna förutom de som nämns där Point Source-modellen beskrevs. Avstånden som anges är mellan närmsta brinnande föremål och det angivna objektet.

Tabell 25. Åskådliggör hur branden skulle kunna sprida sig till de olika objekten samt vilka ingångsvariabler som användes vid strålningsberäkningarna.

Objekt som antänds	Avstånd mellan branden och objektet [m]	Strålningsintensitet som krävs för att objektet skall antända [kW/m^2]	Effektutveckling som krävs för att objektet skall antända [kW]	Tid till antändning [s]
Soffan	Initialbrand	10	-	0
MDF - skiva	0,2	10	13	5
Andra montern	0,1	10	-	60
Soffbordet	0,6	10	113	120
Reklamställ och reklam	0,4	10	50	190
Barborden	2	10	1256	300

Beräkningarna enligt Tabell 25 leder till den beräknade effektutvecklingskurvan som illustreras i Figur 70 i vilken också den förenklade effektutvecklingskurvan visas.



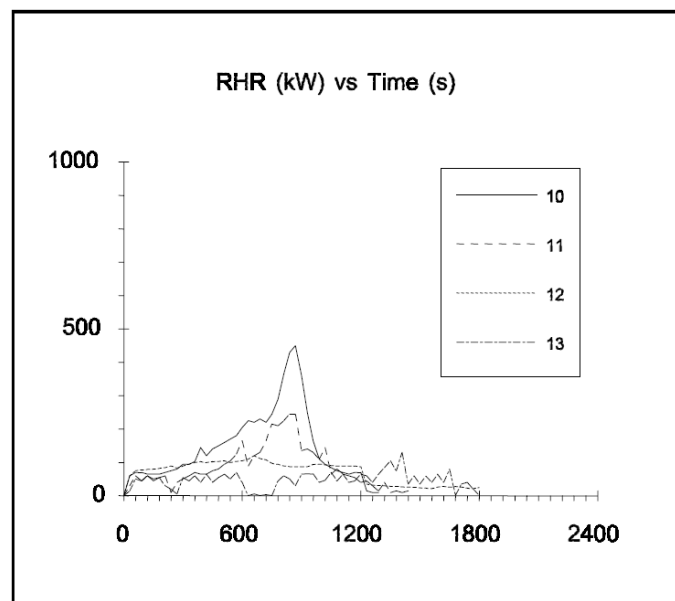
Figur 70. Effektutvecklingskurvorna för scenariot Brand under mässa.

Den approximerade effektutvecklingen som används vid simuleringarna har alltså en tillväxthastighet på $\alpha = 0,19 \text{ kW/m}^2$ tills den stabiliseras vid 10 MW.

F.3 Brand under konsert

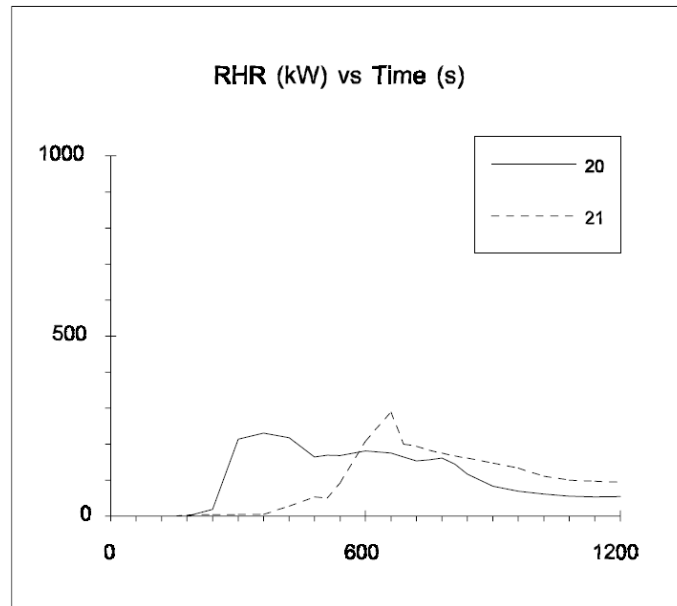
I scenariot med Brand under konsert i Stora ishallen antas scenen vara placerad vid den kortsida där VIP-läktaren är belägen. Allt material som finns på scenen, förutom kablar, förenklas till att vara högtalare bestående av i huvudsak trä. En uppskattning görs att 26 högtalare står uppställda på scenen. Bakom samt på sidorna av scenen antas att stora draperier hänger. Tyg av scendraperikaraktär är i regel tillverkade av Molton som är borstad bomullsväv. Ofta är molton flamskyddad, men enligt Sundström (2009) är flamskyddad ett brett begrepp som inte per automatik innebär att den är flamsäker. Sundström (2009) menar att bara för att ett material är flamsäkert i ett test betyder inte det att det är totalt flamsäkert så som namnet hänvisar till då flamstorleken i alla högsta grad spelar roll för hur flamsäkert ett material är.

Branden sägs starta i några kablar som befinner sig bakom scenen, men som leder upp till högtalarna. Då en hel del kablar behövs vid stora arrangemang, till både ljud och ljus, uppskattas det finns närmare 18 kg, precis som i försök tio i Figur 71 (Särdqvist, 1993). Ur det försöket fås den maximala effekten 500 kW.



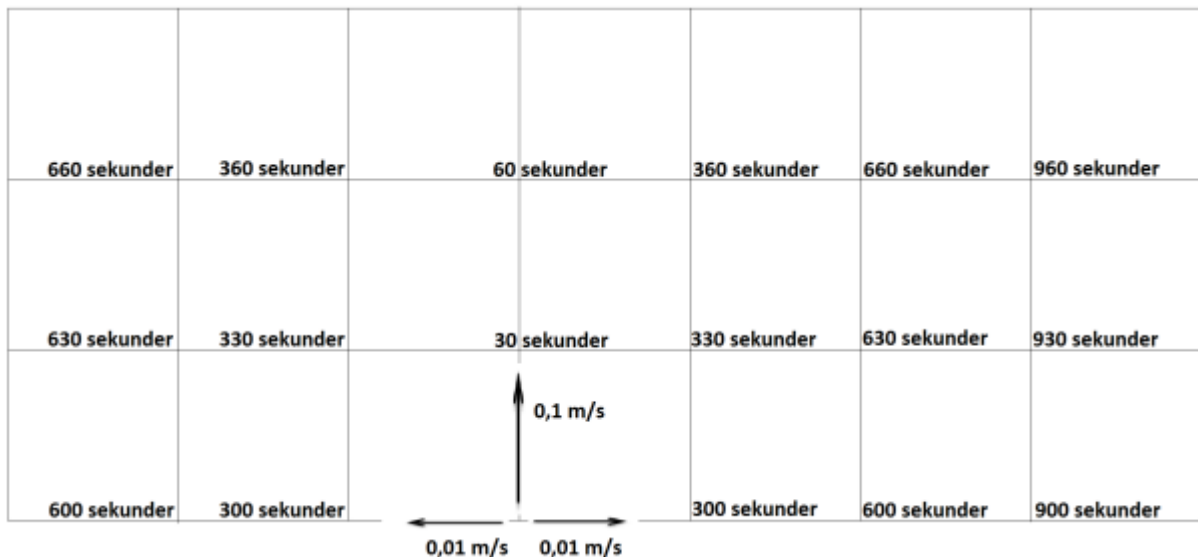
Figur 71. Experimentellt framtagna effektkurvor för kablar. Nummer 10 användes vid framtagandet av den dimensionerande branden i scenariot Brand under konsert (Särdqvist, 1993).

En högtalare placerad långt bak på scen antas där efter att börja brinna. Högtalarna har liknats vid TV-apparater, likt den som användes i försök 20 i Figur 72 (Särdqvist, 1993). Det är en äldre TV med träram och en baksida och komponenter i plast. Maximala effektutvecklingen för en högtalare fås därmed till 250 kW.



Figur 72. Experimentellt framtagna effektkurvor för TV-apparater. Nummer 21 användes vid framtagandet av den dimensionerande branden i scenariot Brand under konsert (Särdqvist, 1993).

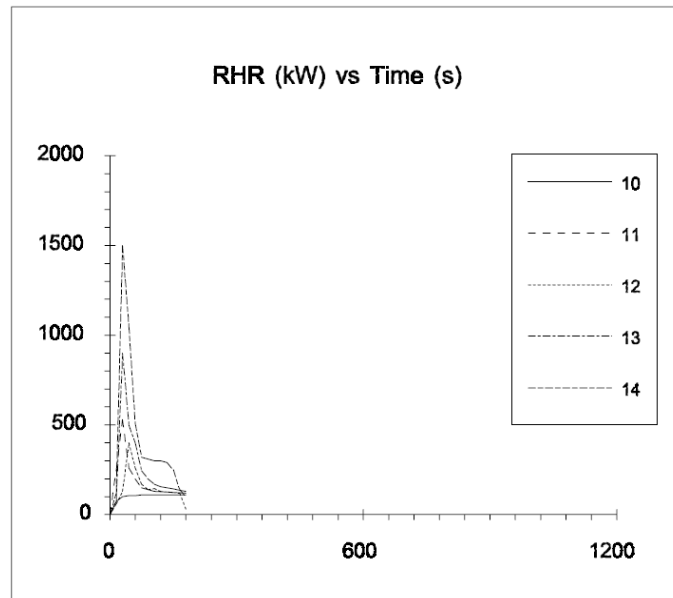
Strålningen från branden bedöms därefter orsaka spridning till draperiet, som hänger längst bak, med höjden 9 m och bredden 21 m. Den kritiska strålningen för när draperiet antänds har satts till 40 kW/m², då det bör vara tämligen svårt att antända ett flamskyddsbehandlat material (Babrauskas, 1981). Draperiet delas in i 21 stycken lika stora kvadrater med måtten 3 m x 3 m. Den vertikala flamspridningen i draperiet uppskattas vara 0,1 m/s och den horisontella en tiondel av den vertikala (Drysdale, 1998). Det innebär att det tar 30 s vertikalt och fem minuter horisontellt för branden att sprida sig till en ny kvadrat, vilket åskådliggörs i Figur 73. Tiden är räknad från det att draperiet antänds.



Figur 73. Illustration som åskådliggör brandspridningen i draperiet på scenen för scenariot Brand under konsert (Illustration: Jack Rohrstock, 2013).

Då branden kommit längst ut på sidorna på det mittersta draperiet antas vidare flamspridning ske till de andra draperierna med samma procedur då de antas gå ihop. Sidodraperierna är vardera 9 m höga och 6 m breda och består då av sex stycken kvadrater.

Effektutvecklingen för varje kvadrat jämföras med försök 11 i Figur 74 vilket ger det maximala värdet 500 kW. Försök 11 är ett flamskyddsbehandlat bomullstyg som får anses representativt.



Figur 74. Experimentellt framtagna effektkurvor för gardiner. Nummer 11 användes vid framtagandet av den dimensionerande branden i scenariot Brand under konsert (Särdqvist, 1993).

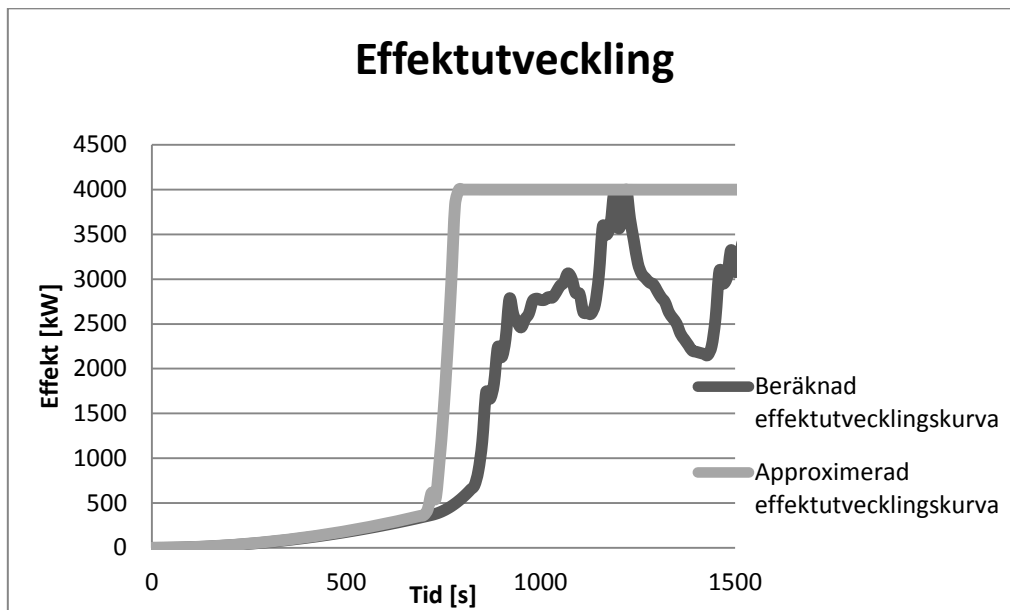
Samtidigt som branden sprider sig i draperiet kommer flammornas strålning att orsaka spridning till fler högtalare. Den kritiska strålning för högtalarna sätts till det värde som används för trä, utan tändkälla, nämligen 28 kW/m^2 (Björnfot, 2008). Totalt sett uppskattas att 17 stycken högtalare involveras i branden.

Tabell 26 nedan visar i vilken ordning branden sprider sig till de olika objekten, samt vilka ingångsvariabler som används i strålningsberäkningarna. Avstånden som anges är mellan närmsta brinnande föremål och det angivna objektet. I regel sker spridningen från högtalare till högtalare i det uppskattade fallet. Högtalarna ute på sidorna av scenen, 12 och 13, beräknas dock börja brinna då strålningen från draperiet är tillräckligt hög. Hade avståndet från de centralt placerade högtalarna används istället så hade de inte antänts då avståndet blir för långt. Det är av denna anledning som högtalarna längst fram på scen ej antas börja brinna. Uppskattningsvis står de som minst tre meter ifrån närmst brinnande objekt, vilket skulle kräva en effekt hos branden på 9 MW för att brandspridning ska ske. Anledningen till att ingående parametrar inte redovisas för alla objekt är då brandspridningen där inte sker på grund av strålning, vilket nämnts tidigare. Draperibitarna som benämns med ett M är mittendraperiet, V det som hänger till vänster och H det som hänger till höger.

Tabell 26. Åskådliggör hur branden skulle kunna sprida sig till de olika objekten samt vilka ingångsvariabler som användes vid strålningsberäkningarna.

Objekt som antänds	Avstånd mellan branden och objektet [m]	Strålningsintensitet som krävs för att objektet skall antända utan pilotlåga [kW/m ²]	Effektutveckling som krävs för att objektet skall antända [kW]	Tid till antändning [s]
Kablar	Initialbrand	-	-	0
Högtalare 1	-	-	-	720
Draperi 1 M	0,4	40	200	830
Draperi 2 M	0,4	40	200	830
Högtalare 2	0,5	28	250	840
Högtalare 3	0,5	28	250	840
Högtalare 4	1,2	28	1500	860
Högtalare 5	1,2	28	1500	860
Högtalare 6	1,2	28	1500	860
Högtalare 7	1,2	28	1500	860
Draperi 3 M	-	-	-	860
Draperi 4 M	-	-	-	860
Draperi 5 M	-	-	-	890
Draperi 6 M	-	-	-	890
Högtalare 8	0,5	28	250	950
Högtalare 9	0,5	28	250	950
Högtalare 10	0,5	28	250	950
Högtalare 11	0,5	28	250	950
Draperi 7 M	-	-	-	1130
Draperi 8 M	-	-	-	1130
Draperi 9 M	-	-	-	1160
Draperi 10 M	-	-	-	1160
Draperi 11 M	-	-	-	1190
Draperi 12 M	-	-	-	1190
Draperi 13 M	-	-	-	1430
Draperi 14 M	-	-	-	1430
Draperi 15 M	-	-	-	1460
Draperi 16 M	-	-	-	1460
Draperi 17 M	-	-	-	1490
Draperi 18 M	-	-	-	1490
Draperi 19 M	-	-	-	1730
Draperi 1V	-	-	-	1730
Draperi 20 M	-	-	-	1760
Draperi 2 V	-	-	-	1760
Högtalare 12	0,5	28	250	1760
Draperi 21 M	-	-	-	1790
Draperi 3 V	-	-	-	1790
Högtalare 13	0,5	28	250	1880
Högtalare 14	0,5	28	250	2000
Högtalare 15	0,5	28	250	2030
Draperi 4 V	-	-	-	2030
Draperi 1H	-	-	-	2030
Draperi 5 V	-	-	-	2060
Draperi 2 H	-	-	-	2060
Draperi 6 V	-	-	-	2090
Draperi 3 H	-	-	-	2090
Högtalare 16	0,5	28	250	2150
Högtalare 17	0,5	28	250	2270
Draperi 4 H	-	-	-	2330
Draperi 5 H	-	-	-	2360
Draperi 6 H	-	-	-	2390

Tabell 26 visar beräkningarna som ligger till grund för den beräknade effektutvecklingen som visas i Figur 75. Här visas också den förenklade effektutvecklingen som har använts som indata till simuleringarna.



Figur 75. Effektutvecklingskurvor för scenariot Brand under konsert.

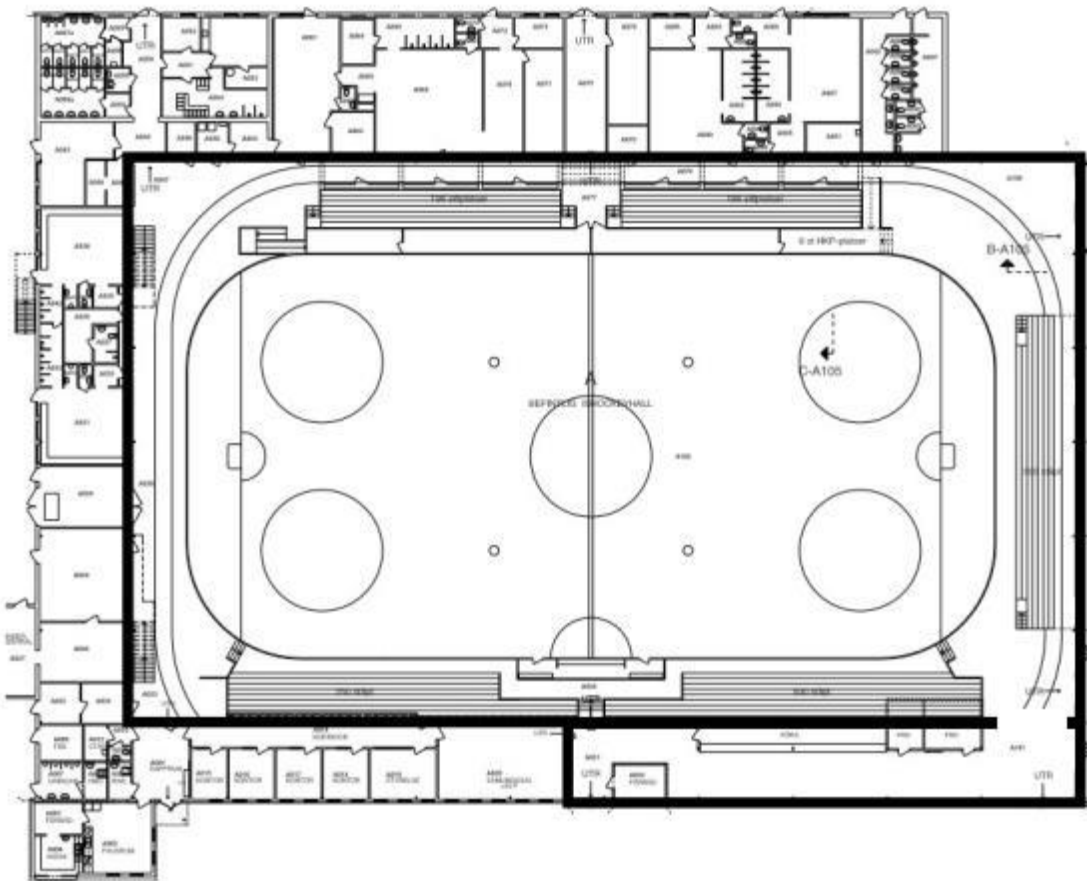
Den approximerade effektutvecklingen som används vid simuleringarna har alltså en tillväxthastighet på $\alpha = 0,0052 \text{ kW/m}^2$ i första skedet och sedan $\alpha = 0,556 \text{ kW/m}^2$ för att sedan stabiliseras vid 4 MW.

Bilaga G FDS

I detta avsnitt redovisas FDS-simuleringarna i detalj. Ingångsvärden, indatafiler, resultat och kontroller presenteras för respektive scenario. I alla simuleringar undersöks framför allt brandgaslagrets höjd med funktionen layer height i FDS. Denna metod är förenad med en del osäkerheter men bör vara ett konservativt värde. För att i största möjliga mån undersöka att det är konservativt så undersöks förhållandena under den uppmätta höjden för brandgaslagret för att säkerställa att inga kritiska förhållanden råder där.

G.1 Brand i utrymningsväg

Branden förenklas till att täcka cirka 4 m^2 av golvet i utrymningsvägen med effektutvecklingen 845 kW/m^2 . Ytterväggar och golv antas endast bestå av betong, vägg mot förråd och in mot ishallen antas vara av materialet MDF. Taket antas vara plåt. I Lilla ishallen förenklas all inredning bort och lokalen representeras endast som en tom låda. Lokalens väggar placeras enligt de tjockare linjerna i Figur 76 nedan där de stängda utrymmena förenklas bort.



Figur 76. Förenklningarna av Lilla hallens geometri i simuleringarna (PEAB, 2004) (Modifierad av: Stefan Karlquist, 2013).

Simuleringen syftar till är att undersöka hur lång tid det tar tills brandgaser börjar strömma ut ur galleröppningen samt vid vilken höjd brandgaslagret befinner sig på i Lilla ishallen som en funktion av tiden.

Meshstorleken i det dolda utrymmet vid utrymningsvägen väljs så att upplösningen blir *fine*, det vill säga så att meshupplösningen blir 16. Detta gör att cellernas storlek blir cirka 10 cm i alla riktningar. En större mesh används i ishallen där det endast är brandgasfyllnaden som undersöks och den är inte lika känslig för en större meshstorlek.

G.1.1 Indatafil

```
&HEAD CHID='doltUTRYMME', TITLE='doltUTRYMME' /
&MESH IJK= 360, 54, 32, XB= 0.0, 36, 0.0, 5.4, 0.0, 3.2 / 0.1m-celler
&MESH IJK= 144, 90, 20, XB= -36.0, 36, 5.4, 50.4, 0.0, 8.0 / 0.5m-celler
&TIME T_END=00 /
&MISC SURF_DEFAULT= 'CONCRETE', TMPA= 15.0 /
&MATL ID = 'MDF' DENSITY = 600. CONDUCTIVITY = 0.11 SPECIFIC_HEAT = 1.851
EMISSIVITY = 0.9 /
&MATL ID = 'CONCRETE' DENSITY = 2400. CONDUCTIVITY = 0.38 SPECIFIC_HEAT = 1.0
EMISSIVITY = 0.63 /
&MATL ID = 'Metall' DENSITY = 7800. CONDUCTIVITY = 16. SPECIFIC_HEAT = 0.06
EMISSIVITY = 0.63/
&SURF ID= 'MDF', MATL_ID= 'MDF', THICKNESS= 0.02, COLOR='ORANGE' /
&SURF ID= 'CONCRETE', MATL_ID= 'CONCRETE', THICKNESS= 0.2, COLOR='YELLOW' /
&SURF ID= 'Metall', MATL_ID= 'Metall', THICKNESS= 0.02, COLOR='RED' /
I DOLDA *****
&OBST XB= 0.0, 36.0, 0.0, 0.2, 0.1, 3.1 / Yttervägg
&OBST XB= 0.0, 36.0, 5.2, 5.4, 0.1, 3.1, SURF_ID='MDF' / Vägg mot hall
&OBST XB= 0.0, 36.0, 0.0, 5.4, 0.0, 0.1 / Golv
&OBST XB= 0.0, 36.0, 0.0, 5.4, 3.1, 3.2, SURF_ID='Metall' / Tak
&OBST XB= 0.0, 0.2, 0.2, 5.2, 0.1, 3.1, SURF_ID='MDF' / Vägg mot kansli
&OBST XB= 35.8, 36.0, 0.2, 5.2, 0.1, 3.1 / Vägg mot entrehall
&OBST XB= 29.0, 34.0,5.4,5.5,2.1, 4.0, SURF_ID='MDF' / Ovanför galler
&OBST XB= 3.0, 7.0, 0.2, 2.9, 0.1, 2.6, SURF_ID='MDF' / Förråd1
&OBST XB= 9.4, 29.4, 3.6, 5.2, 0.1, 3.1, SURF_ID='MDF' / Förråd2
&OBST XB=3.0,3.1,2.9,5.2,0.1,2.4, COLOR='PINK' / MDF-väggen
&HOLE XB= 29.4, 33.4, 5.1, 5.7, 0.1, 2.1 / Gallret
*****
Lillaishallen*****
&OBST XB= -36.0, 36.0, 5.4, 50.4, 0.0, 0.1 / Golv
&OBST XB= -36.0, 36.0, 5.4, 5.5, 0.1, 7.9, SURF_ID='MDF' / Vägg mot kansli
&OBST XB= -36.0, -35.9, 5.4, 50.3, 0.1, 7.9, SURF_ID='MDF' / Vägg mot fritidsgård
&OBST XB= -36.0, 35.9, 47.6, 50.4, 0.1, 7.9, SURF_ID='MDF' / Vägg mot omkläd
&OBST XB= 35.9, 36.0, 5.5, 50.4, 0.1, 7.9 / Vägg mot entrehall
&OBST XB= -36.0, 36.0, 5.4, 50.4, 7.9, 8.0, SURF_ID='Metall' / Tak
&OBST XB= -26.6, 33.4, 5.4, 8.8, 0.1, 2.0 / läktare
&OBST XB= -15.8, 24.2, 41.4, 44.6, 0.1, 3.0 / läktare
&OBST XB= 32.0, 36.0, 12.8, 35.0, 0.1, 3.0 / läktare
```

```
&OBST XB= 29.5, 33.5, 5.4, 8.4, 0.6, 1.4, SURF_ID='MDF' / Stolar
*****
&SURF ID='BURNER', HRRPUA=845, COLOR='RASPBERRY', TAU_Q=-200 /
&OBST XB= 0.4, 1.3, 0.4, 5.0, 0.1, 0.2, SURF_IDS='BURNER','INERT','INERT' /
&SLCF PBX= 1.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&SLCF PBX= 31.4, QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE./
```

Ett stort antal temperaturmätare

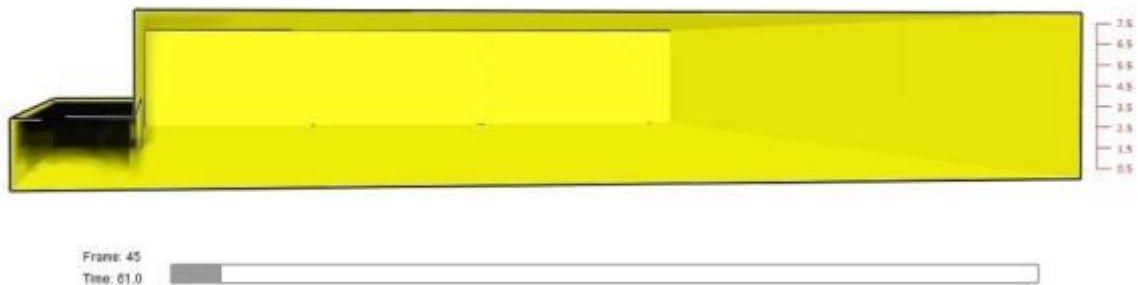
```
&DEVC XB=32.0,32.0, 40,40, 0.3,7.8 QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='LAYER HEIGHT1' /
&DEVC XB=17.0,17.0, 21.2,21.2, 0.3,7.8 QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='LAYER HEIGHT2' /
/
&DEVC XB=-25.0,-25.0, 7.2,7.2, 0.3,7.8 QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='LAYER HEIGHT3' /
&REAC ID = 'Cellulosa' C = 12. H = 22. O = 11. SOOT_YEILD = 0.2 CO_YEILD = 0.03 /
&TAIL /
```

G.1.2 Resultat FDS-simulering

I detta avsnitt presenteras resultaten från FDS-simuleringen av scenariot Brand i utrymningsväg.

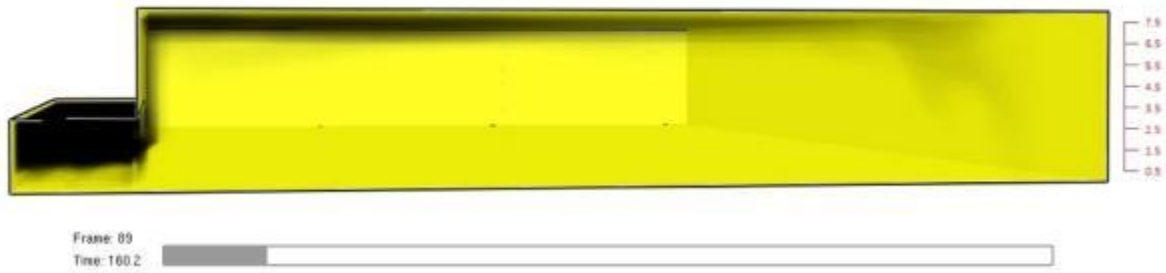
G.1.2.1 Brandgasfyllnad

I Figur 77 nedan visas förhållandena i Lilla ishallen efter cirka 80 s, då brandgaser börjar strömma ut från utrymningsvägen.



Figur 77. Åskådliggör förhållandena cirka 80 sekunder efter att branden startade. Vid den här tidpunkten skulle brandgaser kunna börja strömma ut från det dolda utrymmet, enligt FDS-simuleringen.

Figur 78 nedan visar hur ett tydligt brandgaslager börjat formas vid tiden 160 s.



Figur 78. Åskådliggör förhållandena cirka 160 sekunder efter att branden startade. Vid den här tidpunkten har ett tydligt brandgaslager bildats.

Figur 79 nedan visar den tidpunkt då brandgaslagret har sjunkit så mycket att kritiska förhållanden uppstår på den översta läktarraden.



Figur 79. Åskådliggör förhållandena cirka 200 sekunder efter att branden startade. Vid den här tidpunkten skulle kritiska förhållanden kunna ha uppstått för de på de översta läktarplatserna på grund av att brandgaslagret sjunkit så lågt, enligt FDS-simuleringen.

Figur 80 nedan visar då brandgaslagret stabiliseras tillfälligt vid tiden 240 s.



Figur 80. Åskådliggör förhållandena cirka 240 sekunder efter att branden startade. Vid den här tidpunkten har brandgaslagret tillfälligt stabiliserats.

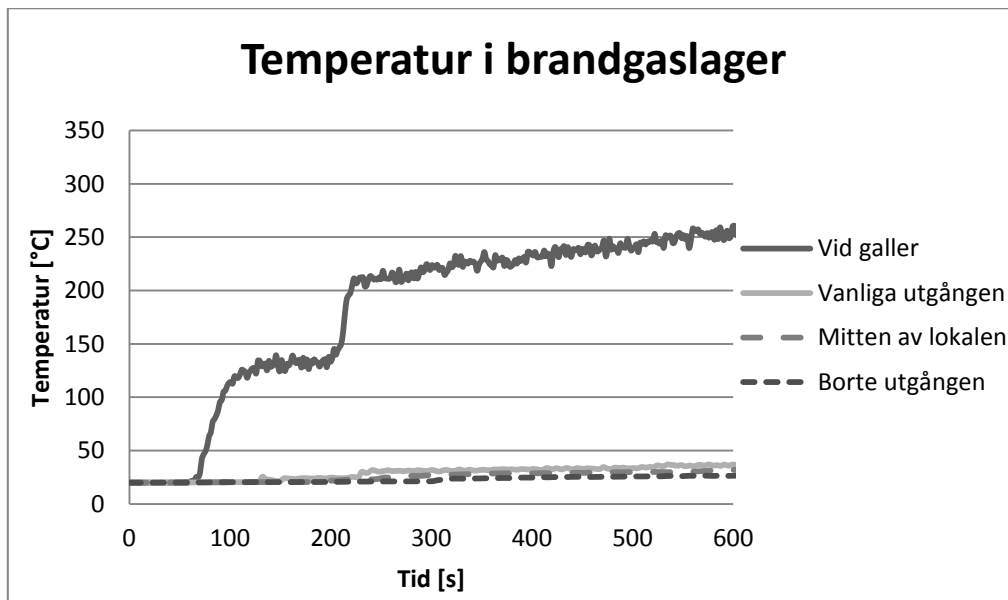
Figur 81 nedan visar brandgasfyllnaden i Lilla ishallen då kritiska förhållanden uppstår vid markplan, tiden är då 570 s.



Figur 81. Åskådliggör förhållandena cirka 570 sekunder efter att branden startade. Vid den här tidpunkten skulle kritiska förhållanden kunna ha uppstått för de som befinner sig på markplan i Lilla ishallen, enligt FDS-simuleringen.

G.1.2.2 Temperaturer brandgaslager

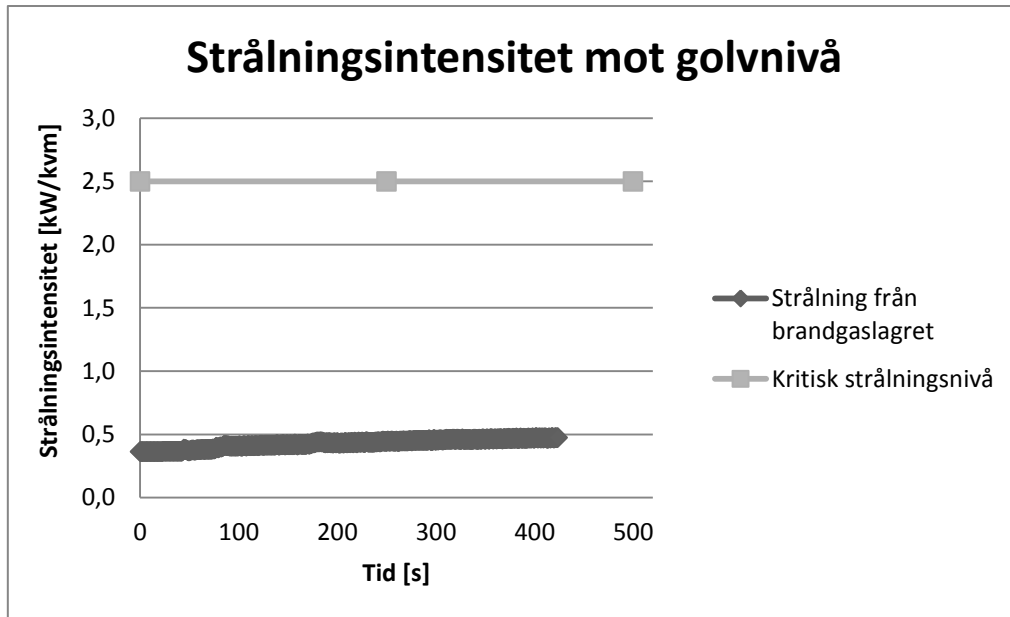
I Figur 82 nedan visas brandgaslagrets genomsnittstemperatur för de tre mätplatserna samt vid gallret där brandgaserna lämnar det dolda utrymmet som en funktion av tiden.



Figur 82. Den genomsnittliga temperaturen i brandgaslagret som funktion av tiden efter att branden startade.

G.1.2.2.1 Strålning mot golvet från brandgaslagret

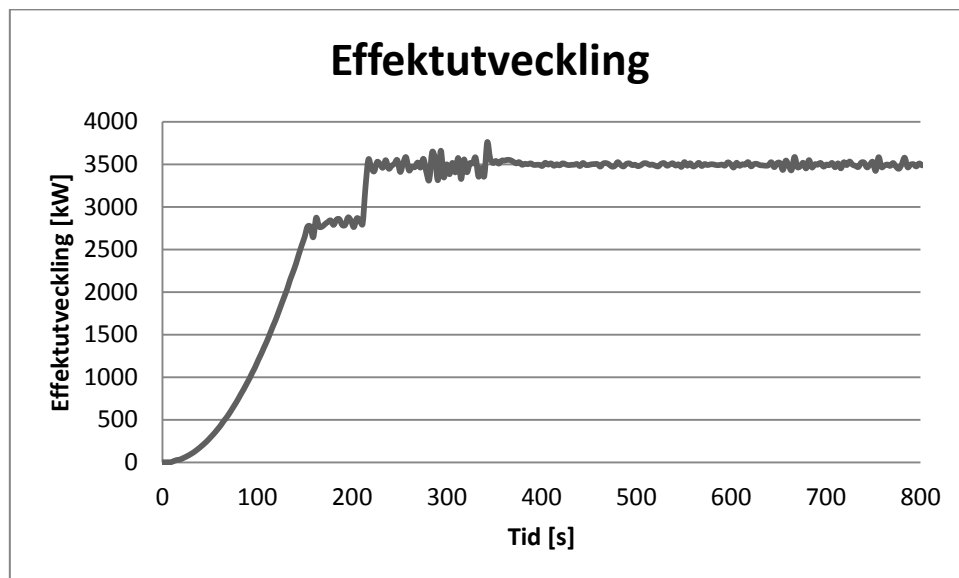
Figur 83 visar hur strålningen mot golvet varierar över tiden, även den kritiska strålningsnivån är utritad.



Figur 83. Strålningsintensiteten mot golvet som en funktion av tiden från att branden startade.

G.1.2.3 Effektutveckling

Effektutvecklingen i FDS-simuleringen följer den dimensionerande branden mycket bra. I Figur 84 nedan visas effektutvecklingen som en funktion av tiden. Branden blir ventilationskontrollerad med en effektutveckling runt 3500 kW efter det att väggen anses försvinna.



Figur 84. Den dimensionerande brandens effektkurva, enligt FDS-simuleringen.

G.1.3 Kontroll av resultat

I denna del utförs kontroller av resultaten från FDS-simuleringen av scenariot Brand i utrymningsväg.

G.1.3.1 Kontroll av transporttid brandgaser

Tiden från det att branden startar till det att brandgaser strömmar in i Lilla ishallen beror till stor del på hur snabbt brandgaserna strömmar längs taket i det dolda utrymmet. För att beräkna denna tid används Alpert's Ceiling Jet-korrelation som beskrivs i Ekvation 6 nedan. (Karlsson & Quintiere, 2000)

$$u_{max} = \frac{0,195\dot{Q}^{\frac{1}{3}}H^{\frac{1}{2}}}{r^{\frac{5}{6}}} \quad (\text{Ekvation 6})$$

Där

u_{max} är brandgasernas hastighet längs taket [m/s]

\dot{Q} är brandens effektutveckling [kW]

H är rummets höjd [m]

r är sträckan längs taket [m]

(Karlsson & Quintiere, 2000)

Då effektutvecklingen inte är konstant så används ett medelvärde för effektutvecklingen under den tid som det enligt simuleringen tar för brandgaserna att nå ishallen. Effektutvecklingen sätts till 1500 kW. Rummets höjd är 3 m och sträckan längs taket är 32 m. Detta ger att brandgasernas hastighet är 0,37 m/s. Detta ger i sin tur att tiden för brandgaserna att nå ishallen blir 88 s, vilket stämmer väl överrens med det simulerade värdet på runt 80 s.

Det bör noteras att den tid det tar för brandgaserna att nå den öppning som förbinder det dolda utrymmet med ishallen inte är samma sak som den tid det tar innan brandgaserna strömmar in i Lilla ishallen. Den komplexa strömningen i området kring öppningen fångas inte av denna ekvation. Eftersom den del som har störst inverkan på denna tid är strömningstiden, så ger Alpert's Ceiling Jet-korrelationen en bra fingervisning om hur tillförlitlig simuleringen är och i detta fall anses tillförlitligheten som god, då ekvationen ger en snarlik tid. (Karlsson & Quintiere, 2000)

G.1.3.2 Kontroll av bränslekontrollerad brand

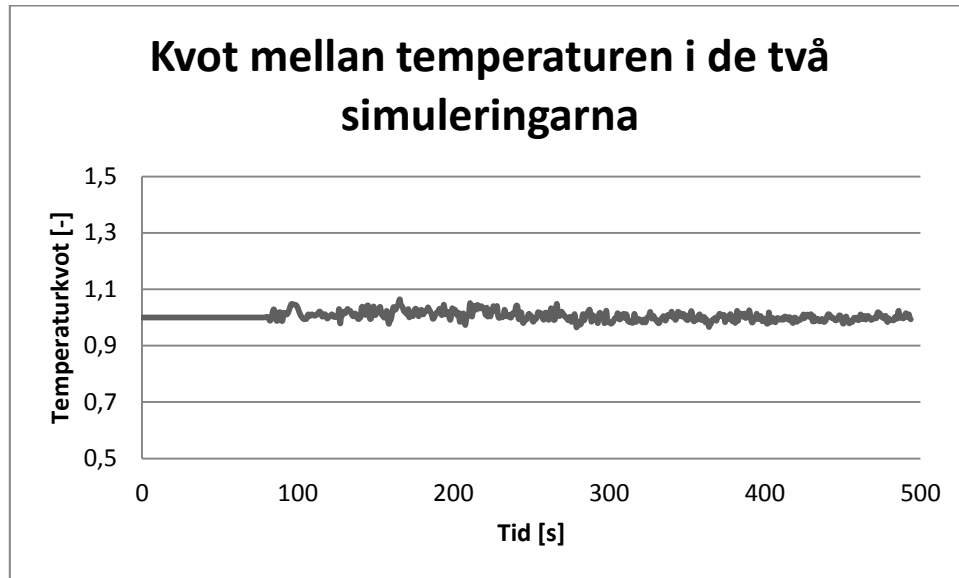
Branden i simuleringen följer den dimensionerade effektutvecklingen under hela brandförloppet. Den blir inte ventilationskontrollerad. En grov kontroll huruvida det är troligt eller inte görs genom att undersöka om syret i det dolda utrymmet räcker för att underhålla branden under hela brandförloppet. Förenklingen görs att inget utbyte av luften sker samt att branden får tillgång till allt tillgängligt syre genom god omblandning. Massfraktionen syre i luften är 23 % och branden anses fortgå så länge massfraktionen syre är över 15 %, den tillgängliga mängden syre blir således 8 % av luftens massa. Utrymmets volym är 525 m³ och luftens densitet 1,2 kg/m³ vilket ger en tillgänglig syremängd på 50,4 kg. 1 kg syre räcker till 13,1 MJ förbränning vilket gör att syret i det dolda utrymmet kan ge effekten 660 MJ. (Karlsson & Quintiere, 2000)

Den dimensionerande branden har utvecklat 660 MJ efter 400 s, vilket tillhör det senare skedet i utrymningsscenarioet. Brandens effektutveckling vid denna tidpunkt är av sekundärt intresse, men tillströmningen av luft bör vara tillräcklig för att hålla branden bränslekontrollerad resterande del av utrymningsförloppet.

G.1.3.3 Kontroll av nodkonvergens

Simuleringen görs om med åtta gånger så stor cellstorlek. Temperaturprofilen i en punkt vid den vanliga utgången jämförs mellan de olika simuleringarna. Ifall dessa är snarlika bör nodkonvergens ha uppnåtts. För att bli säkrare hade fler FDS-simuleringar kunnat genomföras men detta ansågs inte

försvarbart med avseende på tidseffektiviteten. Figur 85 nedan visar kvoten mellan dessa temperaturer som en funktion av tiden.



Figur 85. Temperaturkvoten som funktion av tiden efter att branden startade.

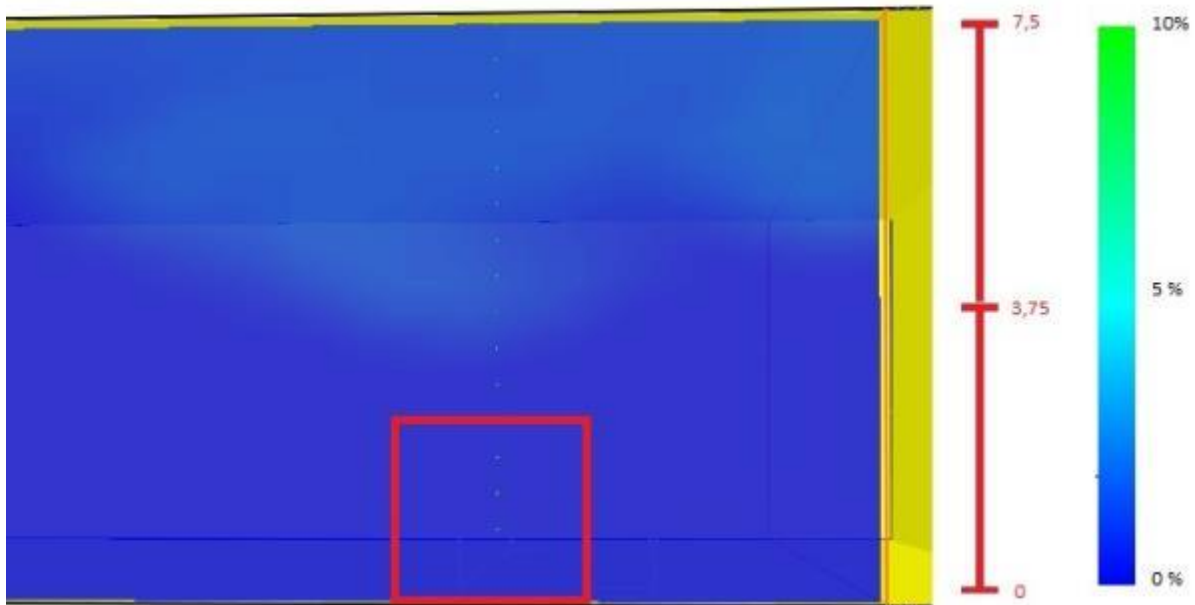
Temperaturerna är mycket lika varandra vilket tolkas som att nodkonvergens är nådd.

G.1.3.4 Brandgaslagrets höjd

FDS har en funktion som mäter brandgaslagrets höjd som också bygger på temperaturdifferenser. De låga temperaturerna i brandgaslaget i Lilla ishallen gör dock att denna underskattar brandgaslagrets höjd. Istället för detta verktyg, så används smokeview för att studera rökfyllnaden som sedan jämförs med den brandgaslagerhöjd som uppskattas med temperaturdifferensen. Det ger liknande värden, vilket gör att brandgaslagrets höjd upplevs som trovärdig.

G.1.3.5 Acceptabla förhållanden under brandgaslaget

Koncentrationer av toxiska gaser på olika höjder i Lilla ishallen som funktion av tiden jämförs med brandgaslagrets höjd. I Figur 86 nedan visas koncentrationen för koldioxid vid den tidpunkt då brandgaslaget nått den kritiska höjden för acceptabla utrymningsförhållanden. Den röda fyrkanten visar den vanliga utgångens placering.



Figur 86. Åskådliggör koncentrationen koldioxid vid den tidpunkten vid vilken brandgaslagrets höjd nått kritiska nivåer och säker utrymning är inte längre möjlig. Den röda kvadraten visar utgångens placering.

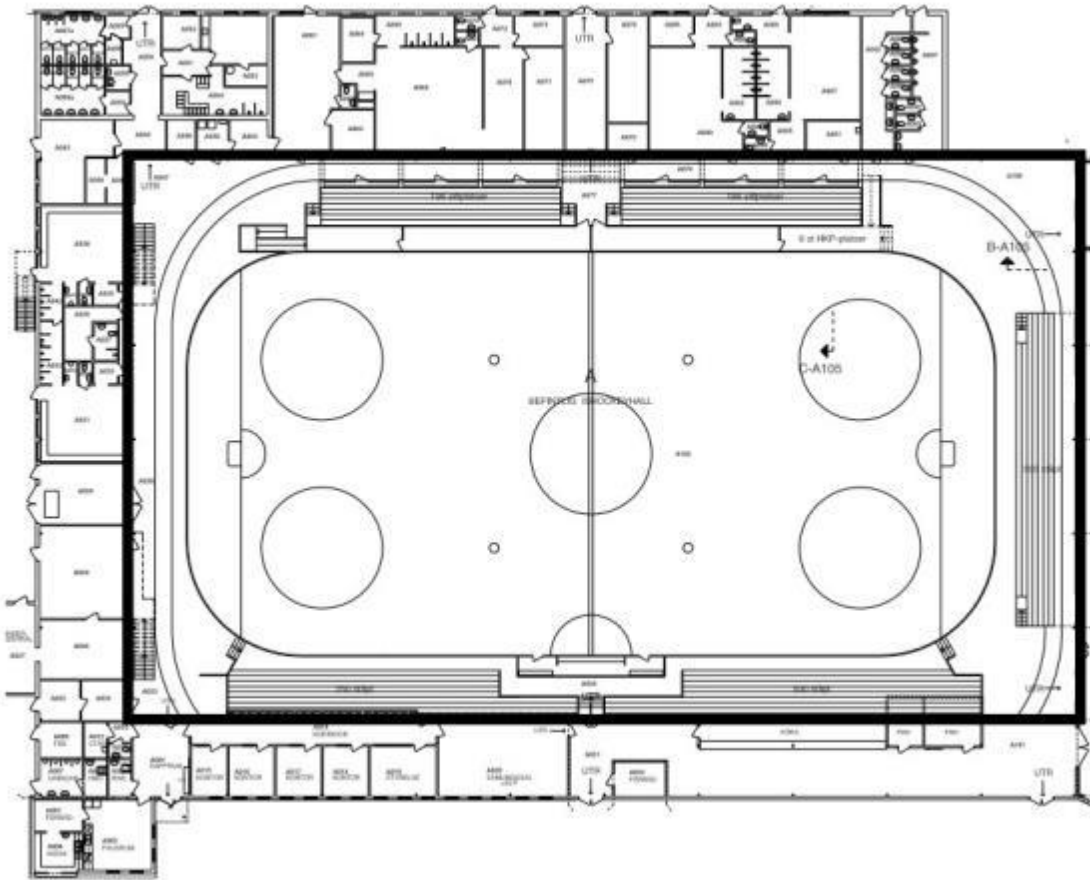
Brandgaslagrets höjd är vid denna tidpunkt uppskattad till 2,5 m. Under denna höjd är koncentrationen koldioxid inom acceptabla koncentrationer. Det bör dock tas i beaktande att detta är en ögonblicksbild och att turbulens ibland driver ner koldioxiden lägre, dock aldrig under 2,5 m enligt utförd simulering. Koncentrationen kolmonoxid och syre följer samma utbredningsmönster som koldioxiden, vilket medför att brandgaslagrets höjd kan användas som kriterium för acceptansnivå då miljön under brandgaslagret är fri från toxiska gaser.

G.1.4 Verifiering av åtgärdsförslag

Inga åtgärdsförslag simuleras med FDS.

G.2 Brand under mässa

Branden förenklas till att täcka in den yta som två mässmontrar upptar, det vill säga 30 m². Branden placeras 1 m ovan mark för att representera branden på väggarna samt innehållet i montern. Ytterväggar antas endast bestå av betong och taket antas vara av plåt. All inredning i lokalen förutom läktarna förenklas bort. Läktarna simuleras som rätblock helt gjorda i betong och deras höjd görs en meter kortare än i verkligheten för att bättre motsvara rätt volym. Lokalens väggar placeras enligt de tjocka linjerna i Figur 87 nedan där de stängda utrymmena förenklas bort.



Figur 87. Lilla ishallens förenklade utseende vid simuleringarna (Illustration: Stefan Karlquist, 2013).

För att simuleringen inte ska ta för lång tid väljs meshstorleken i den halva av lokalen som branden befinner sig i, så att upplösningen där blir *fine*. Detta gör att cellernas storlek blir cirka 15 cm i alla riktningar. I andra halvan av lokalen väljs meshupplösningen *medium*, vilket gör att cellernas storlek blir 30 cm i varje riktning.

G.2.1 Indatafil

```
&HEAD CHID='massbrandstor', TITLE='massbrandstor' /
&MESH IJK= 192, 288, 54, XB= 40.5, 69.3, 0.0, 43.2, 0.0, 8.1 / 0.15m-celler
&MESH IJK= 135, 144, 27, XB= 0.0, 40.5, 0.0, 43.2, 0.0, 8.1 / 0.3m-celler
&TIME T_END=600 /
&MISC
SURF_DEFAULT= 'CONCRETE',
TMPA= 15.0 /
&MATL ID = 'CONCRETE'
DENSITY = 2400.
CONDUCTIVITY = 0.38
SPECIFIC_HEAT = 0.75
```

```

EMISSIVITY = 0.63 /
&MATL ID = 'Metall'
DENSITY = 7800.
CONDUCTIVITY = 16.
SPECIFIC_HEAT = 0.06
EMISSIVITY = 0.63 /
&SURF ID= 'CONCRETE', MATL_ID= 'CONCRETE', THICKNESS= 0.2, COLOR='YELLOW' /
&SURF ID= 'Metall', MATL_ID= 'Metall', THICKNESS= 0.02, COLOR='RED' /
&OBST XB= 0.0, 69.3, 0.0, 0.3, 0.3, 7.8 / Yttervägg mot dolda
&OBST XB= 0.0, 0.3, 0.3, 42.9, 0.3, 7.8 / Yttervägg mot uppehållsr
&OBST XB= 0.0, 69.3, 42.9, 43.2, 0.3, 7.8 / Yttervägg mot stora
&OBST XB= 69.0, 69.3, 0.3, 42.9, 0.3, 7.8 / Yttervägg mot entre
&OBST XB= 0.0, 69.3, 0.0, 43.2, 7.8, 8.1, SURF_ID='Metall' / Tak
&OBST XB= 0.0, 69.3, 0.0, 43.2, 0.0, 0.3 / Golv
&OBST XB= 14.1, 56.1, 37.8, 41.1, 0.3, 2.4, COLOR='BLUE' / Läktare mot stora
&OBST XB= 64.35, 69.0, 7.05, 30.0, 0.3, 3.0, COLOR='BLUE' / Läktare mot entre
&SURF ID='BURNER', HRRPUA=336.7, COLOR='RASPBERRY', TAU_Q=-229.5 /
&OBST XB= 50.55, 60.45, 28.5, 31.5, 0.3, 0.6, SURF_IDS='BURNER','INERT','INERT' /
*Ett antal mätpunkter för värme och koncentration av toxiska gaser* /
&SLCF PBX= 34.0, QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID= 'carbon dioxide' /
&SLCF PBX= 34.0, QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID= 'carbon monoxide' /
&SLCF PBY= 34.0, QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID= 'oxygen' /
&SLCF PBY= 38.0, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&DEVC XB=34.0,34.0, 42.2,42.2, 0.3,7.8 QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='LAYER HEIGHT1'
/
&DEVC XB=16.0,16.0, 21.2,21.2, 0.3,7.8 QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='LAYER HEIGHT2'
/
&DEVC XB=5.0,5.0, 5.2,5.2, 0.3,7.8 QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='LAYER HEIGHT3' /
&REAC ID = 'Cellulosa' C = 12. H = 22. O = 11. CO_YIELD = 0.04 /
&TAIL /

```

G.2.2 Resultat FDS-simulering

I detta avsnitt presenteras resultaten från FDS-simuleringen av scenariot med brand under mässa.

G.2.2.1 Brandgasfyllnad

Figur 88 nedan visar förhållandena i lokalen då FDS anser att ett brandgaslager börjat bildas. Det täcker dock inte hela taket än.



Figur 88. Åskådliggör förhållandena i Lilla ishallen då FDS anser att ett brandgaslager börjat bildas. Som synes täcker brandgaslagret inte hela taket ännu.

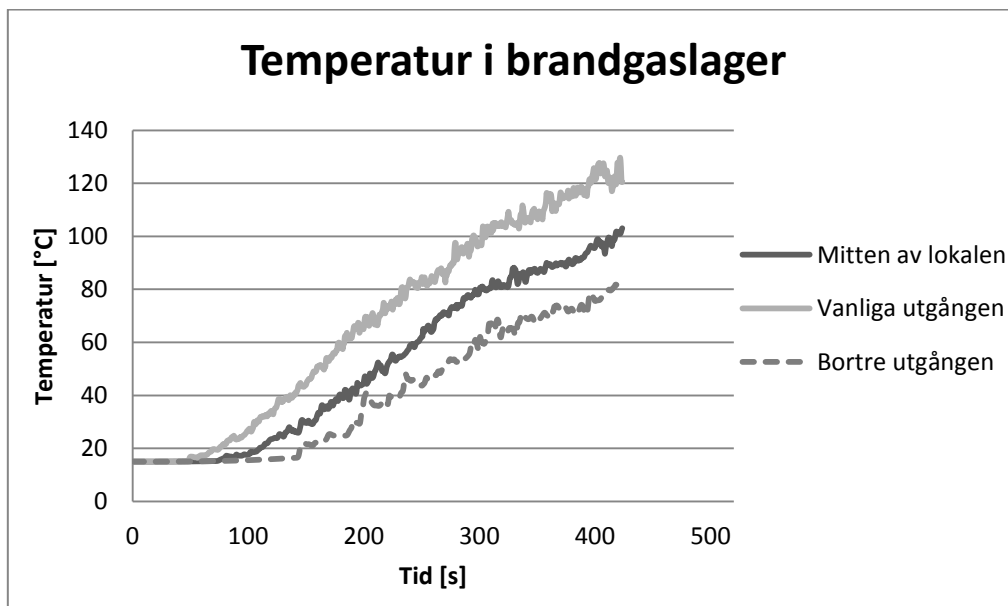
Figur 89 nedan visar tiden då kritiska förhållanden sägs råda i hela lokalen.



Figur 89. Åskådliggör tidpunkten vid vilken kritiska förhållanden skulle kunna råda i hela Lilla ishallen, enligt FDS-simuleringen.

G.2.2.2 Temperatur brandgaslager

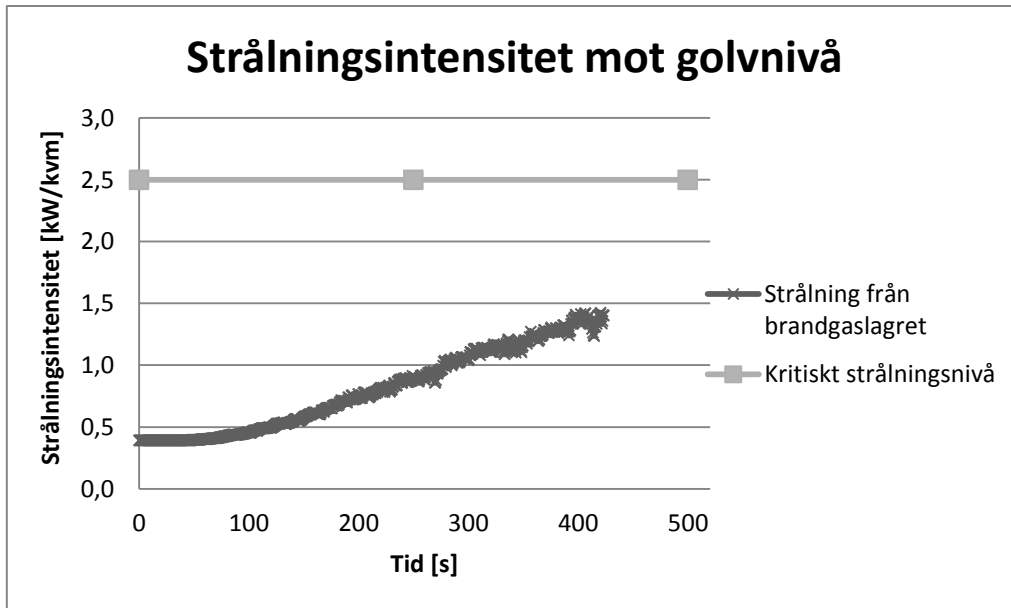
I Figur 90 nedan visas brandgaslagrets genomsnittstemperatur mätplatsen mitt i lokalen samt vid den vanliga samt den bortre utgången.



Figur 90. Brandgaslagrets genomsnittliga temperatur som funktion av tiden efter att branden startade.

G.2.2.2.1 Strålning mot golvet från brandgaslaget

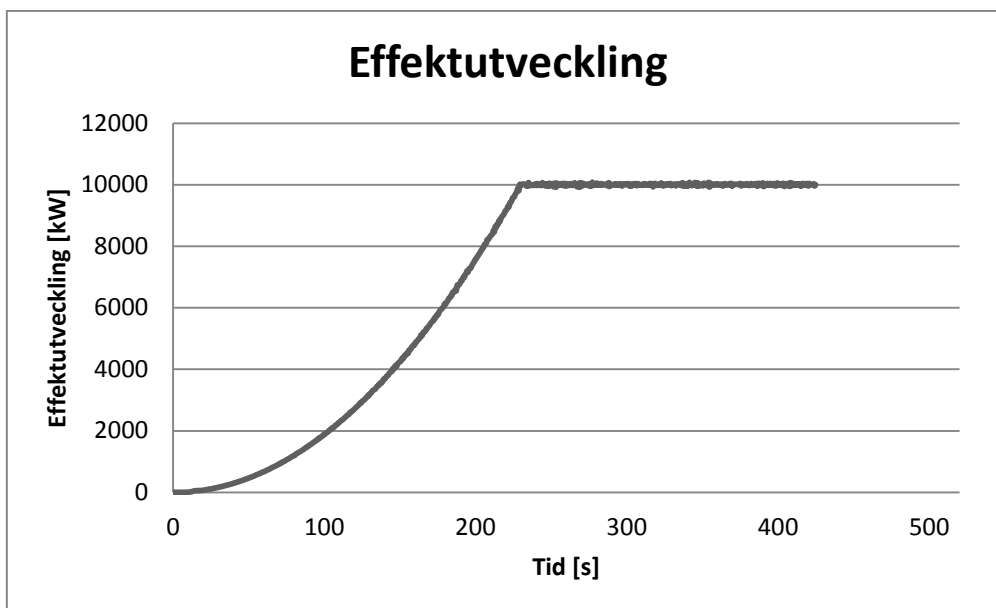
Figur 91 visar strålningen mot golvet varierar över tiden, även den kritiska strålningsnivån är utritad.



Figur 91. Strålningsintensiteten mot golvet som en funktion av tiden från att branden startade.

G.2.2.3 Effektutveckling

I Figur 92 nedan visas effektutvecklingen som en funktion av tiden. Den följer den dimensionerade branden.



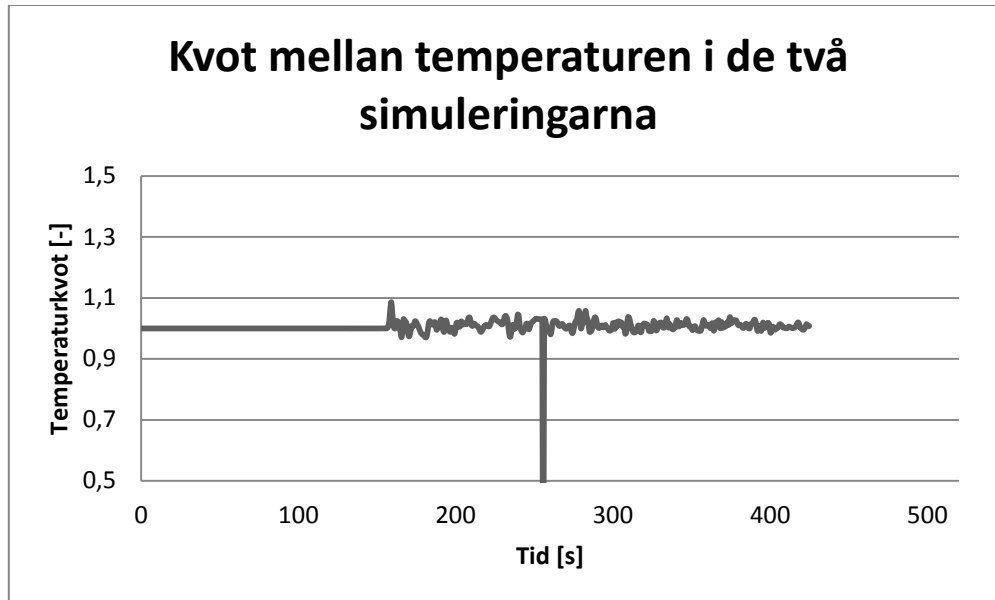
Figur 92. Den dimensionerande brandens effektkurva som funktion av tiden efter att branden startade.

G.2.3 Kontroll av resultat

I denna del utförs kontroller av resultaten från FDS-simuleringen av branden under mässa i Lilla ishallen.

G.2.3.1 Kontroll av nodkonvergens

Simuleringen görs om med åtta gånger så stor cellstorlek. Temperaturprofilen i en punkt vid den vanliga utgången jämförs mellan de olika simuleringarna. Eftersom dessa är snarlika bör nodkonvergens ha uppnåtts. För att bli säkrare hade fler FDS-simuleringar kunnat genomföras men detta ansågs inte försvarbart med avseende på tidseffektiviteten. Figur 93 nedan visar kvoten mellan dessa temperaturer som en funktion av tiden.



Figur 93. Kontroll av nodkonvergens mellan två simuleringar genom temperaturkvot.

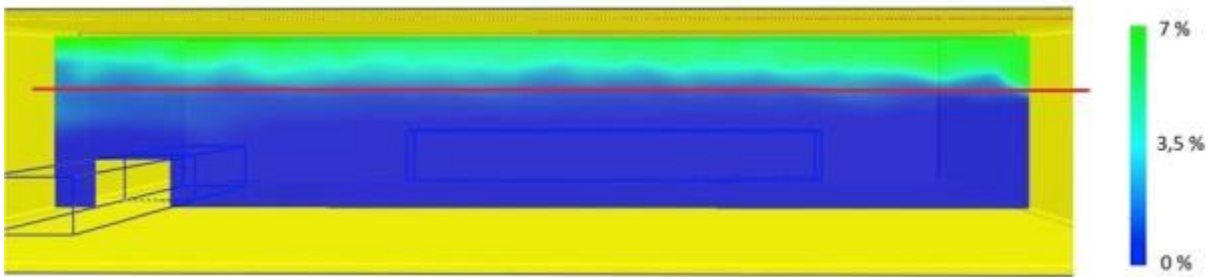
Temperaturerna är lika varandra, vilket tolkas som att nodkonvergens är god.

G.2.3.2 Brandgaslagrets höjd

För att beräkna brandgaslagrets höjd används den inbyggda algoritmen för detta i FDS. Då den bygger på temperaturdifferenser i höjdlid i valda punkter kommer den att fluktueras på grund av turbulensen. En manuell uppskattning av brandgashöjden på grund av temperaturdifferenser ger ungefär samma resultat, men fångar inte fluktuationerna alls lika noggrant. Den exakta höjden vid varje tillfälle anses dock vara av sekundär betydelse utan det viktiga är brandgashöjden i genomsnitt och att acceptabla förhållanden alltid råder under brandgaslagret, se vidare Bilaga G.2.3.3 Acceptabla förhållanden under brandgaslagret nedan.

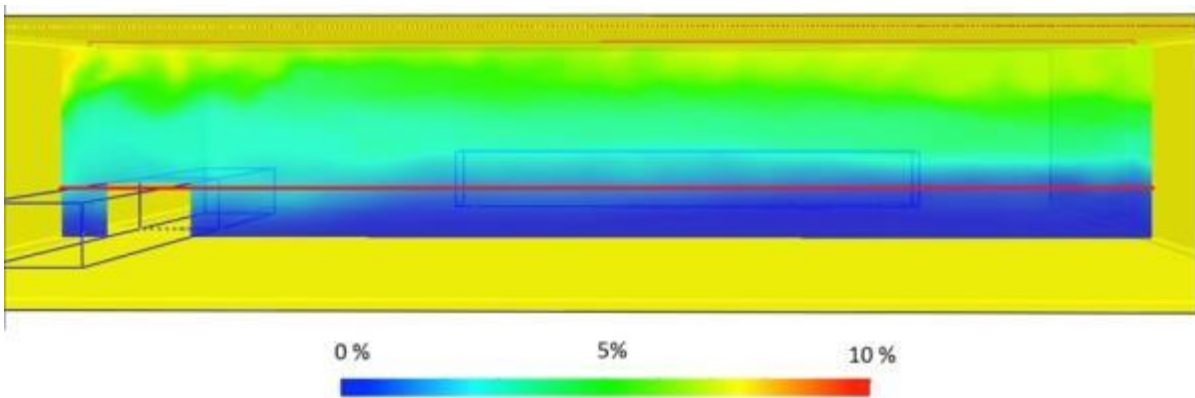
G.2.3.3 Acceptabla förhållanden under brandgaslagret

Koncentrationer av toxiska gaser på olika höjder i Lilla ishallen som funktion av tiden jämförs med brandgaslagrets höjd. I Figur 94 och Figur 95 nedan visas koncentrationen för koldioxid vid två tidpunkter mitt i lokalen. Det röda strecket markerar den höjd som FDS anser att vara brandgaslagrets höjd. I Figur 94 nedan visas koldioxidkoncentrationen i lokalen efter 150 s, då brandgaslagret temporärt stabiliserats på 5 m höjd. Förhållandena under brandgaslagret är inte toxiska, så brandgaslagrets höjd anses vid denna tidpunkt fungera bra som ett mått acceptabla förhållanden i lokalen.



Figur 94. Koldioxidkoncentrationen vid 150 sekunder. Det röda strecket visar var FDS anser att brandgaslagret har stabiliserats.

I Figur 95 nedan visas koldioxidkoncentrationen i lokalen vid 240 s, då kritiska förhållanden uppskattas råda i hela lokalen. Turbulensen i lokalen gör att brandgaslagret fluktuerar och en viss mängd brandgaser når stundtals ända ner till golvet, men inga av dessa når nivåer som inte accepteras.



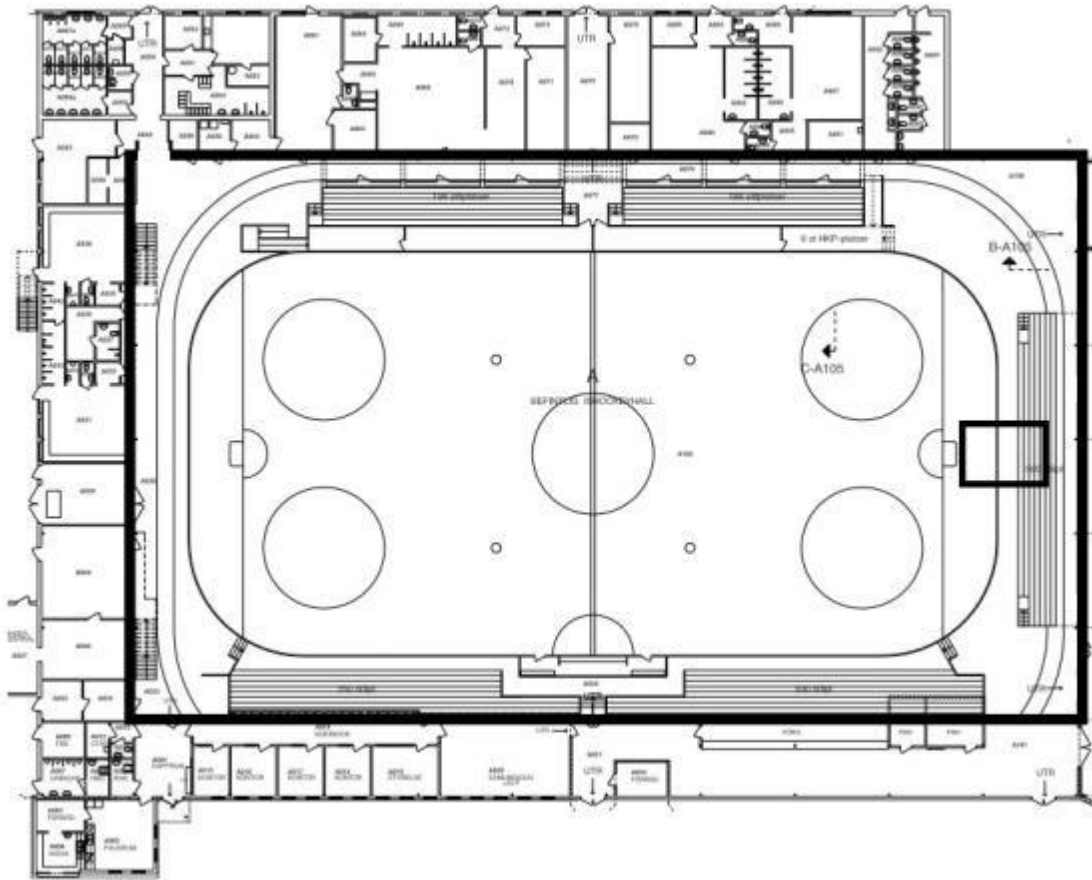
Figur 95. Koldioxidkoncentrationen vid 240 sekunder. Det röda strecket visar var FDS anser att brandgaslagret har stabiliserats.

G.2.4 Verifiering av åtgärdsförslag

I detta avsnitt presenteras simuleringarna för verifieringen av åtgärdsförslagen i Lilla ishallen.

G.2.4.1 Verifiering av åtgärdsförslag Brandgaslucka utan fläktar

Samma uppställning som i fallet utan åtgärder används här, fast med tillägget att brandgasluckor och ett dörrpar öppnar vid branddetektion. En temperaturmätare utan termiskt motstånd placeras i den punkt som en rökdetektor maximalt kan finna sig ifrån branden. Gridgränsen placeras en bit ifrån utsidan av väggarna för att kunna modulera flödet precis utanför öppningarna till lokalen. I Figur 96 nedan visas placering av öppning under brandgaslager och brandgasluckor som de tjockare linjerna.



Figur 96. Åskådliggör brandgasluckornas placering i Lilla ishallen, enligt åtgärdsförslagen (PEAB, 2004) (Modifierad av: Stefan Karlquist, 2013).

G.2.4.1.1 Indatafil FDS

Samma indatafil som presenteras i Bilaga G.2.1 Indatafil, det vill säga med mässbrand utan åtgärder, används fast med tillägget nedan.

Brandgasventilation *****

&VENT XB=0.0, 69.3, 43.2, 43.2, 0.0, 8.1, SURF_ID='OPEN' /

&VENT XB=0.0, 69.3, 0.0, 43.2, 8.1, 8.1, SURF_ID='OPEN' /

&HOLE XB=62.2,66.8,21.6,24.2,7.8,7.9, DEVC_ID='SMOKE DETECTOR' /

&HOLE XB=1.5,3.1,42.9,43.0,0.3,2.3, DEVC_ID='SMOKE DETECTOR' /

&SLCF PBX=64.5, QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE. /

&DEVC XB=62.2,66.8,21.6,24.2,7.9,7.9, QUANTITY='VOLUME FLOW', ID='Brandgasluckor' /

```
&DEVC XB=1.5,3.1,43.0,43.0,0.3,2.3, QUANTITY='VOLUME FLOW', ID='Nedreöpp' /
```

```
&DEVC ID='SMOKE DETECTOR' ,PROP_ID='HEAT' ,XYZ=45,30,7.7 /
```

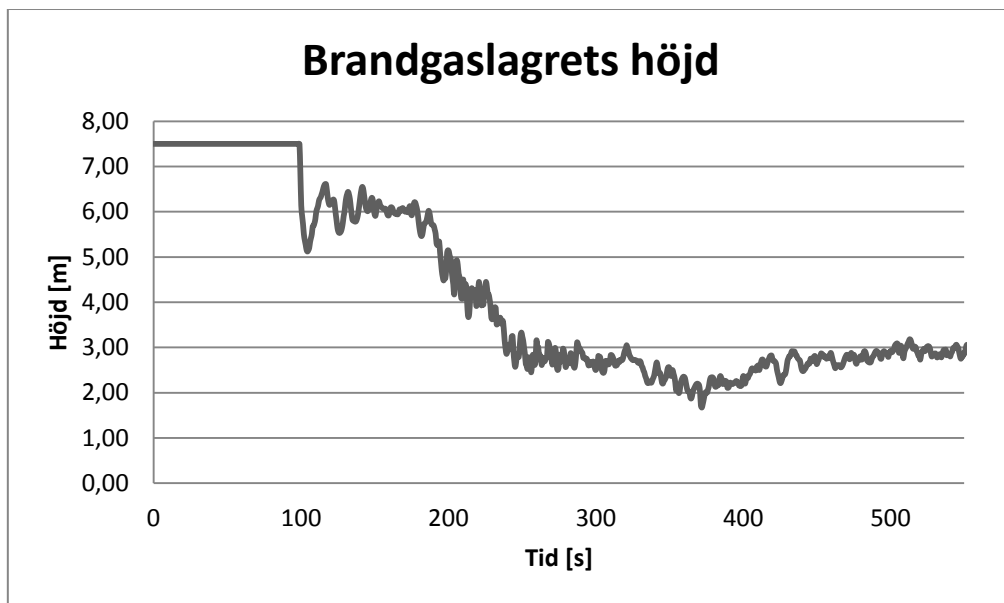
```
&PROP ID='HEAT', QUANTITY='LINK TEMPERATURE', ACTIVATION_TEMPERATURE=20 /
*****
```

G.2.4.1.2 Resultat FDS-simulering

I detta avsnitt presenteras resultaten från FDS-simuleringen av scenariot Brand under mässa och brandgasluckor utan mekanisk fläkt.

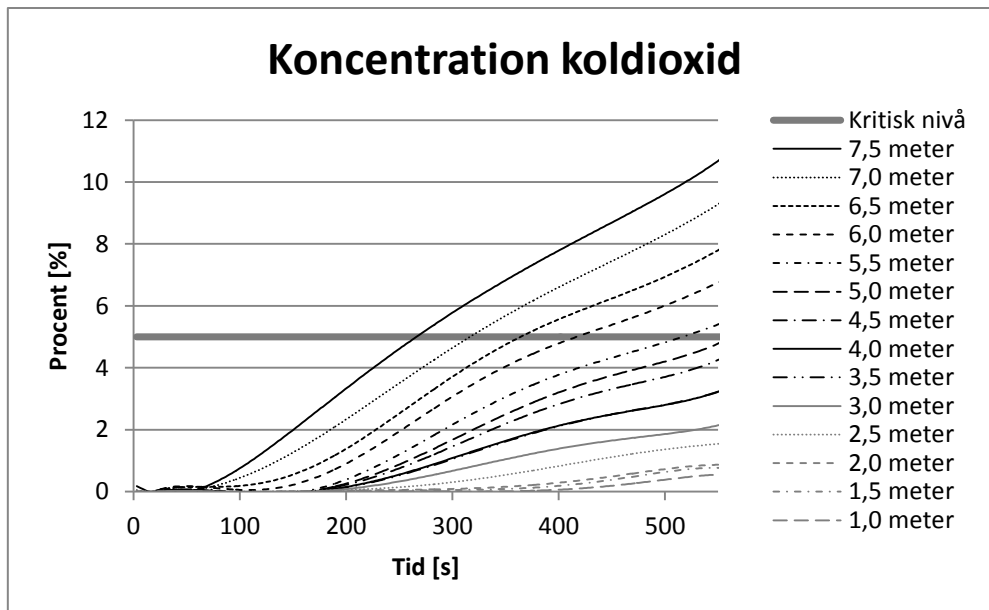
G.2.4.1.2.1 Brandgaslagrets höjd

Den inbyggda funktionen för att mäta brandgaslagrets höjd i FDS används. Höjden mäts i tre punkter i lokalen. Konservativt väljs den punkt som uppvisar lägst värden, i detta fall den av mätpunkterna längst ifrån brandgasluckorna. Resultatet presenteras i Figur 97 nedan.



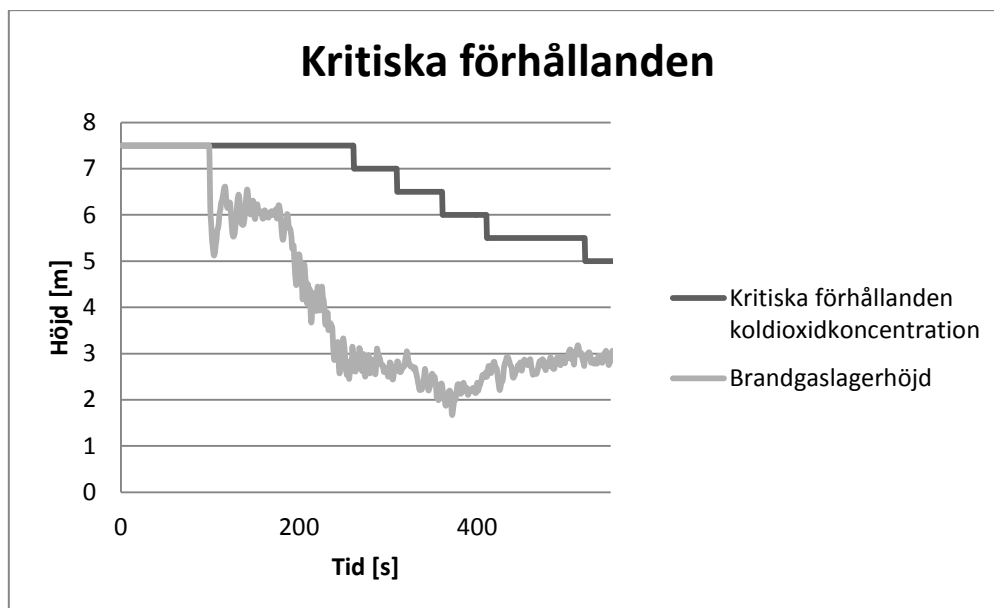
Figur 97. Brandgaslagrets höjd enligt FDS-simulering.

Koncentrationen toxiska gaser mäts på olika höjder i samma punkter som brandgaslagrets höjd mäts. I Figur 98 nedan presenteras koncentrationen koldioxid för de olika höjderna som en funktion av tiden, kurvorna är utjämnade för att ge en mer överskådlig graf då de egentligen fluktuerar väldigt mycket. Koldioxid är den av brandgaserna som först når kritiska nivåer genom hela simuleringen.



Figur 98. Diagrammet visar koncentrationen koldioxid på några olika punkter i lokalen med avseende på tiden.

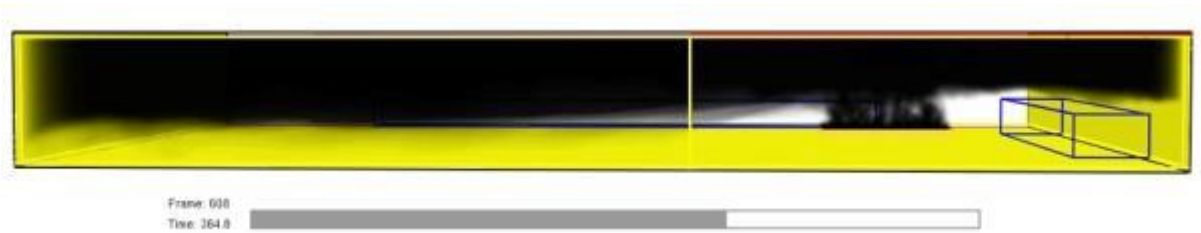
I Figur 99 nedan presenteras vid vilken höjd kritiska förhållanden till följd av koncentrationen koldioxid uppnåtts samt den uppmätta brandgaslagerhöjden som en funktion av tiden.



Figur 99. Diagrammet visar vid vilken höjd det finns kritisk koncentration av koldioxid respektive brandgaslagrets höjd som funktion av tiden.

G.2.4.1.2.2 Brandgasfyllnad

Brandgasfyllnaden hämtas från FDS-simuleringarna med verktyget smokeview. Tendensen är att lokalen ser allt mer rökfylld ut, ju längre tid som simuleras utan att brandgaslagret egentligen sjunker. Därför bör inte allt för stor vikt bör inte läggas vid dessa visualiseringar. Vid tiden 360 s är brandgaslagret som lägst enligt mätverktygen i FDS. Rökgasfyllnaden i denna tidpunkt presenteras i Figur 100 nedan.



Figur 100. Brandgasfyllnad 360 sekunder efter brandstart.

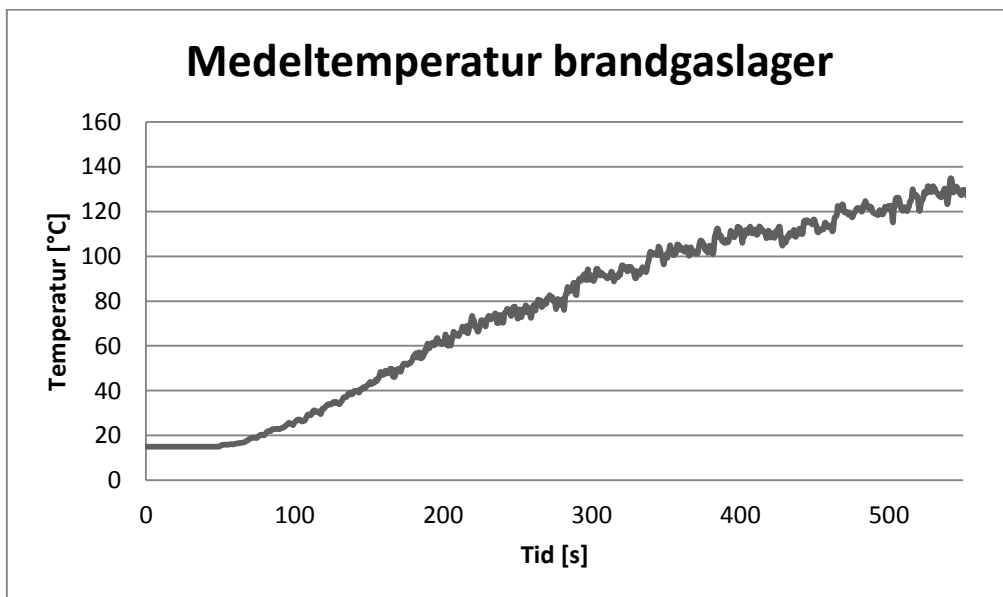
Brandgasfyllnaden efter 520 s då alla förväntats utrymma lokalen presenteras i Figur 101 nedan.



Figur 101. Brandgasfyllnad 520 sekunder efter brandstart.

G.2.4.1.2.3 Temperatur brandgaslager

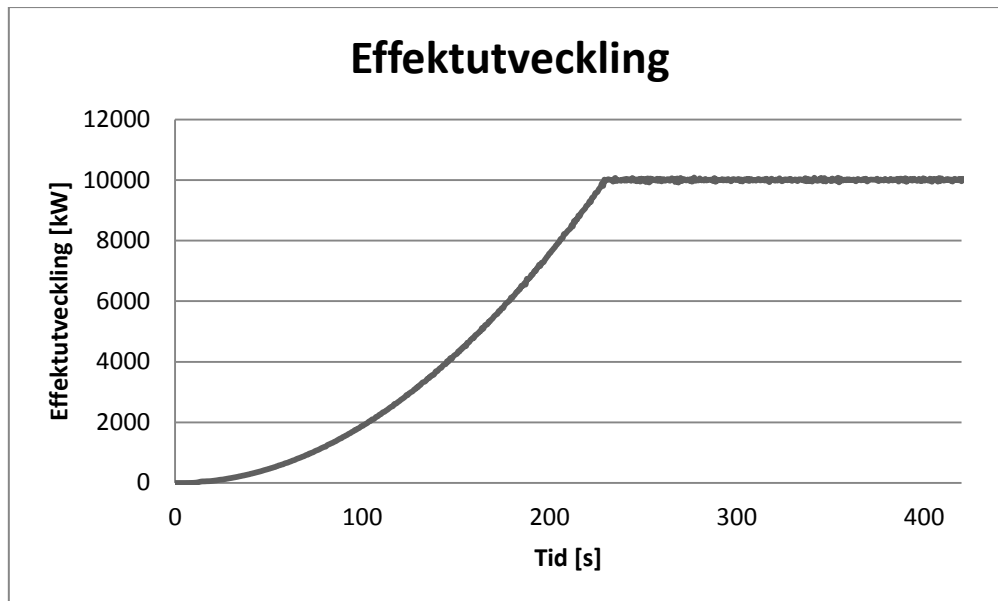
Temperaturen mäts på ett antal punkter i lokalen i Figur 102 nedan presenteras medeltemperaturen för de punkter som anses befinna sig i brandgaslagret som en funktion av tiden.



Figur 102. Temperatur brandgaslager.

G.2.4.1.2.4 Effektutveckling

I Figur 103 nedan presenteras effektutvecklingen som en funktion av tiden.



Figur 103. Effektutveckling som funktion av tiden

G.2.4.1.3 Kontroll av resultat

I detta avsnitt presenteras de kontroller av simuleringen som gjorts.

G.2.4.1.3.1 Kontroll av nodkonvergens

Ej genomförd.

G.2.4.1.3.2 Acceptabla förhållanden under brandgaslagret

Detta anses bevisat med hjälp av Figur 99 i Bilaga G.2.4.1.2.1 Brandgaslagrets höjd som beskriver vilken höjd det är kritiska förhållanden på grund av toxiska gaser.

G.2.4.2 Verifiering av åtgärdsförslag Brandgaslucka och mekanisk tilluft

Samma uppställning som i fallet utan åtgärder används här, fast med tillägget att brandgasluckor och öppnar och en tilluftsfläkt startar vid branddetektion. En temperaturmätare utan termiskt motstånd placeras i den punkt som en rökdetektor maximalt kan befinna sig ifrån branden. Gridgränsen placeras en bit ifrån utsidan av väggarna för att kunna modulera flödet precis utanför brandgasluckorna.

G.2.4.2.1 Indatafil FDS

Samma indatafil som presenteras i Bilaga G.2.1 Indatafil, det vill säga med mässbrand utan åtgärder, används fast med tillägget nedan.

Brandgasventilation *****

&VENT XB=0.0, 69.3, 43.2, 43.2, 0.0, 8.1, SURF_ID='OPEN' /

&VENT XB=0.0, 69.3, 0.0, 43.2, 8.1, 8.1, SURF_ID='OPEN' /

&HOLE XB=62.2,66.8,21.6,24.2,7.8,7.9, DEVC_ID='SMOKE DETECTOR' /

&HOLE XB=0.3,1.2,42.9,43.0,1.2,2.1, DEVC_ID='SMOKE DETECTOR' /

&SURF ID='BFAN', POROUS=.TRUE., VEL=18.0 /

&OBST XB=0.3,1.2,43.0,43.0,1.2,2.1, SURF_ID='BFAN', COLOR='PINK' /

&SLCF PBX=64.5, QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE. /

&SLCF PBX=22.2, QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE. /

&DEVC XB=62.2,66.8,21.6,24.2,7.9,7.9, QUANTITY='VOLUME FLOW', ID='brandgasluckor' /

&DEVC XB=0.3,1.2,43.0,43.0,1.2,2.1, QUANTITY='VOLUME FLOW', ID='tilluft' /

&DEVC ID='SMOKE DETECTOR',PROP_ID='HEAT',XYZ=45,30,7.7 /

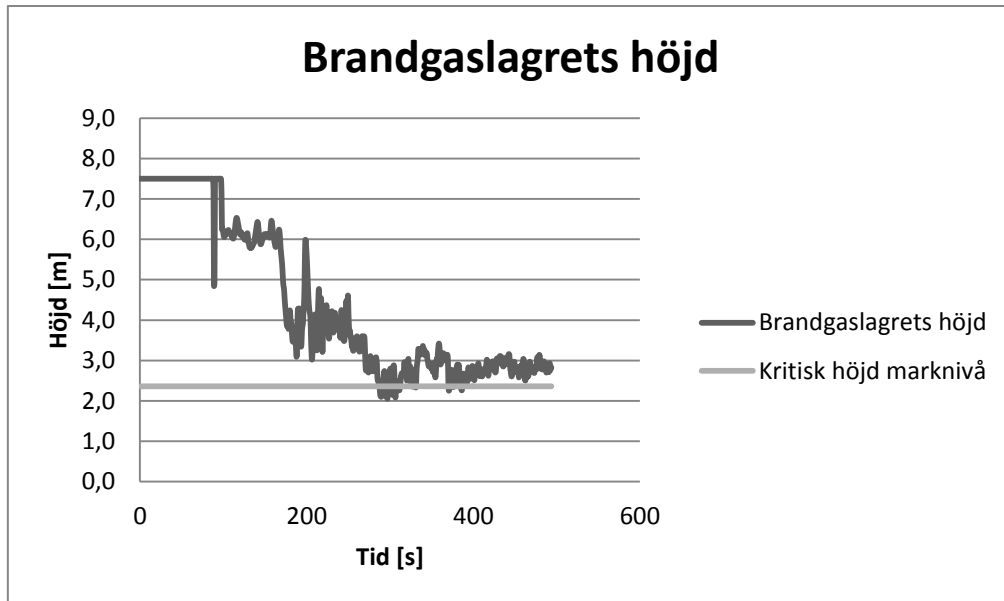
&PROP ID='HEAT', QUANTITY='LINK TEMPERATURE', ACTIVATION_TEMPERATURE=20 /

G.2.4.2.2 Resultat FDS-simulering

I detta avsnitt presenteras resultaten från FDS-simuleringen av scenariot Brand under mässa med brandgasluckor med mekanisk tilluftsfläkt. Simuleringen avbröts olyckligtvis efter 490 s så cirka en halv minut saknas fram till det att alla förutsatts kunnat genomföra en utrymning.

G.2.4.2.2.1 Brandgaslagrets höjd

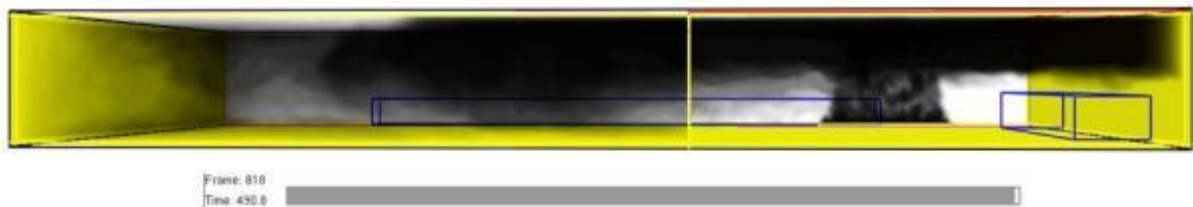
Den inbygga funktionen för att mäta brandgaslagrets höjd i FDS används. Höjden mäts i tre punkter i lokalen. Konservativt väljs den punkt som uppvisar lägst värden, i detta fall den av mätpunkterna längst från brandgasluckorna, vilket presenteras i Figur 104.



Figur 104. Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden.

G.2.4.2.2.2 Brandgasfyllnad

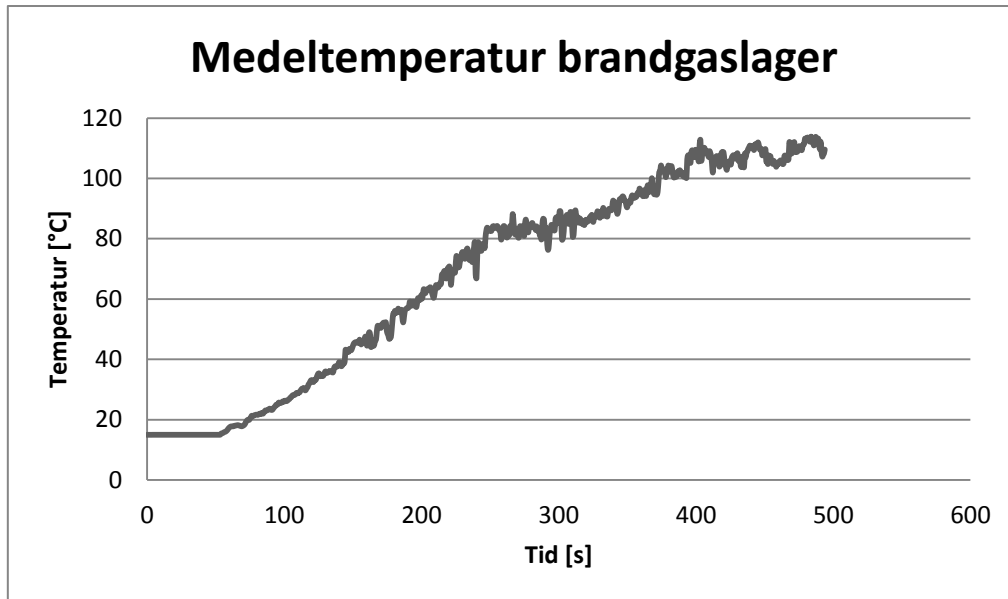
Brandgasfyllnaden hämtas från FDS-simuleringarna med verktyget smokeview. Tendensen är att lokalen ser allt mer rökfylld ut, ju längre tid som simuleras utan att brandgaslagret egentligen sjunker. Därför bör inte allt för stor vikt bör inte läggas vid dessa visualiseringar. Tilluftfläkten som är placerad i bakkant till vänster i Figur 105 nedan åstadkommer en hel del omrörning av brandgaserna men effekten av detta anses se överdrivet dramatiskt ut i smokeview.



Figur 105. Brandgasfyllnad 490 sekunder efter brandstart.

G.2.4.2.2.3 Temperatur brandgaslager

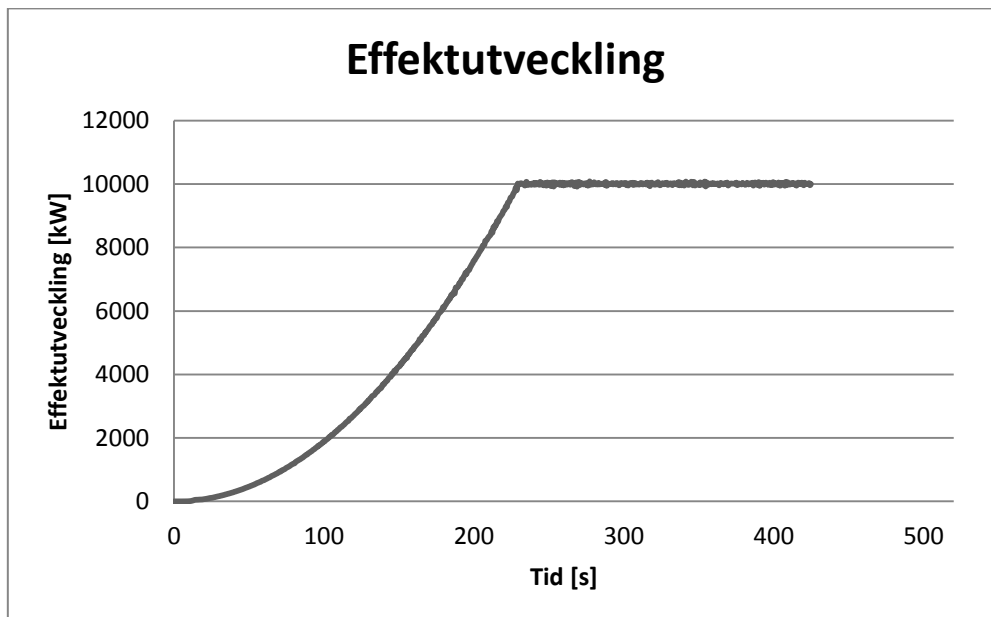
Temperaturen mäts på ett antal punkter i lokalen i Figur 106 nedan presenteras medeltemperaturen för de punkter som anses befinna sig i brandgaslagret som en funktion av tiden, dock är temperaturmätarna vid tilluftfläkten exkluderade då dessa har en mycket låg temperatur och anses ge en skev bild av temperaturen i brandgaslagret.



Figur 106. Temperatur brandgaslager.

G.2.4.2.2.4 Effektutveckling

I Figur 107 nedan presenteras effektutvecklingen som en funktion av tiden.



Figur 107. Effektutveckling som funktion av tiden.

G.2.4.2.3 Kontroll av resultat

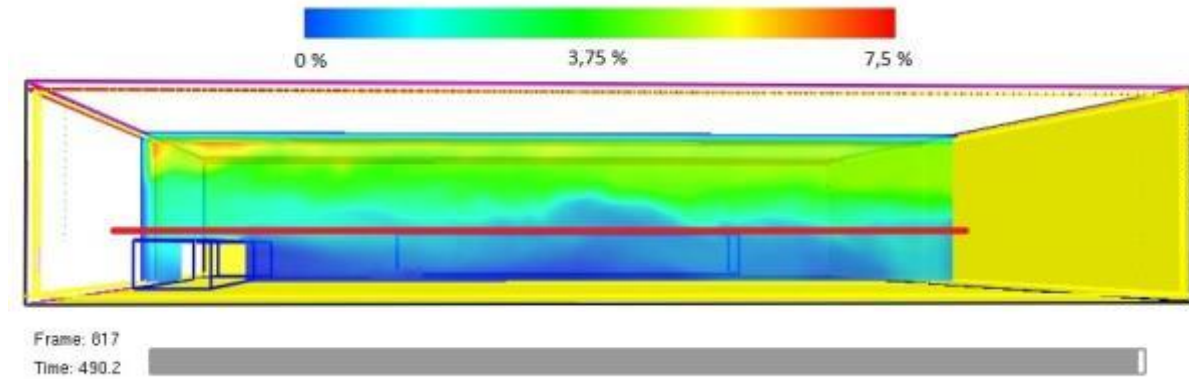
Nedan följer en kontroll av nodkonvergensen och acceptabla förhållanden under brandgaslagret.

G.2.4.2.3.1 Kontroll av nodkonvergens

Ej genomförd.

G.2.4.2.3.2 Acceptabla förhållanden under brandgaslagret

Koncentrationen av toxiska gaser vid den tidpunkt då simuleringen avbröts och brandgaslagret stabiliserat sig på kring tre meters höjd presenteras i Figur 108 nedan, där det röda strecket är den höjd som FDS placerar brandgaslagret.



Figur 108. Koldioxidkoncentration 490 sekunder efter brandstart.

Inga kritiska förhållanden råder under brandgaslagrets höjd.

G.3 Brand under konsert

Inga FDS-simuleringar görs i brandscenariot Brand under konsert. I detta scenario används CFAST för att studera förhållandena i lokalen vid brand, se vidare i Bilaga J.3 Brand under konsert.

Bilaga H Förflyttningstid

I denna bilaga presenteras de tider som beräknats och simulerats gällande förflyttningen i de olika scenarierna.

H.1 Handberäkningar

Ekvation 7 nedan används för beräkningar av tiden det tar att lämna en lokal från det att förflyttning påbörjas till det att alla är ute ur lokalen. Ekvationen tar hänsyn till avstånd och gånghastighet samt köbildning vid dörrar. Förenklingen görs att alla personer i lokalen anses ha samma förflyttningshastighet och att den enda tiden som adderas till transporttiden är köbildningstid vid dörrar. Denna köbildning behandlas som ett enkelt flödesproblem där kötiden är antalet människor i lokalen dividerat på antalet personer som kan passera dörren per tidsenhet.

$$t_{\text{förflyttning}} = \frac{l}{v} + \frac{n}{b \cdot f} \quad (\text{Ekvation 7})$$

Där

$t_{\text{förflyttning}}$	är förflyttningstiden [s]
l	är det längsta gångavståndet till utrymningsväg [m]
v	är gånghastigheten [m/s]
n	är antalet personer som passerar en dörr [-]
b	är dörrens bredd [m]
f	är personflödet genom dörren [p/sm]

(Svensson, 2011)

Tabell 27 till och med Tabell 30 visar de ingående parametrar som använts för att beräkna förflyttningstiden genom handberäkningar. Gångavstånden är uppskattade från Figur 4 och Figur 6, gånghastigheterna är uppskattade enligt hur mycket folk det ska vara vid respektive plats och ifall det har varit trappa i omedelbar närhet av dörr eller inte. Antal personer som passerar dörr är uppskattade enligt respektive scenario, dörrens bredd är uppmätt på plats samt korrigerad till den ytan som faktiskt används samt personflödet varierar beroende på om personen har tidigare erfarenhet av passagen eller inte.

H.1.1 Scenariot Brand i utrymningsväg

I detta avsnitt beskrivs ingående parametrar till de handberäknade förflyttningstiderna för Brand i utrymningsväg, se Tabell 27. Lilla ishallen delas i scenariot upp i två delar. Lämnat läktaren innebär tiden från att evakuering påbörjats till att alla har utrymt läktaren. Lämnat lokalen innebär att sista person har lämnat lokalen. Tiden för att ha lämnat lokalen är den tid som det tar att lämna läktaren adderat med tiden det tar för att lämna lokalen från platsen att ha lämnat läktaren.

Tabell 27. Ingående parametrar och resultat av handberäkningar för förflyttningstid i scenariot Brand i utrymningsväg.

Parameter	Lämnat läktaren	Lämnat lokalen
Längsta gångavstånd [m]	20	30
Gånghastighet [m/s]	0,5	1,2
Totalt antal personer som passerar dörr [st]	140	70
Dörrens bredd [m]	1,0	3,6
Personflödet genom dörren [st/sm]	1,1	0,75
Tid [s]	170	(170+50) = 220

Tabell 28 visar resultatet av känslighetsanalysen som gjorts för tiden det tar att lämna läktaren, eftersom det uppstår kritiska förhållanden där i scenariot Brand i utrymningsväg.

Tabell 28. Ingående parametrar och resultat av handberäkningar för förflyttningstid, känslighetsanalys i scenariot Brand i utrymningsväg.

Parameter	Lämnat läktaren
Längsta gångavstånd [m]	20
Gånghastighet [m/s]	0,5
Totalt antal personer som passerar dörr [st]	100
Dörrens bredd [m]	1,0
Personflödet genom dörren [st/sm]	1,1
Tid [s]	130

H.1.2 Scenariot Brand under mässa

Inga handberäkningar görs för detta scenario i enighet med vad som beskrevs i Avsnitt 6.3 Krävd utrymningstid – RSET.

H.1.3 Scenariot Brand under konsert

I detta avsnitt beskrivs ingående parametrar till de handberäknade förflyttningstiderna för Brand under konsert, se Tabell 29. Stora ishallen delas i scenariot upp i fyra olika etapper som är intressanta ur ett utrymningsperspektiv. Kolumnen Översta läktarplatserna i tabellen nedan representerar den tid det tar för sittande publik att evakuera till trappan, som behandlas här som en dörr. Utgångar vid nivå ett och två representerar den tid det tar för de som tog sig in den vägen att ta sig ut. Golvnivå representerar den tid det tar att ta sig som sittande publik ut ur lokalen. Då publiken på golvnivå antas vara sist ut ur de utrymningsvägar som är gemensamma för nivå ett och golvnivå, tillkommer tiden det tar att ta sig ut ur lokalen något som beräknats genom Passage ut från lokalen.

Tabell 29. Ingående parametrar och resultat av handberäkningar för förflyttningstid i scenariot Brand under konsert.

Parameter	Passage ut från lokalen	Översta läktarplatserna	Utgångar vid nivå två	Utgångar vid nivå ett	Golvnivå
Längsta gångavstånd [m]	30	20	30	50	80
Gånghastighet [m/s]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Totalt antal personer som passerar dörr [st]	100	250	400	800	1100
Dörrens bredd [m]	1	0,7	1,7	1,2	1,5
Personflödet genom dörren [st/sm]	1,1	0,75	0,75	0,75	0,75
Tid [s]	130	520	540	1345	(1270+130)=1400

Tabell 30 visar handberäkningen som görs för känslighetsanalysen. Eftersom kritiska förhållanden endast uppnås vid de översta läktarplatserna är det bara de som behandlas av känslighetsanalysen.

Tabell 30. Ingående parametrar och resultat av handberäkningar för förflyttningstid, känslighetsanalys i scenariot Brand under konsert.

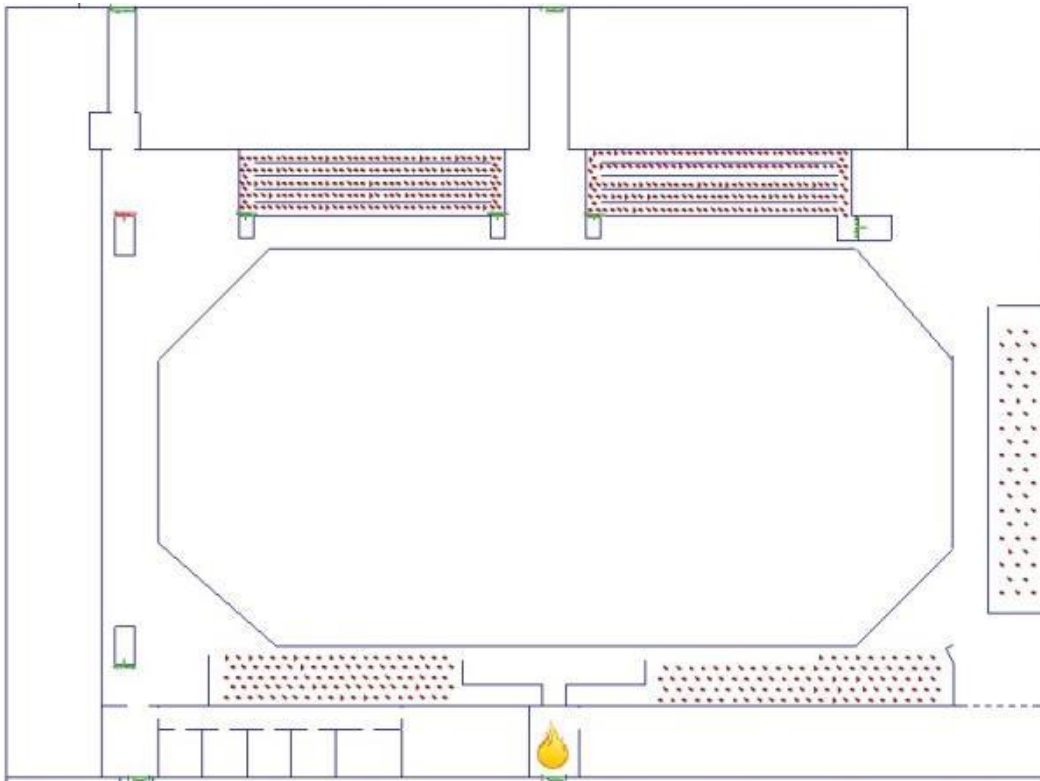
Parameter	Översta läktarplatserna
Längsta gångavstånd [m]	20
Gånghastighet [m/s]	0,5
Totalt antal personer som passerar dörr [st]	190
Dörrens bredd [m]	0,7
Personflödet genom dörren [st/sm]	0,75
Tid [s]	470

H.2 Simulex

I samtliga scenarion har förflyttningstiden simulerats med hjälp av programmet Simulex. I de följande avsnitten beskrivs simuleringarna närmre.

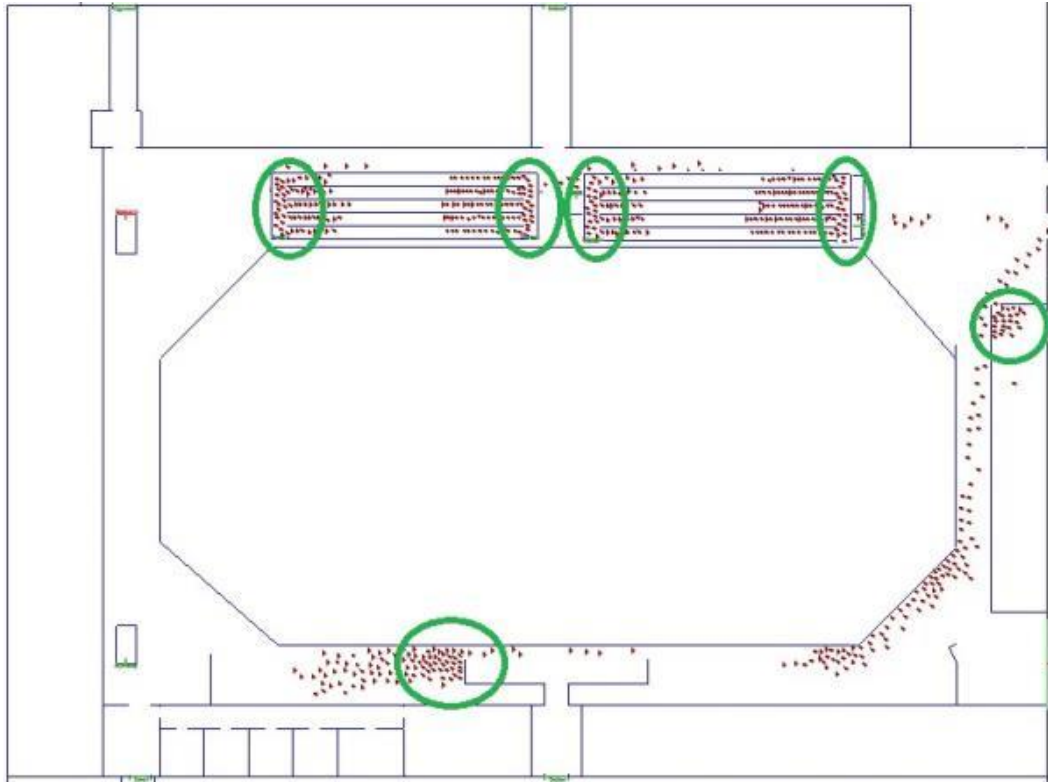
H.2.1 Scenario Brand i utrymningsväg

I simuleringarna i Simulex har personerna placerats ut på de läktare som finns i ishallen. De läktarna med sittplatser har antagits vara fyllda, 200 personer per läktare, medan de med ståplats haft en mindre fyllningsgrad. Totalt sett är där 700 personer i ishallen. Branden är placerad i en av utrymningsvägarna, som för tillfället är tagen ur drift. Även utrymningsvägen i det sydöstra hörnet är borttagen i enighet med observationerna under platsbesöket. Då personerna som vistas där bedöms vara ovana besökare så kommer det simuleras att alla går till huvudingången. När simuleringen påbörjas ser uppställningen ut som Figur 109 visar.



Figur 109. Bild som visar utseendet då simuleringen för Brand i utrymningsväg påbörjas. Nere i Figuren syns den simulerade brandplatsen.

Köer uppstår på lite olika platser i samband med utrymningen, Figur 110 visar var.

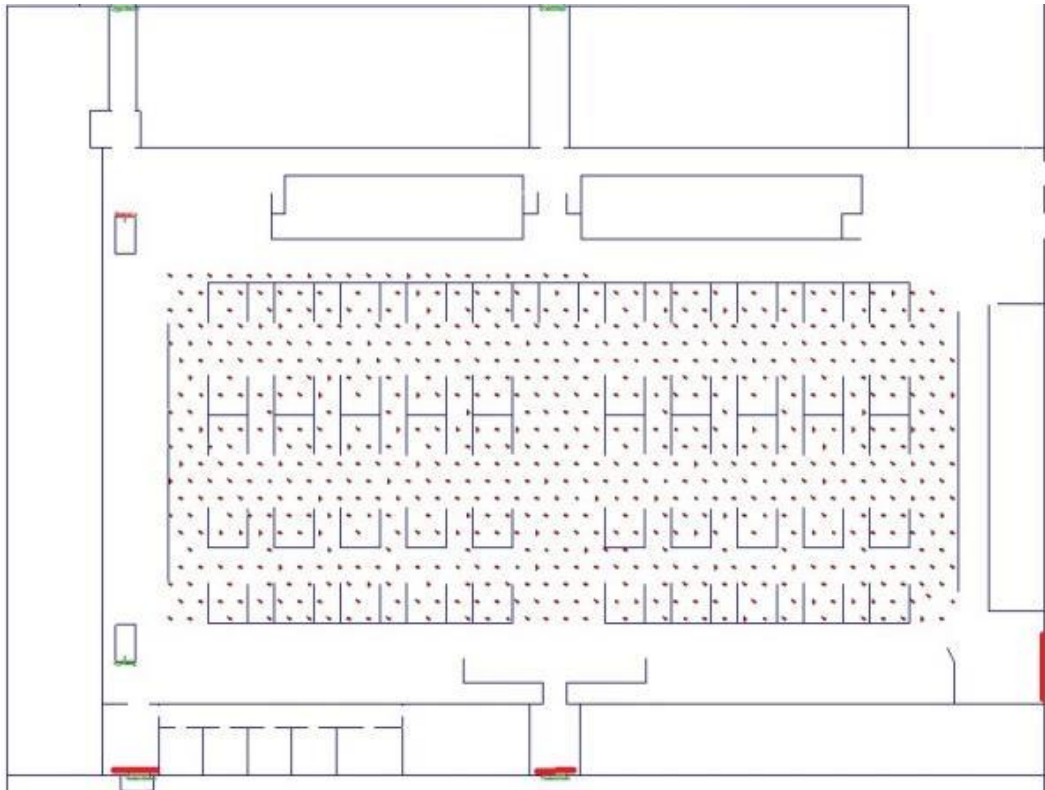


Figur 110. Bild som visar var köer uppstår under utrymningen.

Då kritiska förhållanden uppstår innan förflyttningen påbörjas så måste åtgärder göras för att förkorta tiden fram till dess att folk börjar gå, eller förlänga tiden till kritiska förhållanden. Dock behöver även åtgärder göras för att förhindra att människorna blir kvar för länge på läktarna, då det är där som kritiska förhållanden kommer att uppstå först.

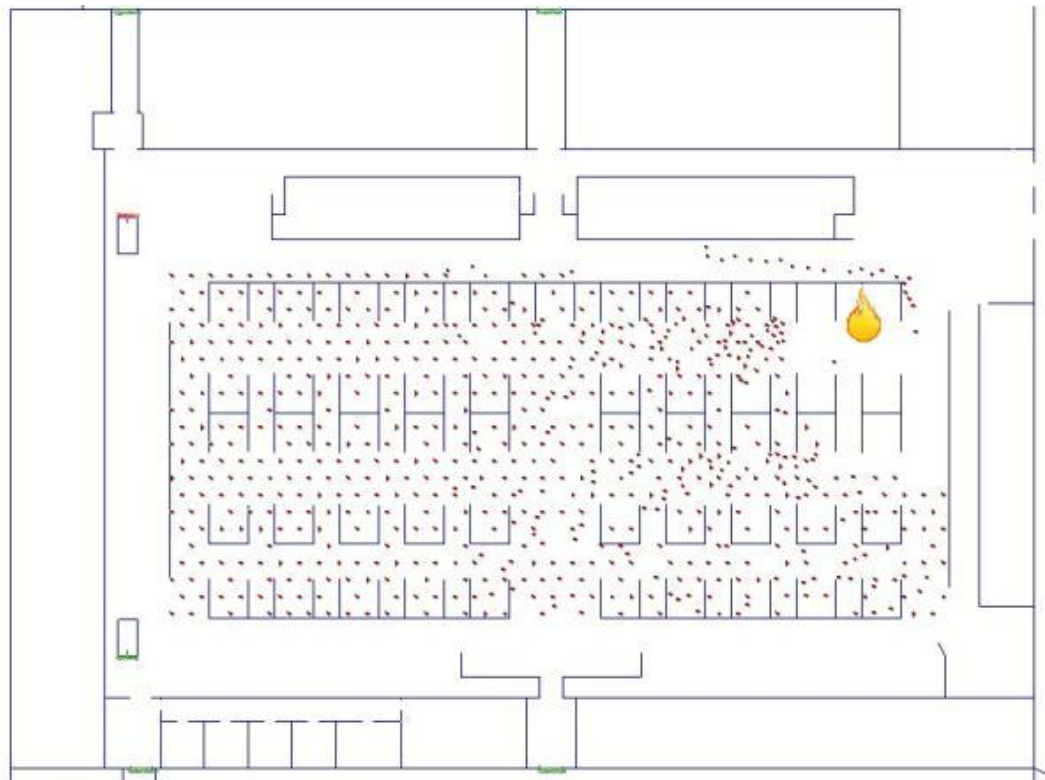
H.2.2 Scenario Brand under mässa

Det råder viss osäkerhet över lokalens layout under mässor. Informationen är hämtat från de fåtal bilder som det funnits tillgång till samt från bilder från andra mässor. I Figur 111 nedan visas placeringen av personer då förflyttningen anses påbörjas. Personernas placering som sådan är givetvis inte realistisk men detta anses ha liten påverkan på slutresultatet. Antalet personer i simuleringen är 750 stycken, vilket kan jämföras med de 2 000 som är maximala besökarantalet på mässor i Lilla ishallen (KB Rosvalla, 2013). Dock kan det ifrågasättas om alla de 2000 personerna är tänkta att vistas där samtidigt. Det råder osäkerhet vilka utrymningsvägar som används vid mässor då ett antal av dem var avstängda under platsbesöket. I det dimensionerande utrymningsscenarioet är branden placerad så att den normala utgången ej kan användas samt där de rödmarkerade utgångarna är avstängda. Osäkerheten i vilka dörrar som är öppna och antalet personer i lokalen fångas i känslighetsanalysen i Avsnitt 6.6 Känslighetsanalys.



Figur 111. Bild som visar utseendet då simuleringen för Brand under mässa påbörjas. De röda markeringarna anger avstängda utgångar och de gröna utrymningsvägarna (Illustration: Jack Rohrstock, 2013).

I Figur 112 till och med Figur 114 visas personernas placering vid specifika tider under utrymningen. I Figur 112 nedan visas förhållandena 20 sekunder efter påbörjat förflyttning.



Figur 112. Situationen i Lilla ishallen 20 sekunder efter att branden startade i scenariot Brand under mässa.

Efter drygt 80 sekunder börjar köbildning uppstå dels vid första utrymningsvägen samt bland montrarna, se Figur 113.



Figur 113. Situationen i Lilla ishallen 80 sekunder efter att branden startade i scenariot Brand under mässa. Vid den här tidpunkten uppstår köbildning vid den första utrymningsvägen och bland montrarna.

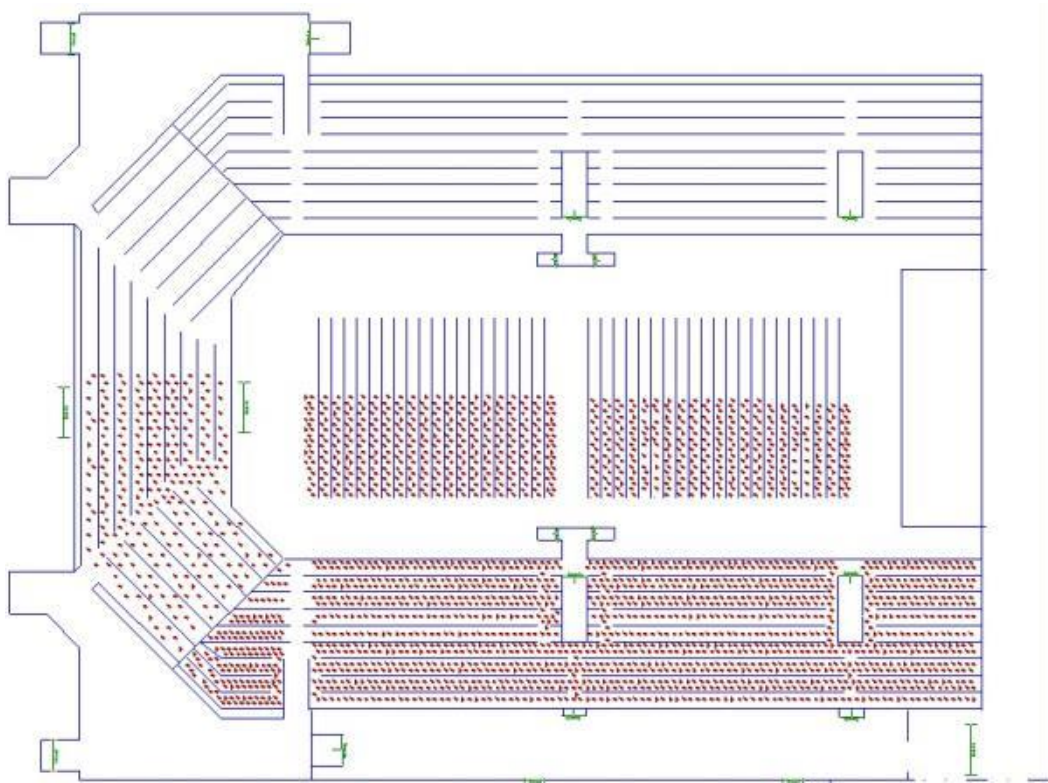
Då kritiska förhållanden sägs råda i lokalen ser personernas placering i lokalen ut som i Figur 114 nedan.



Figur 114. Situationen i Lilla ishallen då kritiska förhållanden skulle kunna uppstå för scenariot Brand under mässa. Till höger syns brandens placering vid den normala ingången till Lilla ishallen.

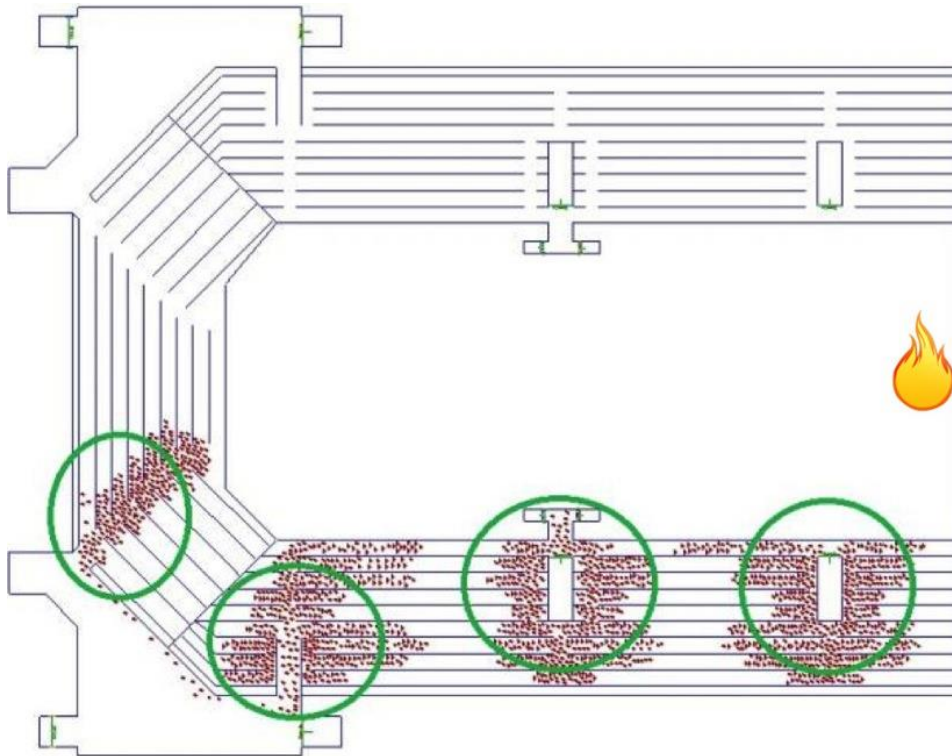
H.2.3 Scenario Brand under konsert

I de utförda simuleringarna av förflyttningstiden i Simulex har det antagits att det är så gott som fullsatt i den Stora ishallen. Det innebär att 2 000 personer befinner sig på golvet framför scenen och 3500 personer på läktarna runt omkring. För att undvika buggar i datorprogrammet, och även skynda på simuleringarna, så har hälften av personerna tagits bort med resonemanget att utrymningen uppåt i bilden kommer att ske på samma sätt som neråt, fast spegelvänt. Figur 115 visar uppställningen innan simuleringen påbörjas.



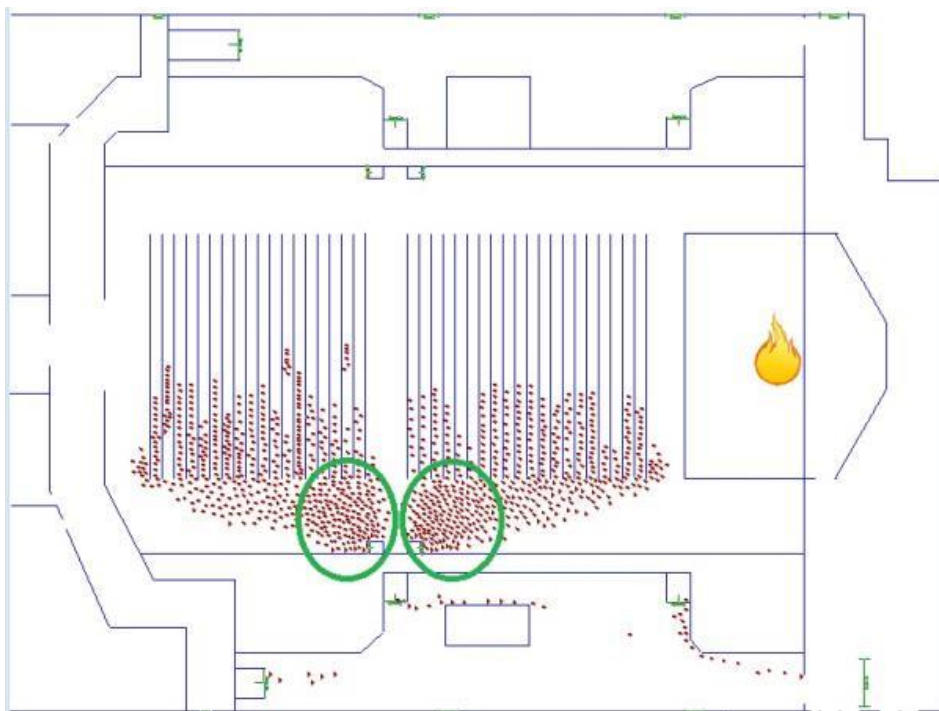
Figur 115. Simuleringens uppställning innan utrymningen startar. För att minska antalet fel halveras antalet personer i lokalen. Eftersom lokalen är spegelvänd förväntas den simulerade sidan vara representativ för den andra.

Om fokus läggs på läktarna så syns det att redan efter 20 sekunder efter att förflyttningen påbörjats så uppstår köbildningar kring läktargångarna som leder ut från lokalen., vilket visas i Figur 116.



Figur 116. Situationen i Stora ishallens övre läktare vid scenariot Brand under konsert efter 20 sekunder. Längs med läktargångarna som leder ut ur lokalen ses köbildningar.

Motsvarande bild, vid samma tid, för golvnivå visar på att även där uppstår problem kring att ta sig ut från lokalen, se Figur 117.



Figur 117. Situationen i Stora ishallen på golvnivå vid scenariot Brand under konsert efter 20 sekunder. Vid utgångarna ses köbildningar.

Då kritiska förhållanden för personerna vid de översta läktarnivåerna sägs uppstå har förflyttningen fortskridit som Figur 118 visar.

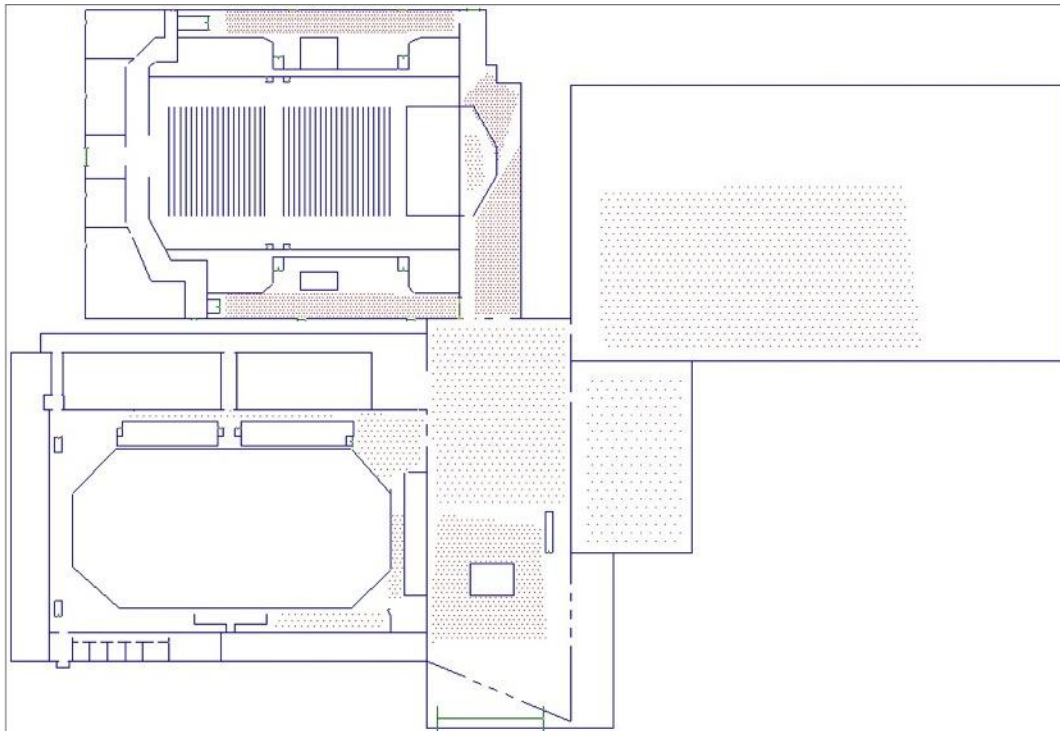


Figur 118. Situationen i Stora ishallens övre läktare vid scenariot Brand under konsert. Känslig plats ur utrymningssynpunkt är markerad.

Dessutom visas i figuren en känslig plats ur utrymningssynpunkt, vilket markerats med en grön ring. Problematik uppstår där eftersom folket som kommer nerifrån golvet ska slussas in till samma gång som de som suttit på läktaren. Kraftig köbildning uppstår således där vilket medför att folket som sitter högst upp inte kommer ner och därmed utsätts de för kritiska förhållanden.

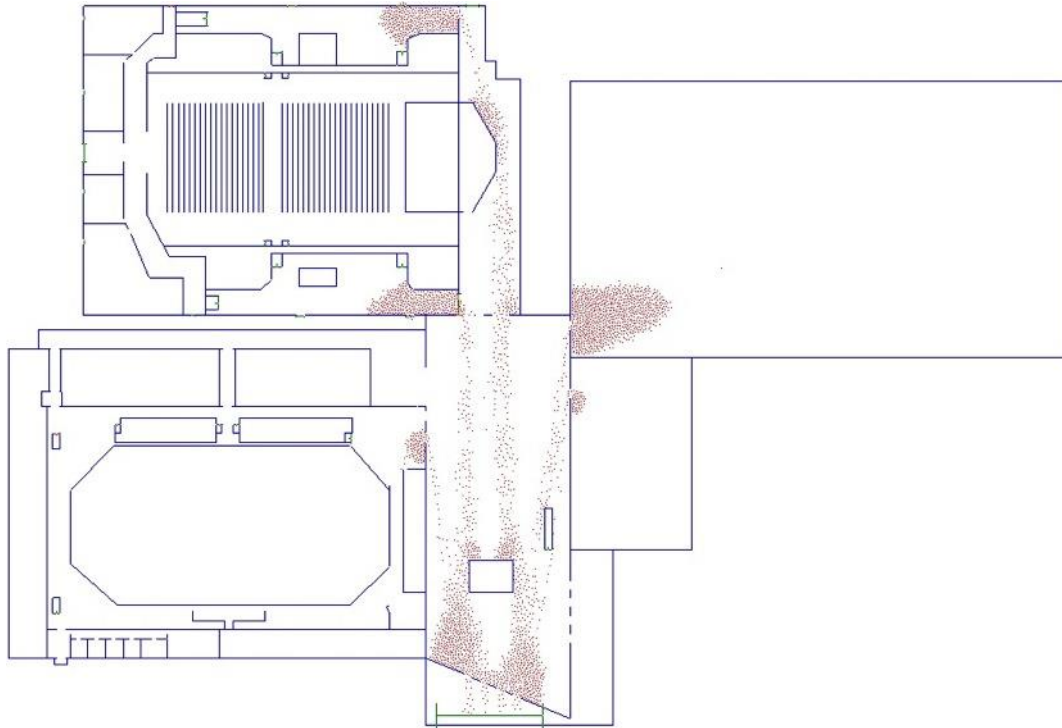
H.3 Stresstest

I samtliga simuleringar har det antagits att flödet ut från respektive lokal inte påverkas av personer som utrymmer från angränsande lokaler. För att styrka antagandet genomförs ett stresstest där ett stort antal människor från varje lokal utrymde via entréhallen. Figur 119 visar hur uppställningen såg ut innan simuleringen påbörjades.



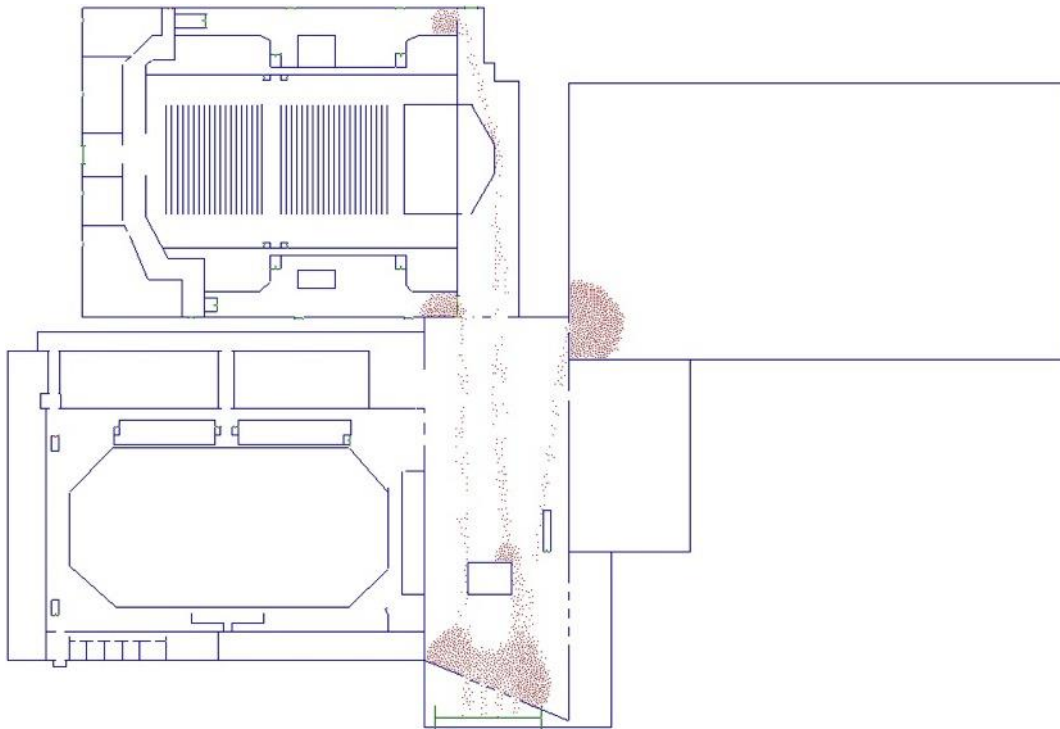
Figur 119. Visar uppställningen i simulex innan stresstestet startades.

Figur 120 visar att flödet ut från lokalerna inte hindras av övriga besökare. Bilden är tagen efter 120 sekunders förflyttningstid. Den utrymningsväg som besökarna går till i simuleringen har betraktas som avstängd efter platsbesöket, men då den ligger mer fördelaktigt ur simuleringstekniskt perspektiv så har det antagits att det är utrymningsvägen till höger i entréhallen som är avstängd. Dessa två är mer eller mindre identiska vilket medför att det anses vara okej. Där finns även en utrymningsväg högst upp till vänster i entréhallen, men denna används inte som huvudingång och således har det antagits att ingen kommer att använda den vid utrymning. Simuleringen visar därför hur en utrymningssituation i entréhallen kan påverkas av att utrymningsvägar inte används på ett korrekt sett.



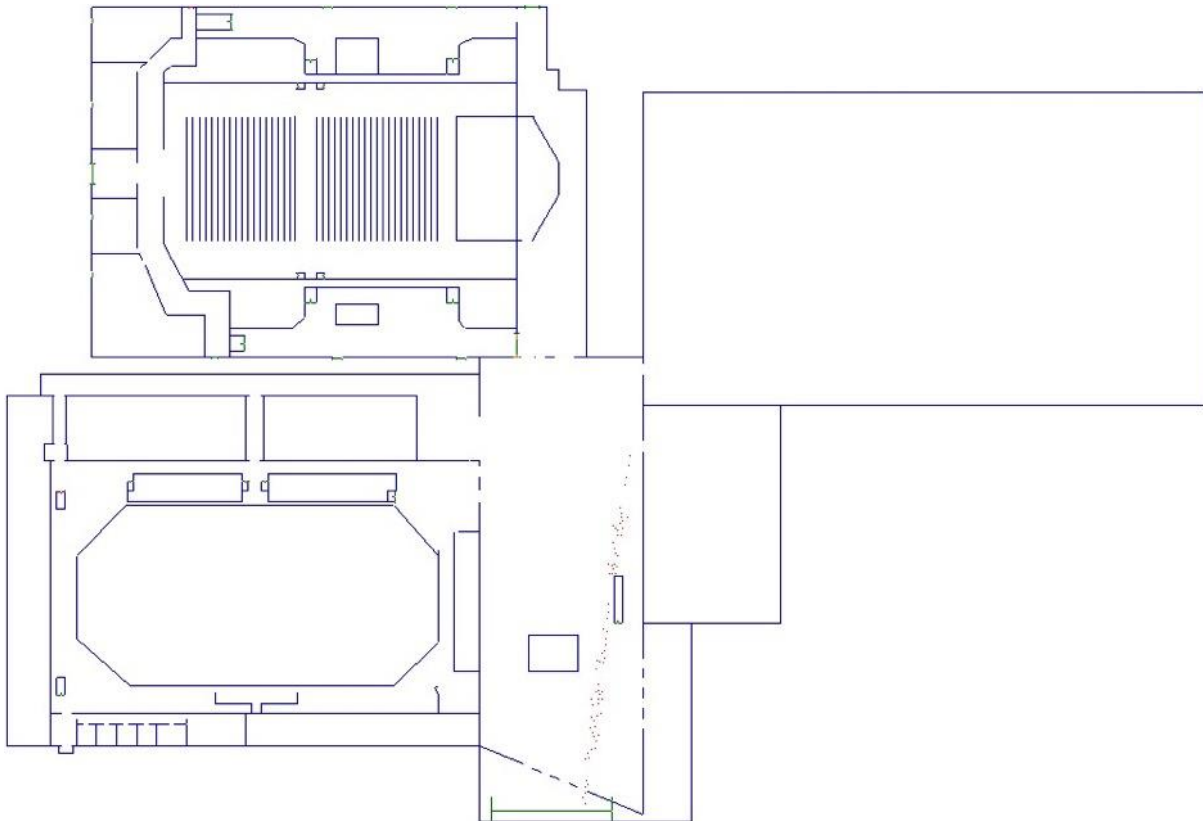
Figur 120. Visar förhållandena 120 sekunder efter att stresstestet startades.

Köbildning uppstår innanför dörrarna i varje lokal, vilket diskuteras närmre under respektive scenario. Köbildningen som uppstår i entréhallen bedöms bero på bristande val av utrymningsvägar. Då undersökta brandscenarier är placerade i andra lokaler än entréhallen så kommer folk som befinner sig där att vara säkra, men det betyder inte att folk känner sig lugna. Figur 121 visar förhållandena efter 300 sekunder.



Figur 121. Visar förhållandena 300 sekunder efter att stresstestet startades.

Hela utrymningen tar ungefär 900 sekunder, men den yttersta begränsningen bedöms inte ligga i entréhallen, utan snarare i respektive hall. Figur 122 visar hur det såg ut i slutskedet av simuleringen. Tydligt är att det i en utrymningssituation är önskvärt att personerna delar upp sig på de tillgängliga utrymningsvägarna istället för att alla går till en och samma.



Figur 122. Visar förhållandena 900 sekunder efter att stresstestet startades.

I stresstestet fanns 1000 personer i stora ishallen, 800 i länken, 250 i lilla ishallen, 1000 personer i multisportshallen, 200 personer i bowlinghallen och 1000 personer i entréhallen. Det innebär att för några hallar har konservativa värden valts, medan i andra hallar mindre konservativa. Resultatet är att det förutsatts att en del besökare valt alternativa utrymningsvägar vilket kan anses troligt. Maxkapaciteten på Rosvalla är 12 000 personer, dock kan det inte anses troligt att alla hallar används med full kapacitet samtidigt. Det simulerade antalet besökare, 4250 som är en tredjedel av maximala, anses därför representativt.

Bilaga I Beräkning av brandgasluckor

I detta avsnitt presenteras beräkningarna för de olika kategorierna brandgasluckor som föreslås som åtgärder i Lilla ishallen.

I.1 Beräkning av öppningsarea under brandgaslager

För att beräkna minsta krävda öppningsarea på öppningar under brandgaslagret så används Ekvation 8 nedan. Ekvationen är egentligen uppdelad i ett antal steg där först brandgasernas temperatur och sedan densitet beräknas. Densitetsskillnaden mellan brandgaserna och den omgivande luften är det som driver gaserna uppåt och ut genom brandgasluckorna. Krävd öppningsarea beror förutom på densitetsskillnaderna även på vilken höjd brandgaslagret accepteras att stabilisera sig samt hur strömningsförhållandena ser ut vid öppningarna.

$$A_D = \frac{\dot{m}}{C_d \cdot \sqrt{\left(g(\rho_a - \rho_g)(H_E - z) - \frac{(\dot{m})^2}{2\rho_g C_d^2 A_E^2} \right) (2\rho_a)}} \quad (\text{Ekvation 8})$$

Där

A_D	är krävd area på öppningarna under brandgaslagret [m^2]
A_E	är arean på brandgasluckorna [m^2]
\dot{m}	är massflödet brandgaser som branden ger upphov till, beräknas med ekvation 9 [kg/s]
C_d	är en flödeskoefficient [-]
ρ_g	är brandgasernas densitet, beräknas med ekvation 10 [kg/m^3]
ΔP_l	är tryckdifferensen genom öppningen under brandgaslagret [Pa]
ρ_a	är den omgivande luftens densitet, beräknas med ekvation 10 [kg/m^3]
g	är tyngdaccelerationen [m/s^2]
H_E	är lokalens höjd [m]
z	är tillåten brandgashöjd

Ekvation 9 nedan beräknar massflödet brandgaser som branden ger upphov till.

$$\dot{m} = 0,21 \left(\frac{\rho_a^2 \cdot g}{c_p T_a} \right) \dot{Q}^{\frac{1}{3}} \cdot z^{\frac{5}{3}} \quad (\text{Ekvation 9})$$

Där

ρ_a	är massflödet brandgaser som branden ger upphov till [kg/s]
g	är tyngdaccelerationen [m/s^2]
c_p	är luftens specifika värmekapacitet [kJ/kgK]
T_a	är den omgivande luftens temperatur [K]
\dot{Q}	är brandens effektutveckling [kW]
z	är höjden till brandgaslagret [m]

Ekvation 10 nedan beräknar densiteten ρ för luft beroende på vilken temperatur den har.

$$\rho = \frac{353}{T} \quad (\text{Ekvation 10})$$

Där

ρ är densiteten [kg/m^3]
 T är temperaturen [K]

Ekvation 11 nedan beräknar brandgasernas temperatur.

$$T_g = T_a + \frac{\dot{Q}}{c_p \dot{m} + h A_w} \quad (\text{Ekvation 11})$$

Där

T_g är brandgasernas temperatur [K]
 T_a är omgivningens temperatur [K]
 \dot{Q} är brandens effektutveckling [kW]
 c_p är omgivningens specifika värmekapacitet [kJ/kgK]
 h är den konvektiva värmeövergångskoefficienten [$\text{W/m}^2\text{K}$]
 A_w är arean för de väggar och tak som står i kontakt med brandgaslagret [m^2]

Med ingångsvärden för den dimensionerande branden och lokalens geometri beräknas den krävda öppningsarean för öppningar under brandgaslagret till $3,1 \text{ m}^2$. Observera att den krävda arean är omvänt proportionell mot brandens effektutveckling. Detta eftersom att en större brand genererar ett varmare brandgaslager med större stigningskraft och ett mindre behov av tryckskillnader för att ventileras ut. En brand med effektutvecklingen 5000 kW det vill säga hälften så stor som den dimensionerande branden kommer med den dörrarean att stabilisera brandgaslagret på höjden 2,8 meter vilket också är acceptabelt.

1.2 Beräkning av mekanisk tilluft

En mekanisk tilluftsfläkt trycksätter lokalen för att på så driva ut brandgaserna genom brandgasluckorna. Fläkten kan antingen monteras till befintligt ventilationssystem om detta klarar av denna belastning, något som inte undersöks närmare i denna rapport, eller i väggen för att blåsa in utomhusluft direkt. Fläktens krävda kapacitet måste vara så stor att den kan trycksätta lokalen tillräckligt för att tvinga ut brandgaserna genom brandgasluckorna även ifall ett antal utrymningsvägar är öppnade som tryckavlastar lokalen. Den krävda kapaciteten beräknas med Ekvation 12 nedan, variabler som inte förklaras är desamma som i Bilaga I.1 Beräkning av öppningsarea under brandgaslager ovan.

$$\dot{V}_{fläkt} = \frac{(\dot{m} + \sqrt{\Delta P_l \cdot 2 \cdot \rho_a \cdot (C_d \cdot A_D)})}{\rho_a} \quad (\text{Ekvation 12})$$

Där

$\dot{V}_{fläkt}$ är den fläktens krävda kapacitet [m^3/s]
 ΔP_l är tryckdifferensen över de öppna dörrarna, beräknas med ekvation 13 [Pa]

Ekvation 13 nedan beräknar tryckdifferensen över de öppningarna under brandgaslagret, variabler som inte förklaras är desamma som tidigare.

$$\Delta P_l = \frac{\dot{m}^2}{(C_d A_E)^2 \cdot 2 \cdot \rho_g} - (\rho_a - \rho_g) \cdot 9,81 \cdot (H_E - z) \quad (\text{Ekvation 13})$$

Med ingångsvärden för den dimensionerande branden och lokalens geometri och antalet utrymningsvägar som kan förväntas vara öppnade beräknas den krävda flätkapaciteten till drygt 70000 m³/h. Detta stabiliserar brandgaslagret på en höjd kring 3,5 meter. En brand med 50 % större effektutveckling sänker endast brandgaslagret med omkring 0,3 meter.

Bilaga J CFAST

I detta avsnitt redovisas CFAST-simuleringarna i detalj för de scenarion där de använts.

J.1 Brand i utrymningsväg

Inga simuleringar för detta scenario görs i CFAST. Se Bilaga D.1 för data.

J.2 Brand under mässa

Inga simuleringar för detta scenario görs i CFAST. Se Bilaga D.2 för data.

J.3 Brand under konsert

Geometrin av lokalen förenklas till att bestå av två rätblock, ett för själva hallen och ett för utrymmet ovanför VIP-läktarna där en del ventilation finns, Figur 123 visar geometrin.



Figur 123. Visar geometrin sådan som den approximerades till i CFAST.

Storleken på kuben har anpassats så att den ska ha lika stor volym som den riktiga ishallen, som i verkligheten har ett välvt tak.

Branden som sätts in i lokalen antas vara placerad 2 meter upp, då den i scenariot står på en scen. Den delas in i två delar, en början på branden med lite långsammare tillväxt och en slutet på branden med snabbare tillväxt där effektutvecklingen sedan ligger konstant på maxvärdet 4 MW, allt i enighet på framtagen effektutvecklingskurva. Taket definieras som stål medan väggar och golv sägs vara betong.

J.3.1 Indata

VERSN,6,CFAST Simulation

!!

!!Environmental Keywords

!!

TIMES,4000,-50,0,10,10

EAMB,293.15,101300,0

TAMB,293.15,101300,0,50

CJET,WALLS

CHEMI,10,393.15

WIND,0,10,0.16

!!

!!Compartment keywords

!!

COMPA,Stora ishallen,68.5,61,16.5,0,0,0,STAIN304,CONCRETE,CONCRETE

COMPA,Kontorsdel,21,61,9,68.5,0,7.5, STAIN304,CONCRETE,CONCRETE

!!

!!vent keywords

!!

HVENT,1,2,1,61,16.5,7.5,1,0,0,2,1

!!

!!fire keywords

!!

OBJECT,Slutet på branden,1,58,30.5,2,1,1,700,0,0,1

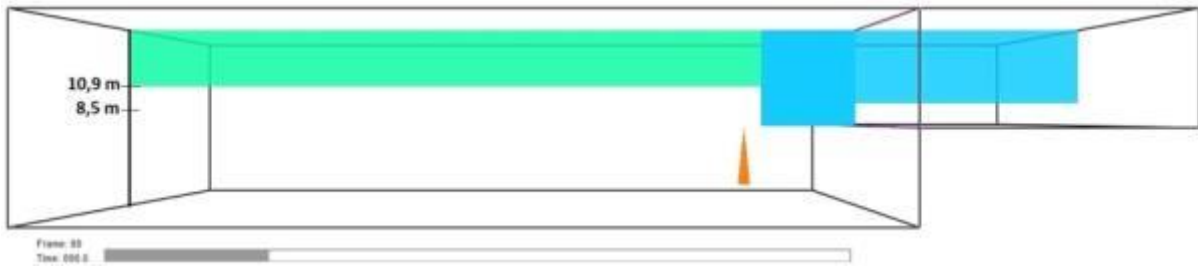
OBJECT,Början på branden 2,1,58,30.5,2,1,1,0,0,0,1

J.3.2 Resultat CFAST-simulering

I detta avsnitt presenteras resultaten från CFAST-simuleringen av scenariot Brand under konsert.

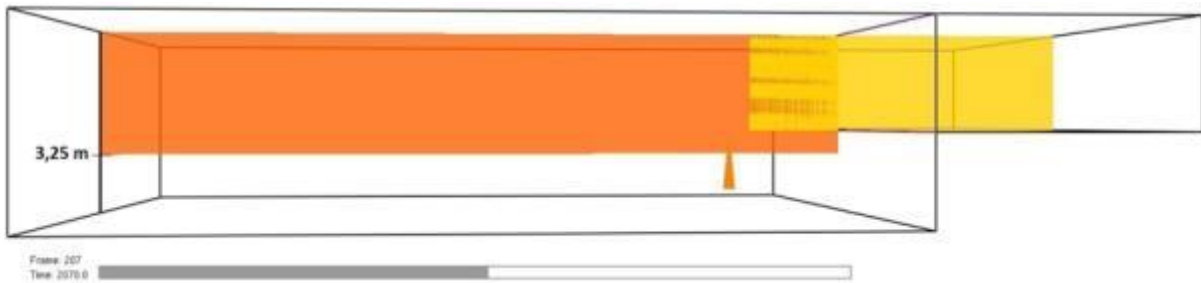
J.3.2.1 Brandgasfyllnad

Figur 124 visar hur lågt brandgaslagret har sjunkit då kritiska förhållanden bedöms uppstå för personerna på de översta läktarplatserna. Golvet för de översta läktarplatserna är beläget 2,4 m under brandgaslagret, det vill säga på 8,5 meters höjd i simuleringen, då kritiska förhållanden bedöms uppstå för de som vistas där.



Figur 124. Visar höjden på brandgaslagret då kritiska förhållanden uppstår för folk på översta läktarraderna.

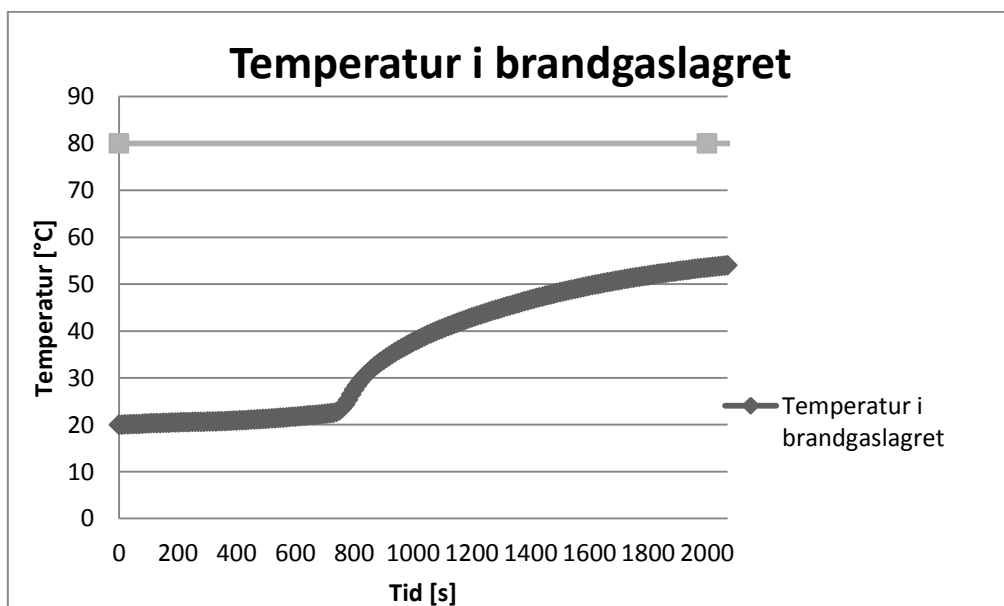
Då sista person lämnar lokalen i scenariot Brand under konsert har brandgaslagret nått nivån som ses i Figur 125, det vill säga 3,25 meter över marken.



Figur 125. Visar höjden på brandgaslagret då sista personen lämnar lokalen.

J.3.2.2 Temperatur i brandgaslagret

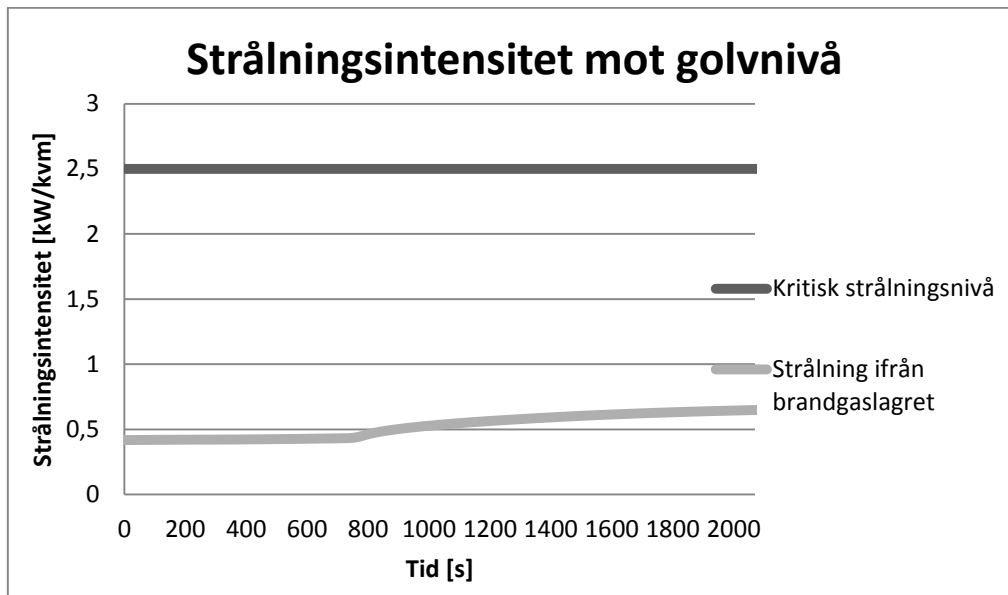
Figur 126 åskådliggör hur temperaturen i brandgaslagret varierar med tiden. Även nivån för den kritiska temperaturen är inlagd i denna Figur.



Figur 126. Temperaturen i brandgaslagret som funktion av tiden från att branden startade.

J.3.2.2.1 Strålning mot golvet från brandgaslagret

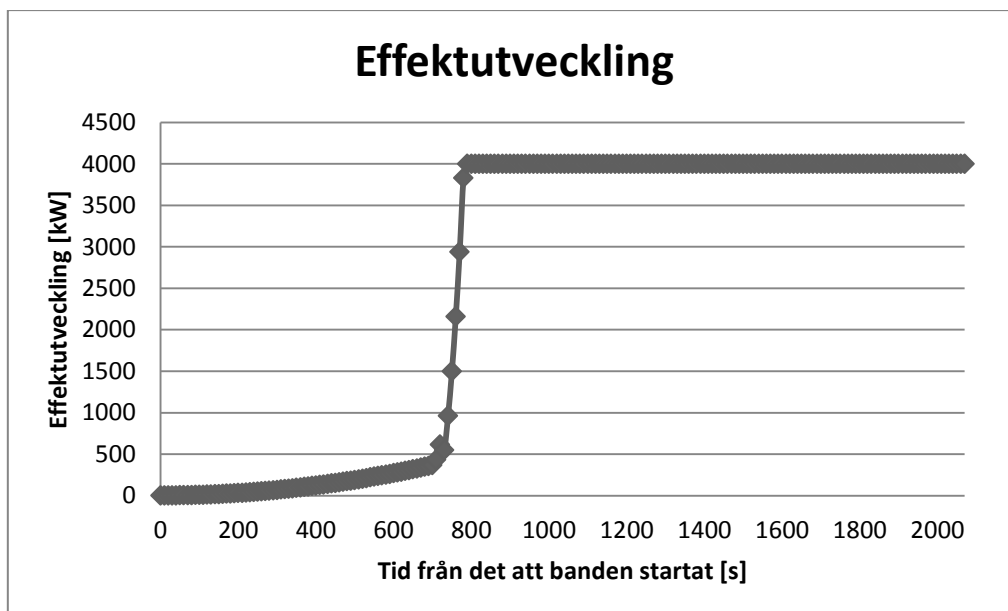
Figur 127 visar strålningen mot golvet varierar över tiden, även den kritiska strålningsnivån är utritad.



Figur 127. Strålningsintensiteten mot golvet som en funktion av tiden från att branden startade.

J.3.2.3 Effektutvecklingskurva

Effektutvecklingskurvan som resulteras av de insatta värdena visas i Figur 128 nedan.



Figur 128. Effektutvecklingen som funktion av tiden från att branden startade.

Bilaga K Validering av detektionstid i Stora ishallen

En detektor är ca 20 cm hög och med hjälp av bilder tagna under objektsbesöket görs uppskattningen att de är placerade 2 meter under taket, se Figur 129.



Figur 129. Stora ishallen (Foto: Malin Hanson, 2013). Linjerökdetektorernas placering på kortsidan.

För att bestämma hur lång tid det tar innan detektorerna reagerar måste det först beräknas hur stor volym som måste fyllas med brandgaser innan de når ner till detektorerna. Anledningen är att i simuleringarna i CFAST har ishallens geometri uppskattats till ett rätblock, men det intressanta är att veta hur lång tid det tar att fylla en viss volym med brandgaser. För att bestämma den faktiska volymen som måste fyllas beräknas först arean av den triangel som ”bildas”, se Figur 130.



Figur 130. Stora ishallen (Foto: Malin Hanson, 2013). En grov uppskattning av hur volymen från tak till linjerökdetektorernas placering beräknats.

Basen av triangeln uppskattas vara ungefär 40 meter med kunskapen om att den totala bredden av ishallen är 60 meter. Längden på ishallen uppgår till 90 meter.

Arean beräknas som basen gånger höjden dividerat med två och volymen som arean gånger längden. Volymen blir då 3600 m^3 . Höjden till vilket brandgaslagret ska sjunka i de utförda simuleringarna beräknas genom att dividera volymen med aktuell bredd och längd. Resultatet blir 0,7 meter under taket. Tiden det tar innan brandgaslagret når denna nivå är 270 sekunder. Dock tar inte programmet hänsyn till den tid det tar för brandgaserna att transporteras. Denna tid räknas därför ut separat med hjälp av ett samband framtaget av Heskestad (Karlsson & Quintiere, 2000). Först måste dock en virtuell källa beräknas vilket görs med följande ekvation.

$$z_0 = 0,083 \cdot \dot{Q}^{\frac{2}{5}} - 1,02 \cdot d \quad (\text{Ekvation 14})$$

Där

z_0 är virtuell källa [m]
 \dot{Q} är brandens effektutveckling [kW]
 d är diametern på branden [m]

Hastigheten beräknas sedan med Ekvation 15 nedan.

$$u_o = 1,0 \left(\frac{0,7 \cdot \dot{Q}}{z - z_0} \right)^{1/3} \quad (\text{Ekvation 15})$$

Där

u_o är hastigheten på brandgaserna i mitten av plymen [m/s]
 z är nivån där brandgaserna vill undersökas

Med hänsyn tas till att diametern på branden, effektutvecklingen och hastigheten varierar över tid fås att den tid det tar för brandgaserna att transporteras de 22 metrarna upp till taket är ungefär 60 sekunder. Detta medför att den totala varseblivningstiden blir 330 sekunder.

UTKAST