

Brandteknisk Riskvärdering av
Ejendals Arena

*Oscar Andersson
Franz Evegren
Joakim Ilmrud
Tony Lundahl
Jesper Nilsson*



**Brandteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet
Rapport 9335, Lund 2008**

Brandteknisk Riskvärdering av Ejendals Arena

*Oscar Andersson
Franz Evegren
Joakim Ilmrud
Tony Lundahl
Jesper Nilsson*

Lund 2008

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.

Titel / Title

Brandteknisk riskvärdering av Ejendals Arena, Fire safety evaluation of Ejendals Arena

Rapport / Report 9335

© Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, 2008

Av / By

Oscar Andersson, Franz Evegren, Joakim Ilmrud, Tony Lundahl, Jesper Nilsson

Abstract

This report contains an evaluation of occupant safety if a fire would occur in Ejendals Arena, home arena for Leksands IF. The fire scenarios that are considered to be dimensioning to the evacuation situation are:

- display case fire at a trade fair in the main entrance
- stage fire at a concert in the arena
- storage fire in the enclosure Inlastningen

Calculations and simulations are carried out to determine if critical conditions will come up before the occupants have been safely evacuated. The results indicate that changes will have to be made in a few areas. The most important change is that smoke ventilation openings should be installed in the roof of Sparbanksfoajén to ensure that the descending smoke layer won't jeopardize the safety of those evacuating. Also the hallway between the arena and Inlastningen will have to be sealed to ensure that toxic gases won't spread into the arena.

Nyckelord

Brandteknisk riskvärdering, utrymningssäkerhet, personsäkerhet, kritiska förhållanden, arena brand, Ejendals Arena.

Keywords

Fire safety evaluation, evacuation safety, critical conditions, arena fire, Ejendals Arena.

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>

Telephone: +46 (46) 222 73 60
Telefax: +46 (46) 222 46

Sammanfattning

Som del i kursen Brandteknisk riskvärdering (VBR 054) ingår för brandingenjörerna på Lunds Tekniska Högskola att i en rapport genomföra en utvärdering av personsäkerheten för ett objekt. Genom att bygga upp och simulera brandförlopp och utrymning kan ett utlåtande göras om objektet anses säkert eller ej.

Denna rapport innehåller en sådan värdering för Ejendals Arena, hemmaplan för Leksands IF som spelar i hockeyallsvenskan. Efter platsbesök och inledande betänkande bestämdes de tre brandscenarier som ansågs vara värst men ändå rimligt troliga och därmed dimensionerande:

- Monterbrand i Sparbanksfoajén vid en mäsas
- Scenbrand i arenarummet vid konsert
- Brand i lagerutrymmet i Inlastningen vid konsert

För varje scenario utreds därefter personsäkerheten med avseende på fyra kritiska faktorer, nämligen temperatur, värmestrålning, siktbarhet och toxicitet. Nivåerna för dessa faktorer bestäms bland annat med hjälp av datorsimuleringar i tvåzonsmodeller och handberäkningar som grundar sig på kunskaper som studenterna fått i denna och tidigare kurser.

Resultatet visar att brandskyddet i stort är bra, men kan förbättras på enskilda punkter. Det mest kritiska rapporten kommer fram till är ett brandgaslager kan sänka sig till en kritisk nivå i Sparbanksfoajén innan personer som befinner sig i lokalen hunnit ta sig ut. Därför rekommenderas starkt att brandgasluckor installeras i taket, samtidigt som tilluft säkras, så att brandgaslagret inte sänker sig fullt så snabbt.

En annan viktig föreslagen förändring är att öppningen mellan arenarummet och Inlastningen måste tätas för att förhindra att giftiga gaser sprids in till arenarummet vid en brand i Inlastningen. Detta görs genom att genomföringarna tätas ordentligt samt att den befintliga porten endera byts till en brandklassad port eller testas för att uppfylla de krav som ställs för att spridning ej ska kunna ske.

Förord

Ett stort tack riktas till alla som har hjälpt oss att få färdigt rapporten!

Tack Thomas Carlsson, Martin Solén och Krister Ejeros för att ni tog emot oss och visade Ejendals Arena vid platsbesöket!

Tack Thomas och Krister (Leksands räddningstjänst) för att ni tagit er tid att svara på alla våra funderingar om brandskyddet på arenan!

Tack Lars Jensen för att ha bidragit med stor kunskap om ventilationsförhållande och beräkningar!

Tack till vår handledare Alexander Wilhelmson, Brandteknik LTH, som stått för värdefulla kommentarer och god handledning hela hösten!

Tack också till Robert Jönsson, Håkan Frantzich, Daniel Gojkovic och Daniel Nilsson som bidragit med värdefull branskmässig kunskap!

Oscar, Franz, Joakim, Tony och Jesper,

November 2008

Nomenklaturlista

| | |
|----------------------|--|
| A | är arean [m ²] |
| c_p | är specifik värmekapacitet [kJ/kg K] |
| C | är koncentrationen [mol/m ³] |
| C_d | är en flödeskoefficient [-] |
| d | är diametern [m] |
| D | är flamdiameter [m] |
| D_s | är avstånd från strålningskälla [m] |
| g | är tyngdaccelerationen [m/s ²] |
| h | är konvektivt värmeövergångstal [W/m ² K] |
| H | är höjd [m] |
| L | är flamhöjd [m] |
| L_1 | är längd på den kortaste sidan av en rektangel [m] |
| L_2 | är längd på den längsta sidan av en rektangel [m] |
| m | är massa [kg] |
| \dot{m} | är massflöde [kg/s] |
| \dot{m}_b | är massflöde ur balkongplym [kg/s] |
| $\dot{m}_{b,\alpha}$ | är massflödet ur balkongplymen med α^2 -utveckling |
| \dot{m}_e | är massflödet genom brandgasventilation [kg/s] |
| M | är molmassan [g/mol] |
| n | är antal mol |
| P | är trycket [Pa] |
| \dot{q}''_{st} | är infallande strålning per areaenhet [W/m ²] |
| \dot{Q} | är effektutvecklingen [kW] |
| \dot{Q}_c | är den konvektiva effektutvecklingen [kW] |
| R | är allmänna gaskonstanten (8,3145) [J/molK] |
| S | är golvarean [m ²] |
| t | är tiden [s] |
| T | är temperaturen [K] |
| T_a | är omgivningstemperaturen [K] |
| T_f | är temperaturen hos flamman [K] |
| V | är volymen [m ³] |
| \dot{V} | är volymflödet [m ³ /s] |
| \dot{V}_e | är volymflödet genom brandgasventilation [m ³ /s] |
| W | är avståndet mellan brand och balkongplym [m] |
| y | är en höjdkonstant [-] |
| z | är höjden till brandgaslagret [m] |
| z_0 | är Heskestads höjdkorrelation [m] |
| α | är en konstant som beskriver brandens tillväxthastighet av effekt [kW/s ²] |
| α_s | är en konstant som beskriver brandens tillväxthastighet av effekt [kW/s ²] |
| ΔH_c | är förbränningsvärmets [kJ/g] |
| ΔP | är tryckskillnad [Pa] |

- ε är emissivitet hos flamman [-]
 ρ_a är densiteten för luften i omgivningen [kg/m^3]
 ρ_g är densiteten för brandgaserna [kg/m^3]
 σ är Stefan Boltzmans konstant ($5,67 \cdot 10^{-8}$) [$\text{J}/\text{sm}^2\text{K}^4$]
 τ är en dimensionslös tid [-]
 Φ är synfaktorn [-]
 χ är förbränningseffektiviteten [-]

Innehållsförteckning

| | |
|--|----|
| Sammanfattning..... | 7 |
| Förord..... | 9 |
| Nomenklaturlista..... | 11 |
| Innehållsförteckning..... | 13 |
| 1. Inledning..... | 15 |
| 1.1 Syfte..... | 15 |
| 1.2 Mål..... | 15 |
| 1.3 Metod..... | 15 |
| 1.4 Avgränsningar..... | 15 |
| 2. Objektsbeskrivning..... | 17 |
| 2.1 Allmänt om Objektet..... | 17 |
| 2.2 Verksamhet..... | 18 |
| 2.3 Objektets utformning..... | 19 |
| 3. Befintligt brandskydd..... | 21 |
| 3.1 Passiva system..... | 21 |
| 3.2 Aktiva system..... | 21 |
| 4. Riskidentifiering..... | 23 |
| 4.1 Värdering av tänkbara brandorsaker..... | 23 |
| 4.2 Val av dimensionerande brandscenarier..... | 28 |
| 5. Värderingsgrund..... | 29 |
| 5.1 Kritiska förhållanden..... | 29 |
| 5.2 Utrymningsdimensionering..... | 29 |
| 5.3 Känslighetsanalyser..... | 30 |
| 6. Scenario 1 – Monterbrand i Sparbanksfoajén..... | 31 |
| 6.1 Effektutveckling..... | 32 |
| 6.2 Brandgaslager..... | 33 |
| 6.3 Strålning..... | 36 |
| 6.4 Toxicitet..... | 37 |
| 6.5 Utrymningsdimensionering..... | 38 |
| 6.6 Värdering..... | 43 |
| 6.7 Åtgärdsförslag..... | 45 |
| 7. Scenario 2 – Scenbrand i arenarummet..... | 49 |
| 7.1 Effektutveckling..... | 50 |

| | |
|---|-----|
| 7.2 Brandgaslager..... | 51 |
| 7.3 Strålning..... | 53 |
| 7.4 Siktbarhet och toxicitet..... | 55 |
| 7.5 Utrymningsdimensionering | 57 |
| 7.6 Värdering..... | 60 |
| 7.7 Åtgärdsförslag..... | 62 |
| 8. Scenario 3 – Lagerbrand i Inlastningen | 63 |
| 8.1 Effektutveckling..... | 64 |
| 8.2 Brandgaslager..... | 66 |
| 8.3 Strålning..... | 68 |
| 8.4 Siktbarhet och toxicitet..... | 68 |
| 8.5 Utrymningsdimensionering | 70 |
| 8.6 Värdering..... | 72 |
| 8.7 Åtgärdsförslag..... | 73 |
| 9. Förslag till förbättringar | 77 |
| 10. Referenser | 79 |
| Bilaga A – Planritningar | 81 |
| Bilaga B – Kartering av svagheter och brister..... | 87 |
| Bilaga C – Scenario 1 - Effektutveckling..... | 99 |
| Bilaga D – Scenario 1 - Handberäkningar för brandgaslager | 105 |
| Bilaga E – Scenario 1 - CFAST-simulering av brandgaslager..... | 111 |
| Bilaga F – Scenario 1 - Validering av brandgasluckor | 117 |
| Bilaga G – Scenario 2 - Effektutveckling | 123 |
| Bilaga H – Scenario 2 - Beräkningar för brandgaslager..... | 127 |
| Bilaga I – Scenario 2 - Strålningsberäkningar..... | 133 |
| Bilaga J – Scenario 2 - Siktbarhet och toxicitet..... | 139 |
| Bilaga K – Scenario 2 - Utrymning..... | 145 |
| Bilaga L – Scenario 3 - Effektutveckling | 157 |
| Bilaga M – Scenario 3 - Brandgaslager..... | 163 |
| Bilaga N – Scenario 3 - Toxicitet..... | 169 |
| Bilaga O – DETACT-T2..... | 173 |
| Bilaga P – Simulex..... | 177 |

1. Inledning

Som del i sin utbildning läser de blivande brandingenjörerna vid LTH kursen Brandteknisk Riskvärdering (VBR 054) under hösten på sitt tredje år. Kursen fogar samman kunskaper från denna och tidigare kurser för att ytterligare utveckla studenternas förmåga att värdera risker vid ett brandscenario i ett byggnadsverk. Den största delen av kursen består av ett projektarbete där en grupp av studenter tilldelas ett större objekt för vilket man utvärderar personsäkerheten. Resultatet presenteras i en rapport tillsammans med eventuella förbättringar som kan anses behövas. Objektet denna rapport behandlar är Ejendals Arena i Leksand.

1.1 Syfte

Huvudsyftet med projektarbetet är att studenterna under arbetets gång ska utveckla sitt analytiska och ingenjörsmässiga tänkande, samtidigt som man bekantar sig med utrymnings- och brandmodeller.

1.2 Mål

Målet med projektet är att göra en utvärdering av personsäkerheten vid brand för det givna objektet. Resultatet presenteras i en rapport vilken ska kunna försvaras vid en opponering utförd av sakkunniga inom området. Även kursansvarig samt andra studenter kommer att delta i opponeringen.

Det är även dessa rapporten främst riktar sig mot varför målgruppen är personer med samma bakgrundskunskaper som en student i samma årskurs.

1.3 Metod

Inledningsvis sker ett platsbesök där studenterna får chans att på nära håll studera objektet. Därefter avgränsar studenterna sitt givna objekt för att kunna fokusera säkerhetsanalysen på ett antal för objektet dimensionerande brandscenarier. I de verksamheter och utrymmen där säkerheten vid brand kan analyseras genom enklare dimensionering enligt Boverket¹ görs detta. För att sedan kunna se till säkerheten vid brand för objektet som helhet och också kunna utvärdera brandskyddet i de mer komplexa utrymmena görs en analytisk dimensionering via handberäkningar, datoriserade modeller och relevant befintlig litteratur. Vid denna tillämpar studenterna kunskaper de hittills erhållit genom utbildningen men förmås även söka efter för objektet användbara utredningar av brandskydd. Slutligen värderas analysen och förbättringar som studenterna anser vara nämnvärda påbjuds och rekommenderas.

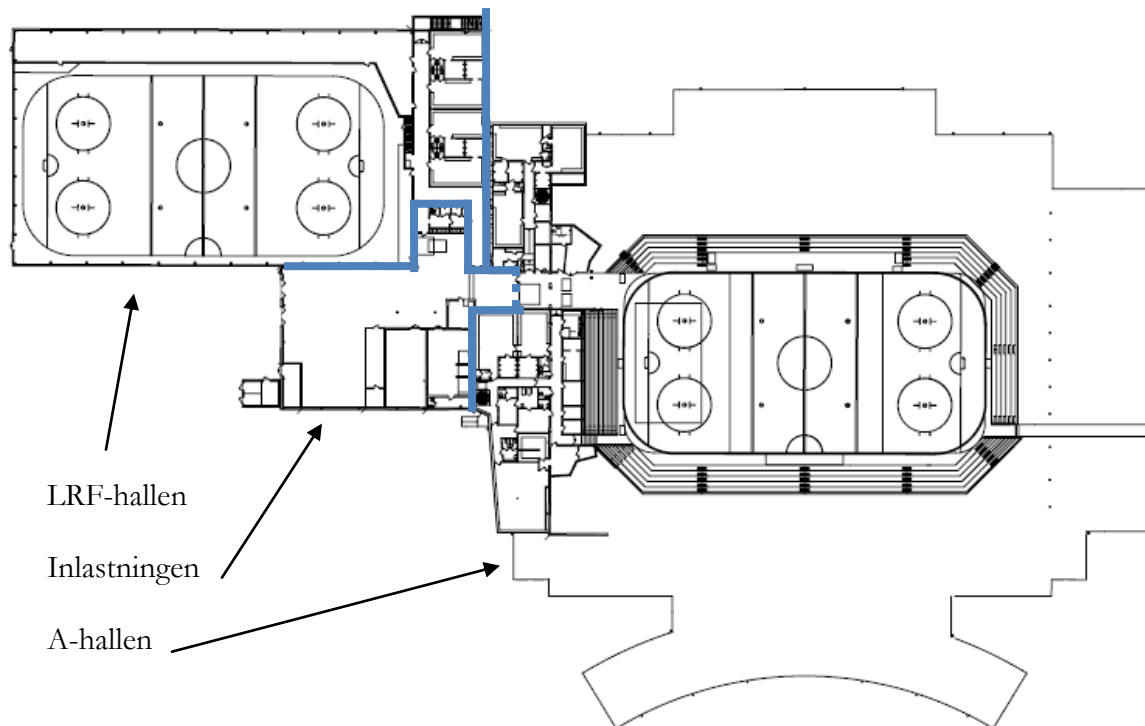
1.4 Avgränsningar

Det objekt denna rapport behandlar är Ejendals Arena. På grund av bland annat objektets storlek och den tid som kursen omfattar var det nödvändigt att avgränsa objektet. Det fanns ej tid för att på ett tillfredsställande sätt utvärdera personsäkerheten vid brand för varje utrymme i det komplexa objektet. Naturligt blev således att fokusera på Ejendals Arena och inte LRF-hallen som innehåller en sekundär isrink och är en egen byggnad i anslutning till arenan. Eftersom inlastningsområdet vid ett tidigt skede i arbetet med rapporten bedömts ha en vid brand potentiellt mycket hög effektutveckling tas även detta område med i rapporten. Med tanke på att rapporten genom analyser ska försöka beskriva

dimensionerande scenarion anses det även befogat att endast göra utförligare dimensionering av brandskyddet i utrymmen där folk kan tänkas röra sig vid ett evenemang. Det är sannolikt också då som personsäkerheten vid utrymning är av största vikt.

2. Objektsbeskrivning

I Leksand, Dalarna, ligger Ejendals Arena som sedan 2005 i första hand fungerar som hemmaarena åt hockeylaget Leksands IF. Det man i daglig mun brukar kalla Ejendals Arena är ett komplex som ur byggnadsteknisk synpunkt består av tre byggnader utförda i olika byggnadsteknisk klass; A-hallen (Br 1), Inlastningen (Br 3) och LRF-hallen (Br 2), se figur 2.1. Eftersom utvärderingsobjektet i avgränsningen definierats som Ejendals Arena samt Inlastningen ges ingen ytterligare beskrivning av LRF-hallen. Denna kommer endast tas hänsyn till som en intilliggande byggnad till objektet.



Figur 2.1. Översiktsbild över komplexet Ejendals Arena.

För att undvika missförstånd kommer komplexet med A-hallen, Inlastningen och LRF-hallen något slarvigt benämnas som Ejendals Arena, vilket det även görs i folkmun. Byggnaden med huvudarenan benämns A-hallen och när A-hallen **och** Inlastningen avses kommer dessa byggnader benämnas Objektet. Nedan följer en utförligare beskrivning av objektets utformning och verksamhet.

2.1 Allmänt om Objektet

Anläggningen Ejendals Arena, se figur 2.2, stod färdig hösten 2005 och ägs och förvaltas av Leksands IF Fastighets AB, ett dotterbolag till Leksands IF. Totalentreprenör för byggnationen var PEAB och huvudsponsor är skyddsutrustningsföretaget Ejendals vilka för närvarande även äger rättigheterna till namngivningen av Ejendals Arena. Under en säsong tar A-hallen emot omkring 200 000 besökare.



Figur 2.2. Översiktsbild över anläggningen Ejendals Arena (Dalarnas Tidning).

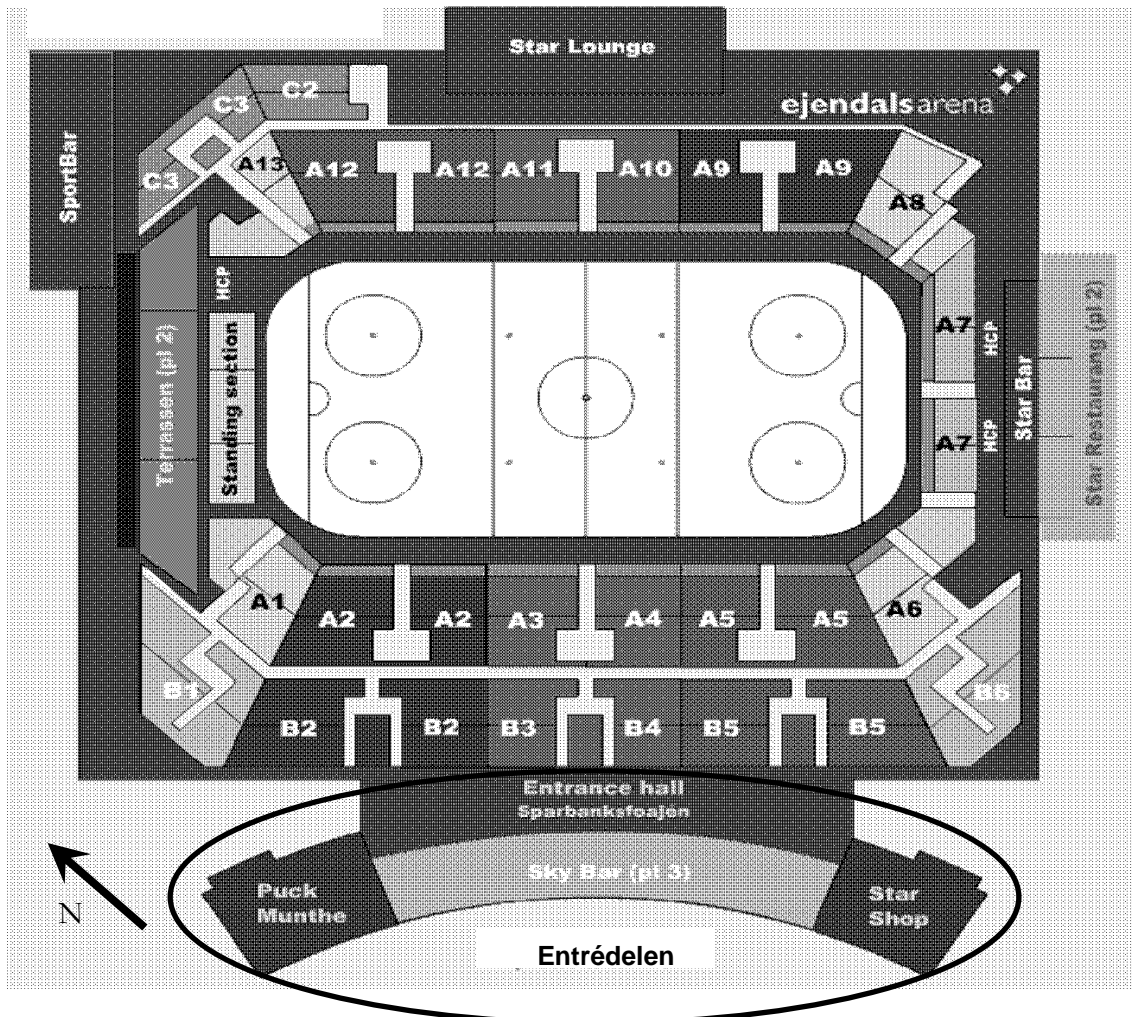
2.2 Verksamhet

Objektet fungerar som mycket mer än en idrottsarena. Några exempel på evenemang som ägt rum i arenan är konserter, kongresser, bolagsstämmor, privata fester, företagsevents och konferenser. Trots sitt stora utbud av evenemangen är majoriteten ishockeymatcher och konserter. Det är under en ishockeymatch som arenarummet uppfyller sin maxkapacitet på 7650 åskådare, varav 1500 stående, se figur 2.3. Parketten (golvet i arenarummet) kan ta emot upp till 2000 sittande åskådare vilket vid en konsert ger arenarummet en kapacitet på omkring 6500 sittplatser för åskådare.



Figur 2.3. Rinken samt södra åskådarläktarna.

Arenan har även flera konferensrum varav det största har kapacitet att inhysa upp till 150 personer. Dessutom finns 7 kiosker, 9 serveringsytor och 36 loger, varav en bastuloge, i A-hallen se figur 2.4.



Figur 2.4. Översiktsbild över A-hallens utrymmen. Ellipsen markerar A-hallens entrédel. Lagg märke till att plannotiserna inom parentes är räknade ifrån markplan (www.ejendalsarena.se).

2.3 Objektets utformning

Byggnadsverket består av 5 plan, varav plan 1 delvis ligger under mark. Arenarummet genomgår plan 1 till plan 5 och har ett tak format som en elliptisk kupol. Tillträde till arenarummets sitt- och ståplatser sker via plan 2, plan 3 och plan 4. Från A-hallen ansluter dessa plan dessutom till sex utvändiga trapphus som är placerade runt om byggnaden. Det finns även en från plan 1 till plan 4 genomgående spiraltrappa som utnyttjas av personalen. Ytterligare en spiraltrappa finns mellan plan 1 och plan 2. För en totalbild av A-hallen se figur 2.4. Lagg dock märke till att planhänvisningarna inom parentes är räknade från markplan som plan 1, ej plan 2. En översikt av planen åskådliggörs i *Bilaga A – Planritningar* och beskrivs nedan.

2.3.1 Plan 1

I detta plan ligger förutom arenarummets golv (isen) även inlastningsutrymmet för scen och ismaskin, förråd, verkstad och kylcentral samt flera omklädningsrum med tillhörande duschutrymmen, se figur A1.

2.3.2 Plan 2

Detta plan ligger i marknivå. I entrén ligger en affär (Star Shop) och ett café och lunchrestaurang (Puck Munthe) som har daglig verksamhet. Planet innehåller dessutom ytterligare en restaurang (Star Lounge) och två barer (Sportbar och Starbar) samt ett flertal toaletter, kiosker och konferensrum. Beroende på arrangemang har man omkring 30 platser för handikappade vid arenarummets kortsidor, se figur A2.

2.3.3 Plan 3

Planet innehåller en bar med bord som är placerade över Sparbanksfoajén. I anslutning till denna finns flera konferensrum, två över Star Shop och ett över Puck Munthe. Det finns två restauranger med bar (Star Restaurang och Terrassen) som är placerade längs kortsidorna. På detta plan finns även alla 36 loger längst arenarummets långsidor. I planets norra hörn finns pressrummet, se figur A3.

2.3.4 Plan 4

Planet inrymmer en bar (Skybar) och ett flertal toaletter och kiosker. Det finns ett dagis mitt på den nordöstra långsidan, på samma långsida finns även ett mediautrymme. Planet omfattar även undre delen av den övre läktaren. Över kansli och Star Restaurang finns ett fläktrum, se figur A4.

2.3.5 Plan 5

I detta plan finns rum för kommentatorer och övrig media samt två fläktrum. Planet omfattar även övre delen av den högst belägna läktaren.

3. Befintligt brandskydd

Avsnittet behandlar arenans befintliga brandskydd vad gäller passiva och aktiva system samt verksamhetens systematiska brandskyddsarbete. Brandskyddsprojektör för arenan var Brandskyddslaget.

3.1 Passiva system

Arenarummet är ett öppet utrymme i en stor brandcell som angränsar till den kringliggande korridoren. De angränsade trapphusen har tillkommit i efterhand och är utformade som egna brandceller. A-hallen är utförd i en brandskyddsmålad, bärande stålkonstruktion med mellanväggar i plåt och mellanliggande isolering. Trapphusen är i samma konstruktion med den skillnaden att innerväggarna är av stenfiberplattor istället för plåt. Samtliga bärande konstruktioner är av klass REI60.

3.2 Aktiva system

Ett flertal aktiva system samarbetar för Objektets säkerhet. I huvudsak sker detektion med sampling och rökdetektorer vilka ger signal med utrymme för larmlagring

3.2.1 Detektion

Inne i A-hallens arenarum sker detektion med hjälp av ett samplingssystem. Ett rörnät beläget strax under innertaket är förgrenat med 10 m mellanrum från flertalet samlingsboxar i vilka luften analyseras kontinuerligt. I övriga utrymmen sker detektion med hjälp av optiska ljusspridningsdetektorer.

3.2.2 Brandlarm

Vid detektion går larmet för larmlagring till ansvariga personer på plats om sådana finns på plats, i andra fall går larmet direkt till räddningstjänsten. Vid larmlagring har ansvarig personal en minut på sig att kvittera larmet och ytterligare två minuter för undersökning, varefter larmet går vidare till räddningstjänsten. Det går även att aktivera brandlarmet manuellt via larmknappar vilka finns utplacerade runt om i A-hallen. Vid manuell aktivering av brandlarmet sker ingen larmlagring.

3.2.3 Utrymningslarm

Utrymningslarmet aktiveras samtidigt som larmet till räddningstjänsten. Larmet är utfört som inspelat talat meddelande i publika utrymmen och som larmklockor i övriga delar.

3.2.4 Brandgasventilation

A-hallen har ett svagt lutande tak, från långsida till långsida. I den övre delen sitter tio brandgasfläktar, varav åtta aktiveras genom det samplande systemet. Luftintaget till den mekaniska ventilationen sker i huvudsak genom Inlastningen. Porten mellan arenarummet och Inlastningen samt en av inlastningsportarna till det ”fria” öppnas automatiskt vid larm till räddningstjänsten. Dessutom öppnas en av de två inlastningsportarna i Inlastningen. I samtliga trapphus utom ett finns automatiska brandgasluckor i väggen på översta plan. I det sista trapphuset ligger luckan över undertaket i trapphuset på grund av konstruktionsfel, vilket behandlas under *B.22.3 Kommentar*. I inlastningshallen finns två brandgasluckor i taket, vardera arean 1 m².

3.2.5 Räddningstjänst

Räddningstjänsten i Leksand har en beräknad inställetid på 5 min. Om de redan är ute i annat ärende larmas närmaste räddningstjänst på annan ort. I samtliga trapphus finns stigarledningarna samt brandposter på varje plan.

3.2.6 Systematiskt brandskyddsarbete (SBA)

I Ejendals arena bedrivs ett systematiskt brandskyddsarbete som följer brandskyddspolicyn: *"Vi ska kontinuerligt bedriva systematiskt brandskyddsarbete och därigenom ha kunskap om hur vi förebygger bränder samt hur vi agerar på ett säkert sätt i händelse av brand. Det ska aldrig börja brinna, om det ändå händer ska konsekvenserna bli så små som möjligt."*

3.2.6.1 Personrutiner vid utrymning

I dokumentationen av Ejendals Arenas SBA finns väl beskrivet hur funktionärer, anställda i kiosker och övrig personal ska agera vid utrymning av Ejendals Arena. Rutinerna som följs är enligt principen RÄDDA-LARMA-SLÄCK-UTRYM i beskriven ordning. Om brand uppkommer har funktionärerna det huvudsakliga ansvaret att trycka på en larmknapp samt att hjälpa besökare att utrymma.

3.2.6.2 Utbildning av personal

All anställd personal genomgår en allmän brandskyddsutbildning en gång om året. All övrig personal såsom vakter och ideellt arbetande personer ska varje år genomgå en grundutbildning i brandskydd. Utrymningsövningar hålls en gång per år och ska med fördel planeras och genomföras i samråd med räddningstjänsten.

3.2.6.3 Övrigt

Förutom ovan nämnda punkter tas bland annat följande upp i dokumentationen av SBA:

- Riskanalys
- Ansvarsfördelning
- Frekvens av brandskyddskontroll
- Dokumentation av brandskydd
- Drift och underhåll av brandskydd

3.2.6.4 Brand och beredskapsstyrka

Ejendals arena håller en egen BBS-styrka vars uppgift är att hålla säkerheten på en hög nivå. Det är en av räddningstjänstens utbildad styrka som vid larm ska lokalisera branden och med hjälp av sin goda lokalkännedom snabbt kunna lotsa räddningstjänstens personal rätt då de anländer. Styrkan har tillgång till rökdykarutrustning, men inte utbildning i sådan omfattning att de själva kan genomföra en fullskalig rökdykarinsats. Bland övriga arbetsuppgifter ingår bland annat allmänt säkerhetsarbete och kontroller och tillsyner innan evenemang.

4. Riskidentifiering

För att kunna bedöma en byggnads säkerhet vid alla möjliga brandscenarier kan man gå igenom samtliga fall som kan inträffa. Utifrån varje fall kan man sedan göra bedömningen om säkerheten vid brand är tillräcklig eller ej. Tänker man sig i stället att de brandscenarier som är mindre omfattande kan täckas av de större reducerar man väsentligt antalet scenarier som måste utvärderas. Genom att klokt välja ut ett fåtal genomgripande brandscenarier kan byggnaden dimensioneras efter dessa och ändå ha en fullgod säkerhet i, principiellt, alla andra brandscenarier som kan inträffa. Vid val av dimensionerande brandscenarier måste flera aspekter tillgodoses. Scenariot måste närma sig det värsta tänkbara men fortfarande vara tillräckligt troligt att dimensionera efter. Vid val av dimensionerande brandscenarier tas även hänsyn till att dessa bör innefatta så många av de övriga tänkbara brandförloppen som möjligt.

För att bedöma vilka brandscenarier som har störst påverkan på personsäkerhet och utrymning och således vilka som vidare ska utredas görs först en värdering av tänkbara brandorsaker. Sedan värderas riskerna för dessa som bedöms med avseende på sannolikhet och konsekvens. Därefter väljs förstärkt de brandscenarier som ska användas för att dimensionera nivån av säkerhet i objektet.

4.1 Värdering av tänkbara brandorsaker

Nedan redovisas och värderas tänkbara brandorsaker. Riskerna har bedömts genom diskussioner, platsbesök, intervjuer och ritningsgranskning. Bland annat har det gjorts en kartering över Objektets svagheter och brister, se *Bilaga B – Kartering av svagheter och brister*, genom vilken en överblick av objektets risker kan erhållas. Värderingen sker uppdelat på sannolikhet och konsekvens på en skala från ett till fem, där fem naturligt anger det värsta fallet.

4.1.1 Scenbrand

Vid större arrangemang finns det sittplatser på isen såväl som på läktarna. Pyroteknik, dekor och snabbt inkopplad elektronik på scenen gör detta till en högst trolig orsak till brand. Dessutom skapas en snabb rökutveckling mitt bland publiken. Konsekvenserna bedöms till högsta tänkbara (5) och även sannolikheten skattas som hög (4).

4.1.2 Anlagd brand

Brand genom sabotage var vid inledande diskussion en hög riskfaktor. Vid undersökningar har det dock visat sig att dylika bränder är sällsynta och konsekvenserna vad gäller personskador små. I arenans historia fanns ett sådant tillbud vilket gällde en pappersbrand under B-hallens läktare som fick rökdetectorn att utlösa. Sabotage kan få stora materiella konsekvenser då arenan är stängd men då utredningen primärt gäller personsäkerhet tas denna aspekt inte med i riskidentifieringen. Både sannolikhet och konsekvens bedöms därav som små (2). Vidare kan tilläggas att man inte kan veta var sabotaget görs varför detta scenario enklast tas med som en trolig brandorsak i de valda dimensionerande scenarierna.

4.1.3 Lagerbrand i Inlastningen

Inlastningen fungerar också som lager till en stor mängd brännbara material. Träbord i staplar, plaststolar med stoppade dynor, tyg och dylikt lagras från golv till tak i detta utrymme. Tänkbara brandorsaker skulle i detta utrymme kunna vara ismaskinernas laddningsplatser som producerar knallgas vilket kan antändas av vanliga glimtändare. Vidare finns verkstaden med sliprum i anslutning till Inlastningen, likaså kylcentralen med stora mängder ammoniak. Sannolikheten för brand bedöms vara medelhög (3). Konsekvensen kan bli stor då den eventuella branden blockerar en stor utrymningsväg samtidigt som det finns risk för brandgasspridning till arenahallen då vägen dit är fullt öppen. Konsekvensen bedöms därav som hög (4).

4.1.4 Monterbrand

Mässor och dess monterarrangemang är utspridda i den kring arenarummet stora korridorerna, i entrén och på arenagolvet. Vid mässbesök är det troligt att man vid utrymning försöker ta sig ut samma väg som man kom in, det vill säga genom Sparbanksfoajén. En monterbrand där lär alltså avsevärt försvåra utrymningen. Mycket brandgaser ska visserligen produceras och sprida sig långt för att påverka större delen av besökarna. De kan dock snabbt sprida sig till baren på balkongen i entrén. Brandgasernas toxicitet och spridning måste undersökas vidare, men konsekvensen bedöms som hög (4). Montrarna och eventuella matstånd är snabbt uppbyggda och elinstallationer kan vara bristfälliga. Sannolikheten bedöms som hög (4).

4.1.5 Storkök

Köksbränder är relativt vanliga varför sannolikheten för en dylik bedöms som hög. Dock finns det ett fast brandsläckningssystem över stekbordet. Släcksystemet är av typen skumbrandsläckare och utlöses av för höga temperaturer i imkanalen. Sannolikheten för brand i storköket bedöms därför som liten (2). Även konsekvenserna bör bli små (2) då det i köket endast vistas personer med god lokalkännedom. Samtidigt är köket brandtekniskt avskilt mot publika utrymmen.

4.1.6 Snabbmatskök / kiosker

De små inrättningarna i första planets korridorer kan utgöra troliga orsaker till brand. Brandbelastningen är dock relativt sett mycket liten. Vid drift är stånden dessutom alltid bemannade varför en snabb släckinsats eller inneslutning kan förväntas. Sannolikheten för brand bedöms därför till medelhög (3) och konsekvensen till liten (2).

4.1.7 Jumbotron

I taket ovan isen sitter en stor jumbotron full av elektronik. Initialt sågs detta som en stor riskkälla men vid platsbesöket visade det sig att jumbotronens elektronik var extra-utrustad med ett eget släcksystem. Sannolikheten för brand i jumbotronen anses vara medelhög (3) men på grund av släcksystemet är konsekvenserna obetydliga (1). Så länge jumbotronen hänger i luften kan negativ påverkan på personsäkerheten anses vara minimal.

4.1.8 Brand i förråd

Det negativa med brand i förråd är att branden kan pågå under en längre tid utan att bli upptäckt. Det kan leda till att branden blivit stor innan utrymning påbörjas. Användande av detektorer i dessa utrymnen kan därför anses vara viktigt. Man kan inte räkna med att varma brandgaser kan sprida sig i erforderlig mängd för att innebära kritiska förhållanden för personer i intilliggande konferensrum. Detta eftersom ventilationen däremellan endast sker via ett överluftsdon. Brandgasflödet genom donet begränsas av donets storlek och de varma brandgaserna kommer sannolikt att detekteras av den brandgas-detektor som finns i konferensrummet innan någon avsevärd mängd brandgaser flödat in i rummet. I huvudsak kan man tänka sig att branden orsakar materiella skador varför konsekvensen endast skattas till liten (2). Sannolikheten att det börjar brinna i ett förråd med enbart möbelförvaring och kontorsmateriel kan antas vara mycket liten (1).

4.1.9 Brand i bastulogen

Till en början ansågs bastulogen som en given orsak till brand. När logen sedan, vid studiebesök, undersöktes visade det sig ganska naturligt att bastun är regelmässigt isolerad och har ett robust brandskydd. Därför skulle en brand där inte kunna sprida sig nämnvärt varför konsekvenserna uppskattas till små (2). Sannolikheten uppskattas av samma anledningar vara liten (2).

4.1.10 Brand i trapphus

Av statistik vet man att bränder i trapphus är relativt vanliga eftersom det ofta felaktigt förvaras saker i trapphus. Så även i Objektet, varför sannolikheten uppskattas till medelhög (3). Konsekvenserna av en liten brand i ett slutet trapphus kan dock uppskattas till små (2). Detta med bakgrunden att trapphusen är utförda som egna brandceller och därför blir endast trapphuset i fråga blockerat för utrymning.

4.1.11 Brand i verkstad

Verksamhet i verkstaden med slipning med mera innebär att en brand sannolikt skulle kunna uppstå. Därför bedöms sannolikheten som hög (4). Vetskapen att det då borde vara personal på plats och att det är relativt avskilt ifrån den stora folkmängden gör dock att konsekvenserna med avseende på personsäkerhet uppskattas till små (2).

4.1.12 Brand i kylcentral

En brand i kylcentralen kan innebära utsläpp av ammoniak, ett ämne som är giftigt även i små mängder. En brand kan uppstå i kylcentralen, främst på grund av förekomsten av elektriska motorer samt övrig elektronik. Eftersom förekomsten av brännbart material är liten bedöms dock sannolikheten för brand som liten (2). Kylcentralen är en egen brandcell utförd i brandteknisk klass REI-60 vilket innebär att en brand i kylcentralen ej bör påverka intilliggande utrymen i sådan grad att utrymning av objektet försvåras. Eftersom kylcentralen har ett fristående ventilationssystem med kompletterande evakueringsfläkt samt att kylcentralen är en egen brandcell i brandteknisk klass REI-60 bedöms konsekvenserna som små (2).

Nedan sammanställs värderingen av ovanstående brandorsaker. Värderingarna av sannolikhet och konsekvens har summerats till en risksiffra som ger en antydning om vilken risk scenariot kan innebära.

| Scenario | Konsekvens | | Sannolikhet | | Risk |
|------------------------------|------------|---|-------------|---|------|
| Scenbrand | 5 | + | 4 | → | 9 |
| Monterbrand | 4 | + | 4 | → | 8 |
| Brand i lager i Inlastningen | 4 | + | 3 | → | 7 |
| Brand i verkstad | 2 | + | 4 | → | 6 |
| Brand i snabbmatskök / kiosk | 2 | + | 3 | → | 5 |
| Brand i trapphus | 2 | + | 3 | → | 5 |
| Brand i storkök | 2 | + | 2 | → | 4 |
| Brand i jumbotron | 1 | + | 3 | → | 4 |
| Sabotage | 2 | + | 2 | → | 4 |
| Brand i bastuloge | 2 | + | 2 | → | 4 |
| Brand i kylcentral | 2 | + | 2 | → | 4 |
| Brand i förråd | 2 | + | 1 | → | 3 |

4.2 Val av dimensionerande brandscenarier

Vid val av dimensionerande scenarier i en brandteknisk riskvärdering är det inte helt självklart att sannolikheten och konsekvensen ska värderas lika. Exempelvis skulle man kunna tänka sig en faktor två framför konsekvensen för att faktiskt dimensionera efter de scenarier som är de värsta troliga. Ett annat argument för en större faktor framför konsekvensen kan vara att statistik endast speglar det förflutna och inte den riskbild man står inför idag. Ett krafttag gjordes för att finna statistik för ovanstående brandorsaker men eftersom denna gav ett långt ifrån heltäckande resultat kan man ytterligare ifrågasätta bedömningen av sannolikhet. I denna selektion kan dock valen göras relativt naturligt med tanke på att både risksiffran och i synnerhet den bedömda konsekvensen sticker ut i tre av fallen. Nedan redovisas valda brandscenarier samt en kort diskussion om varför de valdes.

4.2.1 Brand i Sparbanksfoajén under mässa

Detta scenario innebär en relativt hög brandbelastning, blockering av huvudentrén/utrymningsvägen, risk för balkongplym, hög persontäthet och dessutom övrig dagligverksamhet i objektet. Av dessa anledningar kan detta ses som ett scenario som innebär stora risker för personsäkerheten men som även innefattar många mindre scenarier – ett ”worst case”.

4.2.2 Brand i scen under konsert

Detta scenario kommer att behandla personsäkerheten vid en stor brand i arenarummet inför storpublik. Branden förväntas få stor effekt och kommer troligen också att blockera någon av nödutgångarna. Det kommer bland annat undersökas om strålning från flambrand i till exempel back drop innebär kritiska förhållanden för publiken. Dessutom utreds om brandgaserna utgör någon risk för i första hand åskådarna på den övre läktaren.

4.2.3 Lagerbrand i Inlastningen under hockeymatch

Detta scenario innefattar en brand i en lokal i vilken det funnits brister och stora tveksamheter när det gäller brandskyddet. Till exempel är brandcellsgränsen mot arenarummet inte fullständig och brandgasluckorna relativt små. I lokalen finns även mycket brännbart material med en potentiellt mycket hög effektutveckling. Brandgasspridning till bland annat arenarum och omklädningsrum måste beaktas. Detta scenario innefattar även delvis brand med början i verkstaden.

Dessa tre brandscenarier tros innefatta mycket av vad som kan inträffa gällande brand i Objektet men lämnar även utrymme för viss variation av händelseförlopp.

5. Värderingsgrund

I kommande huvudrubriker, 6-8, utreds och värderas de valda dimensionerande brandscenarierna var för sig. Där ges en analytisk simulering av brandförloppen med hjälp av datorprogram, handberäkningar och rökfyllnadsmodeller. Nedanstående underrubriker innehåller värderingsgrunder som används vid utvärderingarna.

5.1 Kritiska förhållanden

I rapporten används definitionen för kritiska förhållanden enligt Boverket¹ för att bedöma personsäkerheten. Här definierar man det som att ingen av de personer som vistas i lokalen ska behöva utsättas för kritiska förhållanden med avseende till strålning, siktbarhet och temperatur. Riktvärden inom dessa områden har man satt till:

| | |
|-----------------|---|
| Siktbarhet: | En brandgasnivå på lägst $1,6 + (0,1 \times H)$ m, där H är rumshöjden, eller en siktsträcka på minst 10 m i okänd miljö och minst 5 m i känd miljö (bostäder och kontor). |
| Värmestrålning: | En maximal strålningsintensitet på $2,5 \text{ kW/m}^2$ eller en kortvarig strålningsintensitet på max 10 kW/m^2 , samt en maximal strålningsenergi på 60 kJ/m^2 utöver energin från en strålning på 1 kW/m^2 . |
| Temperatur: | Högst $80 \text{ }^\circ\text{C}$ lufttemperatur. |

Dessa kriterier är allmänt vedertagna riktlinjer som enligt svensk lag används vid dimensionering av byggnader. Vidare kan kriterier för toxicitet hämtas ur Brandskyddslaget² enligt tabell 7.5. Genom simuleringar av hur branden sprider sig kan tiden tills något av ovanstående kritiska förhållanden uppstår, t_{krit} uppskattas.

5.2 Utrymningsdimensionering

Med vetskap om när kritiska förhållanden uppstår kan man genom jämförelse med utrymningssimuleringar värdera personsäkerheten i byggnaden. Om säkerhetsnivån vid det dimensionerande brandscenariot inte kan anses vara tillfredställande ges förslag till olika åtgärder som valideras under respektive scenario. De validerade förbättringarna återges sedan tillsammans med åtgärdsförslag funna vid studiebesöket, se *Bilaga B – Kartering av svagheter och brister*, under rubrik 9. *Förslag till åtgärder*.

För att kunna jämföra brandsimuleringarna mot något måste alltså utrymningsmöjligheterna undersökas. Tiden för utrymning varierar beroende på var i byggnaden man befinner sig. Tiden kan baseras på tre variabler vilka kan varieras beroende på olika förutsättningar. Den sammanlagda tiden för utrymning uttrycks enligt

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

där

| | |
|---------------------------------|--|
| $t_{detektion}$ | är tiden till detektion av branden |
| $t_{beslut \& \text{reaktion}}$ | är tiden för beslut och reaktion |
| $t_{förflyttning}$ | är tiden för förflyttning till säkerhet. |

Antaganden och beräkningar av de olika termerna presenteras under respektive scenario. Det som undersöks är om $t_{\text{utrymning}} < t_{\text{krit}}$ vilket annars genom åtgärdsförslagen eftersträvas.

5.3 Känslighetsanalyser

För att avgöra trovärdigheten och variationen i simuleringar och beräkningar görs känslighetsanalyser. Dessa införs direkt i varje scenario vid de olika simuleringsmodellerna. Variation av antagna och ansatta konstanter är utförda i samtliga program och ekvationer. Vid simulering av utrymning med hjälp av Simulex är det reaktionstiden och "styrning" till vissa utgångar som har varierats. Specifika analyser i varje scenario är utförda enligt nedan.

5.3.1 Scenario 1 - Monterbranden

- Tillväxthastigheten varierar i α^2 -formeln för effektutveckling. Variationen av α -värdet är utförd i intervallet 0,03 till 0,05 kW/s².
- Tiden till antändning för den andra montern ligger i intervallet 80 - 120 s och för den tredje montern 120 - 180 s.
- I CFAST varierades läckageytorna, vilket dock gav en ytterst liten variation i resultatet.
- Densiteten, och således temperaturen, varierar i intervallet 1,0 – 1,1 kg/m³.
- Vid handberäkning med konstant effektutveckling varierar denna mellan 4 - 5 MW.

5.3.2 Scenario 2 - Scenbranden

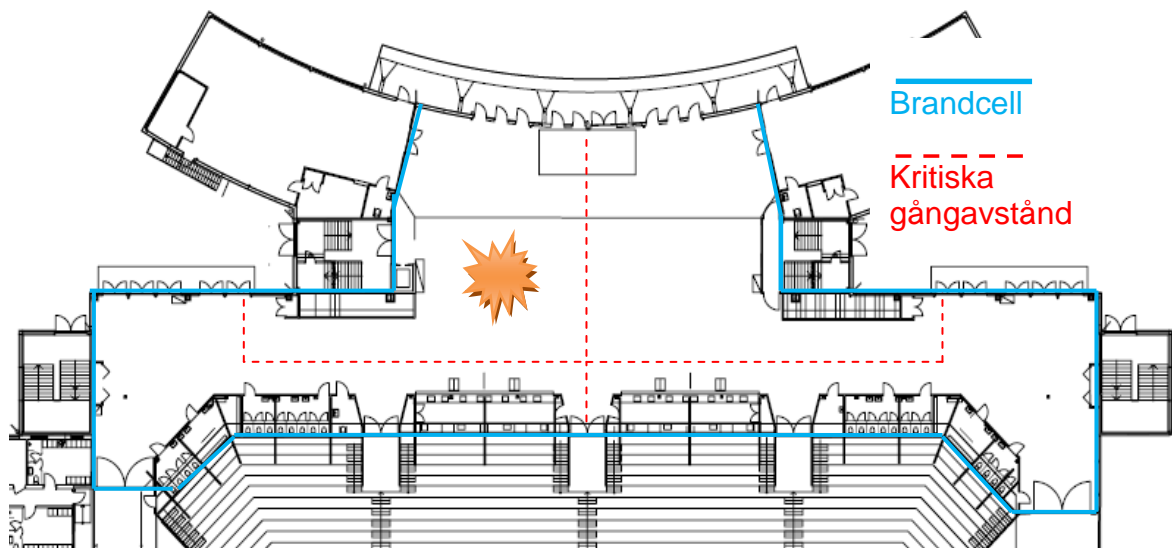
- I CFAST varierar bland annat tilluftsöppningarna (portarna från Inlastningen till det "fria") genom att använda en, två eller ingen port öppen. Brandgasfläktarna i arenarummet, vars fläktkurva varierades, ändras även till luckor samt borträknas helt.
- Vid handberäkning av brandgaslagrets höjd genom Smoke Control In Large Spaces, Karlsson³, antas brandgastemperaturerna 50, 80 och 100 °C. Även brandens (effektens) tillväxthastighet varierar.
- Vid handberäkningar av brandgaslagret genom Smoke Control – The Steady State Problem, Karlsson³, varierar omgivande byggnadsmaterial vilket resulterar i skillnader i brandgastemperatur och höjd. Även den konstanta effekten varierar.
- I strålningsberäkningarna varierar flamtemperaturen och tiden, vilken genererar olika flamdiameter.

5.3.3 Scenario 3 - Lagerbranden

Utförandet av känslighetsanalys för detta scenario är beroende av vad resultaten visar. Om de visar att brandgasspridning in till arenarummet inte kan ske kommer endast en kvalitativ känslighetsanalys för lagerbranden att genomföras eftersom utrymnet Inlastningen inte rymmer något större antal personer. Om brandgasspridning däremot kommer att ske kommer istället åtgärder för att förhindra detta presenteras. Då åtgärderna kommer att förhindra brandgasspridning kommer för detta fall ingen känslighetsanalys att genomföras, eftersom det inte skulle tillföra någon användbar information.

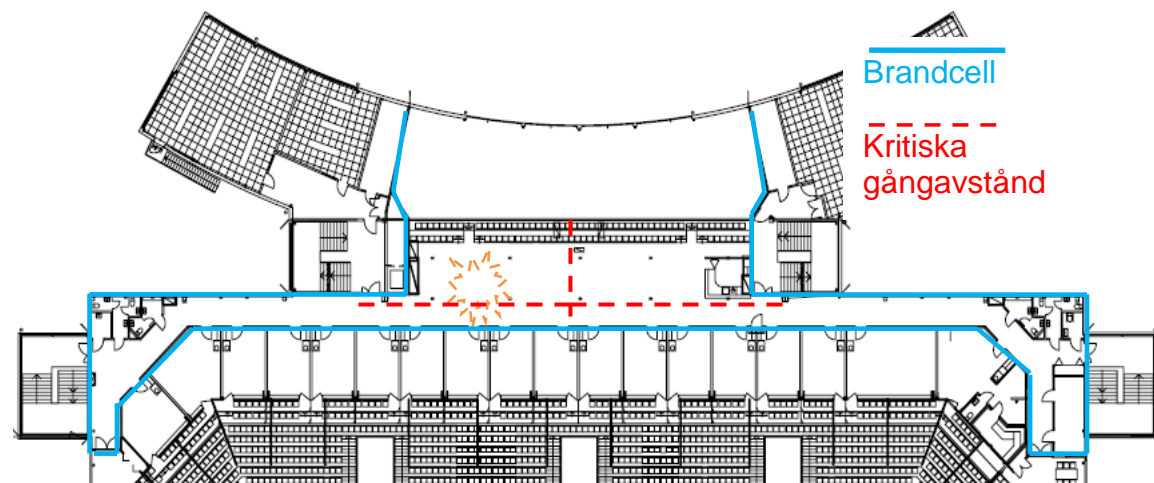
6. Scenario 1 – Monterbrand i Sparbanksfoajén

Ett tänkbart brandförlopp är att brand uppstår i något material som används i mässan. Branden antas inträffa i Sparbanksfoajén, se figur 6.1, där det finns öppna ytor och en potentiellt hög brandbelastning. Tändkällan kan tänkas vara en kortslutning av elektroniken, eftersom denna oftast är provisoriskt monterad. En annan tändkälla kan vara ett ljus eller en strålkastare vid en monter. Runt om montrar uppstår ofta trängsel. Dålig uppmärksamhet vid ett sådant tillfälle kan göra att ett ljus välts omkull och antänder material runt omkring.



Figur 6.1. Sparbanksfoajén i markplan med en utplacerad brand.

I Sparbanksfoajén finns ingen brandgasventilation vilket gör att detta brandscenario kan innebära en hög risk för personsäkerheten. Under detta scenario kommer dimensioneringen av utrymning enbart att kalkyleras för plan 2, eftersom plan 3 enligt anläggningsskötaren ska vara folktomt under mässor. Huvudentrén har en öppen planlösning med öppningar ända upp mot plan 3, se figur 6.2.



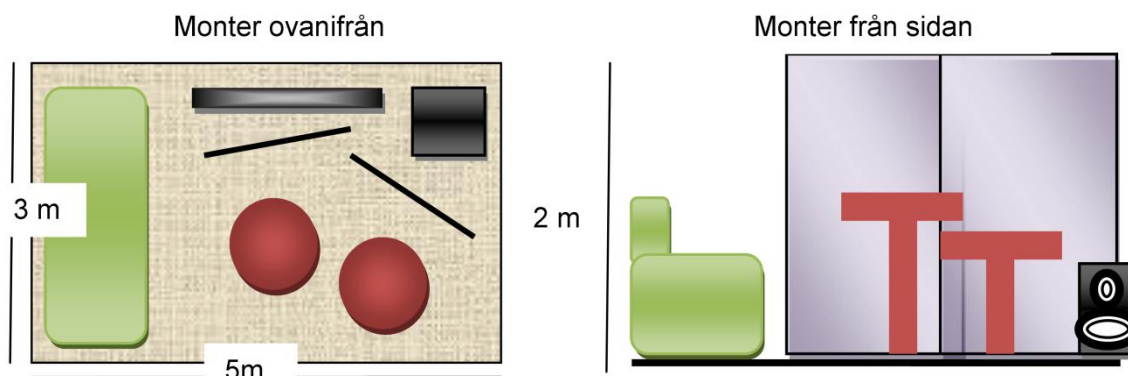
Figur 6.2. Plan 3 över Sparbanksfoajén samt brand i monter i plan 2.

På grund av entréns utformning kommer branden omfatta stora sammanhängande utrymmen och således många människor. Vid brand kommer brandgaserna troligen snabbt sprida sig upp till plan 3 vilket leder till att utrymning genom korridoren i figur 6.2 blockeras för övriga arenarummet. Detta kan i sin tur leda till "proppar" kring alternativa utrymningsvägar. Det som ska undersökas vidare är därför följande:

- Vilken effektutveckling kan uppnås genom monterarrangemanget i Sparbanksfoajén?
- Blir strålningen från branden kritisk?
- När och hur formas ett brandgaslager?
- Vilken temperatur och höjd kommer detta att få? Innebär det en fara på grund av strålning eller toxicitet?

6.1 Effektutveckling

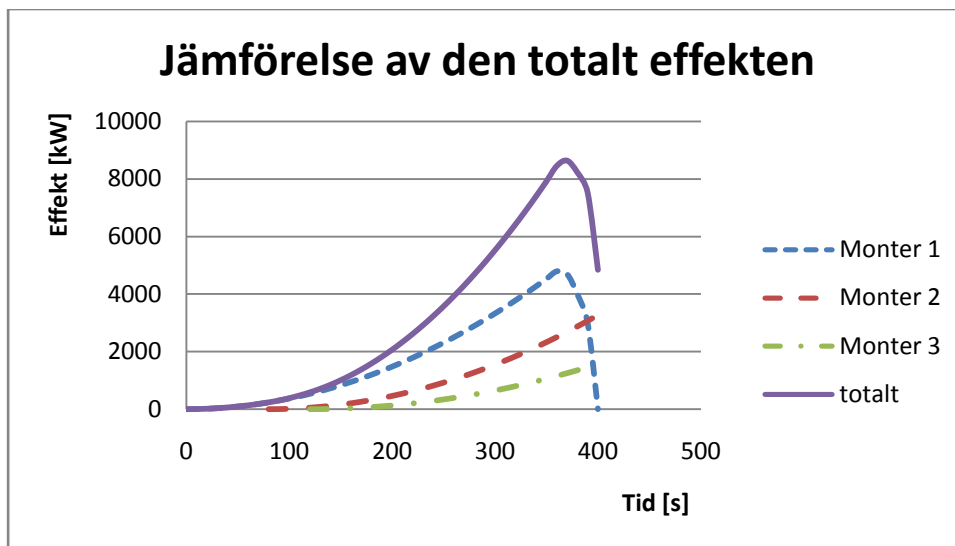
I en mässa finns mängder av olika material vilka är liknande dem som kan finnas i ett kontor. Brandbelastningen för en monter antas därför vara jämförbar med den för ett kontor. Effektutvecklingskurvan för kontor brukar antas tillväxa snabbt (fast). Om man i enlighet med Karlsson³ antar en effektutveckling med α^2 -utseende ges tillväxthastigheten α -värdet $0,047 \text{ kW/s}^2$ vilket ger effekten 1055 kW efter 300 s . Inom denna tid kan man anta att tre montrar har fattat eld. Den maximala effekten för en monter kan antas vara omkring 5 MW , se *Bilaga C – Scenario 1 - Effektutveckling*. Detta fördelat på en yta av 15 m^2 vilket exemplifieras i figur 6.3.



Figur 6.3. Principskiss över monter.

I figur 6.4 illustreras ett exempel på en effektutvecklingskurva för varje monter. Montrarna antas ha nästan samma α -värde, dock lite högre i sista montern eftersom den redan har utsatts för strålning och uppvärmning. En annan faktor som påverkar brandförloppet är brinntiden vilken sätts till 5 min eftersom alla förmodligen hinner utrymma inom denna tid samt att räddningstjänsten förhoppningsvis finns på plats inom denna tid. Om dessa antaganden ej skulle vara riktiga kommer de att korrigeras längre fram i rapporten.

I figur 6.4 sammanläs även den totala effektutvecklingen för tre montrar. I simuleringarna nedan varierar dock α -värdet för varje monter, vilket resulterar i en för varje simulering individuell sammanlagd effektutveckling. Eftersom tillväxthastigheten och antändningstiden varierar kraftigt vid olika simuleringar kommer den sammanlagda effektutvecklingen också att varieras, därför är detta bara en möjlig effektutvecklingskurva.

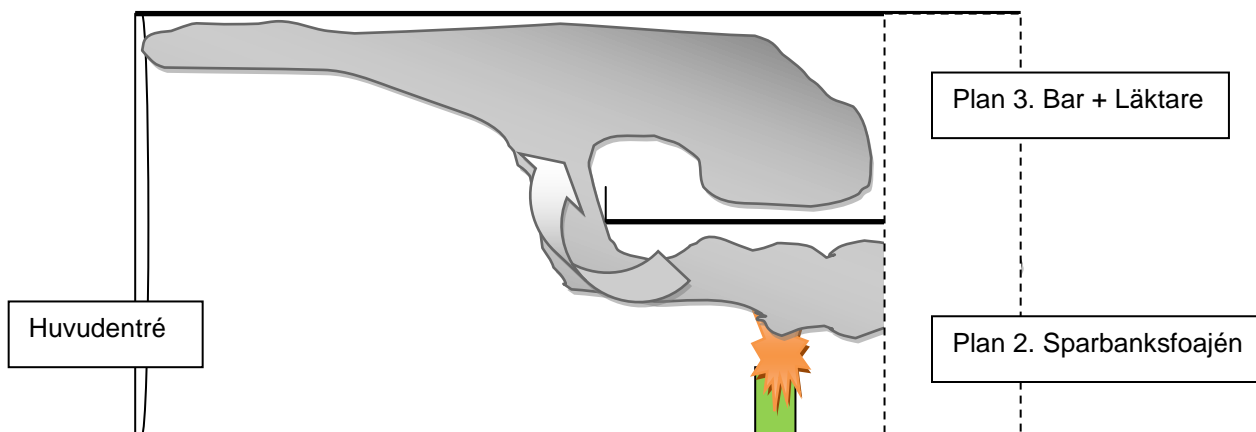


Figur 6.4. En möjlig sammanlagd effektutveckling för tre monterar.

Eftersom alla simuleringar och beräkningar i monterbranden kommer att baseras på effektutvecklingen vore det oklokt att utgå endast ifrån en kurva. Därför har dessa olika effektutvecklingskurvor har framtagits för att få in en form av känslighetsanalys i beräkningarna.

6.2 Brandgaslager

Plan 3 kan tänkas få en snabbare brandgasspridning än plan 2, eftersom en balkongplym kan bildas upp till tredje våningen. Dessutom är där en mindre volym att fylla se figur 6.5.



Figur 6.5. Balkongplym från Sparbanksfoajén till plan 3.

Eftersom flammorna kommer att vara relativt höga och nå upp till taket kommer plymen delvis att vara inne i flaman. Valet av plymmodell faller därför på Heskestads korrelation eftersom detta är en stark plymmodell.

Följande antaganden görs:

- Brandspridning mellan montrar antas ske mycket snabbt på grund av mängden lättantändliga material samt de korta avstånden mellan montrarna. Monterutrymmet jämförs därför med ett stort kontorslandskap.
- På grund av den stora volymen i Sparbanksfoajén antas branden till en början vara bränslekontrollerad
- Eftersom ett ”worst case” sökes antas branden bli stor vilket resulterar i ett brandgaslager och en tvåzonsmodell kan därför användas.
- Brandgaslagret antas inte kunna få en väldigt hög temperatur på grund av den stora luftvolymen samt avkylning genom väggar och tak. Därför antas gaserna få densiteten 1,0 - 1,1 kg/m³.

6.2.1 Ventilationssystemet vid brand

Det finns ingen mekanisk brandgasventilation och ej heller några brandgasluckor i Sparbankfoajén. Det aktiva systemet som finns är att de öppningar som leder till arenarummet och till korridoren kring detta har magnetiskt uppställda dörrar som går igen då brandlarmet aktiverar.

Det konventionella ventilationssystemet är avskilt mot arenarummet men inte mot utrymmena i plan 4. Sky Bar delar inte ventilationssystem med Sparbanksfoajén vilket innebär att de är helt avskilda från varandra. Brandgasspridning till intilliggande utrymmen i plan 4 kan anses vara orimlig baserat på den låga temperaturskillnaden mellan brandgaslagret och inneluften i ändarna av korridoren där ventilationsdonen i fråga sitter. Brandgaserna kommer med hänsyn taget till detta få en så låg termisk stigningskraft att de inte kan stiga genom åtskilliga don, rör och böjar till plan 4. Detta resonemang har diskuterats fram med Lars Jensen, professor inom installationsteknik på LTH.

Till övriga delar av byggnaden anses det inte behövas någon spridningskontroll av brandgaser via ventilationssystemet tack vare brandspjäll och en liten termisk stigningskraft.

6.2.2 CFAST

Effektutvecklingen för branden antogs följa ett α^2 -utseende för varje monter med den maximala effektutvecklingen cirka 5 MW enligt *Bilaga C – Scenario 1 - Effektutveckling*. Branden kommer att sprida sig till den andra montern efter 100 s och sedan vidare till den tredje efter 140 s vilket resoneras kring genom handberäkningar i *Bilaga C – Scenario 1 - Effektutveckling*. I simuleringarna varierades antändningen av nästa monter med +/- 20 s samt tillväxthastigheten, α , mellan 0,03 - 0,05 kW/s² enligt diskussion i *Bilaga C – Scenario 1 - Effektutveckling*. Simuleringen utfördes under 400 s i både plan 2 och plan 3. När maximala effekten för varje monter uppnåtts antas effekten snabbt avta. En sak som skall observeras är att den totala effekten varierar beroende på vilket insatt α -värde och vilken antändningstid som ansätts för varje monter. Således är den totala effektutvecklingskurvan i figur 6.4 endast en schablonbild över utseendet för en tänkbar effektutveckling. Variationen utförs som tidigare nämnts för att få en känslighetsanalys av resultaten från CFAST.

Medelvärdena av resultaten från simuleringarna av monterbranden i Sparbanksfoajén redovisas i tabell 6.1. För utförligare redovisning av CFAST-simuleringarna se *Bilaga E – Scenario 1 - CFAST-simulering av brandgaslager*.

Tabell 6.1. Visar medelvärdet för tiden [s] till kritiska förhållanden i olika delar Sparbanksfoajén från simuleringar i CFAST.

| Orsak | Huvudentrén | Södra delen av korridoren plan 2 | Baren på plan 3 |
|--------------------------------------|-------------|----------------------------------|-----------------|
| Brandgaslagrets höjd (plan 2: 1,9 m) | 190 | 200 | 90 |
| Brandgaslagrets temperatur (80 °C) | 180 | *** | 300 |

6.2.3 Handberäkningar

Här undersöks bland annat hur snabbt lokalen kommer att rökfyllas genom handberäkningar. Detta är ett bra komplement till simuleringarna i CFAST eftersom man kan anpassa exempelvis val av plymmodell och andra svagheter i datorprogrammet till rådande förhållanden. Här genomgås framförallt hur brandgaslagrets höjd påverkas av en så kallad balkongplym som bildas eftersom att det finns ett entresolplan mellan plan 2 och plan 3. Denna balkongplym har en stor inverkan på rökfyllnadstiden eftersom den ger ett mycket stort plymflöde i jämförelse till den modell som används i CFAST. Därför behövs kompletterande beräkningar för rökfyllnadstiden, det vill säga den tid det tar innan brandgaslagrets höjd når den kritiska nivån 1,9 m, se punkt 5.2 *Kritiska förhållanden*.

Beräkningar utförs även med andra modeller för att få en större bredd på utredningen då olika plymmodeller är olika beroende av vissa faktorer. Vidare kontrolleras syremängden i lokalen för att se om branden blir ventilationskontrollerad eller inte. Det undersöks för att kunna bestämma brandförloppets utseende eftersom effekten på branden antas avta eller förbli konstant när branden blir ventilationskontrollerad.

För en detaljerad beskrivning av handberäkningarna se *Bilaga D – Scenario 1 - Handberäkningar för brandgaslager*.

6.2.4 Resultat för brandgaslager

Resultatet hur lång tid branden kan fortgå innan den blir ventilationskontrollerad med tillgänglig syremängd är 13 min. Detta anses godtyckligt vara en tillräcklig tid för alla att hinna utrymma vilket dock kontrolleras under punkt 6.5 *Utrymningsdimensionering*. Därmed kan branden enligt tidigare beskrivning antas tillväxa utan påverkan från ventilationen.

Enligt simuleringar och beräkningar för rökfyllnad uppstår sammanfattningsvis kritiska förhållanden efter mellan 170 s och 290 s, se tabell 6.2. Redovisat material i tabell 6.2 är framlagt så att den modell som mest konservativt beskriver brandförloppet står överst. Den mest troliga tiden tills kritiska förhållanden uppstår är enligt CFAST 200 s vilket även kan underbyggas genom handberäkningar. Denna tid kan anses vara en sammanvägning av alla ovanstående beräkningar och simuleringar men kan även inom rimliga gränser anses vara konservativ.

Tabell 6.2. Visar tiden tills kritiska förhållanden uppstår i Sparbanksfoajén genom olika modeller av handberäkningar.

| Modell | t med $\alpha_{0,05}$ | t med $\alpha_{0,03}$ |
|-------------|-------------------------|-------------------------|
| Balkongplym | 170 | 220 |
| Zukoski | 210 | 290 |
| Heskestad | 280 | 290 |

6.3 Strålning

Kriterier för strålningsnivåer hämtas ur Boverket¹. Där anser man att kritiska förhållanden innebär en strålningsnivå över $2,5 \text{ kW/m}^2$ eller en kortvarig strålningsintensitet på maximalt 10 kW/m^2 . Som grund för beräkningarna av strålning används en totaleffekt liknande den som tidigare givits i figur 6.4.

6.3.1 Strålning från brandgaslager

Strålningspåverkan från brandgaslagret tas fram med hjälp av CFAST. Med ovan nämnda effektutveckling och i övrigt samma förutsättningar som under punkt 6.2 *Brandgaslager* ges resultatet att strålningspåverkan är obetydlig eller mycket liten.

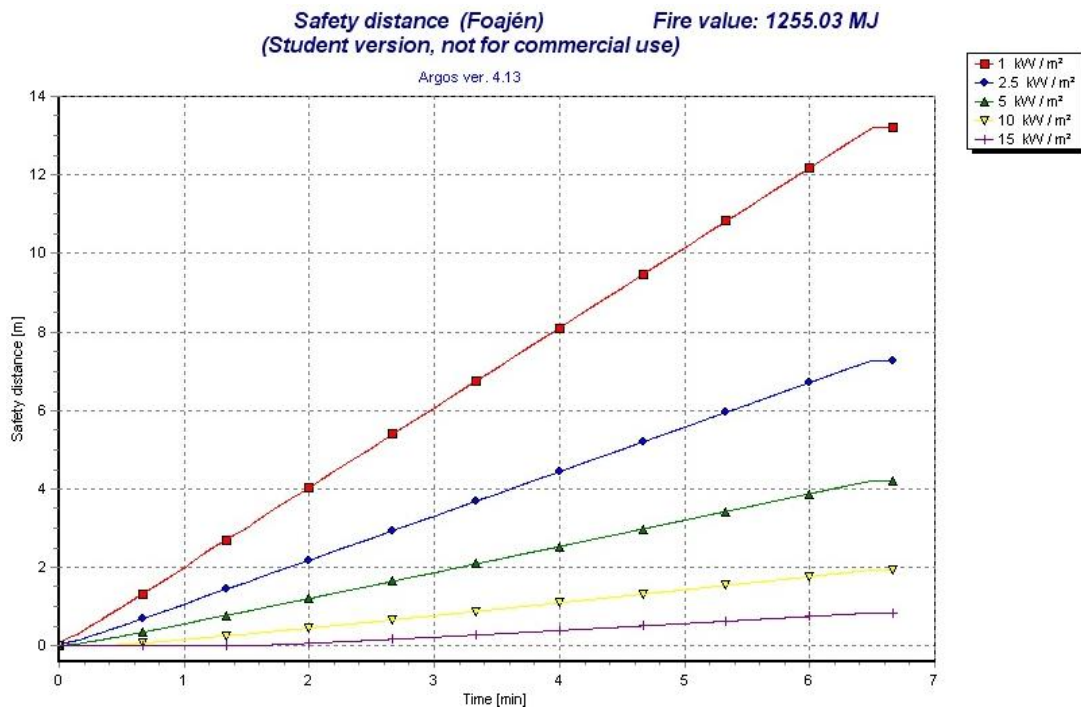
Strålningen från brandgaslagret uppnår maximalt $1,6 \text{ kW/m}^2$ efter knappt 6 min. Denna strålningsnivå är alltså från brandgaserna i brandrummet och kan tänkas bli högre på grund av strålning från flammen.

6.3.2 Strålning från flammor

Troligt är att strålningen från flammorna inte kommer att utsätta de personer som utrymmer för skadliga doser. Detta grundas på brandens relativt måttfulla effektutveckling i kombination med att personerna som befinner sig i utrymmet har relativt gott om plats för att ta sig bort från flammen. Strålningsnivån från flammorna beräknas ändå, vilket enklast görs genom Argos. En effektkurva liknande den i figur 6.4 används, förenklad till en αt^2 -kurva med tillväxthastigheten $0,059 \text{ kW/s}^2$. Anledningen till att den bara visar effekten fram tills dess att branden har pågått i drygt 6 min är att alla troligen redan har hunnit utrymma vid denna tidpunkt. Detta kommer att visa sig i 6.5

Utrymningsdimensionering.

Grundat på den angivna effektutvecklingen ger därefter Argos säkerhetsavstånd för olika strålningsnivåer, vilket redovisas i figur 6.6 nedan.



Figur 6.6. Från Argos angivna säkerhetsavstånd vid bestämda strålningsnivåer.

Vid den maximala strålningsnivån som tillåts, 10 kW/m², kan ur figur 6.10 avläsas att säkerhetsavståndet som mest är knappt 2 m. Då uppnår branden sin maximala effekt och därmed sin maximala flamstorlek. För det lägre kriteriet ges ett större avstånd, nämligen omkring 7 m. Observera att dessa nivåer uppnås endast då branden hunnit igenom hela sin tillväxtfas, efter 6 min. Troligt är att personerna i lokalen då redan hunnit utrymma.

6.4 Toxicitet

I plan 3 är förutsättningarna annorlunda än i plan 2 eftersom de brandgaser som har tagit sig upp dit omblandas väl på grund av balkongplymen och således mer kall luft inblandas. Därmed kan det tänkas vara en mer homogen blandning av brandgaser i plan 3. Enligt tidigare resonemang är temperaturen i brandgaslagret låg, dock inte tillräckligt låg för att förhindra ett brandgaslager från att uppstå (ΔT är högre än 30 °C).

Skiktningen bildas i plan 2 där den övre volymen kan tänkas innehålla stora mängder förbränningsprodukter. En monter kan bestå av en mängd olika material, eftersom det inte finns någon begränsning för vad som får tas med och visas i en monter. Exempelvis kan det vara en företagsmessa där företag tar med sig sin nya dyra produkt som innehåller knallgas eller sin maskot "Haren" som består av 100 % polyester. Således är det omöjligt att exakt bestämma eller göra en "typbrand" baserat på vad som brinner. För att få ett riktvärde kan monterbranden jämföras med ett kontor som innehåller stora mängder plast, papper och trä. När plast brinner bildas det, enligt Ingela Helmfrid doktorand inom biomedicin på LiUS, stora mängder halogena produkter. Dessa ämnen är extremt giftiga även i små koncentrationer och resulterar i att andningsorganen kollapsar.

Sammanfattningsvis kan det antas att de brandgaser som formar brandgaslagret innehåller stora mängder förbränningsprodukter. Exakt vilka ämnen som finns i brandgaslagret är svårt att fastställa varför det konservativt antas att brandgaserna kommer att vara giftiga. Av denna orsak får inga personer utsättas för detta brandgaslager och det får därför inte hamna på en lägre nivå än 1,9 m från golvet.

6.5 Utrymningsdimensionering

Nedan presenteras de förutsättningar, beräkningar och antaganden som används för att beräkna utrymningstiden för de personer som befinner sig i Sparbanksfoajén.

6.5.1 Detektionstid

I entrén och anslutande korridorer finns konventionella optiska rökdetektorer i takhöjd samt delvis över undertak. En monter innehåller en mängd olika material som till exempel trä, tyg och plast. Eftersom en brands rökutveckling är beroende av bland annat materialet som förbränns blir tid till aktivering av rökdetektorer svår att uppskatta. Det kommer dock finnas monterpersonal och besökare i anslutning till varje monter vilket leder till att manuell aktivering av utrymningslarmet kan vara möjlig. Vid manuell aktivering av utrymningslarmet förbigås larmlagringsystemet och larmet skickas direkt till räddningstjänsten.

6.5.1.1 Trolig dimensionerande detektionstid

Inga omfattande undersökningar har gjorts om hur villiga människor är att trycka på en larmknapp. Efter diskussioner med Håkan Frantzich, universitetslektor vid brandteknik, har bedömningen gjorts att manuell brandlarmsaktivering mycket sällan görs av besökare och att detta är mycket beroende av larmknappens placering i förhållande till branden. Om en person står mycket nära en larmknapp och därifrån ser branden är det möjligt att personen aktiverar larmet, men så sker inte under alla omständigheter.

Den dimensionerande detektionstiden för de som inte ser branden blir därför den tid det tar för de optiska rökdetektorerna att aktiveras adderat med den tid larmlagringsfunktionen tar i anspråk. De personer som inte antas se branden är de som befinner sig i anslutande korridorer. För de personer som befinner sig i entrén, nära montern som brinner, antas detektionstiden maximalt vara tiden tills brandens effektutveckling överstiger 40 kW vilket den gör efter 50 s, se figur 6.5. Som jämförelse är en brinnande papperskorgs effektutveckling omkring 80 - 100 kW. De som befinner sig närmare kommer dock uppfatta branden som ett hot tidigare än de som befinner sig längre bort ifrån branden. I rapporten används en "normalperson" som befinner sig i centrum av entrén. Denna person antas detektera branden när den har effektutvecklingen 200 kW, det vill säga efter 65 s, se figur 6.5. De personer som befinner sig i entrén men längst bort från branden antas detektera branden efter 80 s då branden har effektutvecklingen cirka 400 kW. Dessa tider är mycket svåra att bedöma men här har hänsyn tagits till brandens storlek och till att det börjar bildas ett brandgaslager i Sparbanksfoajén.

6.5.1.2 Optisk detektors aktiveringstid

För att beräkna brandgasdetektorernas aktiveringstid används datorprogrammet DETACT-T2, för beräkningar och antaganden se *Bilaga O – DETACT-T2*. Volymflödet av brandgaser är som störst i Sparbanksfoajén och enligt resultat från beräkningar med DETACT-T2 är aktiveringstiden för detektorerna där cirka 45 s. Detta stämmer överens med erfarenheter från brandgasdetektionsexperiment utförda tidigare i utbildningen.

6.5.1.3 Larmlagringstid

För att minska antalet falsklarm är brandlarmcentralen i Objektet utrustad med en larmlagringsfunktion, se rubrik 3.2.2 *Brandlarm*. Om en detektor aktiveras, aktiveras även larmlagringen. Eftersom utrymningslarmet inte aktiveras förrän larmet skickas till räddningstjänsten är tiden från aktivering av detektor till tiden för aktivering av utrymningslarm relevant. Denna tid benämns i denna rapport som "larmlagringstid". Larmlagringstiden kan inte beräknas utan resoneras fram ur konservativa antaganden.

Eftersom personalen är utrustad med komradio har de ständig kontakt med varandra. Det innebär att när larmet aktiveras kan en person ta sig till larmcentralen samtidigt som andra utreder detektionsorsaken. Personal kan finnas i eller i anslutning till foajén och hur dessa agerar är en viktig faktor i larmlagringstiden. Om någon i personalen aktiverar brandlarmet manuellt skickas larmet direkt till räddningstjänsten och larmlagringstiden förkortas avsevärt. Om personal istället försöker förhindra brandspridning genom att släcka branden på egen hand men misslyckas kommer larmlagringstiden bli förhållandevis lång.

Antagandet görs att det maximalt tar cirka 30 s att ta sig till larmcentralen för att kvittera larmet. Den tid det tar för personal att ta sig till brandrummet från det att man identifierat det antas maximalt vara 60 s. När brandförloppet pågått i 135 (60+30+45) s, den maximala tid det antas ta för personalen att ta sig till brandrummet, är brandens effektutveckling cirka 1 MW, se figur 6.5. Detta är en relativt stor brand och personalen antas trycka på en larmknapp. Om personalen anländer i ett tidigare skede antas det även att en släckinsats avbryts då brandens effekt överstiger 1 MW. Därför blir den maximala larmlagringstiden uppskattad till 135 s, enligt figur 6.5.

6.5.2 Besluts- och reaktionstid

Efter detektionstiden ska det, enligt formeln för tid till utrymning, följa en besluts- och reaktionstid. Denna tid kan vara beroende av om personen ser branden eller inte och även av om utrymningslarmet aktiverats eller inte, enligt Frantzich⁷. Bedömningen av besluts- och reaktionstiden är mycket svår att göra eftersom den innehåller många osäkerheter, i detta fall är den övervägande beroende av avståndet till branden. För att kunna simulera detta används en "normal" person som inte påverkas av brandens strålning eller rökutveckling under det inledande skedet av brandförloppet. Besluts- och reaktionstiden kommer dock ej att variera beroende på hur långt ifrån branden man befinner sig eftersom det i detektionsskedet tas hänsyn till detta. De riktvärden som

används för den "normala" personen är hämtade ur Delphiundersökningen i Frantzich⁷ där vi likställer Sparbanksfoajén med ett varuhus eftersom likartade förhållanden kan antas råda. Enligt denna undersökning kan tider redovisade i tabell 6.3 användas som besluts- och reaktionstid.

Tabell 6.3. Redovisar besluts- och reaktionstiden vid olika förutsättningar enligt Frantzich⁷.

| Förutsättning | Ser rök eller brand | Ser ej rök eller brand |
|--------------------------|---------------------|------------------------|
| Utrymningslarm aktiverat | 45 | 60 |
| Inget utrymningslarm | 105 | 240 |

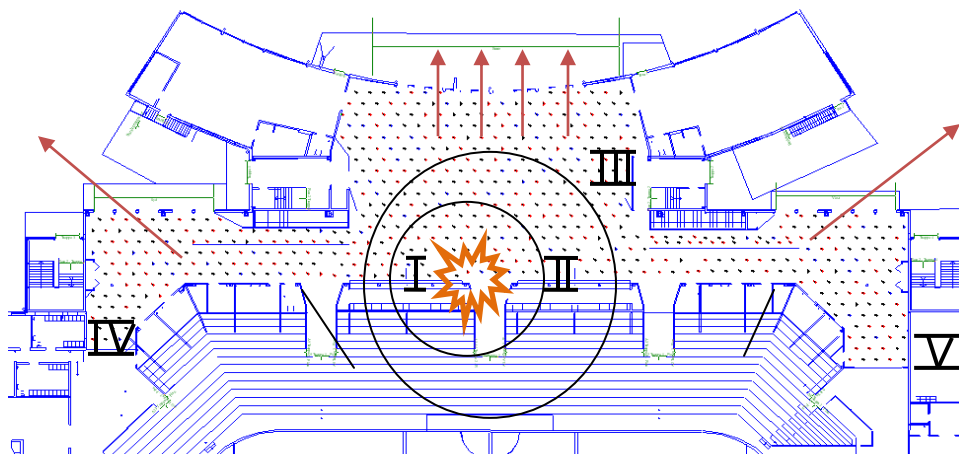
Besluts- och reaktionstiderna kommer dock inte enbart att baseras på värdena ur Frantzich⁷. De personer som befinner sig allra närmast branden kommer troligen börja dra sig undan redan tidigare, då strålningsnivåerna börjar bli besvärande. Hur lång denna tid blir baseras på avstånden vid olika strålningsnivåerna i figur 6.6. Då dessa personer dragit sig undan kommer en ny grupp av människor hamna närmast branden, även om strålningsnivåerna inte kommer att besvära dem fullt så mycket. Därför antas de utrymma enligt Frantzich⁷ tabell 6.4 ovan. Något man även bör ta hänsyn till är att brandgaslagrets höjd över marken i korridorerna är 1,9 m efter cirka 200 s. Då bör samtliga i korridoren ha påbörjat sin utrymning.

6.5.3 Tid för förflyttning

För att bestämma den ungefärliga tiden det tar för samtliga personer i lokalen att förflytta sig till säkerhet har en simulering gjorts i datorprogrammet Simulex, se *Bilaga P – Simulex*. Byggnadens geometrier har hämtats direkt från befintliga planritningar, se *Bilaga A – Planritningar*, i cad-format. I simuleringen av scenariot har 600 personer placerats i lokalen enligt figur 6.7. Detta är det maximala antalet personer som får befinna sig i lokalen samtidigt. Populationen består av män, kvinnor, barn och pensionärer vilka har olika egenskaper vad avser storlek och gånghastigheter.

6.5.3.1 Förutsättningar i simuleringen

Figur 6.7 nedan visar startuppställningen för simuleringen, liksom populationsfördelningen och brandens placering.



Figur 6.7 Visar indelningen av de 600 personer som placerats ut vid simulering av monterbranden i Simulex.

Allmän information om lokalen redovisas nedan.

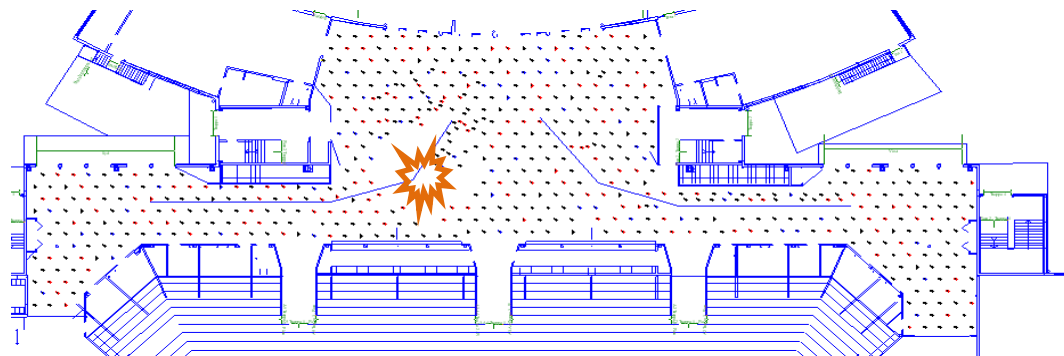
- Tre utrymningsvägar kommer att användas. Huvudentrén, södra utgången och västra utgången.
- Trapphusen kommer ej att användas som utrymningsvägar, se antaganden nedan.
- 30 % av populationen är män, 30 % är kvinnor, 30 % är barn och 10 % är pensionärer. För specifikationer av populationstyper se *Bilaga P – Simulex*.
- Population I ser branden, har detektionstiden 50 s, besluts- och reaktionstiden 15 s och utrymmer via entrén.
- Population II ser branden, har detektionstiden 65 s, besluts- och reaktionstiden 105 s och utrymmer via entrén.
- Population III ser branden, har detektionstiden 80 s, besluts- och reaktionstiden 105 s och utrymmer via entrén.
- Population IV ser ej branden, har detektionstiden 135 s, besluts- och reaktionstiden 45 s och utrymmer via södra utgången.
- Population V ser ej branden, har detektionstiden 135 s, besluts- och reaktionstiden 45 s och utrymmer via västra utgången.

6.5.3.2 Antaganden

Det finns tio olika utgångar från Sparbanksfoajén. Huvudentrén, två trapphus, södra och västra utgången, tre vägar mot arenarummet och två som leder in i korridoren omkring arenarummet, se figur 6.7. Vid simuleringen kommer endast huvudentrén, södra utgången och västra utgången att nyttjas eftersom endast dessa leder direkt till det ”fria”. Här finns flera dörrar på rad som är placerade så att de är svåra att missa när man går förbi dem. De är även glasinfattade så att man ser rakt ut till det ”fria”. Eftersom personer har tendensen att försöka ta sig ut samma väg som de kom in ses detta antagande som relativt verklighetsanpassat. I övrigt används Simulex standardvärden för de olika populationstyperna, se *Bilaga P – Simulex*.

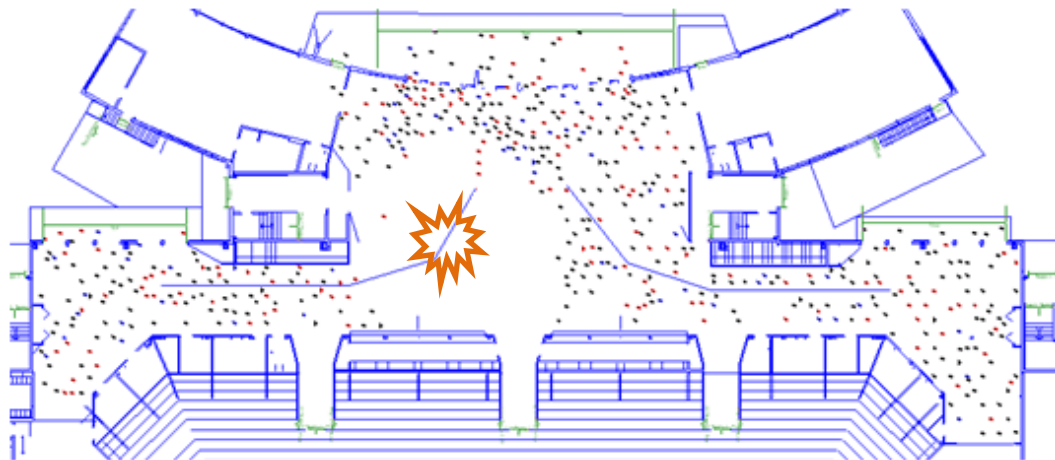
6.5.3.3 Simulering

Nedan visas hur simuleringen av utrymningen gick. Resultaten presenteras som tider då de olika byggnadsdelarna blivit helt utrymda.



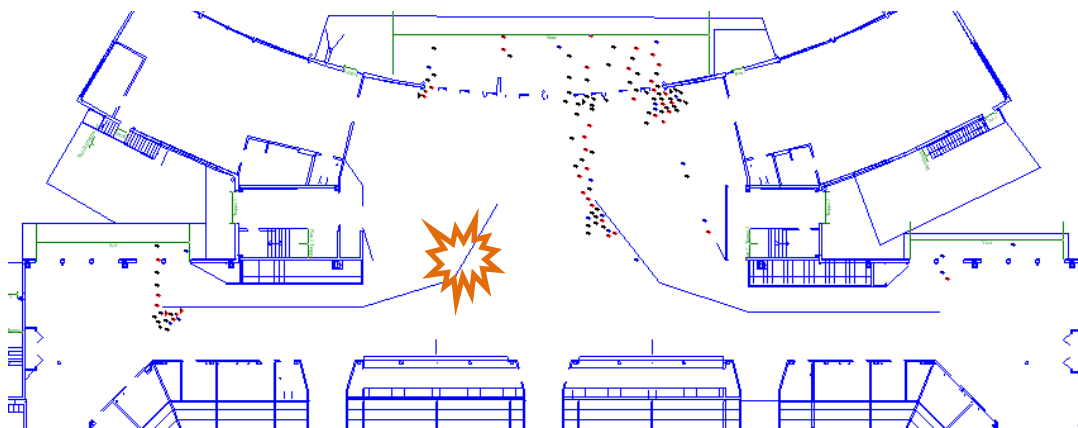
Figur 6.8. Monterbrandens utrymningssimulering efter 80 s. Endast de personer som påverkas av strålningen har rört på sig.

Efter 80 s har de närmast brandområdet påbörjat sin utrymning, se figur 6.9. Utrymningslarmet har ännu inte aktiverat.



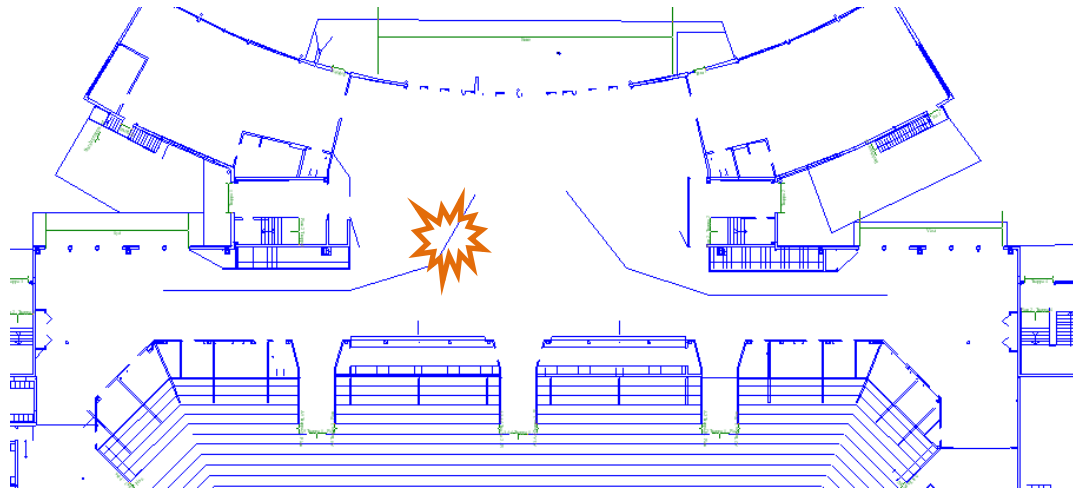
Figur 6.9. Monterbrandens utrymningssimulering efter 180 s.

Efter 180 s har larmet varit aktiverat i 45 s. En andra och tredje monter har antänts och brandeffekten överstiger 2 MW. Samtliga personer i lokalen har påbörjat sin utrymning och flera personer har redan utrymt, se figur 6.9. Flödet ut ur byggnaden är stabilt och inga större köer har bildats vid utrymningsvägarna. Plan 3 är fyllt med brandgaser och brandgashöjden i korridorerna närmar sig 2 m.



Figur 6.10. Monterbrandens utrymningssimulering efter 200 s.

Efter 200 s understiger brandgaslagrets höjd i södra korridoren 1,9 m och kritiska förhållanden inträffar. Personer befinner sig fortfarande i hela lokalen, västra korridoren är dock i princip utrymd, se figur 6.10. Brandeffekten är mer än 3,5 MW.



Figur 6.11. Monterbrandens utrymningssimulering efter 220 s. Notera även hjälplinjerna som finns till för att undvika onaturlig köbildning.

Efter 220 s är hela lokalen utrymd, se figur 6.11. De olika delarna av lokalen fick olika tider för utrymning enligt tabell 6.3.

Tabell 6.3. Anger utrymningstiderna för lokalen indelad i olika områden.

| Område | Utrymningstid (s) |
|-------------------|-------------------|
| Entré | 220 |
| Södra korridoren | 215 |
| Västra korridoren | 205 |

6.5.4 Slutsats utrymningstid

Tiden det tar att förflytta sig från Sparbanksfoajén ut till det "fria" (<40 s) är liten i relation till detektionstiden (50-135 s) samt besluts- och reaktionstiden (15-105 s). Detektionssystemet i Sparbanksfoajén är väl utformat och storleken på dörrarna i utrymningvägarna är överdimensionerade. Detta leder till att det är svårt att vidta några åtgärder för att minska utrymningstiden. Dimensionerande utrymningstid bestäms till 220 s.

6.6 Värdering

- Vilken effektutveckling kan uppnås genom monterarrangemanget i Sparbanksfoajén?
Via antagande om att effektutvecklingen följer a^2 -utseende uppnås genom tre monter en möjlig sammanlagd effekt på 9 MW med a -värdet $0,059 \text{ kW}/\text{s}^2$ eftersom a -värdet och tiden för antändning för varje monter varierar.
- Blir strålningen från branden kritisk?
Den blir ej kritisk eftersom brandgaslagret ej blir varmt utom nära branden. Alldeles intill branden stiger strålningsnivån snabbt, men som resoneras fram har personer omkring branden goda möjligheter att ta sig undan innan kritisk strålningsnivå uppstår.

- När och hur formas ett brandgaslager?
Det utbreder sig ett brandgaslager strax efter antändning på grund av den låga höjden, samtidigt som det bildas en balkongspillplym upp till plan 3. De stora volymerna resulterar i att brandgaslagret blir relativt kallt varmed det kan tänkas att det ej längre blir en tvåzonsfördelning, vilket dock har förutsatts. Brandgaslagret når den kritiska nivån 1,9 m efter cirka 200 s.
- Vilken temperatur och höjd kommer detta att få? Innebär det en fara på grund av strålning eller toxicitet?
Efter 200 s kommer höjden för brandgaslagret passera 1,9 m och ha temperaturen 120 °C nära branden och 70 °C ute i kanterna. Brandgaserna är giftiga.

Tiden tills brandgaslagret når sin kritiska höjd bygger på jämförelser mellan datorsimuleringar och handberäkningar. Argosimuleringen påvisar inte på att brandgaslagret når någon kritisk nivå vilket dock troligen beror på modellens begränsningar mot det aktuella fallet. Vid jämförelse mellan CFAST och handberäkningar framkommer ett värde då brandgaslagret når en kritisk nivå (1,9 m) på 200 s från det att branden uppstår. Tiden varierade +/- 20 s med varierande effektutveckling i datorsimuleringen. Tiden varierade även mellan 170 - 220 s i de mest troliga handberäkningarna för olika värden på α . Sammanfattningsvis ansåts det realistiska värdet till 200 s.

Utrymning kan möjligen fortsätta ske efter 200 s tack vare att brandgaslagret fortfarande ligger relativt högt i förhållande till höjden för en person. Dessutom kan temperaturen i brandgaslagret anses vara låg (<80 °C) ute i kanterna, se figur F.5. Området nära branden är dock betydligt osäkrare på grund av värmestrålning från flammen och högre temperatur från brandgaslagret omkring flammorna. En annan faktor som underbygger ett mer konservativt tänkande är att det brandgaslager som har bildas innehåller mycket giftiga gaser, även om temperaturen inte är kritisk. Ytterligare en faktor är att brandgaslagret har låg temperatur ute i sidorna av korridoren och varför en tvåzonsmodell inte längre är giltig utan brandgaserna snarare blandar sig homogent i rummet. *Den kritiska tiden 200 s anses därför fortfarande stämma väl överens med en trolig tid tills kritiska utrymningsförhållanden uppstår.*

Värmestrålningen visar sig bli ett mindre problem. Strålningen från brandgaslagret kommer inte upp i 2,5 kW/m² förrän efter drygt 350 s, en tid som med bred marginal överstiger de 220 s som satts som dimensionerande utrymningstid. Vid 220 s når strålningen endast 1,4 kW/m², vilket borde avta desto längre från branden man rör sig eftersom brandgaserna successivt kyls av. Strålningen från flammen kommer dock upp i betydligt högre nivåer. De personer som påverkas värst av strålningen borde trots allt inte ha några svårigheter att ta sig bort från flammen till strålningsfria, "säkra", områden. Inte heller resterande personer kommer att påverkas nämnvärt av strålningen. Efter 220 s, då utrymningen bedöms vara genomförd, ges säkerhetsavståndet endast 5 m vid 2,5 kW/m², se figur 6.8. *Med tanke på de stora avstånd som finns att tillgå i foajén kommer utrymnande personer inte att ha några problem att hålla sig utanför denna gräns varför förhållandena på grund av strålning ej kan anses bli kritiska.*

Vid jämförelse mellan tiden då kritisk höjd på brandgaslagret nås och tiden för utrymning inses att förhållandena ej är tillräckliga. Vid en mässa med maximalt antal personer i Sparbanksfoajén sker inte utrymning inom 200 s ens vid gynnsamma förhållanden. Ogynnsamma förhållanden kan vara exempelvis personer som helt plötsligt vänder om och

går mot strömmen på grund av att de har glömt något, handikappade personer som kan blockera utgångar, blockering av utrymningsvägar, missvisande vägledning eller andra saker som ej kan beskrivas i Simulex. Utrymningstiden är i jämförelse med tiden till kritiska förhållanden endast marginellt längre men på grund av alla osäkra faktorer är förhållandena ej tillräckliga bör därmed åtgärdas, se nedan.

6.7 Åtgärdsförslag

Enligt ovan krävs åtgärder i Sparbanksfoajén för att garantera personsäkerheten vid händelse av brand. Nedan redovisas förslag på vad som bör/skall åtgärdas i för att utrymningen ska kunna ske innan kritiska förhållanden uppstår. Åtgärderna skall således innebära att tiden tills kritiska förhållanden uppstår ökas, det vill säga tiden tills brandgaslagret har sjunkit till 1,9 m över markplan (plan 2). Det förutsätts för övrigt att ingen får vistas i plan 3 i Sparbanksfoajén då arrangemang hålls i markplan eftersom kritiska förhållanden här kan uppstå mycket hastigt.

En möjlig åtgärd kan vara att installera brandgasventilation i sådan omfattning att brandgaslagrets höjd från marken stabiliseras över 1,9 m. En alternativ åtgärd är att installera ett sprinklersystem i Sparbanksfoajén. Detta skulle innebära att brandens spridning och omfattning begränsas vid sprinkleraktivering. Dock innebär detta omfattande kostnader med avseende på installation, anläggning, inköp och driftunderhåll. Dimensionering av sprinklersystem avhandlas ej i denna rapport då det ej ingår i kursen "Brandteknisk riskvärdering".

6.7.1 Förslag till brandgasventilation

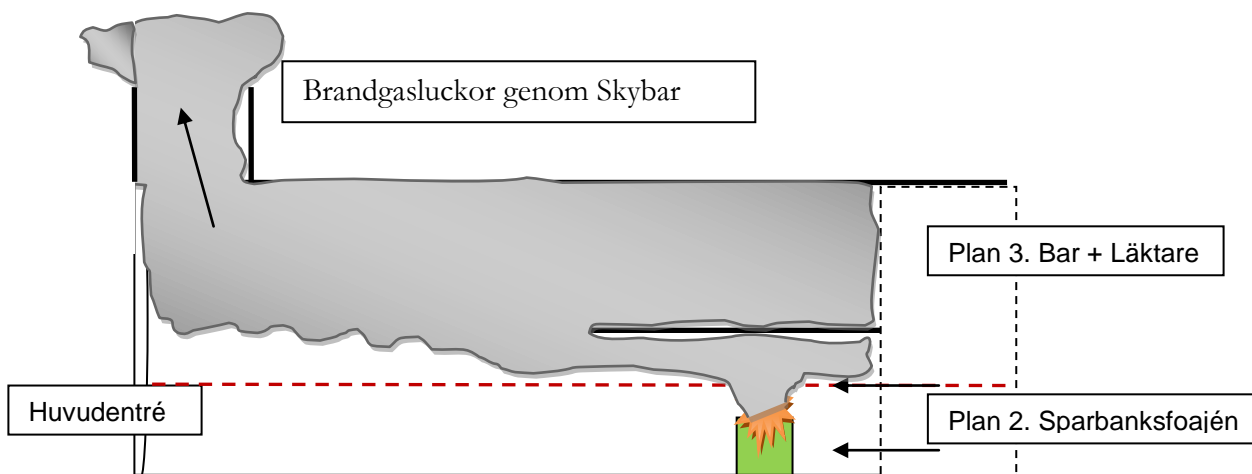
För att underlätta utrymningen krävs att brandgaserna på något sätt ventileras ut. Efter att ha undersökt olika alternativ kan det rekommenderas att brandgasventilation installeras i Sparbanksfoajén. Beräkningarna för brandgasventilation återfinns i *Bilaga F – Scenario 1 - Validering av brandgasluckor*, där det konstateras att med brandgasluckor på drygt 10 m² i Sparbankfoajéns tak, upp genom Sky Bar och ut till det fria, kommer tiden tills kritiska förhållanden förlängas såpass mycket att säker utrymning bedöms kunna ske. Något som också poängteras är betydelsen av tillräcklig tilluft.

6.7.2 Validering av brandgasluckor

För att kontrollberäkna resultaten från CFAST genomförs handberäkningar på ventilationen, också dessa beräkningar återfinns i *Bilaga F – Scenario 1 - Validering av brandgasluckor*. Valideringen bekräftar det som tidigare kommits fram till, nämligen att utrymningen kommer att säkerställas genom att den tillgängliga tiden för utrymning hamnar över den tid som faktiskt behövs. Storleken på ventilationen sätts till 13 m², vilket både i CFAST och handberäkningar visats ge goda tidsförhållanden vid utrymning.

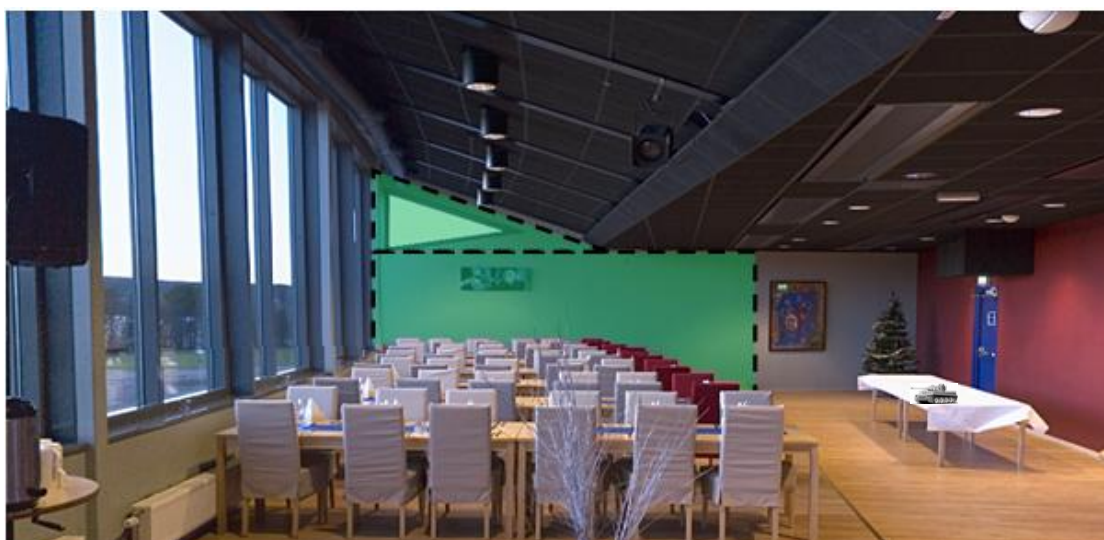
6.7.3 Diskussion kring brandgasventilation

För att öka personsäkerheten måste automatisk brandgasventilation med minsta ytan 13 m² installeras i Sparbanksfoajéns. Dessa luckor kan placeras enligt figur 6.12 och figur 6.13 på taket över Sky Bar om en kanal installeras genom detta utrymme. Brandgasluckorna kommer förhindra att brandgaslagret sjunker under den kritiska nivån 1,9 m.



Figur 6.12. Brandgaslagrets inställning efter att brandgasluckorna har öppnat sig.

Brandgaskanalerna leds genom Skybar och ut via taket eftersom den rundande framsidan har ett stort vindfång. Om brandgasluckorna placeras vertikalt, se figur 6.14. kan detta innebära stora konsekvenser, på grund av att en kraftig vind mot luckorna bildar ett övertryck och brandgaserna då istället kommer att leta sig nedåt och ut genom utrymningsvägarna, enligt diskussioner med Lars Jensen.



Figur 6.13. Bild över förslag på placering av brandgasventilation i skybar från sparbanksfoajén (www.ejendalsarena.se).

Om man rent hypotetiskt ändå placerar brandgasluckorna vertikalt i väggen måste man på något sätt garantera att en vind inte orsakar ett övertryck. Detta kan göras genom att man över entrétaket konstruerar plåtar som hindrar vinden och leder ut gaserna uppåt vilket vid vindpåverkan enbart borde orsaka ett undertryck. Annars kan man här i stället placera brandgasfläktar som drar ut gaserna och lämpligen leder dem vidare uppåt, se figur 6.14. Det skulle inte ta någon yta från Sky Bar och dessutom ta en mindre ventilationsyta i anspråk. Detta eftersom ett mekaniskt påtvingat flöde kräver en mindre utflödesarea än vad ett naturligt påtvingat flöde gör. Dock kräver mekanisk brandgasventilation underhåll och rutiner i större omfattning än vad brandgasluckor gör.



Figur 6.14. Visar principiellt var brandgasluckor kan placeras om man bygger ifrån sig problemet med övertryck utifrån orsakat av vind.

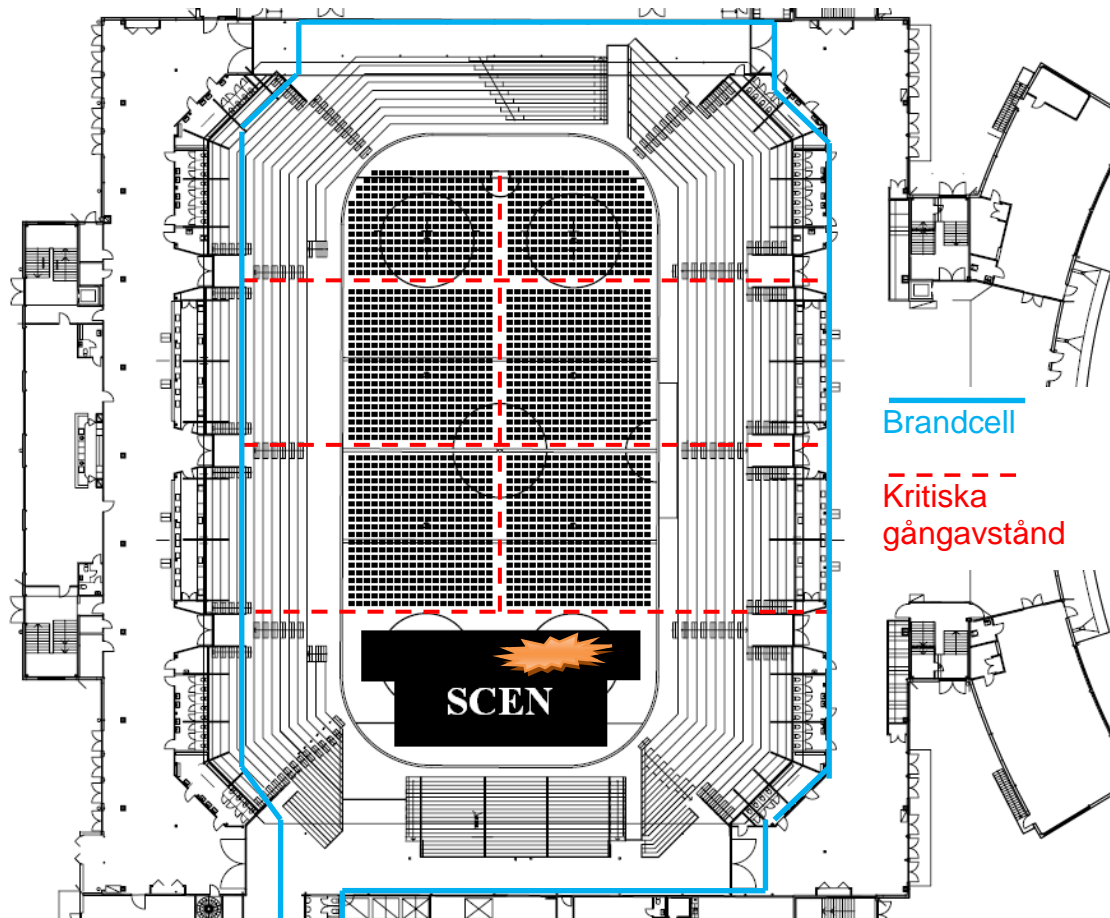
Fasaden är utförd enligt regler för en BR 1 byggnad och därmed krävs inga större åtgärder på fasaden i avseendet tändskyddande beklädnad. För att luckorna ska få erforderlig effekt krävs dock även att automatiska dörröppnare kopplade till brandlarmsaktivering installeras i utrymningsvägarna från södra och västra korridoren.

Slutsatsen är att brandgasventilation skall installeras i Sparbanksfoajén, alternativet som rekommenderas är att rökkanaler installeras från taket i huvudentrén genom Sky Bar och ut på taket över Sky Bar, se figur 6.14. I slutet av kanalen installeras automatiskt öppningsbara brandgasluckor med en minsta genomgående area på 13m^2 .

Ett bedömt sämre (dyrare och omständigare), men ändå fungerande alternativ, är att vertikalt installera brandgasfläktar i Sparbanksfoajéns yttervägg. Båda lösningarna syftar till att höja brandgaslagret vid brand och på så sätt uppfylla kravet att utrymning ska ske innan kritiska förhållanden uppstår.

7. Scenario 2 – Scenbrand i arenarummet

En av de brandorsaker som vi valt att undersöka vidare är brand i scenutrustning. Brandförloppet antas äga rum vid ett större evenemang som exempelvis en konsert. Vid event som detta anbringas stora mängder snabbt uppkopplad elektronik samt en avsevärd mängd dekor, möjligen tillsammans med pyroteknik och ljussystem för att ge publiken en upplevelse utöver det vanliga. Detta innebär att riskerna för antändning ökar och dessutom kommer persontätheten att ytterligare höjas, varför scenariot blir ett av de värsta tänkbara att dimensionera efter. En uppställd scen med publik på parkettplan samt publik på läktarna kan principiellt se ut som i figur 7.1 nedan.



Figur 7.1. Möjlig uppställning av scen och stolar vid konsert.

Scenariot kommer att inledas med att någon av all den elektronik som finns uppställd i anslutning till scenen kortsluter och antänder. Branden sprider sig sedan i all uppställd material som finns på och kring scenen, möjligtvis också till ståplatser bakom scenen eller någon av de uppställda stolarna, beroende på vilken strålning som uppkommer vid branden. Troligtvis kommer inte något brandgaslager att bildas i takhöjd, med tanke på lokalens stora volym, men om så skulle vara fallet tas detta givetvis med i värderingen av personsäkerheten. Tiden till kritiska förhållanden, som troligen kommer att utgöras av tiden tills dess strålningen mot stolarna på isen blir för hög, kan sedan jämföras med tiden det tar att utrymma arenan. Om resultatet blir otillräckligt för en viss uppställning av stolarna så

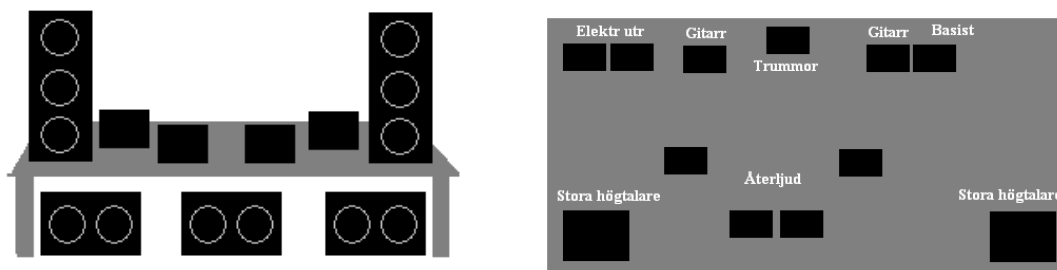
kommer en ommöblering på isen att genomföras, tills utrymningen kan gå tillräckligt snabbt och uppställningen kan rekommenderas. Frågorna vi ställer oss är alltså:

- Vilken effektutveckling kan en brand på scenen få?
- Kan ett brandgaslager formas?
- Grundat på ovanstående beräkningar – hur blir utrymningssituationen?

Beräkningsgång och simuleringsförlopp för scenariot beskrivs ingående i Bilagorna G-K.

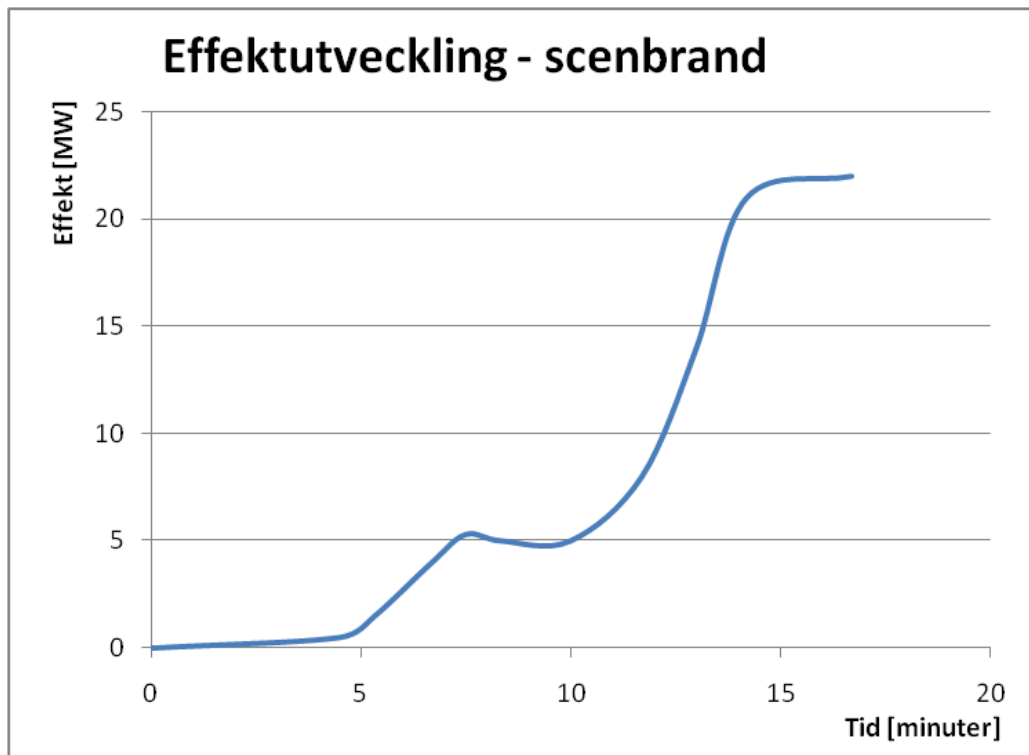
7.1 Effektutveckling

En modern scen består av ett antal olika beståndsdelar av vilka flertalet kommer att medverka vid en eventuell brand. Själva scenen, högtalare, back drops, instrument och mattor är exempel på olika beståndsdelar som var för sig har olika tillväxthastighet och skiljande maximal effekt. För att få fram en trolig effektutvecklingskurva förenklas brandförloppet till att innefatta sådant scenmaterial som oftast finns på plats vid konsert. I detta fall antas högtalare, scengolv av trä, hängande dekor och elektronisk utrustning finnas på eller under scenen enligt figur 7.2.



Figur 7.2. En uppställning av elektronik på scen. T.v. ses scenen framifrån (endast med den främre utrustningen) och t.h. ses scenen med dess utrustning ovanifrån.

Materialet har valts utifrån sin betydelse för branden och deras troliga effekt vid brand summeras sedan för att ge en troligt effektutveckling samt en teoretisk maxeffekt. Värderingar och analyser av hur en effektutvecklingskurva kan se ut behandlas i *Bilaga G – Scenario 2 - Effektutveckling* och resultatet visas i figur 7.3.



Figur 7.3. En trolig effektutveckling för scenbranden.

7.2 Brandgaslager

För att kunna avgöra när eller om kritiska förhållanden uppstår på grund av ett brandgaslager görs först simuleringar i brandsimuleringsprogrammet CFAST. Dessa jämförs sedan med olika handberäkningsmodeller. För att kunna göra dessa analyser beskrivs inledningsvis ventilationssystemets funktion eftersom denna i många fall är avgörande för hur ett brandgaslager formas. Vid varje simulering och beräkning görs även en känslighetsanalys genom variation av antagna värden.

7.2.1 Ventilationssystemet vid brand

Vid brand startar brandgasventilationen i arenarummets tak. Den består av åtta fläktar som normalt är stängda men som vid brand öppnar och ger ett flöde på $8 \times 4,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Vid brand öppnas även en port från Inlastningen till det "fria" automatiskt. Den ger en tilluftsöppning på $3,4 \times 4,0 \text{ m}^2$ men eftersom tvärsnittet i öppningen mellan arenarummet och Inlastningen endast är $3,4 \times 3,2 \text{ m}^2$ blir istället denna öppning dimensionerande.

En positiv effekt av brandgasfläktarna är att brandspridningen från hallen avsevärt försvåras. Fläktarna som suger ut luft genom taket skapar nämligen ett undertryck i arenarummet, som då i stället för att trycka ut brandgaser till intilliggande utrymmen suger in luft genom håligheter och dörrar.

7.2.2 CFAST

Ett av tillvägagångssätten för att simulera brandförlopp är att använda sig av en tvåzonsmodell. Grundprincipen för en tvåzonsmodell är att man vid ett brandscenario kan

indela rumsvolymen i två homogena zoner; en övre varm zon som innehåller brandgaser och en undre kallare zon med ”vanlig” luft. Genom brandplymen strömmar brandgaserna upp i den övre zonen. Med hjälp av kontinuitetsekvationer kan man få fram faktorer som temperatur och på vilken höjd gränsskiktet mellan de två zonerna befinner sig.

Denna princip används i datorprogrammet CFAST, i vilket det valts att simulera scenbranden. Simulering görs med vetskap om att en brand med effekten 100 MW skulle krävas för att uppfylla programmets begränsningar i arenarummet. Det betyder att effekten som scenbranden producerar är avsevärt för liten. Eftersom få andra program kan simulera rådande förhållanden bättre är ändå förhoppningen att resultaten ska kunna användas i viss utsträckning. Resultaten jämförs till viss del med handberäkningar för att underbyggas. För utförligare beskrivningar av simuleringsförloppet samt handberäkningarna se *Bilaga H – Scenario 2 - Beräkningar för brandgaslager*.

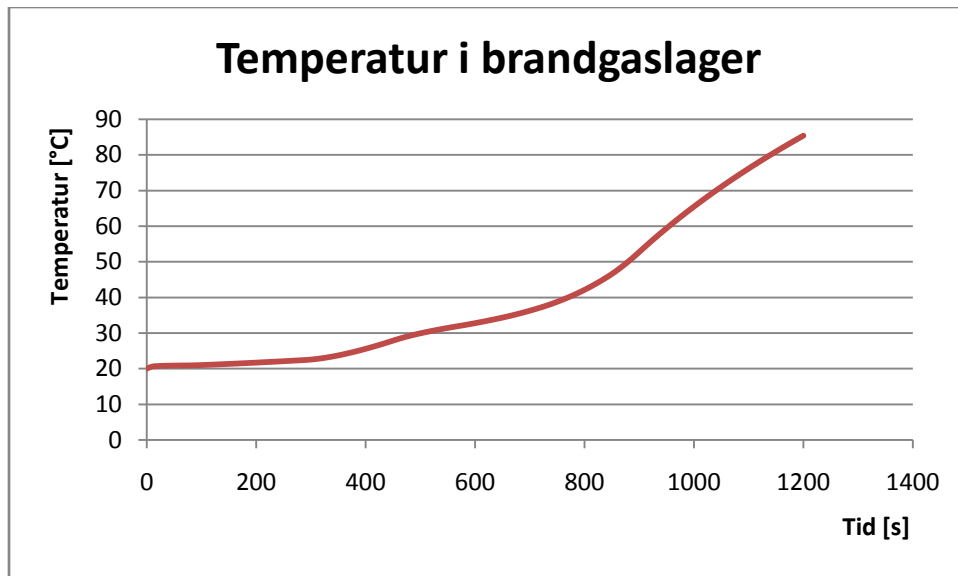
7.2.3 Resultat brandgaslager

Simulering av brandförloppet ger resultatet att ett brandgaslager bildas i ett tidigt skede av brandförloppet. Enligt simuleringen minskar brandgaslagrets höjd från marken med tiden enligt figur 7.4.



Figur 7.4. Redovisar brandgaslagrets höjd som funktion av tiden vid simulering av scenbranden i CFAST.

Vidare kan man även i simuleringsresultaten se temperaturen i det bildade brandgaslagret. Detta redovisas i figur 7.5.



Figur 7.5. Redovisar temperaturen i brandgaslagret som funktion av tiden vid simulering av scenbranden i CFAST.

Eftersom brandgaslagret är relativt kallt ges en indikation på att en tvåzonsskiktning egentligen ej inträffat då brandgasernas stigningskraft ej är så stor. Detta innebär att väl omblandade förhållanden kan råda. För att undersöka detta närmare används två olika handberäkningsmodeller, redovisade i *Bilaga H – Scenario 2 - Beräkningar för brandgaslager*, vilka båda ger resultatet att en skiktning av brandgaserna inte inträffar före 15 min in i brandförloppet.

Sammanfattningsvis, ur handberäkningar och CFAST, kommer inte någon skiktning att ha bildats 15 min in i brandförloppet eftersom skillnaden mot omgivningstemperaturen är mindre än 30 K. Detta är en vedertagen minsta temperaturdifferens för att skiktning ska uppstå.

7.3 Strålning

Riktvärdena ur Boverket¹ säger att som kritiska förhållanden avseende strålningsintensitet gäller 2,5 kW/m² eller en kortvarig strålningsintensitet på maximalt 10 kW/m². Resultaten från beräkningar av flamstrålning kommer att presenteras baserade på två olika framtagningssätt (Argos och handberäkningar) som därefter kommer att jämföras. Inledningsvis beräknas dock strålningen från brandgaserna genom simulering i CFAST.

7.3.1 Strålning från brandgaser

Ett speciellt hjälpmedel i CFAST för att beräkna strålningen från brandgaslagret har använts. Enligt punkt 7.2.3 *Resultat brandgaslager* kommer inget distinkt brandgaslager formas, men brandgaserna i sig kommer fortfarande att vara varma. Då kan strålningsvärdet beräknat i CFAST representera den maximala strålningen någon utsätts för från brandgaserna i hela arenarummet. Simuleringsförloppet redovisas i *Bilaga I – Scenario 2 - Strålningsberäkningar*.

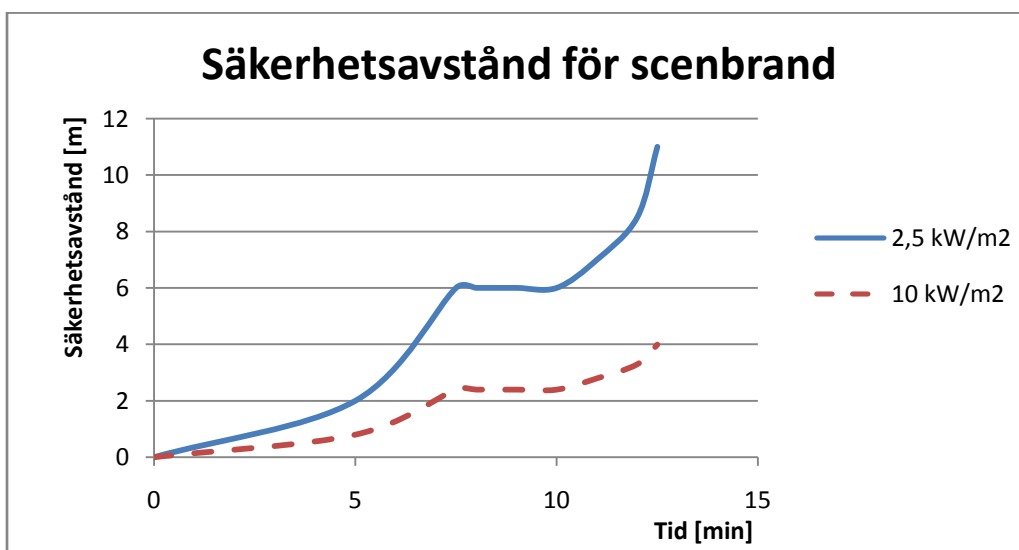


Figur 7.6. Redovisar strålningen mot objekt som befinner sig på den övre läktaren.

Figur 7.6 visar CFAST-simuleringens resultat för strålning mot den övre läktaren. I simuleringen befinner sig övre läktaren inuti brandgaslagret och detta strålningsvärde kan anses representativt för hela arenan eftersom beräkningar och simuleringar visar att väl omblandade förhållanden bör råda. Den maximala strålningsnivå som uppkommer inom 20 min är $0,4 \text{ kW/m}^2$ vilket är väl under den kritiska som enligt Boverket¹ är $2,5 \text{ kW/m}^2$.

7.3.2 Strålning från flammor

Om personer befinner sig i närheten av scenen när den brinner kan strålningen från flammorna överstiga riktvärden för kritiska förhållanden. För att undersöka på vilket avstånd en person utsätts för denna kritiska strålningsnivå används brandsimuleringsprogrammet Argos samt handberäkning av strålning. Simulering- och beräkningsgången redovisas i *Bilaga I – Scenario 2 - Strålningsberäkningar*.



Figur 7.7. Sammanvägt säkerhetsavstånd från flammorna, baserat på Argos och handberäkningar.

Vid en jämförelse av resultaten från datorsimuleringarna och resultaten från handberäkningarna visar det sig att dessa stämmer någorlunda väl överens och en sammanvägning av resultaten presenteras i figur 7.7.

Kriteriet för strålningen kommer bero på tiden. Allteftersom branden utvecklas ges nämligen ett ökande säkerhetsavstånd som måste beaktas vid utrymning. Någon kort exponering av 10 kW/m^2 kommer troligen inte att uppstå då det rör sig om stora utrymmen i lokalen och ett tillräckligt avstånd från branden inte bör vara svårt att hålla. Därför ses till den lägre nivån av strålning ($2,5 \text{ kW/m}^2$) för vilken personerna som utrymmer maximalt får vara utsatta under längre tider. Om personer ej kan förflytta sig tillräckligt långt bort från branden kommer kritiska förhållanden att uppstå. Detta diskuteras vidare under punkt 7.6 *Värdering*.

7.3.3 Sammanfattning strålning

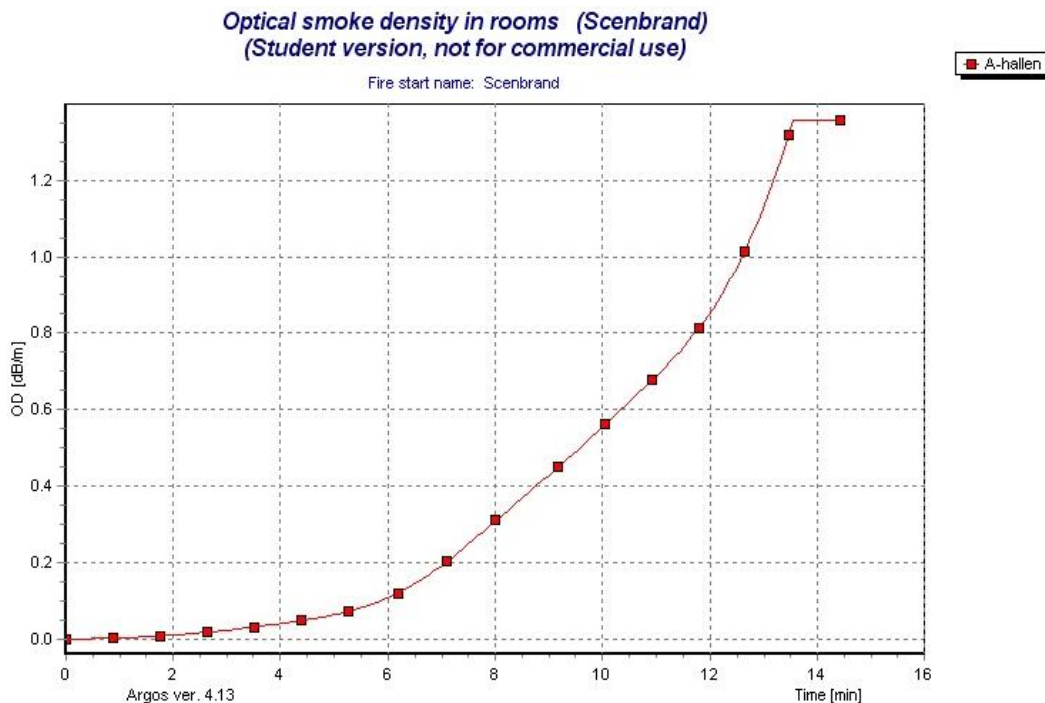
Strålningen från brandgaslagret kommer enligt beräkningar utförda i denna rapport inte uppnå några kritiska nivåer. Dock kan personer som befinner sig nära scenen utsättas för strålningsnivåer, från flammor, över de som Boverket¹ anger är kritiska om man utsätts för dem under en längre tid ($2,5 \text{ kW/m}^2$). En undersökning av personers möjligheter att förflytta sig bort från scenen görs därför och resultatet presenteras under punkt 7.5.3 *Tid för förflyttning*.

7.4 Siktbarhet och toxicitet

Riktvärdena ur Boverket¹ säger att kritiska förhållanden beträffande siktbarhet uppnås vid en brandgasnivå lägre än $1,6 + (0,1 \times H)$ m, eller en siktsträcka på mindre än 10 m (i okänd miljö). Eftersom inget brandgaslager bildas ses endast till det senare kriteriet. Skadliga nivåer för giftiga gaser tas fram ur Brandskyddslaget². Här anges att säker utrymning kan genomföras vid nivåer lägre än 2000 ppm CO eller 5 % CO₂. För syre bör koncentrationen ligga över 15 %.

7.4.1 Siktbarhet

Återigen kommer tvåzonsprogrammet Argos att användas, denna gång tack vare att det bland dess resultat ingår diagram över hur siktbarheten förändras vid brand. För ytterligare information om simuleringsförloppet se *Bilaga J – Scenario 2 - Siktbarhet och toxicitet*. Efter simulering av scenbranden fås följande diagram över siktbarheten i arenarummet, se figur 7.8



Figur 7.8. Siktbarheten i arenarummet vid scenbrand.

Vid simulering ger programmet beskedet att kritiska förhållanden uppnås efter tolv och en halv minut då den optiska densiteten per meter överskrider 1 dB/m (Obscura). Sikten blir därmed kortare än 10 m. Kriteriet för utrymning med avseende på siktbarheten sätts därför till att samtliga personer i lokalen bör ha utrymt 12 min efter det att branden har startat.

7.4.2 Toxicitet

För människan skadliga nivåer av giftiga gaser tas fram ur Brandskyddslaget². För att säker utrymning ska kunna genomföras bör nivåerna ligga lägre än 2000 ppm CO och 5 % CO₂. För syre bör koncentrationen ligga över 15 %.

För att bedöma toxiciteten i brandgaserna används en förenklad handberäkningsmodell vilken beskrivs närmare i *Bilaga J – Scenario 2 - Siktbarhet och toxicitet*. Jämförs de värden som räknats fram med kritiska värden som tidigare angetts blir resultaten som i tabell 7.1.

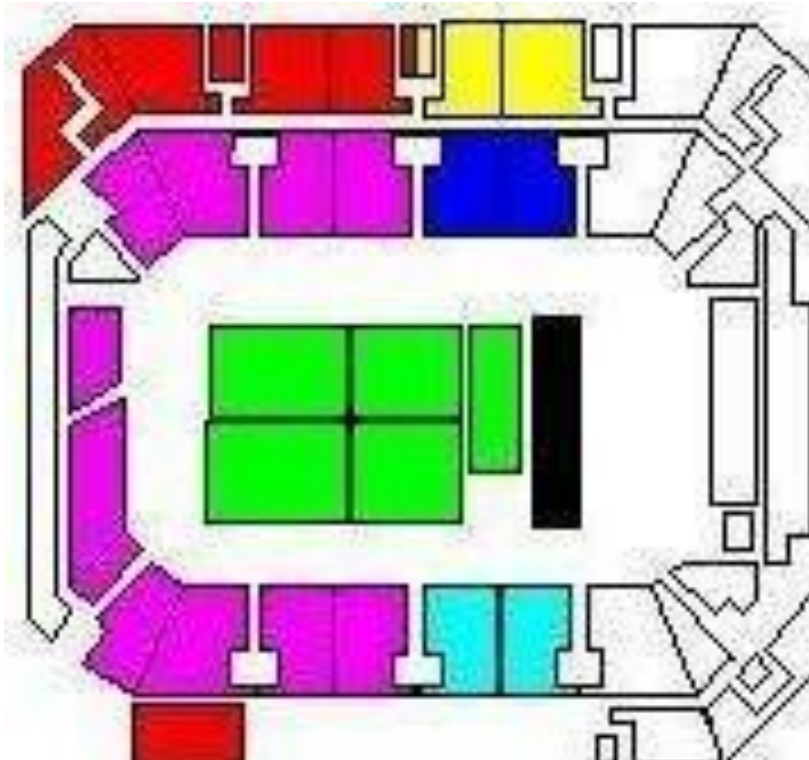
Tabell 7.1. Jämförelse mellan kritiska och beräknade koncentrationer av gaser.

| | CO | CO ₂ | O ₂ |
|------------------------|-----------|-----------------|----------------|
| Kritisk koncentration | >2000 ppm | >5 % | <15% |
| Beräknad koncentration | 1300 ppm | 0,3 % | 20,7% |

Slutsatsen blir att utrymning kan genomföras säkert fram till 900 s (15 min) efter antändning sett till toxiciteten.

7.5 Utrymningsdimensionering

Vid utrymningsdimensioneringen i detta scenario antas att ett större evenemang pågår i Arenarummet.



Figur 7.9. Arenarummets utrymmen med publik vid melodifestivalen 2009 (www.ticnet.se).

För att få en uppfattning om hur många personer som kan befinna sig i Arenarummet vid ett sådant evenemang kontaktades företaget Blixten, som är arrangör för melodifestivalen 2009. Melodifestivalens tredje deltävling kommer nämligen äga rum i Ejendals Arena. Enligt deras uppgifter kommer 6100 personer vistas i lokalen och de kommer att befinna sig i de färgade sektioner som framgår av figur 7.9 ovan.

7.5.1 Detektionstid

Detektionstiden utgör tiden från det att branden startar tills dess att den upptäcks. I fallet med scenbrand kommer troligen branden att rent visuellt upptäckas tidigt från de främsta bänkraderna. Det samplande systemet som används i lokalen kommer att ta en något längre tid på sig då det krävs att en viss mängd brandgaser ska ta sig upp till samplingspunkterna i taket innan detektion sker. En fullständig diskussion och framtagning av detektionstiden presenteras i *Bilaga K – Scenario 2 - Utrymning*, där det bland annat tas hänsyn till hur lång tid det samplande systemet tar på sig för detektion

Enligt resonemanget i bilagan sker scenariot med avseende på larmlagringstiden enligt följande:

- Efter 235 s aktiveras larmet genom samplingsystemet, larmlagringstiden börjar.
- Efter 265 s finns personal vid larmlagringscentralen som identifierar brandens placering till brandrummet.
- Efter 300 s lokaliserar branden och utrymningslarmet aktiveras, larmlagringstiden slutar.

7.5.2 Besluts- och reaktionstid

Efter detektionstiden följer en besluts- och reaktionstid. Denna tid baseras på samma Delphiundersökning som används i scenario 1, se *Bilaga K – Scenario 2 - Utrymning*. Besluts- och reaktionstiden antas börja efter 300 s. Då aktiverar utrymningslarmet och branden har nått dekoren vilket gör att branden blir synlig för samtliga i arenarummet.

I enlighet med tabell 6.3 är beslut och reaktionstiden, för en person som ser branden då ett informativt talat utrymningslarm är aktiverat, 45 s. Denna tid kommer sannolikt att variera mellan olika personer, beroende på ett flertal faktorer. Exempel på sådana faktorer är till exempel avståndet från branden, medvetenhet om branden och hur personer uppfattar hotbilden som branden skapar. Vissa kommer exempelvis troligen att uppfatta branden som en del av showen till en början. En kompensation för detta görs i besluts och reaktionstiden genom att införa en "normalperson" som befinner sig mitt på arenagolvet. Denna person påverkas inte av någon strålning men kan se branden efter 300 s. Denna person får då besluts- och reaktionstiden 45 s. De personer som befinner sig närmare branden har en kortare besluts- och reaktionstid.

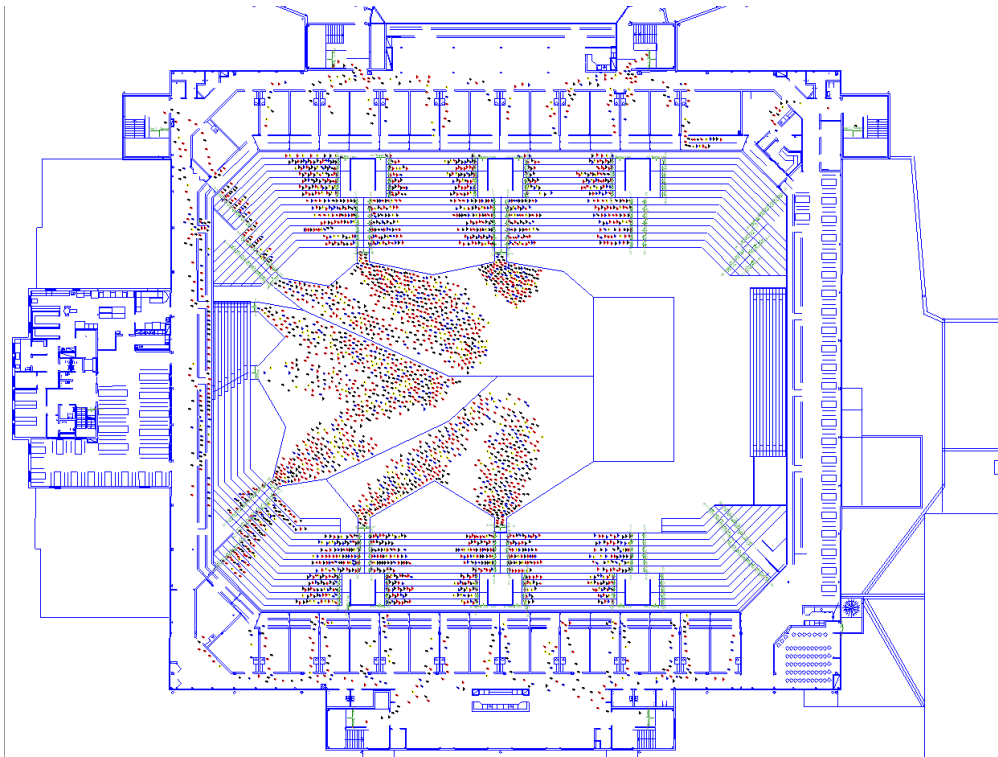
Antagandet görs att de personer som sitter närmast branden befinner sig på avståndet fem meter från den. Strålningsintensiteten från branden är efter 300 s under 1 kW/m^2 , se figur 7.7, vilket inte behöver vara en strålningsnivå som får en person att flytta på sig. Man bör dock börja känna obehag då man även kan se branden. Efter 300 s ökar brandens flammor snabbt i area då dekoren börjar brinna. Detta leder i sin tur till en snabb ökning av strålningsnivån. De personer som sitter inom en radie av 10 meter från branden bör därför börja utrymma tidigare än de som befinner sig längre ifrån. Antagandet görs att de börjar utrymma 40 ± 5 s före "normalpersonen", det vill säga 305 ± 5 s efter att branden har börjat. Besluts- och reaktionstiden ökar sedan efterhand som avståndet från branden ökar. Personer som befinner sig på samma eller större avstånd än "normalpersonen" samt de som befinner sig på läktaren antas ha samma besluts- och reaktionstid som "normalpersonen".

7.5.3 Tid för förflyttning

För att bestämma den ungefärliga tiden det tar för samtliga 6100 personer i lokalen att förflytta sig till säkerhet har en simulering gjorts i datorprogrammet Simulex., där byggnadens geometrier har hämtats direkt från befintliga planritningar i cad-format.

I *Bilaga K – Scenario 2 - Utrymning* redovisas mer exakt hur förutsättningarna har bestämts och hur själva simuleringen gått till (en principbild ur simuleringen visas i figur 7.10 nedan). Bland annat har fördelningen av människorna som finns i utrymmet

(reaktionstider med mera) definierats och avvikelserna som uppkommer vid simuleringen kommenteras. Främst handlar det om personer som "låser sig" på en plats utan anledning och på så sätt hindrar flödet för utrymmet som helhet. Att lokalisera och ändra alla de personer i simuleringen som på detta sätt "låste sig" visade sig snabbt vara en åtgärd som tog orimligt lång tid. Det stora personantalet medförde nämligen också att varje sekund i utrymningen tog drygt trettio sekunder för programmet att simulera.



Figur 7.10. Simulering av utrymning ur A-hallen sett ur ett snitt från plan 3, 360 s in i simuleringen.

En annan sak som behandlas i *Bilaga K – Scenario 2 - Utrymning* är problemet med strålningspåverkan direkt från flammorna. Dock visar det sig vid simuleringen att personerna närmast flammorna har tillräckligt med utrymme för att kunna ta sig till ett mindre utsatt avstånd från flammorna och på så sätt klarar de sig undan kritiska förhållanden med avseende på strålning.

Resultatet ur simuleringen ger att förflyttningen vid optimala utrymningsförhållanden tog runt 300 s, vilket totalt sett gav 600 s från det att branden startade tills dess att alla var ute.

7.5.4 Slutsats utrymning

Vid detta scenario är tiden för detektion samt besluts och reaktion (300 s) en tid som är trolig. Detta för att brandförloppet eskalerar efter 300 s och sannolikheten för att utrymningslarmet aktiveras vid denna tidpunkt är hög. Det är dock svårare att uppskatta tiden för förflyttning ut ur arenarummet (>300 s). Detta för att många fel uppkommer vid en så stor simulering och för att det är svårt att uppskatta personers mobilitet.

Summan av ovanstående, 600 s, är den optimala utrymningstiden men ej den dimensionerande vilket diskuteras vidare under punkt 7.6 *Värdering*.

Slutsatsen som ges ur simuleringen specifikt inriktad på strålningspåverkan ger att åskådarna som befinner sig närmast flammorna klarar av att ta sig bort från den värsta strålningen och utrymma säkert.

7.6 Värdering

- Vilken effektutveckling kan en brand på scenen få?
Effektutvecklingen blir enligt figur 7.4, med en maximal effektutveckling på 22 MW.
- Kan ett brandgaslager formas?
Troligt är att ett brandgaslager bildats efter cirka 15 min.
- Grundat på ovanstående beräkningar – hur blir utrymningssituationen?
Endast siktbarheten hamnar på nivåer som kan anses vara kritiska. Med tanke på utrymningssituationen godtas förhållandena ändå (se nedan).

Tiden för utrymning är svår att bestämma med hjälp av en simulering. Detta på grund av att många avvikelser från verkligheten förekommer vid en så stor simulering. Tiden till att plan 4 utryms bör vara under 10 min eftersom planet, vid simuleringen, var i princip utrymt efter cirka 8 min. Man bör även tänka på att någon form av värd som hjälper varje sektion med utrymningen är en fördel för att minimera utrymningstiden.

Tiden för att utrymma arenarummet är dock mer än 10 min. Tiden det tar att utrymma en sektion var 10 min vid goda förhållanden men den förenklade simuleringen visar tydligt att utrymningstiden ökar ju mer trängsel som förekommer vid utrymningen. Med goda förhållanden menas att det ej förekommer några incidenter, till exempel att någon ramlar i trappan eller vänder om och går mot strömmen för att hämta sitt barn. Om resultaten i denna simulering är jämförbara med verkligheten kan man anta att utrymningstiden är mellan 10 och 15 min. Denna tid ska jämföras mot tiden tills kritiska förhållanden uppstår.

Trots att CFASTs giltighetsområde överträtts blev den första reaktionen då diagrammet med brandgaslagrets höjd sågs, se figur 7.4, att något måste ha gjorts fel vid simuleringarna. Därför gjordes även handberäkningar för jämförelse av resultatet. Vid närmare eftertanke, speciellt i kombination med temperaturen i brandgaslagret, behöver simuleringen i CFAST inte ha fel ingångsvärden. Resultatet från simuleringen är snarare en produkt av att programmet momentant antar en tvåzonsmodell och inte väl omblandade förhållanden. Brandgaslagret må sänka sig mycket snabbt, men med en så låg temperatur som det initialt har är det snarare att betrakta som en olägenhet än ett kritiskt förhållande. Det faktum att det i simuleringen bildas ett brandgaslager vid en så liten temperaturskillnad som 5-30 K är högst orealistiskt. I arenarummet bör det snarare handla om brandgaser som är mycket utblandade med luften och därför ger en låg koncentration brandgaser i hela utrymmet.

Genom avläsning i temperaturdiagrammet, figur 7.5, kan det konstateras att kritiska förhållanden ur temperatursynpunkt inte bör vara något problem vid utrymning. Tiden tills

temperaturen uppnår 80 °C avläses till omkring 1200 s (20 min) och vid det laget bör utrymning ha skett. Dock ska hänsyn tas till att temperaturen i verkligheten inte är homogen i ett brandgaslager, vilket förutsätts i en tvåzonsmodell. I övre halvan av brandgaslaget kommer sannolikt 80 °C att uppnås tidigare. Denna tidpunkt bedöms komma 900 s efter antändning, då medeltemperaturen i brandgaslaget enligt tvåzonsmodellen CFAST är omkring 50 °C. *Kritiska förhållanden med avseende på temperaturen uppnås alltså efter tidigast 900 s (15 min) varför personsäkerheten med avseende på temperaturen kan anses vara tillräcklig.*

I det nuvarande brandgasventilationssystemet säkras tilluften genom en öppning till det "fria" via Inlastningen. Om denna metod är den bästa kan ifrågasättas. Tilluften genom ventilationssystemet i arenarummet är enligt ritning V57-01-51 fullt tillräcklig (41 m³/s) för att säkra tilluften om det konventionella frånluftsystemet inaktiveras. Denna metod innebär att man undviker att förlita sig på två automatiskt öppnade portar.

Om strålningseffekten mot en person överskrider 2,5 kW/m² eller temperaturen där någon vistas överskrider 80 °C uppnås kritiska förhållanden. Jämför man temperaturen i brandgaslaget (figur 7.5) med strålningen från brandgaslaget mot den övre läktaren (figur 7.6) kan man konstatera att kritiska förhållanden med avseende på temperaturen kommer att uppnås tidigare än kritiska förhållanden med avseende på strålning från brandgaslaget. *Kritiska förhållanden med avseende på strålningsnivån från brandgaslaget uppstår ej innan arenarummet är utrymt.*

Strålningen som orsakas av själva flammen beräknades separat. En simulering genomfördes för den del av publiken som befann sig närmast flammorna och utrymde genom samma utrymningsväg. Resultatet från simuleringen blev att alla lyckades ta sig ut utan att utsättas för kritiska strålningsförhållanden, trots om köbildningen vid trappan blev omfattande. I verkligheten bör ej stolsuppställningen likna den som används i simuleringen. Den uppställning som användes i simuleringen försvårade utrymningen avsevärt och simuleringen genomfördes därmed på ett konservativt sätt. Regler för uppställning av stolar medför i detta fall bland annat att alla på en rad inte behöver utrymma åt sidorna, utan kan ta sig in mot mitten och därefter bakåt i lokalen, Frantzich¹⁴. På så sätt kan den värsta strålningen från branden undvikas, även om persontätheten i den bakre delen av lokalen kommer att öka. *Kritiska förhållanden med avseende på strålning från flammorna uppstår hur som helst inte.*

Siktbarheten kommer med stor sannolikhet att bli det svåraste kriteriet att uppfylla. Som tidigare visats genom simuleringar i Argos kommer kritiska förhållanden att uppnås 12 min efter brandens start och då är det inte säkert att alla åskådare har hunnit ut. Tiden för utrymning av hallen har bedömts till mellan 10 och 15 min. Efter 12 min kan arenan vara utrymd, men det kan också finnas en mindre mängd åskådare kvar. Dessa åskådare kommer med stor sannolikhet att stå i köerna som bildats vid utgångarna och därför befinna sig i anslutning till en utgång. Eftersom de varken utsätts för några höga temperaturer eller höga strålningsnivåer kan man diskutera om detta verkligen är ett kritiskt förhållande. Då de står i nära anslutning till en utgång och enkelt kan ta rygg på de personer som utrymmer framför så bör det ej vara några svårigheter att hitta ut. *Kritiska förhållanden med avseende på siktbarhet enligt Boverket¹ uppnås efter 12 min. Om personer finns kvar i arenan vid denna tidpunkt kan ändå siktbarheten anses vara tillräckligt god för att utrymma.*

Att siktbarheten var låg godtogs i förra stycket, men detta bör också underbyggas med en diskussion om brandgasernas toxicitet. Att vistas i brandgaser innebär ju inte enbart en risk för att inte hitta ut, men också att bli utsatt för giftiga gaser som bland annat kan försvåra andningen. Som beräknats och visas i tabell 7.1 kommer dock inte gaserna att försvåra utrymningen nämnvärt under de 15 min som det maximalt tar tills utrymningen är helt genomförd. Toxicitetens låga nivåer är ytterligare en faktor förutom temperaturen och siktbarheten som kan tillskrivas arenans omfattande luftvolym. *Brandgasernas toxicitet kommer alltså inte upp i nivåer som försvårar utrymningen.*

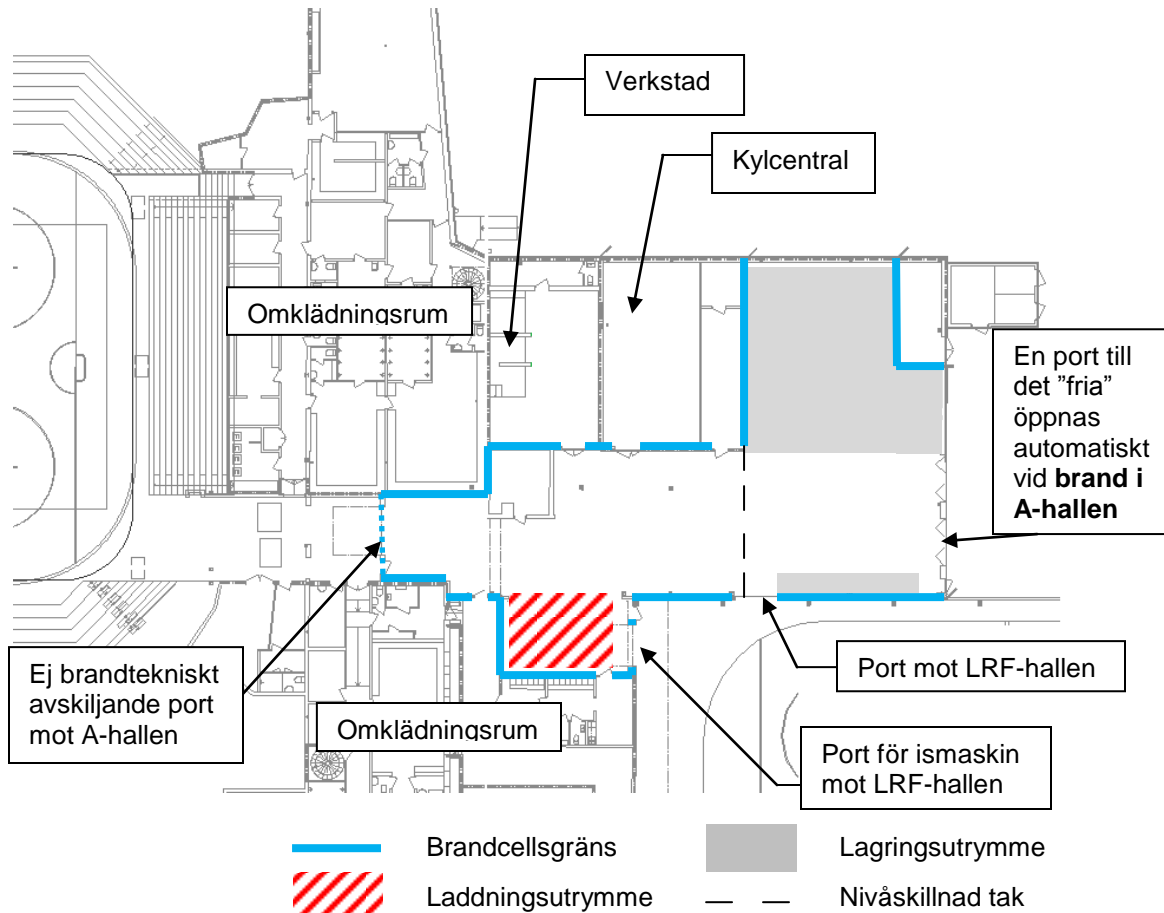
7.7 Åtgärdsförslag

För att utrymningen ska kunna ske på ett säkert sätt bör följande punkter beaktas.

- Stolarna bör ställas enligt tidigare nämnda rekommendationer, med åtminstone en fri gång i mitten.
- Säkerhetsavståndet mellan närmast sittande besökare och scenen bör vara minst 5 m. Detta dels för att komma på säkert avstånd ur strålningssynpunkt och dels för att ha en bredare gång fram till att kunna utrymma genom om detta skulle behövas.
- Säkerhetspersonal bör finnas i tillräcklig omfattning för att kunna bidra till en säker utrymning. De bör dessutom ha möjlighet till god kommunikation med varandra. En eller flera personer bör befinna sig i anslutning till larmcentralen för att vid larm snabbt kunna lokalisera branden och eventuellt göra en första släckinsats.

8. Scenario 3 – Lagerbrand i Inlastningen

I anslutning till A-hallen finns ett inlastningsområde vilket även tjänar som tillfälligt lagerförråd. Här finns dessutom laddningsstationer för de två ismaskiner som spolar isarna i A-hallen och LRF-hallen. En brand i Inlastningen kan förväntas generera en stor effektutveckling med tanke på den stora mängd brännbart material som här lagras från golv till tak, om än tillfälligt. Är det fullsatt med personer i arenarummet och brandgasspridning sker, kan då kritiska förhållanden uppstå?



Figur 8.1. Inlastningens brandcellsgränser och andra för en brand viktiga funktioner.

Inlastningen har en yta om 685 m² och är ansluten till A-hallens arenarum via en korridor. Arenarummet och Inlastningen är ej brandtekniskt avskiljda då gränsen mellan dem består av en port som ej är godkänd som brandtekniskt avskiljande, se figur 8.1. Anledningen till att porten inte är avskiljande är enligt företaget som projekterade brandskyddet i anläggningen att brandgasspridning ändå omöjligt kan ske hit. Även LRF-hallen angränsar till Inlastningen via två portar med ridåsprinklers.

Det befintliga brandskyddet i Inlastningen omfattar två brandgasluckor med arean 1 m² per lucka som öppnas automatiskt vid detektion av brand. Dessutom finns sprinklers (endast) placerade över ismaskinernas laddningsutrymme. Lagringsutrymmet är i huvudsak fyllt från golv till tak med stolar, bord, kablar, mattor och diverse annat material. Detektionssystemet

består av fem optiska ljusspridningsdetektorer placerade med cirka 10 m avstånd i taket. Noteras bör även att Inlastningens tak har en nivåskillnad som är markerad i figur 8.1. Takhöjden för den i figuren högra delen är 7,8 m och för den i figuren vänstra delen 3,6 m.

Ett tänkbart scenario är att ett lättantändligt material som plastfilm eller papper antänds. Tändkällan kan exempelvis vara ismaskinernas laddning som producerar vätgas vilken kan antändas av vanliga glimtändare. Lysrör finns för övrigt i taket. Det kan även vara en cigarettfimp eller ett sabotage av något slag, till exempel barn som leker eld. I den ishall som fanns innan den byggdes om till Ejendals arena inträffade bland annat ett mindre tillbud då barn antände skräp under den dåvarande läktaren.

Från det antända materialet sprider sig branden sedan till stolar som står staplade i utrymmet och vidare till annat intilliggande material vilket möjliggör en större brand. Under platsbesöket var, enligt rapportförfattarna, en stor mängd brännbart material lagrat i Inlastningen. Detta var dock, enligt anläggningsskötaren, endast en liten mängd i jämförelse med hur mycket material som där brukar lagras.

Brandgasspridning till LRF-hallen, exempelvis genom portarna till denna, kommer inte att undersökas i rapporten då denna hall ej ingår i Objektet.

Det som kommer att undersökas närmare är följande:

- Är brandgasventilationen tillräcklig för att förhindra brandgasspridning till A-hallens arenarum?
- Vilka blir konsekvenserna om brandgasspridning sker till arenarummet?
- Givet konsekvenserna, skulle ett nytt system för porten mellan Inlastningen och arenarummet kunna förbättra situationen?

8.1 Effektutveckling

Antaganden och beräkningar görs i syfte att skapa en, för detta scenario, trolig effektutvecklingskurva. En detaljerad beskrivning av antaganden och beräkningsgång finns presenterad i *Bilaga L – Scenario 3 - Effektutveckling*. För att sätta en tid till vilken effekten ska tas fram utgås från den tid då alla de personer som vistas i arenarummet har utrymt; härefter har brandeffekten ingen betydelse för personsäkerheten. I grova mått kommer troligen branden i Inlastningen att detekteras inom 2 min. Utrymning av arenarummet tar maximalt 10 min enligt avsnitt 7.5 *Utrymningsdimensionering* och således bör en effektkurva för de första 12 min av brandförloppet i Inlastningen tas fram.

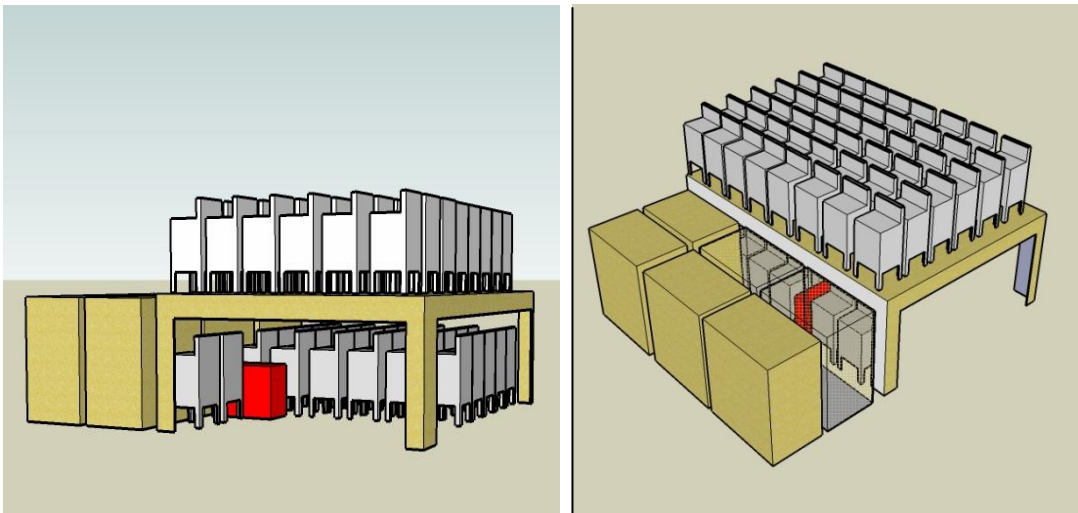


Figur 8.2. Antändningskällan.



Figur 8.3. Bild på lagringsutrymmet vid platsbesök

Branden antas börja i en vagn liknande den i figur 8.2. En sådan vagn påträffades vid platsbesöket och innehöll papp, plastfilm och tyg vilket är lättantändligt material. Antändningskälla kan vara en cigarettfimp eller sabotage av någon form. I inlastningsområdet finns även laddstationer för ismaskinerna. Vid laddning av batterier kan knallgas produceras och vid olycksamma förhållanden kan knallgas antändas av vanliga glimtändare. I taket finns lysrör vilka innehåller glimtändare.



Figur 8.4. Uppställning av material vid platsen för antändning

Vagnen antas befinna sig bland annat material enligt figur 8.4, vilken är en förenklad skiss av figur 8.3. Branden sprider sig sedan till de omgivande plaststolarna vilket gör att branden tillväxer. Efter en tid antas lågorna vara så höga att de även antänder stolarna som är placerade ovanpå träplatån. Även själva träplatån och träbord deltar i brandförloppet. För detta brandförlopp tas i *Bilaga L – Scenario 3 - Effektutveckling* en effektutvecklingskurva fram, se figur 8.5.



Figur 8.5. Totala effektutvecklingen i Inlastningen.

8.2 Brandgaslager

Om brandgasspridning skulle visa sig ske in till arenarummet kan redan nu nämnas ett förslag till åtgärd som ytterligare kommer värderas då simuleringar gjorts. I nuläget är nämligen den port som befinner sig i korridoren mellan arenarummet och Inlastningen en brandtekniskt oklassad uppskjutbar port som antingen kan stå öppen eller stängd. Om denna byttes till en brandklassad port och rutiner infördes så att den automatiskt gick igen efter att ha varit öppen en viss tid skulle brandgaser som bildas i Inlastningen inte kunna sprida sig ut mot arenarummet. I stället skulle de tvingas ut antingen genom luckorna i taket eller genom portarna till det fria.Utförliga analyser av brandgasfyllnad och temperaturutvecklingen i detta beskrivs i *Bilaga M – Scenario 3 - Brandgaslager*.

8.2.1 Ventilationssystemet vid brand

Nedan beskrivs olika aspekter av ventilationssystemets funktion vid brand.

8.2.1.1 Brandgasluckor

Då brand detekteras i Inlastningen öppnar två brandgasluckor i taket med den totala arean 2 m². Dessa luckor kan komma att få stor inverkan på hur branden utvecklas och måste därför inkluderas i simuleringarna. Aktiveringstiden beräknas med hjälp av DETACT-T2, se *Bilaga O – DETACT-T2*, och bestäms till 80 s. Se även 7.5.1 *Detektionstid* om larmlagringstid.

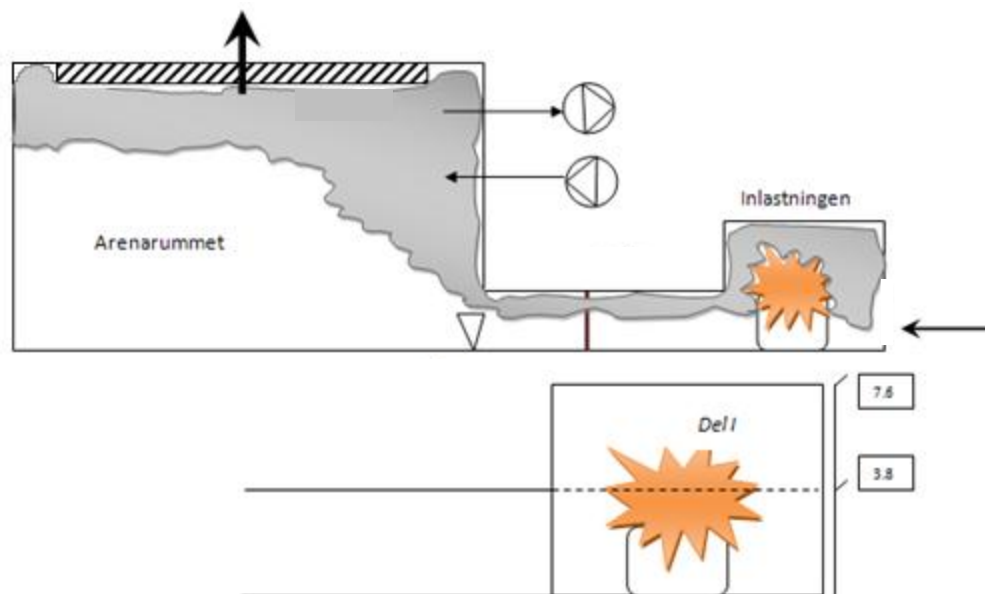
8.2.1.2 Brandgasspridning

Brandgasspridning är teoretiskt möjlig via det konventionella tilluftssystemet. Denna spridning skulle i första hand ske till verkstaden eller i extrema fall vidare genom tilluftsaggregatet. Inget av dessa fall är dock praktiskt möjliga med de stora läckage och öppningar som finns i Inlastningen. I en konservativ överslagsberäkning antas att tryckfallet över tilluftssystemet i Inlastningen är minst 60 Pa. I verkligheten är,

enligt Lars Jensen, ett tryckfall mellan 75 och 200 Pa nödvändigt för att tilluftssystemet skall kunna uppfylla sin funktion. Tryckökningen beräknas konservativt och resulterar i att ingen brandgasspridning sker via ventilationssystemet inom godtycklig tid med hänsyn till personsäkerheten. Beräkningarna presenteras i *Bilaga M – Scenario 3 - Brandgaslager*.

8.2.1.3 Brandgasfläktar i arenarummet

Brandgasventilationen i arenarummet tar till stor del sin tilluft via Inlastningen. Detta innebär att om en brand utbryter i Inlastningen och sedan detekteras i arenarummet kommer den automatiska brandgasventilationen i arenarummets tak att dra in brandgaser från Inlastningen till arenarummet.



Figur 8.6. Illustration av skorstenseffekten som bildas då lagerbranden detekteras i arenarummet

På så sätt skulle en skorstenseffekt enligt figur 8.6 bildas där fläktarna hjälper till att förse branden med syre genom tilluftsöppningarna. Till och med brandgasluckorna i Inlastningen skulle eventuellt hjälpa till med att syresätta branden med den kapacitet brandgasfläktarna har.

8.2.2 Resultat brandgaslager

För beräkningar av brandgaslagrets spridning till arenarummet används både simuleringsprogrammet CFAST samt handberäkningar. För en utförlig beskrivning av beräkningsgången se *Bilaga M – Scenario 3 - Brandgaslager*.

Underökningar om bildandet av ett brandgaslager i Inlastningen visar att brandgasspridning till arenarummet kan ske under rådande förhållanden. För den dimensionerande branden sker detta efter 160 s. Därefter kan brandgaser detekteras av samplingssystemet i arenarummet. Om så sker kommer brandgasventilationen i arenarummet aktiveras, porten mellan Inlastningen och arenarummet öppnas och stora

mängder brandgaser suggs in i arenarummet på grund av det undertryck brandgasventilationen skapar där. Enligt beräkningar presenterade i *Bilaga M – Scenario 3 - Brandgaslager* kan detta ske 300 s in i brandförloppet.

8.3 Strålning

Strålningen från flaman och brandgaserna i Inlastningen kommer bli mycket stor. Då inga personer antas finnas kvar i detta utrymme då branden arbetat sig upp i tillräcklig storlek kommer dessa nivåer ej att beräknas. I arenarummet kommer det däremot finnas ett stort antal personer som under tiden de utrymmer kommer att utsättas för strålningen från brandgaserna som läckt in från Inlastningen.

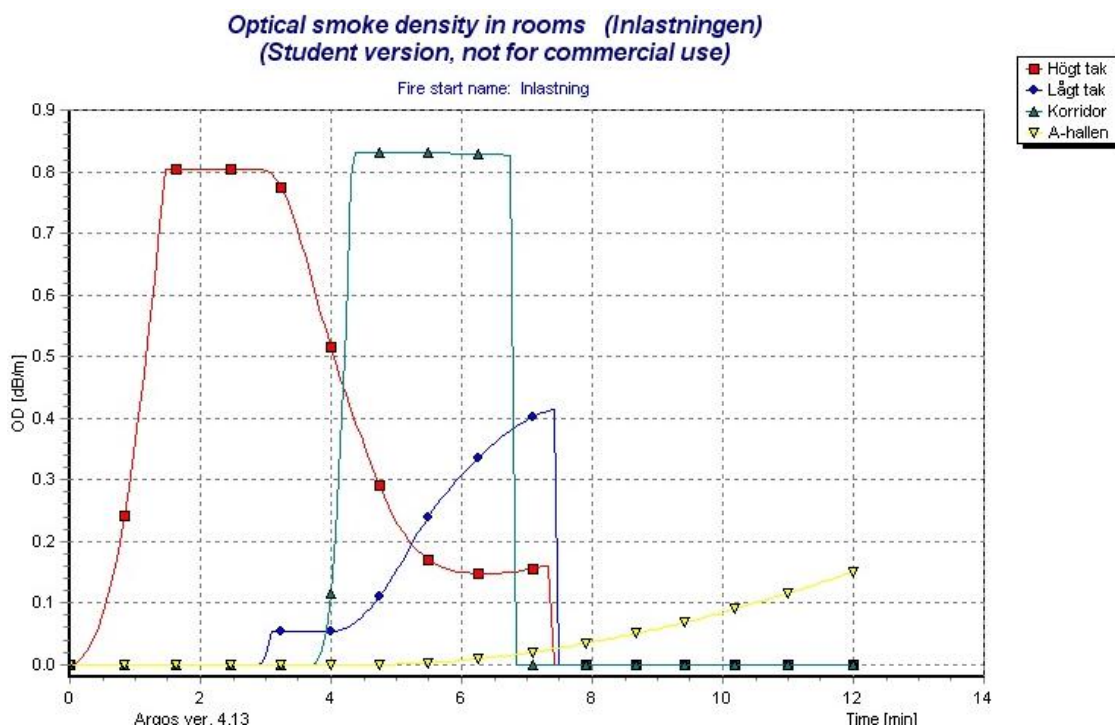
Med tanke på att brandgaserna som läcker ut i arenarummet har relativt låg temperatur, se *Bilaga M – Scenario 3 - Brandgaslager*, kommer beräkningar på strålningsnivåer inte ens behöva genomföras. Det kommer ej vara kritiskt att vistas i brandgaserna i arenarummet varken på grund av temperatur eller strålning.

8.4 Siktbarhet och toxicitet

Huruvida kriterierna för siktbarhet och toxicitet uppnås i Inlastningen kommer inte att behandlas eftersom ingen antas vara kvar i detta utrymme då nivåerna eventuellt blir kritiska, se punkt 8.6 *Värdering*. Kriterierna utreds dock utförligt för arenarummet.

8.4.1 Siktbarhet

Effektutvecklingskurvan för branden i Inlastningen, enligt figur 8.5, anges i Argos där siktbarhetsförhållandena simuleras fram.



Figur 8.7. Siktbarheten i de olika rummen enligt Argos.

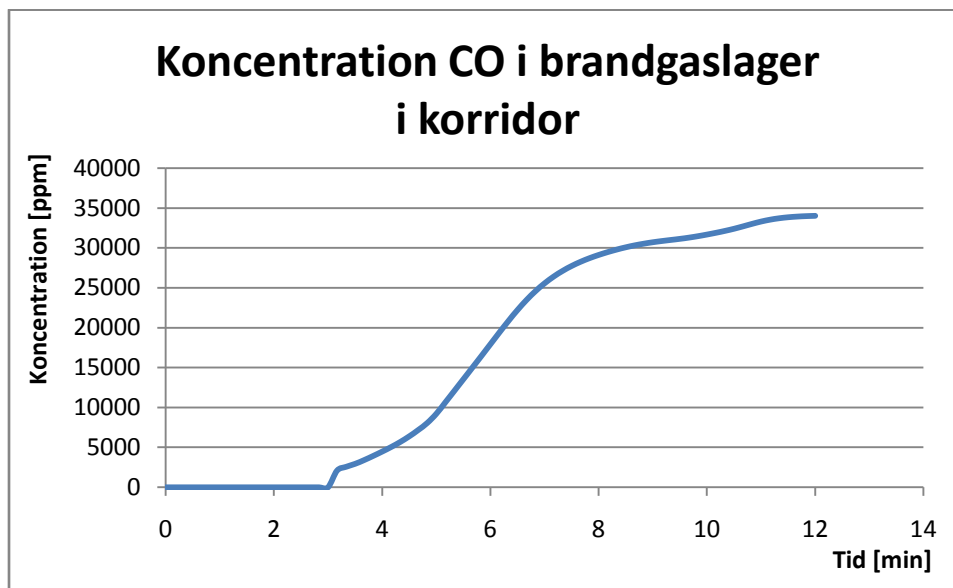
Som går att utläsa ur figur 8.7 ovan kommer siktbarheten inte att bli något större problem, då den aldrig överstiger 1 Ob i arenarummet vilket är riktvärde för kritiska förhållanden enligt Boverket¹. Nämnas bör dock att Argos inte anser att det bildas något brandgaslager i arenarummet, troligen på grund av en låg temperaturskillnad mellan brandgaser och omgivande luft. De gaser som strömmar in kommer då inte att koncentrera sig i taknivå, utan sprider sig i utrymmet med en högre koncentration omkring inflödet.

8.4.2 Toxicitet

Toxiciteten simulerades med hjälp av simuleringsprogrammet CFAST. Erhållna värden jämfördes sedan med experimentella värden. En utförlig beskrivning av beräkning- samt simuleringsgången presenteras i *Bilaga N – Scenario 3 - Toxicitet*. Riktvärden för kritiska förhållanden med avseende på toxicitet är enligt Brandskyddslaget²:

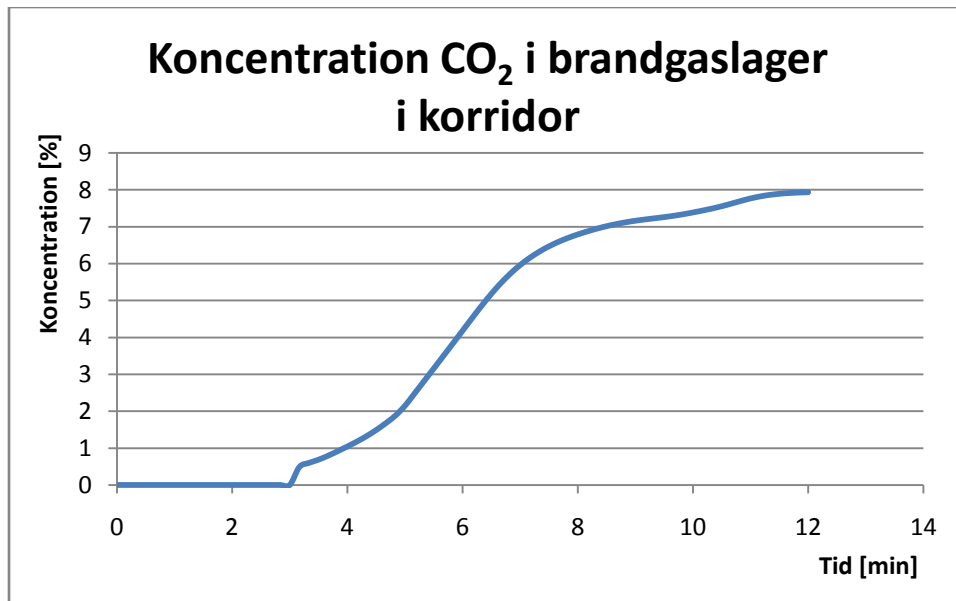
- Halten CO får ej överstiga 2000 ppm
- Halten CO₂ får ej överstiga 5 %
- Halten syre får ej understiga 15 %

Efter simuleringar dras slutsatsen att kritiska förhållanden med avseende på toxicitet ej kommer inträffa i arenarummet när brandgaserna har blandats ut med luften i arenarummet. Dock är de brandgaser som flödar in i arenarummet extremt giftiga.



Figur 8.8. Koncentration CO i de gaser som strömmar in i arenarummet.

Enligt figur 8.8 och figur 8.9 kommer de personer som befinner sig i närheten av korridoren vara i en riskzon. De kommer i högre grad än andra riskera att bli utsatta för skadliga gaser eftersom det är troligt att det är just här som koncentrationerna blir som högst.



Figur 8.9. Koncentration CO₂ i de gaser som strömmar in i arenarummet.

Utöver koldioxid och kolmonoxid så kommer troligen också betydande mängder HCl att bildas då större delen av bränslet består av plaststolar. Också HCN kan bildas i vissa mängder. Båda är giftiga samt irriterande för luftvägarna och bör starkt undvikas vid utrymning.

Undantaget de personer som befinner sig närmast korridoren kommer inte heller toxiciteten att vara något problem vid utrymningen.

8.5 Utrymningsdimensionering

Med tanke på det stora antal personer som vistas i arenarummet kan det anses viktigt att tiden till utrymning för dessa utvecklas, vilket utförs nedan. Utrymningsförhållandena som råder i Inlastningen diskuteras dock först under punkt 8.6 *Värdering*.

8.5.1 Detektionstid

Tiden det tar för detektorerna i Inlastningen att reagera har bestämts med DETACT-T2 till 80 s. Ett konservativt antagande är att Inlastningen är folktom och att det därför inte finns någon som kan trycka in en larmknapp vid visuell detektering.

Även larmlagrings tiden på en minut måste tas med i beräkningen. Eftersom larmcentralen sitter monterad i Inlastningen kommer också själva branden att upptäckas av personal då de tar sig dit för att kvittera larmet. Uppskattad tid för detta är 30 s och den totala tiden tills larmet aktiveras summeras till 110 s.

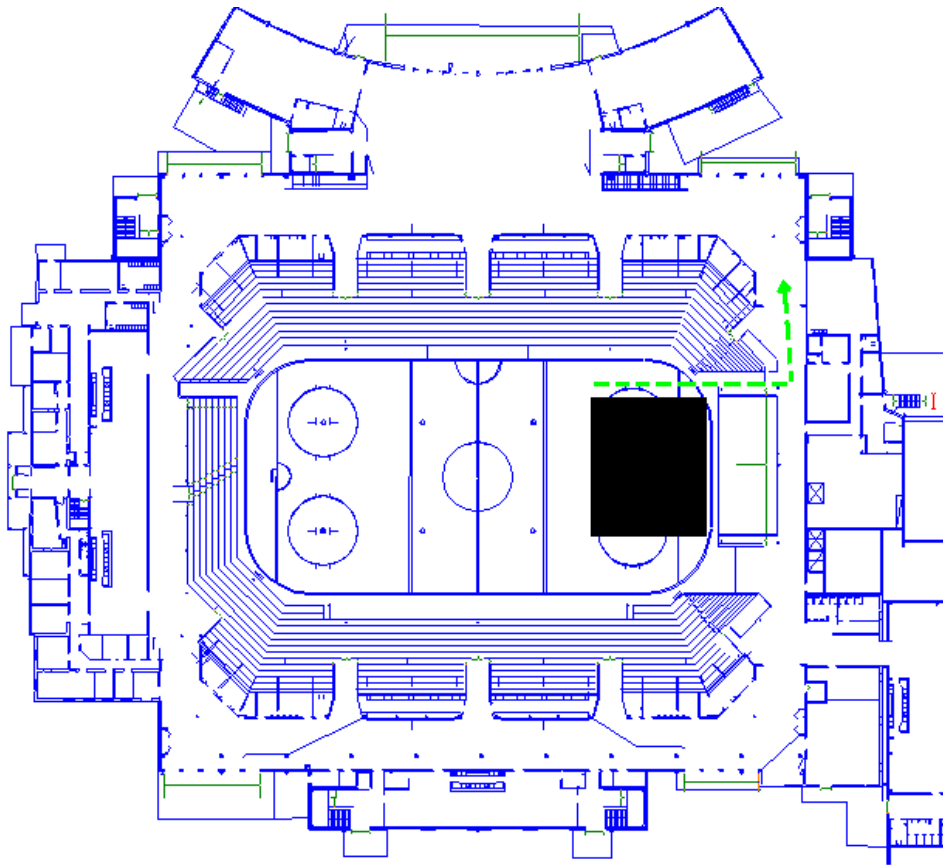
8.5.2 Besluts- och reaktionstid

Då branden väl detekterats kommer det ta ett tag tills själva utrymningen inleds, främst på grund av att ingen av åskådarna varken ser brand eller brandrök. Enligt tabell 6.3 som grundar sig på Frantzich⁷ kan besluts- och reaktionstiden för en person som varken ser

brand eller rök sätts till 60 s från det att utrymningslarmet är aktiverats. Totalt sett är tiden då uppe i 170 s och rök kommer snart att läcka ut i lokalen, vilket lär få fart på de flesta.

8.5.3 Tid för förflyttning

Arenarummet kommer att utrymmas på nästan exakt samma sätt som i scenario 2 (scenbranden). Alltså i ett fall då där är som mest folk, exempelvis vid ett konsertliknande arrangemang. Det enda undantaget är att de personer som befinner sig närmast scenen får ytterligare ett alternativ till utrymningsväg, nämligen att ta sig ut förbi sidan av scenen, se figur 8.10.



Figur 8.10. Den extra utrymningsvägen som finns att tillgå vid konsertarrangemang och brand i Inlastningen.

I jämförelse med den tidigare utrymningen av arenarummet som gjordes i Simulex bör alltså denna förlöpa marginellt snabbare. Tid för förflyttning kan antas hamna omkring 5 - 9 min.

Sammanfattningsvis beräknas den dimensionerande tiden för utrymning vid brand i Inlastningen till 12 min.

8.6 Värdering

- Är brandgasventilationen tillräcklig för att förhindra brandgasspridning till A-hallens arenarum?

Nej, spridning kommer att ske om branden är tillräckligt stor.

- Vilka blir konsekvenserna om brandgasspridning sker till arenarummet?

För den aktuella branden kommer giftiga brandgaser att spridas till arenarummet.

- Givet konsekvenserna, skulle ett nytt system för porten mellan Inlastningen och arenarummet kunna förbättra situationen?

Ja, om förstärkning av brandcellsgränsen och nya rutiner införs kommer spridning av brandgaser till arenarummet kunna förhindras (se punkt 8.7 Åtgärdsförslag).

Arenarummets brandgasventilation tar i dagsläget sin tilluft via Inlastningen. Enligt 8.2.1.3 *Brandgasfläktar i arenarummet* skapas en skorstenseffekt som drar in brandgaserna i arenarummet om en brand i Inlastningen detekteras i arenarummet. Om man säkrar tilluften på något annat sätt skulle detta problem kunna undvikas.

Tiden tills detektion sker i arenarummet beräknades till 295 s, *Bilaga M – Scenario 3 - Brandgaslager*. Denna tid baserades bland annat på att transporttiden för brandgaserna i det samplande systemets rör var den längsta tillåtna, 120 s. Detta antagande är ej konservativt, men användes ändå eftersom något annat värde inte fanns att tillgå. Detta innebär att detektion av brandgaser i arenarummet och därmed aktivering av brandgasventilation samt öppnande av porten mellan Inlastningen och det ”fria” kan ske tidigare. Då kommer också de giftiga brandgaserna att ta sig in till arenarummet något tidigare. Eftersom kritiska förhållanden kommer att uppstå innan utrymning skett, även utan ett konservativt antagande med avseende på transporttiden i det samplande systemet, är det inte nödvändigt att räkna på en situation med sämre förutsättningar.

Vid tiden 12 min är det egentligen bara toxiciteten som är bekymrande, särskilt för de personer som befinner sig i området där korridoren mynnar ut i arenarummet och brandgaserna från Inlastningen strömmar ut. Koncentrationen av giftiga gaser i de brandgaser som strömmar ut i arenarummet är mycket hög. Enligt Brandskyddslaget² kan en säker utrymning utföras om halten CO ej överstiger 2000 ppm och halten CO² ej överstiger 5 %. De brandgaser som strömmar in i arenarummet har halten 3000 ppm CO efter 190 s. Utrymningen har då pågått i 20 s och läktaren är med största sannolikhet ej utrymd. Halten CO stiger kontinuerligt och vid 12 min är den uppe över 30 000 ppm, se figur 8.8.

Resultat från toxicitetsberäkningarna är problematiskt eftersom mycket höga halter av både CO och CO² uppnås. En ifrågasättning av CFASTs beräkningsmodell vad avser produkter i brandgaser bör göras. Dock kan CO-halten i brandgaser vid en mycket underventilerad brand uppnå 60 000 ppm enligt Drysdale⁴. Det är osäkert om CFAST tar hänsyn till det faktum att en mängd CO kommer att förbrännas vilket kommer att sänka halten CO i brandgaserna. Då borde dock effektutvecklingen öka, om branden ej är ventilationskontrollerad, varigenom halten CO² borde öka.

Med hänsyn till balkongplymeffekten som kan uppstå när brandgaserna strömmar in i arenarummet kan man anta att de, i figur 8.8 och figur 8.9, angivna halterna minskar längre in i arenarummet. Personer på läktaren i anslutning till korridoren kommer därför utsättas för brandgaser som genom balkongplymen blandats med luft varigenom de giftiga gaserna späds ut. Halterna för de giftiga gaserna kan dock fortfarande vara hälsovådliga med tanke på de extremt höga halter som tidigare beräknats fram. Enligt Jensen¹⁷ är halten 10 000 ppm CO dödlig efter exponeringstiden 1 min. Efter exponeringstiden 5 min är man hjälplös om man vistats i en CO-halt mellan 6000 och 8000 ppm. Halten CO² är även den hälsovådlig men diskuteras ej vidare eftersom CO är den giftigare gasen av de två. *Kritiska förhållanden med avseende på toxicitet kan alltså uppnås innan utrymningen är genomförd.*

De personer som befinner sig i själva Inlastningen bedöms inte ha några problem att ta sig ut när de upptäckt branden, då de kan välja mellan att antingen ta sig direkt ut till det ”fria” genom de yttre portarna eller ta sig in mot arenarummet. Även om de inte upptäcker branden förrän larmet har gått, efter 110 s se punkt 8.5.1 *Detektionstid*, och tar dryga minuten på sig att ta sig därifrån kommer branden vid denna tidpunkt inte ha en effekt större än 3,5 MW, se figur 8.5. Inte heller brandgasspridning via ventilationssystemet i Inlastningen bedöms bidra till minskad personsäkerhet vid brand. Detta på grund av att utrymningslarmet aktiverar efter 110 s och brandgasspridning ej sker förrän 210 s efter antändning. Då bedöms samtliga i verkstaden och Inlastningen ha utrymt. Utrymning kan ske tack vare att brandgaslagrets höjd fortfarande är på en rimligt säker nivå enligt *Bilaga M – Scenario 3 - Brandgaslager*.

Någon större känslighetsanalys anses inte behöva krävas då problematiken bedöms bli samma vid olika förutsättningar. En stor del av brandgaserna kommer att ventileras ut via luckorna i taket av Inlastningen eller genom porten ut mot det ”fria”. Den mängd brandgaser som strömmar in i arenarummet uppnår inga betydande temperaturer och förekommer heller inte i tillräcklig mängd för att minska siktbarheten i sådan utsträckning att utrymningen försvåras. *Kritiska förhållanden med avseende på temperatur, siktbarhet och strålning uppnås ej i arenarummet innan utrymning är genomförd.*

8.7 Åtgärdsförslag

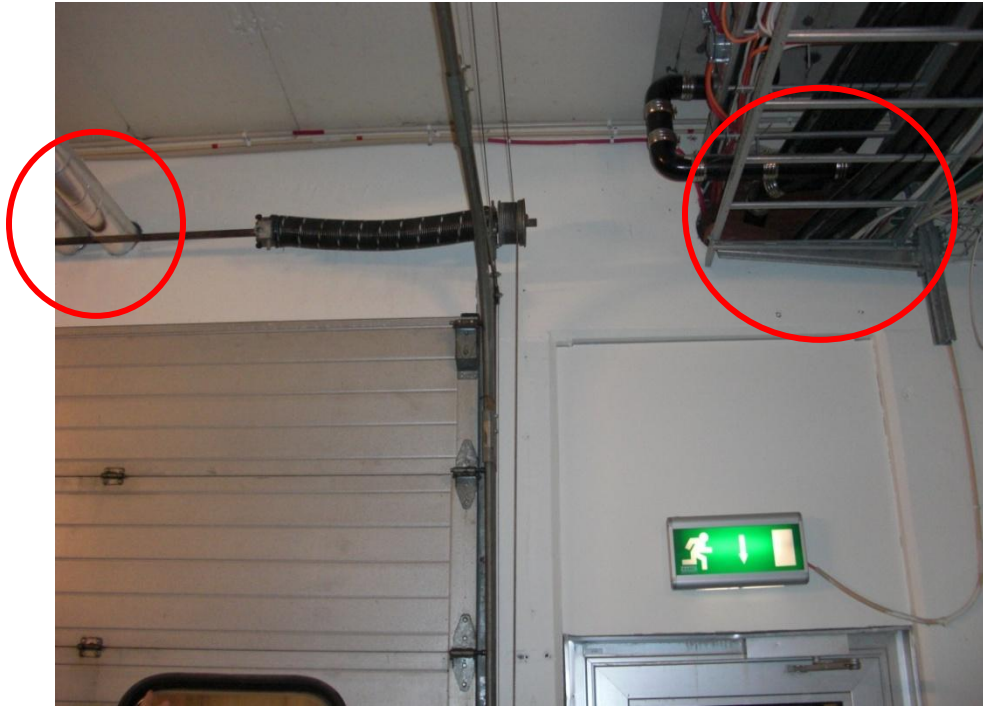
Ett förslag till lösning på problemet har redan presenterats under punkt 8.2 *Brandgaslager* och kvarstår som ett mycket bra alternativ. I stället för nuvarande port, se figur 8.11, som finns mellan Inlastning och arenarummet föreslås installation av en port med brandteknisk klass EI 15-s eller högre. Denna port skall till allra största delen stå stängd genom att den öppnas via någon sorts aktivering och därefter automatiskt stängs efter en viss tid, förslagsvis 30 - 60 s. På så sätt tvingas brandgaser som bildas i Inlastningen endera ut genom takluckorna eller ut genom porten mot det fria om den skulle stå öppen.



Figur 8.11. Nuvarande port mellan Inlastning och arenarum.

Av praktiska skäl kan det vara möjligt att låsa porten i sitt öppna läge. Detta bör endast ske undantagsvis då det finns mycket personal i anslutning till Inlastningsutrymmet. Detta kan till exempel vara vid tillfällen då material flyttas från lagringsutrymmet och ut i arenarummet. Noteras bör att denna port ingår i en EI 60 brandcellsgräns och för att denna brandcellsgräns ska hållas intakt bör en EI 60 port användas. Ser man dock till detta scenariots rådande förhållanden vid porten bedöms det räcka med en EI 15-s port för att utrymning av arenarummet ska kunna utföras på ett säkert sätt. Tillägget -s står för en högre täthet mot (icke heta) brandgaser än normalt.

Förslaget innebär att den brandcellsgräns mellan Inlastningen och arenarummet som tidigare haft porten som svagaste länk skulle slutas och stärkas, se figur 8.1. För att brandcellsgränsens integritet ska säkras bör dessutom genomförningarna ovanför samt vid sidan om porten tätas erforderligt, se markerade genomförningar i figur 8.12.



Figur 8.12. Ej tätade genomföringar.

En ny, tät port med nya rutiner för att hålla den stängd skulle alltså hålla branden och dess produkter från arenarummet. Framför allt skulle tätheten hålla de giftiga gaserna borta så att en säker utrymning kan garanteras. Installationen av porten kommer att innebära en kostnad men med hänsyn till brandgasernas kontaminering i arenarummet bör detta inte undvikas.

Porten mellan Inlastningen och det "fria" kan med fördel styras av larmcentralen på så sätt att den öppnas när brand detekteras i Inlastningen. Detta förhindrar en tryckuppbyggnad i Inlastningen och därmed läckage av brandgaser till intilliggande utrymmen. Även brandgasspridning via ventilationssystemet förhindras samtidigt som brandgasventilationens tilluft säkras i Inlastningen. Denna åtgärd optimerar Inlastningens befintliga brandgasventilation.

Problemet med brandgasspridning från Inlastningen till arenarummet på grund av det automatiska brandgasventilationssystemet kan lösas. Givet vad som nämnts om alternativ tilluft, se punkt 7.6 *Värdering*, är det ej en nödvändighet att säkra tilluften via Inlastningen om tilluften, förutom den som är placerad i arenarummets tak, är mer än $36 \text{ m}^3/\text{s}$. Anledningen till att tilluften i arenarummets tak ej bör användas är att det skulle blanda om brandgaserna i rummet. Vidare skulle skorstenseffekten som eftersträvas där endast brandgaser tas ut och ren luft kommer in utebli. Var tilluftsdonen är placerade och således om tilluften i arenarummets tak går ej att utläsa ur ventilationsritningarna. Om tilluften är tillräcklig innebär dock detta att porten mellan Inlastningen och arenarummet skulle kunna hållas stängd även när brandgaser detekteras i arenarummet. Det innebär i sin tur att risken för spridning av giftiga gaser från Inlastningen till arenarummet minskar betydligt.

För att minska materialskador i Inlastningen rekommenderas ett sprinklersystem över lagringsutrymmet. Ett korrekt dimensionerat sprinklersystem kan begränsa en lagerbrands tillväxt och spridningen av brand mellan material. Detta bör begränsa branden fram till den tid då räddningstjänst anländer för att bekämpa den. Dimensionering av sprinklersystem avhandlas ej i denna rapport då det ej ingår i kursen Brandteknisk Riskvärdering.

Brandskyddsprojektören påstod att brandgaser från brand i Inlastningen inte kan sprida sig till arenarummet vilket visar sig vara felaktigt. Det framkommer även att brandgaserna vid utloppet är extremt giftiga. Om brandgaserna detekteras i arenarummet kommer brandgasfläktarna dra in alla producerade brandgaser in hit. Som åtgärd till detta föreslås att brandcellsgränsen mellan byggnaderna upprätthålls vilket enligt Boverket¹ även borde ha varit en given konstruktion vid byggnationen. Med vetskap om att kritiska förhållanden kommer att uppstå, se även punkt 8.6 Värdering, anses det inte behövas någon utförligare känslighetsanalys i scenariot för att ytterligare underbygga åtgärdsförslagen.

9. Förslag till förbättringar

Nedan delas åtgärdsförslagen in i sådana som av ovan resonemang bör respektive måste åtgärdas för att objektet ska kunna anses vara säkert. Förbättringarna anges i prioritetsordning med det mest angelägna förslaget först. Rubrikanvisning för argument och motiveringar finns angivna inom parentes jämte respektive åtgärd.

9.1 Förbättringar som skall införas

Nedan förbättringar måste åtgärdas så snart som möjligt för att objektets personsäkerhet ska kunna anses vara tillfredställande.

1. Brandgasventilation som öppnas vid detektion av brand skall installeras i Sparbanksfoajén. Denna kan bestå av brandgasluckor i huvudentréns tak som då skall ha öppningsarean minst 13 m². Annan lösning kan väljas om samma flöde som det som uppstår med naturlig ventilation genom denna area kan garanteras. Dessutom skall tilluften säkras genom automatiska dörröppnare i utrymningsvägarna från södra och västra korridoren. Det förutsätts att ingen får vara i plan tre i Sparbanksfoajén vid arrangemang i markplan (6.7 *Åtgärdsförslag*).
2. Brandgastransport från Inlastningen till arenarummet skall förhindras. Rutiner ska införas så att porten stängs automatiskt efter användning. Genomförningarna ovanför porten skall tätas. Portens integritet skall säkerställas via byte av port, alternativt att den befintliga portens integritet fastställs och uppnår kravet EI 15(8.7 *Åtgärdsförslag*).
3. Genomförningarna mellan verkstaden och kylcentralen skall, liksom tillfälliga genomförningar i allmänhet, tätas (B.24.3 *Kommentar*).
4. Ombyggnad skall ske i det trapphus där undertaket var byggt under brandgasventilationen (B.22.3 *Kommentar*).
5. Brännbara material får inte förvaras i trapphusen (B.22.3 *Kommentar*).

9.2 Förbättringar som bör införas

Nedan följer i prioritetsordning förbättringar som bör införas.

1. Dörren från Sky Bar till trappa 2 bör breddas till minst 120 cm (B.4.3 *Kommentar*).
2. Tilluft till brandgasventilationen i arenarummet bör säkras på annat sätt än genom Inlastningen, förslagsvis genom att den konventionella frånluften inaktiveras och tilluften, förutom den som är placerad i arenarummets tak, förblir påslagen vid detektion av brandgaser i arenarummet (8.7 *Åtgärdsförslag*).
3. Från omklädningsrum A127 bör utrymning omdirigering via spiraltrappan, trappa 7 i *Bilaga A – Planritningar* (B.2.3 *Kommentar*).
4. Brandvarnare bör placeras i förråden utanför konferensrummen på plan 3 i entrédelen (B.13.3 *Kommentar*).

5. Vägledande markering bör placeras mer synligt i den norra änden av Terrassen (B.9.3 *Kommentar*).

9.3 Viktiga nuvarande säkerhetsarrangemang

Ovanstående åtgärder optimerar brandskyddet, men de redan befintliga systemen får inte glömmas. Systemet med säkerhetsansvariga och läktarvärdar som ska assistera vid utrymning och kontrollera att alla kommit ut är något som ser till att hålla nere tiden det tar tills alla har utrymt. Att ha en utbildad brandstyrka på plats vid större arrangemang som matcher eller konserter är något som kan bidra till att endera helt släcka en uppkommen brand eller fördröja effekt- och rökutvecklingen så att de som utrymmer får ett par extra minuter på sig.

Även om många av kraven på kritiska förhållanden inte uppfylls erbjuder närvaron av läktarvärdar och brandmän en extra lugnande faktor om det trots allt skulle inträffa något. SBA bör följas och kontinuerligt revideras.

10. Referenser

1. Boverket (2008) *Regelsamling för byggregler – Boverkets byggregler, BBR*. Karlskrona: AB Danagårds Grafiska
2. Brandskyddslaget; Brandteknik vid LTH (2005) *Brandskyddsbandboken*. Lund: Wallin & Dalholm
3. Karlsson, B.; Quintiere, J.G. (2000) *Enclosure Fire Dynamics*. Boca Raton: CRC Press LLC
4. Drysdale, D. (2002) *An Introduction to Fire Dynamics (Second Edition)*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
5. Särndqvist, S. (1993) *Initial Fires*. Lund: Institutionen för Brandteknik
6. Sanderson, I.; Kilpatrick, T.; Torero, J. (2008) *A Comparative Analysis of the Use of Different Zone Models to Predict the Mass Smoke Flow for Axisymmetric and Spill Plumes*. Glasgow, PRE PRINT.
7. Franzich, H. (2000) *Tid för utrymning vid brand*. Karlstad: Räddningsverket
Tillgänglig på Internet:
http://www.raddningsverket.se/shopping/srv_ShowItem.aspx?id=13625
[Hämtad 08.11.17]
8. Abrahamsson, M. (1997) *Scenariotänkande vid Brandsyn i samlingslokaler*. Lund: Lunds Tekniska Högskola
9. Ondrus, J. (1990) *Brandförlopp*. Lund, Lunds Tekniska högskola
10. TL (2007) *VBR 022 Brandkemi och explosioner Formel- och tabellsamling*. Lund: Lunds Tekniska Högskola
11. BFRL (2002) *Fire scenarios*. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology
Tillgänglig på Internet:
<http://www.fire.nist.gov/fire/fires/fires.html>
[Hämtad 08.10.10]
12. Nilsson, D.; Holmstedt, G. (2008) *Kompendium i Aktiva system - Detektion*. Rapport 7030. Lund, Lunds Tekniska Högskola
13. Boverket. (2008) *Beräkning av brandbelastning*. Utkast till rapport.
Tillgänglig på Internet:
www.boverket.se/upload/publicerat/bifogade%20filer/Remisser/2007/Brandskydd/Brandbelastningsrapport.pdf
[Hämtad 08.11.11]
14. Frantzich, H.; m.fl. (2006) *Utrymningsdimensionering*. NRS Tryckeri: Huskvarna
15. Jensen, L. (1998) *Byggnaden i system med branden och ventilationsystemet*. Lund: KFS AB
16. Jensen, L. (1998) *Brandspridning via ventilationsystemet*. Lund: KFS AB

17. Jensen, L. (2007) *Kolmonoxidförgiftning - Principexempel*. Rapport TVIT - 07/7014. Lund, Lunds Tekniska Högskola
18. Harrysson, K. (2007) *Brandsäkerhet i stora arenor*.
Tillgänglig på Internet:
<http://www.brandskyddslaget.se/artiklar/3>
[Hämtad 08.09.27]
19. www.ejendalsarena.se
Tillgänglig på Internet:
[Hämtad 08.09.15-08.11.18]
20. BFRl (2002) *Fire Modeling Programs*. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology
Tillgänglig på Internet:
<http://www.bfrl.nist.gov/866/fmabbs.html#DETTACTT2>
[Hämtad 08.11.07]
21. Evans, D.; Stroup, D. (1986) *Methods to Calculate the Response Time of Heat and Smoke Detectors Installed Below Large Unobstructed Ceilings* Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology
Tillgänglig på Internet:
<http://www.springerlink.com/content/n110566760v60000/>
[Hämtad 08.11.07]

Bilder:

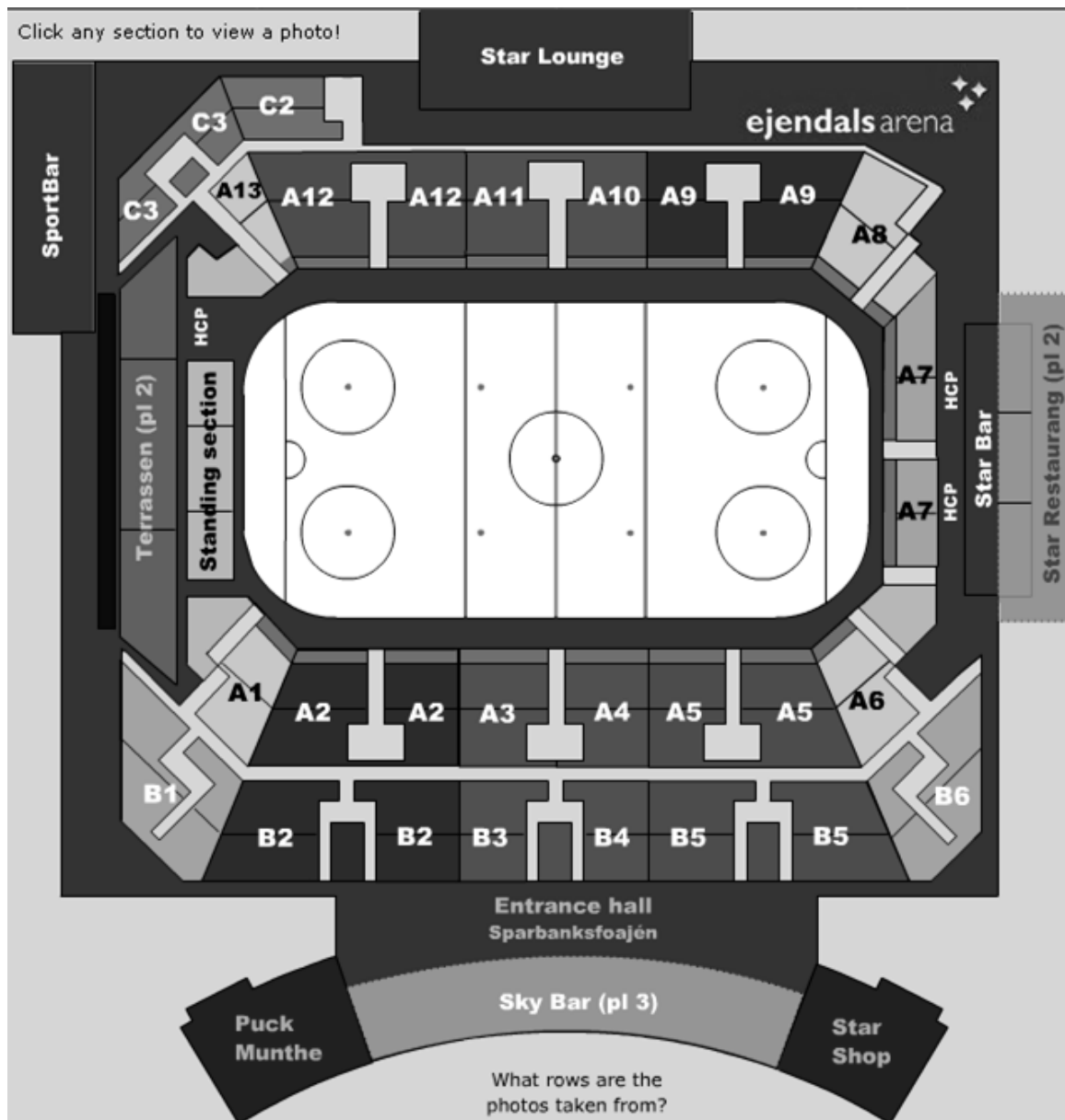
Figur 2.2. Arenan sedd från ovan.
<http://www.dt.se/nyheter/leksand/article311214.ece>
Hämtad 2008-11-10

Figur 2.4 och A0 . Översiktsbild över arenans utrymmen samt Rinken
<http://www.ejendalsarena.se/arenaoversikt/>
Hämtad 2008-09-15

Figur 7.16. Arenarummets utrymmen med publik vid melodifestivalen 2009.
http://www1.ticnet.se/PriceTable?l=SE&EVNT=LAD25394EJJE02213&CL_ORIGIN=
Hämtad 2008-11-04

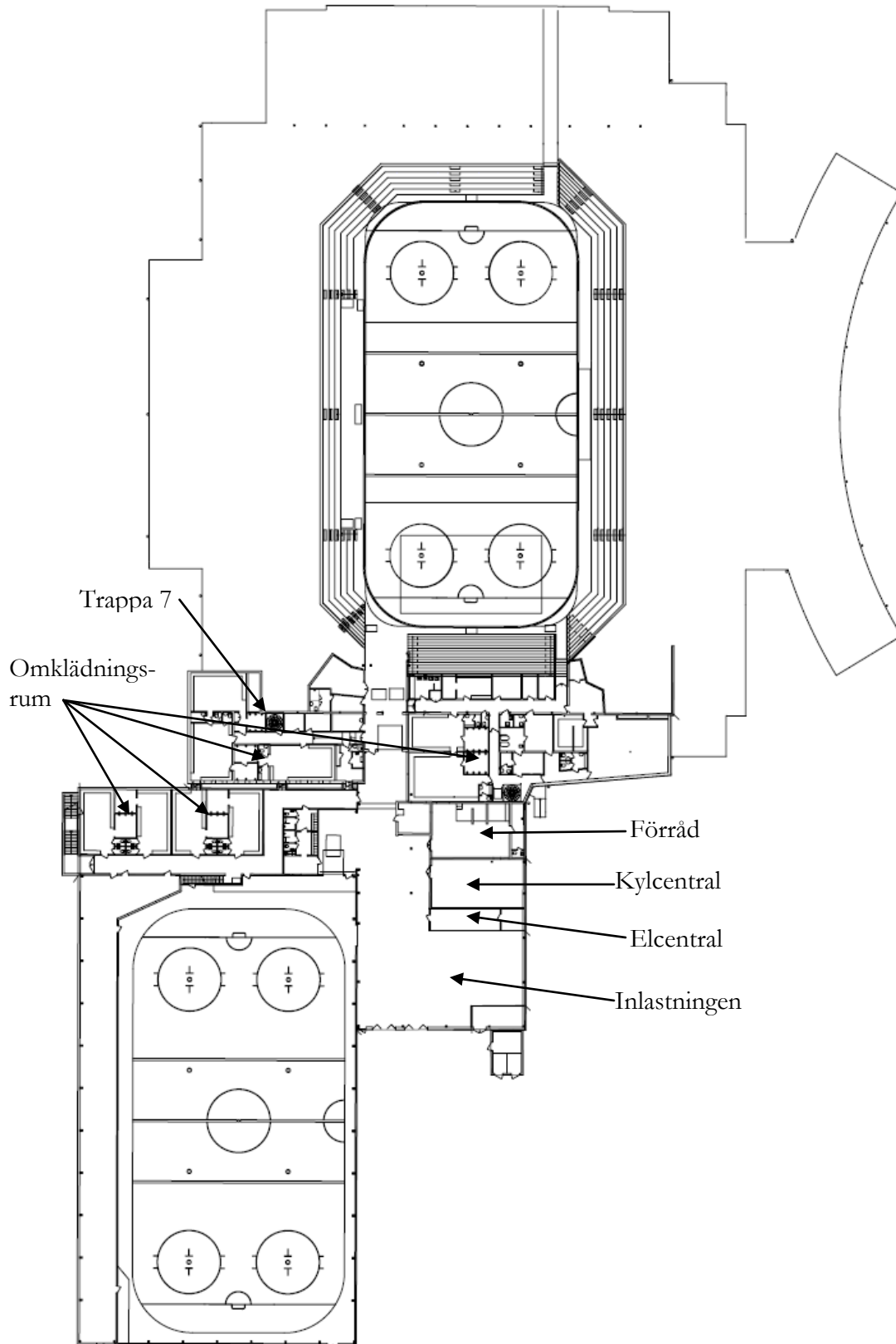
Bilaga A – Planritningar

För att få en överblick över de olika planen redovisas i denna bilaga samtliga planritningar för Objektet. Inledningsvis följer en översigtsbild över A-hallen i figur A0.

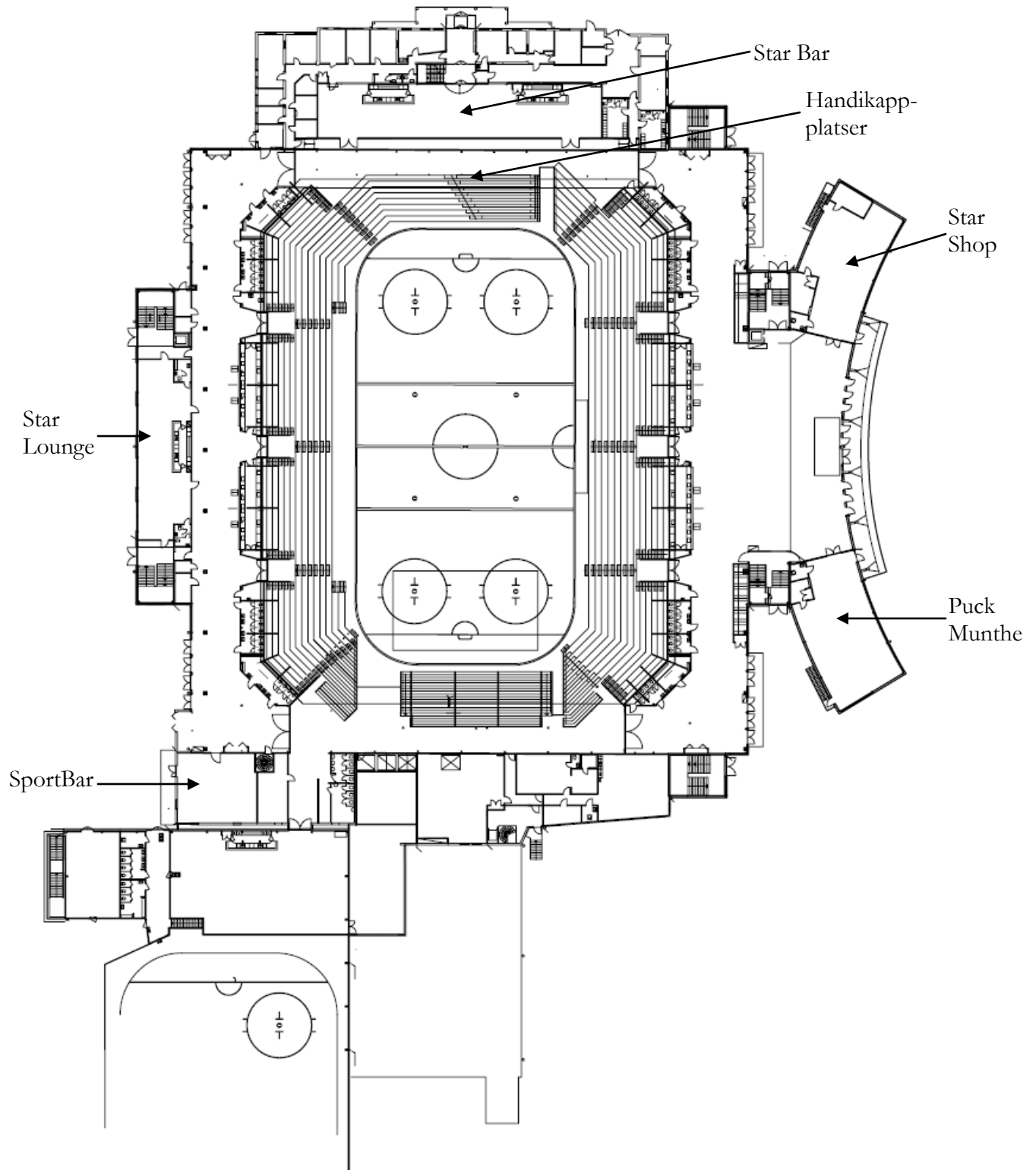


Figur A0. Generell översigtsbild över A-hallens olika verksamheter (notera att planhänvisningarna inom parentes utgår från markplanet som plan 1). (www.ejendalsarena.se)

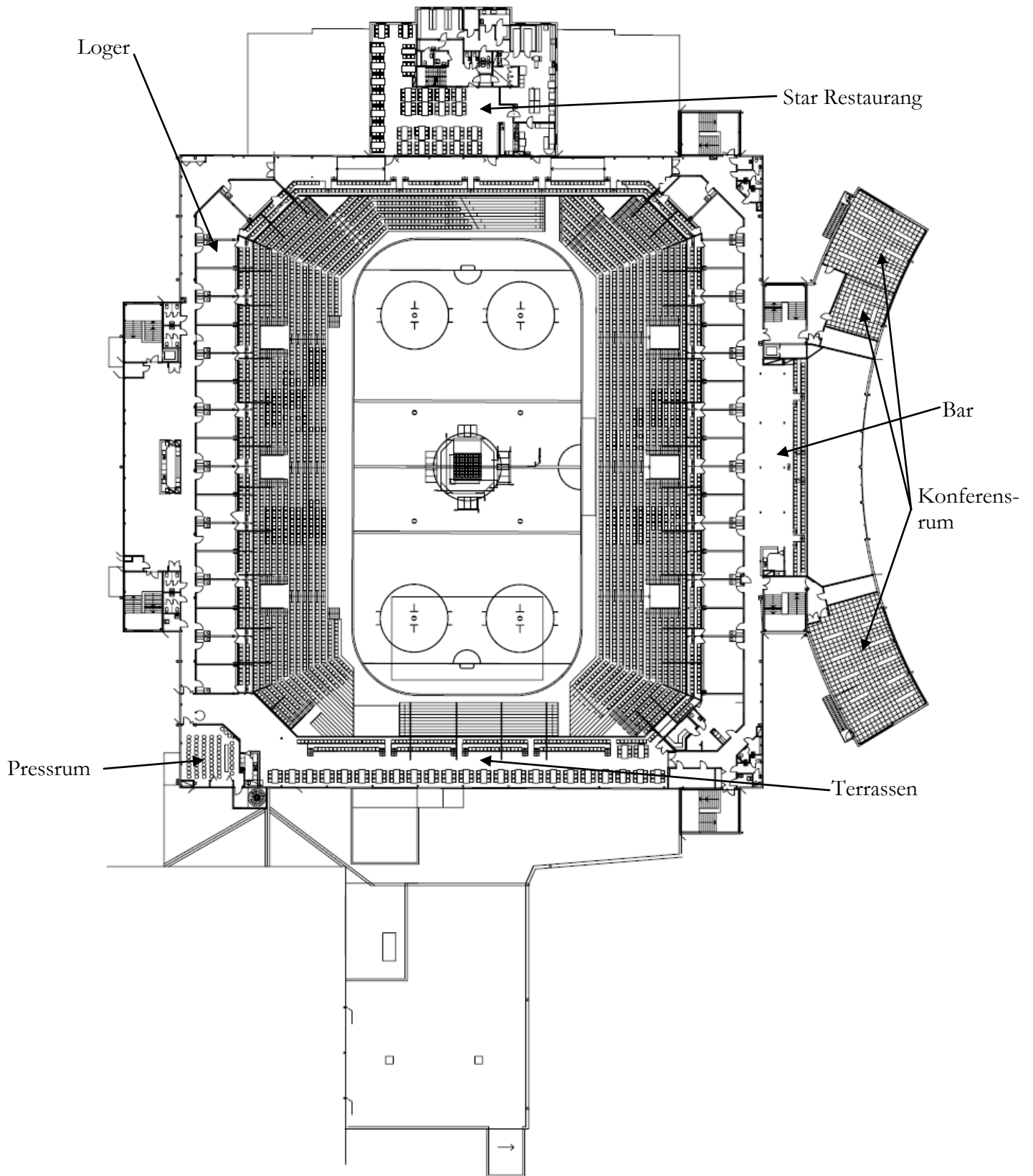
Nedan redovisas planritningen för plan 1 i figur A1, plan 2 i figur A2, plan 3 i figur A3 samt plan 4 i figur A4.



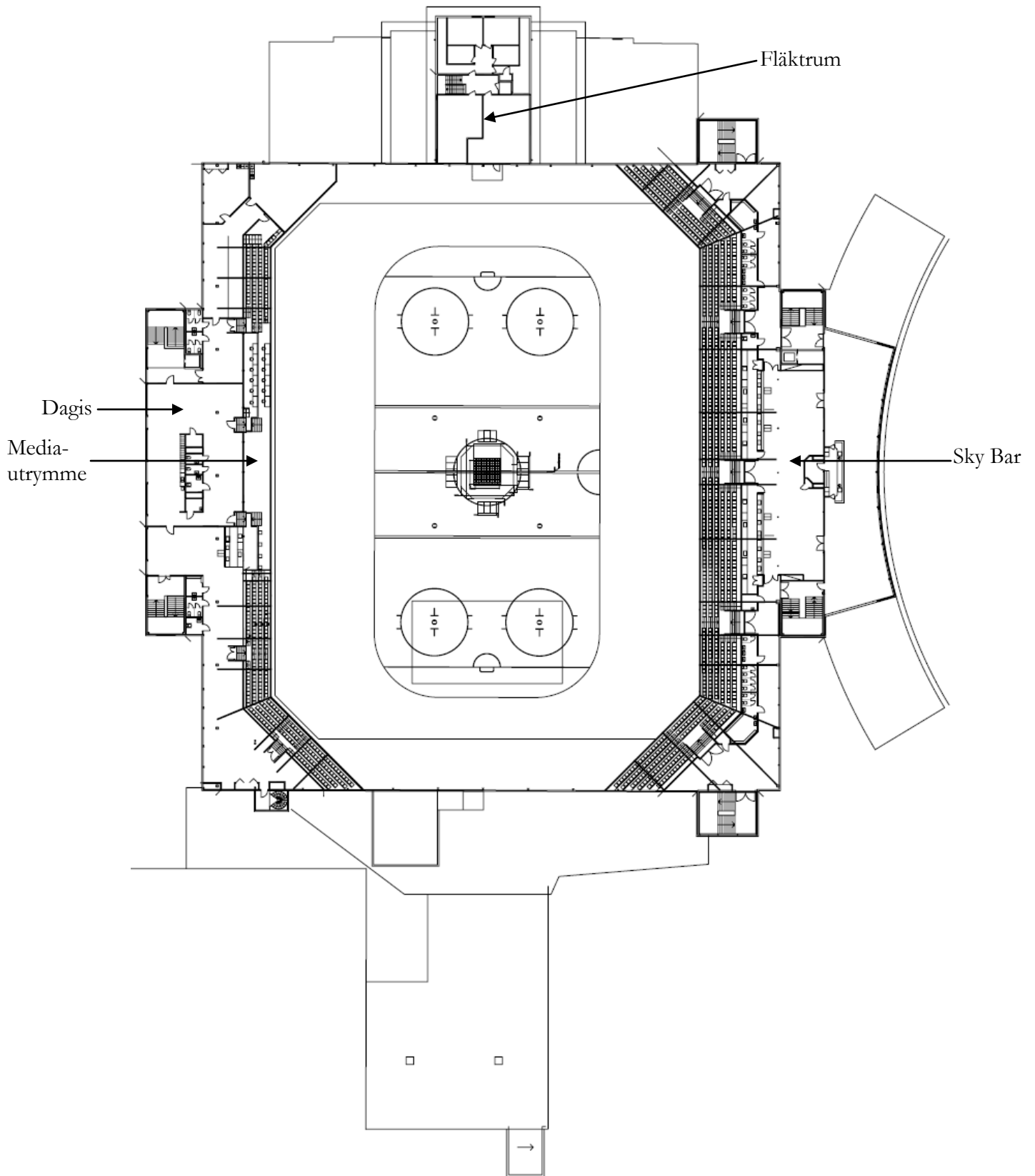
Figur A1. Planritning för plan 1 i anläggningen Ejendals Arena med isrinkar och omlädningsrum.



Figur A2. Planritning för plan 2 (markplan) i Objektet med bland annat arenarummet, Inlastningen, entrédelen och kansliet.



Figur A3. Planritning för plan 3 i Objektet med bland annat konferensrum, Star Restaurang, loger och Terrassen.



Figur A4. Planritning för plan 4 i Objektet med bland annat dagis, läktare och mediautrymme.

Bilaga B – Kartering av svagheter och brister

För att få en bättre överblick över var de största riskerna föreligger ur personsäkerhets-synpunkt gjordes en enkel kartering. Denna behandlar de huvudsakliga verksamheter och utrymmen där personer kan tänkas vara vid ett evenemang, med undantag för arenarummet, Inlastningen och byggnaden som helhet. I de exkluderade fallen anses krävas en utförligare granskning för att kunna göra en bedömning av personsäkerheten vid brand. I kringutrymmen kan man dock i enlighet med Harrysson¹⁸ tillämpa föreskrifterna för förenklad dimensionering. Den information som söktes gäller framför allt utrymning (gångavstånd samt till vilket utrymme det sker), fakta om lokalen (mått, verksamhet, tid för användning, personantal), möblering och andra upplysningar som kan vara viktiga för en slutsats om säkerheten är tillräcklig vid utrymning. Vid denna enkla undersökning används riktlinjer för förenklad dimensionering enligt Boverket¹ som verktyg. Även säkerhetsrisker som påträffades vid studiebesöket tas upp i denna kartering.

Efter en genomgång av planritningarna i kombination med information som getts från www.ejendalsarena.se¹⁹ har följande utrymmen bedömts betydelsefulla med hänsyn till brandskydd och personsäkerhet. Då gångavstånden ses över nedan dubblas den sammanfallande sträckan i enlighet med Frantzich¹⁴.

B.1 Puck Munthe

Detta café och restaurang ligger i markplanets entrédel, se figur 2.4. Öppettider är lunchtid samt i samband med match.

B.1.1 Utrymning

Utrymning sker antingen via nödutgång i det sydvästra hörnet eller via nödutgång i det nordöstra hörnet av lokalen. Gångavstånd till utrymningsväg understiger med bred marginal 30 m.

B.1.2 Mått

Dörrbredden i utrymningsvägarna är 90 cm respektive 100 cm.

B.1.3 Kommentar

Puck Munte är avsedd för maximalt 150 personer och klassas då inte som samlingslokal. Rekommenderade dörrbredder (90 cm) uppfylls.

B.2 Omklädningsrum

Omklädningsrummen används för det mesta som omklädningsrum för hockeylag eller konstakare, men tjänar också som loger för artisterna vid konserter och evenemang. Det omklädningsrum som bedöms ha sämst utrymnings säkerhet är bortalagets omklädningsrum, se rum A127 i bilaga A.

B.2.1 Utrymning

Gångavståndet beräknas till 44 m.

B.2.2 Mått

Den gemensamma utrymningsvägen från bortalagets omklädningsrum går genom två dörrar med måtten 100 cm respektive 90 cm. Dörrarna i utrymningsvägarna är 90 cm.

B.2.3 Kommentar

För att förkorta gångavståndet vid utrymning rekommenderas omdirigering via spiraltrappan trappa 7, se bilaga A. Då blir gångavståndet 35 m.

B.3 Loger

36 loger i arenan erbjuder avskilt utrymme för 10-15 personer per loge vid evenemang. Dessa är placerade i tredje planets långsidor och erbjuder möjlighet till matservering.

B.3.1 Utrymning

Logerna utryms genom dörr i bakkant ut till korridoren (som utgör annan brandcell). Gångavståndet i logen för att ta sig ut i korridoren understiger med bred marginal 30 m.

B.3.2 Mått

Dörrbredd är 90 cm.

B.3.3 Kommentar

Logerna är brandtekniskt avskilda mot korridoren och kan räknas som små, lätt överblickbara lokaler avsedda för mindre än 30 personer. Då räcker det med en utrymningsväg. Dörrarna i utrymningsvägen öppnas dock inåt.

B.4 Sky Bar

Kombinerad bar och matservering i entrédelen, se figur 2.4.

B.4.1 Utrymning

Sky Bar utryms till två brandtekniskt avskilda trapphus, en nödutgång i varje ände av lokalen. Gångavståndet till trapphusen understiger 30 m.

B.4.2 Mått

Södra nödutgången har en dörrbredd på 170 cm. Norra nödutgången har en dörrbredd på 90 cm.

B.4.3 Kommentar

Sky bar är avsedd för maximalt 500 personer (varav 200 sittande) och räknas därmed som en samlingslokal. Med tanke på detta bör den norra dörren breddas till minst 120 cm (150 cm rekommenderas).

B.5 Star Restaurang

Star Restaurang serverar bufféer i samband med matcher och evenemang. Restaurangen ligger över kansliet och har också bar.

B.5.1 Utrymning

Från själva serveringsutrymmet har man tre vägar att välja bland. Två av dem är beroende av varandra och leder ut mot korridoren kring arenarummet medan den tredje går söderut, in i en annan brandcell. Gångavståndet understiger nätt och jämnt 30 m.

B.5.2 Mått

Dörren till trapphuset är 100 cm, dörrarna mot arenan är båda 110 cm.

B.5.3 Kommentar

Lokalen innehåller 140 sittplatser och är alltså inte någon samlingslokal.

B.6 Star Bar

Star Bar används som bar och danslokal. Dessutom serveras mat i samband med matcher.

B.6.1 Utrymning

Lokalen utryms antingen mot arenan genom två dörrar eller mot kansliet i ändarna av lokalen alternativt till annan brandcell (i detta fall ett inre trapphus) från mitten av lokalen. Om dörrarna till kansliet låses och vägen genom trappan bortses ifrån blir gångavståndet 23 m. De två återstående utrymningsvägarna är dock beroende av varandra.

B.6.2 Mått

Dörrarna in mot arenan är 240 cm, medan dörren mot trapphuset är 180 cm och de mot kansliet 90 cm.

B.6.3 Kommentar

Med tanke på att kansliet troligen är obemannat under många event kan man tänka sig att säkerheten i utrymningsvägarna hit kan skapa problem. Troligen är dessa låsta men nödvändiga för att få två av varandra oberoende utrymningsvägar.

B.7 Star Shop

Butik med försäljning av kläder och souvenirer i A-hallens entrédel.

B.7.1 Utrymning

Utrymningen sker via två dörrar ut till det fria. Gångavståndet är omkring 20 m.

B.7.2 Mått

Dörrbredden i utrymningsvägarna är 90 cm respektive 100 cm.

B.7.3 Kommentar

Star shop är dimensionerad för maximalt 150 personer.

B.8 Sport Bar

Bar med mingelbord (endast stående) i markplanets norra hörn.

B.8.1 Utrymning

Utrymning sker till intilliggande brandcell (norra delen av arenarummet och entréhall 153). Gångavståndet är 27 m.

B.8.2 Mått

Dörrarna har måtten 90 cm till entréhallen och 300 cm till arenarummet.

B.8.3 Kommentar

Sport Bar är dimensionerad för maximalt 150 personer.

B.9 Terrassen

Restaurang och bar i arenarummets ena kortända som serverar buffé under matcher. Bord med sex stolar hyrs här ut till företag som även har tillgång till ett antal åskådarpplatser.

B.9.1 Utrymning

Utrymning sker till andra brandceller med gångavståndet 45 m. Högt i tak ökar tiden innan brandgaslagret kommer ner i till en kritisk nivå. En notering är att en av läktarna delvis utrymmer via ena nödutgången. En ytterligare notering är det hängande plasttaket (uppspänd duk). Detta bör vara tändskyddsbehandlat.

B.9.2 Mått

Dörrbredden i utrymningsvägarna är 190 cm respektive 120 cm.

B.9.3 Kommentar

Terrassen är dimensionerad för maximalt 150 personer. Vägledande markering saknas i ena änden av lokalen vilket kan orsaka ett mycket långt gångavstånd. Detta är nödvändigt på grund av att utrymningsvägen i denna ände ej är synlig från hela lokalen.

B.10 Star Lounge

Fest- och serveringsutrymme i markplanets nordöstra långsida.

B.10.1 Utrymning

Två av varandra beroende utrymningsvägar leder ut från brandcellen till den stora korridoren som går utanför. Två utrymningsvägar i kortsidorna leder ut till det fria via brandtekniskt avskilda trapphus. Gångavstånd till utrymningsväg understiger 30 m.

B.10.2 Mått

Samtliga dörrar i utrymningsvägarna är 100 cm.

B.10.3 Kommentar

Star Lounge får maximalt inhysa 150 personer. Dessa har goda utrymningsmöjligheter åt flera håll.

B.11 Kansli

Kontorslokaler åt Leksands IF i anslutning till Star Bar i markplanet.

B.11.1 Utrymning

Kansliet har nio möjliga vägar ut, men endast tre som får räknas som oberoende utrymningsvägar. Två av dessa leder till det ”fria” och en mot Star Bar. Gångavståndet till utrymningsväg understiger 30 m.

B.11.2 Mått

Entrédörren har måttet 180 cm och övriga minst 90 cm.

B.11.3 Kommentar

Personer i kansliet har flera rimliga utrymningsvägar och kan tänkas ha mycket god lokal-kännedom. Utrymningsmöjligheterna innan kritiska förhållanden uppstår kan därför anses vara goda. Utrymningen sker i huvudsak ej tillsammans med A-hallen.

B.12 Dagis

Förskoleverksamhet med 18 barn samt personal (dagtid).

B.12.1 Utrymning

Utrymningen sker ut till annan brandcell och vidare till trappa 5 och 6. Gångavståndet är 24 m. En notering är att norra långsidans läktare (media) utrymmer genom dagiset till samma nödutgångar, vilket dock är en skild verksamhet.

B.12.2 Mått

Båda dörrarna har måtten 100 cm.

B.12.3 Kommentar

Dagiset är dimensionerat för maximalt 150 personer.

B.13 Konferensrum x 3

Konferensverksamhet med möjlighet till biosittning.

B.13.1 Utrymning

"*Sturstäv*" utrymmer antingen direkt till det "fria" via en nödutgång i norra delen av lokalen eller via huvudingången till rummet ut till ett brandtekniskt avskilt trapphus. Gångavståndet till utrymningsväg är 27 m.

"*Brudpiga*" utrymmer antingen till det fria via en nödutgång i den sydöstra delen av lokalen eller till ett trapphus som utgör en egen brandcell. Gångavståndet till utrymningsväg är 26 m.

"*Grannlåten*" utrymmer till ett trapphus som utgör en egen brandcell. Gångavståndet till utrymningsväg ligger under 30 m.

B.13.2 Mått

Dörrarna till trapphusen är 100 cm breda, övriga dörrar är 90 cm.

B.13.3 Kommentar

Sturstäv får maximalt inhysa 150 personer, Brudpiga är utformad för 70 personer och Grannlåten är dimensionerad för 30 personer. Grannlåten anses vara liten och lätt överblickbar och då skall en utrymningsväg vara tillräcklig.

Notera att utrymning sker förbi förråd i samma brandcell innan man kan ta sig till trapphuset. Det borde vara av extra vikt att säkra dessa förråd exempelvis genom att se till att de har någon form av förhöjd säkerhet, förslagsvis i form av rökdetektorer.

B.14 Intilliggande utrymme plan 2, norra långsidan

Detta är en öppen yta som ligger i direkt anslutning till arenarummet, kiosker med mera.

B.14.1 Utrymning

Gångavståndet till utrymningsväg understiger 30 m.

B.14.2 Mått

Antalet utrymningsvägar till det "fria" är 9, vardera med ett mått på 200 cm.

B.14.3 Kommentar

Maximalt personantal fås till 1500 (beräknat med 2,5 personer/m² enligt Brandskyddslaget²).

B.15 Intilliggande utrymme plan 2, södra långsidan

Detta är en öppen yta som ligger i direkt anslutning till arenarummet, Sparbanksfoajén med mera.

B.15.1 Utrymning

Gångavståndet till utrymningsväg understiger 30 m.

B.15.2 Mått

10 utrymningsvägar till det ”fria” har måttet 190 cm och 8 bredden 100 cm.

B.15.3 Kommentar

Maximalt personantal fås till 2500 (beräknat med 2,5 personer/m² enligt Brandskyddslaget²).

B.16 Intilliggande utrymme plan 2, kortsidorna

Detta är en öppen yta som ligger i direkt anslutning till arenarummet, Star Bar/Sport Bar med mera.

B.16.1 Utrymning

Utrymningen sker ut till annan brandcell (intilliggande utrymmen plan 2, norra/södra långsidan). Gångavståndet till nödutgångarna är 26 m.

B.16.2 Mått

Båda dörrarna är 450 cm breda.

B.16.3 Kommentar

Maximalt personantal fås till 380 (beräknat med 2,5 personer/m² enligt Brandskyddslaget²).

B.17 Intilliggande utrymme plan 3, norra långsidan

Detta är en öppen yta som ligger i direkt anslutning till arenarummet, loger med mera.

B.17.1 Utrymning

Gångavståndet till utrymningsväg är 20 m. Inifrån en av logerna beräknas det kritiska gångavståndet 33 m, därav brandcellsavskiljningen.

B.17.2 Mått

Alla fyra dörrarna är 150 cm breda.

B.17.3 Kommentar

Maximalt personantal fås till 900 (beräknat med 2,5 personer/m² enligt Brandskyddslaget²).

B.18 Intilliggande utrymme plan 3, sydöstra kortsida

Detta är en öppen yta som ligger i direkt anslutning till arenarummet, Star Restaurang med mera.

B.18.1 Utrymning

Utrymning sker ut till annan brandcell (intilliggande utrymmen plan 3, norra/södra långsidan). Gångavståndet är 29 m.

B.18.2 Mått

Båda dörrarna är 450 cm breda.

B.18.3 Kommentar

Maximalt personantal fås till 380 (beräknat med 2,5 personer/m² enligt Brandskyddslaget²).

B.19 Intilliggande utrymme plan 4, norra delen

Detta är en öppen yta som ligger i direkt anslutning till arenarummet, toaletter med mera.

B.19.1 Utrymning

Utrymning sker till annan brandcell (trappa 5, trappa 6 och trappa 7). Gångavstånden understiger 30 m.

B.19.2 Mått

Dörren till trappa 7 är 90 cm bred och de övriga 150 cm breda.

B.19.3 Kommentar

Maximalt personantal fås till 350 (beräknat med 2,5 personer/m² enligt Brandskyddslaget²).

B.20 Intilliggande utrymme plan 4, södra delen

Detta är en öppen yta som ligger i direkt anslutning till arenarummet, kiosker med mera.

B.20.1 Utrymning

Utrymningen sker till annan brandcell (trappa 1, 2, 3 och 4). Gångavståndet är 21 m.

B.20.2 Mått

Båda dörrarna är 180 cm breda.

B.20.3 Kommentar

Maximalt personantal fås till 900 (beräknat med 2,5 personer/m² enligt Brandskyddslaget²).

B.21 Bar plan 3

Belägen ovanför Sparbanksfoajén med högt i tak och stor öppen terrass med bar, mingelbord och 2 stolsrader i läktarplan (94 sittplatser). För information om intilliggande utrymmen se Sparbanksfoajén samt Intilliggande utrymme plan 2, södra långsidan.

B.21.1 Utrymning

Utrymning sker ut till annan brandcell (trappa 1 och 2). Gångavståndet är 29 m.

B.21.2 Mått

Båda dörrarna är 150 cm breda.

B.21.3 Kommentar

Antalet personer bedöms vara omkring 400 beroende på evenemang samt antal utrymmande från arenarummet.

B.22 Trapphus

Trapphusen används för att ta sig mellan våningsplanen, samt för utrymning.

B.22.1 Utrymning

Trapphusen är utformade som egna brandceller och fungerar som utrymningsvägar från samtliga våningsplan. På bottenvåningen finns öppningar ut till det fria. Maximalt handlar det om att ta sig 20-25 trappmeter från översta plan ned till utrymningsvägen i marknivå.

B.22.2 Mått

I alla sex trapphusen är öppningarna till det ”fria” 248 cm. Fyra av trapporna är 224 cm breda, medan de två sista är 244 cm breda. Huruvida dessa mått är lämpliga eller ej kommer att ges av de simuleringar som kommer att genomföras för olika scenarion.

B.22.3 Kommentar

Trapphusens roll vid utrymning är av mycket stor betydelse då det i huvudsak är dessa som ska få ner allt folk från de övre våningsplanen. Alla trapphusen ska ha brandgasventilation och sakna brännbara material. Så är fallet i alla utom två av trapphusen där det lagerfördes galgar respektive var byggt ett undertak under brandgasventilationen. Dessa punkter skall åtgärdas snarast.

B.23 Stora toaletter

För att tillgodose åskådarnas behov finns ett större antal toaletter utplacerade i byggnaden.

B.23.1 Utrymning

Toaletterna utryms genom intilliggande utrymmena och därifrån på det sätt som anges under rubriken utrymning för *Intilliggande utrymmen*.

B.23.2 Mått

Dörrarna till de stora toaletterna har en bredd på 90 cm.

B.23.3 Kommentar

Toaletterna är inte brandtekniskt avskiljda mot de intilliggande utrymmena. Vid studiebesöket påträffades ett flertal toaletter vars dörrar gick i baklås. Detta är direkt olämpligt, bland annat, ur utrymningssynpunkt på grund av risken för instängning. Eftersom detta problem redan var identifierat och under åtgärd föreslås inga ytterligare åtgärder.

B.24 Verkstaden

Denna lokal ligger i plan 1 och används av vaktmästare för allmänna behov tillika skridskoslipning under matcher med mera.

B.24.1 Utrymning

Det finns endast en utrymningsväg, mot Inlastningen, med ett gångavstånd som understiger 30 m.

B.24.2 Mått

Dörrbredden i utrymningsvägen är 182 cm.

B.24.3 Kommentar

Lokalen är lätt överblickbar och förväntas endast inrymma personal varför en utrymningsväg kan tillåtas. Vid studiebesöket påträffades dock genomföringar till kylcentralen som ej var regelmässigt tätade. Dessutom kan ytskiktet i verkstadens tak gjort av trä kraftigt ifrågasättas.

B.25 Kylcentral

Denna lokal ligger i plan 1 intill inlastningsområdet och inhyser en ammoniakanläggning som används som kylsystem för isarna.

B.24.1 Utrymning

Det finns endast en utrymningsväg, mot Inlastningen, med ett gångavstånd som understiger 30 m.

B.24.2 Mått

Dörrbredden i utrymningsvägen är 182 cm.

B.24.3 Kommentar

Lokalen är lätt överblickbar och förväntas endast inrymma personal varför en utrymningsväg kan tillåtas. Kylcentralen har ett fristående ventilationssystem som ej är anslutet till något annat rum. Det konventionella ventilationssystemet kompletteras med en "evakueringsfläkt" som aktiveras vid detektion av ammoniak i lokalen (läkage). Vid

studiebesöket påträffades dock genomföringar till verkstaden som ej var regelmässigt tätade.

Vad som framkom av karteringen var att följande åtgärder bör/skall vidtas:

- Från omklädningsrum A127 skall utrymning omdirigering via spiraltrappan, trappa 7, se bilaga A (B.2.3 *Kommentar*).
- Dörren från Sky Bar till trappa 2 bör breddas till minst 120 cm (B.4.3 *Kommentar*).
- Vägledande markering skall placeras i den norra änden av Terrassen (B.9.3 *Kommentar*).
- Brandvarnare bör placeras i förråden utanför konferensrummen på plan 3 i entrédelen (B.13.3 *Kommentar*).
- Brännbara material får inte förvaras i trapphusen (B.22.3 *Kommentar*).
- Ombyggnad skall ske i det trapphus där undertaket var byggt under brandgas-ventilationen (B.22.3 *Kommentar*).
- Genomförningarna mellan verkstaden och kylcentralen måste, liksom tillfälliga genomföringar i allmänhet, tätas (B.24.3 *Kommentar*).

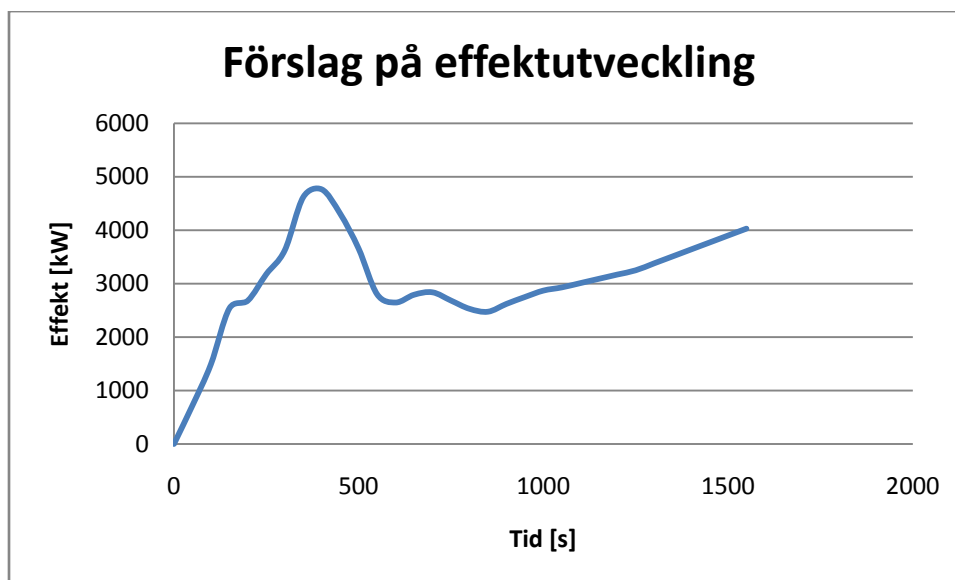
Bilaga C – Scenario 1 - Effektutveckling

För att kunna göra en bedömning av effektutvecklingen vid brand i monter används inledningsvis empiriska försök för att få fram effektutvecklingen för en monter. Därefter görs strålningsberäkningar för att kunna få en uppskattning om brandspridningen.

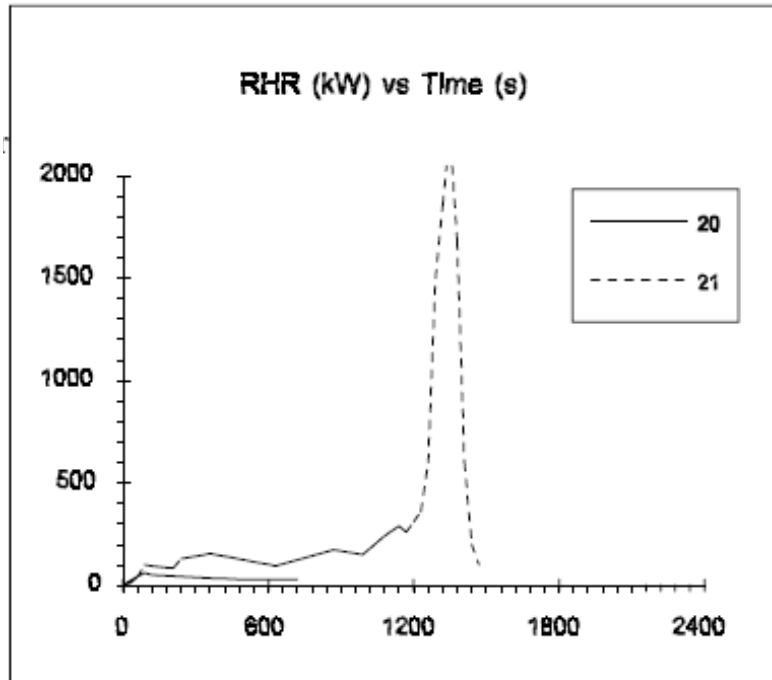
C.2 Effektutveckling för en monter

Följande diagram använts ur Särdaqvist⁵, se figur C1, figur C2, figur C3, figur C4, figur C5, figur C6 och figur C7. Dessa diagram ligger till grund för en uppskattning av vilken effektutveckling brand i en monter kan tänkas få. Riktvärdena har hämtats ur figur C1 och figur C2 som sedan justerats genom övriga diagram eftersom en monter innehåller mer material än ett vanligt kontor. Effekterna har summerats med hänsyn tagen till tiden och när uppskattningsvis 5 MW efter sex minuter. Tiden är ett riktvärde för hur länge branden pågår innan den börjar avta och effektutvecklingen till denna tidpunkt antas följa ett αt^2 -utseende. I känslighetsanalysen utförs simuleringar och beräkningar med ett varierande α -värde samt en varierande antändningstid för varje monter. Genom detta kommer den totala effektutvecklingen att variera. Kurvorna antas eskalera tills dess att effekten uppnår 5 MW, varefter effekten minskas kraftigt. I figur C0 ges ett förslag på hur effektutvecklingen kan se ut vid brand i en monter.

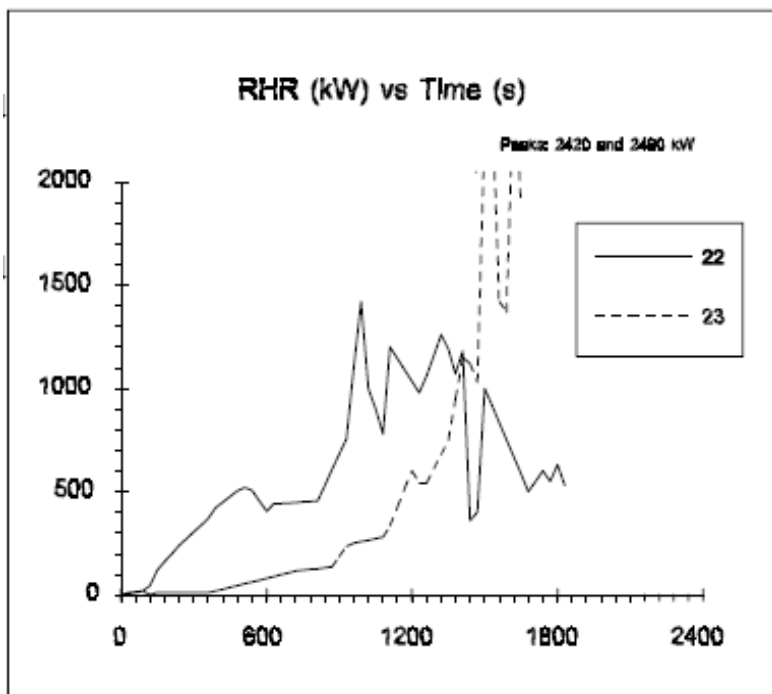
Denna metod ger givetvis ett generellt utseende men lämnar även utrymme för viss variation. En brand i en monter kan nämligen se ut på väldigt många olika sätt. Ett företag kan exempelvis ta med sig sin uppstoppade jättemaskot som består av PVC medan ett annat företag visar sin sprängsäkra bunker. För att få en god approximation av effektutvecklingen ansätts ett α -värde mellan 0,03 och 0,05 kW/s², eftersom detta kan tänkas gälla i början av brandförloppet. Ett förslag på en möjlig effektutveckling för monterbranden illustreras i figur C0.



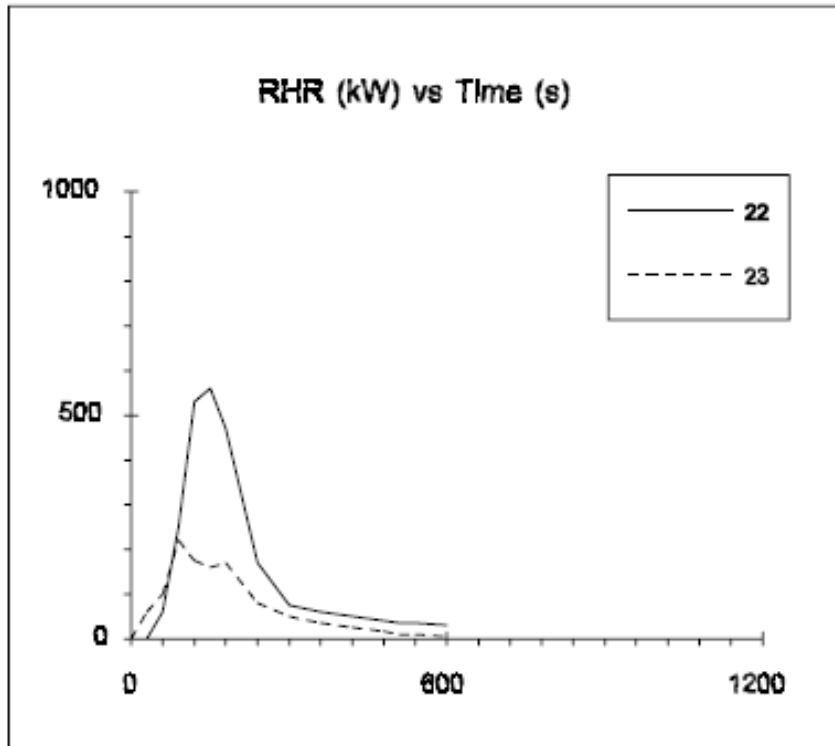
Figur C0. Sammanslagen effektutveckling från nedanstående figurer.



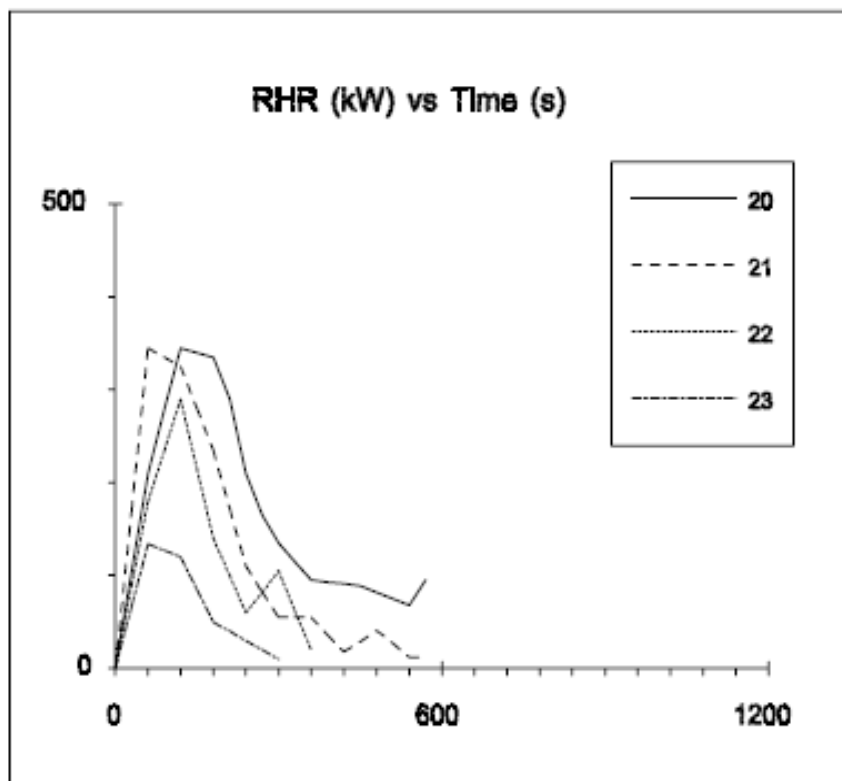
Figur C1. Effektutveckling för kontor med skrivbord, stol och pärmåp.



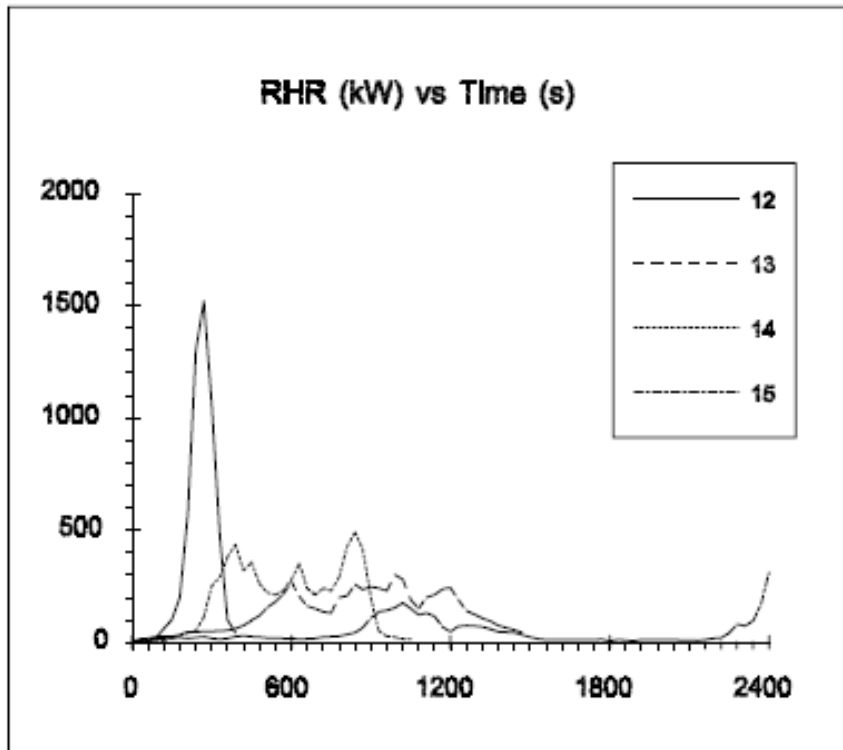
Figur C2. Effektutveckling för kontor med skrivbord, stol, papperskorg, pappersförvaring, dator och skåp.



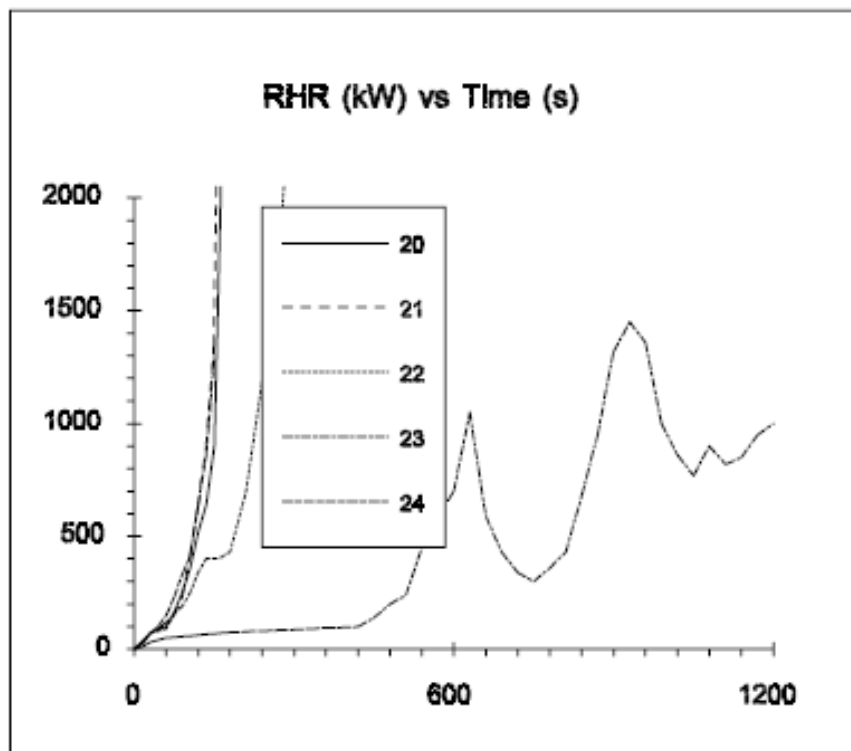
Figur C3. Effektutveckling för full tv utrustning.



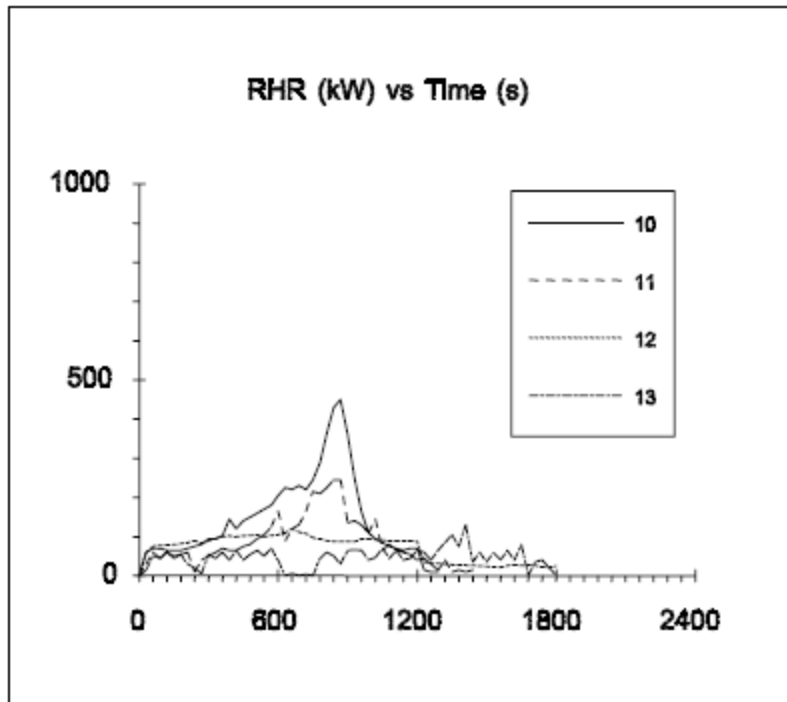
Figur C4. Effektutveckling för pappersskräp 3,5 kg.



Figur C5. Effektutveckling för soffa.



Figur C6. Effektutveckling för papper och plast vägg.



Figur C7. Effektutveckling för kablar.

C.2 Brandspridning

Den första montern når sin maximala effekt efter cirka 6 min för att sedan snabbt avta, detta på grund av att bränslet snabbt brinner upp.

Enklare handberäkningar kommer nu att genomföras för att se vilka nivåer strålningen från flamman kommer att hamna på. På så sätt bildas en uppfattning om hur snabbt branden sprider sig mellan montrarna. Eftersom vertikal flamspridning går väldigt fort antas flamman ha formen av en rektangel, som en affisch, med måtten $2 \times 1,5 \text{ m}^2$. Flamtemperaturen antas till 1100 K i formeln för strålning från flamman enligt Karlsson³,

$$\dot{q}_s'' = \varepsilon_f \phi_{tot} \sigma (T_g^4 - T_a^4)$$

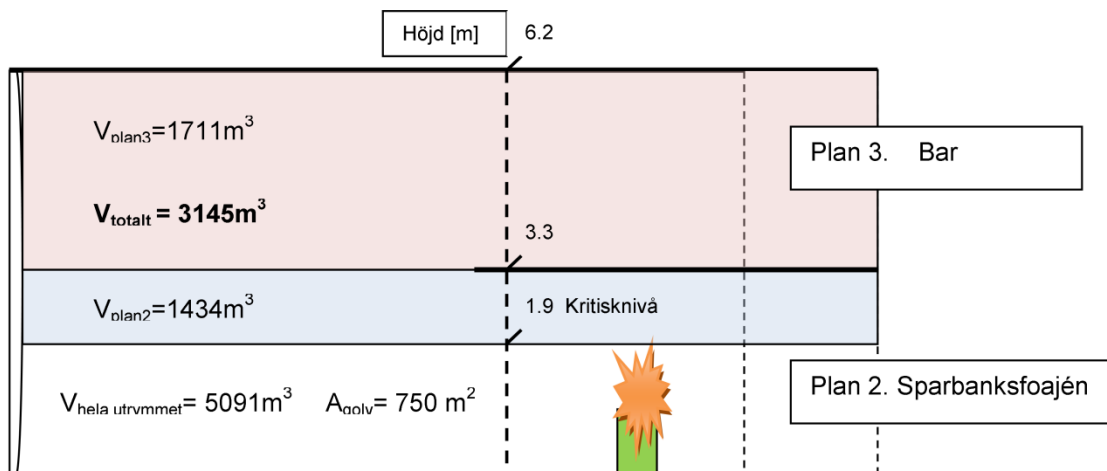
Synfaktorn antas verka som mellan två parallella plattor enligt Drysdale⁴. Med ett avstånd till nästa monter på 1 m beräknas denna konstant till $0,6$. Vidare antas emissionstalet till $0,3$ och strålningen beräknas då till 10 kW/m^2 . Detta värde varierar mycket med temperaturen men man kan ändå anta att branden sprider sig väldigt snabbt i montern vilket bidrar till att temperaturen snabbt ökar i flamman. På grund av den relativt höga strålningsintensiteten kan man anta att samtliga material omkring affischen pyrolyseras och att branden snabbt sprider sig.

Trä spontanantänder vid 15 kW/m^2 efter 60 s enligt laborationer från tidigare kurser. Intensiteten når enligt beräkningarna knappt detta värde men hänsyn bör även tas till att ett minskat avstånd ger en högre synfaktor. Genom detta resonemang antas närliggande monter spontanantända efter omkring 100 s . Tiden tills ytterligare en monter antänder blir inte lika lång, eftersom den redan har hunnit värmas upp av både strålade flammor och

brandgaslager. Därför antas denna antända efter omkring 140 s. Dessa värden kommer användas vid samtliga beräkningar och simuleringar varför det är viktigt att det görs en känslighetsanalys av de angivna tidsintervallen för antändning av nästa monter. Riktvärdena på 100 s respektive 140 s varieras +/- 20 s för att få en bild av hur antagandena ovan påverkar resultatet.

Bilaga D – Scenario 1 - Handberäkningar för brandgaslager

Vid beräkningarna görs en känsliganalys av tillväxthastigheten vilket innebär att den varierar mellan 0,03 och 0,05 kW/s². Tiderna som redovisas nedan är baserade på det varierande α -värdet i alla formler. I Zukoskis rökfyllnadsmodell är effektutvecklingen konstant, istället varierar den konvektiva delen av effekten, \dot{Q}_c . Vid beräkning av effekten genom mängden förbrukat syre antas $\Delta H_{c,\text{syre}} = 13,1$ MJ/kg enligt Karlsson³. Övriga ingående data redovisas i figur D1.



Figur D1. Beskrivning av höjd- och volymförhållanden i sparbanksfoajén.

D.1 Syremängd i sparbanksfoajén

För att se om mängden syre är tillräcklig för den första delen av effektutvecklingen, den del som kommer att vara aktuell ur utrymningssynpunkt, beräknas den totala mängd syre som finns i hela utrymmet. Denna mängd jämförs med den av branden förbrukade mängden syre. En viss mängd förbrukat syre motsvarar nämligen en viss mängd frigjord energi. Ventilationen är försummad i beräkningarna.

Volymen i utrymmet beräknas till 5091 m³ och den totala mängden mol luft i utrymmet beräknas genom allmänna gaslagen enligt

$$PV = nRT \Rightarrow n_{\text{total}} = \frac{PV}{RT} = \frac{101 \cdot 10^3 \cdot 5091}{8,31 \cdot 293} = 212 \text{ kmol.}$$

Branden antas kunna brinna ända tills syrenivån sjunkit från koncentrationen 21 mol% till 11,5 mol % enligt Särndqvist⁵. Den mängd syre som då finns tillgänglig för förbränning är

$$m_{\text{syre}} = n_{\text{total}} \cdot [O_2] \cdot M_{O_2} = 212 \cdot 10^3 \cdot (0,21 - 0,115) \cdot 32 = 644 \text{ kg.}$$

En viss mängd syre motsvarar alltså en viss energimängd, 13100 kJ/kg, grundat på vad som sägs i Karlsson³. Den aktuella mängden syre motsvarar följande mängd energi

$$Q_{O_2} = m_{O_2} \cdot 13100 = 644 \cdot 13100 = 8430 \text{ MJ.}$$

Detta är alltså den totala energimängd som en brand i utrymmet skulle kunna frigöra. Hur mycket energi som förbrukas för en specifik brand går att få fram genom att integrera effekten över tiden. Om branden i Sparbanksfoajén uppskattas till effektkurva med αt^2 -utseende kan energin integreras fram enligt

$$Q_{\text{brand}} = \int_0^t \dot{Q} \cdot dt = \int_0^t \alpha t^2 \cdot dt = \left[\frac{\alpha t^3}{3} \right]_0^t = \frac{\alpha t^3}{3}.$$

Genom att sätta ovan uttryck lika med den energi som syret maximalt kan bidra till kan den maximala tiden som branden kan fortgå lösas ut. Vid beräkningarna används de två olika värdena för α , nämligen 0,03 kW/s² och 0,05 kW/s².

Resultatet blir då att syret är förbrukat efter 944 s med ett α -värde på 0,03 kW/s² eller efter 797 s med ett α -värde på 0,05 kW/s². Tiderna är resultat över 13 min varför branden inte kommer att bli ventilationskontrollerad under den del av effektutvecklingen som är viktig för utrymningsituationen.

D.2 Beräkningar för rökfyllnad.

Nedan beskrivs två olika plymmodeller som används i beräkningarna, effektutvecklingarna är från *Bilaga C – Scenario 1- Effekttutveckling*. Resultatet redovisas i *punkt 6.2.4 Resultat för brandgaslager*.

D.2.1 Plymmodeller

Kalkyleringen av rökfyllnad beror till stor del på brandens producerade massflöde (\dot{m}_p), det vill säga den totala frambringande volymen brandgaserna. Under kommande punkt kommer de två nedanstående plymmodellerna att användas. Vid index α har effektutvecklingen beskrivits som en αt^2 -kurva. Heskestads plymmodell (index p) används vid beräkningar för nedre delen av brandgaslagret, det vill säga de brandgaser som finns i plan 2. Balkongplymmodellen (index b) används vid beräkningar i plan 3, alltså över höjden 3,3 m eftersom det över denna nivå kan bildas en balkongplym. Nedan redovisas de plymmodeller som kommer användas.

Heskestads plymmodell enligt Karlsson³:

$$\dot{m}_p = 0,071 \dot{Q}_c^{1/3} \cdot (z - z_0)^{5/3} + 1,92 \cdot 10^{-3} \cdot \dot{Q}_c$$

$$\dot{m}_{p,\alpha} = 0,071 (\alpha \cdot t^2)^{1/3} \cdot (z - z_0)^{5/3} + 1,92 \cdot 10^{-3} \cdot (\alpha \cdot t^2)$$

där

$$z_0 = 0,083 \dot{Q}_c^{2/5} - 1,02 \cdot D$$

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{A_{\text{monter}}}{\pi}}$$

Balkongplymmodell enligt Sanderson⁶:

$$\dot{m}_b = 0,2 Q^{1/3} \cdot W^{2/3} \cdot z + 0,0017 Q + 1,5 \dot{m}_p$$

$$\dot{m}_{b,\alpha} = 0,2(\alpha \cdot t^2)^{1/3} \cdot W^{2/3} \cdot z + 0,0017(\alpha \cdot t^2) + 1,5\dot{m}_p$$

D.2.2 Tid till kritiska förhållanden genom rökfyllnad

Beräkningarna är utförda med två olika versioner av rökfyllnadsmodell. Den första kan beskrivas som en förenklad modell, den innefattar både Heskestads- och balkongplymekvationerna för massflöde, se ovan. Syftet är att jämföra den totala volymen som finns ovanför den kritiska höjden med den producerade brandgasvolymen. Det görs genom att dividera den enligt punkt 6.2 *Brandgaslager* antagna densiteten med massflödet. Detta kan anses som mycket förenklat eftersom tiden det tar för brandgaserna att transporteras från branden till taket och därefter utbreda sig längs med taket bortses från. Även det faktum att plymflödet ökar med avståndet från flammen bortses från. Likaså antas höjden på brandgaslagret vara relativt konstant i plan 2 eftersom höjden är låg och korridoren som ska fyllas med brandgaser är lång. Därför kan dessa antaganden fortfarande vara rimliga. Beräkningarna går alltså ut på att få fram tiden tills volymen är uppfylld av brandgaser beroende på ett varierat massflöde. Det kan antas att all producerad brandgas ersätter den befintliga luften på grund av läckage i fasaden. Volymen bildade brandgaser likställs med fyllnadsvolymen och tiden till rökfyllnad kan lösas ut enligt

$$V = \int_0^{t_{kritisk}} \frac{\dot{m}_{\text{totala plymflödet}} \cdot dt}{\rho}$$

Beräkning genom enbart Heskestads rökfyllnadsmodell med en αt^2 -kurva ger

$$V = \int_0^t \frac{(\dot{m}_{p,\alpha} \cdot dt)}{\rho} = \left(0,071(\alpha \cdot t^2)^{\frac{1}{3}}(z - z_0)^{\frac{5}{3}} + 1,92 \cdot 10^{-3}(\alpha \cdot t^2) \right) / \rho$$

$$3145 = \int_0^t \frac{(\dot{m}_{p,\alpha} \cdot dt)}{\rho} = \left(0,071(\alpha \cdot t^2)^{\frac{1}{3}}(z - z_0)^{\frac{5}{3}} + 1,92 \cdot 10^{-3}(\alpha \cdot t^2) \right) / \rho.$$

Tiden beräknas till 280 s med ett α -värdet 0,05 kW/s² och 290 s med ett α -värdet 0,03 kW/s². Beräkningarna som utförs med balkongplymsmodellen måste dock delas upp eftersom balkongplymen försvinner när brandgaslagrets höjd understiger 3,3 m. Massflödet övergår då till enbart Heskestads plymflöde se figur 6.9. Brandgaslagrets höjd i den övre volymen, $z_{\text{övre}}$, sätts till 1,45 m som är ett medelvärde mellan 3,3 m och 6,2 m om man sätter plan 3 som nollpunkt, se figur D1. Volymen bildade brandgaser likställs med fyllnadsvolymen i planen var för sig och tiden till rökfyllnad kan lösas ut enligt nedan,

$$V_{\text{plan 3}} = \int_{t_0}^{t_1} (\dot{m}_{p,\alpha} \cdot dt) / \rho =$$

$$= 0,2(\alpha \cdot t^2)^{\frac{1}{3}} \cdot W^{\frac{2}{3}} \cdot z_{\text{övre medel}} + 0,0017(\alpha \cdot t^2) +$$

$$+ 1,5 \left(0,071(\alpha \cdot t^2)^{1/3}(z - z_0)^{5/3} + 1,92 \cdot 10^{-3}(\alpha \cdot t^2) \right)$$

$$V_{plan 2} = \int_{t_0}^{t_2} (\dot{m}_{p,\alpha} \cdot dt) / \rho$$

$$= 1,0 \left(0,071(\alpha \cdot t^2)^{1/3}(z - z_0)^{5/3} + 1,92 \cdot 10^{-3}(\alpha \cdot t^2) \right).$$

Tiden av intresse är den totala fyllnadstiden,

$$t_{total} = t_{plan3} + t_{plan2} \Rightarrow \quad t_{total,=0,05} = 170 \text{ s}$$

$$t_{total,\alpha=0,03} = 210 \text{ s}$$

Beräkningarna genomfördes genom programmering i Excel. För den intresserade läsaren redovisas några beräkningskolumner i tabell D1.

Tabell D1. Värden för plymflöden från beräkningar genom olika plymmodeller för de första 10 s.

| Tid [s] | Balkongplym [kg/s] | Heskestadsplym [kg/s] | Massa producerade brandgaser [kg] |
|---------|--------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 1 | 0,82 | 0,18 | 0 |
| 2 | 1,31 | 0,29 | 2 |
| 3 | 1,71 | 0,38 | 5 |
| 4 | 2,08 | 0,46 | 8 |
| 5 | 2,41 | 0,54 | 12 |
| 6 | 2,72 | 0,61 | 16 |
| 7 | 3,02 | 0,67 | 21 |
| 8 | 3,30 | 0,74 | 26 |
| 9 | 3,58 | 0,80 | 32 |
| 10 | 3,84 | 0,86 | 38 |

En annan modell som används är Zukoskis rökfyllnadsmodell ur Karlsson³. Denna modell förutsätter att det finns läckage men branden förenklas till en punktkälla. Denna modell är en svag plymmodell och är därför ingen bra modell i brandrummet. En fördel är dock att den tar hänsyn till effektens beroende av tiden och kan därför ge en rimlig uppskattning av tiden till rökfyllnad i kanterna (södra och västra korridoren). Vid beräkningen varierar effekten mellan 2,5 - 4 MW, eftersom den antas vara konstant i denna beräkning. Den konvektiva delen, \dot{Q}_c , antas uppta 70 % och blir därmed 1,8 respektive 2,8 MW. Dessa värden antas eftersom den totala förbrukade energin efter cirka 400 s är lika med dessa värden jämfört med α^2 -kurvan, det vill säga samma mängd gaser har producerats. Tiden 400 s har ansatts som ett riktvärde eftersom lokalen då bör vara utrymd. Kontroll av detta görs under punkt 6.5 Utrymningsdimensionering. En ytterligare aspekt är att tidigare har brandförloppet beskrivits som en effektkurva med α^2 -utseende, vilket inte behöver vara det verkligheten. För att även utöka känslighets-

analysen görs därför en beräkning med konstant effektutveckling. Beräkningarna beskrivs översiktligt nedan.

y är en höjdkonstant som visar förhållandet mellan brandgaslagrets höjd och den totala rumshöjden enligt

$$y = z/H.$$

\dot{Q}^* är ytterligare en konstant som beräknas enligt

$$\dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{1100H^{5/2}}.$$

Dessa två konstanter används i ett diagram i Karlsson³, där den nya konstanten nedan kan utläsas,

$$(\dot{Q}^*)^{1/3} \tau.$$

Genom denna konstant kan tidskonstanten τ beräknas. τ beror på tiden det tar för brandgaslagret att nå höjden 1,9 m (om man anger att $z = 1,9$ m) enligt

$$\tau = t \sqrt{\frac{g}{H} \frac{H^2}{S}}.$$

Resultaten blev att det tog 210 s med effekten 2.8 MW och 290 s med effekten 1,8 MW för brandgaslagret att nå höjden nivån 1,9 m.

D.2.3 Felkällor och antaganden

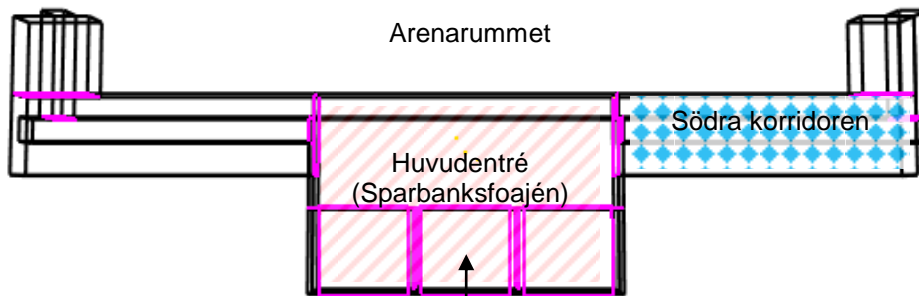
Modellerna bygger på att gaserna inte har någon transporttid upp till taket eller utbredningstid längs med taket. Plymflödet varierar med höjden, vilket i beräkningarna har bibehållits på en konstant höjd. I den första handberäkningsmodellen korreleras en egen temperaturökningskurva vilken har anpassas enbart genom sunt förnuft. Övriga antagna värden är förklarade direkt i handberäkningarna.

Bilaga E – Scenario 1 - CFAST-simulering av brandgaslager

Vid simulering av brandgaslagrets höjd, strålning och temperatur användes CFAST.

E.1 Simulering

För att få en överskådlig bild av Sparbanksfoajén redovisas sektionindelningen i Huvudentrén, södra korridoren och baren på plan 3 i figur E1 och figur E2 nedan.



Figur E1. Vy uppifrån på Sparbanksfoajén vid simulering av brandgasspridningen i CFAST.



Figur E2. Vy från sydväst (framifrån) på Sparbanksfoajén vid simulering i CFAST.

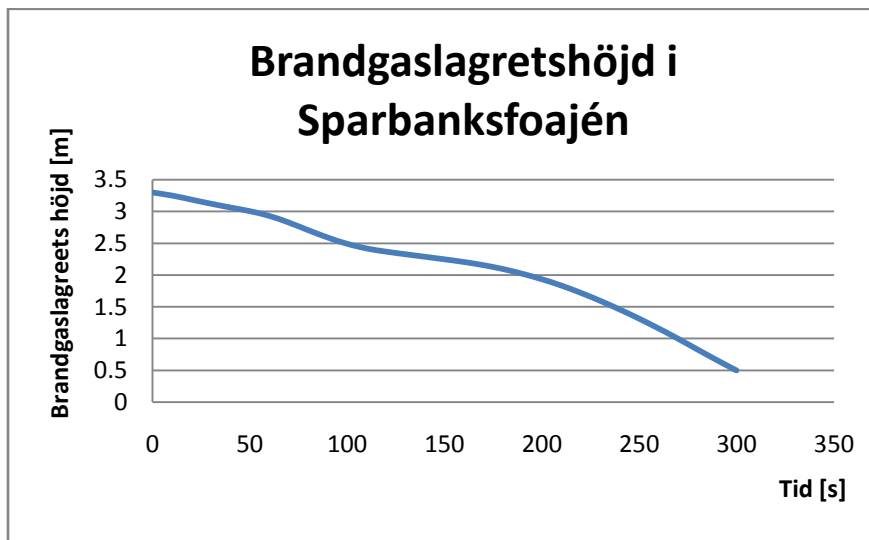
Resultatet blev att tiden till kritiska förhållanden på grund av brandgaslagrets höjd varierade med +/- 15 s medan temperaturen i brandgaslagret förblev näst intill oförändrad. Medelvärdena från simuleringarna redovisas i *Bilaga D – Scenario 1 - Handberäkningar för brandgaslager* och medelvärdena för tiden till kritiska förhållanden redovisas i tabell 6.1. På grund av att många antaganden görs konservativt bör den beräknade tiden ha en viss marginal. För att få en realistisk bedömning av tiden till kritiska förhållanden antas därför medelvärdet från beräkningarna.

E.2 Medelvärden ur CFAST-simuleringar

Vid simuleringarna av monterbranden i Sparbanksfoajén antogs en effektutveckling enligt α^2 -utseende för tre montrar. Effektutvecklingen för varje monter varierades med α -värden mellan 0,03 och 0,05 kW/s². Simuleringarna gav i medeltal värden för brandgaslagret enligt figur L1, figur L2, figur L3, figur L4, figur L5 och figur L6. Effektutvecklingen för montrarna som resulterade i dessa medelvärden redovisas i figur L7, figur L8 och figur L9.



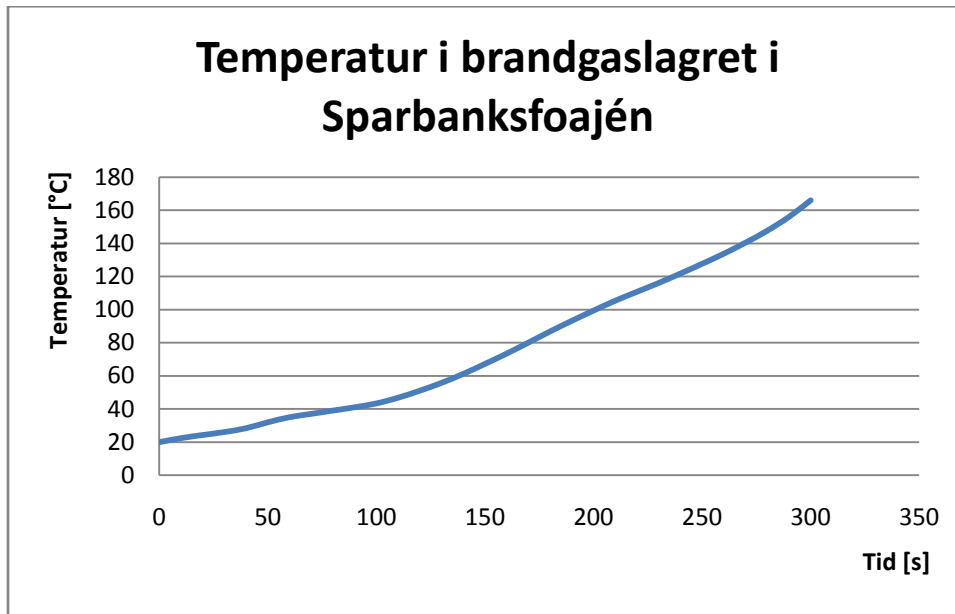
Figur L1. Brandgaslagrets höjd i södra korridoren, plan 2, som funktion av tiden.



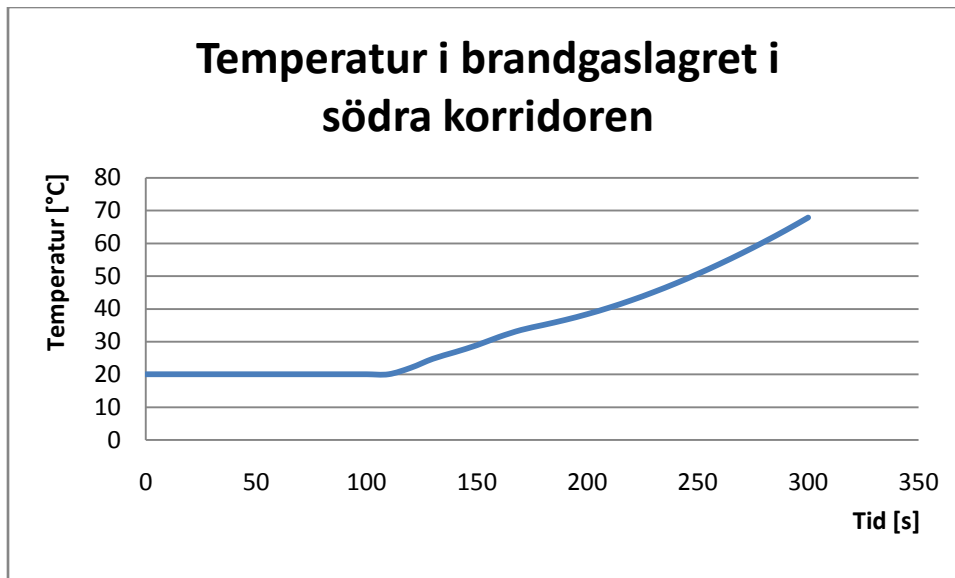
Figur L2. Brandgaslagrets nivå över markplan i Sparbanksfoajén som funktion av tiden.



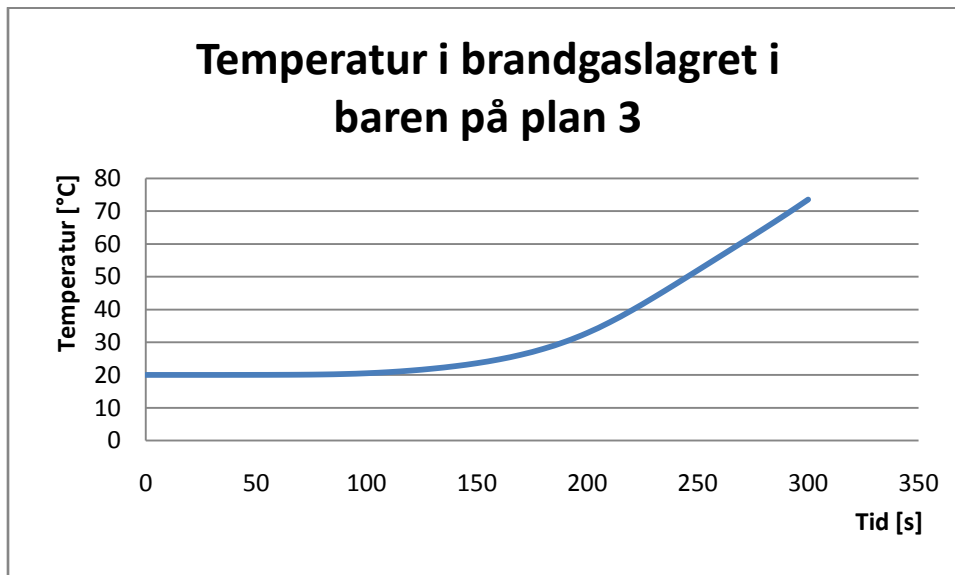
Figur L3. Brandgaslagrets höjd över golvet i baren på plan 3 som funktion av tiden.



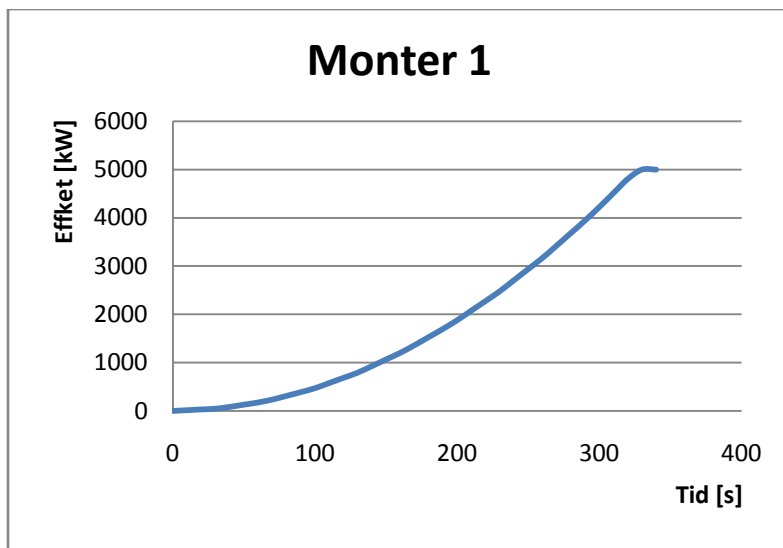
Figur L4. Redovisar temperaturen i brandgaslagret i Sparbanksfoajén över tiden.



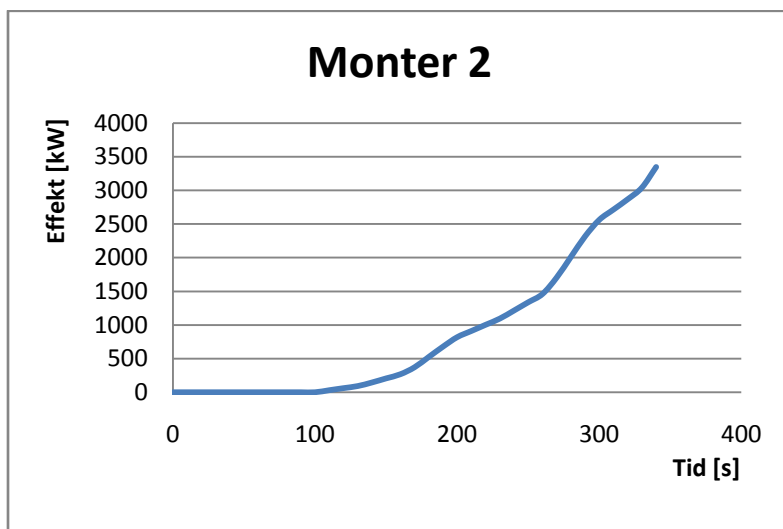
Figur L5. Temperaturen i brandgaslagret i södra korridoren som funktion av tiden.



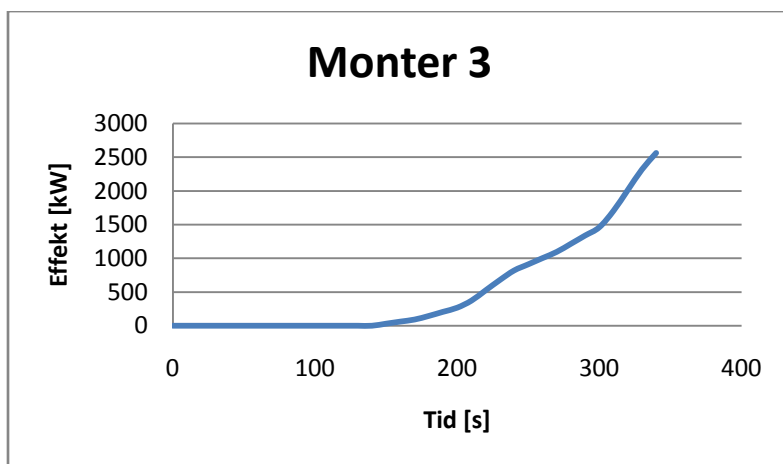
Figur L6. Redovisar temperaturen i brandgaslagret i baren, plan 3 som funktion av tiden.



Figur L7. Effektutvecklingen för den först antända montern.



Figur L8. Effektutvecklingen för den andra antända montern.



Figur L9. Effektutvecklingen för den tredje antända montern.

E.2 Felkällor

Jämförelsen mellan ett kontorslandskap och en monter är inte helt korrekt, men har anpassats för att ge så bra överensstämmelse som möjligt. Spridningen mellan de olika montrarna grundas på beräkningar med många antaganden, vilka dock har gjorts utifrån ett konservativt synsätt, se *Bilaga C – Scenario 1- Effekttutveckling*.

Programmet CFAST använder sig av McCaffreys svaga plymmodell som endast är testad för bränder med en maximal effekttutveckling på några få kilowatt. Det finns inga vetenskapliga experiment som styrker modellens tillämpbarhet på bränder med större effekttutveckling. CFAST-simuleringar är mest tillämpbara i rektangulära rum, där förhållandet mellan rummets längd och bredd inte bör överstiga en faktor tre ($\frac{L}{B} < 3$). Detta förhållande överskrids i de övre korridorerna varför resultatvärdena inte kan användas härifrån. Enligt förutsättningarna som angavs i början av scenariobeskrivningen kommer dock ingen att vistas i dessa utrymmen och därför är förlusten av data överkomlig. Det enda sättet på vilket dessa utrymmen kommer att påverka brandförloppet som helhet är genom brandgasspridning hit. Det enda viktiga är då att volymerna är medräknade, vilket är fallet.

Antaganden om antändning av nästa monter enligt punkt 6.1 *Effekttutveckling* sattes in i CFAST vilket medförde att resultatet varierade relativt lite (+/- 20 s). Den relativt marginella skillnaden i resultatet visar att antagandena om tid till nästa monters antändning var rimliga. Den lilla variationen i tid till kritiska förhållanden tyder på att antändningen av nästa monter och följderna av detta inte påverkar det stora hela.

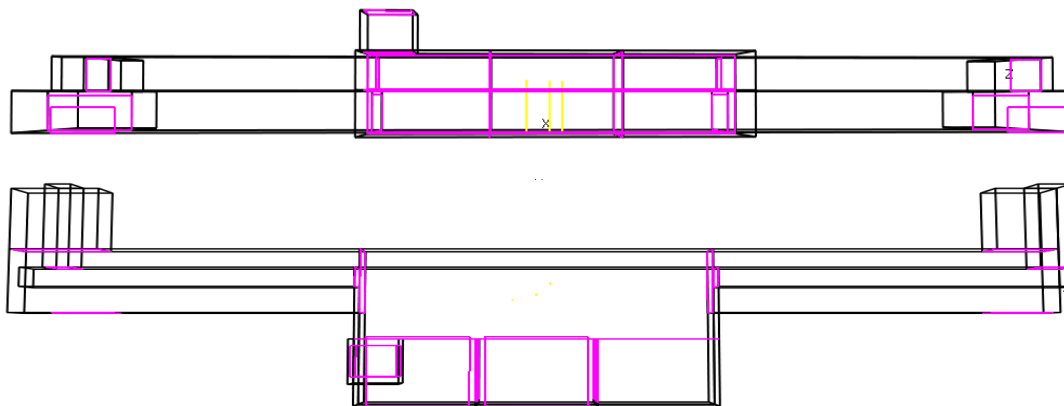
För att kontrollera att CFAST ger värden i rätt storleksordning jämförs resultaten med värden från handberäkningar med andra plymmodeller.

Bilaga F – Scenario 1 - Validering av brandgasluckor

Här görs en kvalitativ undersökning om brandgasluckor har någon effekt i Sparbanksfoajén vid en eventuell brand. Vid beräkningar och simuleringar ansätts värdena för effektutveckling och brandförlopp som beskrivs i *Bilaga C – Scenario 1 - Effekttutveckling*.

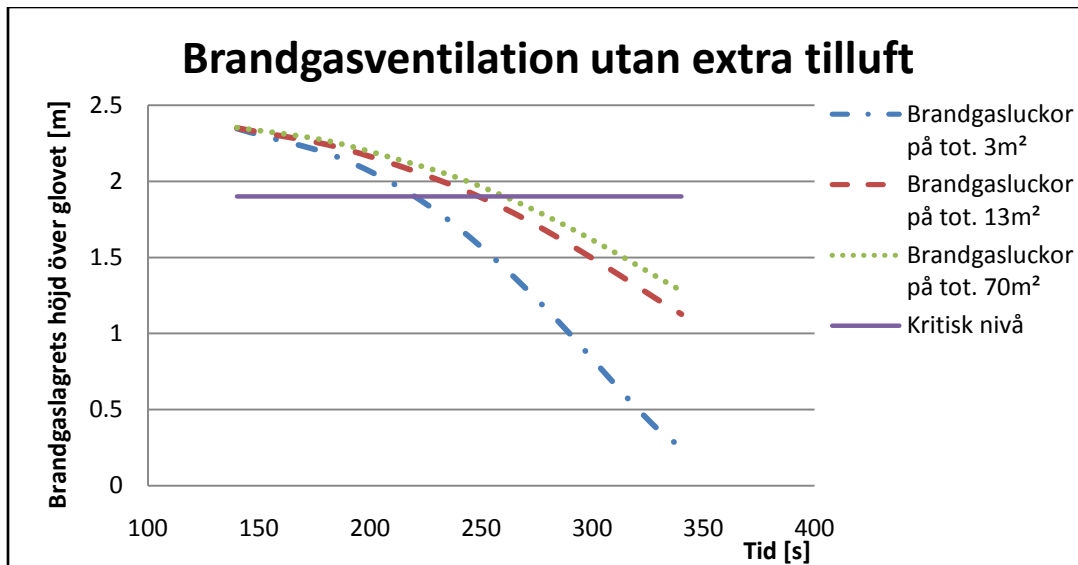
F.1 Simulering i CFAST

Inledningsvis placerades brandgasluckorna via kanaler upp genom Skybar och ut på taket. Genom placering i taket ventileras brandgaserna rakt ut till det ”fria” genom självdrag, vilket endast skulle öka om vinden ligger på eftersom det skapas ett undertryck. Det innebär också att brandgasluckorna måste öppnas automatiskt, alltså som en direkt följd av att brandlarmet i Sparbanksfoajén aktiveras. Enligt punkt 6.5.1 *Detektionstid* utlöser larmet inom 135 s då även brandgasluckorna skulle kunna öppnas. För att se om luckorna löser problemen utförs simuleringar med brandgasventilation i CFAST, se figur F1.



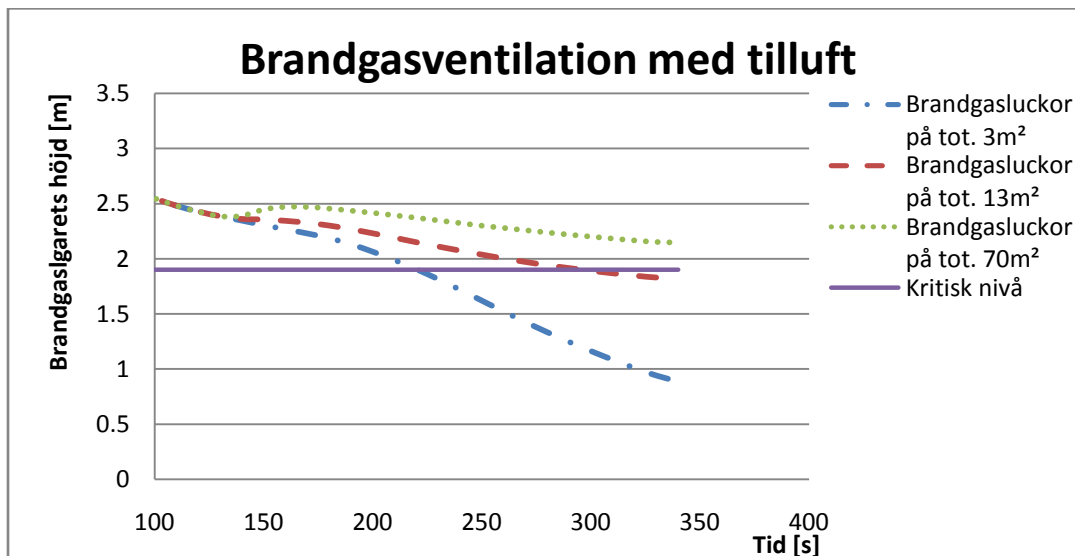
Figur F1. Simulering i CFAST med brandgasluckor i Sparbanksfoajéns tak.

För att avgöra den nödvändiga storleken på luckorna gjordes flera simuleringar genom vilka brandgaslagrets höjd över tiden betraktades, se figur F2.



Figur F2. Jämförelse mellan olika stora brandgasluckors inverkan på brandgaslagrets höjd över tiden.

I figur F2 syns endast en marginell skillnad i brandgaslagrets höjd då luckornas area förändras från 13 till 70 m². Detta på grund av den begränsade tilluften. För att öka denna prövas om automatisk dörröppning i utrymningsvägarna vid södra och norra korridoren löser problemet. Södra korridoren har 5 utrymningsvägar med en sammanlagd yta på 20 m², det antas att halva ytan störs/blockeras av utrymmande personer varför endast öppningsytan 10 m² används i simuleringarna. För norra korridoren blir på samma sätt öppningsytan 10 m². Resultatet från simuleringarna i CFAST med dessa åtgärder visas i figur F3.



Figur F3. Jämförelse mellan olika stora brandgasluckors inverkan på brandgaslagrets höjd med tilluft på 20 m².

F.2 Handberäkningar

Vid handberäkning av fallet med brandgasluckor används formler från Karlsson³.

Begynnelsestemperaturen i rummet antas vara 20 °C och flödeskoefficienten, C_d , för brandgasluckorna sätts till 0,6. Massflödet beräknas genom Heskestads- och balkongplym-modellen som beskrivs i Bilaga C Tryckskillnaden i rummet beräknas då enligt

$$\Delta P_l = \frac{\dot{m}^2}{2\rho_a(C_d A_D)^2}.$$

T_g antas till en början stiga konstant med 0,1 °C/s under 60 s tills den andra montern antänder. Då ökar temperaturen med 0,3 °C/s och efter tredje monterns antändning ökar den med 0,8 °C/s. När temperaturskillnaden mot omgivande temperatur har uppnått 100 °C antas brandgastemperaturen vara konstant. Detta eftersom stora kalla luftmassor blandas in i balkongplymen och gaserna kyls ner av de stora väggarna. Antagandena baseras på CFAST-simuleringens temperaturförändringar. Densiteten beräknas varefter massflödet genom brandgasluckorna kan beräknas enligt

$$\rho_g = \frac{353}{T_g}$$

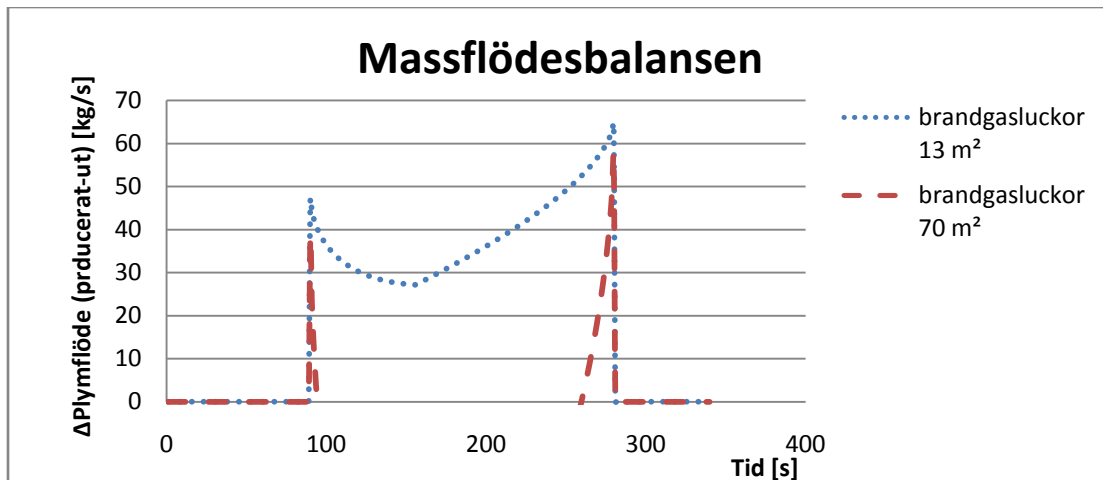
$$\dot{m}_e = C_d A_E (2\rho_a (-\Delta P_l + (\rho_a - \rho_g) \cdot g \cdot (H_E - z)))^{1/2}.$$

För interpolering och beräkning används Excel som exemplifieras i tabell F1. Resultatet för skillnaden mellan massflöde genom brandgasluckorna och producerat massflöde från balkongplymen presenteras i figur F4.

Tabell F1. Redovisar de första 9 s av beräkningarna av flödesbalansen i Excel.

| Tid [s] | Balkongplym [kg/s] | Heskestadsplym [kg/s] | ΔP_{lower} [Pa] | T_g [K] | ρ_g [kg/m ³] | Brandgasluckor 13 m ² [kg/s] | Brandgasluckor 70 m ² [kg/s] |
|---------|--------------------|-----------------------|-------------------------|-----------|-------------------------------|---|---|
| 1 | 0,82 | 0,18 | 0,001 | 293 | 1,2047 | --- | --- |
| 2 | 1,31 | 0,29 | 0,004 | 293,1 | 1,2043 | 1,32 | 11,33 |
| 3 | 1,71 | 0,38 | 0,006 | 293,2 | 1,2039 | 1,91 | 16,30 |
| 4 | 2,08 | 0,46 | 0,009 | 293,3 | 1,2035 | 2,34 | 19,96 |
| 5 | 2,41 | 0,54 | 0,012 | 293,4 | 1,2031 | 2,69 | 22,96 |
| 6 | 2,72 | 0,61 | 0,016 | 293,5 | 1,2027 | 3,00 | 25,55 |
| 7 | 3,02 | 0,67 | 0,019 | 293,6 | 1,2023 | 3,25 | 27,84 |
| 8 | 3,30 | 0,74 | 0,023 | 293,7 | 1,2019 | 3,49 | 29,91 |
| 9 | 3,58 | 0,80 | 0,027 | 293,8 | 1,2014 | 3,71 | 31,80 |

Massflödesskillnaden i figur F4 visar hur mycket brandgaser som finns kvar inne i byggnaden. Genom detta kvarvarande massflöde i lokalen kan tiden till rökfylld beräknas.



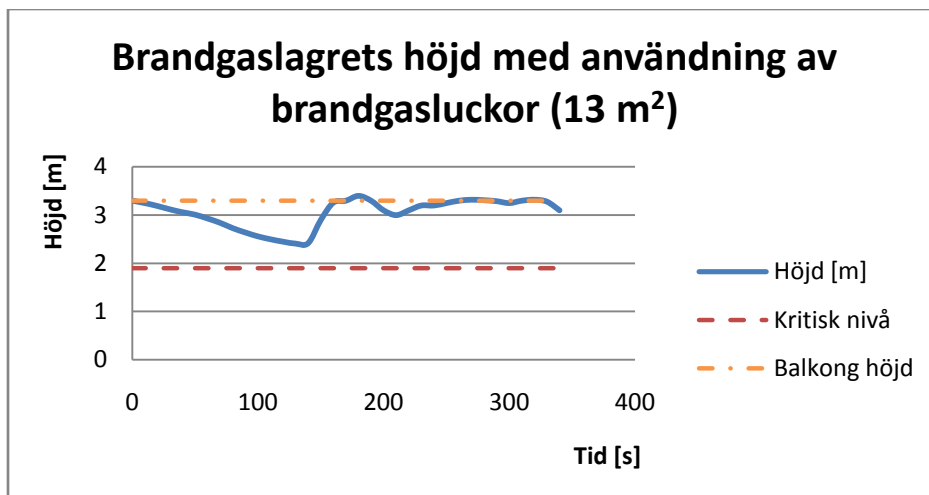
Figur F4. Massflödesberäkning på 2 storlekas brandgasluckor.

Samma beräkningar utförs som under punkt D.2.2 *Tid till kritiska förhållanden genom brandgaser*. Ytterligare en variabel används emellertid, massflödet ut via brandgasluckorna. Volymen producerade brandgaser beräknas enligt

$$V = \int_0^{t_{\text{kritisk}}} \frac{(\dot{m}_{\text{totala plymflödet}} - \dot{m}_{\text{brandgasluckor}})}{\rho} \cdot dt.$$

Med vetskap om fyllnadsvolymen i Sparbanksfoajén, se figur F4, kan brandgaslagrets höjd beräknas. Resultatet presenteras i figur F5 där man kan uttyda att en balans inställer sig på en höjd av 3,0 m.

Flödet in i brandgaslagret beror på vilket plymflöde som bildas. Det varierar mycket eftersom det bildas en balkongplym då brandgaslagret är över höjden 3,3 m. Balansen som inställer sig omkring 3,0 m beror därför troligen till stor del på att balkongspillplymen "ställer in sig" på höjden 3,3 m. Under denna höjden kan enbart Hestestadsplymen användas vid beräkningarna. Således förekommer en variation av plymflödet upp till en faktor 5 enligt beräkningar beroende på om brandgaslagret är över eller under 3,3 m. Därför kommer brandgaslagrets höjd att fluktuera kraftigt omkring 3,3 m. När brandgaslagret befinner sig över 3,3 m produceras en balkongplym och brandgasluckorna klarar inte av att ventilerar ut alla brandgaser varför brandgaslagret sjunker.



Figur F5. Handberäkningar av brandgaslagrets höjd med insatta brandgasluckor.

När brandgaslagret sjunkit under 3,3 m har balkongplymen försvunnit och brandgasluckorna klarar av att ventilerar ut brandgaserna och följaktligen höjs brandgaslagret. Eftersom brandgasluckorna lyckas vädra ut Heskestads plymflöde men inte balkongplymflödet inställer sig således en balans omkring 3,3 m, se figur F5 Detta innebär att brandgaslagrets höjd inte understiger 1,9 m och utrymningen kan därmed ske under säkra förhållanden.

Bilaga G – Scenario 2 - Effektutveckling

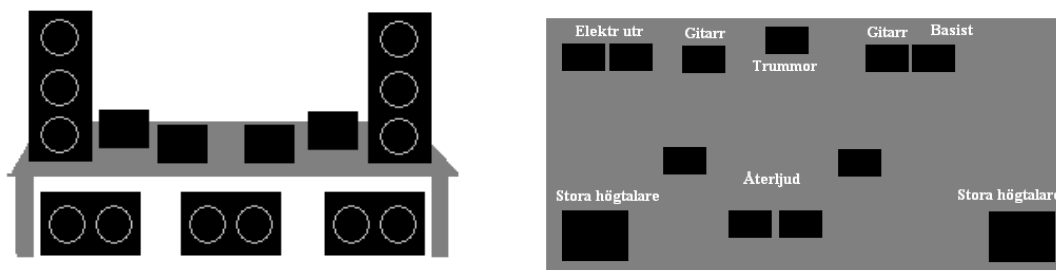
För att kunna göra en bedömning av hur ett brandförlopp i scenen kan se ut antas en materialuppställning på scenen varefter det undersöks hur branden kan sprida sig.

G.1 Effektutveckling för scenmaterial

En modern scen består av ett antal olika beståndsdelar av vilka flertalet kommer att medverka vid en eventuell brand. Själva scenen, högtalare, back drops, instrument och mattor är exempel på olika beståndsdelar som var för sig har olika tillväxthastighet och skiljande maximal effekt. För att få fram en brandkurva förenklas beräkningarna till att inledningsvis behandla generaliserade delar av sceninnehållet. Dessa delar har valts utifrån sin betydelse för branden och summeras sedan för att ge en teoretisk maxeffekt.

G.1.1 Elektronik

En högtalaruppställning kan se ut som i figur G1, med tre subwoofers under scenen, två stora högtalare vid kanterna, fyra element riktade mot bandet samt ett inställningsbord i bakkant med ytterligare utrustning. Dessutom tillkommer kablar till samtliga delar.



Figur G1. En uppställning av elektronik på scen. T.v. ses scenen framifrån (endast med den främre utrustningen) och t.h. ses scenen med dess utrustning ovanifrån.

För att få fram effektutveckling för elektroniken dras paralleller till de tv-apparater som anges i Särdaqvist⁵. En tv kan anses vara uppbyggd på ungefär samma sätt som en högtalare, möjligtvis med det undantaget att den är något kompaktare. Av den orsaken borde en TV ge en något lägre tillväxthastighet. Energiinnehållet per kilogram antas däremot vara samma. Även effektkurvor för kablar tas ifrån Särdaqvist⁵. Vad gäller tiden till maxeffekt modifieras de tider som ges i Särdaqvist⁵ för de elektriska installationer som antas bestå av flera TV-apparater. Rimligen borde det ta längre tid tills ett större föremål uppnår maximal effekt. Med tanke på de stora högtalarnas påtagliga höjd i förhållande bredd kommer tiden för dessa dock antas bli ungefär samma för en TV-apparat då flamspridning i höjdlid sker snabbt. Sammanfattningsvis redovisas den modifierade informationen tagen ifrån Särdaqvist⁵ i tabell G1 nedan.

Tabell G1. Redovisar för scenbranden anpassade värden tagna ifrån Särdaqvist⁵.

| <i>Objekt</i> | <i>Motsvarighet</i> | <i>Totalt antal</i> | <i>Maxeffekt [kW]</i> | <i>Tid till maxeffekt [s]</i> |
|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Subwoofer | Tre TV-apparater | 3 | 1800 | 500 |
| Stora högtalare | Åtta TV-apparater | 2 | 3200 | 500 |
| Små högtalare | En TV-apparat | 4 | 800 | 400 |
| Ljud mot artister | En TV-apparat | 4 | 800 | 400 |
| Mix/inställningar | En TV-apparat | 2 | 400 | 400 |
| Kablar | Tio kabelpaket | 1 | 1500 | 800 |

G.1.2 Scengolv

Ett scengolv i trä har alla möjligheter att delta i ett brandförlopp. Effektutvecklingen beror till stor del på återstrålningen från flammorna vilket kan utläsas ur Tran och White⁸. En ungefärlig effektutveckling vid brand uppskattas med hjälp av denna skrift till cirka 80 kW/m² för furuliknande trä. Med en total scenarea på 20 x 10 meter blir hela scengolvets maxeffekt 16 MW.

G.1.3 Dekor

När effekten för dekoren beräknas antas den bestå av material motsvarande det tyg som finns i Särdaqvist⁵. Effekten för ett 3 x 3 m² stort tygstycke anges då ha 750 kW som maxeffekt efter 40 s. Med tanke på scenens golvarea och höjden till scentaket antas scenen som helhet innehålla 16 sådana tygstycken som då sammanlagt ger effekten 12 MW. Tillväxthastigheten för dessa anges vara ultrasnabb. Dekorstyckena antas finnas främst i fram- och bakkant på scenen.

G.2 Brandspridning

Tiden fram tills dess att maxeffekt uppnås förenklas till tre delar där effektutvecklingen är proportionell mot tiden i kvadrat. Detta görs med vissa modifikationer grundade på bland annat scenens storlek och vad för material som brinner. Varje del varar enligt nedanstående resonemang i fem minuter.

G.2.1 Initialbrand

Branden inleds i den vänstra subwoofern under scenen. Maximal effektutveckling (600 kW) för denna subwoofer uppnås efter 8 min. Det initiala skedet varar i 5 min då branden antas ha blivit så stor att den ej endast begränsas till subwoofern.

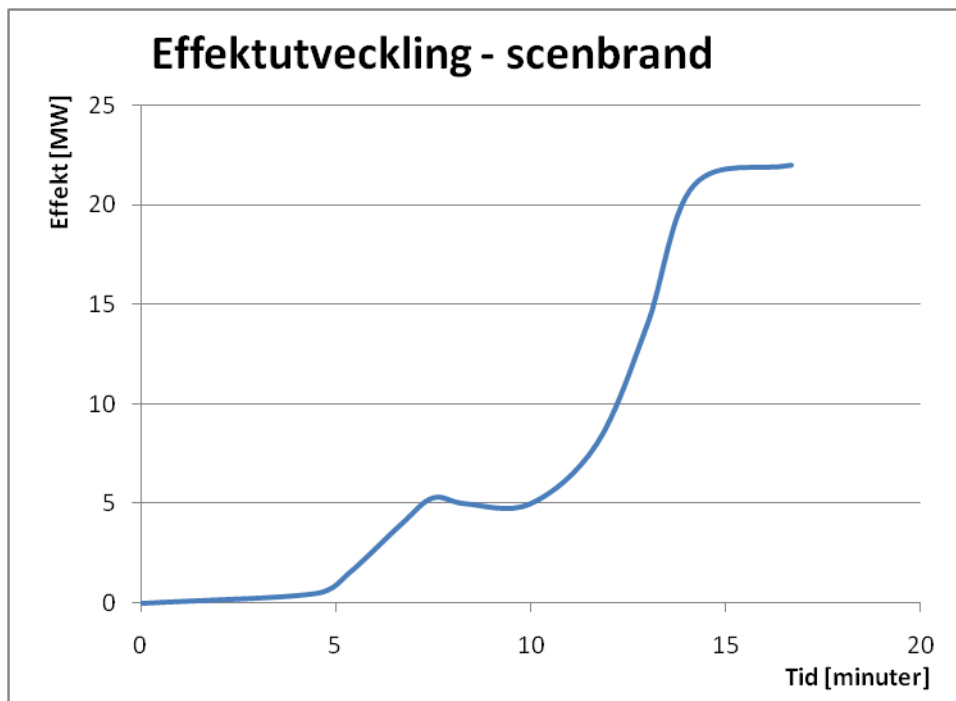
G.2.2 Tillväxt

Redan efter 5 min sprider sig branden upp till en av de stora högtalarna och de dekorstyckena som sitter uppsatta framför denna. Dekoren ger en snabb ökning i effekt (1500 kW) som varar i 3-4 min. Dess strålning ger en stark grogrund för brandspridning i

övrigt. Den stora högtalaren når sin maxeffekt (1600 kW) 8 min efter antändning. Också scengolvet antas antända efter 5 min och förbränningen tillväxer sedan radiellt genom resten av brandförloppet. Ett riktmärke är att det 8 min efter antändning av detta brinner 10 m² golv, motsvarande 800 kW. Denna del av tillväxtfasen varar tills 10 min efter antändning.

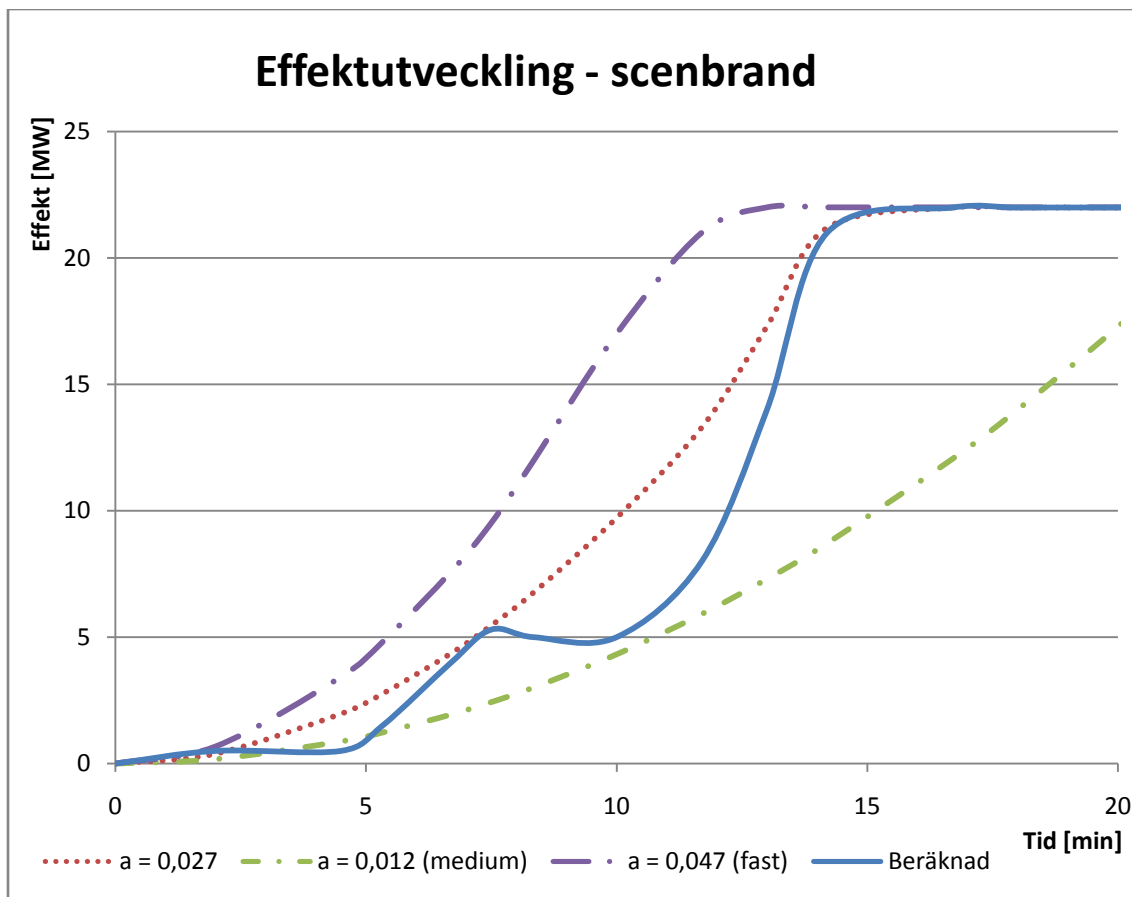
G.2.3 Ytterligare tillväxt

Del 3 består av en brand som innefattar större delen av resterande material. Redan uppbrunnet material räknas bort och en maximal effektutveckling uppskattas till 22 MW efter 15 min.



Figur G2. Redovisar den sammanslagna beräkningen av effektkurvan för scenbranden.

Slås de olika delarna av brandscenariot samman ges en effektkurva med ungefärligt utseende enligt figur G2 ovan. Nedan redovisas denna även jämte normaliserade effektkurvor enligt αt^2 -utseende, se figur G3. Anpassas den beräknade effektkurvan till αt^2 -utseende ges ett α -värde på 0,027 kW/s² med en effektutveckling på 22 MW efter 900 s, vilket även redovisas i figur G3. Kurvan jämförs med Abrahamsson⁸ och Ondrus⁹ och anses om än något konservativt representera en i sammanhanget trolig effektutveckling.



Figur G3. Redovisar den beräknade effektkurvan för scenbranden jämte effektkurvor med αt^2 -utseende.

Bilaga H – Scenario 2 - Beräkningar för brandgaslager

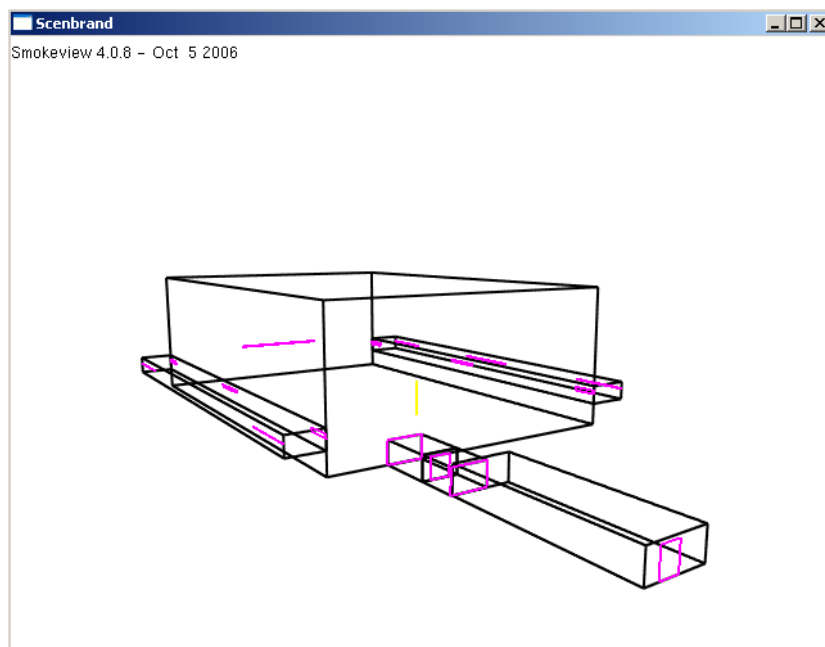
För att göra en bedömning om hur ett brandgaslager kan skapas i arenarummet används datorsimuleringar i programmet CFAST samt två olika handberäkningsmodeller.

H.1 Simulering av brandgaslager

Ett av tillvägagångssätten för att simulera brandförlopp är att använda sig av en tvåzonsmodell. Grundprinciperna är att man vid ett brandscenario kan indela rumsvolymen i två homogena zoner; en övre varm zon som innehåller brandgaser och en undre kallare zon med ”vanlig” luft. Genom brandplymen strömmar brandgaserna upp i den övre zonen. Med hjälp av kontinuitetsekvationerna kan man få fram faktorer som temperatur och på vilken höjd gränsskiktet mellan de två zonerna befinner sig. Denna princip används även i datorprogrammet CFAST, i vilket det valts att simulera scenbranden. Simulering görs med vetskap om att en brand med effekten 100 MW skulle krävas för att uppfylla programmets begränsningar i arenarummet. Det betyder att effekten som scenbranden producerar är avsevärt för liten. Eftersom få andra program kan simulera rådande förhållanden bättre är ändå förhoppningen att resultaten ska kunna användas i viss utsträckning. Resultaten jämförs till viss del med handberäkningar för att underbygga resultaten.

H.1.1 Simulering i CFAST

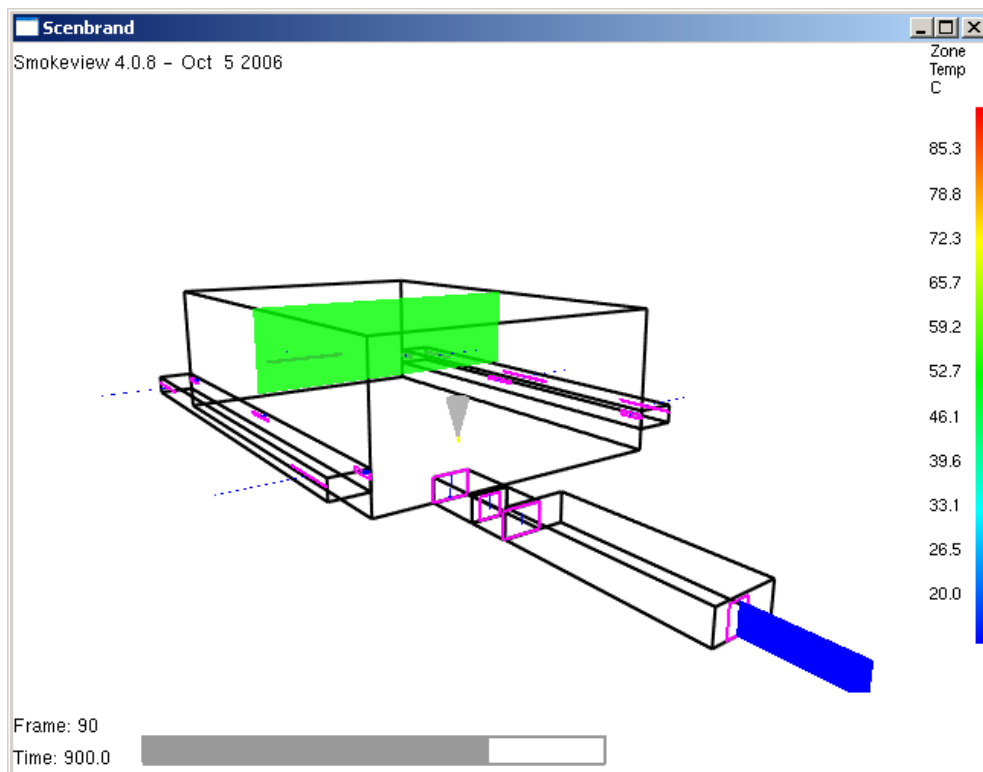
När samtliga viktiga geometrier angetts fås simuleringens rent visuella utseende enligt figur H1 nedan.



Figur H1. Arenarummet med ventilationsöppningar och läckage uppbyggt i CFAST.

En del detaljer med utseendet på bilden fordrar förklaringar. Till att börja med har arenarummet inte ett fullt så kubiskt utseende som på bilden. Den enkla förklaringen till detta är att CFAST inte skapar rum av någon annan form. För att kompensera för den större luftmängden har totala höjden från is till tak reducerats något. Den största tilluftsöppningen går genom Inlastningen. Porten öppnas per automatik då brandlarmet

aktiverar, samtidigt som fläktarna i taket aktiverar (dessa syns dock inte på bilden). De tunna streck som finns längs med väggarna på objektet ska symbolisera mindre öppningar. Det streck som ses i stora hallens bortre del ska symbolisera lokalens naturliga läckage, medan de som finns på korridorernas utsidor motsvarar de öppningar som bildas då dörrarna öppnas i samband med utrymning. På grund av utrymningsströmmen av personer i dörröppningarna kommer inte dörrarnas fulla storlek att användas. Den verkliga öppningen antas istället motsvara decimeterhöga springor i huvudhöjd.



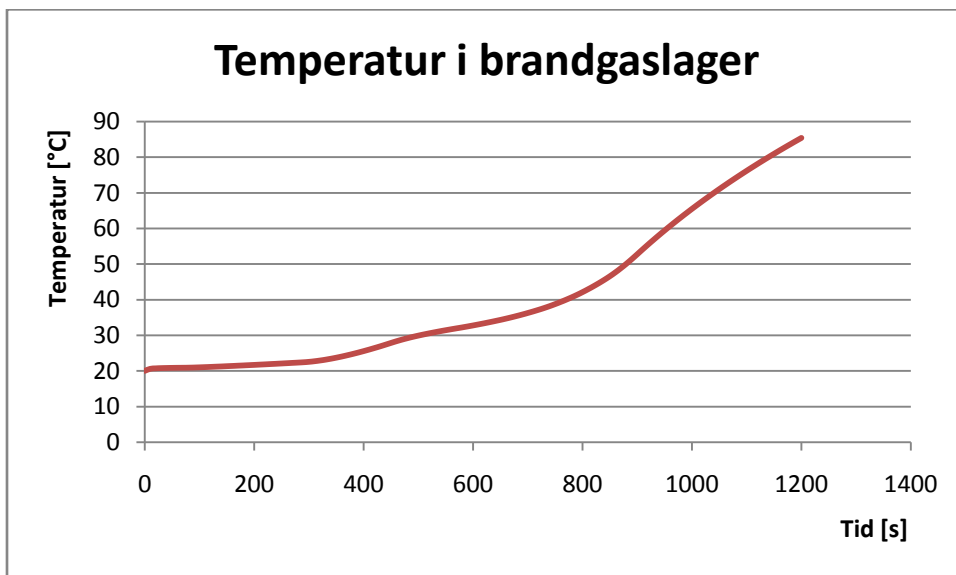
Figur H2. Scenbrandens simulering i CFAST efter 15 min.

Vi kan också se brandens initiala placering. Då geometrierna fastställts angavs brandens effektutveckling enligt den beräknade effektkurvan med utgångspunkt från figur G2. Därefter genomfördes själva simuleringen, se figur H2.



Figur H3. Redovisar brandgaslagrets höjd som funktion av tiden vid simulering av scenbranden i CFAST.

Resultaten av simuleringen kan överföras till en Excel-fil och därifrån tolkas. Det slutliga resultatet presenteras i figur H3 och figur H4 där bland annat tiden tills temperaturen uppnår 80 °C avläses till cirka 1200 s (20 min).



Figur H4. Redovisar temperaturen i brandgaslagret som funktion av tiden vid simulering av scenbranden i CFAST.

Eftersom tilluftsöppningen är en svag länk har simuleringar även gjorts med denna stängd. Likaså med brandgasluckor i stället för fläktar samt utan brandgasventilation över huvud taget. Simuleringarna gav förvånansvärt liknande, för att inte säga exakt samma resultat. Brandgasventilationen borde rimligen ha någon form av inverkan liksom tilluftsöppningens storlek. Den enda skillnaden mot tidigare resultat gavs då varken läckage eller tilluft fanns i arenarummet och ett markant undertryck skapades.

H.1.2 Felkällor

CFAST är inte skapat för så stora volymer som används i simuleringen vilket gör att transporttider och annat som blir lidande. Med så stora avstånd är egentligen heller inte den plymmodell (McCaffrey) som används i programmet användbar. McCaffreys plymmodell är nämligen stark, det vill säga anpassad för de fall då stora temperaturskillnader uppstår. Situationen i arenarummet kräver snarare en svag modell som passar då det handlar om små temperaturskillnader. Som redan setts i resultaten handlar det om relativt små temperaturskillnader.

Själva idén med en uppdelning i två zoner, en varm och en kall, underlättar verkligen för beräkningar, men helt överensstämmande med verkligheten är det inte. Särskilt stor borde skillnaden bli då temperaturskillnaderna blir små och brandgaserna snarare sprider sig i stort sett till hela det aktuella utrymmet.

H.2 Handberäkningar

Vid beräkningarna nedan används Zukoskis plymmodell. Detta är en svag plymmodell som har visat sig stämma relativt väl överens med verkligheten när brandgaslagret är långt ifrån flamman.

H.2.1 Smoke Control in Large Spaces

Med de konservativa antagandena att ingen ventilation är i drift och att byggnads-konstruktionen ej kyler brandgaserna kan först enkla beräkningar göras enligt Yamana och Tanaka ur Karlsson³. Fördelen är då att en variabel effektutveckling kan användas. Denna förenklas till en kurva enligt αt^2 -utseende och ges då α -värdet 0,027, enligt nedan, se även figur 7.4.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^n \Rightarrow \alpha = \frac{\dot{Q}}{t^n} = \frac{22 \cdot 10^3}{900^2} = 0,027 \text{ kW} / \text{s}^2$$

k-värdet beräknas enligt

$$k = \frac{0,21}{\rho_g} \sqrt[3]{\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a}}$$

Om man i enlighet med CFAST-simuleringen antar en brandgastemperatur på 50 °C ges ett k-värde på 0,0069. Om man i stället antar det kritiska värdet för personsäkerhet på 80 °C beräknas k-värdet till 0,0076. Med antagandet att brandgasernas temperatur är 100 °C ges k-värdet 0,0080. Brandgaslagrets höjd beräknas enligt

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

Vid de redan introducerade temperaturer hamnar höjden för brandgaslagret på höjder enligt tabell H1.

Tabell H1. Redovisar brandgastemperaturens inverkan på brandgaslagrets höjd enligt Smoke Control in Large Spaces ur Karlsson³.

| Brandgastemperatur [°C] | k-värde | Brandgaslagrets höjd [m] |
|-------------------------|---------|--------------------------|
| 50 | 0,0069 | 21,5 |
| 80 | 0,0076 | 21,1 |
| 100 | 0,0080 | 20,9 |

Förutsatt en ”fast”-brand med α -värdet 0,047 kW/s² och tiden i kvadrat, den kritiska brandgastemperaturen 80 °C och den kritiska höjden för brandgaslagret 21 m kan man genom ovan beräkningar ”baklänges” beräkna tiden då kritiska förhållanden uppstår. Denna tid beräknas till 822 s eller nästan 14 min. Då har dock effektutvecklingen nått anmärkningsvärda 32 MW.

H.2.2 Smoke Control – The Steady State Problem

Om även ventilationen ska medräknas görs det konservativa antagandet att effektutvecklingen är konstant, enligt Karlsson³. Beräkningsmodellen tar även hänsyn till kylning av brandgaserna genom byggnadskonstruktionen. Inledningsvis gissas ett värde för höjden på brandgaslagret vilken initialt sätts till 21 m, ett kritiskt värde för person-säkerheten på läktaren. Rummet delas sedan in i tre delar – opåverkad volym, brandplym och brandgaslager, genom vilka massflödet antas vara detsamma. I slutet av beräkningarna jämförs sedan det framräknade massflödet med det i så fall verkliga flödet genom brandgasventilationen för att se om det gissade värdet på brandgaslagrets höjd varit troligt. Massflödet genom plymen ges enligt Zukoski av

$$\dot{m}_p = 0,213 \sqrt{\frac{\rho_a^2 g \dot{Q} z^5}{c_p T_a}}$$

Effektutvecklingen sätts till 5 MW, vilket är ett relativt konstant värde mellan 6 och 11 min på den beräknade effektutvecklingskurvan, se figur G2. Massflödet får då värdet 209 kg/s. Vidare beräknas brandgasernas temperatur genom

$$T_g = T_a + \frac{\dot{Q}}{c_p \dot{m}_e + hA_w}$$

där

$$h = \sqrt{\frac{k\rho c}{\pi t}}$$

Materialkonstanten $k\rho c$ sätts ursprungligen till $2 \cdot 10^6$ W²s/m⁴K² för betong enligt TL¹⁰. Tiden, t , sätts till 600 s, vilket i princip är ett minsta värde för beräkningsmodellens giltighet; alltså för att stationära förhållanden ska uppstå. Värmeövergångstalet, h ,

beräknas med ovan antaganden till $0,033 \text{ kW/m}^2\text{K}$, vilket ger brandgastemperaturen $43 \text{ }^\circ\text{C}$. Brandgasventilationen beräknas slutligen ett massflöde enligt

$$\dot{m}_e = \dot{V}_e \rho_g$$

Vetskapen att brandgasventilationen har volymflödet $36,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ger massflödet $40,3 \text{ kg/s}$, vilket är betydligt mer än det ursprungligen antagna värdet. Beräkningsgången upprepas tills massflödena balanserats och brandgaslagrets höjd ges ett värde på 8 m . Eftersom byggnadens konstruktion i huvudsak är i stål har beräkningar genomförts även med materialkonstanten $1,6 \cdot 10^8 \text{ W}^2\text{s/m}^4\text{K}^2$ i enlighet med TL¹⁰. Beräkningar har likaså genomförts med effekten 10 MW och de olika materialkonstanterna. 10 MW är den effekt som uppnås efter 600 s genom en effektutveckling enligt αt^2 -utseende och α -värdet $0,027$, se figur G3. Detta kan därför antas som ett mycket konservativt maximalt värde för brandeffekten. Resultaten från de genomförda beräkningarna redovisas i tabell H2, nedan.

Tabell H2. Redovisar resultaten från beräkningarna genomföra med olika ingångsvärden.

| <i>Effekt [MW]</i> | <i>Byggnadsmaterial</i> | <i>Brandgastemperatur [°C]</i> | <i>Brandgaslagrets höjd [m]</i> |
|--------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 5 | Betong | 34 | 8 |
| 5 | Stål | 22 | 8 |
| 10 | Betong | 47 | 7 |
| 10 | Stål | 23 | 7 |

Sammanfattningsvis, ur handberäkningar och CFAST, kommer inte någon skiktning att bildas eftersom skillnaden mot omgivningstemperaturen är mindre än 30 K . Detta är en vedertagen minsta temperaturdifferens för att skiktning ska uppstå.

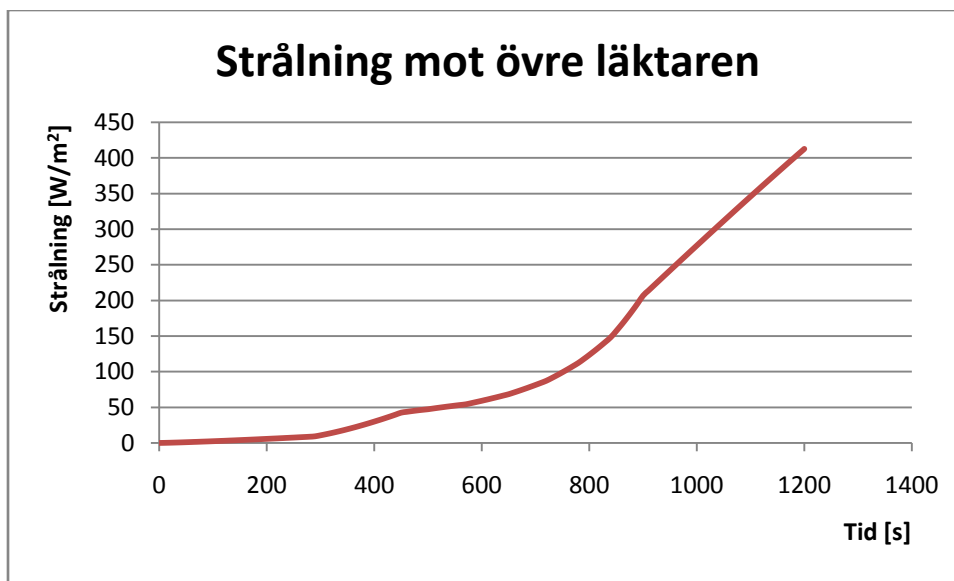
Bilaga I – Scenario 2 - Strålningsberäkningar

Riktvärdena ur Boverket¹ säger att som kritiska förhållanden avseende strålningsintensitet gäller $2,5 \text{ kW/m}^2$ eller en kortvarig strålningsintensitet på maximalt 10 kW/m^2 . Resultaten från beräkningar av flamstrålning kommer att presenteras baserade på två olika framtagningssätt (Argos och handberäkningar) som därefter kommer att jämföras. Inledningsvis beräknas dock strålningen från brandgaserna genom simulering i CFAST.

I.1 Strålning från brandgaser

Ett speciellt hjälpmedel i CFAST för att beräkna strålningen från brandgaslagret har använts. Inget distinkt brandgaslager forma, men brandgaserna i sig kommer fortfarande att vara varma. Då kan strålningsvärdet beräknat i CFAST representera den maximala strålningen någon utsätts för från brandgaserna i hela arenarummet.

Ett *objekt* har placerats på de övre läktarna nära branden och programmet beräknar då strålningen mot objektet. I figur I1 nedan visas resultatet från beräkningarna där samma ingångsvärden har använts som vid simulering av brandgaslagret, se punkt H.1.1 *Simulering i CFAST*. Observera att det är strålningen från brandgaslagret som avses.



Figur I1. Redovisar strålningen mot objekt som befinner sig på den övre läktaren.

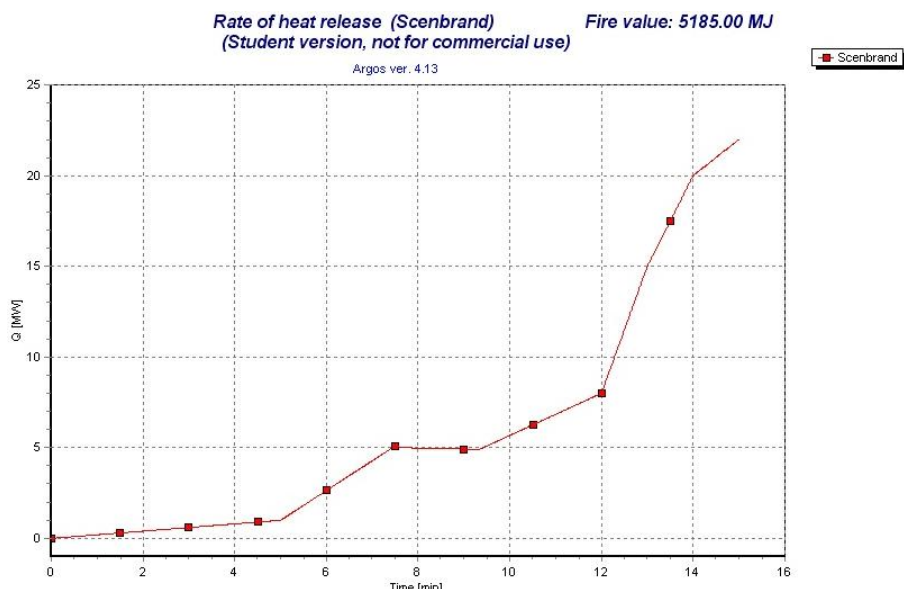
Sammanfattningsvis uppnår inte strålningen från brandgaserna några kritiska nivåer.

I.2 Strålning från flammor

Nedan görs simulering samt handberäkningar av strålningen från flammorna som kan uppstå vid scenbranden

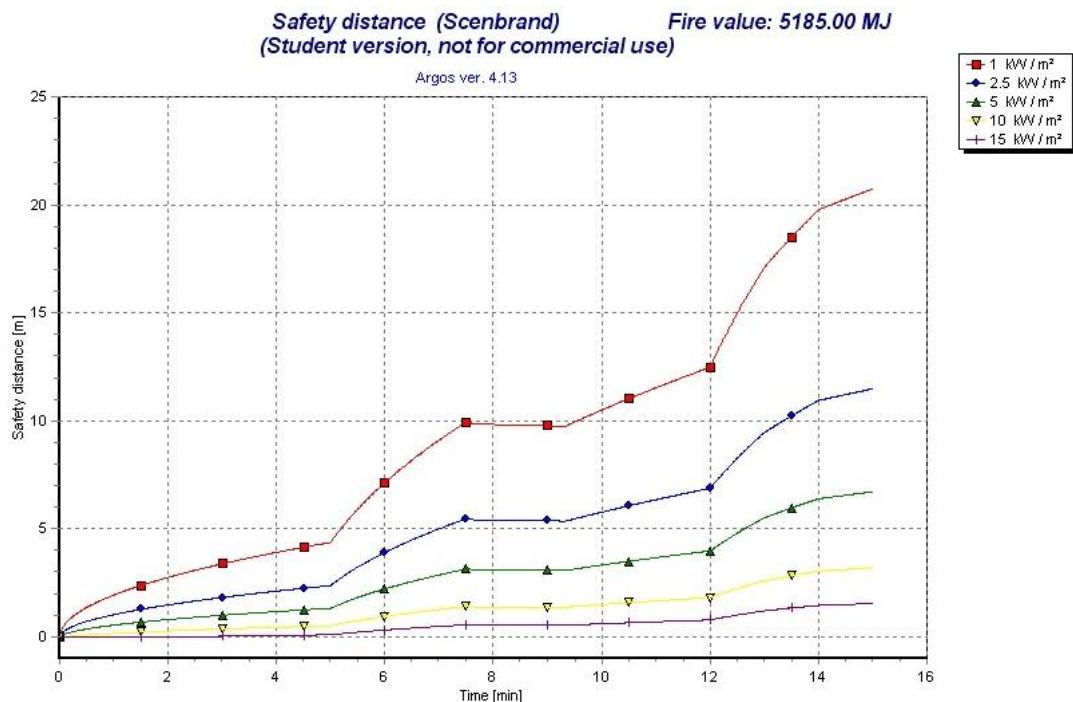
I.2.1 Argos

Tvåzonsprogrammet Argos har en ur strålnings synpunkt mycket användbar egenskap. För en given brand ger den det avstånd från själva brandhärden som har en viss strålningsnivå. Insättning av scenbrandens effektutveckling gjordes enligt figur I2 nedan.



Figur I2. Scenbrandens effektutveckling som ingångsvärde i Argos.

Programmet gav sedan ett diagram, se figur I3, med avstånd omkring branden där strålningsnivåerna uppnådde vissa värden.



Figur I3. Säkerhetsavstånd enligt Argos.

Figur I3 visar på vilket avstånd från branden en viss strålningsnivå uppnås. Det går enkelt att få fram de avstånd på vilka strålningsintensiteten når kritiska nivåer allteftersom branden fortskrider. Intressant ur de kritiska förhållandenas perspektiv är kurvorna som visar strålningsnivåerna 2,5 och 10 kW/m².

I.2.2 Handberäkningar

Nedan följer beräkningar som gjorts för att kunna bedöma om avståndet till flammorna vid scenbranden blir kritiskt ur strålningssynpunkt. Ett samband som kan användas för att få fram strålningsnivåer är hämtat ur Drysdale⁴ enligt

$$\dot{q}_{st}'' = \Phi \varepsilon \sigma T_f^4.$$

Räkneprincipen går ut på att man genom att uppskatta flammans mått (som en rektangel) och avståndet till punkten som bestrålas kan bestämma synfaktorn. Därefter kan man enligt ovan beräkna strålningen mot punkten. Detta sätt att räkna på strålningsnivåer kommer att användas baklänges. Genom att sätta in en kritisk strålningsnivå kan synfaktorn lösas ut. Därefter uppskattas storleken på flammorna varpå ett avstånd för den aktuella strålningsnivån kommer att kunna lösas ut.

Värden behövs för flamtemperatur och emissionstal. Flamtemperaturen uppskattas med hjälp av Brandskyddslaget². Här anges att vanliga flamtemperaturer ligger mellan 700 och 1200 °C. Beräkningar kommer att genomföras för flamtemperaturer omkring 900 och 1100 °C (motsvarande 1200 och 1400 K) för att på så sätt göra en känslighetsanalys på beräkningarna. Små variationer i temperatur skulle kunna påverka resultatet markant eftersom synfaktorn är omvänt proportionell mot flamtemperaturen med exponenten fyra. Den verkliga temperaturen skulle dock troligen hamna någonstans i mitten av intervallet eftersom branden inte utgör någon ytterlighet; varken extremt sotig (låg temperatur) eller helt ren (hög temperatur).

För att uppskatta flammornas storlek utgås från brandens olika tillväxtdelar som tidigare beskrivits under punkt *G.1 Effekutveckling för scenmaterial* och jämförelser görs mot BFRL¹¹. Flamhöjden beräknas ej eftersom materialet som brinner är vertikalt staplat. Detta innebär att en flamhöjd framtagen med hjälp av effekten blir missvisande. Beräkningarna utförs vid tre för brandscenariot betydelsefulla tidpunkter från det att branden startat:

Effekten är 1 MW och vid denna tidpunkt brinner subwoofern under scenen. Flamman uppskattas till en rektangel med måtten 1·1,5 m².

Vid tiden 7,5 min brinner subwoofern under scenen, en stor högtalare och en del av golvet med effekten 5 MW. Flamman uppskattas till en rektangel med måtten 2·3 m².

Vid denna tidpunkt brinner en större del av elektroniken, dessutom dekor och en större area golv med effekten 10 MW. Flamman uppskattas till en rektangel med måtten 6·3 m².

Avståndet för de olika strålningsnivåerna 2,5 kW/m² och 10 kW/m² sökes vid respektive tid. Inledningsvis beräknas emissiviteten från flamman enligt

$$\varepsilon = 1 - e^{-\alpha_s d}$$

som ger emissionstalet som funktion av flammans diameter. α_s är en konstant som beror på materialet som brinner. I scenbranden kan denna materialkonstant sättas till 0,6, enligt Brandskyddslaget², och vid tiden 5 min antas diametern för flammen till 1,0 m. Emissionstalet beräknas i detta fall till 0,45 och tillsammans med strålningen 2,5 kW/m² och flamtemperaturen 1200 K beräknas synfaktorn enligt Drysdale⁴ till

$$\Phi = \frac{\dot{q}_{st}''}{\varepsilon \cdot \sigma \cdot T_f^4} = \frac{2500}{0,45 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1200^4} = 0,047.$$

För att kunna lösa ut avståndet delas synfaktorn på fyra och S beräknas enligt Drysdale⁴,

$$\Phi_{del} = \Phi / 4 = 0,012$$

$$S = L_1 / L_2 = \frac{0,5}{0,75} = 0,67.$$

Ur tabellen för synfaktorer i Drysdale⁴ avläses sedan α_D till 0,039. Avståndet D_s förhåller sig till α_D enligt

$$\alpha_D = \frac{L_1 \cdot L_2}{D_s^2} \Rightarrow D_s = \sqrt{\frac{L_1 \cdot L_2}{\alpha_D}} = \sqrt{\frac{0,5 \cdot 0,75}{0,039}} = 3,1 \text{ m.}$$

Analogt har även de kritiska avstånden för strålningsnivåerna beräknats vid de övriga tiderna och temperaturerna. Resultaten från samtliga beräkningar redovisas i tabell I1 nedan.

Tabell I1. Visar det kritiska avståndet för olika strålningsnivåer vid olika tider och temperaturer.

| Tid [min] | Strålningsnivå [kW/m ²] | Flamdiameter [m] | Säkerhetsavstånd [m] | |
|-----------|-------------------------------------|------------------|------------------------|------------------------|
| | | | $T_f = 1200 \text{ K}$ | $T_f = 1400 \text{ K}$ |
| 5 | 2,5 | 1,0 | 3,1 | 4,2 |
| 5 | 10,0 | 1,0 | 1,4 | 2,1 |
| 7,5 | 2,5 | 1,8 | 7,2 | 10,2 |
| 7,5 | 10,0 | 1,8 | 3,0 | 4,6 |
| 12,5 | 2,5 | 6,0 | 15,8 | 21,2 |
| 12,5 | 10,0 | 6,0 | 8,0 | 10,5 |

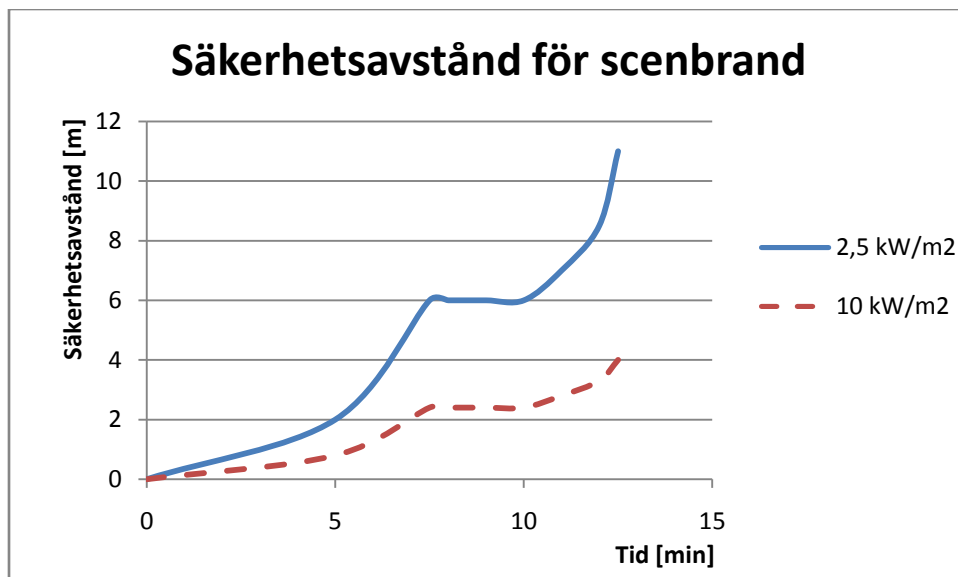
I.2.3 Jämförelse och felkällor

De handberäknade siffervärdena för strålningen ger relativt stora skillnader när temperaturen varieras, något som dock var väntat då temperaturen ju inverkar på strålningen med en faktor T^4 . Vilken temperatur som är närmast sanningen är svårt att med säkerhet säga, men som tidigare nämnts lär den ligga någonstans i mitten på det intervall som anges i Brandskyddslaget². Den verkliga strålningen borde då ligga något närmre den lägre flamtemperaturens med tanke på ovan resonemang (T^4).

Jämför man därefter handberäkningarna med det diagram som gavs i Argos så ger datorprogrammet lägre värden för säkerhetsavståndet vid samtliga tidpunkter. En orsak till detta kan vara att de uppskattningar av flammans storlek som gjordes i handberäkningarna skiljer sig mycket från de som gjorts i Argos. Dessa uppskattningar grundades först på hur mycket av scenens material som för den aktuella tidpunkten var inblandat i branden. Därefter gjordes en ingenjörsmässig bedömning av flammans storlek vid brand i materialet. Flammans storlek är alltså just detta - en bedömning.

Vilken flamtemperatur som säkerhetsavståndet i Argos grundar sig på är oklart. Den bedömning som gjorts ligger troligen på en ingenjörsmässigt högre nivå än de enkla antaganden som gjordes till handberäkningarna ovan. Argos skulle således hamna närmre sanningen. Det blir också slutsatsen av jämförelsen, nämligen att Argos troligen ligger närmre sanningen. Därmed inte sagt att Argos ger ett helt korrekt värde, utan en kompromiss mot handberäkningarna bör göras (vilket dessutom ger ett mer konservativt säkerhetsavstånd).

Kriteriet för strålningen kommer bero på tiden. Allteftersom branden utvecklas ges nämligen ett ökande säkerhetsavstånd som måste beaktas vid utrymning. Någon kort exponering av 10 kW/m^2 kommer troligen inte att uppstå då det rör sig om stora utrymmen i lokalen och ett tillräckligt avstånd från branden inte bör vara svårt att hålla. Därför ses till den lägre nivån av strålning ($2,5 \text{ kW/m}^2$) för vilken personerna som utrymmer maximalt får vara utsatta för under längre tider. Säkerhetsavståndet ges som en konservativ sammanvägning av resultaten från handberäkningarna och diagrammet ur Argos och visas i figur I4 nedan.



Figur I4. Sammanvägt säkerhetsavstånd från Argos och handberäkningar vid olika strålningsnivåer.

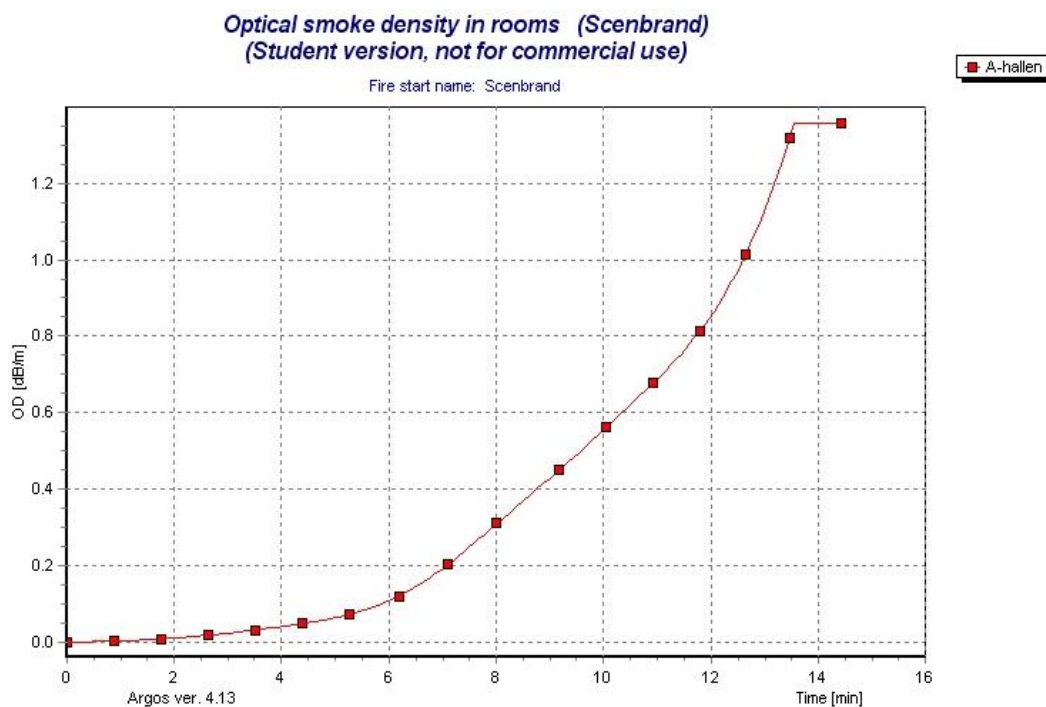
Bilaga J – Scenario 2 - Siktbarhet och toxicitet

Eftersom det, enligt *Bilaga H – Scenario 2 - Beräkningar för brandgaslager*, med stor sannolikhet råder väl omblandade förhållanden i arenarummet vid en scenbrand utförs en undersökning om siktbarhet och toxicitet i arenarummet .

J.1 Siktbarhet

Riktvärdena ur Boverket¹ säger att kritiska förhållanden beträffande toxicitet och siktbarhet uppnås vid en brandgasnivå lägre än $1,6 + (0,1 \cdot H)$ m, eller en siktsträcka på minst 10 m (i okänd miljö). Eftersom inget brandgaslager bildas ses endast till det senare kriteriet.

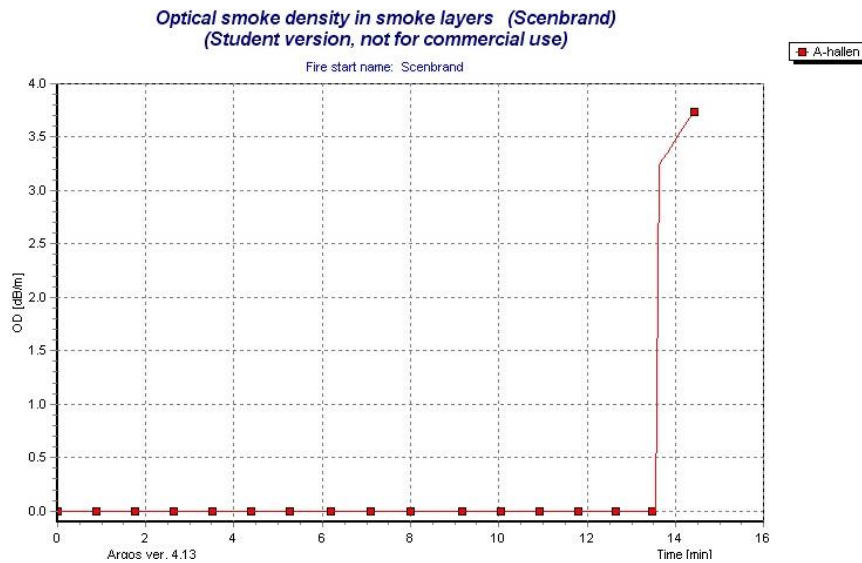
Återigen kommer tvåzonsprogrammet Argos att användas, denna gång tack vare att det bland dess resultat ingår diagram över hur siktbarheten förändras vid brand. Samma effektkurva som för strålningsberäkningarna ovan matas in och resultatet för siktbarheten visas i figur J1 nedan.



Figur J1. Siktbarheten i arenarummet vid scenbrand.

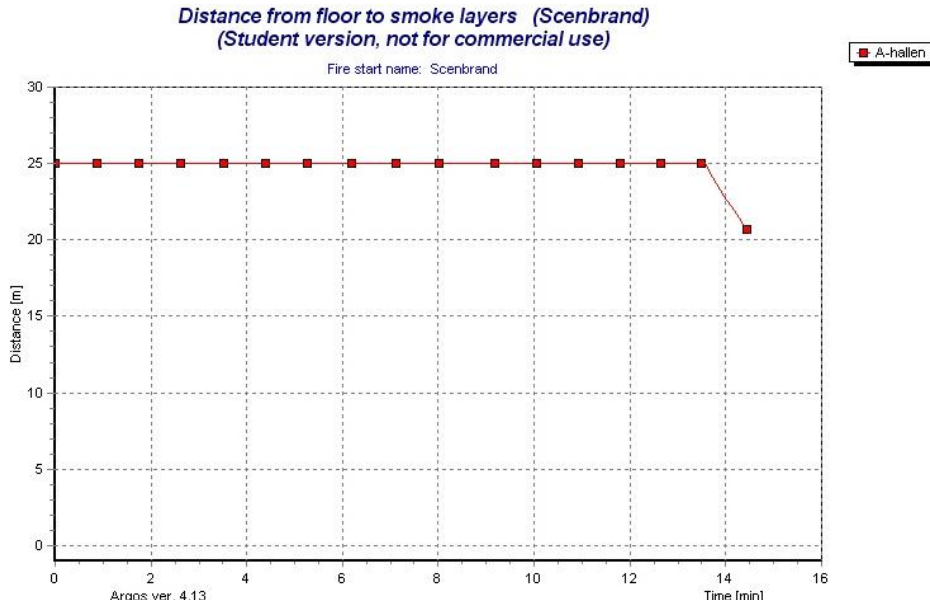
Vid simulering ger programmet beskedet att kritiska förhållanden uppnås efter tolv och en halv minut då den optiska densiteten per meter överskrider 1 dB/m (Obscura). Sikten blir därmed kortare än 10 m.

Även två andra resultat från Argos bör nämnas. Diagrammen över siktbarhet i brandgaslagret och brandgaslagrets höjd över golvet, figur J2 och figur J3 nedan, visar nämligen att det inte bildas något brandgaslager förrän effekten uppnår omkring 16 MW, efter drygt 13 min. Det innebär att brandgaserna blandas om i hallen utan att bilda någon skiktning varför diagrammet ovan kan användas endast fram tills dess.



Figur J2. Siktbarheten i brandgaslagret.

Diagrammen bekräftar det som misstänktes redan innan simuleringen gjordes, nämligen att arenarummets stora volym inverkar positivt på förhållandena. Den brandgas som frigörs genom branden har helt enkelt en så stor volym att spridas i att några kritiska koncentrationer inte kommer att uppnås förrän en bra bit in i förloppet. Motsvarande kan sägas gälla för temperaturen som utreddes tidigare, nämligen att den stora volymen gör att inte heller temperaturen höjs till några kritiska nivåer.



Figur J3. Brandgaslagrets höjd över golvet.

I verkligheten kommer inte brandgaslagret att helt plötsligt bildas ur ingenting vid 13 min för att sedan snabbt gå upp till en optisk densitet på dryga 3 Obscura. Snarare kommer bildandet av detta lager att starta tidigare vilket medför att den optiska tätheten per meter något snabbare kommer att komma upp i kritiska värden än vad som ges ur programmet.

Kriteriet för utrymning med avseende på siktbarheten sätts därför till att samtliga personer i lokalen bör ha utrymt 12 min efter det att branden har startat.

J.2 Toxicitet

För människan skadliga nivåer av gaser tas fram ur Brandskyddslaget². För att säker utrymning ska kunna genomföras bör nivåerna ligga lägre än 2000 ppm CO och 5 % CO₂. För syre bör koncentrationen ligga över 15 %.

För att bedöma toxiciteten i brandgaserna används en förenklad handberäkningsmodell. En bedömning av halterna koldioxid och kolmonoxid görs med utgångspunkt från vilken avbrunnen massa som branden resulterat i. Därefter räknar man med hjälp av yelden, massa bildad gas per massa avbrunnet bränsle, fram hur stora mängder av de giftiga gaserna som bildats. Riktvärden för yelder av kolmonoxid och koldioxid hämtas ur Nilsson¹². Här anges att yelden för kolmonoxid kan sättas till 0,3 g/g och yelden för koldioxid till 1,1 g/g. Också yelden för syre hämtas ur Nilsson¹². Detta värde skiljer sig principiellt från tidigare yelder genom att det anger massan avbrunnet syre per massa brunnet bränsle. Värdet ges till 0,9 g/g.

Beräkningarna görs i Excel för varje sekund från 0 till 900 s. Det antas att gaserna omedelbart då de frigörs blir väl omblandade i lokalen. För CO och CO₂ används följande beräkningsgång:

Beräkna effekten, \dot{Q} , vid en viss tidpunkt. Detta görs genom att effektkurvan uppskattas till en α^2 -kurva (med $\alpha = 0,023$) och den aktuella tiden, t , sätts in.

Beräkna massavbrinningen bränsle vid tidpunkten genom att lösa ut \dot{m} ur formeln

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot \Delta H_c \cdot \chi.$$

Beräkna bildandet av CO och CO₂ vid tidpunkten med hjälp av yelden och den framräknade massavbrinningen. Omvandla även till enheten mol.

Beräkna totala antalet mol i utrymmet med hjälp av allmänna gaslagen

$$\left(n_{tot} = \frac{PV}{RT} \right).$$

Beräkna koncentrationen genom $C = \frac{n_{CO \text{ el. } CO_2}}{n_{tot}}$.

För tidpunkter fram till 300 s, för vilka ventilationen inte är igång, summeras de bildade mängderna CO och CO₂, varpå steg 5 upprepas.

För tidpunkter efter 300 s måste hänsyn tas till att en del gas dras ut genom ventilationen. För att få massorna för CO och CO₂ från ett tidssteg till nästa räknar man med att

$$massa_{+1} = massa_t + \text{nybildad massa från branden} - \text{utventilerad massa}$$

Massan nybildad gas tas från steg 3 och massan utventilerad gas räknas som volymflödet från ventilationen \cdot koncentrationen gas vid tiden t \cdot molmassan ($\dot{V} \cdot C_t \cdot M = 45 \cdot C_t \cdot M$). Därefter omräknas massan till enheten mol och steg 5 upprepas.

Koncentrationerna av gaser som strömmar in med den friska luften försummas. Genom att sätta ΔH_C till 20 kJ/g för en blandning av plaster och trä, enligt Boverket¹³, och förbränningseffektiviteten χ till 0,7 fås koncentrationerna vid 900 s enligt nedan

$$[\text{CO}] = 0,0013$$

$$[\text{CO}_2] = 0,0031.$$

Beräkningsgången för att få fram koncentrationen syre ser ut som följer:

Beräkna effekten, \dot{Q} , för en viss tidpunkt. Detta görs genom att effektkurvan uppskattas till en αt^2 -kurva (med $\alpha = 0,023$) och den aktuella tiden, t , sätts in.

Beräkna massavbrinningen bränsle för tidpunkten genom att lösa ut \dot{m} ur formeln $\dot{Q} = \dot{m} \cdot \Delta H_C \cdot \chi$.

Beräkna massan avbrunnet syre med hjälp av yelden och den framräknade massavbrinningen. Omvandla också till enheten mol.

Beräkna totala mängden mol i utrymmet genom allmänna gaslagen ($n = \frac{pV}{RT}$).

Beräkna koncentrationen genom $C = \frac{n_{O_2}}{n_{tot}}$.

För tidpunkter fram till 300 s, för vilka ventilationen inte är igång, summeras de avbrunna mängderna O_2 , varpå steg 5 upprepas.

För tidpunkter efter 300 s måste hänsyn tas till att ventilationen drar ut syrefattigare luft och drar in ny mer syrerik luft. För att få massan O_2 från ett tidssteg till nästa räknar man med att

$$\text{massa}_{t+1} = \text{massa}_t - \text{brandens använda syre} - \text{utventilerad syre} \\ + \text{ny syremängd från friska luften}$$

Den avbrunna syremängden tas från steg 3 och massan inventilerad syre räknas som volymflödet från ventilationen multiplicerat med koncentrationen i den friska luften ($\dot{V} C_t M = 45 \cdot 0,21 \cdot M$). Därefter räknas massan om till mol och steg 5 upprepas.

Samma värde för förbränningsvärmets och förbränningseffektiviteten som ovan används och syrehalten i den friska luften sätts till 0,21. Syreberäkningarna resulterar då i en koncentration enligt nedan

$$[\text{O}_2] = 0,206526.$$

Jämförs de värden som räknats fram med kritiska värden som tidigare angetts blir resultaten som i tabell J1.

Tabell J1. Jämförelse mellan kritiska och beräknade koncentrationer av gaser.

| | <i>CO</i> | <i>CO</i> ₂ | <i>O</i> ₂ |
|------------------------|-----------|------------------------|-----------------------|
| Kritisk koncentration | >2000 ppm | >5 % | <15% |
| Beräknad koncentration | 1300 ppm | 0,3 % | 20,7% |

Bilaga K – Scenario 2 - Utrymning

I denna bilaga beskrivs delar den arbetsgång som ligger bakom framtagandet av utrymningstiden, vid brand i scen, i detalj.

K.1 Detektionstid

Tiden för detektion av branden resoneras fram till genom en sammanslagning av nedanstående rubriker.

K.1.1 Trolig dimensionerande detektionstid

Efter 90 s har branden en effekt på 40 kW, se figur F.3, vilket motsvarar små flammor. Eftersom de personer som befinner sig närmast branden med största sannolikhet har uppmärksamheten riktad mot scenen bör de upptäcka branden då små flammor bildas. Säkerheten kan dock antas vara hög vid tillfällen då scenuppträdanden förekommer, exempelvis vid melodifestivalen, och besökare kan anta att branden redan upptäckts av personal. Eftersom personalen inte aktiverat något brandlarm bör besökarna anta att branden är under kontroll och åtgärder är på väg att vidtas. Besökarna uppfattar inte branden som ett hot förrän den sprider sig till dekoren och högtalarna på scen vilket leder till en snabbare effektökning. Detta gör den efter 300 s.

K.1.2 Samplande systems aktiveringstid

För att beräkna det samplande systemets aktiveringstid används datorprogrammet DETACT-T2, metoden beskrivs utförligt i *Bilaga O – Detact-T2*. Dessutom tas hänsyn till den maximalt tillåtna transporttiden i rörnätet för ett samplingsystem, 120 s, Nilsson¹². Enligt resultat från beräkningar med DETACT-T2 är tiden tills brandgaserna når ett insugningshål i samplingsystemets rörnät i arenarummet 115 s. Till denna tid läggs den maximala tid som är tillåten för transport av brandgaser från insugningshål till samplingsbox, 120 s. Den totala aktiveringstiden blir då 235 s. Detta är en grov uppskattning framtagen med hjälp av en metod som ej verifierats empiriskt.

K.1.3 Larmlagringstid

Antaganden för beräkning av larmlagringstid är i princip de samma i detta scenario som i scenario 1, se punkt 6.5.1.3 *Larmlagringstid*. Skillnaderna är att det finns personal i Arenarummet vid scenframträdanden. Detta innebär att när personal når larmcentralen och ser att larmet aktiverats i arenarummet, kan man med hjälp av komradion kontakta personal som redan befinner sig i brandrummet. I det värsta fallet ser inte personalen i Arenarummet branden förrän dekoren börjar brinna, enligt tidigare efter 300 s. Det skulle leda till att personalen vid larmcentralen skickar vidare larmet till räddningstjänsten och utrymningslarmet aktiveras. Enligt ovanstående resonemang sker scenariot med avseende på larmlagringstiden enligt följande:

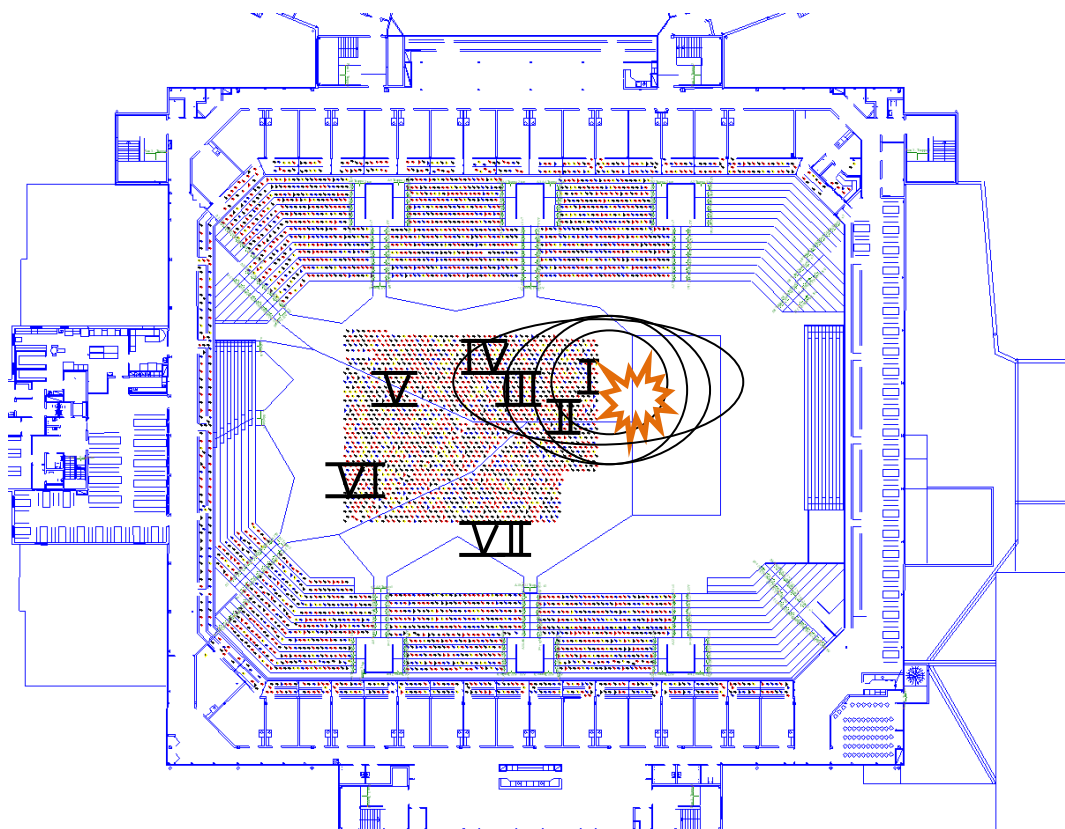
- Efter 235 s aktiveras larmet genom samplingsystemet, larmlagringstiden börjar.
- Efter 265 s finns personal vid larmlagringscentralen som identifierar brandens placering till brandrummet.
- Efter 300 s lokaliserar branden och utrymningslarmet aktiveras, larmlagringstiden slutar.

K.2 Tid för förflyttning

I simuleringen av scenbranden har 6100 personer placerats i arenarummet. Detta är enligt arrangören det antal biljetter som säljs till melodifestivalen 2009 och kan därför antas som det maximala antalet besökare som finns i arenarummet vid liknande evenemang. Av dessa personer befinner sig 1800 på arenagolvet. Populationen består av män, kvinnor, barn och pensionärer vilka har olika egenskaper vad gäller storlek och gånghastighet, se *Bilaga P – Simulex*.

Tiden som simuleras fram kan sedan jämföras med den tidsangivelse som uppgetts av Leksands Räddningstjänst, som stannat kvar efter en match för att få en ungefärlig uppfattning om vilken tid det rör sig om. Den tid som uppgetts är cirka 10 min.

K.2.1 Förutsättningar i simuleringen



Figur K1. Populationsgrupperingar i arenarummet sett ur ett snitt från plan 3.

Vid simuleringen antas följande förutsättningar gälla, se även figur K1:

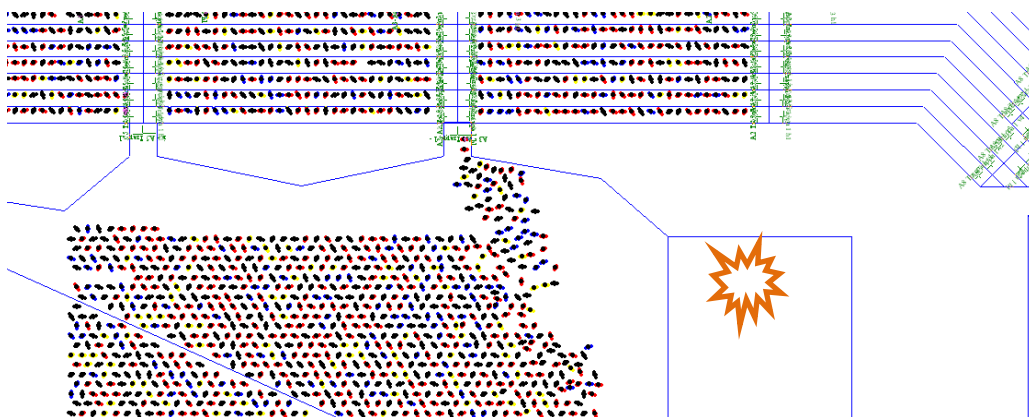
- Fem utrymningsvägar kommer att användas av publiken på arenagolvet. Huvudentrén, västra, södra, östra och norra utgången. Publiken på golvet kommer ej att utrymma via trapphus, se punkt 6.5.3.2 *Antaganden*.
- Läktarpubliken vars utgångar från arenarummet går till plan 2 utrymmer även de endast via de fem stora utgångarna, se figur J.1.

- Publik på plan 3 och 4 samt läktarpublik vars utgång från Arenarummet går till plan 4 utrymmer via något av de sex utvändiga trapphusen.
- 30 % av populationen är män, 30 % är kvinnor, 30 % är barn och 10 % är pensionärer. För specifikationer av populationstyper se *Bilaga P – Simulex*.
- Samtliga personer har detektionstiden 300 s, det vill säga då dekoren antänds och utrymningslarmet aktiveras.
- Population I har detektions- samt besluts- och reaktionstiden 305 s och utrymmer via entrén.
- Population II har detektions- samt besluts- och reaktionstiden 315 s och utrymmer via entrén.
- Population III har detektions- samt besluts- och reaktionstiden 325 s och utrymmer via entrén.
- Population IV har detektions- samt besluts- och reaktionstiden 335 s och utrymmer via entrén.
- Population V har detektions- samt besluts- och reaktionstiden 345 s och utrymmer via entrén, södra utgången och västra utgången.
- Population VI har detektions- samt besluts- och reaktionstiden 345 s och utrymmer via södra utgången och östra utgången.
- Population VII har detektions- samt besluts- och reaktionstiden 345 s och utrymmer via östra utgången och norra utgången.
- Övriga har detektions- samt besluts- och reaktionstiden 345 s
- och utrymmer via något av de utvändiga trapphusen.

De blå linjer som ses på arenarummets golv är hjälplinjer som används i simuleringen för att styra personer mot rätt utgångar. Dessa finns ej i verkligheten.

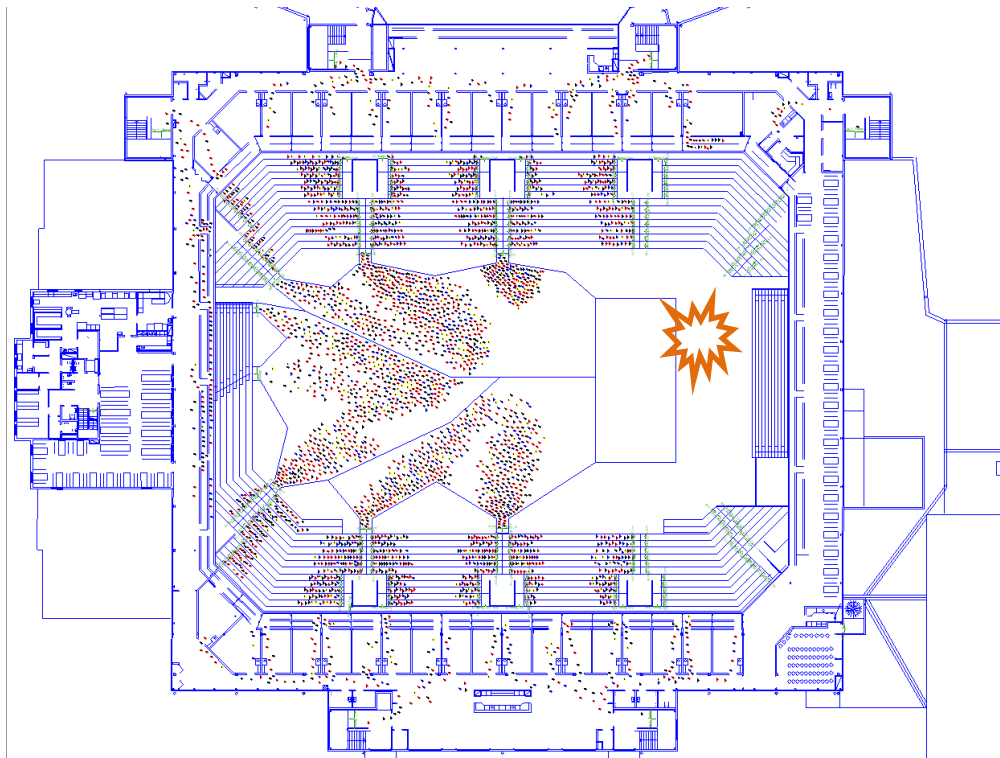
K.2.2 Simulering

Efter 315 s har personer som befann sig nära branden påbörjat sin utrymning. De som stod närmast har redan tagit sig ut ur Arenarummet. Samtliga som påbörjat sin utrymning i detta skede utrymmer via närmaste utgång. Brandens effekt är ca 2 MW, se figur 7.3, och strålningseffekten 2.5 kW/m^2 uppnås vid ett avstånd av 2 m, se figur H.3. De personer som befinner sig närmast branden vid denna tidpunkt befinner sig på ett avstånd av cirka 8 m, se figur K2.



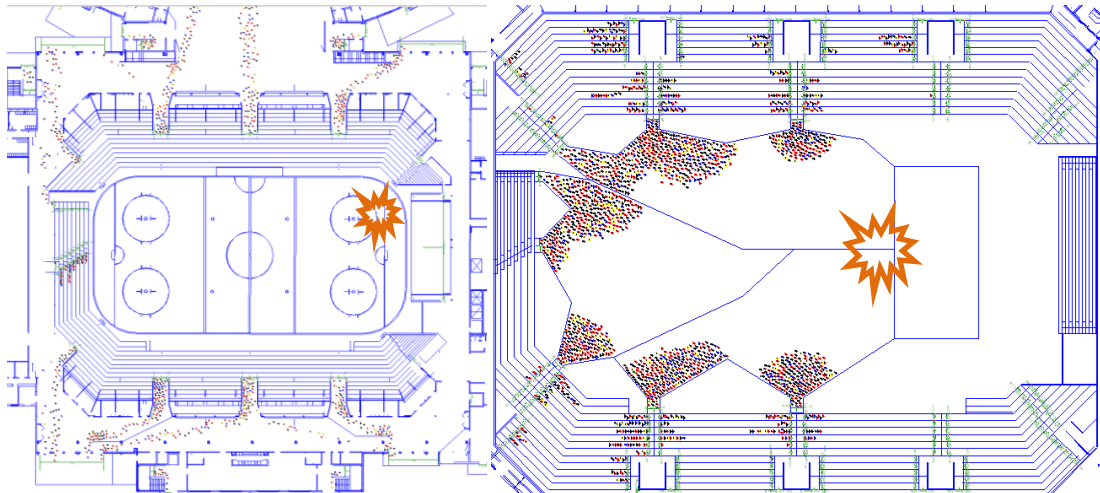
Figur K2: Arenagolvets nordvästra del efter 315 s i scenbranden.

360 s in i brandförloppet har samtliga i arenarummet påbörjat sin utrymning, se figur J.3. Personerna i simuleringen är styrda mot olika utgångar för att få en jämn fördelning av antalet personer per utrymningsväg. Utrymningsvägarna närmast och bakom scenen används ej av publiken. Dessa antas vara blockerade av scenutrustning, räcken och dylikt vid ett större event.



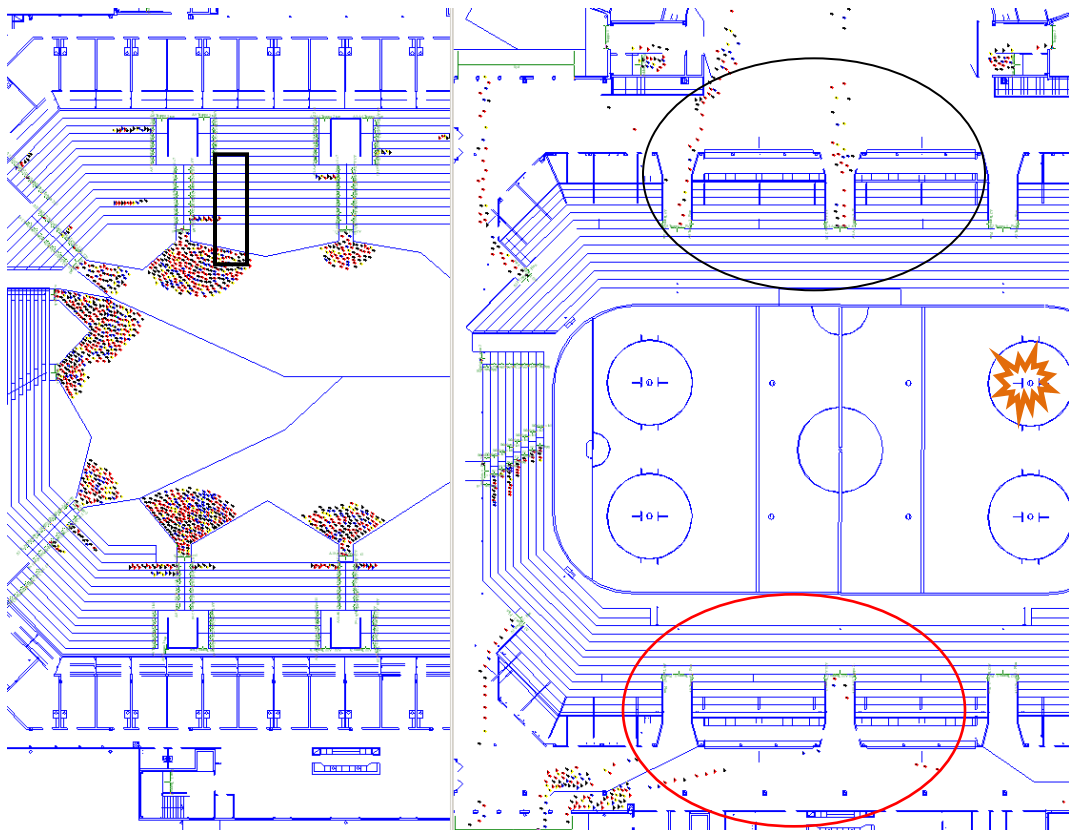
Figur K3. A-hallen sett ur ett snitt från plan 3, 360 s in i förloppet.

Brandens effekt är i detta skede knappt 3 MW och strålningsnivån $2,5 \text{ kW/m}^2$ uppnås på cirka 4 m avstånd. En köbildning börjar uppstå vid en av utrymningsvägarna, se figur K3. Detta främst på grund av att personerna som suttit på läktaren börjar utrymma via samma trappor som personerna som befinner sig på arenagolvet. Avståndet mellan branden och närmaste person är cirka 10 m.



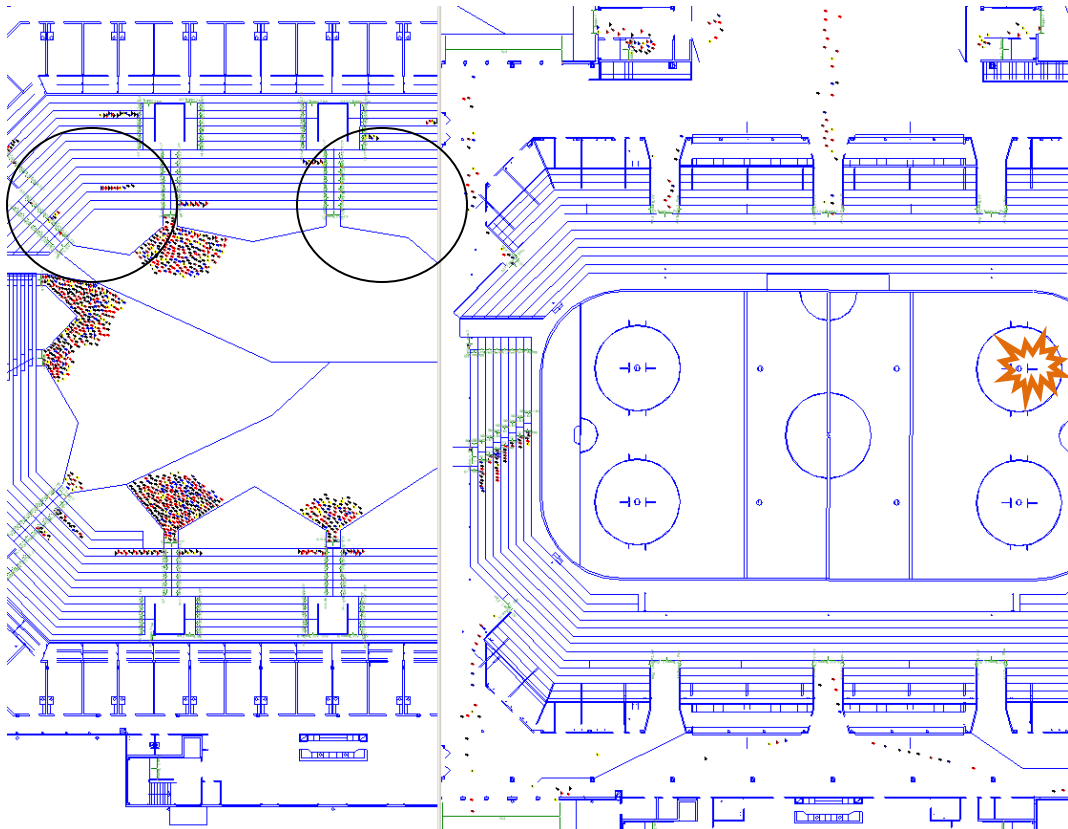
Figur K4. Till vänster visas A-hallens utrymmen sedda 420 s efter antändning i ett snitt från plan 2. Till höger ses arenarummets golv samt nedre läktare.

Efter 420 s uppnås ett högt personflöde ut ur arenarummet. Läktarna börjar tömmas men det är långa köer på arenagolvet, se figur K4. Den norra läktarsektionen är helt utrymd och om inte fel i simuleringen uppstått, se punkt *K.2.4 Avvikelser i simuleringen*, skulle den västra läktarsektionen också varit utrymd vid denna tidpunkt. Vid denna tidpunkt har brandens effektutveckling nått över 3 MW.



Figur K5. Till vänster visas arenarummets golv efter 540 s. Arenarummets utgångar mot plan 2 ses till höger.

540 s in i simuleringen börjar avvikelser spela stor roll, se punkt *K.2.4 Avvikelser i simuleringen*. Personflödet genom de utgångar som är inringade av den röda cirkeln, se figur K5, verkar ha upphört trots att det finns mycket folk på Arenagolvet. Ser man till utgångarna inringade av den svarta cirkeln verkar personflödet ha minskat. En bidragande faktor till detta är att läktarna har utrymts. Detta innebär att endast den trappa som är omgiven av den svarta rektangeln används. Kapaciteten i denna trappa dimensionerar hur högt personflödet är i utgången. Brandens effekt är nu, efter 540 s, knappt 5 MW och strålningsintensiteten 2.5 kW/m^2 uppnås på ett avstånd av cirka 6 m från branden.



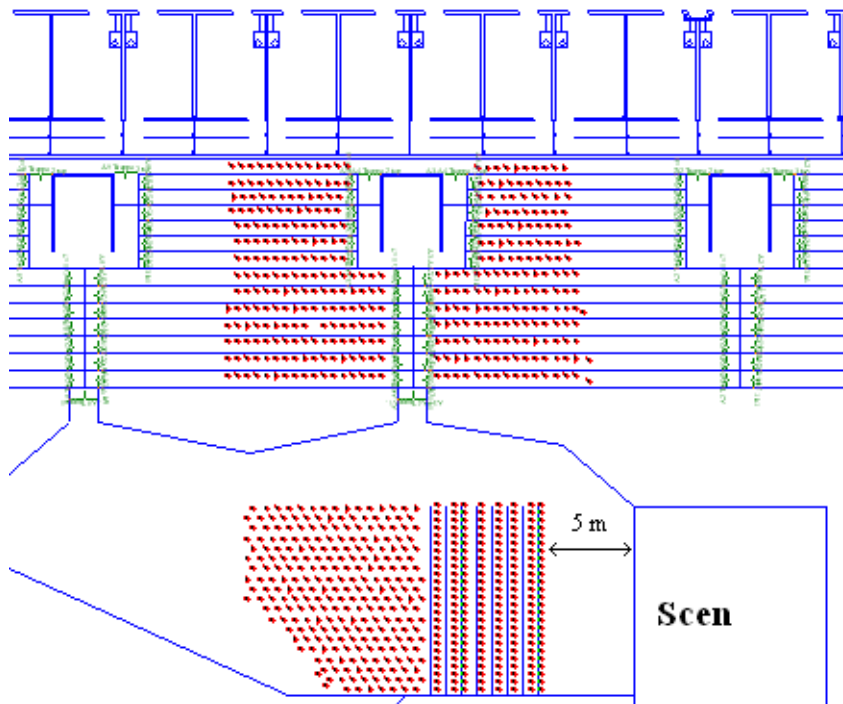
Figur K6. Till vänster visas arenarummets golv efter 600 s. Arenarummets utgångar mot plan 2 ses till höger.

Efter cirka 600 s, det vill säga 10 min, finns inga personer vid de inringade utgångarna, se figur K6. Eftersom antalet personer per utgång var jämnt fördelat vid början av simuleringen bör detta innebära att cirka 10 min är den optimala utrymningstiden för varje utgång. Det vill säga om utrymningen går felritt är hela arenarummet utrymt efter 10 min. Att fortsätta simulera utrymningsförloppet efter 10 min är ej nödvändigt eftersom för stora avvikelser i simuleringen uppkommit för att jämförelse med verkligheten ska kunna göras.

Brandens effektutveckling uppnår efter 10 min 6 MW och strålningsnivån 2.5 kW/m^2 åstadkoms vid avståndet 6 m från branden.

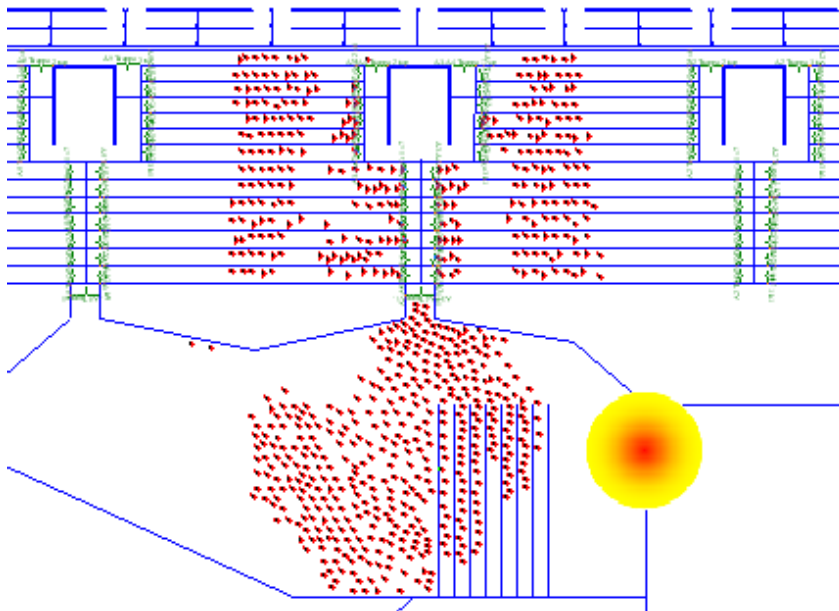
K.2.3 Strålningssimulering

En annan del i simuleringen är att se specifikt på strålningsfallet. Som man kunde se ur den stora simuleringen så kommer det stora problemet att vara köbildning vid trapporna. För att förenkla och förkorta tiden det tar att simulera kommer simuleringen endast omfatta ett mindre antal personer, nämligen alla som utrymmer via trappan närmast branden (av dem som används). Utrymningen via denna trappa kommer att bli ungefär samma som för den stora simuleringen. Dock med den skillnaden att personerna som sitter längst fram i publiken tvingas ta sig ut genom att följa stolsraderna som lagts till, se figur K7. Syftet med dessa är att se om någon av åskådarna riskerar bli stående nära branden och utsättas för strålningsdoser över de kritiska värden som anges i Boverket¹.



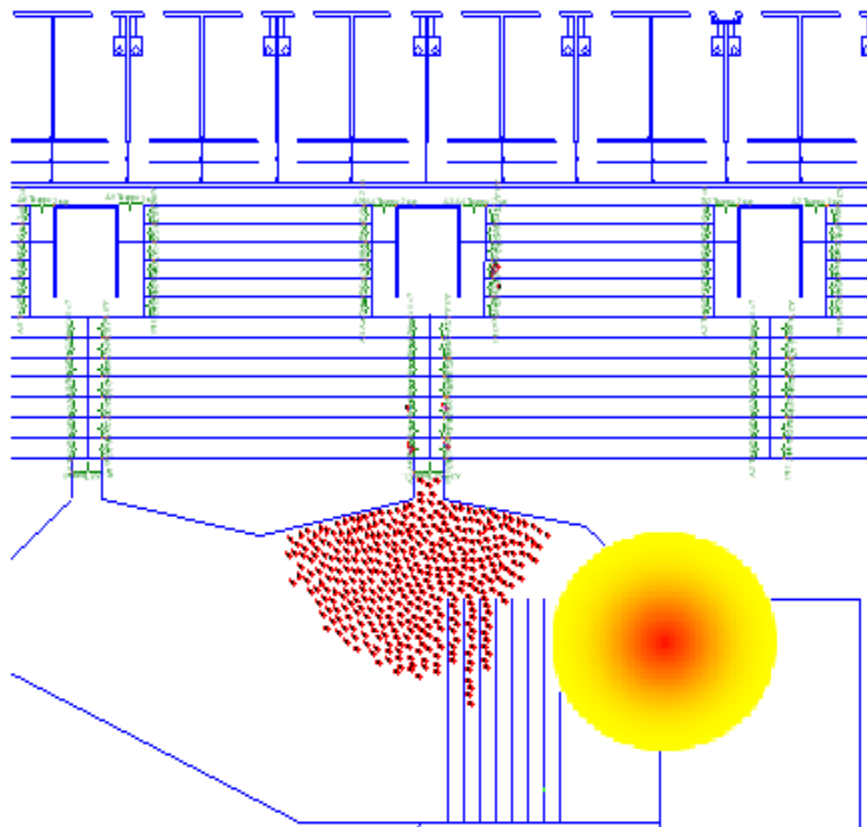
Figur K7. Personernas placering innan utrymningen inletts.

Simuleringen inleds efter 5 min då branden har detekterats och brandlarmet har aktiverat. Säkerhetsavståndet för strålningsnivån $2,5 \text{ kW/m}^2$ är 2 m, se figur I3. Utrymningen fortskrider och efter 40 s i simuleringen (5 min 40 s efter brandens start) är situationen som i figur K8 nedan. Cirkeln anger säkerhetsavståndet från branden. Nämnas bör att bilderna har redigerats så tillvida att en del av de enskilda individer eller grupper som stannat upp på grund av felaktigheter i programmet har tagits bort. Det rör sig om ett mindre antal som inte påverkar simuleringen i stort.



Figur K8. Utrymningssituationen 40 s efter utrymningens start.

Situationen 150 s in i simuleringen (450 s efter antändning) återges i figur K9 nedan.



Figur K9. Utrymningssituationen 150 s efter utrymningens start.

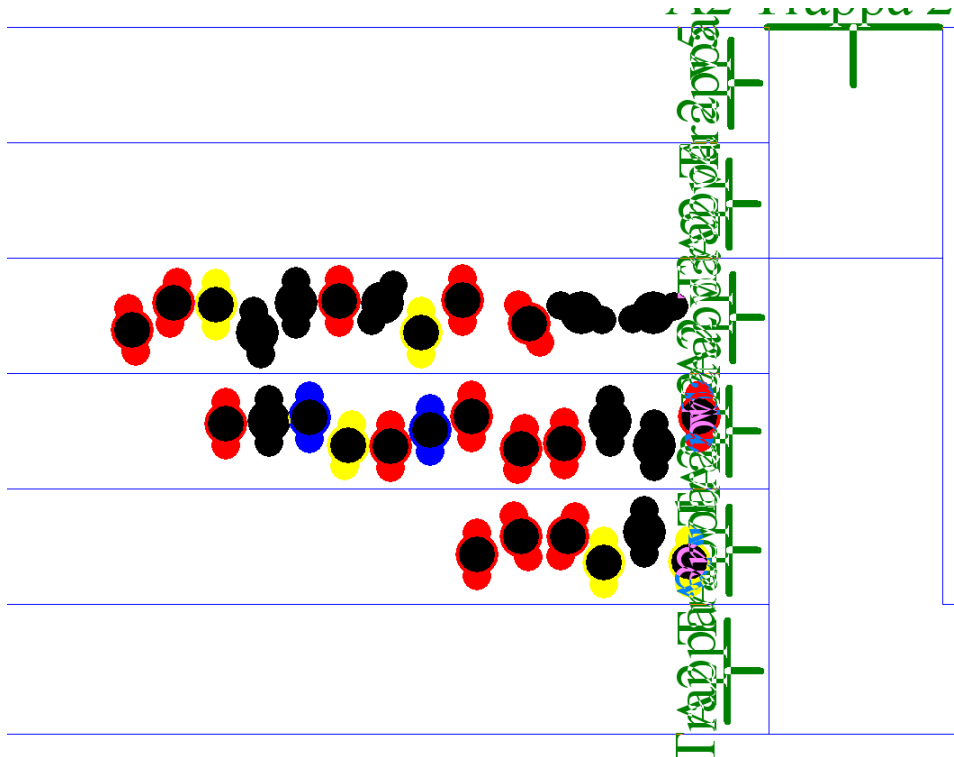
Av vad vi kan se i figur K9 ovan utryms läktarfolket innan folket på arenagolvet, trots att den senare populationen påbörjade sin utrymning något tidigare. Totalt finns nu omkring

400 personer kvar på golvet, ett antal som blir användbart. Simuleringen blir nämligen lidande härifrån och framåt av de enskilda individer som valt att stanna upp i trappan och blockera. För att kunna beräkna hur lång tid kvarvarande personer behöver på sig att utrymma räknas därför fram hur många som utrymde genom den aktuella trappan under ett visst tidsintervall tidigare i förloppet. På 20 s tog sig då 35 personer ut. Utslaget på de 400 personer som är kvar kommer då ytterligare $400/(35/20) = 230$ s (motsvarande 3 min och 50 s) att behövas. Totalt sett är tiden då uppe i 11 min och 20 s från det att branden startade. Ur figur I3 som visar säkerhetsavstånden kan avläsas att strålningsnivån $2,5 \text{ kW/m}^2$ uppnås på avståndet 7,5 m vid denna tidpunkt. Avståndet kommer alltså endast att öka en aning jämfört med i figur J.9, där avståndet är 6 m. Dessutom kommer ytan som personerna befinner sig på marginellt ha minskat vid den tidpunkten eftersom de drar sig närmare trappan.

Någon strålningspåverkan över de kritiska värden som anges i Boverket¹ kommer alltså inte att uppstå.

K.2.4 Avvikelser i simuleringen

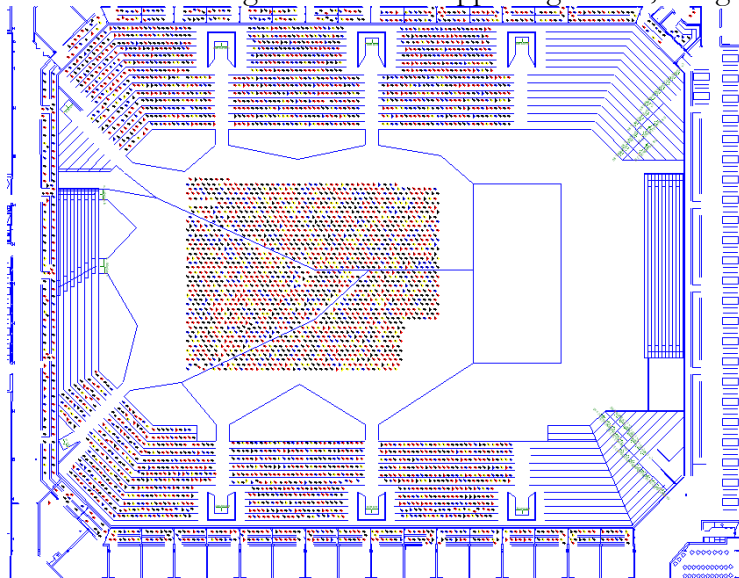
På grund av Simulex beräkningsmetodik för att ta fram avståndskartor, se *bilaga F*, kan fel i simuleringen förekomma. När till exempel en person ska gå genom en länk kan den anse att närmaste vägen är i länkens nederkant. Om länken ligger intill en vägg kan personen då på grund av dess geometri gå in i väggen och därefter gå vinkelrätt mot den eftersom detta är den närmaste vägen. Då blockerar personen länken för andra personer och utrymning via den länken blir omöjlig, se figur J.10. Av okända skäl kan även personer fastna precis utanför en länk och förhindra passage genom denna.



Figur K10. Personer blockerar tre länkar, övriga stolsrader har redan utrymt.

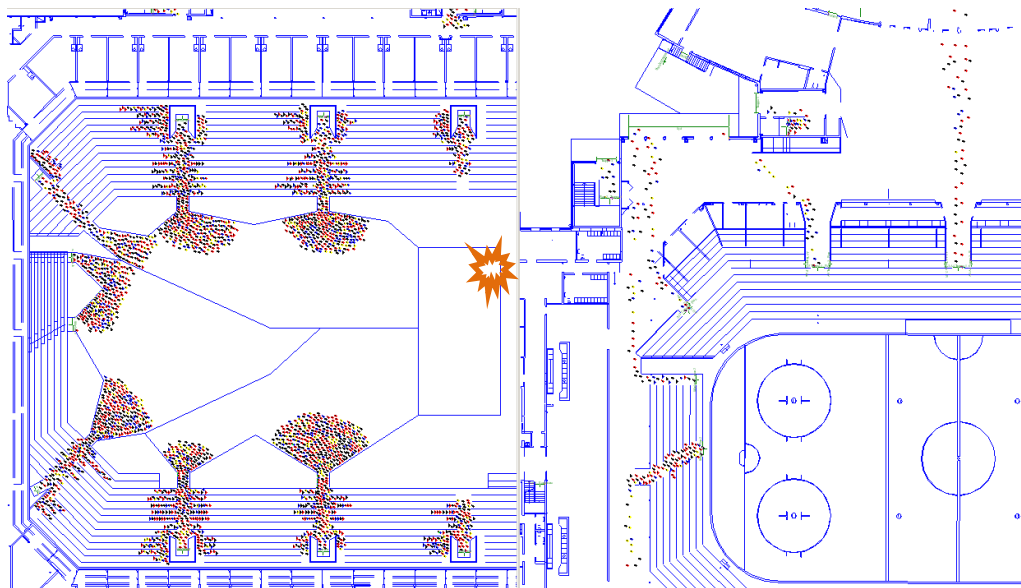
Det är heller inte ovanligt att personer fastnar i trappor och blockerar passagen genom dem. I denna simulering används 49 trappor och 491 länkar vilket innebär att risken att något går fel i simuleringen är stor. I simuleringen var flödet personer ut ur arenarummet stort vid början av utrymningen. Efter tre minuter hade tre av åtta utgångar helt eller delvis blockerats av stillastående personer. Efter ytterligare två minuter hade alla utgångar utom två helt eller delvis blockerats.

För att undersöka om tiden för förflyttning är i rätt storleksordning gjordes även en förenklad simulering där de flesta trappor tagits bort, se figur K11.



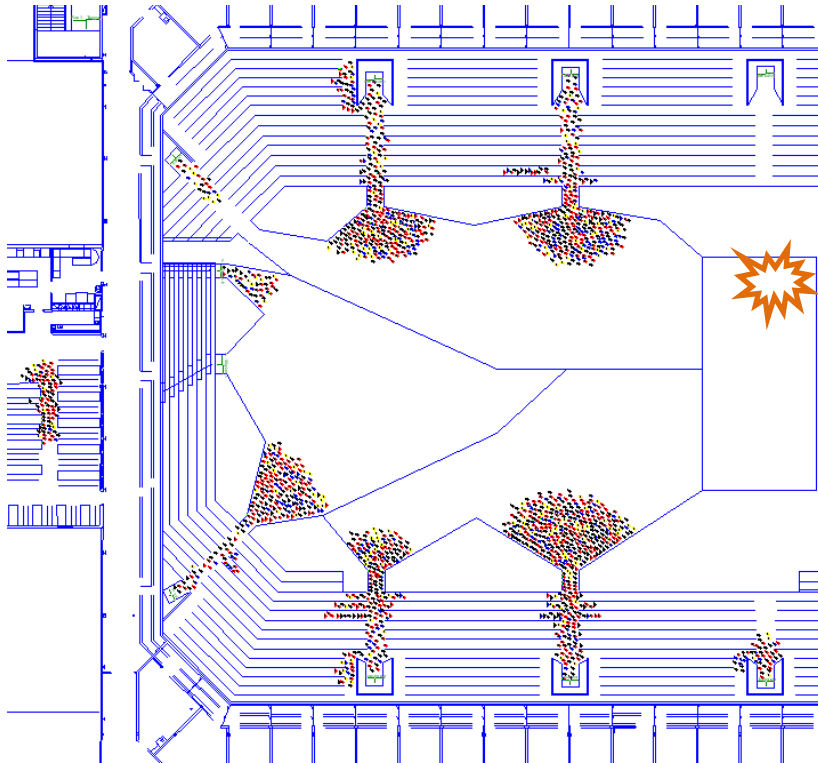
Figur K11. Arenarummet utan trappor.

De trappor som förbinder arenarummet med plan 2 är dock kvar eftersom dessa kan vara betydande realistiska "flaskhalsar" vid utrymning.



Figur K12. Till vänster visas arenarummets golv 440 s efter antändning. Arenarummets utgångar mot plan 2 ses till höger.

Vi denna förenklade simulering kan man, liksom i den första simuleringen, se att köer bildas vid utgångarna, se figur K12. Flödet ut ur arenarummet är dock mer konstant än i den första simuleringen.



Figur K13. Arenarummet 10 min in i brandförloppet.

Efter 10 min är det fortfarande stora köer vid de större utrymningsvägarna, se figur J.13. Orsaken är antagligen att personerna i simuleringen kan putta på varandra i större utsträckning vilket leder till att utrymningstiden för varje enskild person blir längre. Detta förlopp kan återspegla vad som skulle hända vid ett mer panikartat utrymningsförlopp då personer försöker tränga sig före. Förutsättningarna är i arenarummet är dock sådana att en panikartad utrymning ej är trolig.

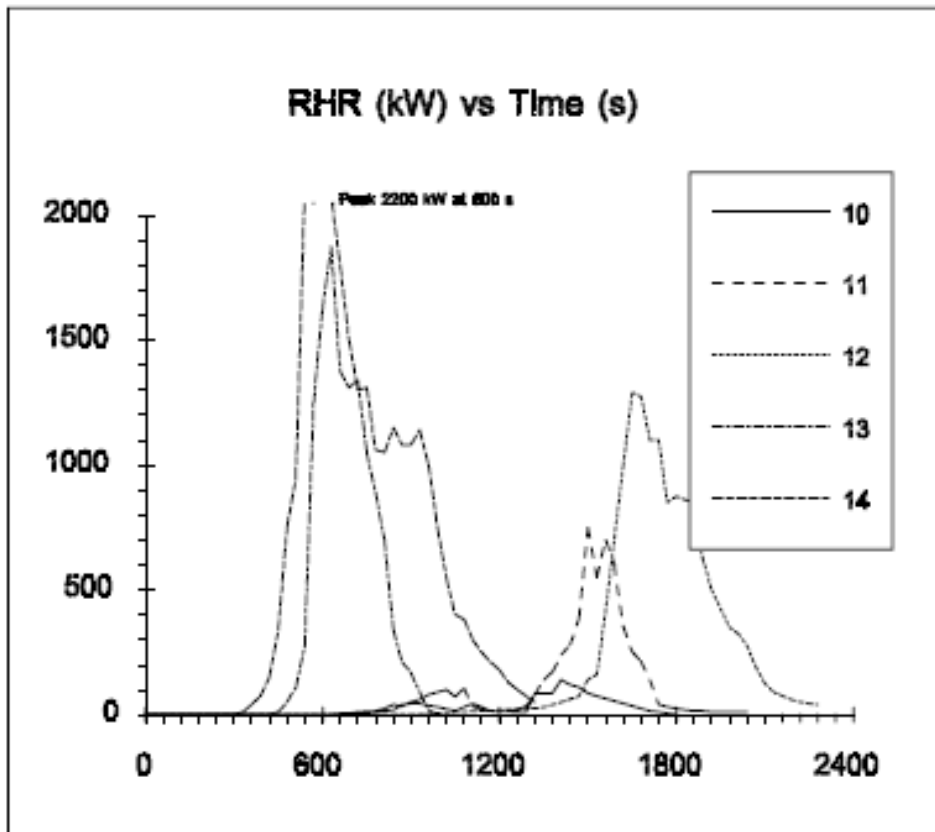
Även vid denna förenklade simulering uppstod avvikelser men resultaten från de båda simuleringarna anses ändå vara jämförbara med verkligheten. Det bör tilläggas att även utrymning från plan 4 simulerades. Detta plan har inga sammanfallande utrymningsvägar med plan 2 och utrymdes betydligt fortare än arenarummets övriga plan. Eftersom en dimensionerande utrymningstid söks tas ej detta plan med i detalj vid beskrivningen av utrymningsdimensioneringen

Bilaga L – Scenario 3 - Effektutveckling

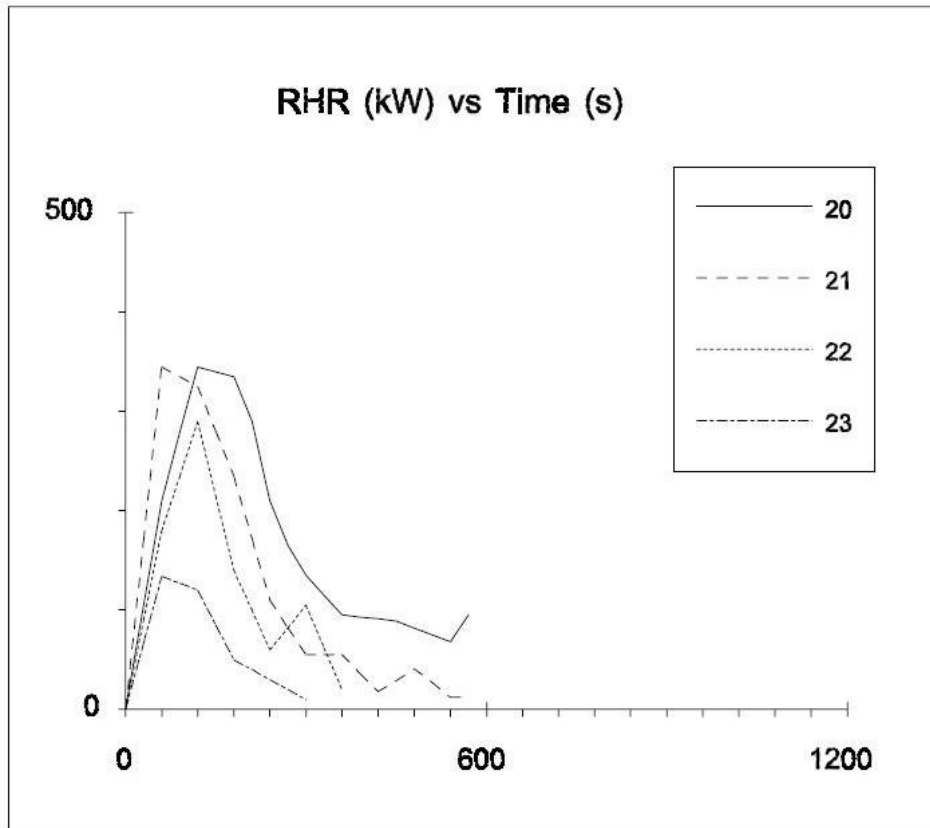
Nedan redovisas i de diagram, simuleringsresultat, handberäkningar med mera som utelämnats i rapportens huvuddel men som varit nödvändiga för resultatet.

L.1 Brandens initiala skede

I lagringsutrymmet lagras många olika typer av material. För att kunna framställa en effektutvecklingskurva som stämmer överens med detta brandscenario görs förenklingen att det endast lagras stolar av plast (se figur L1) samt bord av trä.



Figur L1. Effektutveckling för plaststolar, varav försök 14 för 12 stolar i två staplar har använts.



Figur L2. Effektutveckling för skräppåsar, varav försök 21 för 3 säckar med total massa 3,51 kg använts.

En vagn fylld med diverse material såsom plastfilm, tyg och kartong är det som verkar som antändningskälla för branden, se figur L3. Effektutvecklingskurvan för vagnen likställs med den för skräppåsar enligt Särdaqvist⁵, se figur L2.

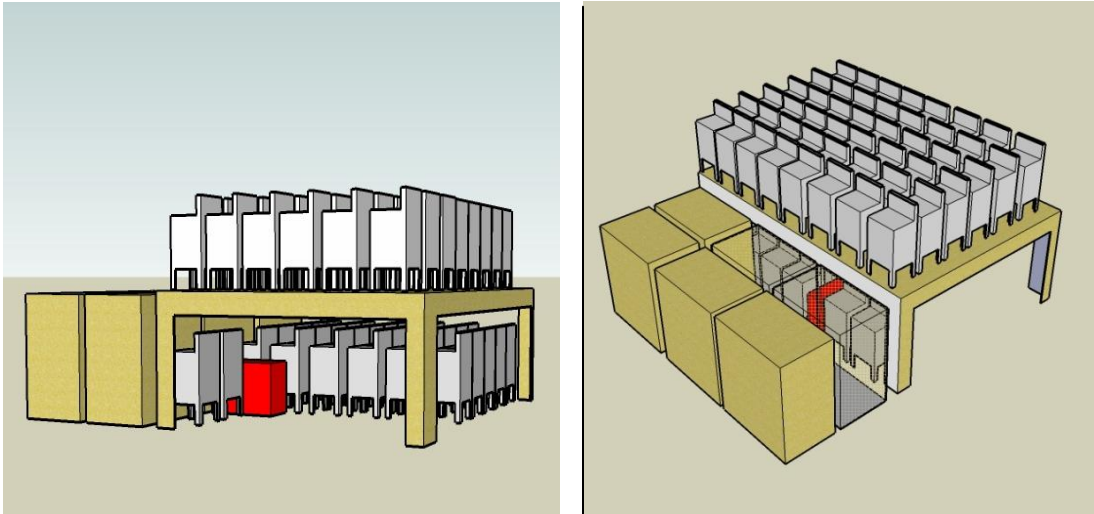


Figur L3. Antändningskällan.



Figur L4. Bild på lagringsutrymmet vid platsbesök

Materialuppställningen i lagerområdet antas likna den som påträffades vid platsbesöket, se figur L3. En skillnad görs dock i att hela lagringsutrymmet antas vara fyllt med material. Brandförloppets början antas ske i det i figur L4 markerade området vilket under brandförloppets början antas ha en uppställning av material som visas i figur L5. Notera att allt material ej ritats ut i figur L5 för tydlighetens skull.



Figur L5. Uppställning av material vid platsen för antändning

Den röda vagnen i figur L5 antänds och har efter 30 s effekten 175 kW. Då antänds de under plattan närbelägna stolstaplarna. Det finns tolv stolar i varje stapel och stapelns effektutveckling jämförs med den effektutveckling tolv stolar i två staplar har enligt Särndqvist⁵, se figur L1. Eftersom dessa staplar endast är sex stolar höga görs en modifiering genom att multiplicera effektutvecklingen med faktorn 1,8 vilket är en uppskattning. Det naturliga borde vara att dubbla effekten eftersom det finns dubbelt så många stolar men hänsyn tas till att en stapel med tolv stolar ej har dubbelt så stor exponerad area som en stapel med sex stolar. Effektutvecklingen antas vara direkt proportionell mot arean som brinner enligt

$$\dot{Q} = \dot{m}'' \cdot \Delta H_c \cdot A.$$

Plaststolarna som befinner sig på träplattan, se figur L5, antas ej antändas i detta skede eftersom de för tillfället är skyddade av träplattan och befinner sig två meter över brandens bas. I tabell L1 nedan är sambandet mellan flamhöjden och tiden från brandens början tabulerad. Där ser man att flammans höjd efter 30 s har en höjd på cirka 1,8 m. Ser man till figur L3 kan man anta att flammans bas befinner sig cirka en meter över marken. Sammantaget innebär detta att flammans höjd befinner sig omkring 2,8 m över marken. Den antas dock ej vara så hög att den kan komma runt träplattans kant och sträcka sig tillräckligt högt för att värma upp stolarna på träplattan i så hög grad att de pyrolyseras och antänds.

Det brännbara materialet som lagras i Inlastningen antas stå mycket tätt, vilket åskådliggörs i figur L5. Träborden som står lagrade intill antändningskällan antas antända innan träplattan över antändningskällan eftersom avståndet mellan branden och träborden är mycket mindre än mellan branden och träplattan. Visserligen stiger de varma brandgaserna

och värmer upp materialet ovanför flammen. Eftersom materialet på golvplan står så tätt kan dock träborden antas befinna sig inom flammans förbränningszon då två stolstaplar antänts. Effekttutvecklingen för trä beror enligt Tran och White⁸ mycket på återstrålningen från flammorna vilken är hög på grund av det mycket korta avståndet. Därigenom kan effekttutvecklingen för furu sättas till cirka 100 kW/m². Detta är ett högre värde än det som används i scenario 2 eftersom det mindre avståndet mellan materialen gör att strålningspåverkan blir större. Antagandet att 0,5 m² trä brinner efter 30 s anses vara troligt.

För att kunna göra en bedömning om när de stolsrader som befinner sig på träplatån börjar brinna används följande uttryck för flamhöjd hämtat ur Karlsson³,

$$L_f = 0,235 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1,02d_f.$$

Ur detta samband och från tidigare antaganden om det initiala brandförloppet beräknas flamhöjder enligt tabell L1.

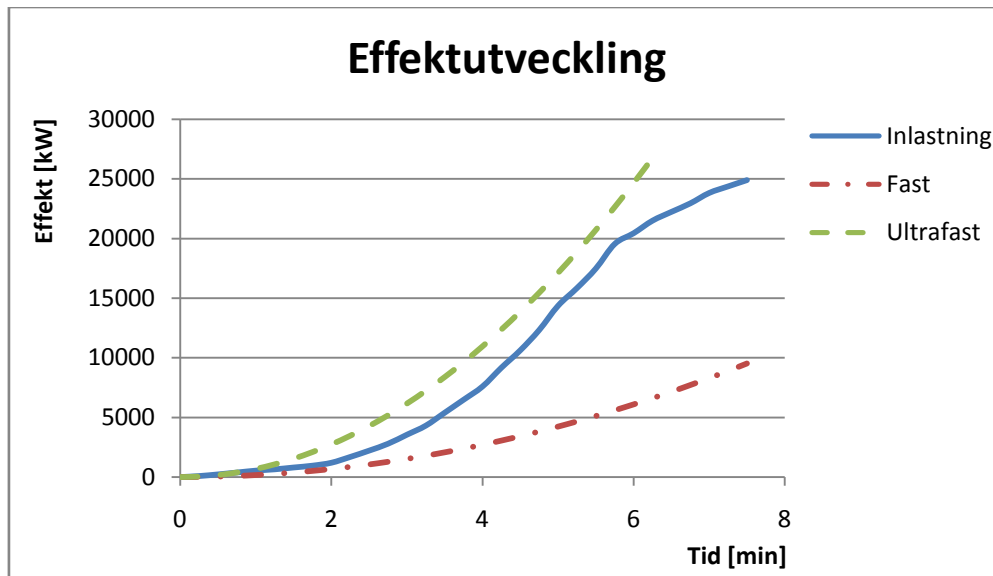
Tabell L1. Flamhöjd beroende på tid i brandförloppet.

| Tid [s] | Flamhöjd [m] |
|---------|--------------|
| 0 | 0 |
| 15 | 1,2 |
| 30 | 1,8 |
| 45 | 2,3 |
| 60 | 2,7 |
| 75 | 2,9 |
| 90 | 2,6 |
| 105 | 2,9 |
| 120 | 3,2 |

L.2 Brandens tillväxt

I lagringsutrymmet lagras många olika typer av material. Redan efter 45 s har flammen en höjd som överstiger två meter från dess bas och når därför enligt tidigare resonemang mer än tre meter över golvet. Man bör dock ha i åtanke att flammen obstrueras av träplatån vilket gör att den i verkligheten är lägre. Det blir även en skorstenseffekt mellan materialen vilket kan påskynda brandförloppet och därför delvis kompensera träplatåns hinder för flammen. Antagandet görs att flammen antänder stolstaplarna på träplatån efter 75 s med hänsyn till att materialet i stolarna värmts upp ordentligt under en halv minut. Även träplatån börjar brinna i det område som befinner sig direkt under branden. Den totala effekten efter 75 s är då cirka 650 kW.

I detta skede antas brandförloppet eskalera och ytterligare två stolsstaplar antänds 30 s senare. Även andelen trä som deltar i brandförloppet ökar. Här är brandförloppet svårt att modulera och antagandet görs att två stolstaplar antänds varje minut samt att andelen trä som brinner dubblas varje minut. Antagandet görs även att maximalt 40 m² trä deltar i brandförloppet samtidigt. Genom ovanstående resonemang kan en effekttutvecklingskurva för det tidiga brandförloppet utformas enligt figur L6.



Figur L6. Den genom resonemang utformade effektutvecklingen jämfört normaliserade effektutvecklingskurvor med α^2 -utseende.

I jämförelse med standardkurvor för tillväxthastighet enligt Karlsson³, se figur L6 ovan, ligger denna kurvas tillväxthastighet mellan fast och ultrafast för kurvor med α^2 -utseende. Hänsyn har dock ej ännu tagits till aktiva system.

L.3 Fullt utvecklade brand

Hur branden kommer att utvecklas från detta stadium beror till stor del på hur god tillgången till syre kommer att vara. Portarna som avskiljer Inlastningen från LRF-hallen kommer att betraktas som stängda. Detta för att branden, om såväl porten ut till det "fria" som porten in till arenarummet står öppen, inte kommer att bli ventilationskontrollerad förrän långt in i scenariot då effektutvecklingen är stor. På grund av LRF-hallens stora volym kommer samma fenomen uppstå om en port mot denna, istället för porten ut till det "fria", står öppen. I detta scenario bedöms tiden tills branden blir ventilationskontrollerad bli så lång att beräkningar vid denna tidpunkt är irrelevanta för personsäkerheten.

Om däremot alla portar är stängda kommer branden begränsas till de syremängder som fanns i lokalen från början samt de mängder som kommer in genom öppningar och läckage. "Mellanfallen" är att porten mot det fria **eller** arenarummet står öppen, varpå syretillströmningen härifrån kommer att bestämma brandens maximala effekt.

För en bedömning av personsäkerheten i arenan kommer endast två av ovanstående fyra fall att utforskas ytterligare, nämligen de två fall där porten till arenarummet står öppen. Om denna port är stängd kommer endast små mängder brandgaser läcka ut mot arenarummet och personerna som finns där kommer kunna utrymma utan att exponeras för några större mängder brandgaser. Dessa är de två fall som kommer tas upp i Bilaga M:

1. Port från Inlastningen till arenarummet öppen, port från Inlastningen ut till det fria stängd.
2. Båda portarna öppna.

Effektutvecklingen fram till 12 min (720 s) efter antändning kommer att behövas för att ha något att mata in i tvåzonsmodellerna. Kurvans utseende för denna tid är framtagen på samma sätt som kurvan för brandens tillväxt, nämligen att de enskilda objekten som brinner (stolstaplar och bord) får sin effekt inskriven i Excel. Allt eftersom tiden går adderas fler och fler objekt till beräkningarna och när alla objekt anslutits kan den maximala effekten summeras fram. Beräkningarna tar givetvis även hänsyn till att vissa objekt brunnit ut och resultatet visas i figur L7 nedan.



Figur L7. Totala effektutvecklingen i Inlastningen.

I figur L7 kan en ökning av effekthöjningen urskiljas efter drygt 3 min vilken beror på att det är då som stolarna börjar brinna. Därefter sker en tillväxt där fler och fler stolstaplar brinner samtidigt.

Bilaga M – Scenario 3 - Brandgaslager

I denna bilaga presenteras beräkningsgång, antaganden samt simuleringar för bildandet av ett brandgaslager samt brandgasspridning till intilligganden utrymmen.

M.1 Brandgasspridning via ventilationssystemet

Tryckökningen orsakad av brand beräknas enligt Karlsson³ med hjälp av ekvationen

$$\Delta P = \frac{1}{2\rho_e} \left(\frac{\dot{Q}}{c_p T_e A_e C_d} \right)^2$$

Index e står för de gaser som lämnar brandrummet genom brandgasluckorna. Flödeskoefficienten för dessa luckor sätts till 0,65 och brandgasernas densitet är 1,0 kg/m³ vid den antagna temperaturen 353 K. Den specifika värmekapaciteten för luft sätts till 1,0 kJ/kgK och förutsätts vara oberoende av temperaturen. För att undersöka om brandtrycket överstiger 60 Pa inom 80 s, se punkt 8.5.1 *Detektionstid*, beräknas den nödvändiga arean läckage som behövs för tillräcklig tryckavlastning. Läckagearean beräknas till 0,26 m² enligt ovan eller till 0,11 m² enligt Jensen¹⁵ och Jensen¹⁶ där normenligt läckage och tumregler används vid beräkning. Båda resultaten är enligt Lars Jensen mycket troliga i liknande lokal med många portar. Därför kommer ingen brandgasspridning ske genom ventilationssystemet innan brandgasluckorna öppnats.

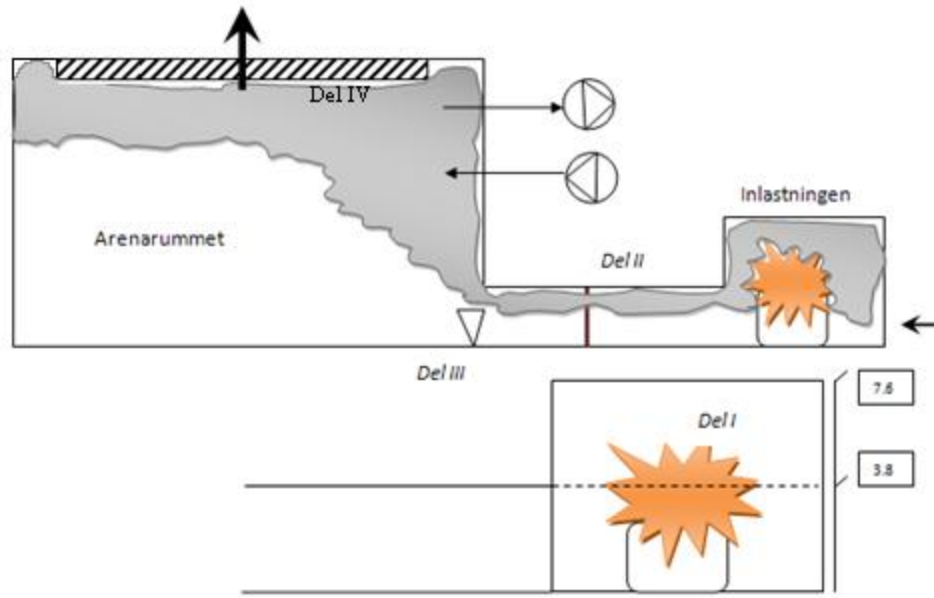
Därefter adderas den nödvändiga läckagearean med brandgasluckornas area för att med samma beräkningsgång beräkna vid vilken effekt brandtrycket i rummet överstiger 60 Pa. Då effekten uppnår 5,7 MW erhålls brandtrycket 60 Pa, vilket sker efter drygt 3,5 min, se figur K7 Bilaga K. Gör beräkningarna istället enligt Jensen¹⁵ uppkommer denna jämvikt inte förrän branden uppnått 10 - 15 MW. Beräkningarna under denna punkt är mycket konservativa eftersom brandgasspridning via ventilationssystemet antas ske redan vid brandtrycket 60 Pa. Läckagearean är sannolikt underskattad i storlek vilket även ger konservativa resultat. Trots extremt konservativa beräkningar sker alltså ingen brandgasspridning via ventilationssystemet inom godtycklig tid med hänsyn till personsäkerheten.

M.2 CFAST

Vid simulering i CFAST måste hänsyn tas till programmets begränsningar. Dessa är dock ej direkt applicerbara på rådande förhållanden. I brandrummet och korridoren borde simuleringen ge troliga resultat men när brandgaserna når arenarummet kan modellens giltighet kraftigt ifrågasättas. Därför kommer värden för brandgaserna endast att användas tills de når arenarummet. Simuleringarna görs nedan indelat på de två viktiga portförhållandena.

M.2.1 Endast port mot arenarummet öppen

En viktig tidpunkt som måste tas fram, utöver tiden det tar tills brandgasluckorna i Inlastningen öppnar, är tiden tills dess att röken som läckt in i arenarummet detekteras. Då öppnas nämligen porten i Inlastningen till det "fria" samtidigt som brandgasventilationen inne i arenarummet aktiveras.



Figur M1. Skiss över stegen som används för att beräkna tiden tills detektion sker i arenarummet.

Beräkningarna sker enligt nedanstående beräkningsgång och åskådliggörs i figur M1.

- Del I: Ta reda på vilken tid det tar att fylla volymen ovanför branden i själva inlastningsrummet.
- Del II: Ta reda på transporttiden via korridoren ut till arenarummet. Via CFAST ges att tiden för Del I + Del II = 160 s
- Del III: Ta reda på den tid det tar för brandgaserna att komma upp till taket i arenarummet där detektion sker.

För att ta reda på tiden det tar för brandgaserna att nå taket i arenarummet där detektion sker ansätts följande metod:

1. Ansätt en tid för transport av brandgaser från korridormynning till arenarummets tak.
2. Beräkna en medeltemperatur hos brandgaserna för detta tidsintervall genom att använda den temperatur hos brandgaserna som ges ur CFAST-simuleringen vid halva den ansatta tiden. Medeltemperaturen beräknas till 31 °C.
3. Jämställ de utströmmande brandgaserna med en brand i golvnivå genom att lösa ut effekten ur McCaffreys plymtemperaturmodell, Karlsson³, enligt

$$\Delta T_0 = \left(\frac{\kappa}{0.9\sqrt{2g}} \right)^2 \left(\frac{z}{\dot{Q}^{2/5}} \right)^{2\eta-1} T_\infty$$

där κ och η är plymkonstanter som, enligt Karlsson³, för regionen ovanför flammen har värdena $\eta = -1/3$ och $\kappa = 1.1$.

4. Med framräknad effekt kan man ur McCaffreys formel för Plymhastighet,

$$u_0 = \kappa \left(\frac{z}{\dot{Q}^{2/5}} \right)^\eta \dot{Q}^{1/5},$$

integrera fram transportsträckan över tiden.

5. Då integralen ger en sträckan 25 m (avståndet till taket) jämförs denna tid med den ansatta tiden i steg 1. Om de inte överensstämmer görs beräkningarna om med en ny ansatt tid.

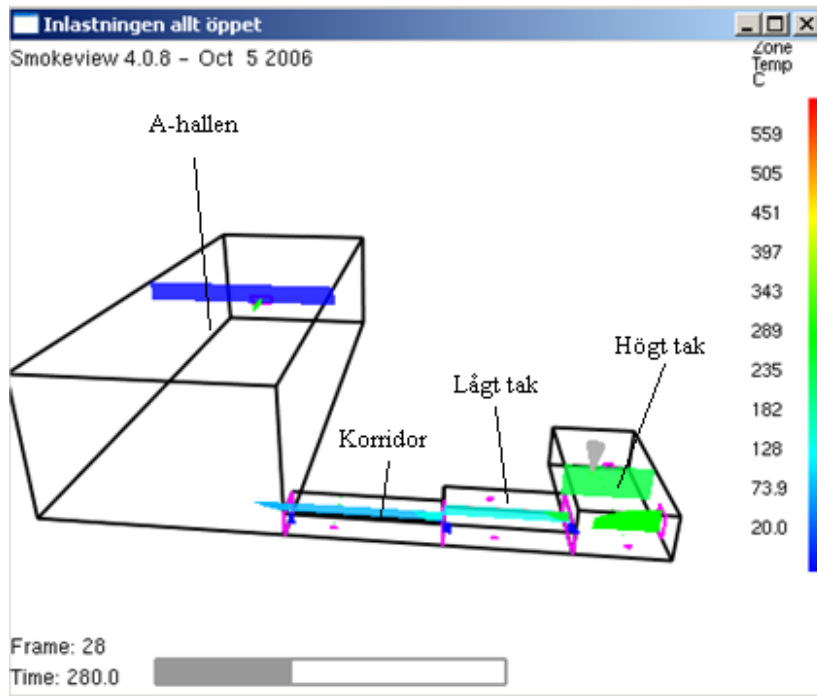
Beräkningarna genomförs med resultatet att transporttiden blir cirka 15 s.

Del IV: Bestäm tiden det tar för gaserna att färdas i det samplande systemets rör. Enligt punkt K.1.2 *Samplande systems aktiveringstid* tar det maximalt 120 s för transport genom det samplande systemet. Hur lång tid det i verkligheten tar varierar kraftigt med avståndet från samplingsboxen. Nämnas bör även att värdet 120 s inte är ett konservativt värde för avgörande om **när** kritiska förhållanden uppstår för personerna i arenarummet. Det som sökes är dock **om** kritiska förhållanden kan uppstå varför värdet kan användas om det visar sig vara fallet.

Den totala tiden från det att branden i Inlastningen startar och att detektion sker i arenarummet blir summan av de fyra delarna; $160 + 15 + 120 = 295$ s. Vid denna tidpunkt har branden inte nått sin maximala effekt och därigenom ej heller hunnit bli ventilationskontrollerad. Då portarna ut till det fria har öppnats kan fallet därför helt jämföras med det fall där båda portarna är öppna från början.

M.2.2 Båda portar öppna

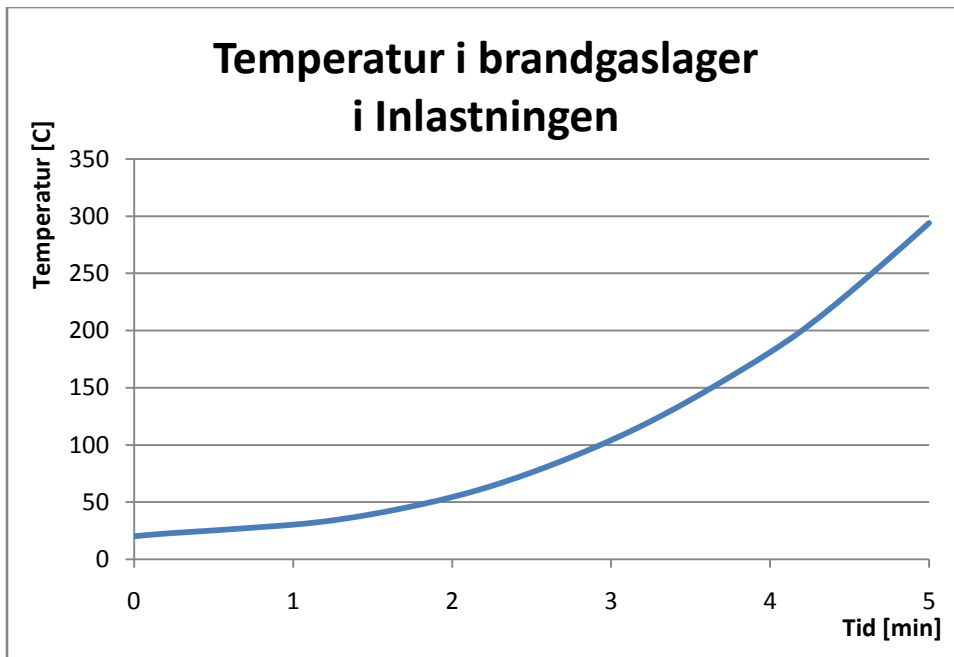
I detta fall antas båda portar vara öppna från start, vilket borde ge ett "worst case"-scenario. Tiden tills brandgasluckorna i taket öppnar är 80 s och tiden tills brandgasventilationen i arenarummet startar är 295 s.



Figur M2. CFAST-simulering av brand i Inlastningen 310 s in i förloppet.

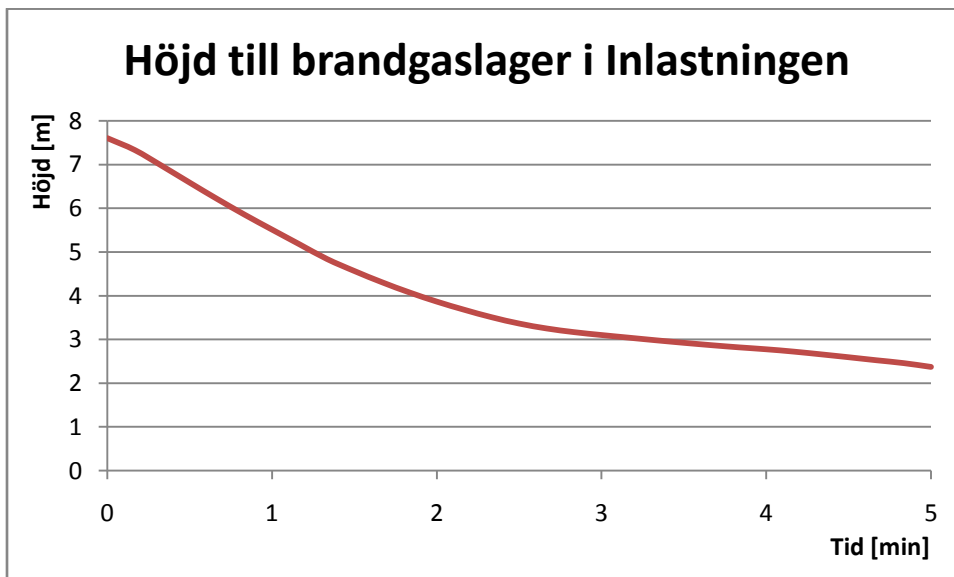
I figur M2 ovan visas simuleringen som den ser ut 310 s in i förloppet. Detektion i arenarummet har skett och brandgasventilationen har varit aktiverad i 15 s. Då brandgaserna börjat läcka in i arenarummet ger simuleringen momentant ett kallt brandgaslager som exempelvis har höjden 12 m och temperaturen 32 °C 10 min efter antändning. Denna del av simuleringen frångår dock programmets giltighet varför andra kriterier måste användas för att bedöma personsäkerheten i arenarummet.

De resultat som är intressanta från simuleringen är förhållandena för personer som befinner sig inne i Inlastningen. Som går att utläsa ur figur M3 kommer brandgaslagret inte att komma upp i några nämnvärda temperaturer under den tid som personalen i utrymmet bedöms ta på sig att utrymma.



Figur M3. Brandgaslagrets temperatur som funktion av tiden i Inlastningen.

I övrigt formas brandgaslagret i Inlastningen enligt figur M4 nedan.

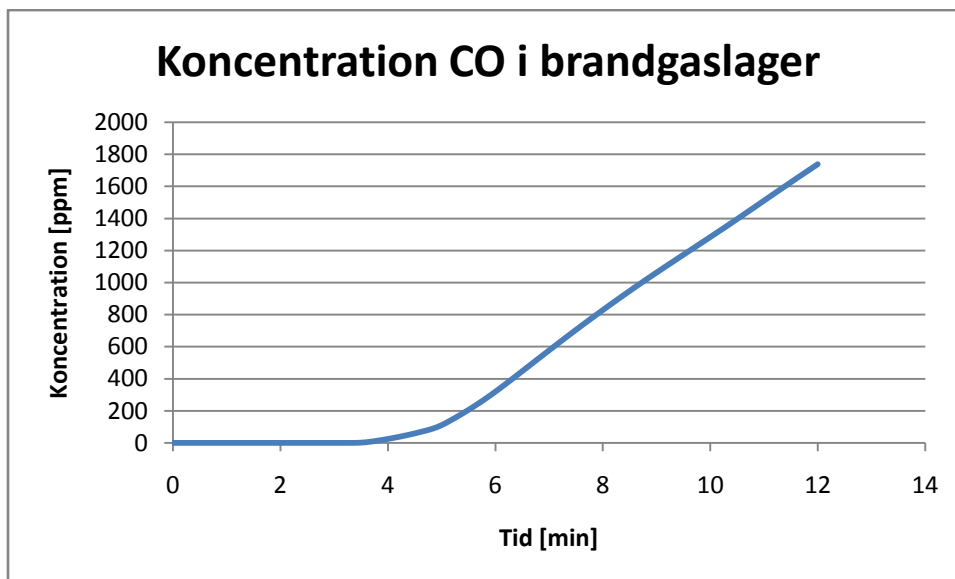


Figur M4. Höjd till brandgaslager i Inlastningen.

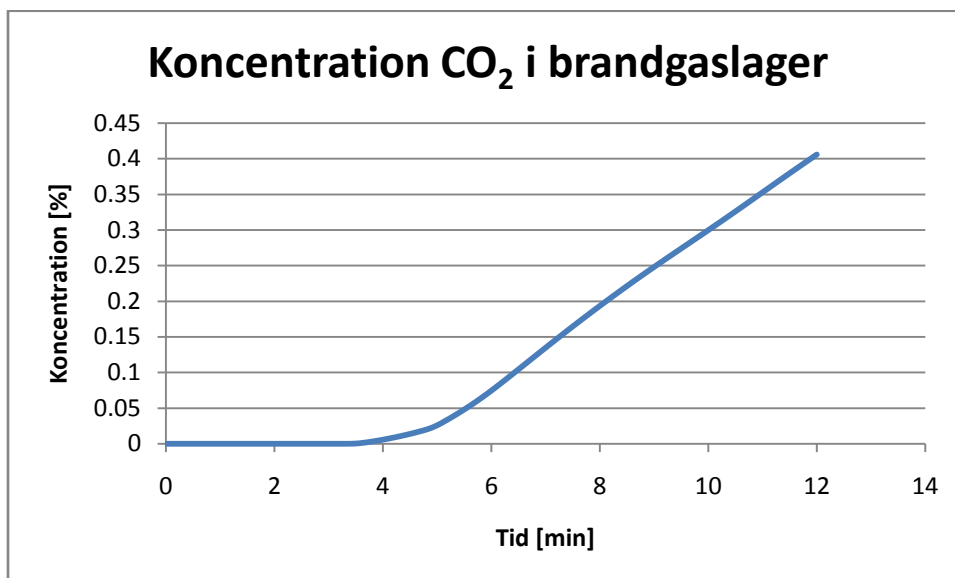
Bilaga N – Scenario 3 - Toxicitet

Nedan presenteras beräkningsgång samt resultat för bildandet av giftiga gaser vid brand i Inlastningen.

Toxiciteten simulerades med hjälp av CFAST. Ett förhållande mellan produktionen CO och CO₂ angavs, varpå CFAST beräknade den aktuella koncentrationen. För att få fram detta förhållande användes samma värden för yelden som använts tidigare ur Nilsson¹². Här angavs 0,3 g/g för CO och 1,1 g/g för CO₂. Förhållandet mellan de båda gaserna blir då $0,3/1,1 = 0,273$. Resultatet för toxiciteten i arenarummet ges i figurerna N1 och figur N2 nedan.

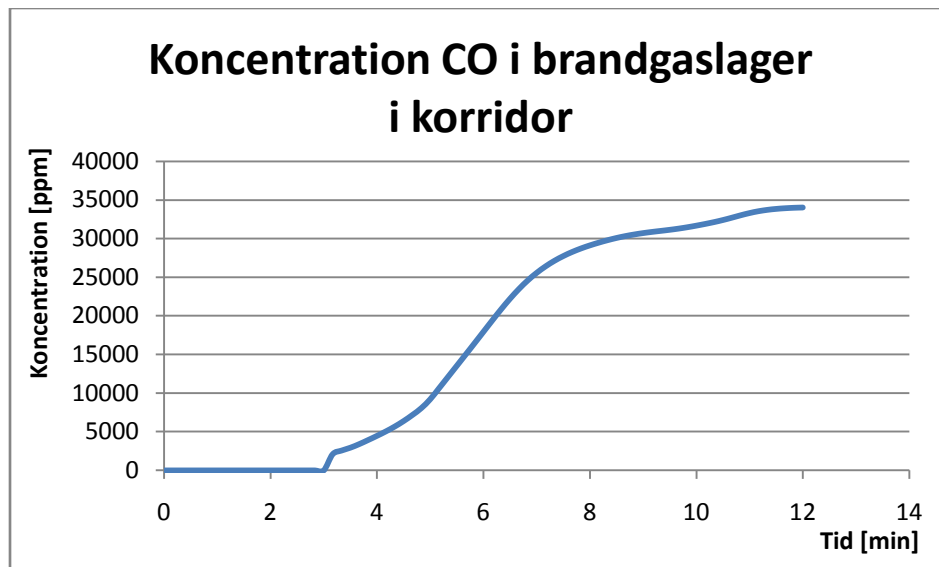


Figur N1. Koncentrationen kolmonoxid i det brandgaslager som bildas i arenarummet.



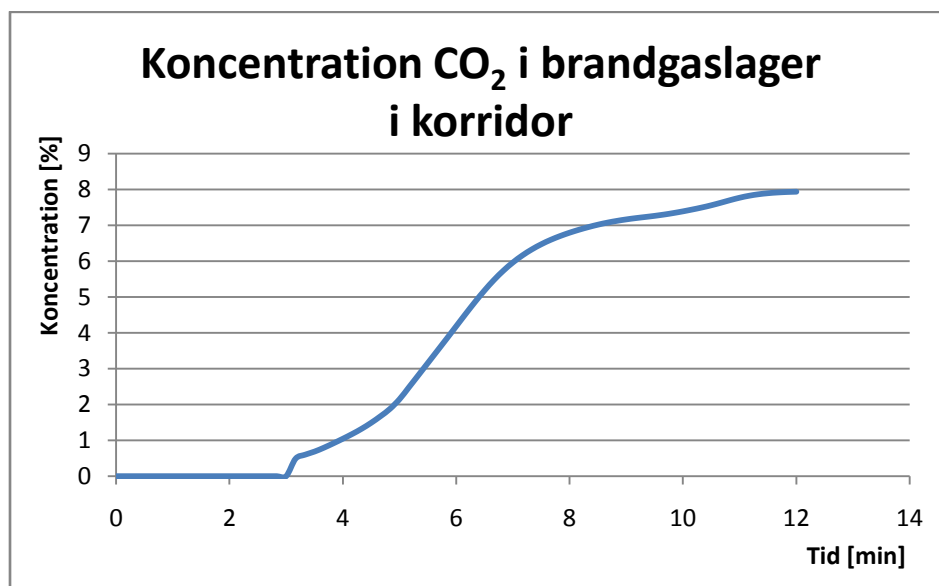
Figur N2. Koncentrationen koldioxid i det brandgaslager som bildas i arenarummet.

CFAST förutsätter (vilket inte Argos gör) att ett brandgaslager bildas i arenarummet. Här samlas de brandgaser som flödat in i arenarummet och blandats med luft. I detta fiktiva brandgaslager är koncentrationen koldioxid inte i närheten av att nå de 5 % som anges vara skadliga i Brandskyddslaget². Koncentrationen kolmonoxid hamnar dock betydligt närmre sina skadliga 2000 ppm. Betydligt värre blir situationen om man tittar på de gaser som strömmar ut från korridoren in i arenarummet. Som figur N3 och figur N4 visar är såväl koncentrationen koldioxid som kolmonoxid med bred marginal över de gränsvärden som anses vara acceptabla.



Figur N3 Koncentration CO i de gaser som strömmar in i arenarummet.

Enligt figur N3 och figur N4 kommer de personer som befinner sig i närheten av korridoren vara i en riskzon. De kommer i högre grad än andra riskera att bli utsatta för skadliga gaser eftersom det är troligt att det är just här som koncentrationerna blir som högst.



Figur N4 Koncentration CO₂ i de gaser som strömmar in i arenarummet.

Utöver koldioxid och kolmonoxid så kommer troligen också betydande mängder HCl att bildas då större delen av bränslet består av plaststolar. Också HCN kan bildas i vissa mängder. Båda är giftiga samt irriterande för luftvägarna och bör starkt undvikas vid utrymning.

Bilaga O – DETACT-T2

DETECT är ett datorprogram framtaget av Building and Fire Research Laboratory (BFRL) som ingår i den amerikanska institutionen National Institute of Standards and Technology (NIST) med syftet att beräkna aktiveringstid för bland annat värmedetektorer. Tillägget -T2 innebär att programmet beräknar brandgastemperaturen med hänsyn till att brandens effektutveckling tillväxer med αt^2 -utseende.

Programmet förutsätter att endast brandgasplymen värmer upp detektorn. Det innebär att inga ackumulerade brandgaser tillför värme. Programmet använder sig vidare av omgivande temperatur, RTI-värdet på komponenten, aktiveringstemperatur för komponenten, komponentens höjd över branden, vilket avstånd komponenterna har mellan varandra och mellan brandgasplymen samt brandeffektens tillväxthastighet för att beräkna aktiveringstiden, BFRL²⁰.

I scenario 1, Monterbranden, är endast optiska detektorer placerade i lokalen. Optiska detektorer kan likställas med värmedetektorer genom att de ej antas ha någon termisk tröghet ($RTI = 0$). Det antas även att de aktiveras vid en förhållandevis liten uppvärmning enligt Evans²¹.

Indata som användes vid simuleringen redovisas i tabell O1.

Tabell O1. Redovisar indata som användes för simulering av monterbranden.

| <i>Parameter</i> | <i>Försök 1</i> | <i>Försök 2</i> | <i>Försök 3</i> |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| RTI | 0 | 1 | 1 |
| Omgivande temperatur [c] | 20 | 20 | 20 |
| Aktiveringstemperatur [c] | 25 | 25 | 25 |
| ΔT Aktivering [c/min] | 100 | 100 | 100 |
| Tillväxthastighet av effekt [kW/s^2] | (Fast) 0,047 | 0,047 | 0,047 |
| Höjd [m] | 3,5 | 3,5 | 3,5 |
| Mellanrum [m] | 5 | 5 | 10 |
| Resultat [s] | 45 | 45 | 55 |

De avgörande osäkra faktorerna i detta fall är avståndet mellan brandgasplymen och detektorn.

Förutsättningarna i scenario 3, Inlastningen, är överensstämmande med de i scenario 1 och beräknas på liknande sätt.

Indata som användes vid simuleringen redovisas i tabell O2.

Tabell O2. Redovisar indata som användes för simulering av monterbranden.

| <i>Parameter</i> | <i>Försök 1</i> | <i>Försök 2</i> | <i>Försök 3</i> |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| RTI | 0 | 1 | 1 |
| Omgivande temperatur [c] | 20 | 20 | 20 |
| Aktiveringstemperatur [c] | 25 | 25 | 22 |
| ΔT Aktivering [c/min] | 100 | 100 | 100 |
| Tillväxthastighet av effekt [kW/s ²] | 0,12 | 0,12 | 0,12 |
| Höjd [m] | 7,8 | 7,8 | 7,8 |
| Mellanrum [m] | 10 | 10 | 10 |
| Resultat [s] | 82 | 84 | 72 |

Förändringar i detektorns uppskattade aktiveringstemperatur gör små skillnader i aktiveringstiden.

I arenarummet, scenario 2, finns ett samplande system för detektering av brandgaser. Det samplande systemet består av "samplingsboxar" med rör anslutna till sig. Dessa rör sträcker sig längst taket och väggarna och har insugningshål var tionde meter. En fläkt vid samplingsboxen bildar ett undertryck i röret och luften som sugas in transporteras till samplingsboxen där luften passerar en optisk ljusspridningskammare. Om sotpartiklar finns i luften aktiveras en larmsignal som skickas till larmcentralen.

Indata som användes vid simuleringen av scenbranden redovisas i tabell O3.

Tabell O3. Redovisar indata som användes för simulering av scenbranden.

| <i>Parameter</i> | <i>Försök 1</i> | <i>Försök 2</i> | <i>Försök 3</i> |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| RTI | 0 | 0 | 1 |
| Omgivande temperatur [c] | 20 | 20 | 20 |
| Aktiveringstemperatur [c] | 21 | 21 | 21 |
| ΔT Aktivering [c/min] | 100 | 100 | 100 |
| Tillväxthastighet effekt [kW/s ²] | 0,027 | 0,027 | 0,027 |
| Höjd [m] | 24 | 24 | 24 |
| Mellanrum [m] | 1 | 5 | 1 |
| Resultat [s] | 115 | 150 | 120 |

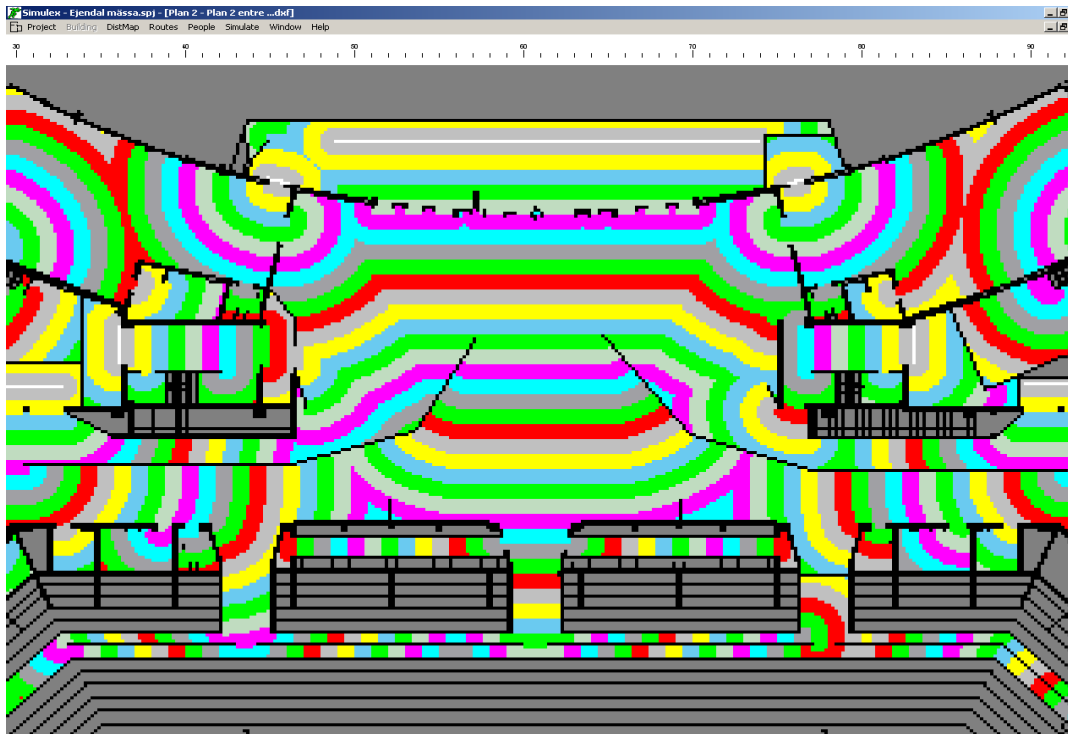
Eftersom en samplingsbox är känsligare än en konventionell optisk detektor, Nilsson¹², har vissa förutsättningar ändrats. I denna simulering görs antagandet att gaser med en grad högre temperatur än omgivningen innehåller en tillräckligt stor koncentration brandgaser för att samplingsystemet ska kunna detektera dem. I simuleringen tas hänsyn till brandens effektutvecklingskurva ($\alpha=0.027$ kW/s²), vilken effekt som krävs för att producera tillräckligt varma brandgaser för 24 meters vertikal transport via termisk stigningskraft, samt tiden det tar att transportera brandgaserna 24 meter. Vidare antas att brandgaserna endast behöver

transporteras en meter horisontellt, när de nått taket, för att nå ett insugningshål i samplingsystemets rörnät. Detta för att insugningshålen skapar ett lokalt undertryck omkring sig och gaser i närheten strömmar mot hålen. Även brandgaserna bör delvis följa detta flöde och därför ej nå taket på längsta avståndet från ett insugningshål. Undertrycken kring insugningshålen ökar även brandgasernas horisontella hastighet. Transportsträckan en meter är antagen och grundad på dessa förutsättningar.

Det är osäkert om denna metod är tillämpbar i detta fall eftersom ventilationen i lokalen har stor påverkan på brandgaserna då de ej har någon stor stigningskraft. Eftersom brandgaserna kyls på vägen upp mot taket har de lägre stigningskraft ju närmare taket de är. Lokalen är dock indelad i olika ventilationszoner med högre temperatur längre upp i lokalen vilket skulle kunna minska avkylningen något men samtidigt minska den termiska stigningskraften. Vilket håll gaserna strömmar när de närmar sig taket är av ovan resonemang mycket osäkert. Det är även osäkert om brandgaserna når taket över huvud taget. Trots osäkerheterna används denna metod då det ej finns någon annan metod att tillgå. För att bestämma detektionstiden i scenario 2 krävs en bedömning av tiden till larmaktivering i det samplande systemet.

Bilaga P – Simulex

Simulex är ett datorprogram framtaget av Integrated Environmental Solutions Limited (EIS) i syfte att simulera utrymning. En tvådimensionell karta importerar från en cad-ritning för att definiera lokalens geometri. Därefter kan trappor och utgångar läggas till. Man kan även länka samman olika plan via trappor. Utifrån utgångarnas placering och byggnadens geometri beräknas en avståndskarta. Avståndskartan kan åskådliggöras i figur P1 med hjälp av färgade linjer. Varje skifte av linjefärg innebär en viss ändring av avståndet.



Figur P1. Beräknad avståndskarta inför simulering av monterbranden i Simulex.

Därefter kan en population definieras med avseende till antal, gånghastighet, storlek och reaktionstid. Populationen utrymmer vinkelrätt mot avståndslinjerna för att på så sätt utrymma till närmaste utgång. Man kan även välja att avaktivera utgångar för att styra individer i populationen till olika utgångar. De ingångsvärden som använts för simuleringen i denna rapport åskådliggörs i tabell P1.

Tabell P1. Ingångsvärden som genomgående används vid simulering i Simulex.

| <i>Populationstyp</i> | <i>Medelgånghastighet [m/s]</i> | <i>Variation i gånghastighet +/- [m/s]</i> | <i>Kroppsradie [m]</i> |
|-----------------------|-------------------------------------|--|----------------------------|
| Man (30 %) | 1,35 | 0,2 | 0,27 |
| Kvinna (30 %) | 1,15 | 0,2 | 0,24 |
| Barn (30 %) | 0,9 | 0,3 | 0,21 |
| Pensionär (10 %) | 0,8 | 0,3 | 0,25 |