

Brandteknisk riskvärdering av Arken Hotell & Art Garden Spa

Albin Gudmundsson

Jesper Jönsson

Joakim Karlsson Lauridsen

Anton Rydholm

Axel Röman

28/5-2014



LUNDS
UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Brandteknisk riskvärdering av
Arken Hotell & Art Garden Spa

Författare

Albin Gudmundsson

Jesper Jönsson

Joakim Karlsson Lauridsen

Anton Rydholm

Axel Röman

Handledare

Nils Johansson

Lund 2014

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

Avdelningen för Brandteknik

Lunds tekniska högskola

Box 118 221 00 Lund

Telefon: 046-222 73 60

Hemsida: www.brand.lth.se

Epostadress: brand@brand.lth.se

Department of Fire Safety Engineering

Lund University

P.O. Box 118 SE-221 00 Lund Sweden

Telephone: +46 46-222 73 60

Homepage: www.brand.lth.se

E-mail: brand@brand.lth.se

Titel/Title

Brandteknisk riskvärdering av Arken Hotell & Art Garden Spa

Fire safety evaluation of Arken Hotell & Art Garden Spa

Rapport nr/Report nr

9470

Författare/Authors

Albin Gudmundsson, Jesper Jönsson, Joakim Karlsson Lauridsen, Anton Rydholm, Axel Röman

Brandingenjörsprogrammet, Lunds tekniska högskola, 2014

Fire Safety Engineering Program, Lunds Institute of Technology, 2014

©Copyright Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2014

Antal sidor/Number of pages

157 (inklusive bilagor/including appendix)

Bilder/Pictures

Om ingen källa anges är alla bilder tagna av författarna/ All pictures are taken by the authors if no reference is given

Sökord

Brandteknisk riskvärdering, BTR, Brandscenario, Simulex, FDS, CFAST, Hotell, Arken Hotell & Art Garden Spa, personsäkerhet, utrymning, kritiska förhållanden, riskanalys, känslighetsanalys

Keywords

Fire safety evaluation, FSE, Fire scenario, Simulex, FDS, CFAST, Hotell, Arken Hotell & Art Garden Spa, human safety, escape, critical conditions, risk analysis, sensitivity analysis

Språk/Language

Svenska/Swedish

Abstract

When a fire starts in a building a great threat against personal safety arises and this is especially true for the cases where people are unaccustomed to their environments. To diminish this threat it's of great importance that adequate time for evacuation is available. In this paper students at the Fire Protection Engineering program examine the system that is currently in place to ensure the safety of guests and personnel at Arken Hotel & Art Garden Spa. This is done by setting acceptable risk criteria, evaluating risks, determining available and required time, analyzing the effects of important factors and finally reaching a conclusion about personal safety. The method involves literature studies, calculations, simulations and logical thinking. Where the safety is found inadequate different solutions are examined and recommended. The examination shows that the safety of guests cannot be completely guaranteed in all parts of the hotel without a few building modifications to reach the acceptable criteria.

Förord

Författarna vill rikta ett hjärtligt tack till följande personer för deras stöd och handledning under arbetets gång. Färdigställandet av denna rapport hade inte varit möjlig utan er hjälp.

- Nils Johansson** *Doktorand vid avdelningen för Brandteknik, Lunds tekniska högskola, för ett bra samarbete och framförallt givande handledning.*
- Staffan Kihl** *Fastighetschef på Arken Hotell & Art Garden Spa, för det trevliga bemötandet på plats och all hjälp under arbetets gång samt tålmodigheten vid våra frekventa frågor.*
- Håkan Frantzich** *Universitetslektor vid avdelningen för Brandteknik, Lunds tekniska högskola, för all hjälp och vägledning.*
- Jonathan Wahlqvist** *Doktorand vid avdelningen för Brandteknik, Lunds tekniska högskola, för värdefull hjälp vid simuleringar i FDS.*
- Miranda Larsson** *Brandingenjör och Civilingenjör i Riskhantering, Förebyggandeenheten Team Norr, Räddningstjänsten Storgöteborg, för behjälpan det vid besöket och en trevlig rundvandring.*
- Henrik Alling** *Brandingenjör på Brandskyddslaget, för bra kommentarer och feedback på rapporten.*

Sammanfattning

I denna rapport görs en brandteknisk riskvärdering av Arken Hotell & Art Garden Spa i Göteborg. Rapporten inriktas främst på personers möjlighet till en säker utrymning och utarbetas som en del i kursen VBR054 – Brandteknisk Riskvärdering. Kursen anordnas av Avdelningen för Brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola. Objektet är ett populärt hotell beläget i Göteborg och används av både privatpersoner och företag.

Undersökningen utfördes genom att objektet besöktes och information om det nuvarande brandskyddet samt antalet besökare samlades ihop. Det nuvarande brandskyddet var generellt bra med ett välfungerande systematiskt brandskyddsarbete och regelbundna kontroller av tredje part. Vid besöket iaktogs vissa brister och med bakgrund i detta utfördes en grovanalys av flertalet scenarier varpå intressanta händelseförlopp valdes ut. De händelseförlopp som valdes för vidare undersökning var:

- Brand i mässhall
- Brand i matsal
- Brand i övre konferensdel
- Brand i bowlinghall

För de utrymmen som hade behov av att utrymning från lokalen skulle kunna säkerställas användes först en förenklad utvärdering för att bedöma säkerheten, en så kallad förenklad dimensionering. Vidare utfördes en analytisk utvärdering för samtliga utvalda utrymmen för att undersöka möjligheter till förbättrat brandskydd. Genom att sätta upp krav då utrymning inte bedöms ske under säkra förhållanden kunde lokalernas nuvarande brandskydd utvärderas. Bedömningen skedde genom att tiden till kritiska förhållanden vid brand togs fram med hjälp av simuleringar utförda i FDS och CFAST. Tiden jämfördes sedan med en uppskattad utrymningstid som togs fram via litteraturstudier och simuleringar i programmet Simulex. Om utrymning skedde innan tiden till kritiska förhållanden passerats bedömdes lokalens säkerhet godkänd.

Slutsatsen av detta visar på att den övre konferensdelens brandsäkerhet ej uppfyller förenklad eller analytisk utvärdering. Vidare klarar inte bowlinghallen den förenklade utvärderingen. Åtgärder togs fram för att lokalerna ska uppfylla de krav som ställs vid en förenklad dimensionering. Trots att mässhallen klarar de krav som en förenklad utvärdering ställer togs åtgärder fram för att förbättra skyddet i utrymmet.

De åtgärder som **bör** utföras för att klara undersökta krav enligt förenklad dimensionering är följande:

- Det gemensamma utrymmet i övre konferensdelen **bör** göras till en giltig utrymningsväg.
- Brandcellsgränsen kring matsal och bowlinghall **bör** utföras i lägst EI60.
- Hotellens brandcellsgränser **bör** undersökas så att de klarar sin utmarkerade klassning.
- Hotellens ventilation **bör** ses över för att garantera ett korrekt brandskydd.
- Ytskikt i mässhallen **bör** ändras till minst Euroklass B

De åtgärder som **kan** utföras för att höja säkerheten:

- Installation av brandgasventilation **kan** göras i mässhallen.
- Installation av sprinklersystem **kan** göras i mässhallen.
- Installation av talat utrymningsmeddelande **kan** göras i mässhallen.
- Brister som observerats i 3.2 **kan** ses över.
- Rutiner kring utrymning av rullstolsburna personer **kan** ses över.

Nomenklatur

| | | |
|-------------------|---|----------------------------|
| A | Area | [m ²] |
| A _D | Area på öppningar för inluft | [m ²] |
| A _E | Area på brandgasluckor | [m ²] |
| A _f | Bränsleytans area | [m ²] |
| A _W | Area på väggar och tak som berörs av brandgaserna | [m ²] |
| B | Bredd | [m] |
| C | Antal kolatomer i bränslet | [-] |
| c | Värmekapacitet | [J/(kgK)] |
| c _p | Luftens specifika värmekapacitet | [J/(kgK)] |
| C _d | Öppningsfaktor | [-] |
| C/CO ₂ | Förhållandet mellan kol och koldioxid i förbränningsprodukterna | [g/g] |
| D _d | Diameter | [m] |
| D ₁ | Avstånd till punkt från strålande platta | [m] |
| D* | Karaktäristisk branddiameter | [m] |
| E | Syrets totala energi i lokalen | [MJ] |
| g | Tyngdacceleration | [m/s ²] |
| H | Antal väteatomer i bränslet | [-] |
| h | Värmekonduktivitet | [kW/m ² K] |
| H _h | Höjd | [m] |
| H _E | Takhöjd | [m] |
| H/C | Förhållandet mellan väte och kol i bränslet | [g/g] |
| ΔH _{eff} | Effektiva förbränningsentalpin | [kJ/g] |
| ΔH _c | Förbränningsentalpin | [kJ/g] |
| k _k | Sammanslagning av konstanter | [((mg)/J) ^{1/3}] |
| k | Värmeledningsförmåga | [W/mK] |
| L | Längd | [m] |
| L ₁ | Höjd på uppdelad strålningsplatta | [m] |
| L ₂ | Bredd på uppdelad strålningsplatta | [m] |
| \dot{m}'' | Massavbrinning | [kg/m ² s] |
| \dot{m}_e | Massflöde ut ur lokalen | [kg/s] |
| \dot{m}_p | Massflöde från plymen | [kg/s] |
| n | Brandbaserad exponent | [-] |
| O | Antal syteatomer i bränslet | [-] |
| ΔP _l | Tryckskillnad över portens öppning | [Pa] |
| \dot{Q} | Effektutveckling | [kW] |
| \dot{q}'' | Värmefflöde | [W/m ²] |
| RTI | Response time index | [ms ^{1/2}] |
| S | Tabellvärde för framtagning av synfaktor | [-] |
| S _a | Rummets golvarea | [m ²] |
| T | Temperatur | [°C] |
| T _a | Luftens temperatur | [K] |
| T _g | Brandgasernas temperatur | [K] |
| V | Lokalens volym | [m ³] |
| t | Tid | [s] |
| z | Brandgaslagrets höjd över marken | [m] |
| α | Tillväxthastighet för brandförlopp | [kW/s ²] |

| | | |
|---------------|---|------------------------------------|
| α_s | Tabellvärde för framtagning av synfaktor | [-] |
| ε | Emissionstal | [-] |
| ρ_g | Brandgasernas densitet | [kg/m ³] |
| ρ_a | Luftens densitet | [kg/m ³] |
| δ_x | Symbolisk cellstorlek | [m] |
| χ | Förbränningseffektivitet | [-] |
| σ | Stefan-Boltzmanns konstant | [W/m ² K ⁴] |
| ϕ_{tot} | Synfaktor | [-] |
| ϕ_i | Synfaktor för en ¼ av den strålande plattan | [-] |

Innehåll

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | Inledning | 1 |
| 1.1 | Bakgrund | 1 |
| 1.2 | Syfte och mål..... | 1 |
| 1.3 | Avgränsningar | 1 |
| 2 | Objektsbeskrivning | 3 |
| 2.1 | Plan 1..... | 4 |
| 2.2 | Plan 2..... | 9 |
| 2.3 | Plan 3..... | 12 |
| 2.4 | Lokaler som förekommer på flera plan | 13 |
| 3 | Befintligt brandskydd | 15 |
| 3.1 | Allmänt brandskydd | 15 |
| 4 | Metod | 19 |
| 4.1 | Platsbesök..... | 20 |
| 4.2 | Skyddsmål | 20 |
| 4.3 | Definition av kritiska förhållanden..... | 20 |
| 4.4 | Grovanalys..... | 21 |
| 4.5 | Val av brandscenarier | 21 |
| 4.6 | Kontroll mot förenklad dimensionering | 21 |
| 4.7 | Beräkning av tid till kritiska förhållanden..... | 21 |
| 4.8 | Beräkning av utrymningstid | 21 |
| 4.9 | Kontroll av skyddsmål..... | 23 |
| 4.10 | Känslighetsanalys | 23 |
| 4.11 | Åtgärder..... | 23 |
| 5 | Grovanalys av brandscenarier | 25 |
| 5.1 | Plan 1..... | 25 |
| 5.2 | Plan 2..... | 27 |
| 5.3 | Plan 3..... | 28 |
| 5.4 | Lokaler som förekommer på flera plan | 29 |
| 5.5 | Sammanfattning grovanalys | 30 |
| 6 | Kontroll mot förenklad dimensionering | 31 |
| 6.1 | Förenklad dimensionering – Mässhall..... | 31 |
| 6.2 | Förenklad dimensionering – Matsal | 32 |
| 6.3 | Förenklad dimensionering – Övre konferensdel | 32 |
| 7 | Brandscenario 1 – Mässhallen | 33 |
| 7.1 | Beskrivning | 33 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 7.2 | Angreppssätt..... | 33 |
| 7.3 | Brandens tillväxt och maxeffekt..... | 34 |
| 7.4 | Tid till kritiska förhållanden..... | 35 |
| 7.5 | Utrymningstid..... | 37 |
| 7.6 | Villkor för säker utrymning..... | 39 |
| 7.7 | Utvärdering av FDS-simuleringar..... | 40 |
| 7.8 | Känslighetsanalys..... | 43 |
| 7.9 | Åtgärdsförslag..... | 48 |
| 7.10 | Reflektion och diskussion..... | 50 |
| 8 | Brandscenario 2 – Matsalen..... | 53 |
| 8.1 | Beskrivning..... | 53 |
| 8.2 | Angreppssätt..... | 53 |
| 8.3 | Brandens tillväxt och maxeffekt..... | 54 |
| 8.4 | Tid till kritiska förhållanden..... | 55 |
| 8.5 | Utrymningstid..... | 56 |
| 8.6 | Tid för säker utrymning..... | 58 |
| 8.7 | Kontroll av FDS..... | 59 |
| 8.8 | Känslighetsanalys..... | 61 |
| 8.9 | Åtgärdsförslag..... | 64 |
| 8.10 | Reflektion och diskussion..... | 66 |
| 9 | Brandscenario 3 – Övre konferensdelen..... | 69 |
| 9.1 | Beskrivning..... | 69 |
| 9.2 | Angreppssätt..... | 71 |
| 9.3 | Brandens tillväxt och maxeffekt..... | 71 |
| 9.4 | Tid till kritiska förhållanden..... | 72 |
| 9.5 | Utrymningstid..... | 74 |
| 9.6 | Tid för säker utrymning..... | 75 |
| 9.7 | Utvärdering av simuleringar i CFAST..... | 76 |
| 9.8 | Känslighetsanalys..... | 77 |
| 9.9 | Åtgärder..... | 78 |
| 9.10 | Reflektion och diskussion..... | 79 |
| 10 | Brandscenario 4 – Bowlinghallen..... | 81 |
| 10.1 | Beskrivning..... | 81 |
| 10.2 | Angrepssätt..... | 82 |
| 10.3 | Beräkningar..... | 82 |
| 10.4 | Resultat och övriga reflektioner..... | 82 |

| | | |
|-----------------|---|--------------|
| 10.5 | Åtgärder..... | 83 |
| 11 | Diskussion..... | 85 |
| 12 | Slutsatser och åtgärder | 87 |
| 13 | Litteraturförteckning | 89 |
| Bilaga A | Teori..... | III |
| A.1 | Teori angående kvadratisk brandtillväxt | III |
| A.2 | Teori angående CFAST..... | III |
| A.3 | Teori angående Simulex | IV |
| A.4 | Teori angående FDS | IV |
| A.5 | Strålningsteori platta till punkt | V |
| A.6 | Teori för beräkning av brandgasfyllnad i stora utrymmen | VI |
| A.7 | Teori för beräkning av brandgasventilation..... | VII |
| A.8 | Teori för sprinklerberäkningar | VIII |
| A.9 | Teori angående beräkning av flammhöjd | IX |
| Bilaga B | Förenklad dimensionering – Gångavstånd | XI |
| B.1 | Mässhall..... | XI |
| B.2 | Matsal | XI |
| B.3 | Övre konferensdelen..... | XII |
| Bilaga C | Handberäkningar och resultat | XIII |
| C.1 | Brandscenario 1 – Mässhallen..... | XIII |
| C.2 | Brandscenario 2 – Matsalen | XVII |
| C.3 | Brandscenario 3 – Övre konferensdelen..... | XX |
| C.4 | Brandscenario 4 – Bowlinghallen | XXI |
| Bilaga D | Indata till simuleringar | XXIII |
| D.1 | Brandscenario 1 – Mässhallen..... | XXIII |
| D.2 | Brandscenario 2 – Matsal | XXV |
| D.3 | Brandscenario 3 – Övre konferensdelen..... | XXVI |
| D.4 | Fördelning för hotellgäster i Simulex..... | XXVII |
| Bilaga E | Resultat från simuleringar..... | XXIX |
| E.1 | Scenario 1 – Mässhall..... | XXIX |
| E.2 | Scenario 2 – Matsal | XXXVI |
| Bilaga F | Indata till FDS | XLIII |
| F.1 | Kod för mässhall | XLIII |
| F.2 | Kod för matsal | XLVI |

1 Inledning

Nedan följer rapportens bakgrund, syfte och mål och avgränsningar.

1.1 Bakgrund

Följande rapport utgör ett centralt moment i kursen Brandteknisk riskvärdering vid Lunds tekniska högskola på brandingenjörsprogrammets tredje år. Kursen är obligatorisk och syftar i att knyta ihop kunskaper från tidigare kurser och ge insikt i hur dessa kan tillämpas. Arbetet genomförs självständigt av en studentgrupp som handleds av en representant från avdelningen för Brandteknik vid Lunds tekniska högskola.

1.2 Syfte och mål

Syftet med rapporten är att utföra en brandteknisk riskvärdering av ett verkligt objekt. Rapporten utfärdas för att ge övning i de moment som innefattas av brandteknisk riskvärdering och hoppas kunna ligga till grund för verksamhetens framtida brandskyddsarbete. Rapporten ska mynna ut i en brandteknisk riskvärdering av Arken Hotell & Art Garden Spa (hädanefter Arken Hotell) i Göteborg där fokus läggs på utrymning och personsäkerhet. Upptäcks brister i byggnadens brandskydd ska dessa uppmärksammas och förslag på lösningar ska ges vilka även ska kontrolleras. Brister ska motiveras genom kvantitativa analyser eller kvalitativa resonemang. Ett centralt mål är att studenternas ingenjörsmässighet ska utvecklas under arbetets gång.

1.3 Avgränsningar

Rapporten innefattar endast Arken Hotell och ej närliggande byggnader utom verksamheten, alltså tas ingen hänsyn till eventuella risker från omkringliggande företags sysselsättningar. Endast personsäkerheten och möjligheten till utrymning vid brand kommer att utvärderas och därmed utesluts rent ekonomiska och miljömässiga skador. Kontroll av fördenklad dimensionering görs endast mot utvalda delar i kap 5 i BBR20.

2 Objektsbeskrivning

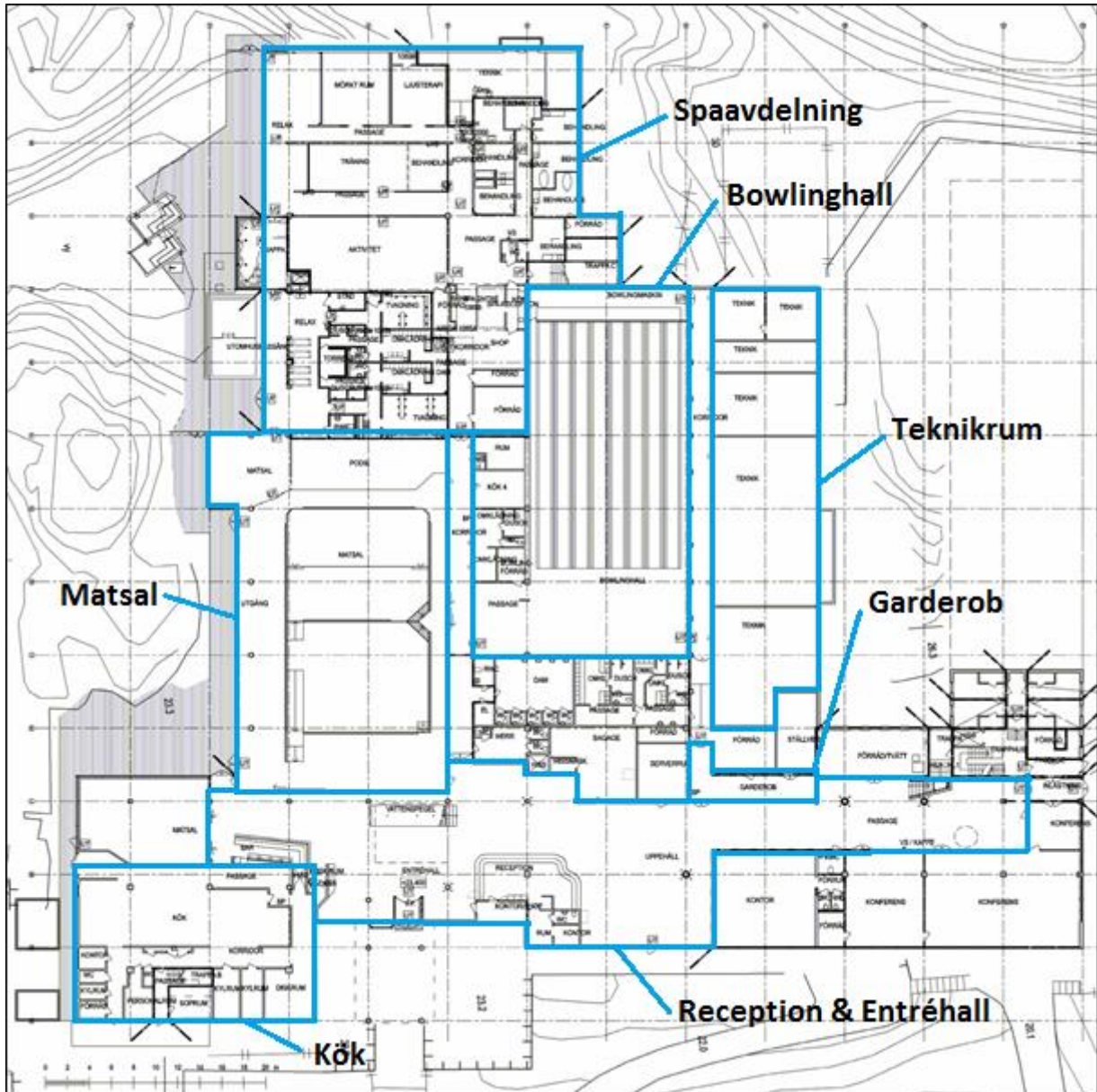
Arken Hotell ligger beläget i hamninloppet för Skandiahamnen, ungefär 12 km från Göteborgs centrum. Skandiahamnen är en av Sveriges största hamnar för containertrafik och hotellet omges av olika avlastningsplatser för fartygen. Hotellet har en omfattande spaavdelning, en mängd konferenslokaler och en stor restaurang med tillhörande bar.

Hotellet började byggas 1974 men stod färdigt 1975 och var då planerad att agera som en personalanläggning för Götaverkets anställda. Syftet med anläggningen var att tillhandahålla utrymme för Götaverkets studieverksamhet i form av möten, men även att ge möjlighet till motion, sport och avkoppling. Anläggningen såldes i början på 1980-talet då Arken kom under privat regi vilket utgjorde starten för Arkens hotell och spa. År 2007 fick Arken nya ägare och stora investeringar utfördes för att renovera anläggningen, ytterligare renovering och utbyggnad skedde 2010 då det unika art garden spa konstruerades.

I byggnaden finns i dagsläget 149 rum att hyra för besökare, som hyrs av både företag vid konferenser och även av enskilda sällskap som kommer för att koppla av. För de besökare som kommer för konferenser finns hela 28 konferensrum att tillgå som kan hysa upp till 1000 deltagare.

2.1 Plan 1

På plan 1 finns huvudentrén som är huvudingången för besökare till Arken Hotell. Direkt vid ingången ligger en stor entréhall med reception, bar och uppehållsrum som är vidare förbunden med matsalen. På detta plan finns även ett kök, en spaavdelning, kontor, konferens, garderob och en bowlinghall som numera används till lagerutrymme. Planskiss redovisas i Figur 2-1. Rum som anses specifika för plan 1 redovisas utförligare nedan.



Figur 2-1 - Översiktsbild över plan 1. Blå linjer används för att illustrera den uppdelning som gjorts för analys av brandsäkerheten.

2.1.1 Spaavdelning

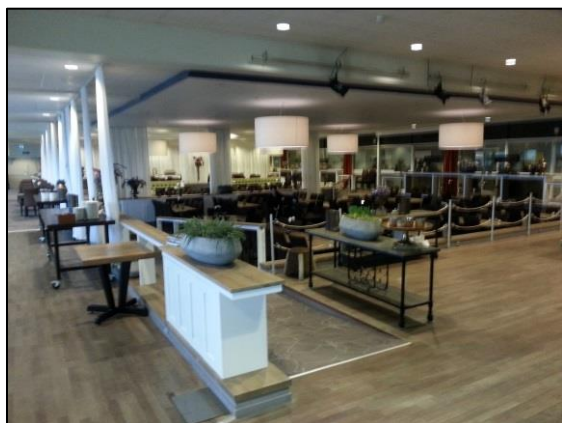
På plan 1 är den största delen av spaverksamheten belägen och denna innehåller flera relaxutrymmen som vetter ut mot havet. På detta plan finns det också ett flertal omklädningsrum och behandlingsrum samt en reception som stod obemannad vid besöket. Ett mindre gym och aktivitetsrum ligger placerat i mitten av spaverksamheten men det finns också ett ljusterapi- samt mörkerrum att nyttja på detta plan. Exempel på möblering och dekoration i avdelningen illustreras i Figur 2-2. Utrymning sker i de flesta fall via nödutgångar ut på trädäcket men kan också ske till matsalen eller via ett trapphus beroende på vart den utrymmande befinner sig i verksamheten.



Figur 2-2 - Exempel på utrymmen i spaavdelningen på plan 1. Till vänster ses relaxutrymme och till höger ses korridor som passerar receptionen.

2.1.2 Matsal

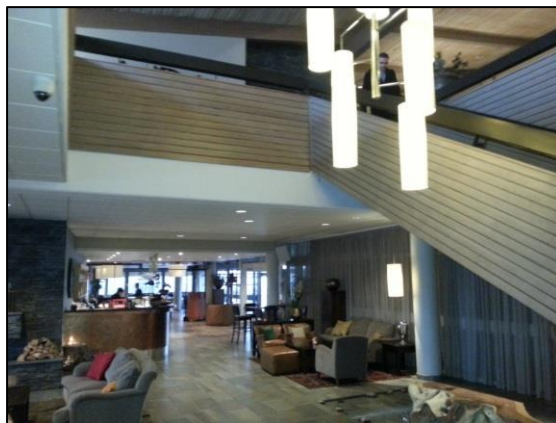
Matsalen är renoverad från en före detta simhall, vilket tydligt ses då serveringsdelen är nedsänkt i det som förut var simbassängen. Matsalen är 34 meter lång, 22 meter bred och takhöjden varierar mellan 3,5-3,7 meter. Det finns både ramp och trappor till detta utrymme i vilket det ryms 350 sittande matgäster. Lokalen innehåller i sin helhet mycket möbler i form av bord, vadderade stolar, soffor men också mycket textilier, till exempel gardiner. En av långsidorna på matsalen består av ett stort fönsterparti mot havet och utanför ligger ett stort trädäck. Utrymning är tänkt att till största del ske ut på trädäcket. Överblick över matsal och trädäck redovisas i Figur 2-3.



Figur 2-3 - Hotellets stora matsal och det trädäck till vilket utrymning sker.

2.1.3 Reception och entréhall

Receptionen i entréhallen är omgiven av olika sällskapsutrymmen inrymmande flertalet soffor, fåtöljer, bord och mattor. Bredvid receptionen finns en stor trappa som förbinder plan 1 med plan 2. Utrymmet gränsar delvis till matsalen och bredvid receptionen finns en gasdriven eldstad. Utrymning från entréhallen sker främst genom huvudentrén men ytterligare tre utrymningsvägar finns tillgängliga. Utrymmet redovisas i Figur 2-4.



Figur 2-4 - Till vänster ses sällskapsutrymme kring eldstaden. Till höger ses den trappa som förbinder plan 1 med plan 2 i entréhallen.

2.1.4 Kök

Restaurangens kök är nyrenoverat och förutom tillagningsstationerna finns också kyl, disk, personalrum samt kontor i utrymmet. En lastbrygga finns i anslutning till köket och soprum kan endast beträddas utifrån. Förutom köksutrustning finns flera servis- och matvagnar utspridda i lokalen. I köket förväntas det endast vistas köks- och serveringspersonal med god lokalkännedom. Utrymning av personal sker genom fyra nödutgångar, antingen ut på lastbryggan eller mot matsalen. Överblick över kökets utformning kan ses i Figur 2-5.



Figur 2-5 – Exempel på inredning i hotellets kök.

2.1.5 Garderob

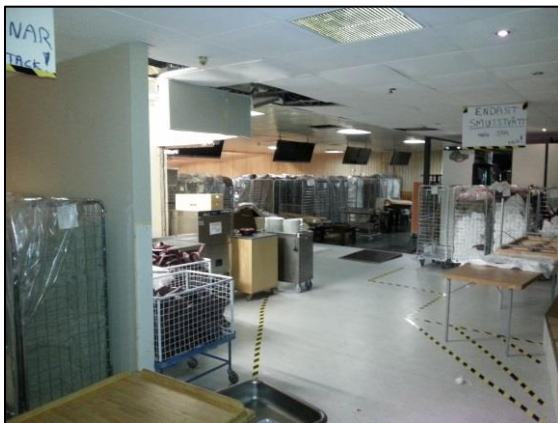
I anknäring till receptionen finns en garderob där besökare har möjlighet att hänga av sig ytterkläder. Rummet är inte låst då en utrymningsväg leder rakt igenom garderoben ut till entréhallen. Garderobens inredning visas i Figur 2-6.



Figur 2-6 - Hotellens garderob på plan 1. Vid utrymning sker passage genom garderoben för besökare från en av utrymningskorridorerna.

2.1.6 Bowlinghall

Bowlinghallen som finns på plan 1 är inte längre i bruk utan används numera som förråd. I utrymmet finns plats för uppställning av tvättvagnar. Bowlingbanorna är fyllda med fullastade pallar, gammal köksutrustning, möbler samt olika sorters städartiklar, se Figur 2-7. Lokalen är i stort sett obemannad då personal endast vistas här korta stunder. I lokalen finns det två nödutgångar, en ut mot matsalen och en på motsatt sida vilken leder ut mot garderoben. Dörren mot matsalen brukar stå öppen med en dörrmagnet och stängs vid detektion.



Figur 2-7 - Bilder över bowlinghallen. I bilderna ses tvättvagnar och allmänt lagerfört gods.

2.1.7 Teknikrum

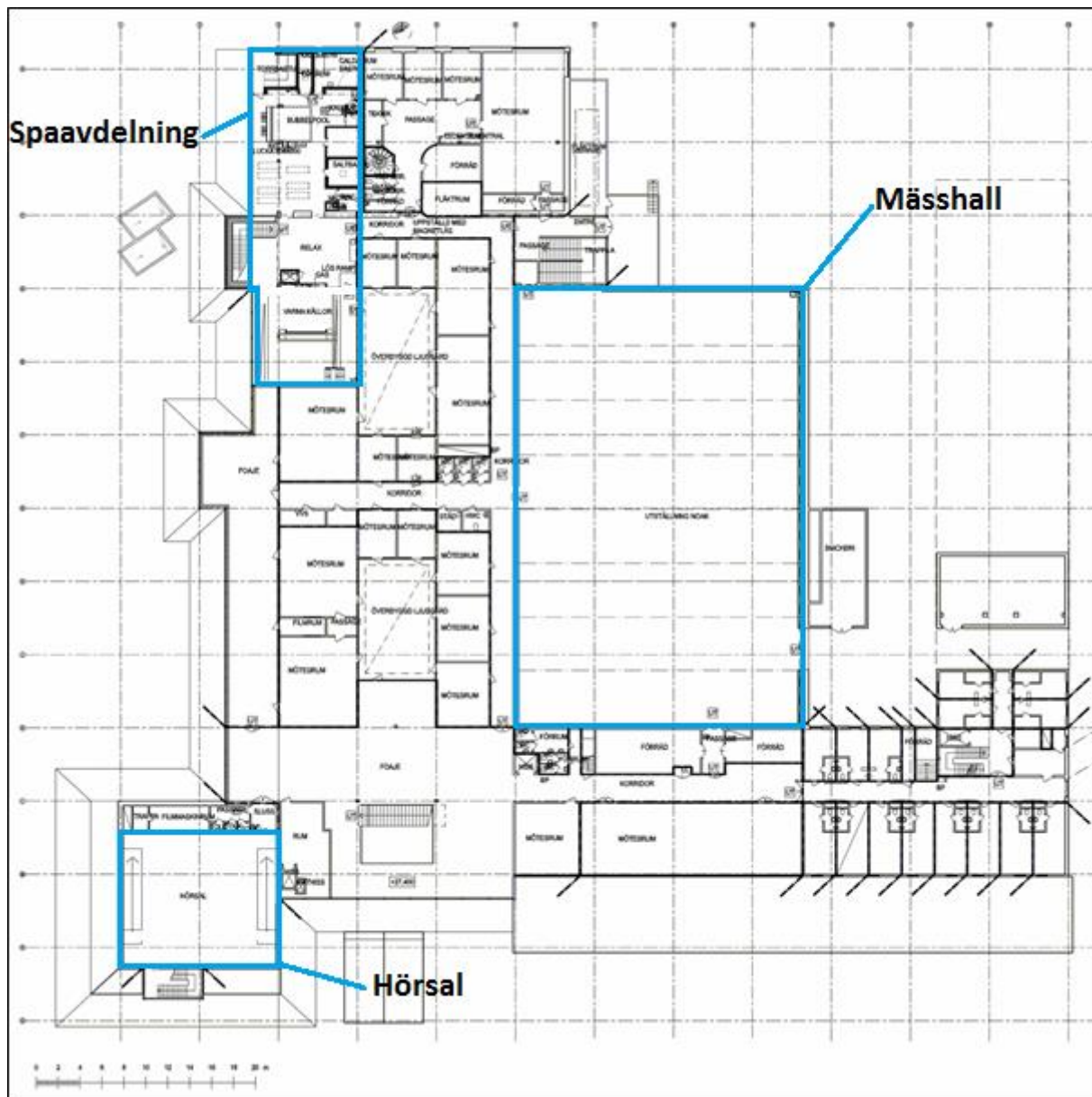
Ett flertal teknikrum finns i förbindelse med korridoren bredvid bowlinghallen. Denna korridor har kontakt med den utrymningsväg som vidare går ut mot garderoben och receptionen. Alla teknikrummen är inrättade som förråd med stor variaton av lagrat material. Korridoren innehåller även den lagrat material längs ena väggen. Korridor och teknikrum visas i Figur 2-8.



Figur 2-8 - Till vänster ses innehållet i ett av hotellets teknikrum. Till höger ses den korridor som passerar teknikrummen vid bowlinghallen.

2.2 Plan 2

Figur 2-9 visar en ritning över plan 2. På plan 2 finns det en stor variation av verksamhet i form av hörsal, mötesrum, mässhall, hotellrum och spaverksamhet. Huvudförbindelsen mellan plan 1 och 2 är trappan i receptionen som mynnar ut i en foajé från vilken andra rum går att nå. Rum som anses specifika för plan 2 redovisas utförligare nedan.



Figur 2-9 - Översiktsbild över plan 2. Blå linjer används för att illustrera den uppdelning som gjorts för analys av brandsäkerheten.

2.2.1 Spaavdelning

Spaverksamheten på plan 2 består av tre utrymmen som alla vetter ut mot havet. Hela spaverksamheten på båda planen förbinds med en trappa som på plan 2 mynnar ut i ett relaxutrymme som avgränsar två rum. I det ena rummet finns flera bastualternativ och en stor bubbelpool och i det andra rummet finns det ett antal varma bassänger. Utrymning från denna del sker antingen ner till plan 1 via trappa eller till angränsade ljusgård, korridor eller mötesrum på samma plan. Bilder från avdelningen ses i Figur 2-10.



Figur 2-10 - Spaavdelningen på plan 2.

2.2.2 Mässhall

Denna lokal är den största Arken Hotell kan erbjuda. Lokalen var till en början byggd för idrottslig verksamhet men används numera till utställningar, fester, filmvisning etc. Mässhallen är 43 m lång, 26 m bred och med ett sluttande tak med högsta takhöjd 9,9 m. Väggarnas ytskikt består av träpanel och de fönster som finns är alla placerade längst upp på väggarna i anslutning till taket. Det finns också möjlighet att avgränsa mässhallen med draperier för att minska utrymmets storlek. Golvet i lokalen består av en sorts mässmatta som kan flyttas vid behov. Mängden möbler i lokalen varierar beroende på vilket evenemang som förekommer. Bakom draperierna vid väggarna döljs möbler och sladdar som för tillfället inte används. På ena kortsidan finns en scen med arean 32 m² som kan förflyttas vid behov. På båda långsidorna finns klädställningar i trä. I lokalen finns en nödutgång vid vardera vägg, totalt fyra stycken. I Figur 2-11 visas bilder inifrån mässhallen.



Figur 2-11 - Bild över mässhallens inredning. Till vänster ses en av garderobslängorna. Till höger ses inredningen i mässhallen vid besöket.

2.2.3 Hörsal

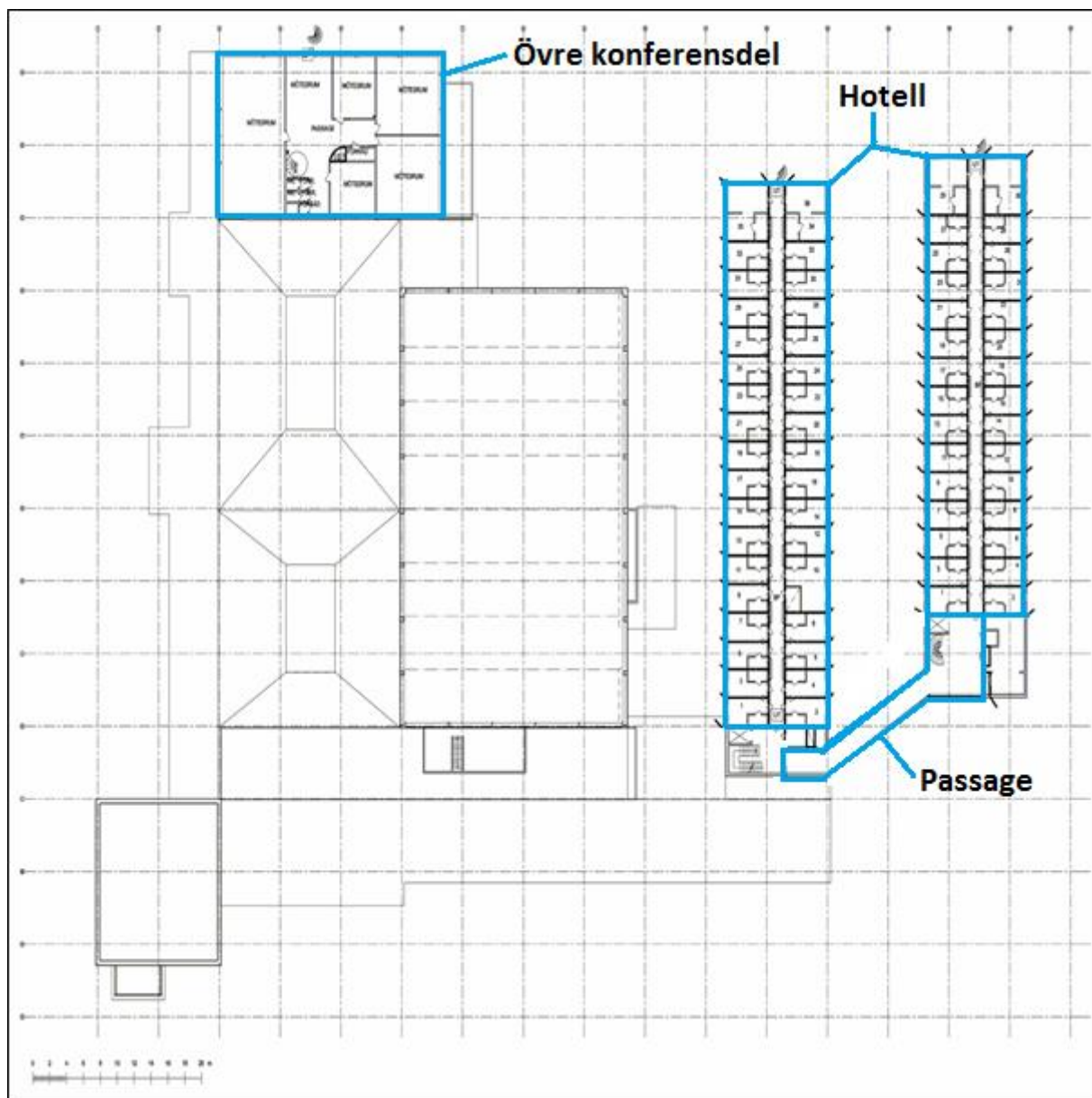
Hörsalen på plan 2 är en modern konferenssal med plats för cirka 150 sittande personer. Lokalen har ett sluttande golv med en upphöjd scen i främre delen. Både ljus och teknisk utrustning styrs elektroniskt. Från hörsalen finns det två utrymningsvägar, en bredvid scenen och en ut genom salens huvudingång, se Figur 2-12.



Figur 2-12 - Till vänster ses hotellets hörsal på plan 2 med plats för 150 sittande. Till höger ses salens huvudingång som också används som nödutgång.

2.3 Plan 3

Figur 2-13 nedanför visar plan 3. På detta plan finns flera mötesrum som nås via en spiraltrappa från plan 2 i huvudbyggnaden. I höjd med plan 3 finns dessutom hotellrum i två intilliggande huslängor och dessa behandlas senare under rubriken ”Lokaler som förekommer på flera plan”. Nedan följer en exaktare beskrivning av mötesrummen på plan 3 som härnäst benämns ”Övre konferensdelen”.

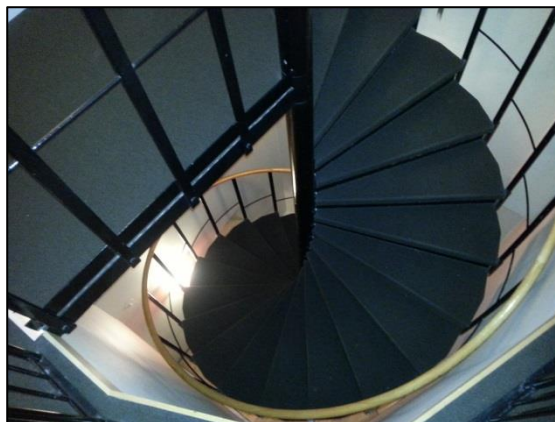


Figur 2-13 - Översiktsbild över plan 3. Blå linjer används för att illustrera den uppdelning som gjorts för analys av brandsäkerheten.

2.3.1 Övre konferensdelen

Den övre konferensdelen på plan 3 är sammankopplad med plan 2 via en spiraltrappa som leder ner till mötesrum i anslutning till spaavdelningen, se Figur 2-9. Konferensdelen består av ett gemensamt utrymme som gränsar till olika stora möteslokaler samt små förråd och toaletter. I gemensamma utrymmet finns två mindre soffmöblemang, ett fåtal ståbord och kaffemaskin. De angränsade möteslokalerna utgörs av ett större och fyra mindre lokaler. Möteslokalerna inrymmer ungefär samma interiör bestående av stolar och bord med undantag för den stora möteslokalen som har en avskiljande vägg vilken döljer extrastolar, elektronik och sladdar. Utrymning från den övre konferensdelen sker

via det gemensamma utrymmet till två spiraltrappor, en som går ner till plan 2 och en ut i det fria längs husväggen. På detta plan varierar persontätheten beroende på vad konferensutrymmena används till. Inredning och utrymningsväg illustreras i Figur 2-14.



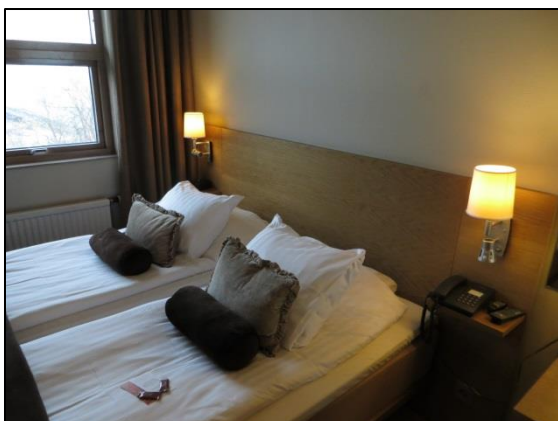
Figur 2-14 - Till vänster ses det gemensamma utrymmet i den övre konferensdelen. Till höger ses den spiraltrappa som förbinder plan 2 med den övre konferensdelen.

2.4 Lokaler som förekommer på flera plan

Lokaler och utrymmen som förekommer på flera plan behandlas separat under denna rubrik.

2.4.1 Hotell

Hotellverksamheten finns på plan 1-4 men största delen är uppbyggd på två separata huslängor med två våningar vardera (plan 3 och 4). Plan 4 förenas med plan 3 via trappor och hiss i båda huslängorna. Totalt finns 149 rum varav åtta är handikappsanpassade och placerade längst bort i varje korridor. Rummen är inredda som typiska hotellrum med dubbelsäng, skrivbord, arbetsstol, TV, kaffemaskin och ett mindre badrum. Utrymning från rummen sker via korridoren till två av varandra oberoende utrymningsvägar. En direkt eller via spiraltrappa ut i det fria beroende på våning och en via passagen bort mot receptionen. Rum och korridor visas i Figur 2-15.



Figur 2-15 - Inredning i hotellrum samt korridor utanför hotellrum.

2.4.2 Passagen

Passagen är utrymmet utanför hotellkorridoren på plan 3 och 4 mellan huslängorna. Denna innefattar även de gemensamma utrymmena vid slutet av varje korridor. I detta utrymme finns en soffgrupp på plan 3 och två fåtöljer med tillhörande bord på plan 4. Förbindelsevägen mellan huslängorna är fri från inredning. Bilder från platsbesök visas i Figur 2-16.



Figur 2-16 - Till vänster ses inredning i passagen i form av soffgrupp. Till höger ses passagen mellan hotellängorna.

2.4.3 Mötesrum

Arken Hotell har ett stort utbud av olika mötesrum. Inredningstypen i rummen varierar i liten grad medan mängden möbler varierar med storleken på rummet, ett exempel kan ses i Figur 2-17.



Figur 2-17 - Exempel på ett av hotellets mötesrum.

3 Befintligt brandskydd

Nedan följer en beskrivning av det befintliga brandskyddet på Arken Hotell.

3.1 Allmänt brandskydd

Inom Arken Hotell är många av dörrarna inom utrymningsväg försedda med automatiska dörrstängare och runt om i byggnaden finns brandsläckare utplacerade. På varje våningsplan finns det brandposter. På plan 1 och 2 finns det tre brandposter vardera och i varje hotellkorridor finns det en brandpost utplacerad. I matsalen finns det två brandjalousin som aktiveras vid överfört larm. I köket finns det utöver brandsläckare även ett punktskydd i form av ett automatiskt dimsläcksystem som betjänar spisar och fritös. Inga delar av Arken Hotell skyddas i dagsläget av sprinkler.

3.1.1 Detektion och utrymningslarm

Aktivering av brandlarm sker med hjälp av larmknapp samt rök-och värmedetektorer vilka är kopplade till centralapparaten. Stora delar av hotellet har även larmlagring. Vid detektion ges personalen en minut att kvittera larmet och sedan fem minuter att kontrollera larmets ursprung innan räddningstjänst larmas. Utrymningslarmet aktiveras i hela byggnaden samtidigt och består generellt av larmklockor. Förutom larmklockor finns det i entrén optiska larmdon och i matsalen, receptionen, konferensrummen och kontoren på plan 1 även ett informativt talande meddelande.

3.1.2 Utrymningsvägar

Det finns ett flertal utrymningsvägar med väl utmärkta dörrar av varierande bredder i byggnaden. Dörrarna öppnas i de flesta fall utåt och med vanliga dörrhantag men det finns även dörrar med panikreglar i exempelvis mässhallen.

3.1.3 Brandcellsgränser

Objektets brandcellsgränser är inte tydligt utmarkerade på tillhandahållna ritningar varvid den utmärkta klassningen inte kan ses som exakt. Det förekommer dock brandcellindelning vilken bedöms tillfredsställande men då brister identifieras vid utvärdering uppmärksammas dessa.

3.1.4 Rutiner och systematiskt brandskyddsarbete (SBA)

Hotellens personal har utrymningsövning en gång om året och verksamheten har ett väldokumenterat SBA. Var tolfte månad utför Precendo underhåll på byggnadens alla fasta installationer som exempelvis brandposter och automatiska dörrstängare. Göteborgs brandservice står för underhållet av brandsläckare i byggnaden. Vid brandlarm har samtliga anställda ansvarsområden för att effektivt söka av byggnaden och se till att utrymning sker smidigt, detta genom att uppmuntra användning av alla nödutgångar.

3.1.5 Ventilationssystem

Ventilationsaggregaten i anläggningen är inte separata för varje brandcell utan flera kan ingå i samma system. För att skydda mot brandgasspridning används brandgasspjäll som stängs vid detektion och återställs av receptionspersonal. Det finns ingen brandgasventilering.

Då det endast framgår att brandgasspjäll används som ventilationsbrandskydd kan informationen anses som bristfällig för att avgöra om skyddet betraktas vara fullständigt mot brandgasspridning. Nedan listas dock punkter som bör gälla för ett välfungerande och tillförlitligt ventilationsbrandskydd.

- Brandgasspjäll bör finnas i både till- och frånluftskanaler från varje brandcell
- Branddetektion bör finnas i de luftkanaler där brandgasspjäll är placerade. Detektionen bör även den kontrolleras kontinuerligt

- Brandgasspjällens skick samt funktionalitet bör kontrolleras årligen
- Kanalgenomföringar mellan brandceller ska vara tätade och isolerade så att brandceller bevarar sina grundläggande egenskaper

I rapporten anses dessa punkter vara åtföljda och ingen vidare hänsyn kommer tas till brand- och rökgasstridning via ventilation.

3.2 Observerade brister

Vid besöket observerades brister i Arken Hotells brandskydd i följande utrymmen som kan påverka utrymning.

- Bowlinghall
- Kök
- Matsal
- Spa
- Övre konferensdel

3.2.1 Bowlinghall

I bowlinghallen stod en av dörrarna uppställd till den angränsande utrymningsvägen. Inom denna utrymningsväg förvarades det både brännbart material i form av exempelvis stolar men även grillar med tillhörande gasoltank, se Figur 3-1. Figur 3-1 visar även otätade genomföringar i brandcellsgräns till den angränsande garderoben som vidare leder ut till huvudentrén. Belysningen kan även anses bristfällig.



Figur 3-1 - Till vänster ses brister i genomföring i brandcellsgräns vid en av dörrarna i korridoren förbi bowlinghallens teknikrum. Till höger ses att korridoren dessutom är delvis blockerad.

3.2.2 Kök

I köket var tillgången till en utav utrymningsvägarna begränsad då det stod diskvagnar vid väggarna som gjorde det svårt att passera, se Figur 3-2.



Figur 3-2 - En redan smal utrymningsväg är i stort sett blockerad.

3.2.3 Matsal

I orienteringsritningarna över matsalen finns en utrymningsväg på den södra glasväggen som inte kunde hittas vid besöket, denna märkeras i Figur 3-3.



Figur 3-3 - Markerande av utgång från matsalen som inte kunde lokaliserats vid besöket.

3.2.4 Spa

På spaavdelningen på plan 1 var en larmknapp övertäckt och en skärm placerad i utrymningsväg, se Figur 3-4.



Figur 3-4 - Brister i brandskydd som har uppstått på grund av möblering vid spaavdelning

3.2.5 Trappa till övre konferensdel

Den naturliga utrymningsvägen från den övre konferensdelen är markerad som en brandcellsgräns men vid studiebesöket kunde inte en brandklassning på dörren verifieras, dörren visas i Figur 3-5.



Figur 3-5 - Dörr som enligt ritning är brandklassad, något som ej kunde verifieras vid besöket.

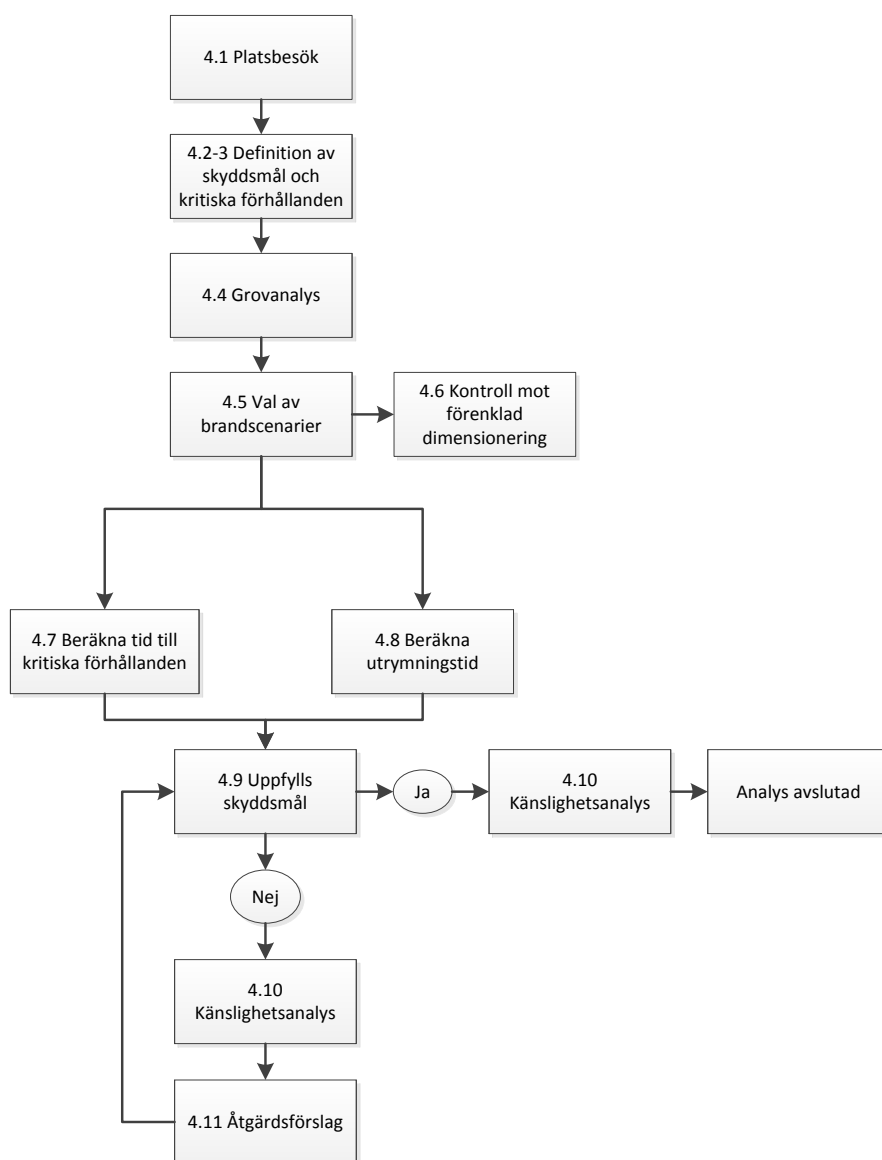
3.2.6 Hantering av metangas

I Arken Hotell används i dagsläget metangas för eldstäder. Någon riskutredning eller klassningsplan för hanteringen av metangas har inte funnits att tillgå och det rekommenderas därmed att detta ses över.

4 Metod

I detta kapitel beskrivs de metoder som används vid utvärderingen av personsäkerheten i Arken Hotell med avseende på utrymning vid brand. I rapporten utförs en scenarioanalys av typen värsta troliga fall enligt nivå 2 i Paté-Cornell (1996). Detta innebär att ett fåtal brand- och utrymningsscenarier tas fram vilka täcker in övriga baserat på att de framtagna scenarierna representerar de fall som bedöms vara värsta troliga för byggnaden. I en sådan analys tas naturligt mer hänsyn till konsekvens än sannolikhet då konsekvensen är den avgörande faktorn för hur allvarligt ett fall blir. Hanteringen av osäkerhet är delvis integrerad i denna typ av analysmetod då punktskattningar görs men för ytterligare transparens utförs känslighetsanalyser av ingående parametrar. Nackdelarna med denna analysmetod är att det är svårt att bedöma hur konservativa de framtagna scenarierna är och därmed hur kostnadseffektiva eventuella lösningar blir (Paté-Cornell, 1996). Fördelarna är att analysen går snabbt och osäkerheter i sannolikhet väljs bort då konsekvens är den definierande faktorn.

I Figur 4-1 ses ett schematiskt processträd över en generell metod för brandteknisk riskvärdering och det är denna metod som används i rapporten. Punkterna i processträdet förklaras noggrannare i nedan följande stycken.



Figur 4-1 – Översikt över den metod som används för brandteknisk riskvärdering i denna rapport.

4.1 Platsbesök

För att få en bättre förståelse för Arken Hotells verksamhet och utformning görs ett platsbesök tillsammans med handledare, fastighetschef samt räddningstjänst. Innan besöket görs förberedelser i form av inläsning av nuvarande lagkrav kring brandskydd samt de planritningar som finns tillhanda. Frågor som kommer upp under inläsningen noteras och används som underlag vid besöket. Vid platsbesöket läggs extra vikt på att införskaffa information som inte kan utläsas i underlaget, exempelvis befintligt brandskydd och brister i detta se avsnitt 3, utrymmen som är utrymningskänsliga, dimensioner på rum och utgångar samt det systematiska brandsskyddsarbetet.

4.2 Skyddsmål

Skyddsmål är det kriterium mot vilket byggnadens aktuella skydd testas och ska utgå från vilken skada som är acceptabel vid händelse av brand. Ett skyddsmål kan exempelvis vara att en viss maskin ej skall behöva tas ur bruk på grund av att den utsätts för kritisk skada vid brand men det kan även ha tillämpningar inom personsäkerhet vilket är av intresse för just denna rapport. Vid byggnation av en byggnad ställs lagstadgade krav på hur denna skall uppföras med hänsyn till brandsäkerhet utifrån plan- och bygglagen. Dessa krav förtydligas senare under plan- och byggförordningen där det framgår att byggnaden ska vara utformad på så sätt att ”personer som befinner sig i byggnadsverket vid brand kan lämna det eller räddas på annat sätt” (Brandteknik, 2012, p. 13). Skyddsmålet sätts utifrån ovanstående resonemang till att samtliga personer som befinner sig inom byggnaden vid brand skall kunna utrymma. En person anses hindrad från att utrymma då den utsätts för kritiska förhållanden, definierade i 4.3.

4.3 Definition av kritiska förhållanden

Vid kvantifiering av tiden till då personskada anses ske på grund av brand och rökgaser måste kriterier för detta sättas upp. I denna rapport används de kriterier som anges i Tabell 4-1 och dessa kommer från Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd. För att anses som acceptabla förhållanden ska kriterium 1 eller 2 vara uppfyllt i kombination med 3-5. Detta visar på att utrymning genom brandgaser i vissa fall kan accepteras (Boverket, 2013, p. 10).

Tabell 4-1 - Ingående beskrivning av kritiska förhållanden vid utrymning (Boverket, 2013).

| Kriterium | Nivå |
|-----------------------------------|--|
| 1. Brandgaslagrets nivå ovan golv | Lägst $1,6 + 0,1 \cdot \text{rumshöjden [m]}$ |
| 2. Siktbarhet 2,0 m ovan golv | 10,0 m i utrymmen $> 100 \text{ m}^2$. 5,0 m i utrymmen $\leq 100 \text{ m}^2$. Kriteriet kan även tillämpas för situationer där köbildning inträffar i ett tidigt skede vid den plats kön uppstår. |
| 3. Värmestrålning/Värmedos | Max $2,5 \text{ kW/m}^2$ eller en kortvarig strålning på max 10 kW/m^2 i kombination med max 60 kJ/m^2 utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m^2 . |
| 4. Temperatur | Max 80°C^1 |
| 5. Toxicitet 2,0 m ovan golv | Kolmonoxidkoncentration (CO) $< 2\,000 \text{ ppm}$ Koldioxidkoncentration (CO ₂) $< 5 \%$ Syrgaskoncentration (O ₂) $> 15 \%$ |

¹I rapporten avses temperaturen på brandgaslagrets kritiska höjd.

I rapporten anses kritiska förhållanden uppstå då kriterium 1 och 2 bryts samtidigt eller då 3 eller 4 bryts. I rapporten väljs kriteriet för toxicitet att bortses från. Detta val diskuteras senare i rapporten.

4.4 Grovanalys

Grovanalysen inleds med att olika utrymmen i verksamheten klassificeras utefter sannolikhet för brand och konsekvensen av denna för utrymnings säkerhet. Utrymmena graderas sedan med avseende på både sannolikhet och konsekvens. Graderingen sker genom att ge värdena *Mycket hög, hög, medel, låg* eller *mycket låg* för både sannolikhet och konsekvens. Graderingen ger endast ett förhållande mellan utrymmena och är inte ett absolut mått utan används endast för att prioritera var i analysen resurser skall läggas. Efter graderingen är gjord förs resultaten in i en riskmatris.

Sannolikhet bedöms dels med hjälp av statistik över uppkomna bränder men även efter iakttagelser på plats, information från personal och egna resonemang. Bedömningen av konsekvens är mer komplex och grundar sig mestadels på kvalitativa resonemang. Faktorer som anses speciellt viktiga är:

- Persontätheten i påverkade lokaler
- Utrymningsvägar från lokalen och om dessa blockeras av branden
- Lokalens brandbelastning
- Möjlighet till brandspridning och dess troliga hastighet

4.5 Val av brandscenarier

När alla utrymmen graderats sammanställs värdena i en riskmatris för att ge en överblick av samtliga utrymmen, se Tabell 5-1. De utrymmen som anses värst ur utrymnings synpunkt väljs ut och därefter ansätts brandscenarion. Vid valet tas större hänsyn till den förväntade konsekvensen än sannolikheten. Detta görs eftersom scenarierna med låg konsekvens inte bör leda till att kritiska förhållanden uppstår för utrymmande personer innan utrymningen fullbordats.

4.6 Kontroll mot förenklad dimensionering

När valet av vilka brandscenarier som skall undersökas vidare är gjord utförs en kontroll mot förenklad dimensionering i enlighet med utvalda krav i BBR för dessa lokaler. Detta görs för att skapa en bra startpunkt för vidare analyser samt för att detta är en accepterad metod för att dimensionera lokaler ur brand- och utrymnings synpunkt med grund i lagar.

4.7 Beräkning av tid till kritiska förhållanden

För att ta fram tiden till dess att kritiska förhållanden uppstår i lokalen utförs beräkningar enligt lämplig metodik, exempelvis via handberäkningar eller med simuleringar. Informationen som används är den som har bestämts i det framtagna brandscenariot som anses ske i lokalen. Då lokalens förhållanden medför att de fördefinierade kritiska nivåerna uppnås noteras den gångna tiden. Det är även denna tid som finns tillgänglig för utrymning och kommer användas för bedömningen av byggnadens personsäkerhet.

4.8 Beräkning av utrymningstid

För att undersöka om utrymning kan ske tillfredsställande måste en tid för hela utrymningsförloppet beräknas. Utrymningsförloppet avser tiden från att branden har startat till att personer i byggnaden/lokalen satt sig i säkerhet. Att kvantitativt beräkna en tid för utrymning är svårt då människor reagerar olika vid en utrymnings situation. Vilken lokal eller byggnad personen befinner sig i och vilken roll personen har vid tidpunkten är faktorer som påverkar. Personer har dessutom olika förmåga att hantera situationer beroende på tidigare erfarenhet, utbildning, eventuella funktionshinder och vakenhet (Boverket, 2006, p. 43).

Ett eventuellt utrymningsförlopp kan schematiskt beskrivas med att personer genomgår olika steg. Dessa beteendesteg kan generellt beskrivas i tre olika steg: att tolka att det brinner, förbereda ett beslut samt agera genom att utrymma byggnaden. Hela förloppet kan matematiskt beskrivas med en modell med tre olika faser som beskriver dessa steg och tillsammans utgör dessa den totala utrymningstiden, se (Boverket, 2006, p. 43).

$$t_{utrymning} = t_{varseblivning} + t_{beslut\ och\ reaktion} + t_{förflyttning} \quad \text{Ekvation 4-1}$$

Varje fas förklaras utförligare i avsnitt nedanför.

4.8.1 Varseblivningstid

Varseblivningstiden är tiden fram till att personen upptäcker att något har skett och beror på om personen ser branden eller inte, om byggnaden har ett installerat automatiskt brandlarm och om larmlagring används. Följande fakta används i rapporten vid resonemang kring varseblivningstid (Boverket, 2013, p. 43).

- Om ett automatiskt brandlarm används och personen ej upptäckt branden beror varseblivningstiden på hur snabbt detektion sker och utrymningssignal ljuder.
- Om automatiskt brandlarm ej används är tiden svårare att uppskatta och beror på persontäthet, relationer mellan personer, överblickbarheten i lokalen samt personernas mottaglighet för utrymningslarm och rök/värme/strålning från branden.

Tiden för varseblivning benämns $t_{varseblivning}$.

4.8.2 Besluts- och reaktionstid

Besluts- och reaktionstiden kan sammanfattas till den tid från det att personen blivit varse om att brand utbrutit till att beslut för att utrymma sker. Under tiden skall personen förstå att det brinner, lyssna på utrymningslarm och till sist utrymma. Denna tid är svår att uppskatta då personens egna tankar och beteende bestämmer hur snabbt beslutet sker. Följande fakta används i rapporten vid resonemang kring besluts- och reaktionstid.

- Personens vakenhet, medvetenhet och möjlighet att kunna fatta ett snabbt beslut påverkar besluts- och reaktionstiden (Boverket, 2006, p. 44).
- Besluts- och reaktionstiden förlängs om personen befinner sig i en situation som kräver mycket övrig uppmärksamhet (SFPE, 2002, p. 28).
- Besluts- och reaktionstiden förlängs om personen kan anses vara alkoholpåverkad (Nasr & Wall, 2012, pp. 12-13).
- God skyltning, överblickbarhet och orienterbarhet i rummet ger generellt snabbare besluts- och reaktionstid (Boverket, 2006, p. 44).
- Ett talande utrymningslarm minskar generellt besluts- och reaktionstiden (Andersson & Wadensten, 2002, pp. 16-17).

Besluts- och reaktionstiden benämns $t_{beslut\ och\ reaktion}$.

4.8.3 Förflyttningstid

Den tredje och sista fasen bestämmer tiden det tar från att beslut om att utrymma fastställts till dess att personen nått säker plats i denna rapport definierat som intilliggande brandcell eller ut i det fria. Tiden denna fas tar beror mestadels på hur många som befinner sig i byggnaden och hur dessa personer är utspridda men också om det finns personer med funktionsnedsättning och hjälpbehov för vidare

förflyttning. Gånghastigheten påverkas vidare av yttre faktorer som belysning samt placering av utrymnings skyltar. Förflyttningstiden kan antingen beräknas för hand eller med hjälp av datormodeller (Boverket, 2006, pp. 45-46). I detta arbete används simuleringsprogrammet Simulex då detta program är användbart i byggnader där många personer kan befinna sig och där köer kan tänkas uppkomma. Teori bakom detta program beskrivs i A.2. Utrymnande personer tenderar att välja utgångar som normalt används för tillträde till lokalen vilket är något som måste korrigeras för vid simuleringar. I rapporten används följande fördelning.

- Ett vanligt antagande för val av utgång vid utrymning är att ca 70 % av de utrymnande personerna använder kända utgångar som normalt används för passage in och ut ur lokalen. I vissa fall då det kan förväntas finnas en fungerande organisation som underlättar kan det dock antas att ca 50-60 % använder närmaste utgång eller utgång som exempelvis personal hänvisat till (Andersson & Wadensten, 2002, p. 97).

Förflyttningstiden benämns $t_{\text{förflyttning}}$.

4.9 Kontroll av skyddsmål

För att ta reda på om det finns tillräckligt med tid för att personer skall kunna utrymma säkert oberoende var i byggnaden utrymningen startar jämförs utrymningstiden med den tillgängliga tiden. Den tillgängliga tiden fram till kritiska förhållandena uppstår enligt 4.3. Ett villkor för säker utrymning kan se ut på följande sätt, se Ekvation 4-2 nedan (Frantzich, 2001, p. 14). Ett annat sätt att åskådliggöra utrymningssituationen är att subtrahera utrymningstiden från den tillgängliga tiden. Är denna differens negativ anses utrymningssituationen bristfällande. Differensen benämns marginal i rapporten.

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

Ekvation 4-2

4.10 Känslighetsanalys

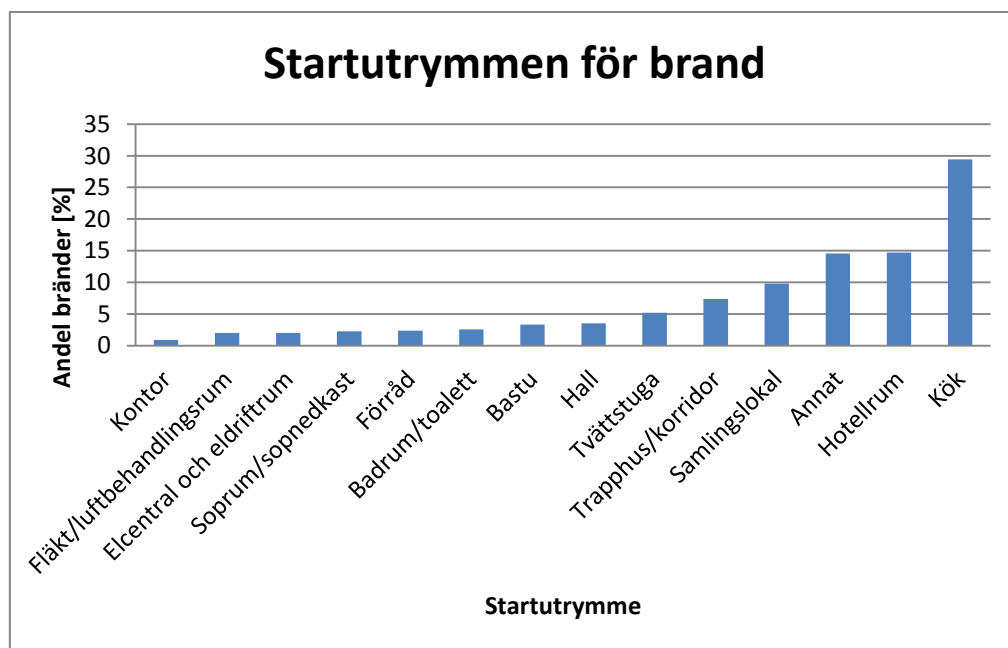
Då beräkningar som används vid kontroll av brandskydd och utrymnings säkerhet till viss del bygger på uppskattade värden och förenklade modeller innebär detta att resultaten kan bli osäkra. En metod för att arbeta med osäkerheter är att göra en känslighetsanalys. En känslighetsanalys syftar till att belysa hur stor påverkan en indataparameter har på det slutgiltiga resultatet och kan användas som ett verktyg för att avgöra vilka parametrar som kräver noggrannare undersökning. Detta innebär att om en parameter visar sig påverka resultatet i ringa utsträckning kan det räcka med en kvalificerad uppskattning och osäkerheten väger inte lika tungt. Tvärtom kan parametrar som har stor betydelse identifieras och dessa kräver i regel mer uppmärksamhet och anknytning till litteratur eller övriga känslighetstester.

4.11 Åtgärder

I de fall då säker utrymning ej kan garanteras för samtliga i lokalen måste lösningsförslag ges. Dessa förslag kommer behöva kontrolleras så att utrymning kan ske säkert efter att dessa implementerats. I vissa fall sker detta med kvalitativa resonemang och det är då frågan om rimlighet och logik. I andra fall kontrolleras dessa med beräkningar och användning av modeller och då är det främst modellens osäkerhet och applicerbarhet som spelar in.

5 Grovanalys av brandscenarier

Detta kapitel behandlar rapportens grovanalys av utrymmen utifrån sannolikhet och konsekvens av eventuell brand. Uppdelningen är gjord efter byggnadens våningsplan. Sannolikheten för bränder uppskattas med hjälp av statistik från MSB:s databas IDA (MSB, 2012) i kombination med övriga iakttagelser vid platsbesök och egna resonemang. Angående statistiken används fördelningen för hotellverksamhet vilken redovisas Figur 5-1. Konsekvensen bedöms med hjälp av kvalitativa resonemang och bedömningar av de brister som noterats vid besöket, se 4.4.



Figur 5-1 - Statistik över startutrymme för bränder i hotellverksamhet. Data är insamlad under åren 1998-2012, (MSB, 2012).

5.1 Plan 1

Nedan följer analys av utrymmen på plan 1 som visats tidigare i Figur 2-1.

5.1.1 Reception och entréhall

I reception och entréhall finns utspridd brandbelastning i form av stoppade möbler. Här finns dessutom en eldstad som drivs av metangas. Eldstaden är ansluten till stadsnätet och är utrustad med strypanordning som stoppar gasflödet vid brandlarm och kväver lågan. Detta anses vara en tillfredställande skyddsåtgärd trots avsaknaden av klassningsplan som omnämns i 3.2.6. Sannolikheten för att brand uppkommer bedöms som låg. Persontätheten bedöms som medel då delar av utrymmet är avsett för uppehåll. Vid brand kan entrédörren blockeras och rökspridning ske uppåt mot plan 2 då dessa plan ligger i öppen förbindelse över det aktuella utrymmet. Dock är utrymmet stort och utrymning bör ske enkelt på grund av flera utrymningsvägar. Konsekvensen bedöms därför som låg.

Sannolikhet: Låg

Konsekvens: Låg

5.1.2 Spaavdelning

Spaavdelningen belägen på plan 1 är utformad som en plats för avslappning och det finns mycket textilier i form av draperier, kuddar och madrasser vilket gör att ett brandförlopp sprids snabbt. Detta kombinerat med att den ena utrymningsvägen från avdelningen var delvis blockerad vid besöket gör att konsekvensen för personsäkerhet och utrymning bedöms som medel. Persontätheten är svår att uppskatta då denna beror på antalet gäster på hotellet. Statistiken har inga tydliga exempel på relaxavdelningar och därför görs en egen bedömning för sannolikheten till låg då den enda tändkällan i lokalerna anses vara de värmeljus som finns utplacerade.

Sannolikhet: Låg

Konsekvens: Medel

5.1.3 Kök

Då statistiken visar att de flesta hotellbränder startar i köket, se Figur 5-1, anses sannolikheten för att en brand skall starta i utrymnet vara mycket hög. Då köket är ett utrymme där endast utbildad personal vistas samt att det är en egen brandcell försedd med punktsläckssystem och brandsläckare, anses konsekvens för utrymning och personsäkerhet vid brand vara liten.

Sannolikhet: Mycket hög

Konsekvens: Mycket låg

5.1.4 Garderob

Garderoben ligger i anslutning till receptionen och är en del i en utrymningsväg då utrymning sker genom denna brandcell. Om en brand startar i utrymnet blockeras därmed en utrymningsväg men utrymning kan fortfarande ske i den motsatta riktningen vilket bedöms som tillfredsställande. Dessutom förväntas inga personer befinna sig i garderoben och konsekvensen bedöms som låg. Sannolikheten att en brand startar anses låg då inga uppenbara tändkällor identifieras.

Sannolikhet: Låg

Konsekvens: Låg

5.1.5 Bowlinghallen

Den gamla bowlinghallen används idag som förråd innehållande allt från stora vagnar med handdukar till övrig lagerverksamhet för hotellet och brandbelastningen är mycket hög. Detektorer finns i taket och detektion bedöms ske tidigt i brandförloppet. De personer som vistas i rummet är personal och gör det endast tillfälligt och därför anses personrisken låg i lokalen. Då lokalens användningsområde ändrats finns risk att den aktuella brandbelastningen medför att rök och eld kan spridas till närliggande brandceller fortare än planerat. Detta kan leda till att utrymningen i närliggande områden försvåras till följd av rök och värmeläckage om brandcellsgränsen ej upprätthålls. Dessutom stod dörrar öppna till angränsande utrymme under besöket. Sannolikheten för brand i utrymnet bedöms som mycket låg då få tändkällor identifieras och få människor vistas i lokalen. Däremot sätts konsekvensen till hög då säkerheten i närliggande utrymningsvägar ej kan säkerställas.

Sannolikhet: Mycket låg

Konsekvens: Hög

5.1.6 Matsal

I matsalen finns en större mängd tända ljus under både lunchservering och övrig tid. Då dessa innebär en brandrisk kan en brand uppstå på grund av olämplig placering av dessa, exempelvis i närhet till gardiner eller annat brännbart materiel. Brandförloppet bedöms gå snabbt på grund av typen av brännbart material samt möblernas placering ur spridningssynpunkt. Detektorer finns placerade i lokalens tak med stora mellanrum vilket kan ge längre detektionstider. Lokalen har under lunchsittning upp till 350 besökare vilket kan medföra en problematisk utrymningssituation med förväntad köbildning. Sannolikheten för brand i matsalen bedöms som medel och konsekvensen hög.

Sannolikhet: Medel

Konsekvens: Hög

5.1.7 Teknikrum

Vid besöket framkom att teknikrummen på plan 1 främst används som lagringsutrymme. Mycket plast, madrasser och stoppade stolar blandas med diverse urkopplade elektriska apparater. För statistikens skull räknas därmed utrymmet som ett förråd vilket ger en låg sannolikhet till branduppkomst. Konsekvensen anses även den vara låg trots att brandförloppet kan ske snabbt och det på kort tid kan bildas skadliga gaser. Besökare vistas ej i teknikrummen och de är dessutom avskilda från utrymningsvägar med en brandcellsgräns.

Sannolikhet: Låg

Konsekvens: Mycket låg

5.2 Plan 2

Nedan följer analys av utrymmen på plan 2.

5.2.1 Mässhallen

Mässhallens användningsområde är brett och den har bland annat använts som biosalong, bröllopslokal och utställningslokal. Antalet tändkällor kan därför variera men levande ljus förekommer vid diverse tillställningar. Många människor kan vistas i lokalen samtidigt och därför ställs stora krav på utrymningsmöjligheter. Det finns fyra utrymningsvägar och lokalens brandbelastning varierar beroende på vad hallen används till. Största delen av väggarna är täckta av textilier ovanpå träpanel som kan leda till snabb brandspridning. Sannolikheten att brand uppstår vid vissa evenemang bedöms hög och konsekvensen kan vara mycket hög vid dessa evenemang.

Sannolikhet: Hög

Konsekvens: Mycket hög

5.2.2 Hörsal

Om en brand i hörsalen uppstår finns risk att en av de två utrymningsvägarna blockeras av denna vilket leder till en försvårad utrymning. I statistiken anses lokalen hamna under kategorin ”Samlingslokal” vilket ger en hög sannolikhet. Efter bedömning vid besöket anses dock sannolikheten för brand vara låg på grund av brist på tändkällor. Ett eventuellt brandförlopp i lokalen anses inte kunna ske med sådan hastighet att kritiska förhållanden uppstår innan människor hunnit utrymma och konsekvensen bedöms därför som medel.

Sannolikhet: Låg

Konsekvens: Medel

5.2.3 Filmmaskinrummet vid hörsalen

I filmmaskinrummet som ligger i anslutning till hörsalen bedöms sannolikheten vara medel för att en brand ska starta då det finns mycket teknik som kan lämnas obemannad vid exempelvis filmvisning. Maskinrummet är dock beläget i en egen brandcell och därmed bedöms utrymningen därifrån kunna ske utan svårigheter i det scenariot, dessutom vistas väldigt få personer och ingen obehörig i utrymmet.

Sannolikhet: Medel

Konsekvens: Mycket Låg

5.2.4 Spaavdelning

På plan 2 i hotellets spaavdelning finns det flera former av bastur där en brand kan förekomma och den statistik som finns pekar på att brand i bastu är förekommande i hotellverksamhet. Varje bastu är dock en egen brandcell enligt tillhandahållna ritningar och är utrustade med brandvarnare vilket gör att konsekvensen vid utrymning anses låg.

Sannolikhet: Medel

Konsekvens: Låg

5.3 Plan 3

Nedan följer analys av utrymmen på plan 3.

5.3.1 Övre konferensdelen

I den övre konferensdelen finns det fem mötesrum, små förrådsutrymmen och ett gemensamt samlingsutryme. Brandbelastningen anses vara medel på grund av att det i utrymmet finns möbler i form av stolar och fåtöljer. Sannolikheten att en brand skall starta här anses vara låg. Vid brand i övre konferensdelen bedöms utrymningen vara problematisk. Detta på grund av att det inte finns några öppningsbara fönster och de två skyltade utrymningsvägarna är spiraltrappor varav den ena mycket trång. Dessutom kan blockering av utrymningsvägar ske.

Sannolikhet: Låg

Konsekvens: Hög

5.4 Lokaler som förekommer på flera plan

Nedan följer analys av brandscenarier i lokaler som förekommer på flera plan.

5.4.1 Mötesrum

I mötesrummen vistas det varierande mycket människor beroende på storleken på mötesrummet. Alla mötesrum har ungefär samma möblemang och brandbelastningen anses vara liten. Sannolikheten för uppkomst av brand i ett av mötesrummen anses låg eftersom aktiviteterna i rummen inte innebär en stor brandrisk. Konsekvensen anses låg då brand i utrymmet bör upptäckas tidigt av personerna som använder rummet och det är nära till dörrar.

Sannolikhet: Låg

Konsekvens: Låg

5.4.2 Brand i hotellrum

Statistiken visar att brand i hotellrum är vanligt för hotellverksamhet. Enligt fastighetschef har städerskor kunnat känna lukt från cigaretter på morgnarna vilket gör att rökning på rummen ej kan uteslutas. Varje rum har egen detektor och detektion bedöms ske tidigt i brandförloppet. Varje hotellrum är en egen brandcell med självstängande dörr och utrymningen blir därför endast kritisk för boende i det antända rummet. Sannolikheten bedöms som medel och konsekvensen låg.

Sannolikhet: Medel

Konsekvens: Låg

5.4.3 Brand i handikappsanpassade hotellrum

Vid brand i det handikappsanpassade rummen längst bort i korridoren på plan 4 finns det möjlighet för rullstolsburna att ta sig ut i korridoren. Väl i korridoren finns inga vägar ut ur byggnaden då hissen ej får användas vid brand och ingen strategi från personalens sida finns för att hjälpa rullstolsburna ut i säkerhet. Dock finns avskiljande konstruktion både mellan hotellrum och korridor samt korridor och trapphus. Detta innebär att rullstolsburna kan vistas i trapphuset en längre tid innan kritiska förhållanden uppstår och därmed bedöms räddningstjänsten kunna undsätta dem. Konsekvensen bedöms därmed till låg även för rullstolsburna.

Sannolikhet: Medel

Konsekvens: Låg

5.4.4 Brand i korridor och passage utanför hotellrum

Brand i korridor utanför hotellrum bedöms som ett troligt brandscenario enligt statistiken. Brandbelastningen i korridoren varierar och utgörs främst av städvagnar som tillfälligt förekommer men i passagen finns även möbler utplacerade. Detektionstid och utrymningsscenario beror på var branden är placerad och det kan uppstå situationer då utrymningsvägar blockeras. Personer i rummen kan inte heller antas vara vakna. Vid brand i korridoren uppstår en mer kritisk situation för rullstolsburna. Dessa personer blir då tvungna att stanna kvar i hotellrummen och invänta räddningsinsats. Sannolikheten bedöms som medel och konsekvensen medel.

Sannolikhet: Medel

Konsekvens: Medel

5.5 Sammanfattning grovanalys

Med grovanalysen genomförd kan val av utrymmen för vidare analys göras. För enklare överskådning struktureras de olika utrymmena i en riskmatris, se Tabell 5-1. Vid val av scenarier kommer som beskrivet under 4.5 hänsyn i första hand tas till konsekvens. Med detta i åtanke identifieras fyra stycken kritiska områden, Mässhallen, Matsalen, Övre konferensdelen och Bowlinghallen då deras konsekvens har satts till Hög eller Mycket hög,

Tabell 5-1 - Sammanställning av grovanalys i riskmatris. Följande siffror gäller för respektive utrymme.

1 Reception och entréhall 5.1.1
 2 Spaavdelning plan 1 5.1.2
 3 Kök 5.1.3
 4 Garderob 5.1.4
 5 Bowlinghall 5.1.5
 6 Matsal 5.1.6
 7 Teknikrum 5.1.7
 8 Mässhall 5.2.1

9 Hörsal 5.2.2
 10 Filmmaskinrum 5.2.3
 11 Spaavdelning plan 2 5.2.4
 12 Övre konferensdel 5.3.1
 13 Mötesrum 5.4.1
 14 Brand i hotellrum 5.4.2
 15 Brand i handikapssanpassade hotellrum 5.4.3
 16 Brand i korridor och passage utanför hotellrum 5.4.4

| Konsekvens \ Sannolikhet | Mycket låg | Låg | Medel | Hög | Mycket hög |
|--------------------------|------------|----------------|---------|-----|------------|
| Mycket hög | 3 | | | | |
| Hög | | | | | 8 |
| Medel | 10 | 11 14 15 | 2 16 | 6 | |
| Låg | 7 | 1 4 8 | 9 13 | 12 | |
| Mycket låg | | | | 5 | |

6 Kontroll mot förenklad dimensionering

Lokaler som har valts ut för vidare genomgång i kapitel 5.5 kontrolleras i detta kapitel med avseende på hur väl de uppfyller förenklad dimensionering i BBR20 då detta är dagens lagstadgade krav. Även om kontrollen visar att utrymmet godkänns enligt förenklad dimensionering undersöks ändå utrymmet analytiskt i utbildningssyfte. Flera parametrar finns att ta hänsyn till vid en förenklad dimensionering och med bakgrund i den information som erhållits vid platsbesök anses följande punkter vara mest relevanta för objektet:

- Gångavstånd till närmsta utrymningsväg eller till annan brandcell för det mest ogynnsamma fallet.
- Den totala fria bredden av alla utrymningsvägar
- Brandcellsindelning

Det är dock viktigt att ha i beaktande att samtliga krav i BBR ska vara uppfyllda för att byggnaden ska anses erhålla den skydds nivå som förenklad dimensionering innebär. Bowlinghallen undersöks inte vidare då kontrollen mot förenklad dimensionering sker gentemot ett utrymningsperspektiv och persontätheten i utrymmet är mycket låg. Då större brister har upptäckts i lokalerna uppmärksammas även dessa.

Arken Hotell anses vara av byggnadsklass 1 (Br1) då byggnaden har fler än tre våningsplan och samlingslokaler är belägna på våning två (Boverkets byggregler, 2011, p. 36). Beräkningar av gångavstånd presenteras i B.1, B.2 samt B.3.

6.1 Förenklad dimensionering – Mässhall

Mässhallens verksamhetsklass (hädanefter Vk) bedöms vara 2B eftersom det är en samlingslokal för fler än 150 personer och alkohol endast serveras i begränsad omfattning (Boverkets byggregler, 2011, p. 34). Utvärdering av de parametrar som undersöks kan ses i Tabell 6-1 nedan.

Tabell 6-1 - Jämförelse mellan krav i BBR och befintlig utformning.

| Parameter som undersöks | Krav BBR | Beräknad |
|---|----------------------------|------------------|
| Maximalt gångavstånd till närmsta utrymningsväg [m] | 30 [Vk 2B] | 25 |
| Den minsta totala bredden av samtliga utrymningsvägar [m] | 3,3 [1 m per 150 personer] | 7,9 |
| Maximala antalet personer som får vistas i lokalen om den bredaste utrymningsvägen blockeras [Personer] | 1380 [1m per 300 personer] | 500 ¹ |
| Minsta antalet utrymningsvägar | 4 [1000 personer – Vk 2B] | 4 |

¹Enligt fastighetschef brukar det inte finnas mer 500 personer i lokalen under ett och samma tillfälle. Hemsidan anger dock att lokalen kan inrymma 1000 personer vilket också fungerar enligt Tabell 6-1 ovan.

Mässhallen är en egen brandcell som bör utformas med EI60 som lägsta brandtekniska klass för att vara giltig (Boverkets byggregler, 2013, pp. 26-27).

Ytskiktet i mässhallen består av träpanel vilket anses som ett olämpligt väggmaterial i en lokal med Vk 2B (Brandteknik, 2012, p. 131) där det rekommenderas ett ytskikt i minst Euroklass B, vilket exempelvis motsvarar en målad gipsskiva (Paroc, 2014).

6.2 Förenklad dimensionering – Matsal

Matsalens Vk bedöms vara 2B eftersom att det är en samlingslokal för fler än 150 personer och alkohol endast serveras i begränsad omfattning (Boverkets byggregler, 2011, p. 34). Utvärdering av de parametrar som undersöks kan ses i Tabell 6-2 nedan.

Tabell 6-2 - Jämförelse mellan krav i BBR och befintlig utformning.

| Parameter som undersöks | Krav BBR | Beräknad |
|---|----------------------------|------------------|
| Maximalt gångavstånd till närmsta utrymningsväg [m] | 30 [Vk 2B] | 28 |
| Den minsta totala bredden av samtliga utrymningsvägar [m] | 3,2 (1 m per 150 personer) | 6,9 |
| Maximala antalet personer som får vistas i lokalen om den bredaste utrymningsvägen blockeras [Personer] | 1470 (1m per 300 personer) | 480 ¹ |

¹Enligt fastighetschef får det maximalt finnas 480 personer i lokalen under ett och samma tillfälle.

Matsalen är en egen brandcell men information om brandteknisk klass på avskiljande konstruktion okänd. För att väggarna skall uppfylla kraven gällande brandceller i byggnadsklass 1 borde brandteknisk klass på minst EI60 appliceras (Boverkets byggregler, 2013, pp. 26-27).

6.3 Förenklad dimensionering – Övre konferensdel

Övre konferensdelens Vk anses vara 2B som innefattar samlingslokaler för fler än 150 personer där alkohol endast serveras i begränsad omfattning (Boverkets byggregler, 2011, p. 34). Lokalerna kan enligt hemsidan rymma 190 personer om samtliga mötesrum används till biovisning samtidigt. Notera att spiraltrappa ej anses som en accepterbar utrymningsväg för denna Vk (Boverkets byggregler, 2011, p. 53). Utvärdering av de parametrar som undersöks kan ses i Tabell 6-3 nedan.

Tabell 6-3 - Jämförelse mellan krav i BBR och befintlig utformning.

| Parameter som undersöks | Krav BBR | Beräknad |
|---|----------------------------|----------|
| Maximalt gångavstånd till närmsta utrymningsväg [m] | 30 [Vk 2B] | 48 |
| Den minsta totala bredden av samtliga utrymningsvägar [m] | 1 [1 m per 150 personer] | 1,5 |
| Maximala antalet personer som får vistas i lokalen om den bredaste utrymningsvägen blockeras [Personer] | 210 [1 m per 300 personer] | 150 |

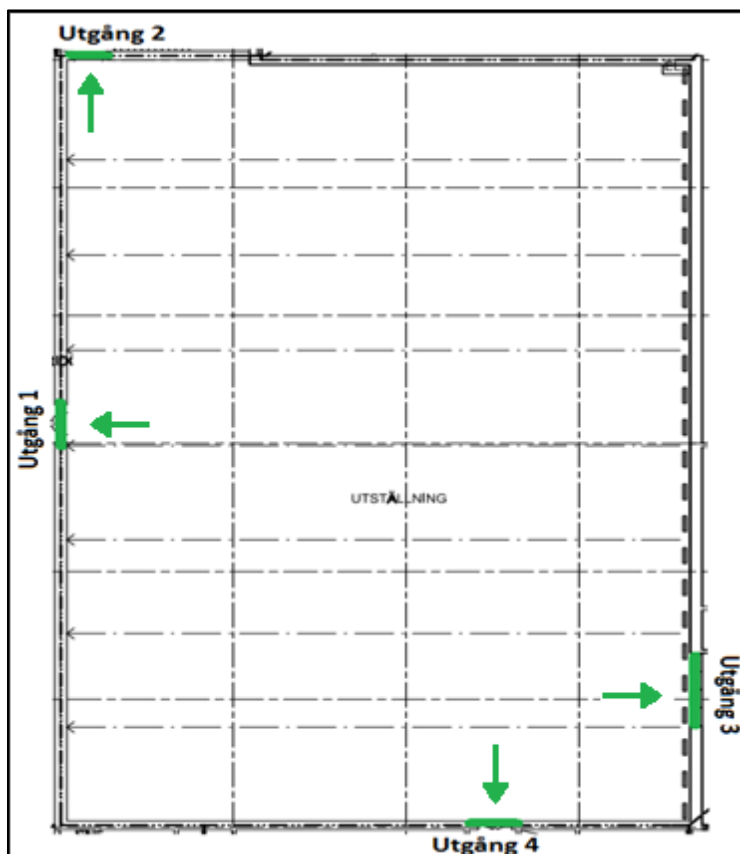
Hela övre konferensdelen och spiraltrappan till plan två utgör en egen brandcell men information om brandteknisk klass på avskiljande konstruktion, inklusive glaspartiet som avskiljer trappan på plan 2, är okänd. För att de avskiljande byggnadsdelarna skall uppfylla kraven gällande brandceller i Br1-byggnader borde de vara utformade i lägst brandteknisk klass EI60 (Boverkets byggregler, 2013, pp. 26-27). Avståndet mellan utrymningsvägarna bör vara minst 5 m och uppfylls med knapp marginal i det gemensamma utrymmet (Boverkets byggregler, 2011, p. 47).

7 Brandscenario 1 – Mässhallen

Nedan beskrivs brandscenario 1, Mässhallen. Beräkningar utförs för att fastställa då kritiska förhållanden uppstår. Utrymningsscenarion analyseras och tid för utrymning tas fram. Dessa tider jämförs sedan för att se om utrymningen kan ske säkert eller om åtgärder behöver vidtas.

7.1 Beskrivning

Mässhallen används för flera sorters aktiviteter såsom utställningar, bröllop, filmvisning, middagar och liknande. Detta gör att lokalens brandbelastning varierar stort mellan de olika tillställningarna och även persontätheten är svår att förutsäga. Det finns i dagsläget fyra utrymningsvägar från mässhallen och total utrymningstid varierar beroende på om alla dessa är tillgängliga vid brand. På grund av att mässhallen innehåller en stor mängd människor och köbildning vid utrymning kan väntas väljs därför att undersöka huruvida folk hinner ut innan kritiska förhållanden uppstår. Vid vissa tillställningar i salen används ett draperi för att dela av rummet vilket resulterar i att även två nödutgångar avskärmas. Vid grundscenariot räknas därför med att dessa utgångar inte används av utrymmande personer då de inte bedöms kunna se dem eller känna till dem sedan tidigare. Utrymningsvägar kan dessutom blockeras vid händelse av brand vilket ytterligare motvilar en undersökning av utrymningssäkerheten.



Figur 7-1 - Översiktsritning över mässhallen med markerade utrymningsvägar.

7.2 Angreppssätt

För att ta reda på vid vilken tid kritiska förhållanden kan uppstå i lokalen tas en representativ brandtillväxtkurva fram baserat på de brännbara material som finns i utrymmet. Tid till kritiska förhållanden jämförs sedan med ett utrymningsscenario av värsta troliga karaktär för att undersöka huruvida folk hinner ut ur lokalen innan den kritiska tiden är nådd. Om personer hinner ut i tid innan

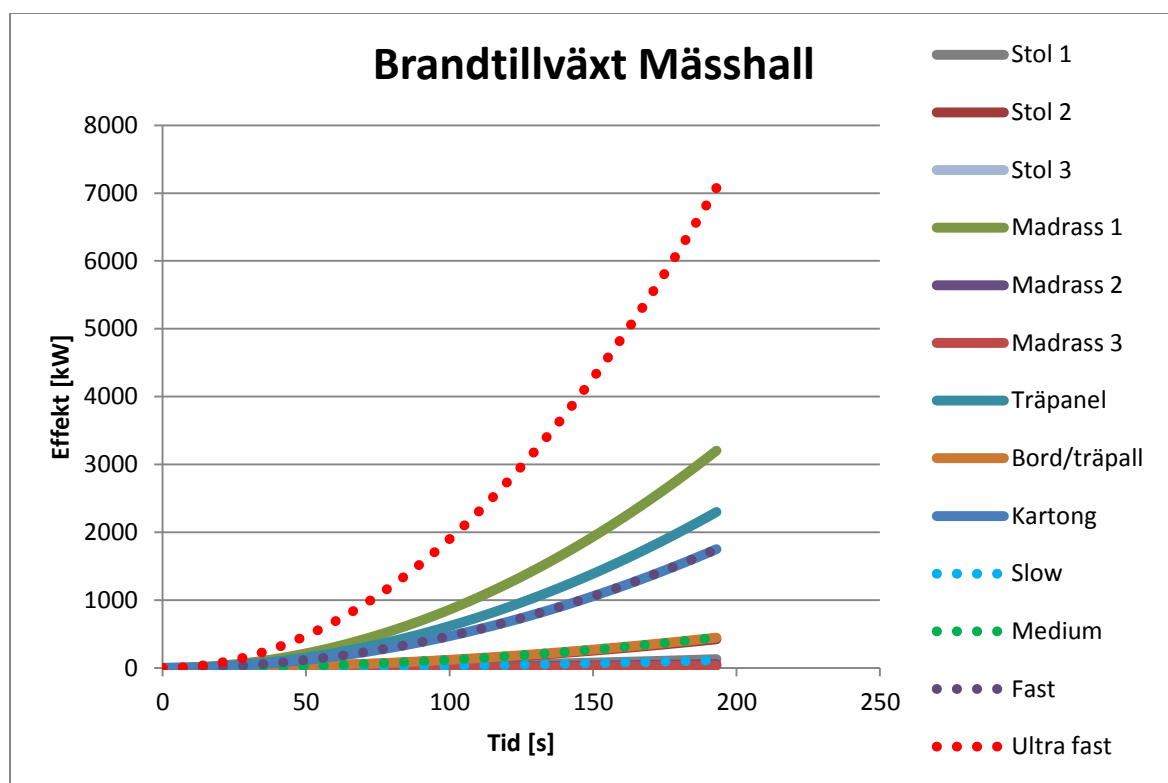
kritiska förhållanden uppstår anses skyddsmålet uppfyllt och därmed utrymningskyddet fullgott. Blir situationen kritisk ska åtgärder diskuteras, tas fram och visas vara möjliga.

7.3 Brandens tillväxt och maxeffekt

Vid undersökning av den tid till då kritiska förhållanden har uppstått tas en representativ brandtillväxt och maxeffekt fram nedan.

7.3.1 Tillväxt

Brandens tillväxtkurva tas fram genom att tänkbara material i lokalen undersöks och tillväxtkurvor för de individuella materialen tas fram. Med hjälp av dessa ansätts sedan en kurva som representerar värsta troliga fall. Tillväxtkurvor för tänkbara och observerade material i mässhallen redovisas i Figur 7-2 där heldragna linjer tillhör utförda brandtester och prickade standardvärden. Referenser till dessa redovisas under Tabell C-1.



Figur 7-2 - Redovisning av möjliga tillväxtkurvor för brand i mässhallen baserat på tänkbara material i lokalen, för referenser se Tabell C-1.

Med hänsyn till dessa kurvor ansätts brandens tillväxtfas till densamma som den för träpanel, alltså α -värdet $0,062 \text{ kW/s}^2$. Detta värde täcker in cirka 90 % av de presenterade kurvorna vilket anses rimligt utifrån angreppssättet värsta troliga fall. Detta grundas på att träpanel, bord/träpall och kartong anses vara förekommande i stor utsträckning för de flesta tillställningar vilket gör att en lägre tillväxt ej anses motiverad. Dessutom blir beräkningar för tid till kritiska förhållanden konservativa genom att branden ansätts till samma utveckling som den brantast växande av dessa. Kurvan för Madrass A bortses från eftersom den jämfört med övriga madrasser har en exceptionellt snabb tillväxthastighet som exempelvis kan bero på omständigheter under experiment. Ytterligare anledning till att bortse från denna snabbt tillväxande brand är att madrasser ej bedöms utgöra majoriteten av lokalens brandbelastning vid någon tillställning. Med detta resonemang anses branden vara oberoende av dess utgångspunkt i rummet då den värsta tänkbara tillväxten alltid antas ske.

7.3.2 Maxeffekt

Med brandens tillväxthastighet bestämd måste även brandens maxeffekt uppskattas. Brandens maxeffekt beror på ett flertal faktorer såsom:

- Rummets geometri
- Lufttillgång
- Bränslets geometri

Typen av bränsle är problematisk att uppskatta då det inte finns någon direkt avskärmning av det brännbara materialet i lokalen samt att bränslet varierar utefter vilken typ av tillställning som hålls i lokalen. En faktiskt brännbar area är svårdefinierad då spridning är möjlig till övriga bränslen.

Då brandens maxeffekt är mycket svår att uppskatta måste till följd av detta vissa antaganden göras. Nedan följer dessa antaganden:

- Brännbart material i mässhallen generaliseras till trä, möbler och kartong baserat på de evenemang som hålls i lokalen.
- Brandens effektiva maxarea bestäms till 10 m² vilket är en uppskattning baserat på att bränsle brinner av över tid i takt med att branden sprids. Detta är en uppskattning för det tidiga brandförloppet då utrymning är intressant. Brandens maxarea kan öka senare under brandförloppet.
- Majoriteten av det brännbara materialet anses vara på golvnivå.

Med utgångspunkt från dessa antaganden kan en tänkbar maxeffekt räknas fram. Detta görs genom att uppskatta en lämplig effektutveckling per areaenhet för de bränslen som antagits. Denna tas fram med hjälp av data från Karlsson & Quintiere (2000), se nedan.

Tabell 7-1 - Värden på data som används vid uppskattning av effektutveckling per areaenhet för brand i Mässhallen.

| Bränsle | Litteraturnamn | Effekt per areaenhet [kW/m ²] |
|--------------|--|---|
| Träpall | Wooden pallets 1½ feet high | 1420 |
| Kartong | Empty cartons 15 feet high | 1700 |
| Stoppad stol | Lightweight type A upholstered furniture | 1700 |

Ur data ovan bestäms värdet till 1700 kW/m². Detta görs utifrån bedömningen att värdet anses vara värsta troliga. Brandens maxeffekt kan därmed beräknas till 17 MW och denna uppstår vid ungefär 525 sekunder om branden definieras enligt teori i A.1 med tidigare bestämd tillväxthastighet, se 7.3.1. Denna effekt bedöms som möjlig med tanke på den totala energi som rummets syre kan utveckla och motsvarar ca 175 kg avbrunnen massa, beräkningar för detta kan ses i C.1.2.

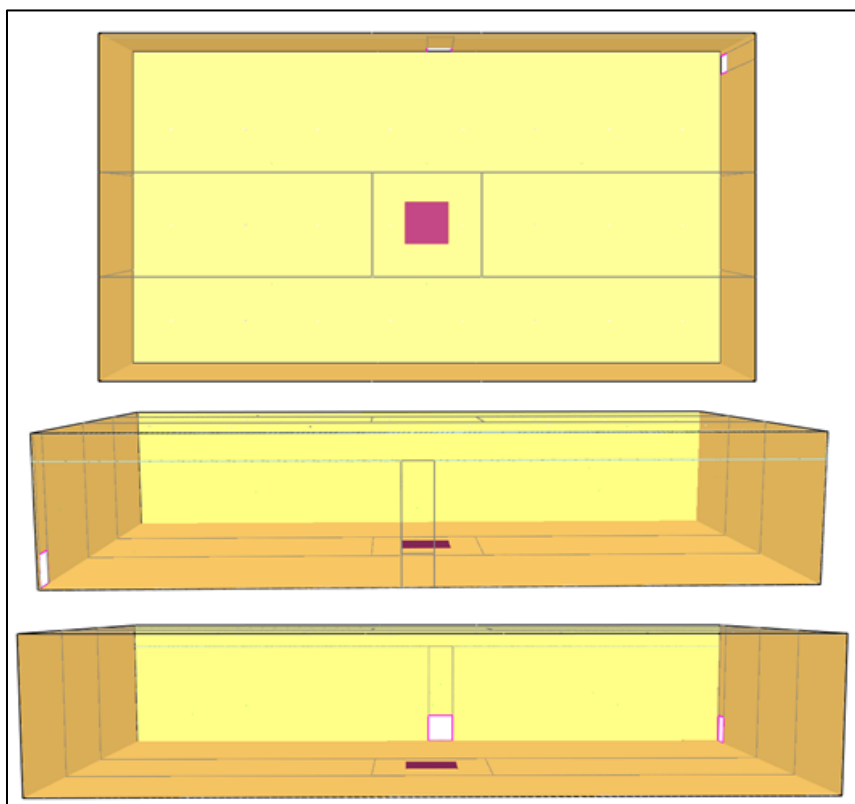
7.4 Tid till kritiska förhållanden

Brandgaslagrets höjd och temperatur tas fram med hjälp av simuleringar i FDS, ett program som beskrivs närmare i A.4. Anledningen till att FDS väljs för att undersöka då kritiska förhållanden uppstår i lokalen beror på programmets breda applicerbarhet samt att lokalens dimensioner är för stora för att ge tillförlitliga resultat i exempelvis program som CFAST. Resultat från simuleringarna kan sedan med hjälp av metod som beskrivs i A.5 användas för att beräkna infallande strålning mot personer i utrymmet.

För att undersöka tid till kritiska förhållanden görs ett antal förenklingar:

- Rökgaslagrets temperatur antas vid beräkningar vara uniform i hela dess utbredning.
- Rökgaslagret antas vid strålningsberäkningar likna en strålande platta.
- Strålningen beräknas mot en punkt i mitten av rummet.
- Rummets geometri förenklas och vissa mått ändras för att passa de krav som FDS ställer.
- Branden placeras i rummets mitt

Strålningen beräknas med hjälp av handberäkningar på grund av osäkerheten som FDS medför, se A.4. Då brandens framtagna tillväxt enligt 7.3.1 är oberoende av var i rummet den uppstår placeras brandhärden i mitten av rummet. Förenklingar av geometrin, utformning av scenariot samt de materialval som används i FDS redovisas i D.1.2. Bilder för geometrin i FDS redovisas i Figur 7-3 nedan.



Figur 7-3 - Mässhallens geometri i FDS.

För lokalen råder osäkerhet gällande det väggmaterial som finns och därmed görs simuleringar som ansätter detta till betong samt lättbetong då betong observerades på ett par väggar. Taket i lokalen utgörs av plåt och i simuleringarna används en tredelskonstruktion av plåt, isolering och plåt. Vid jämförelse mellan resultat från simuleringar med de olika materialen noteras ingen större skillnad, se Figur E-1 och Figur E-2. Simuleringar utförs därför i fortsättningen endast med materialet lättbetong vilket tenderar att ge högre temperatur i brandgaslagret. Nivåer som används för att indikera då kritiska förhållanden uppträder är de som tidigare angetts i Tabell 4-1. Tid till dess att respektive kriterium för säker utrymning bryts redovisas i Tabell 7-2 nedan. Infallande strålning beräknas i C.1.4 och övriga resultat är framtagna med FDS, se E.1.1.

Tabell 7-2 - Redovisning av tid då respektive kriterium för säker utrymning bryts vid brand i mässhallen. Rödmärkade fält utgör de kriterium som tillsammans frambringar kritiska förhållanden.

| Kriterium | Tid [s] |
|---------------------------------------|---------|
| Brandgaslagrets höjd | 458 |
| Brandgaslagrets temperatur | 339 |
| Sikt vid utgång 1 | 479 |
| Sikt vid utgång 2 | 454 |
| Infallande strålning | - |
| Tid till kritiska förhållanden | 458 |

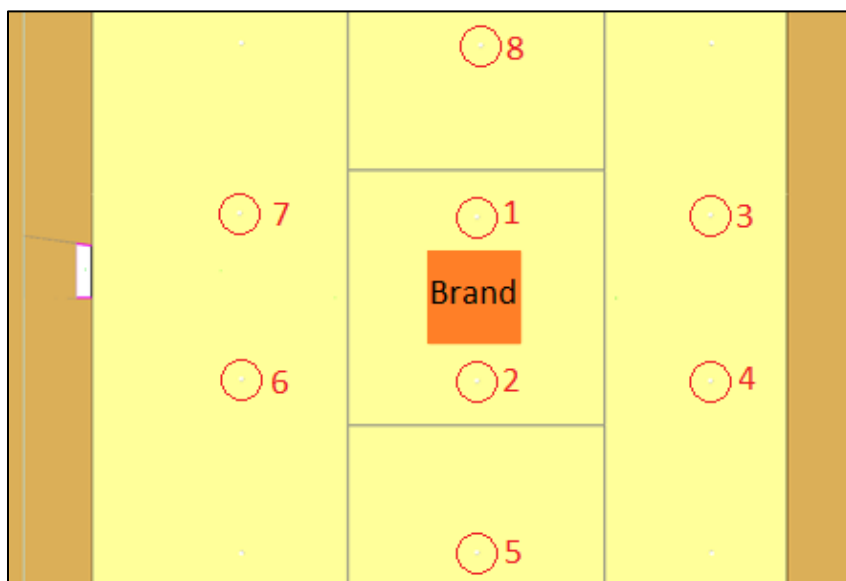
7.5 Utrymningstid

Nedan följer resonemang kring framtagandet av den totala utrymningstiden och dess ingående delar.

7.5.1 Varseblivningstid

Varseblivningstiden för mässhallen antas vara samma som detektionstiden för brandlarmet. Detta styrks av att en brand kan fortgå oupptäckt för besökare exempelvis bakom draperiet.

Resultat för detektoraktivering tas fram ur FDS där rökdetektorer placeras in. Detektorerna placeras in enligt positioner angivna på ritning över Arken Hotells brandskydd. Aktiveringsnivå hittas i produktblad för de rökdetektorer som är installerade i Arken Hotell och denna är 3,5 % dämpning per meter (Siemens, 2012, p. 123). Då aktiveringstiden beror på detektorns placering relativt branden används värden dels från de detektorer som är placerade över branden och dels från de detektorer som är placerade runt om branden. Detta medför att den kortaste samt längsta aktiveringstiden framkommer. Utvalda detektorer illustreras i Figur 7-4 nedan.



Figur 7-4 - Översikt över de rökdetektorer som används vid framtagning av detektionstiden i mässhallen.

Medelvärde för siktnedsättning över detektor 1-8 används sedan för att uppskatta tiden till aktivering och siktnedsättningen för detta redovisas i Figur E-4. Ett medelvärde används då skillnaden i detektionstid endast varierar med 10 sekunder mellan de åtta detektorerna. Tid till detektoraktivering blir då 30 sekunder.

I fortsättningen används medelvärde 30 sekunder som ett representativt värde för detektionstiden i mässhallen och denna blir därmed varseblivningstiden.

7.5.2 Besluts- och reaktionstid

Då lokalen upptar en stor yta och vid olika event kan antas ha gångar mellan bord, stolar och övriga möbler så liknas rummets geometri med den som används i ett varuhus. Detta gör att den besluts- och reaktionstid som finns framtagen för just varuhus används även i denna lokal. Då det larm som används i lokalen består av en ringande klocka ansätts tiden till 210 sekunder (Frantzich, 2001, p. 101).

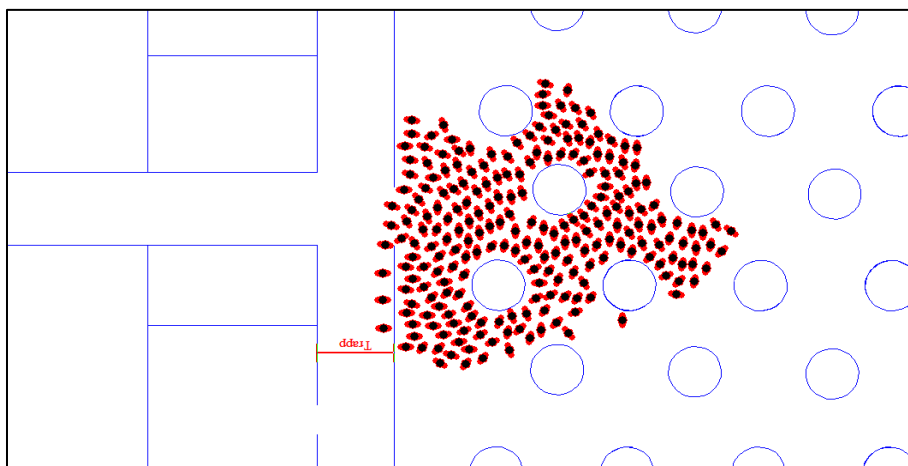
7.5.3 Förflyttningstid

Vid diskussion med ansvarig fastighetschef framkom att de tre vanligaste evenemangen i mässhallen är middag, bio och mässa. När dessa hålls används oftast inte hela lokalen och denna delas av med hjälp av ett draperi. Vid användning av draperi ansätts dessutom utgångar bakom draperiet ej aktiva och därmed oanvändbara för utrymning på grund av att dessa ej syns. Det framkom även att persontätheten skiljer sig åt mellan dessa evenemang, information kring detta redovisas i Tabell 7-3.

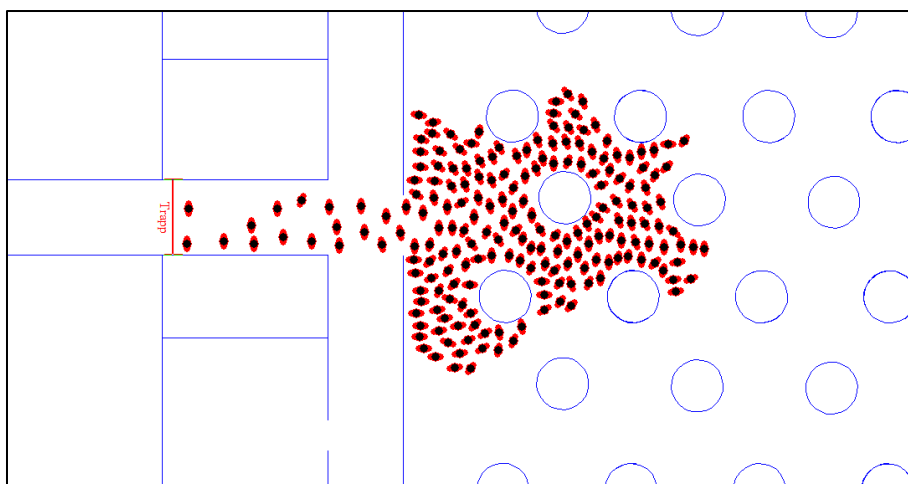
Tabell 7-3 – Fakta om respektive evenemang i Mässhallen.

| Evenemang | Personer i lokalen | Använd del av lokalen |
|-----------------|--------------------|-----------------------|
| Middagsstämning | 400 | $\frac{3}{4}$ |
| Bio | 400 | $\frac{1}{2}$ |
| Mässa | 200 - 500 | $\frac{3}{4}$ |

Med utgångspunkt från dessa tillställningar körs flertalet simuleringar, i utrymningsprogrammet Simulex, för att undersöka vilket scenario som blir det värsta troliga. Teori bakom Simulex kan ses i A.3. Simuleringarna körs med samma fördelning mellan val av utgång och persontätheten sätts till den maximala för respektive evenemang. Angående besökarnas val av utgång används det antagande som presenteras under 4.8.3 och utgång 1 anses vara den utgång som 70 % av besökarna väljer vid utrymning. Värden för populationen har anpassats till hotellets besökarstatistik, data för denna kan ses i D.4. Det som varierar är lokalens inredning och utgångarnas placering i programmet och exempel på dessa variationer kan ses i D.1.1. Vid simulering uppmärksammas att det blir en betydande skillnad i förflyttningstid baserat på utgångens placering utanför lokalen, ett försök att redovisa problematiken kan ses i Figur 7-5 och Figur 7-6.



Figur 7-5 - Personflöde då utgången placeras nedanför dörröppningen.



Figur 7-6 - Personflöde då utgången placeras rakt utanför utgången. Observera att detta ger ett mycket större personflöde relativt Figur 7-5.

Problemet tros ligga i hur programmet modellerar personers svängradie och vetskapen om detta är bristande. Därför utförs simuleringar för båda fall för att ge ett intervall för förflyttningstiden. När utgången är placerad som i Figur 7-5 vänder sig personerna mot utgången utanför rummet på ett sätt som gör att flödet ut ur lokalen tar betydligt längre tid. Vid placering enligt Figur 7-6 går flera personer i bredd utanför lokalen vilket också tros påverka flödet genom dörröppningen. Resultat från simuleringar redovisas i Tabell 7-4.

Tabell 7-4 - Resultat från simuleringar i Simulex för att avgöra värsta troliga fall.

| Evenemang | Förflyttningstid [s] |
|-----------|----------------------|
| Bio | 205 - 260 |
| Middag | 130 - 240 |
| Mässa | 160 - 315 |

Genom jämförelser i tabell Tabell 7-4 bedöms evenemanget *Mässa* vara värsta troliga och blir därför dimensionerande vid kontroll mot tillgänglig tid för utrymning.

7.6 Villkor för säker utrymning

Vid simuleringar i FDS framkommer att utrymning ska ha skett inom 458 sekunder. Detta jämförs i Tabell 7-5 med den tid utrymning bedöms ta. Varseblivningstid sätts till 30 sekunder, besluts- och reaktionstid till 210 sekunder samt förflyttningstid till 315 sekunder. Anledningen till att det maximala värdet används för förflyttningstiden är att ingen vetskap finns om var någonstans i intervallet som det sanna värdet ligger, därmed används det konservativa värdet. Den totala tiden för utrymning blir då 555 sekunder när 500 personer befinner sig i lokalen vid evenemanget mässa. Resultatet av detta visar på att utrymning från lokalen inte kommer hinna ske innan kritiska förhållanden har uppstått.

Tabell 7-5 - Sammanfattning av tider angående utrymningssäkerheten i mässhallen. Rödmarkerat fält utgör tid som krävs för utrymning och grönmarkerat fält är den tillgängliga tiden för utrymning innan kritiska förhållanden uppstår.

| Karakteristisk tid | Tid [s] |
|----------------------------|-------------------------|
| Varseblivningstid | -30 |
| Besluts- och reaktionstid | -210 |
| Förflyttningstid | -315 |
| Total utrymningstid | -555 |
| Tillgänglig tid | +458 |
| Marginal | -100¹ |

¹ Avrundat slutvärde

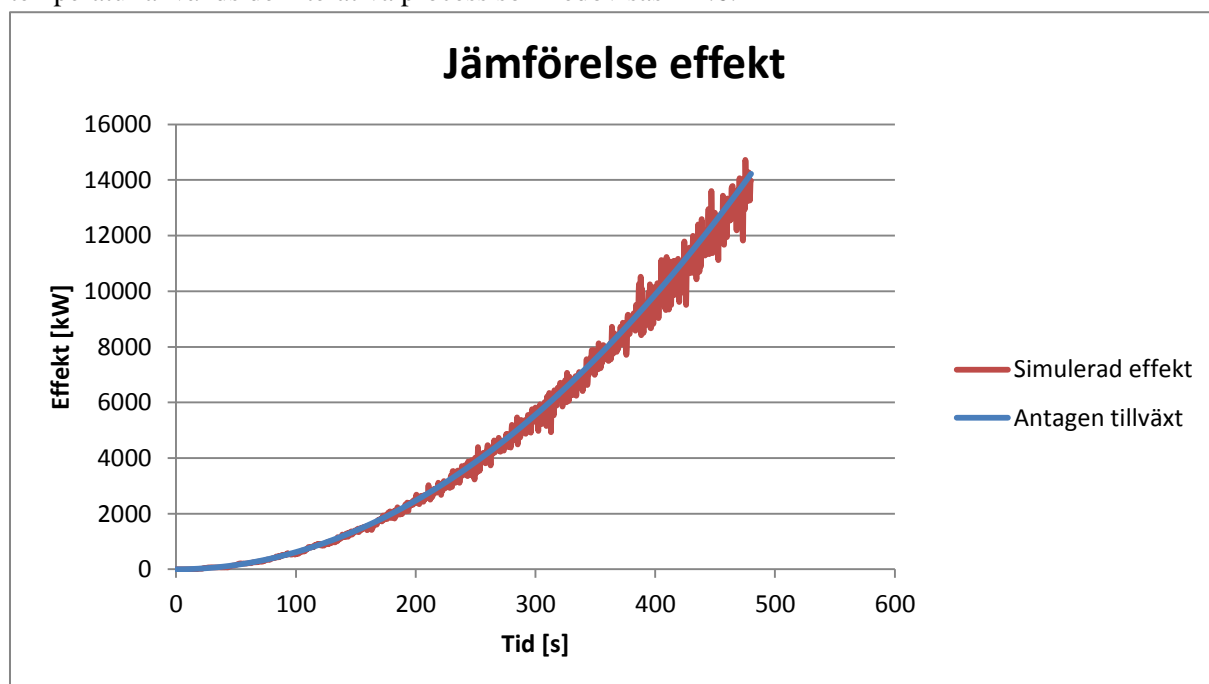
Med data från ovanstående tabell bedöms inte samtliga personer kunna utrymma säkert vid händelse av brand och åtgärdsförslag tas fram.

7.7 Utvärdering av FDS-simuleringar

Nedan genomförs utvärdering av kvalitet och giltighet för de simuleringar som utförs i FDS.

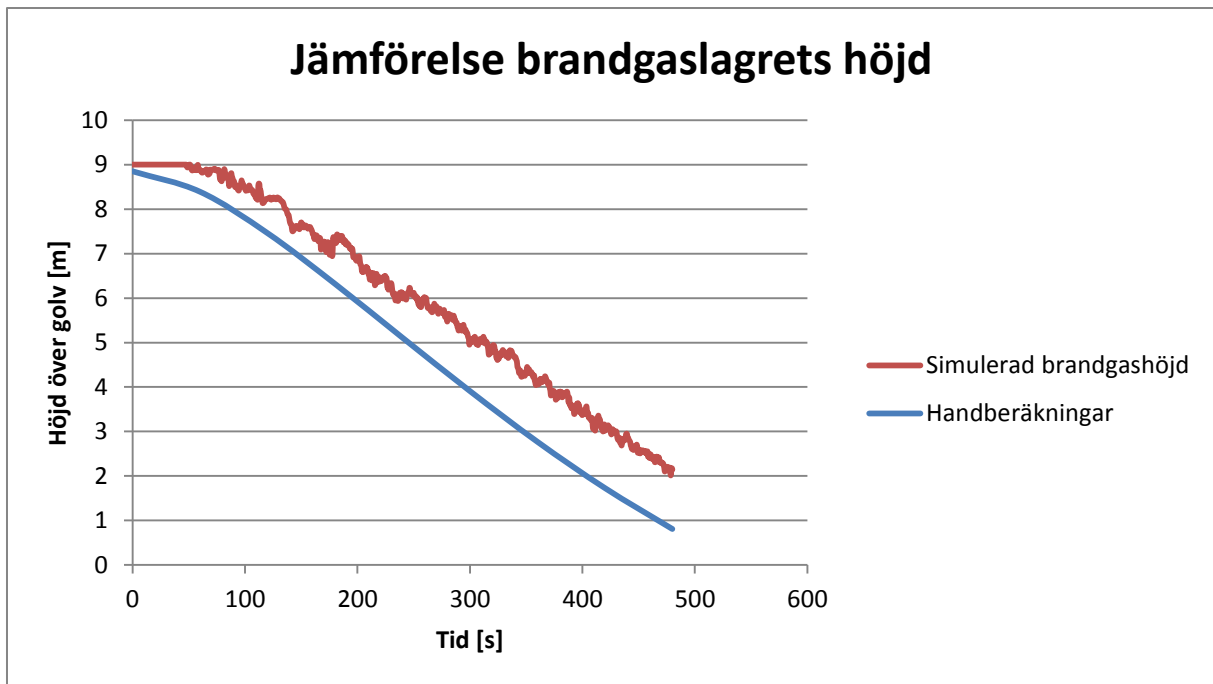
7.7.1 Kontroll av indata med hjälp av handberäkningar

För att kontrollera att de indata som används i FDS är korrekta genomförs handberäkningar. För att kontrollera simuleringarnas effektutveckling används Ekvation A-1 och för brandgaslagrets höjd och temperatur används den iterativa process som redovisas i A.6.



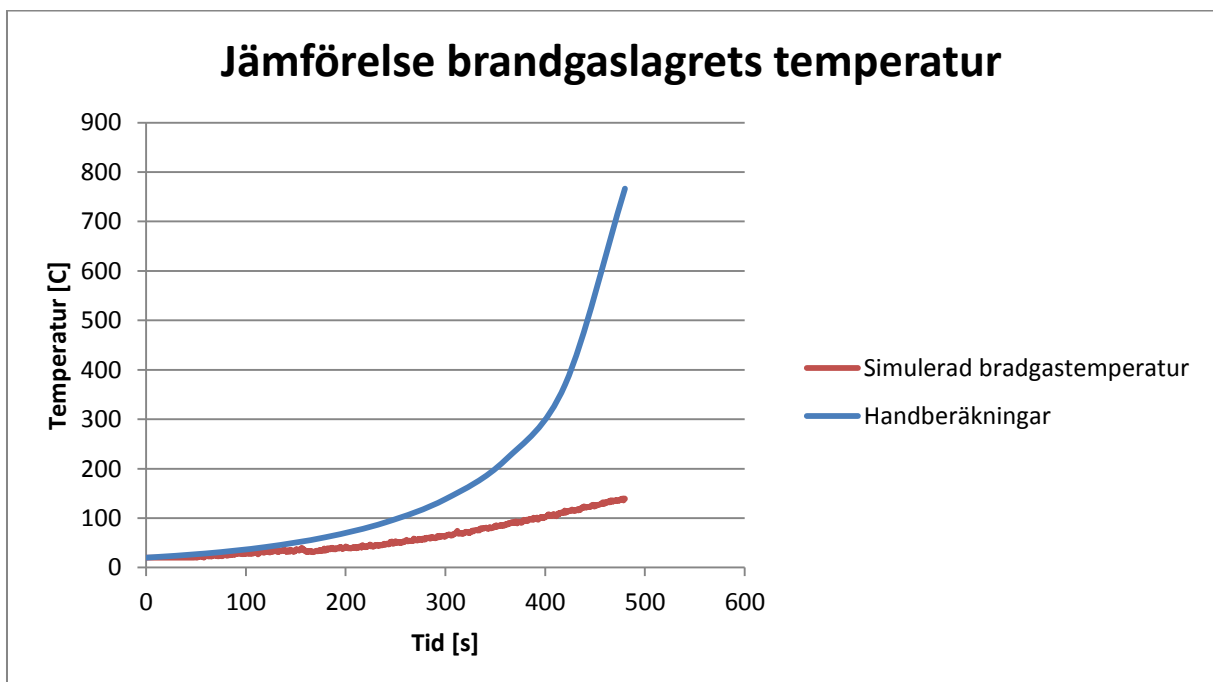
Figur 7-7 - Jämförelse mellan den utdata som handberäkningar och FDS-simuleringar ger med avseende på brandens effektutveckling.

I Figur 7-7 kan en tydlig överensstämmelse observeras mellan de simulerade effektutvecklingarna och den som fås vid handberäkning.



Figur 7-8 - Jämförelse mellan utdata som handberäkningar och FDS-simuleringar ger med avseende på brandgaslagrets höjd över golv.

I Figur 7-8 observeras att rökgaslagrets höjd följer en liknande kurva för både FDS-simuleringar och de iterativa handberäkningarna.



Figur 7-9 - Jämförelse mellan utdata som handberäkningar och FDS-simuleringar ger med avseende på brandgaslagrets medeltemperatur.

I Figur 7-9 kan det tydligt ses att temperaturutvecklingen i handberäkningar sker i en klart snabbare takt än vid simuleringarna. Detta anses vara på grund av att vid handberäkningar tas ingen hänsyn till värmeförluster, se A.6. Temperaturen ökar därmed i en allt snabbare takt när brandens effektutveckling ökar. Vid simuleringar ökar däremot värmeförlusterna till omgivningen proportionellt

mot en stigande temperatur i rummet och därmed anses den temperaturutveckling som ges av FDS mer verklighetsankuten.

Genom dessa jämförelser anses att de indata som har använts vid FDS simuleringar har angetts korrekt då både effektutvecklingen och brandgaslagrets höjd följer samma kurvor. Att temperaturen skiljer sig starkt mellan handberäkningar och simuleringar tas ingen hänsyn till vid bedömningen eftersom handberäkningsmodellen överskattar brandgaslagrets temperatur.

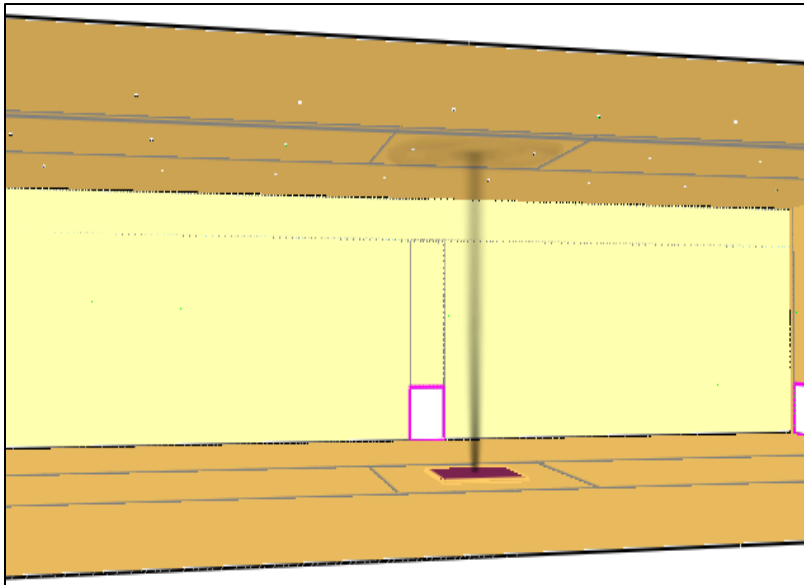
7.7.2 Kontroll av rimlighet i utdata

I Nystedt & Frantzich (2011) nämns att flödes hastigheten i simuleringarna inte bör vara över 10 m/s samt att flamtemperaturen bör ligga i området 700-1200 °C. Simuleringarna undersöks baserat på dessa kriterier och anses rimliga. Som det går att se i Figur 7-7 så stämmer även simuleringens effektutveckling väl överens med den som har antagits för branden.

FDS-simuleringens giltighetsområde med avseende på cellstorlekarnas förhållande till brandens effekt beräknas enligt A.4. Som resultat av detta fås att brandens effekt har uppnått tillräcklig styrka efter 135 sekunder för att cellstorleken 10 cm ska anses tillfredsställande. Detta innebär att de resultat som antas från värden innan tiden 135 sekunder ej kan anses korrekt framsimulerade och detta påverkar därmed rökdetektionen. Det värde som framtagits för detektoraktivering diskuteras därför vidare. Den för effekten grova cellstorleken tros påverka funktionen SPREAD_RATE och rökplymens beteende.

När Figur E-4 studeras syns att det finns en tidsperiod i simuleringens start då ingen rökutveckling och därmed även effekt finns, detta kan anses felaktigt då den effektkurva som efterliknas startar sin effektutveckling direkt. Det som troligen sker här är att funktionen SPREAD_RATE, som används för att simulera brandens spridningsbeteende, i början inte tillsätter någon effekt till omgivande celler. Detta antas bero på att funktionen istället antänder en cell först när cellens yta är uppnådd ur tillväxtpunkt. Programmet antas alltså utföra en spridningsberäkning separat som sedan används för att kontrollera när en cell ska antändas. När den cellen sedan antänder går den snabbt upp till en total effekt som är högre än den som i koden har angivits för dess yta och detta tros härstamma i att funktionen ser till så att den totala frisläppta energin i simuleringen ska bli så exakt som möjligt. Om energin som frigjorts i simuleringen kan antas likvärdig med den för den antagna tillväxtkurvan påverkas därmed inte lokalens förhållanden vid en längre tidsperiod. Dock kommer detta beteende att påverka detektionstiden då en snabb effektökning sker när första cellen har antänts och den höga effekten leder dessutom till en högre sotproduktion. Att sotproduktionen blir hög i ett kort intervall påverkar detektorerna kraftigt då den rökplym som bildas kan vara mer koncentrerad än den som varit vid ett riktigt brandförlopp. Det är svårt att gissa sig till om programmets användande av SPREAD_RATE leder till en för snabb eller för långsam detektionstid. Detta då det finns en tidsperiod utan någon rökutveckling alls som kommer att förlänga tiden till detektion, men när rökproduktionen väl har startat är den kraftigare än den bör vara.

Vidare leder för grova celler till att den luftinströmning som sker i simuleringen blir minimal och rökplymen kan liknas med en rakt stigande rökpelare, se Figur 7-10. Att plymen ej späds ut av den omkringliggande luften leder då till att siktnedsättningen blir större än i ett verkligt fall.



Figur 7-10 - Bild som åskådliggör den dåliga inblandningen av luft tidigt i simuleringen.

Med bakgrund i dessa observationer och resonemang kan ingen klar påverkan mellan cellstorleken och detektionstiden uppskattas och därför används de värden som simuleringen ger.

7.8 Känslighetsanalys

För att undersöka effekten av de antaganden som gjorts i beräkningar undersöks några parametrar enskilt för att se hur de påverkar resultatet själva. Detta i syfte att endast åskådliggöra en parameters påverkan i taget på resultatet. Förändringarna åskådliggörs grafiskt i E.1.3.

Följande parametrar väljs att undersökas i känslighetsanalysen då de bedöms kunna påverka resultatet:

- Brandens α -värde
- Brandens rökutveckling
- Detektoraktiveringens påverkan av utvalda parametrar
- Brandens placering
- Antalet tillgängliga utrymningsvägar
- Typ av evenemang
- Persontätheten i lokalen
- Fördelning av val av utrymningsväg bland besökare
- Personer i anslutande utrymmen

7.8.1 Brandens tillväxthastighet

I rapportens tidigare framtagande av tid till kritiska förhållanden användes α -värdet $0,062 \text{ kW/s}^2$ för ”Träpanel”, men då även andra α -värden kan antas för lokalen ändras detta värde i en simulering i FDS. Om brandens α -värde sätts till ”Fast”, $0,047 \text{ kW/s}^2$, som rekommenderas i Boverket (2013) istället för det tidigare använda ”Träpanel” blir resultaten enligt Tabell 7-6.

Tabell 7-6 - Jämförelse av tid till kritiska förhållanden vid förändring av brandens α -värde. Rödmarkerade fält utgör de kriterium som tillsammans frambringar kritiska förhållanden.

| Kriterium | Tid då $\alpha = 0,062$ [s] | Tid då $\alpha = 0,047$ [s] |
|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Brandgaslagrets höjd | 458 | 481 |
| Brandgaslagrets temperatur | 339 | 384 |
| Sikt vid utgång 1 | 479 | 504 |
| Sikt vid utgång 2 | 454 | 487 |
| Infallande strålning | - | - |
| Tid till kritiska förhållanden | 458 | 481 |

Som synes i Tabell 7-6 framkommer att tiden till kritiska förhållanden blir längre om α -värdet sänks.

7.8.2 Brandens rökutveckling

I de första simuleringarna används det värde för rökutveckling som överensstämmer med trä. Men i lokalen kan det även finnas större mängder plastmaterial i form av exempelvis möbelstoppning. Då rökutvecklingen för plastmaterial är betydligt större än för trä görs även ytterligare simuleringar där denna parameter ändras.

För att undersöka värdets påverkan på slutresultatet ansätts soot yield till 0,1 enligt tabell 6 i Boverket (2013) samt 0,1875 för polyuretanskum (SFPE, 2002, pp. 3-111). Det högre värdet 0,1875 ansätts för att det representerar en maximal potentiell rökutveckling vilket innebär att lokalens brännbara material endast består av möbelstoppning. Resultatet av rökgaslagrets nya beteende sammanställs i Tabell 7-7.

Tabell 7-7 - Jämförelse av tid till kritiska förhållanden då bränslets soot yield ändras. Rödmarkerade fält utgör de kriterium som tillsammans frambringar kritiska förhållanden.

| Kriterium | Soot yield = 0,015 [s] | Soot yield = 0,1 [s] | Soot yield = 0,1875 |
|---------------------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|
| Brandgaslagrets höjd | 458 | 442 | 456 |
| Brandgaslagrets temperatur | 339 | 359 | 357 |
| Sikt vid utgång 1 | 479 | 428 | 412 |
| Sikt vid utgång 2 | 454 | 402 | 372 |
| Infallande strålning | - | - | - |
| Tid till kritiska förhållanden | 458 | 442 | 456 |

Som ses i Tabell 7-7 påverkar bränslets soot yield sikten i märkbar utsträckning vilket bedöms som logiskt då dessa är starkt korrelerande. Detta resulterar i en liten påverkan på tid till kritiska förhållanden. Att sikten påverkas tyder på att brandgaslagrets höjd även den påverkas, men detta kan inte observeras i samma utsträckning som sikten i tabellen då brandgaslagrets höjd tas fram med hjälp av en temperaturdifferens, se A.4.

7.8.3 Tid till detektoraktivering

Tiden till detektoraktivering testas genom att flera FDS-simuleringar görs med andra värden för rökutveckling och annan tillväxthastighet. Tiden till detektoraktivering redovisas i Tabell 7-8.

Tabell 7-8 - Tabell över hur detektoraktivering påverkas av olika förändringar av brandparametrar.

| Simulering | Tid till detektoraktivering [s] |
|-------------------|---------------------------------|
| Grundscenario | 30 |
| Alfa 0,047 | 33 |
| Soot yield 0,1 | 36 |
| Soot yield 0,1875 | 36 |

I Tabell 7-8 ses att ingen av de ingående parametrarna påverkar tiden till detektoraktivering nämnvärt.

7.8.4 Brandens placering

Brandens placering i lokalen kan ha stor inverkan på hur många utrymningsvägar som finns tillgängliga. Om branden startar i närheten av en utrymningsväg kan denna anses blockerad då personer inte vill/kan passera brandhärden.

Utrymningsscenariot som utspelar sig i rapporten har dock som utgångspunkt att utgång 3 och 4 inte används på grund av det draperi som delar upp lokalen. Då köbildning uppstår förväntas personerna i lokalen lägga fokus på denna. Om branden skulle starta i närheten av utgång 1 eller 2 görs antagandet att personer i lokalen kommer söka sig till de utrymningsvägar som finns bakom draperiet förutsatt att dessa är tydligt markerade. Detta på grund av att någon kö ut genom lokalen inte finns att fokusera på samt deras önskan att komma bort från brandhärden. Därmed anses brandens påverkan av en enskild utrymningsväg inte kunna resultera i en längre utrymningstid än den som redan har noterats i rapporten.

Även om branden en bit in i brandförloppet spärrar av både utgång 1 och 2 kan då 3 och 4 fortfarande användas. Då dessa har större dimensioner än utgång 1 och 2 anses tiden för utrymning inte bli längre än den som uppmätts tidigare i rapporten trots att dessa inte används för normalt tillträde till lokalen. Branden anses inte heller kunna påverka mer än två utrymningsvägar innan den tid då kritiska förhållanden har uppstått då lokalens dimensioner betraktas som stora.

Med dessa resonemang anses att brandens placering i lokalen inte påverkar tiden till kritiska förhållanden, eller den tid utrymning tar, i någon omfattning som inte redan täcks in i de tidigare undersökningar som gjorts.

7.8.5 Antalet tillgängliga utrymningsvägar

Antalet tillgängliga utrymningsvägar undersöks då det i grundscenariot valts att endast använda 2 av 4 möjliga. Nya utrymningssimuleringar körs där det antas att hotellets personal ser till att även utgång 3 och 4 används vid utrymning. Påverkan av detta åskådliggörs i Tabell 7-9. Observera att det enda som ändras är antalet tillgängliga utrymningsvägar.

Tabell 7-9 - Förflyttningstidens beroende av antalet tillgängliga utrymningsvägar. Intervallet beror på placeringen av slutdestination i simuleringarna och diskuterades under 7.5.3

| Event | Förflyttningstid, 2 utgångar [s] | Förflyttningstid, 4 utgångar [s] |
|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Mässa 500 personer | 160 - 315 | 175-315 |
| Middag 400 personer | 130 - 240 | 140-265 |
| Bio 400 personer | 205 - 260 | 235-275 |

Enligt resultatet observeras ingen förbättring av förflyttningstiderna ske då fler utrymningsvägar

används vilket kan verka ologiskt. Det som dock inte ingår i simuleringarna är att det krävs en ändring av fördelningen för val av utgång för att verkligen kunna se nyttan i användandet av fler utrymningsvägar. Att tiderna blir längre tros bero på att vissa parametrar består av fördelningar, se vidare A.3.

7.8.6 Typ av evenemang

Det är lätt att tänka sig att de olika evenemangens möblering skapar olika förutsättningar för utrymning. Om personer i lokalen uppehålls på vägen mot nödutgångarna kan tiden för utrymning förlängas. Detta undersöks genom att variera möblemanget i olika simuleringar i Simulex. Bilder från dessa simuleringar redovisas i bilaga E.1.2. Resultat tolkas som att det under förloppet inte är objektens placering i lokalen som är anledningen till den tid utrymningen tar. Olika evenemang får olika köbildning inuti lokalen men dessa köbildningar har alltid lösts upp innan de köer som bildas vid utgångarna försvunnit. Alltså är möblemangets påverkan på utrymningstiden att se som liten i jämförelse med utrymningsvägarnas tillgänglighet. Detta gäller inte om möblemanget står direkt framför en utrymningsväg, då det istället behandlas som en blockerad utrymningsväg, jämför fallet med biosittning.

7.8.7 Persontätheten i lokalen

Simuleringar görs för det utvalda grundscenariot med olika personantal i lokalen baserat på samma antaganden som gjorts tidigare i rapporten. Resultatet från dessa simuleringar redovisas i Tabell 7-10.

Tabell 7-10 - Personantal i mässhall och den tid för utrymning som simulerats fram med hjälp av programmet Simulex.

| Personer i lokalen | Förflyttningstid [s] |
|--------------------|----------------------|
| 500 | 160 – 315 |
| 400 | 140 - 258 |
| 300 | 100 - 195 |

Ett förväntat samband mellan minskad persontäthet och minskad förflyttningstid observeras. Intressant att notera är att den övre tiden i intervallet påverkas mest.

7.8.8 Fördelning för val av utrymningsväg

I rapporten ansätts en fördelning där 70 % av personerna i lokalen använder den vanliga dörren ut från lokalen och undersökningar i Simulex görs för att se hur detta antagande påverkar förflyttningstiden för samtliga evenemang. Fördelningens påverkan redovisas i Tabell 7-11.

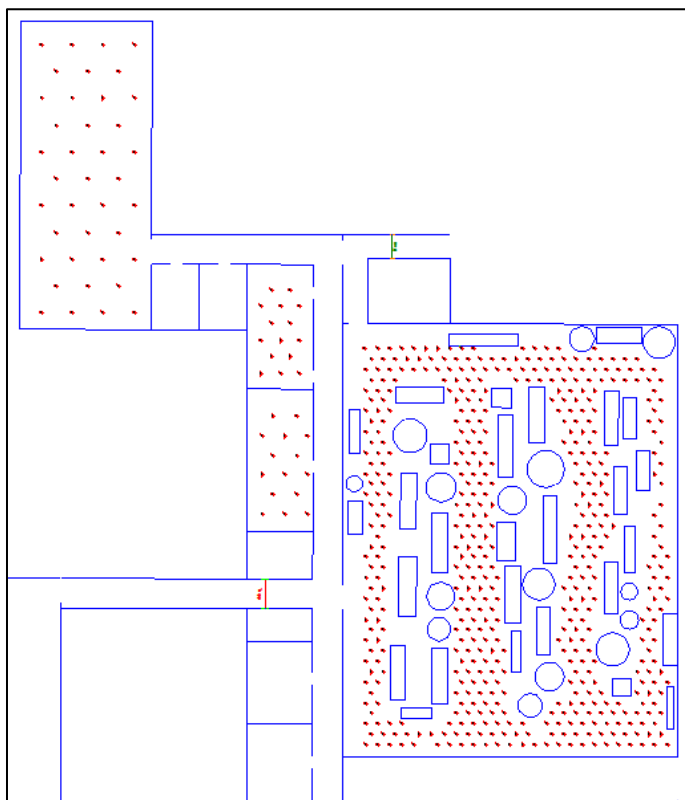
Tabell 7-11 - Flyttningstidens beroende av fördelning för val av utrymningsväg bland besökare. Procentandelarna i tabellhuvudet anger procent till utgång 1 och procent till övriga utgångar.

| Event | Förflyttningstid 80/20 [s] | Förflyttningstid 70/30 (grundscenariot) [s] | Förflyttningstid 60/40 [s] |
|---------------------|----------------------------|---|----------------------------|
| Bio 400 personer | 245 - 315 | 205 - 260 | 175 - 245 |
| Middag 400 personer | 160 - 295 | 130 - 240 | 120 – 230 |
| Mässa 500 personer | 180 - 360 | 160 - 315 | 180 - 295 |

Ett tydligt samband går att urskilja som visar att en jämnare fördelning mellan utrymningsvägar ger en kortare förflyttningstid ut från lokalen.

7.8.9 Personer i anslutande områden

För att ta reda på hur stort inflytande personer i lokaler runt om mässhallen kan ha på förflyttningstiden, genom att blockera vägen ut, så genomförs en simulering i Simulex för att testa detta. Enligt hotellets fastighetschef kan upp till 120 personer befinna sig i spaavdelningen samtidigt. De flesta antas befinna sig i de aktivitetsrum som finns belägna på plan 1 och därmed uppskattas maximalt antal personer i spautrymmen angränsande mässhallen till ca 40. De två konferensrum som anses kunna orsaka köbildning utanför mässhallen antas hysa 15 personer vardera. Samtliga personer i spaavdelning samt övre konferensrum antas använda den utrymningsväg som utgång 2 leder till. Personer i undre konferensrummet antas gå nedåt i ritningens riktning och därmed kan de blockera utgång 1 från mässhallen. Simuleringens uppställning redovisas i Figur 7-11.



Figur 7-11 - Uppställning av utrymning i mässhallen för undersökning av hur personer i angränsande utrymmen påverkar förflyttningstiden.

Resultande tider från simuleringen redovisas i Tabell 7-12.

Tabell 7-12 - Simulering av hur personer i angränsande utrymmen kan tänkas påverka förflyttningstiden.

| Fall | Tid för utrymning [s] |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Inga personer i angränsande utrymmen | 160 - 315 |
| Personer i angränsande utrymmen | 165 – 320 |

I Tabell 7-12 ses att personer i angränsande utrymmen påverkar förflyttningstiden minimalt och denna påverkan anses därför som försumbar.

7.8.10 Känslighetsanalysens slutsatser

Känslighetsanalysen pekar på att den känsligaste parametern för själva branden är den tillväxtkurva som ansätts. Även om värdet 0,062 anses vara väl konservativt så finns inget som pekar på att α -värdet kan sättas lägre än det för "Fast" och denna förändring ger endast en ökad tid för säker utrymning på 25 sekunder. Dessutom anses hallens träpanel kunna spela en stor roll i brandförloppet.

Brandens rökutveckling påverkar även den tiden till kritiska förhållanden uppstår. Då det rekommenderade värdet 0,1 används sänktes tiden med 20 sekunder och då 0,1875 användes endast med 5 sekunder. I rapporten används värdet för trä endast med bakgrund av att lokalens möblering är olika för olika evenemang där trä alltid anses finnas närvarande. Värdet för trä kan dock ses som en underskattning då den verkliga branden troligen kommer innehålla någon form av möbelstoppning och denna anses viktig att ha i åtanke på grund av parametrarnas känslighet. Ett mer representativt värde för rökproduktionen anses därför ligga närmare det som rekommenderas i Boverket (2013). Det ska även noteras att rökgaslagrets höjd tas fram med hjälp av en temperaturdifferens i FDS, se A.4, och i Tabell 7-7 kan ses att tiden till kritisk sikt förändras kraftigt vid en högre rökproduktion. Alltså sänker sig rökgaslagret snabbare vid en högre rökproduktion även fast rökens temperatur inte visar detta.

Tiden till detektoraktivering påverkas inte nämnvärt av de i känslighetsanalysen förändrade indataparametrarna och därmed behöver ingen vidare kraft läggas på detta.

En ändring av brandens placering anses enligt analysens kvalitativa resonemang inte påverka tid för säker utrymning i någon utsträckning som inte täcks in av känslighetsanalysens andra parametrar.

De viktigaste parametrarna som styr hur tiden för utrymning påverkas är enligt känslighetsanalysen en kombination av antalet tillgängliga utrymningsvägar samt hur fördelningen av personer ser ut över dessa. Båda dessa har stor inverkan på den totala förflyttningstiden och är därför att anse som viktiga för utrymning.

Även personantalet i lokalen påverkar starkt den tid en utrymning tar och i rapporten har det antal besökare som vanligtvis vistas i lokalen använts för att simulera förflyttningstiden. Eftersom antalet besökare kan ses som trovärdigt ses ingen anledning att ifrågasätta de tider som framkommit i rapporten men det samband som visas är värt att notera för senare åtgärdsförslag.

Typ av evenemang antas efter analysen inte ha någon större påverkan för utrymningstid med hänsyn till deras möblering, detta på grund av att det genom hela förloppen finns köer vid lokalens utgångar. Inte heller de personer som kan befinna sig i angränsande utrymmen visar på en markant ökning av förflyttningstiden. Med detta som bakgrund tas ingen vidare hänsyn till att angränsande personer inte används tidigare i rapporten då tidsdifferensen anses försumbar.

7.9 Åtgärdsförslag

Då utrymningssäkerheten i mässhallen vid analytisk utvärdering ses som bristfällig begrundas ett antal åtgärdsförslag dels för att förlänga tid till kritiska förhållanden och dels för att påskynda utrymning. Dessa följer nedan.

7.9.1 Installation av brandgasventilation

Brandgaslagrets höjd är ett av de grundläggande kriterierna vid framtagning av tid till kritiska förhållanden och det är detta kriterium som ständigt bryts i kombination med övriga. Därför anses vara en bra åtgärd vara att försöka förhindra att detta kriterium uppfylls.

Ett förslag på att göra förhållandena bättre i lokalen vid eventuell brand är därför att installera brandgasventilation för att stabilisera brandgaslagret på en höjd ovanför den kritiska och detta undersöks vidare med hjälp av handberäkningar, som redovisas i C.1.5. I beräkningarna har den port, benämnd utgång 3, som finns i lokalen använts som tilluft eftersom den bör utgöra ett bra alternativ för tilluft och redan existerar. Resultat från de beräkningar som utförs i C.1.5 visar att ventilationsluckor i taknivå med den ungefärliga ytan 11 m² behövs för att naturlig brandgasventilation ska fungera. Denna area anses fullt rimlig att uppnå då de fönster som är placerade på väggarna i takhöjd skulle kunna användas till detta. Med denna information anses att åtgärden är applicerbar men dock rekommenderas att en närmare uppföljning görs.

7.9.2 Sprinklersystem

För att förbättra förhållandena för utrymningen av mässhallen kan en sprinklerinstallation tänkas kontrollera brandförloppet och därför undersöks detta vidare enligt beräkningsgång i A.8. I simuleringarna används ett RTI-värde på 50 m^{1/2}s^{1/2} och en aktiveringstemperatur på 68 °C vilket resulterar i en medelaktiveringstid på 160 sekunder och branden begränsas till ca 1600 kW. I simuleringarna används effekten 1700 kW på grund av anpassning till aktuell brännarearea. Resultat från simulering i FDS med sprinkleraktivering redovisas i Tabell 7-13 nedan.

Tabell 7-13 - Simulering av mässhallen med sprinkler som åtgärd.

| Kriterium | Tid [s] |
|--------------------------------|-------------------------|
| Brandgaslagrets höjd | 785 |
| Brandgaslagrets temperatur | - |
| Sikt vid utgång 1 | - |
| Sikt vid utgång 2 | - |
| Infallande strålning | - |
| Tid till kritiska förhållanden | - |
| Utrymningstid (grundscenariot) | 555 |
| Marginal | +230¹ |

¹Baserat på brandgaslagrets höjd endast. Kriterierna för kritiska förhållanden bryts ej.

Resultatet som kan ses ovan visar på att installation av ett sprinklersystem har en mycket positiv inverkan på utrymningssituationen i mässhallen. Kritiska förhållanden uppträder inte inom de 800 sekunder som simuleras. Dock hinner brandgaslagret nå en kritisk höjd efter cirka 13 minuter och marginalen mot tiden till personer utrymt är nästan 3 minuter vilket anses godtagbart och sprinklerinstallation anses som en acceptabel åtgärd. Det rekommenderas även här att ytterligare undersökningar görs innan installation sker.

7.9.3 Effektivisering av utrymning

Känslighetsanalysen visar att två viktiga parametrar för utrymningstiden visade sig vara antalet personer samt hur dessa fördelas mellan utrymningsvägarna då de förflyttas ut ur lokalen.

Med denna information föreslås det att hotellpersonal är närvarande vid olika event. Detta för att effektivisera utrymningen av lokalen och på detta vis minska tiden det tar för personer att förflytta sig ur lokalen. Hotellpersonalen kan då vid eventuell brand styra hur utrymningen sker och således göra att fördelningen blir jämnare mellan utrymningsvägarna i lokalen vilket visat sig minska förflyttningstiden.

Ett annat förslag är att installera ett talat meddelande för alarmering av brand i mässhallen. I grundscenariot används en besluts- och reaktionstid på 210 sekunder. Denna tid skulle, genom installation av ett talande meddelande, kunna minskas till cirka 60 sekunder, (Frantzich, 2001, p. 101),

vilket är en minskning på 2,5 minuter. Införandet av denna åtgärd skulle enligt litteraturstudierna då ändra tidsmarginalen från -100 till +50. Dock anses detta för osäkert för att kunna garantera utrymningens säkerhet och anses inte räcka till som ensam åtgärd.

Ingen av dessa åtgärder beräknas alltså ensam kunna väga upp för skillnaden mellan tid till kritiska förhållanden och utrymningstid. De kan istället ses som goda åtgärder för att effektivisera utrymningen generellt i mässhallen och implementering rekommenderas.

7.9.4 Slutsats åtgärdsförslag

Vid analytisk utvärdering av utrymningssäkerheten i mässhallen framkommer det att situationen är hanterbar om åtgärder vidtas. Ovan har det påvisats att både installation av ett sprinklersystem eller naturlig brandgasventilation är applicerbara åtgärder som kan säkerställa en utrymning av lokalen vid en ansatt dimensionerande brand av värsta troliga karaktär. Även ett talat utrymningslarm och allmän effektivisering av utrymningen kan ge stora tidsvinster. Det konstaterades tidigt att utrymnet uppfyller förenklad dimensionering enligt de utvalda kraven dock anses att de åtgärdsförslag som tagits fram kan implementeras för ökad säkerhet.

7.10 Reflektion och diskussion

I det scenario som har antagits för utvärdering av brandskyddet antogs det att endast två av de fyra utrymningsvägarna faktiskt användes av personer i lokalen då brand uppstod. Detta kan anses väldigt konservativt men motiveras av att om en brand startar i närheten av dessa utgångar blir båda snabbt påverkade och utrymning kan då endast ske via utgång 1 och 2. Antagandet att draperiet förhindrar utrymning via utgång 3 och 4 kan därmed även anses ta hänsyn till brandens värsta placering och behålls därför.

Det värde för tillväxthastigheten som ansatts är visserligen högre än det som rekommenderas i Boverket (2013). Men då känslighetsanalysen visar på ett samband mellan större tillväxthastighet och lägre tid till kritiska förhållanden behålls detta. Brandens maxeffekt har en effekt som inte direkt ses i känslighetsanalysen då denna istället avgör hur lång tid programmet FDS kan användas. När denna ansattes gjorde antaganden för både dess effekt per area och brandens maximala yta. Eftersom lokalens möblering ändras mycket beroende på vilka event som anordnas föreligger här stora osäkerheter om hur stor den maximala effekten verkligen kan bli. Men då simuleringar har gjorts har brandens ansatta maxeffekt inte uppnåtts innan kritiska förhållanden uppstått. Detta medför att om värdet är felaktigt gör det inget om effekten kan bli större och kan effekten inte uppnå det ansatta värdet så kommer tiden till kritiska förhållanden att förlängas. Brandens sotproduktion är enligt känslighetsanalysen starkt förknippad med den tid som finns tillgänglig för utrymning och det värde för trä som har ansatts i rapporten kan anses lågt. Då det krävs att åtgärder vidtas i lokalen redan för det låga värdet gör att en högre sotproduktion endast kommer lägga större vikt på att åtgärderna vidtas. Eftersom den undersökta sprinkleråtgärden har använt den låga sotproduktionen kan simuleringens exakthet för ett verkligt scenario ifrågasättas. Om ansvariga på Arken Hotell väljer att fortsätta med sprinkleråtgärden bör därmed vidare undersökningar utföras.

När lokalens geometri beskrivs i FDS så ändras utseendet till ett rum med platt tak där höjden anpassas så att rummets volym hålls så pass oförändrad som möjligt. Detta medför dock att rummets yta som är i kontakt med varma brandgaser har minskats och därmed blir värmeförlusten mindre. De balkar som går längs taket och som vid ett brandförlopp hade kunnat påverka brandrökens ansamling har inte tagits med i simuleringegeometrin. Eftersom det fortfarande är flera meter mellan en balk och den kritiska nivån kommer lagret dock att vara jämt när det väl når den ansatta höjden. Det som avsaknaden av balkar förmodligen påverkar är tid till detektion då rökspridningen i brandens tidiga

skede sker på ett annat sätt. Dock anses denna påverkan försumbar då det mellan varje balk finns tre stycken detektorer utplacerade och röken kan därför inte undgå alla detektorer. Att rummets längd och bredd har förändrats för att fungera i FDS görs i så liten utsträckning att det inte anses påverka simuleringens resultat.

Någon nodkonvergens har ej kunnat undersökas för FDS-simuleringen eftersom det är en stor lokal och antalet celler blir för många för den datorkapacitet som finns tillgänglig. Eftersom den utdata som fås överensstämmer väl med den beräknade och en rimlighetsanalys har gjorts antas nodstorleken inte påverka den framsimulerade tiden till kritiska förhållanden men den ger bristfälliga resultat för tiden till rökdetektion.

I programmet Simulex noterades att beroende på en av slutdestinationernas placering utanför utgång 1 uppstod stora skillnader i utrymningstid. Ingen litteratur som beskriver detta fenomen har hittat och därmed accepteras den längre och konservativa tiden för personernas förflyttning.

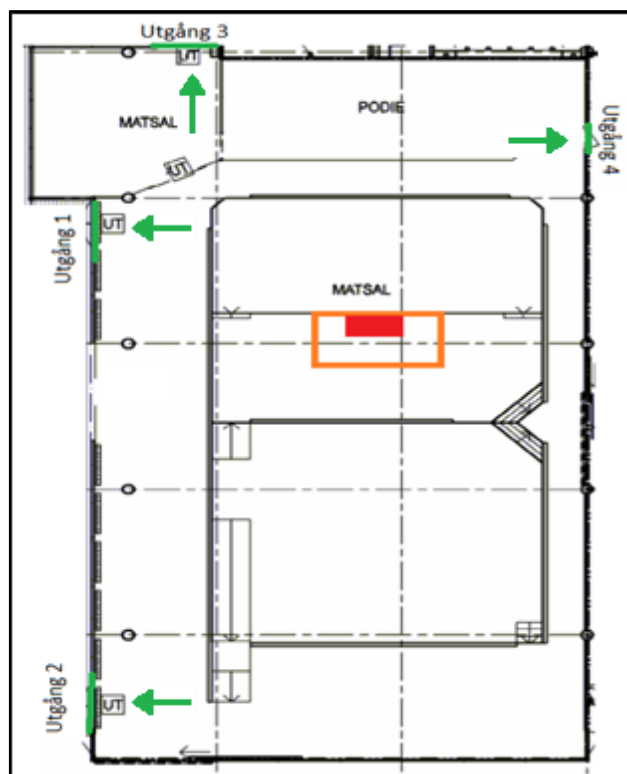
I den analytiska utvärderingen av mässhallen visade det sig att utrymningssäkerheten inte var tillfredsställande i dagsläget. Det togs fram åtgärdsförslag som påvisades både var applicerbara och fungerande i utrymnet. Denna utvärdering gjordes i utbildningssyfte då utrymningssäkerheten i mässhallen redan var accepterbar enligt utvalda delar av förenklad dimensionering.

8 Brandscenario 2 – Matsalen

Nedan redovisas de steg som görs vid den analytiska utvärderingen av matsalen.

8.1 Beskrivning

I matsalen bedrivs hotellets lunchservering och restaurangdel. Det finns sittplats för 350 restaurangbesökare men lokalen är dimensionerad för upp till 480 personer enligt fastighetschef. Det finns i dagsläget fyra skyltade utrymningsvägar markerade i Figur 8-1. Då det vistas mycket människor i lokalen och takhöjden är relativt låg, vilket tenderar att minska tiden till kritiska förhållanden, bedöms lokalen intressant att undersöka ur utrymnings synpunkt.



Figur 8-1 - Ritning över matsalen med inritad placering för brand och utrymningsvägar. Lokalens mått är 22 m · 34 m. Takhöjden varierar mellan 3,5 m och 3,7 m.

I matsalen finns det mycket brännbart material som exempelvis gardiner, soffor och stolar vilket gör att brand kan underhållas på flera platser i lokalen. I mitten av lokalen finns ett område där soffor är placerade och här antas branden starta. Anledningen att branden antas starta på just denna plats är att detta ger ett hastigt brandförlopp och på grund av soffornas stoppning, som bildar mycket sot vid brand, kommer förhållandena i lokalen snabbt bli dåliga. Detta väntas ge ett brandförlopp av värsta troliga karaktär. Branden begränsas till intilliggande material inom det orangemarkerade området i Figur 8-1.

8.2 Angreppssätt

För att bedöma om tiden för utrymning ur matsalen vid en brand är tillräcklig behöver tiden till kritiska förhållanden, definierat under 4.3, beräknas. Denna tid tas fram med hjälp av en representativ effektutvecklingskurva baserat på brännbara material i matsalen kombinerat med en lämplig beräkningsmetodik. När tid till kritiska förhållanden är framtagen jämförs denna med ett representativt utrymningsscenario för lokalen av värsta troliga karaktär. Är tiden för utrymning större än tid till

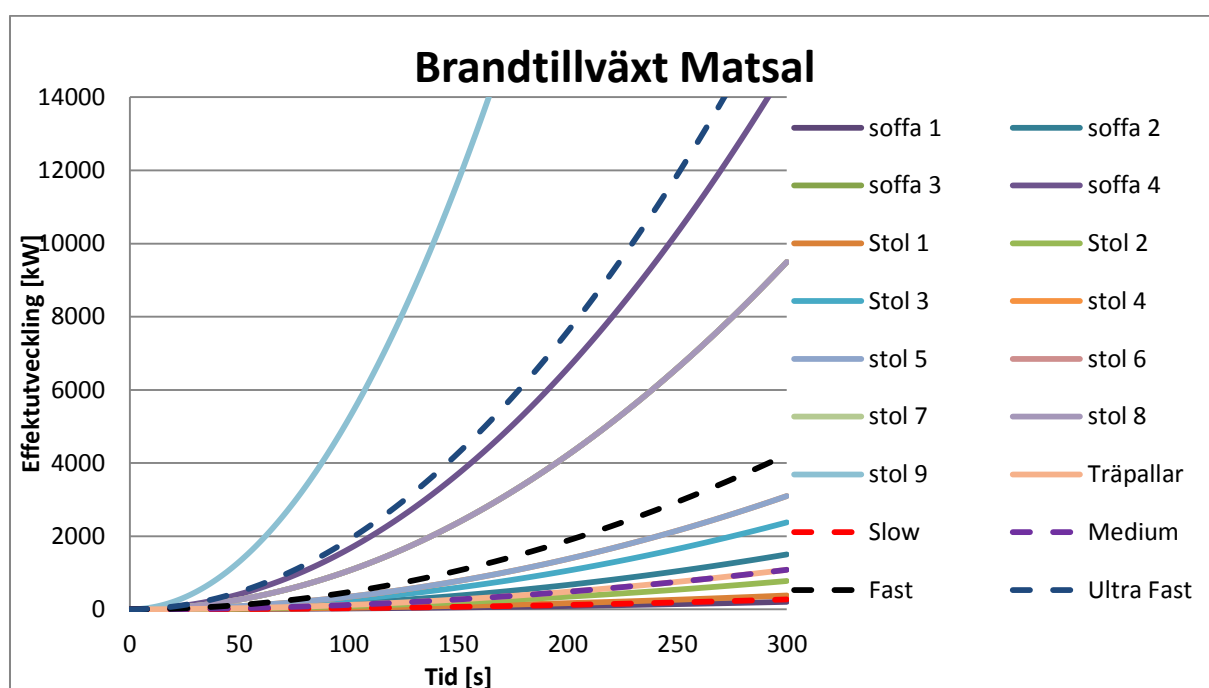
kritiska förhållanden bedöms skyddsmålet uppfyllt och utrymningssäkerheten god. Uppstår istället kritiska situationer ska åtgärder för att lösa dessa presenteras och visas vara genomförbara.

8.3 Brandens tillväxt och maxeffekt

Nedan följer tankegång och resonemang kring framtagandet av tillväxthastighet och maxeffekt för en brand av värsta troliga karaktär i matsalen.

8.3.1 Tillväxt

Matsalens möblemang består till största del av trä men även stoppning i stolar och soffor förekommer. Fördelningen av det brännbara materialet ansätts till 70 % trä och 30 % polyuretanskum där polyuretanskum representerar stoppningen i möblerna. Denna fördelning är baserat på uppskattningar av viktsprocent då trä väger betydligt mer än polyuretanskum. Tillväxthastigheten, α , för de olika möblerna varierar med dess uppbyggnad och spänner över ett stort intervall. Exempel och jämförelse av tillväxthastigheter för material som förekommer i matsalen presenteras nedan i Figur 8-2.



Figur 8-2 - Jämförelse mellan olika materials tillväxthastighet och standardvärden med avseende på material som finns i matsalen, för referenser se C.2.1.

Med hänsyn till jämförelsen som görs i Figur 8-2 ovan ansätts brandens tillväxthastighet till standardvärdet "Fast" då detta täcker in ungefär 80 % av de framtagna värdena, vilket anses vara konservativt enligt värsta troliga fall. Det faktum att soffor 4 har ett högre värde än "fast" anses inte påverka nämnvärt eftersom soffor inte utgör en stor area i rummet. Stol 9 har en tillväxthastighet som är mycket större än övriga stolar och anses därför som väl konservativ för utrymmet och användande av denna data utsluts då det kan resultera i att branden överskattas. Även experimentella omständigheter kan variera mellan de olika försöken.

8.3.2 Maxeffekt

När maxeffekten skall bestämmas begränsas materialet som kan brinna till det material som finns placerat inom det orangemarkerade området i Figur 8-1. Detta görs då det anses finnas tillräckligt med brännbart material i matsalen för att branden skall uppnå mycket höga effekter men att utrymning anses ha hunnit ske innan dessa uppnås. Maxeffekt beräknas genom att ansätta en area för branden

samt en representativ effekt per areaenhet genom data i Karlsson & Quintiere (2000). Trä som material representeras av träpall och stoppning av en soffa i brist på bättre värden. Då en 70/30-fördelning har ansatts beräknas brandens maxeffekt till cirka 1700 kW/m² och de värden som används som utgång för detta ses i Tabell 8-1.

Tabell 8-1 - Data som används för uppskattning av maxeffekt i matsalen.

| Bränsle | Litteraturnamn | Effekt per areaenhet [kW/m ²] |
|---------------|--|---|
| Träpall | Wooden pallets 1½ feet high | 1420 |
| Soffa | Moderate-weight type A upholstered furniture | 2500 |
| Trä/stoppning | Vägning 70 % träpall, 30 % soffa | 1700 ¹ |

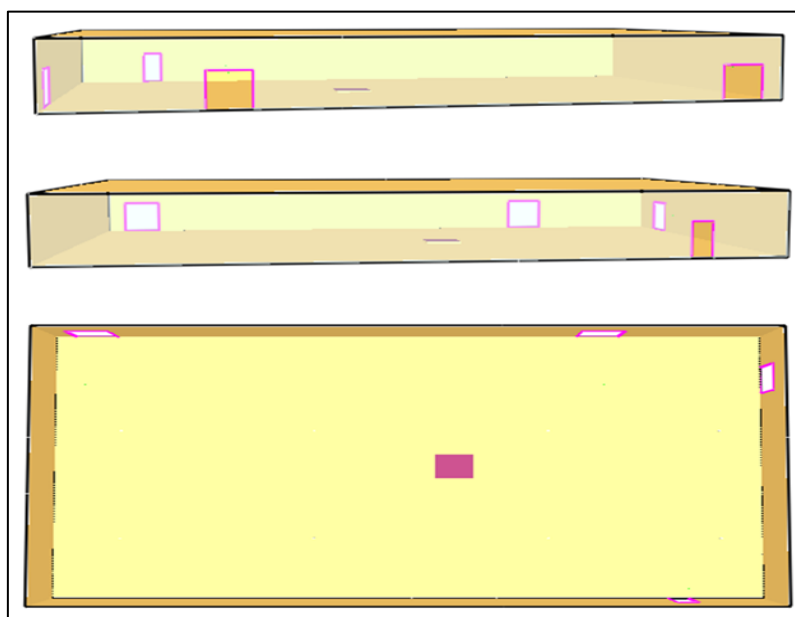
¹Avrundat värde

Brandens totala maxarea uppskattas till 10 m² då material antas brinna av då branden sprider sig. Detta resulterar därmed i en maxeffekt på 17000 kW.

Beräkningar angående om den uppskattade maxeffekten är möjlig baserat på syre- och bränsletillgången i rummet görs i C.2.2. Slutsatsen av dessa blir att ca 70 % av syret förbrukas under tiden till maxeffekt samt att det krävs att ca 235 kg bränsle brinner av. Syreförbrukningen är på gränsen till att bedömmas som rimlig då det är osäkert hur mycket av det tillgängliga syret som branden får tillgång till. Dock uppnås maxeffekt efter ca 600 sekunder vilket antas vara efter det att människor utrymt och personsäkerhet inte längre är relevant att undersöka. Detta antagande kan kontrolleras då tid till kritiska förhållanden framtagits.

8.4 Tid till kritiska förhållanden

För att ta fram en tid till dess att förhållandena i matsalen är kritiska för utrymmande personer enligt kriterier i avsnitt 4.3 används programmet FDS. För att hålla ner simuleringstiderna görs en del förenklingar av rummets geometri och scenariot, dessa redovisas under D.2.1. I simuleringarna tas ingen hänsyn till eventuell förbrinntid vilket gör att tiden till kritiska förhållanden är konservativ då det i verkligheten kan förväntas att denna blir längre. En illustration av rummets geometri i FDS redovisas i Figur 8-3 där den lila fyrkanten utmärker brandens placering.



Figur 8-3 - Bild över matsalens geometri som används vid simuleringar i FDS. Den lila rektangeln utgör brandens placering.

Då material i väggar och tak är osäkra utförs simuleringar med två olika materialval. Ett baserat på lättbetong och ett baserat på betong, dessa beskrivs ytterligare under avsnitt D.2.1. Resultat från dessa visar att ingen större skillnad observeras i de parametrar som undersökts förutom i brandgasens temperatur, dock med mycket liten påverkan, en jämförelse kan ses i Figur E-15. I fortsättningen utförs därför endast simuleringar med lättbetong som material, vilket är konservativt då detta genererar snabbare uppvärmningstid för brandgaserna.

Handberäkningar för strålning utförs i C.2.3 i syfte att undersöka hur stor branden måste vara för att kritisk strålningsnivå ska uppnås mot köande personer vid utgångarna i matsalen. Utifrån dessa konstateras att strålningen kan uppnå kritiska nivåer och att brandens bas vid dessa nivåer ligger inom den begränsning som tidigare gjorts. Dock uppnås tid till kritiska förhållanden innan av andra orsaker i form av brandgaslagrets höjd i kombination med sikten.

I Tabell 8-2 nedan redovisas tiden till kritiska förhållanden från FDS vid varje utgång i matsalen.

Tabell 8-2 - Redovisning av tid till kritiska förhållanden i matsalen från simuleringar i FDS. Tiden då varje kriterium bryts redovisas i kombination med den resulterande tiden till kritiska förhållanden. Resultaten är från simuleringar med lättbetong som väggmateriäl. Rödmarkerade fält utgör de kriterium som tillsammans frambringar kritiska förhållanden.

| Kriterium | Utgång 1 | Utgång 2 | Utgång 3 | Utgång 4 |
|--|------------|------------|------------|------------|
| Tid till brandgaslagrets är 1,96 m över golvet [s] | 215 | 176 | 201 | 202 |
| Tid till 80 °C i brandgaslagret [s] | 236 | 248 | 246 | 249 |
| Tid till 10 meter sikt på 2 meters höjd [s] | 187 | 145 | 181 | 182 |
| Infallande strålning [s] | 246 | - | - | 288 |
| Tid till kritiska förhållanden [s] | 215 | 176 | 201 | 202 |

Som ses uppstår kritiska förhållanden runt 200 sekunder in i förloppet och syreförbrukningen anses därför inte begränsa branden. Tabellen visar att i alla utgångar uppstår kritiska förhållanden i form av en kombination av brandgaslagrets höjd och sikten på 2 meters höjd först. Beskrivande grafer för tid till kritiska parametrar redovisas närmare i E.2.1.

8.5 Utrymningstid

I detta kapitel tas den totala tiden som behövs för utrymning fram.

8.5.1 Varseblivningstid

Varseblivningstiden likställs med tiden för detektoraktivering i matsalen och denna uppskattas med hjälp att detektorer placeras ut i FDS utefter vad som observeras på ritningar, se Figur 8-4. Aktivering av detektorer anses ske när en siktneadsättning på 3,5 % per meter uppstår enligt produktblad för detektorer som används i lokalen (Siemens, 2012, p. 123).



Figur 8-4 - Placeringen av de detektorer som får representera detektionstiden av branden i matsalen.

Tid till aktivering är starkt beroende av detektorplacering i förhållande till brandens position. Genom att beräkna medelvärde för siktnedsättningen bland detektorer som är lokaliserade runt om erhålls upplysning om rimlig aktiveringstid. Ett medelvärde används då skillnaden i detektionstid endast varierar med cirka 10 sekunder mellan de fyra detektorerna. Tid till detektoraktivering och därmed varseblivningstid fastställs på detta vis till 35 sekunder.

8.5.2 Besluts- och reaktionstid

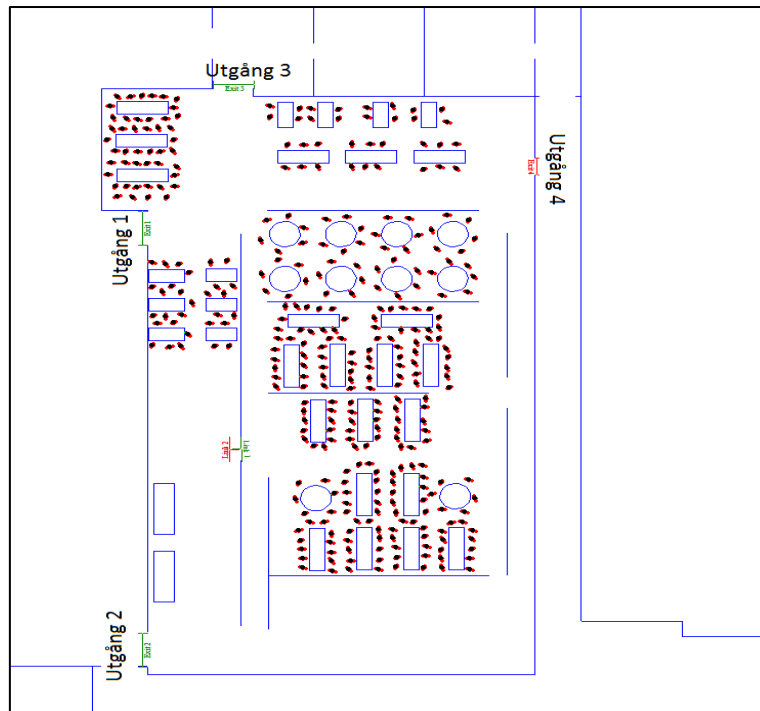
I matsalen finns det flera parametrar som påverkar besluts- och reaktionstiden hos individerna och bedömningar görs utifrån fakta som presenteras i 4.8.2. Normal besluts- och reaktionstid för lunchrestaurang utan alkoholservice kan uppskattas till 1 min och 30 sekunder enligt (Frantzich, 2001, p. 101). Det förekommer dock alkoholservice i lokalen som kan öka denna tid men det bedöms att alkoholkonsumtionen vid lunchtid är ringa och att detta inte påverkar tiden nämnvärt. Då lokalen har en öppen planlösning, är lättöverskådlig samt skyltningen är väl utförd kan en ungefärlig besluts- och reaktionstid ligga på 60 sekunder (Frantzich, 2001, p. 101). Det finns utbildad personal som vistas i lokalen och det finns även förutom larmklockor ett informativt talat utrymningslarm vilket generellt ger kortare besluts- och reaktionstid.

Det är oklart hur mycket de olika faktorerna påverkar besluts- och reaktionstiden. Att det finns utbildad personal i utrymmet och talat meddelande tyder på att tiden blir kortare, men alkoholkonsumtionen och lunchsituationen tyder på en ökad tid. De förstnämnda faktorerna anses vara av större vikt vid besluts- och reaktionstiden och därför anses det troligt att tiden ligger mellan 60 och 90 sekunder. 90 sekunder väljs då detta är det värsta troliga fallet.

8.5.3 Förflyttningstid

Matsalen har plats för 350 sittande gäster och vid diskussion med ansvarig fastighetschef kunde det fastställas att det sällan var annat än fullsatt i lokalen vid lunchtid. Med information om persontätheten och ritningar över lokalen körs en Simulex-simulering för att undersöka tiden det tar för gästerna att ta sig ut ur lokalen vid en eventuell utrymningsituation. Teori bakom programmet beskrivs i A.3. Antagandet om att cirka 70 % av besökarna väljer att utrymma genom utgångar som normalt används för tillträde till lokalen är dock svårt att applicera i detta fall då dessa utgångar stängs igen vid händelse av brand. På grund av detta ansåts det i Simulex istället att gästerna väljer närmast tillgängliga utrymningsväg, detta anses vara ett rimligt antagande då två av dessa är placerade i ett glasparti som vetter ut mot det fria samt att de övriga ansluter till välanvända korridorer.

Det fall som simuleras i Simulex är en lunchsittning med 350 sittande personer då detta bedöms vara värsta troliga scenario och illustration av detta kan ses i Figur 8-5.



Figur 8-5 - Matgästernas placering innan utrymning påbörjas.

Värden på populationens fördelning har anpassats efter Arken Hotells besökarstatistik och detta beskrivs i D.4. Resultatet av simuleringen redovisas i Tabell 8-3. Förflyttningstiden redovisas för respektive utgång och tolkas som den tid utgången är i bruk.

Tabell 8-3 - Resultat från simulering av utrymning i matsalen i Simulex för 350 personer.

| Utgång | Förflyttningstid [s] |
|--------|----------------------|
| 1 | 116 |
| 2 | 113 |
| 3 | 32 |
| 4 | 24 |

8.6 Tid för säker utrymning

Genom simuleringar i FDS framkommer det att samtliga personer bör ha utrymt lokalen inom ca 200 sekunder. Denna tid jämförs med den tid det bedöms ta personerna att utrymma lokalen enligt ekvation 4-1. För att säker utrymning skall ske skall villkoren uppsatta enligt ekvation 4-2 upprätthållas, det vill säga att $t_{tillgänglig}$ är större än $t_{utrymning}$. Varseblivningstiden sätts till 35 sekunder, besluts- och reaktionstid till 90 sekunder och förflyttningstiden varierar mellan de olika utgångarna. Den totala tiden för utrymning för de olika utgångarna redovisas i Tabell 8-4.

Tabell 8-4 - Sammanfattning av ingående tider som används vid bedömning av utrymnings säkerheten i matsalen. Resultat är angivet för respektive utgång. Rödmarkerat fält utgör tid som krävs för utrymning och grönmarkerat fält är den tillgängliga tiden för utrymning innan kritiska förhållanden uppstår.

| Karakteristisk tid [s] | Utgång 1 | Utgång 2 | Utgång 3 | Utgång 4 |
|---------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Varseblivningstid | -35 | -35 | -35 | -35 |
| Besluts- och reaktionstid | -90 | -90 | -90 | -90 |
| Förflyttningstid | -116 | -113 | -32 | -24 |
| Utrymningstid | -241 | -238 | -157 | -149 |
| Tillgänglig tid | +215 | +176 | +201 | +202 |
| Marginal | -25¹ | -60¹ | +45¹ | +55¹ |

¹Avrundade värden

Det konstateras att villkor för säker utrymning inte upprätthålls för samtliga utrymningsvägar och åtgärdsförslag tas fram för att förbättra utrymnings situationen i lokalen.

8.7 Kontroll av FDS

För att undersöka den trovärdighet som kan läggas i den utdata som ges från FDS utförs flera värderingar av programmet.

8.7.1 Reducering av cellstorlek

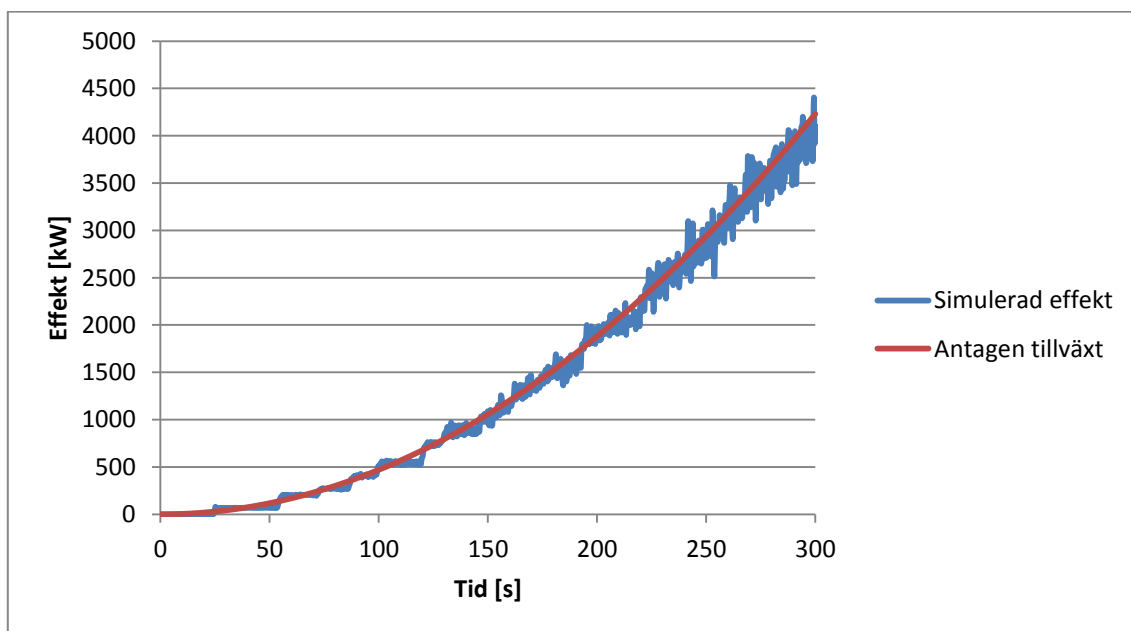
Då FDS är en avancerad modell som är svår att kontrollera genomförs istället en vidare analys för att undersöka hur kritiska parametrar påverkas vid en reduktion av cellstorleken. Detta görs på grund av att cellstorleken, som tidigare nämnts i A.4, är en mycket betydande faktor för de resultat som hämtas från FDS. Ett kriterium för nodkonvergens är att utdata inte skiljer sig mer än 10 % mellan cellstorlekar (Nystedt & Frantzich, 2011, p. 76) och detta används som en utgångspunkt vid bedömning av resultaten. Ändringen som görs är att gå från cellstorleken 10 cm över branden till 5 cm och 20 cm i övriga utrymnet till 10 cm. Resultatet visar att i de flesta jämförelserna ligger skillnaden runt 10 % med vissa undantag som kan ses i Tabell 8-5. Då kriteriet inte gäller för alla parametrar kan ändå valet av en större cellstorlek motiveras med en mer konservativ tid till kritiska parametrar vilket åskådliggörs i grafer i E.2.2.

Tabell 8-5 – Påverkan på kritiska parametrar vid ändring av cellstorlek i FDS.

| Cellstorlek | 10 cm | 5 cm | Skillnad [%] |
|-------------------------------|-------|------|--------------|
| Kritisk höjd [s] | 215 | 239 | + 11 |
| Kritisk temperatur [s] | 236 | 232 | - 2 |
| Kritisk sikt [s] | 187 | 207 | + 11 |
| Detektion [s] | 34 | 26 | - 31 |

8.7.2 Kontroll av rimlighet i utdata

Den simulerade effekten vars tillväxt bestäms av ansatt SPREAD_RATE stämmer väl överens med den antagna tillväxten för matsalen och detta illustreras i Figur 8-6.



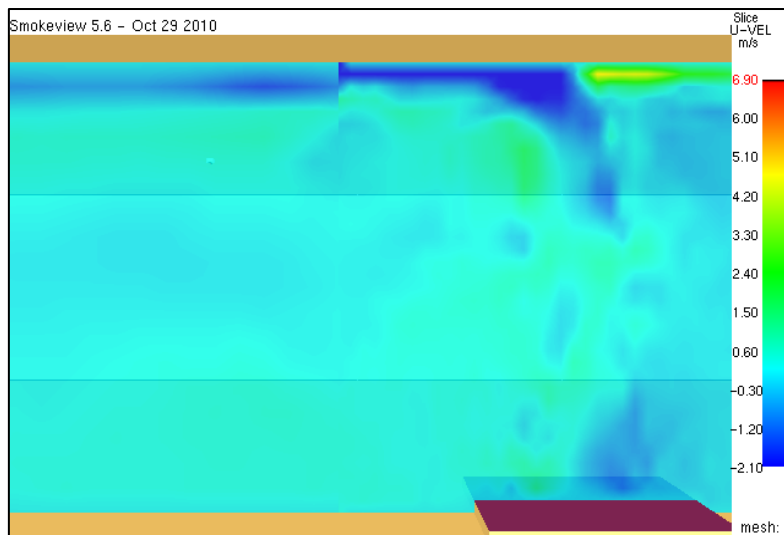
Figur 8-6 - Jämförelse mellan den effektutveckling som simuleras fram med hjälp av FDS och den antagna effektutvecklingen.

En kontroll görs för att undersöka när FDS-simuleringen kan antas vara giltig med hänsyn till kvoten mellan brandens karakteristiska diameter och den cellstorlek som har valts över branden och mer information kan ses i A.4. Beräkningar visar att efter ca 150 sekunder kan simuleringen anses ge tillfredställande resultat för cellstorleken 10 cm över branden.

Observation av matsalssimulering visar att rök och effektutveckling inte startar förrän efter drygt 20 sekunder in i simuleringarna. Detta fenomen tros bero av den använda funktionen SPREAD_RATE och dess konsekvens har diskuterats närmare i 7.7.2.

I Nystedt & Frantzich (2011) nämns att en simulering inte bör ha flödeshastigheter större än 10 m/s samt att flamtemperaturen bör befinna sig i området 700 – 1200 °C. Simuleringarna kontrolleras mot dessa kriterier och anses rimliga.

En brist som observerats är att det i gränsen mellan den fina och de grova beräkningsdomänerna sker en övergång som medför informationsförluster, se Figur 8-7. Detta medför att rökgaslagrets beteende påverkas och resultaten riskerar att blir för mycket medelvärden vilket kan ge lägre temperaturer och hastigheter därmed förlängs tiden till kritiska förhållanden. Problemet skulle kunna hanteras med en större beräkningsdomän med den finare cellstorleken kring branden vilket skulle leda till att gränsen kommer längre bort i ett område med lägre hastigheter.



Figur 8-7 - De informationsförluster som observeras vid gränsen mellan den fina och de grova beräkningsdomänerna.

8.8 Känslighetsanalys

För att undersöka effekten av de antaganden som gjorts i beräkningar undersöks några parametrar enskilt för att se hur de påverkar resultatet själva. Detta i syfte att endast åskådliggöra en parameters påverkan i taget på resultatet. En grafisk presentation av känslighetsanalysen kan ses i E.2.3.

Parametrar som undersöks är:

- Brandens tillväxthastighet
- Rökutveckling
- Detektoraktiveringens beroende av utvalda parametrar
- Antal utrymningsvägar
- Persontätheten i lokalen

8.8.1 Brandens tillväxthastighet

Brandens tillväxthastighet togs fram med hjälp av Figur 8-2 och värdet ”fast” valdes som ett troligt värsta fall. Ytterligare en FDS-simulering körs där tillväxthastigheten medium ansätts för att undersöka hur detta påverkar ingående parametrar. Resultat för detta redovisas i Tabell 8-6. Om brandens tillväxthastighet istället ansätts till ”medium” med ett alfa-värde på 0,012 kW/m² blir resultaten enligt Tabell 8-6.

Tabell 8-6 - Påverkan av kritiska parametrar vid ändring av tillväxthastigheten i FDS. Rödmarkerade fält utgör de kriterium som tillsammans frambringar kritiska förhållanden.

| Kriterium | Grundscenario ($\alpha=0,047$) | | | | $\alpha=0,012$ | | | |
|------------------------------------|----------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | Utgång 1 | Utgång 2 | Utgång 3 | Utgång 4 | Utgång 1 | Utgång 2 | Utgång 3 | Utgång 4 |
| Brandgaslagrets höjd [s] | 215 | 176 | 201 | 202 | 312 | 256 | 266 | 270 |
| Brandgaslagrets temperatur [s] | 236 | 248 | 246 | 249 | - | - | - | - |
| Sikt på 2 meters höjd [s] | 187 | 145 | 181 | 182 | 276 | 226 | 264 | 261 |
| Tid till kritiska förhållanden [s] | 215 | 176 | 201 | 202 | 312 | 256 | 266 | 270 |
| Marginal [s] | -25¹ | -60¹ | +45¹ | +55¹ | +70¹ | +18¹ | +110¹ | +120¹ |

¹Avrundade värden

I Tabell 8-6 ovan kan det ses att tid till kritiska förhållanden är väldigt känsligt för vilken tillväxthastighet som används då marginal gått från negativ till positiv i samtliga fall. Det observeras även att brandgaslagrets temperatur inte uppnår kritisk nivå under de 400 sekunder som simulerats.

8.8.2 Rökutveckling

I grundscenariot används viktning mellan trä och polyuretanskum. Då detta är en uppskattning och då sikten bedöms påverkas mycket av det sot som branden avger undersöks resultatets känslighet baserat på värdet för soot yield. Värdet på soot yield varierar mellan 0,015 och 0,1875 vilket är värdena för en brand av endast trä samt endast polyuretanskum det vill säga i ytterligheterna i det aktuella fallet (SFPE, 2002, pp. 3-111). Resultaten från FDS-simuleringar redovisas i Tabell 8-7.

Tabell 8-7 - Påverkan på tid till kritiska förhållanden vid ändring av soot yield

| Ändring | Utgång 1 | Utgång 2 | Utgång 3 | Utgång 4 |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|
| Grundscenario 0,0670 | 215 | 176 | 201 | 202 |
| Soot yield 0,0150 | 230 | 230 | 240 | 235 |
| Soot yield 0,1875 | 209 | 176 | 194 | 200 |

Som förväntat uppstår skillnader i tid till kritiska förhållanden vid ändring av den soot yield som används. Dock är förändringen i tid till kritiska förhållanden relativt liten vid en jämförelse mellan den viktning som använts och extremfallet med endast polyuretanskum.

8.8.3 Detektoraktiveringens beroende av utvalda parametrar

Detektoraktiveringstiden förväntas även den ändras i samband med att brandens tillväxthastighet och rökutveckling varierar. Nedan i Tabell 8-8 följer resultat av denna påverkan vid simuleringar i FDS.

Tabell 8-8 - Detektoraktiveringens påverkan vid förändring av brandens tillväxthastighet och rökutveckling.

| Simulering | Tid till detektoraktivering [s] |
|----------------------------|---------------------------------|
| Grundscenario | 35 |
| Tillväxthastighet ”Medium” | 58 |
| Soot yield 0,015 | 40 |
| Soot yield 0,1875 | 34 |

Vid tolkning av resultatet i ovan kan ett par slutsatser dras. Brandens rökutveckling kan anses ha minimal påverkan på detektionstiden och vidare hänsyn till detta behöver inte tas.

8.8.4 Antalet tillgängliga utrymningsvägar

Brandscenariot som behandlas i matsalen är specifikt med avseende på brandens placering. Då det är möjligt att branden har en annan ursprungspunkt än den som valts undersöks huruvida förflyttningen ut ur lokalen påverkas om branden flyttas och blockerar utrymningsvägar. Det värsta tänkbara scenariot är att en brand skulle blockera två utrymningsvägar då brand startar mellan Utgång 1 och Utgång 3 vilka är placerade tätt intill varandra. Scenariot simuleras i Simulex och jämförs mot den tid till kritiska förhållanden som erhålls i grundscenariot. Resultatet redovisas i Tabell 8-9 nedan.

Tabell 8-9 - Blockerade utrymningsvägars påverkan på förflyttningstiden i matsalen.

| Utgång | Grundscenario | | | | Blockerade utgångar | | | |
|----------------------|---------------|-----|----|----|---------------------|-----|---|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Förflyttningstid [s] | 116 | 113 | 32 | 24 | - | 212 | - | 47 |

Resultaten visar på att antalet tillgängliga utgångar är betydelsefullt för slutresultatet vilket är troligt eftersom det ger större möjlighet till att utrymma lokalen. Vid blockering av utgång 1 och 3 väljer majoriteten av personerna att utrymma genom utgång 2 vilket förklarar att skillnaden blir störst där.

8.8.5 Persontätheten i lokalen

Något som kan påverka tiden för utrymning är antalet personer som vistas i lokalen. Två simuleringar görs där antalet minskas från 350 personer till 300 samt 250. Resultatet av simuleringarna redovisas i Tabell 8-10.

Tabell 8-10 - Antalet gästers inverkan på förflyttningstid.

| Antal gäster | Förflyttningstid [s] | | | |
|---------------------|----------------------|----------|----------|----------|
| | Utgång 1 | Utgång 2 | Utgång 3 | Utgång 4 |
| Grundscenario (350) | 116 | 113 | 32 | 24 |
| 300 | 93 | 101 | 27 | 23 |
| 250 | 78 | 88 | 27 | 22 |

Som förväntat minskar tiden för förflyttning ut ur lokalen med antalet personer. Anledningen till att majoriteten av skillnaden är över utgång 1 och 2 beror på att det är dessa som används mest vid antagandet att personerna i lokalen väljer närmaste utgång.

8.8.6 Slutsatser av känslighetsanalysen

Känslighetsanalysen visar på att brandens tillväxthastighet har en stor inverkan på slutresultatet. Detta anses rimligt då tillväxthastigheten bestämmer hur snabbt förhållandena i utrymnet blir dåliga ur utrymningssynpunkt. I känslighetsanalysen jämförs den nuvarande tillväxthastigheten mot värdet för ”medium”. Dock bedöms en sänkning av tillväxthastigheten inte motiverad i det aktuella fallet där värdet ”fast” anses motsvara värsta troliga fall vilket är det som utrymningssäkerheten valts att testas mot. Värdet ”medium” täcker endast in 50 % av de tänkbara tillväxthastigheterna i Figur 8-2 och kan resultera i en underskattning av brandförloppet effektutveckling.

Gällande brandens rökutveckling noteras ett samband mellan att en ökad soot yield ger kortare tid till kritiska förhållanden. Vid jämförelse av det värde för soot yield som använts i simuleringarna med extremfallet med endast polyuretanskum kan ses att skillnaden är mycket liten. Detta innebär att även om den vägning med 70 % trä och 30 % polyuretanskum som använts kan ses som osäker skulle en felaktig vägning inte påverka resultatet i stor utsträckning.

Tid till detektoraktivering påverkas mest av den tillväxthastighet som ansätts för branden men eftersom det tidigare konstaterats att en ändring av tillväxthastigheten inte är motiverad anses osäkerheterna kring detektoraktiveringen små.

Gällande utrymningen påverkar både antalet tillgängliga utrymningsvägar och persontätheten i lokalen flyttningstiden i betydande grad. Antalet tillgängliga utrymningsvägar är något som är svårt att ta ställning till vid en analys av utrymningssäkerheten då detta till stor del är beroende av brandens placering och övriga för lokalen specifika attribut, exempelvis skyltning och sikt. Det identifieras dock att en mycket kritisk situation kan uppstå om brand uppkommer på så vis att den blockerar utgång 1 och 3. Persontätheten är även den som förväntat avgörande för förflyttningstiden. Ett minskat personantal i analysen är dock inte motiverat eftersom ett värsta troliga fall valts för undersökning samt att en minskning med 100 personer endast ger utslag om 20-40 sekunder på förflyttningstiden.

8.9 Åtgärdsförslag

För att säkerställa att utrymningen av matsalen vid en eventuell brand är säker behöver åtgärder vidtas för att möjliggöra detta. Antingen behöver en eventuell brand hanteras på så vis att tiden till kritiska förhållanden fördröjs eller behöver utrymningen av lokalen effektiviseras för att minska utrymningstiden eller en kombination av dessa. Nedan undersöks några alternativ för att uppnå detta.

8.9.1 Sprinkler

Förutsättningarna för effektiv utrymning i matsalen anses egentligen vara god med många tillgängliga utgångar. Trots detta är utrymningssäkerheten kritisk och detta tros bero på ett allt för kraftigt brandförlopp i lokalen. Detta motiverar åtgärder i syfte att reducera brandförloppets allvarlighetsgrad genom installation av exempelvis sprinklersystem. Installation av sprinklersystem i matsalen undersöks med simuleringar i FDS där aktiveringstid samt ny tid till kritiska förhållanden tas fram. Medeltiden för sprinkleraktivering blir 132 sekunder vid användning av sprinkler med RTI-värde $50 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$ och aktiveringstemperatur $57 \text{ }^\circ\text{C}$. Beräkningsgång och metod vid implementering av sprinkler kan ses i A.8.

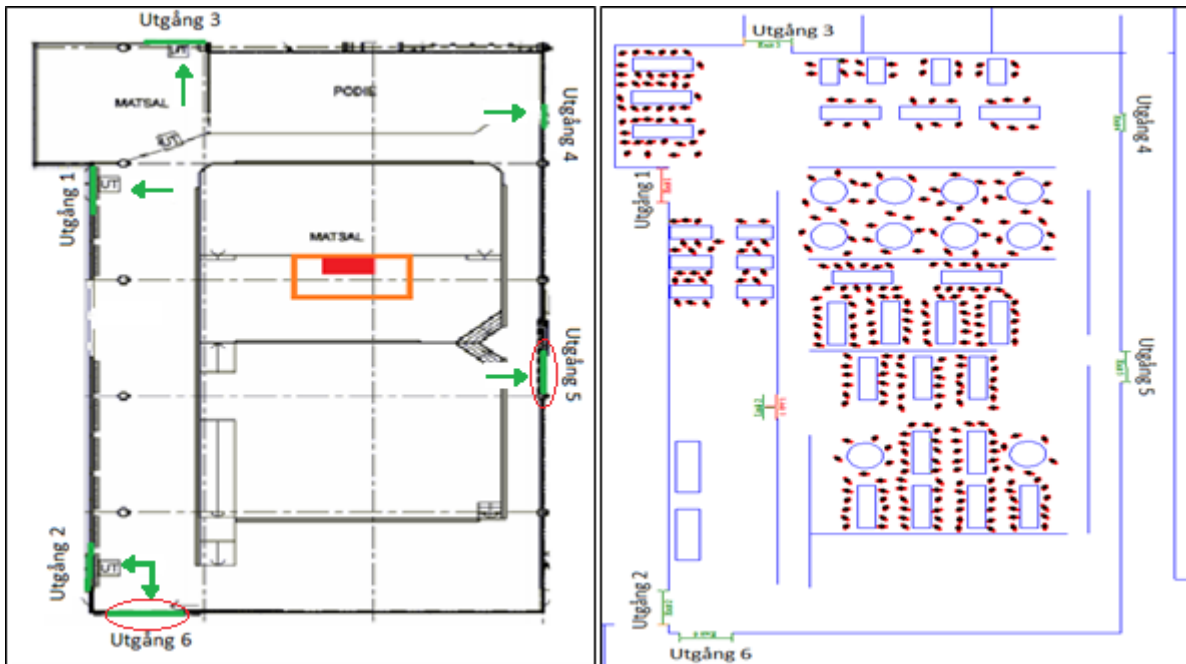
Tabell 8-11 - Redovisning av tid till kritiska förhållanden i matsalen från simuleringar i FDS då sprinklerpåverkan ansätts. Tiden till varje kriterium bryts redovisas i kombination med den resulterande tiden till kritiska förhållanden.

| Kriterium | Utgång 1 | Utgång 2 | Utgång 3 | Utgång 4 |
|---|------------|------------|------------|------------|
| Tid till brandgaslagrets är 1,96 m över golvet [s] | 219 | 202 | 213 | 209 |
| Tid till $80 \text{ }^\circ\text{C}$ i brandgaslagret [s] | - | - | - | - |
| Tid till 10 meter sikt på 2 meters höjd [s] | 217 | 156 | 205 | 202 |
| Tid till kritiska förhållanden, med sprinkler[s] | 219 | 202 | 213 | 209 |
| Tid till kritiska förhållanden, utan sprinkler [s] | 215 | 176 | 201 | 202 |

Resultatet av simuleringen i FDS visar på att installation av sprinkler i lokalen inte förlänger tiden till kritiska förhållanden i den grad som behövs för att göra förflyttningen ur lokalen säker och vid utgång 1 observeras till och med en omvänd effekt. Detta anses bero på att då sprinkler aktiverar har branden hunnit utvecklas så pass långt att kritiska förhållanden uppnås kort tid därefter. För att sprinkler skall kunna vara effektiv mot brand behöver aktivering ske tidigare i brandförloppet, det vill säga att skillnaden mellan tid till sprinkleraktivering och tid till kritiska förhållanden behöver vara större.

8.9.2 Ökat antal utrymningsvägar

I matsalen har det installerats brandjalusier som stänger till de ingångar som vanligtvis används för inträde till lokalen i syfte att upprätthålla brandcellsgränserna vid uppkomst av brand. Ett alternativ för att effektivisera utrymningen är att ta bort dessa och istället installera brandklassade dörrar. Detta skulle innebära att det finns två extra utgångar tillgängliga vid utrymning av lokalen, vilket ger totalt sex utrymningsvägar. En illustration av hur brand- och utrymningsscenarioet då skulle se ut kan ses i Figur 8-8.



Figur 8-8 - Uppställning av utrymning i matsalen vid användning av sex utrymningsvägar. Tillagda utgångar är inringade.

För att se hur detta påverkar tiden för utrymning görs en simulering i Simulex. En stor skillnad mot föregående simuleringar är att nu är de naturliga utgångarna tillgängliga och antagandet om att personerna söker sig till närmsta utgång bedöms inte längre som applicerbart. I detta scenario används istället antagandet som nämns i 4.8.3, att cirka 70 % av besökarna väljer att utrymma genom utgångar som normalt används för tillträde till lokalen. Då både utgång 5 och 6 används som tillträdesvägar till matsalen ansätts det att 70 % av personerna fördelar sig jämt över båda utrymningsvägarna, det vill säga 35 % till varje utgång. Av de 35 % som sedan använder utgång 6 ansätts därefter att hälften använder utgång 2. Detta görs då denna utgång är placerad knappt en meter ifrån utgång 6 och det anses orimligt att personerna inte skulle använda denna om de stod bredvid den. De resterande gästerna i lokalen ansätts som tidigare använda närmast tillgängliga utgång. Resultat från dessa simuleringar kombineras med en tillhörande FDS-simuleringar med de nya öppningarna, se Tabell 8-12.

Tabell 8-12 - Åtgärdsförslag med fler utrymningsvägar. Rödmarkerat fält utgör tid som krävs för utrymning och grönmarkerat fält är den tillgängliga tiden för utrymning innan kritiska förhållanden uppstår.

| Karakteristisk tid [s] | Utgång 1 | Utgång 2 | Utgång 3 | Utgång 4 | Utgång 5 | Utgång 6 |
|---------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Varseblivningstid | -35 | -35 | -35 | -35 | -35 | -35 |
| Besluts- och reaktionstid | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 | -90 |
| Förflyttningstid | -22 | -68 | -32 | -27 | -67 | -88 |
| Utrymningstid | -147 | -193 | -157 | -152 | -192 | -213 |
| Tillgänglig tid | +221 | +191 | +200 | +202 | +226 | +189 |
| Marginal | +75¹ | 0¹ | +45¹ | +50¹ | +35¹ | -25¹ |

¹Avrundade värden

I tabellen fastslås att marginalen överlag har ökat, förutom för utgång 4, men inte tillräckligt för att kunna konstatera att säker utrymning kan ske. Detta innebär att enbart en ökning av utrymningsvägar inte är tillräckligt för att kunna säkerställa en utrymning där personer inte utsätts för dåliga förhållanden.

8.9.3 Slutsats av åtgärdsförslag

Vid analytisk utvärdering av utrymningssäkerheten i matsalen med en ansatt dimensionerande brand av värsta troliga karaktär framkommer att situationen anses bristfällig. Trots diskussioner kring åtgärdsförslag misslyckas en applicerbar och fungerande lösning att hittas. I detta fall väljs därför att falla tillbaka på den kontroll mot förenklad dimensionering som gjordes i avsnitt 6.2 där inga brister upptäcktes för de parametrar som valts för kontroll. Då förenklad dimensionering är accepterat angående utrymningssäkerhet accepteras därför situationen i matsalen.

8.10 Reflektion och diskussion

Under analysens gång konstateras att det finns osäkerheter kring brandens placering och storlek. I detta scenario har branden valts att placeras på en specifik plats, nämligen i den soffgrupp som finns i lokalen. Detta innebär att andra möjliga scenarier vilka förmodligen har en annan inverkan på utrymningen inte fås med. Det valdes att placera branden på denna plats för att ett kraftigare och häftigare brandförlopp inte förväntas ske någon annanstans i lokalen. Genom att använda värsta troliga brand kommer kriterier som satts upp för tid till kritiska förhållanden uppnås snabbare. Detta gör således att tiden som finns tillgänglig för utrymning av lokalen blir den kortaste möjliga inom rimlig mån. I känslighetsanalysen testas ett annat angreppssätt av brandens placering där branden placeras mellan utgång 1 och 3, vilket ansåts förhindra passage ut ur dessa. Innebörden av denna placering är att det finns färre utgångar tillgängliga för utrymning och scenariot skulle kunna medföra värre förutsättningar för utrymning än vad en kraftig brand som ej blockerar utgångar ger. En brand placerad här kan inte förväntas ge samma häftiga brandförlopp som då dess ursprung är vid sofforna men samma tillväxt används för att kunna undersöka tillgängliga utrymningsvägar som en enskild parameter.

Den dimensionerade branden uppskattades bestå till 70 % av trä och 30 % polyuretanskum. Denna vägning har påverkat hur en del parametrar tagits fram, exempelvis har detta spelat in när maxeffekten och soot yield tagits fram. Det har dock visats i känslighetsanalysen att denna vägning inte har någon större inverkan på slutresultatet och därmed kan osäkerheten kring detta antagande anses låg.

Vid FDS-simuleringarna har en del förenklingar av matsalens geometri gjorts. I simuleringarna har geometrin liknats med ett rätblock. Rummets volym har i största möjliga mån liknats med den verkliga men då detaljer som exempelvis pelare eller balkar inte tas med kan turbulens försvinna. En annan osäkerhet i att förenkla geometrin är att det verkliga flödet av brandgaser inte tas hänsyn till. Balkarna samlar tillsammans upp rök mellan sig och detta gör att brandgaslagret kan få olika nivåer i rummet vilket genomförda simuleringar inte får med. Beroende på brandens placering och om hänsyn tagits till balkarnas placering skulle detta kunna innebära att kritiska förhållanden uppnåts tidigare på specifika platser i rummet.

Angående kvalitén och giltigheten i de FDS-simuleringar som utförts har kontroll av utdata och effekt av cellreducering gjorts. Det upptäcktes att de parametrar som undersöks påverkas i olika mån vid en reducering av cellstorleken. Särskilt känslig är detektoraktiveringstiden vilket tros bero på den spridningsfunktion som använts i FDS och här kan kritik riktas mot kvalitén i genomförda simuleringar. Någon egentlig lösning på detta problem har dock inte identifierats utan problemet ses som en brist i programmet. Undersökning av nodkonvergens har inte heller kunnat genomföras då det hade inneburit ytterligare en cellreducering vilket den tillgängliga datorkraften inte varit tillräcklig för. Detta innebär att det finns möjlighet att beskriva scenariot i matsalen bättre med FDS, om datorkraften finns tillgänglig. Kontrollen av utdata har i övrigt gjorts efter tumregler från litteratur och vid denna hittades inga direkta felaktigheter.

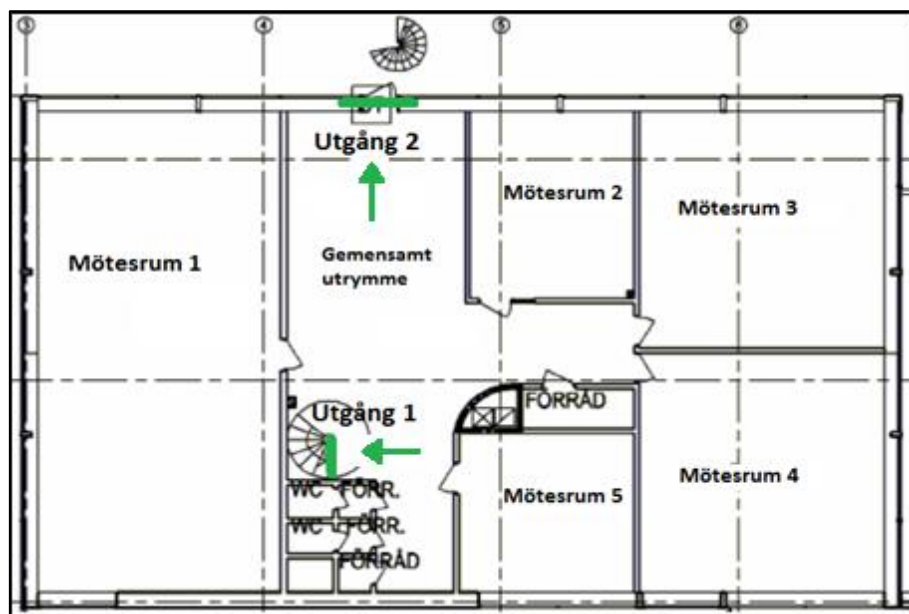
Den analytiska utvärderingen av utrymningssäkerheten i matsalen utfördes i utbildningssyfte då utrymmet tidigt konstaterades uppfylla förenklad dimensionering enligt de utvalda delarna vilket bedöms acceptabelt. Det är dock intressant att utrymningssäkerheten vid analytisk utvärdering kan anses som bristfällig trots omfattande diskussion kring om indatavariabler varit för konservativa. Vid utvärderingen kunde dessutom inget fungerande och applicerbart åtgärdsförslag hittas. Som slutsats väljs därför att falla tillbaka på att utrymmet uppfyller förenklad dimensionering. Utrymmet klarar av de uppsatta lagkrav som finns men en debatt kan dock föras om det är etiskt försvarbart att inte ta hänsyn till de resultat som framkom vid den analytiska utvärderingen.

9 Brandscenario 3 – Övre konferensdelen

Detta kapitel beskriver brandscenario 3 i övre konferensdelen. Tiden som åtgår för att fullborda utrymning kommer att jämföras med den tid det tar till kritiska förhållanden kan uppstå.

9.1 Beskrivning

Denna del av Arken Hotell består av ett gemensamt utrymme omgärdat av fem stycken olika stora mötesrum, se stycke 2.3.1. Två spiraltrappor utgör utrymningsvägar markerade som utgång 1 respektive utgång 2 i Figur 9-1.



Figur 9-1 - Skiss över den övre konferensdelen med utrymningsvägar markerade.

Scenariot som undersöks är att det börjar brinna i fåtöljerna i det gemensamma utrymmet, se Figur 9-2, eftersom detta anses vara ett brandscenario av värsta troliga karaktär vilket motiveras nedan.



Figur 9-2 - Fåtöljerna där branden startar syns till höger. Dörren till utomhusspiraltrappan som utgör den ena utrymningsvägen syns med en röd lapp på.

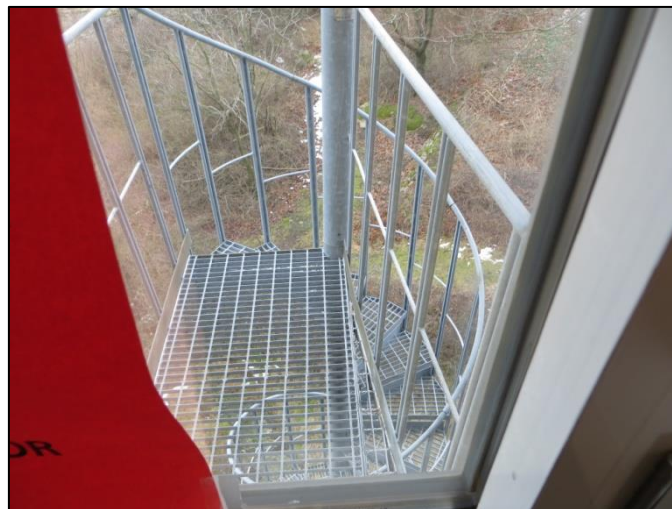
Kritiska förhållanden kan uppstå på två olika sätt. Det kan dels ske genom att brand uppstår på plan 3 men även genom rök/brand-spridning från konferensdelen på plan 2 genom inomhusspiraltrappan, som utgör en av utrymningsvägarna.



Figur 9-3 - Möblemanget utanför den inglasade spiraltrappan på plan 2, som utgör väg till utrymningsväg.

Vid besöket var glasdörren mellan konferensdelen på plan 2 och spiraltrappan som leder till plan 3 uppställd vilket gör att rökspridning mellan våningarna ej kan uteslutas.

Om branden startar på plan 3 bland fåtöjlerna i det gemensamma utrymmet kan utrymningsvägen till spiraltrappan, se Figur 9-4, på utsidan av huset blockeras. Om branden startar i det gemensamma utrymmet på plan 2 kan istället spiraltrappan som förbinder våningarna blockeras.

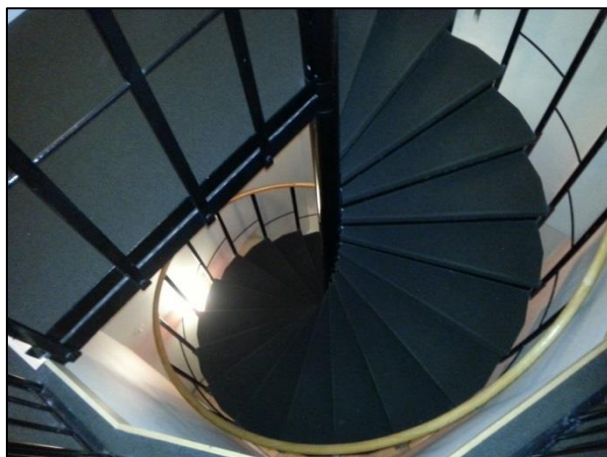


Figur 9-4 - Utomhusspiraltrappan från övre konferensdelens gemensamma utrymme.

Brandbelastningen är likvärdig i de gemensamma utrymmena på båda planen men eftersom rökfyllnaden av övre konferensdelen väntas ske snabbare i fallet med brandstart på plan 3 väljs ett brandscenario på detta plan för vidare analys.

Anledningen att branden antas starta i det gemensamma utrymmet är att detta ger ett hastigare brandförlopp, på grund av typen av brännbart material, än om branden startar i mötesrummen samt att den ena utrymningsvägen blockeras. Att branden antas starta i just fåtöjlerna beror helt enkelt på att det endast är i fåtöjlernas närhet som det finns brännbart material i större utsträckning. Att scenariot är så specifikt beskrivet ses inte som ett problem eftersom resterande del av rummet inte är lämpligt för möblering på grund av rummets geometri och det kan därmed antas att andra halvan av rummet kommer förbli utan möblering även i framtiden. Detta scenario innebär att samtliga besökare måste utrymma genom inomhusspiraltrappan, se Figur 9-5, och anses vara ett värsta troliga scenario.

Personantalet på våningen varierar beroende på uppställningen av konferensmöblerna i mötesrummen, vilket behandlas senare i analysen.



Figur 9-5 - Inomhusspiraltrappan som förbinder den övre konferensdelen med plan 2.

Det finns en handbrandsläckare och även en brandpost i det gemensamma utrymmet som kan tas i bruk vid brand. Dessa bör kunna släcka en brand i det tidiga skedet och anses vara väldigt positivt för säkerheten. Det går dock inte att förlita sig på att användning av dessa sker vilket medför att ingen hänsyn tas till detta framöver.

9.2 Angreppssätt

För att veta om tillgänglig tid för utrymning är tillräcklig krävs kännedom om hur lång tid utrymningen tar samt hur lång tid det tar tills *kritiska förhållanden*, definierade i Tabell 4-1, uppstår i utrymmet. Om utrymningstiden (se 4.8) är längre än tiden till kritiska förhållanden krävs åtgärder.

Först tas en brandtillväxtkurva fram som anses täcka in de flesta möjliga brandförloppen i lokalen. Denna effektutvecklingskurva används sedan i kombination med rimligt beräkningsverktyg för att beräkna tiden till kritiska förhållanden. Den totala utrymningstiden tas fram med hjälp av simuleringar i Simulex, framräknande av detektionstid samt resonemang kring besluts- och reaktionstid.

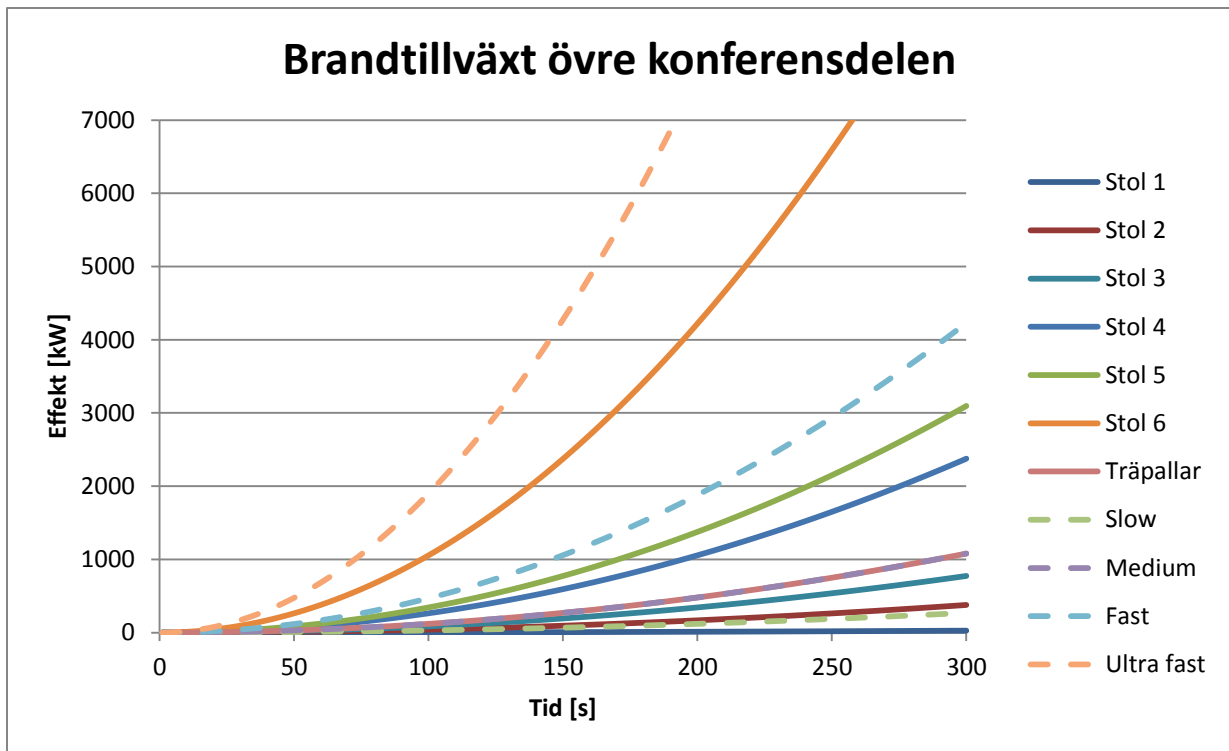
9.3 Brandens tillväxt och maxeffekt

Nedan följer framtagning av brandens tillväxt och maxeffekt.

9.3.1 Tillväxt

Det brännbara materialet i det gemensamma utrymmet består främst av ett antal stoppade fåtöljer av trä men även kuddar, träbord och stoppade sittpallar förekommer. Materialet uppskattas bestå av 70 % trä och 30 % polyuretanskum. Tillväxthastigheten, α , för de olika möblerna kan variera med dess uppbyggnad. För vissa liknande möbler kan en tillväxthastighet på $0,1055 \text{ kW/s}^2$ uppnås, vilket kategoriseras över tillväxthastigheten *fast*, medan vissa möbler har en mycket låg tillväxthastighet, under tillväxthastigheten *slow*, på $0,0003 \text{ kW/s}^2$.

Nedan i Figur 9-6 redovisas en rad olika tillväxthastigheter för material och möbler som kan liknas med de i övre konferensdelen.



Figur 9-6 - Jämförelse mellan olika möjliga bränders tillväxthastighet och standardvärden, för referenser se C.3.

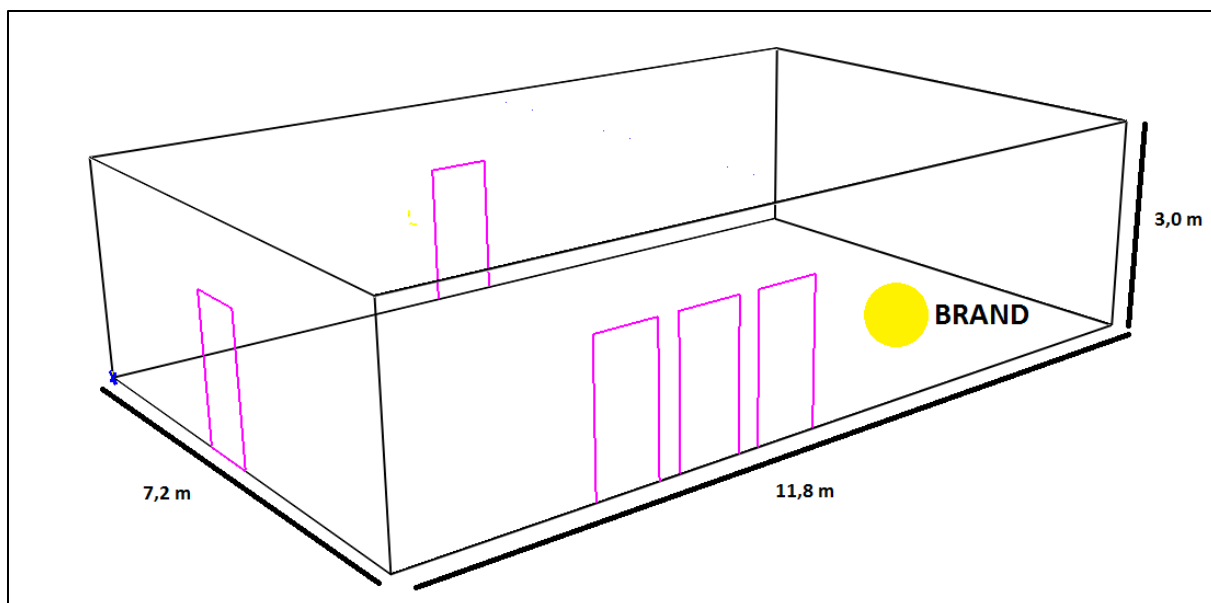
Brandens tillväxthastighet ansätts till standardvärdet *fast* och denna täcker in majoriteten av tänkbara brandtillväxter. Att värdet för stol 6 är högre än *fast* tas ingen hänsyn till eftersom risken då anses stor att branden överskattas.

9.3.2 Maxeffekt

För att kontrollera om den maximala effekten som kan uppstå i rummet inte är avgörande för när kritiska förhållanden uppstår görs en överslagsräkning av möjlig maxeffekt. Då maxeffekt tas fram ansätts att möblerna i rummet upptar en yta av ca 8 m². Ett absolut minsta värde på möblernas genomsnittliga maxeffekt per ytenhet bedöms vara 400 kW/m² (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40). Detta innebär att en maxeffekt på över 3,2 MW bör kunna uppstå. Då utrymmet är litet och kritiska förhållanden väntas uppstå tidigt i brandförloppet på grund av den höga tillväxthastighet som valts bedöms en kontroll av brandens syreförbrukning ej nödvändig i nuläget. En kontroll av detta kan senare ske då tid till kritiska förhållanden tagits fram.

9.4 Tid till kritiska förhållanden

Simuleringar genomförs i programmet CFAST, ett program som bygger på en tvåzonsmodell, se teori i A.2. CFAST hanterar endast volymer i form av rätblock vilket gör att det gemensamma utrymmets geometri förenklas. Rummets bredd, längd och höjd ändras för att passa in i programmet. Bland annat används en medelhöjd för rummet då denna i verkligheten varierar mellan 2,5 och 3,5 m. Detta minskar kontaktytan något mellan brandgaslagret och taket men eftersom rummets volym bibehålls anses förenklingen inte påverka resultatet väsentligt. De slutgiltiga måtten blir de som presenteras i Figur 9-7. Övrig indata till simuleringar i CFAST kan ses i D.3.1.



Figur 9-7 - Rummets geometri i CFAST.

Simuleringar körs med både öppna och stängda dörrar till de kringliggande mötesrummen eftersom de kan förväntas vara både stängda och öppna beroende på hur utrymning sker. Vid jämförelse i Tabell 9-1 observeras att en ändring av huruvida dörrarna är öppna eller stängda ej påverkar tiden till kritiska förhållanden i någon större utsträckning och skillnaden anses därför försumbar. I simuleringen med öppna dörrar är dörrarna öppna till det fria istället för till andra rum.

Strålning mäts vid spiraltrappan som är belägen inomhus eftersom alla på våningsplanet kommer behöva utrymma nedför denna trappa i det tänkta scenariot. Den ena strålningsmätaren är riktad mot taket och den andra mot branden och dessa är placerade på höjderna 1,7 meter och 1,6 meter över golvet.

Ingen förbrinntid används i simuleringarna trots att en sådan ofta existerar i verkligheten. Dock är det inte alltid som en förbrinntid uppträder vilket gör att detta antagande anses konservativt men inte orimligt.

Tabell 9-1 - Sammanställning av tider som används vid beslut av tid till kritiska förhållanden i den övre konferensdelen. Rödmarkerade fält utgör de kriterium som tillsammans frambringar kritiska förhållanden.

| Kriterium | Tid till kriterium fallerar, öppna dörrar [s] | Tid till kriterium fallerar, stängda dörrar [s] |
|------------------------------------|---|---|
| 1. Brandgaslagrets höjd | 80 | 80 |
| 2. Siktbarhet 2 m ovan golv | 80 | 70 |
| 3. Strålning | 190 | 170 |
| 4. Temperatur | 90 | 80 |
| Resultande tid till kritisk | 80 | 80 |

Eftersom resultaten inte skiljer sig mellan stängda och öppna dörrar anses denna påverkan minimal. Kritiska förhållanden uppnås i båda fallen av kombinationen att brandgaslagrets höjd understiger 1,9 meter och att sikten i rummet samtidigt understiger 5 meter. I båda simuleringarna sker detta efter ca 80 sekunder se Tabell 9-1 nedan.

Resultande tid till kritiska förhållanden uppträder i utrymmet fastställs till 80 sekunder. Vid denna tid är effekten ca 300 kW enligt den definierade effektutvecklingskurvan. Effekten anses som låg och av detta kan följande slutsatser dras:

- Den ansatta maxeffekten anses inte påverka tid till kritiska förhållanden.
- Utförlig analys av syre- och bränsleförbrukning anses inte nödvändig då brandens effekt är låg och kritiska förhållanden uppstår tidigt i brandförloppet.

9.5 Utrymningstid

Den sammanlagda utrymningstiden beräknas nedan.

9.5.1 Varseblivningstid

Varseblivningstiden utgörs av tiden till detektoraktivering eftersom utrymningslarmet kommer starta samtidigt som detektorerna reagerar. För att beräkna tid till detektion placeras rökdetektorer i takhöjd på olika ställen i rummet i CFAST-simuleringen. En vanlig metod för simulering av rökdetektorers aktiveringstid i CFAST är att anta att de aktiverar när temperaturen i dess omgivning höjts 5 grader. Detta har visat sig stämma väl överens med resultat från experiment (Peacock, et al., 2013, p. 57). Rökdetektorerna ger alla samma tid till aktivering vilket inte är förvånande eftersom ett homogent brandgaslager i hela rummet alltid uppstår i CFAST. Denna förenkling anses acceptabel då rökdetektorer är belägna rakt ovanför möblemanget där branden startar vilket inte ger några stora transportavstånd för brandgaser. Tiden till detektoraktivering blir 14 sekunder.

9.5.2 Besluts- och reaktionstid

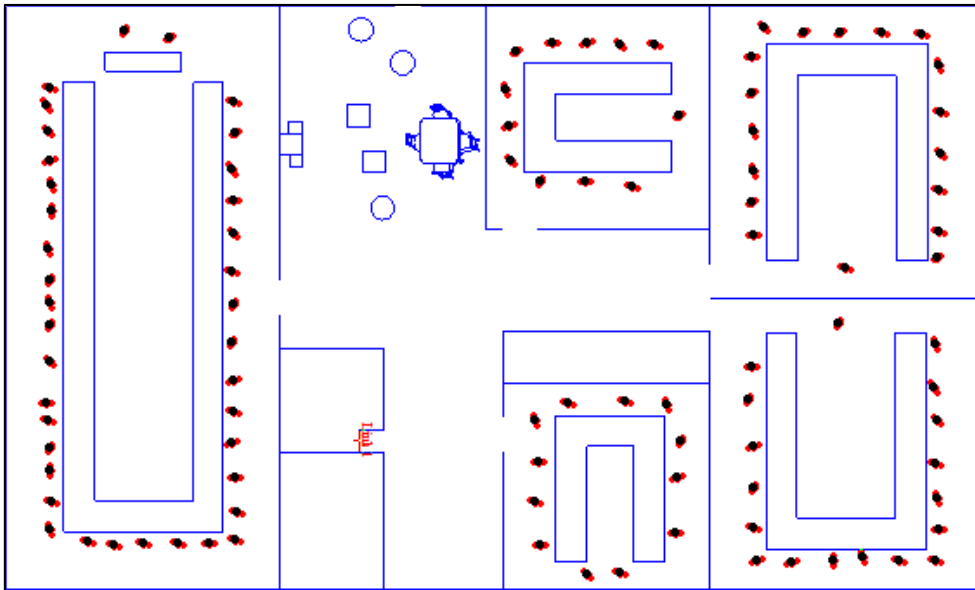
Personer i övre konferensdelen bör vara vakna och medvetna om sin omgivning eftersom lokalerna används till konferenser och möten. Att folk sitter i möten skulle kunna medföra en ovilja att avbryta verksamheten för att inleda utrymning. Alkoholkonsumtion bör inte äga rum här, åtminstone inte i större omfattning. Utrymmena är lätta att överblicka och orienterbarheten är god baserat på skyltning av nödutgångar. I den största möteslokalen finns en larmklocka och personer som befinner sig i de mindre mötesrummen bör tydligt kunna höra larmklockan belägen i det gemensamma utrymmet. Personer med rörelseförhinder antas inte befinna sig i denna del av byggnaden eftersom enda vägen som leder upp är spiraltrappan. Lokalerna kan ses som *mindre lokaler* och tiden för beslut och reaktionstid ges värdet 1 minut (Frantzich, 2001, p. 101) då inga anledningar till behov av extra beslutstid identifieras.

9.5.3 Förflyttningstid

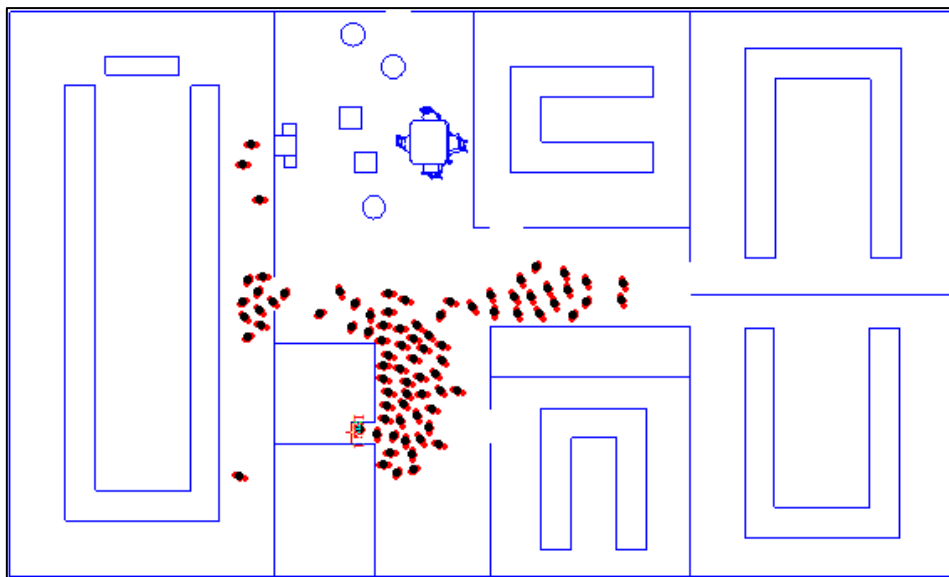
Simuleringar genomförs i Simulex för att uppskatta förflyttningstiden. Möteslokalerna rymmer olika antal människor beroende på vad lokalerna används till. Exempelvis kan det största mötesrummet hysa uppåt 70 personer vid biovisning. Det vanligaste är dock att lokalen används till möten, ofta med U-bords formation, och då ryms 38 personer. Enligt Arken Hotells hemsida kan möteslokalerna med U-bords formationer hysa 98 personer totalt (Arken Hotell, 2014). Detta antal är det som används i simuleringarna, Figur 9-8, eftersom det bedöms representera ett värsta men fortfarande troligt fall. Utgången mot spiraltrappan på husets utsida används inte i simuleringarna då en brand anses förhindra användning av denna. Personernas egenskaper i Simulex är anpassade till hotellets besöksstatistik, mer om detta anges i D.4.

Några förenklingar görs i simuleringarna. Istället för att simulera hur personerna tar sig hela vägen ut till det fria så avslutas simuleringen när personerna går ut ur den inglasade delen som omger spiraltrappan på andra våningen eftersom utrymnande personer anses vara utom fara när de lyckats ta sig hit. Eftersom spiraltrappor inte finns att tillgå i Simulex används istället en rak 10 meter lång

trappa. Gångvägen i spiraltrappan anses vara något kortare, ca 7 meter. Anledningen till att sträckan medvetet överskattats är för att kompensera för att de utrymmade personerna förmodas gå långsammare i en spiraltrappa än i en rak. Simuleringen visar att köbildning uppstår vid spiraltrappans start, se Figur 9-9. I simuleringen tar det 183 sekunder för samtliga personer att utrymma.



Figur 9-8 - Tredje våningens utformning i Simulex med U-bords formation innehållande 98 personer.



Figur 9-9 - Under utrymningen blir det köbildning vid spiraltrappan. Detta är en orsak till den långa utrymningstiden.

9.6 Tid för säker utrymning

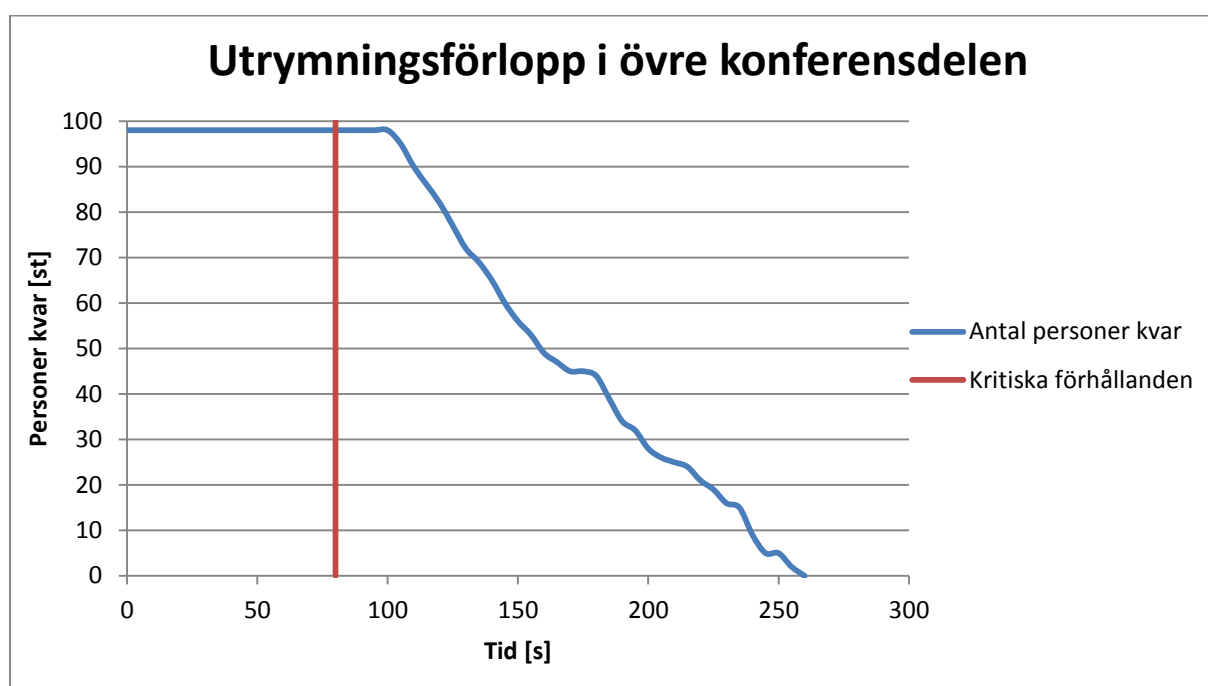
Kritiska förhållanden uppstår redan efter 80 sekunder vilket kan jämföras med den totala tiden för utrymning som blir 257 sekunder när varseblivningstiden, besluts- och reaktionstid och förflyttningstiden summerats. Vid jämförelse konstateras att kritiska förhållanden uppstår ca 3 minuter innan alla har lyckats utrymma och åtgärder bedöms därför nödvändiga. En sammanfattning av

ingående tider kan ses i Tabell 9-2 och en grafisk presentation av utrymningsförloppet i den övre konferensdelen i Figur 9-10.

Tabell 9-2 - Sammanfattning av tider som används vid bedömning av utrymningsituationen i övre konferensdelen. Rödmarkerat fält utgör tid som krävs för utrymning och grönmarkerat fält är den tillgängliga tiden för utrymning innan kritiska förhållanden uppstår.

| Karakteristisk tid | Tid [s] |
|---------------------------|-------------------------|
| Varseblivningstid | -14 |
| Besluts- och reaktionstid | -60 |
| Förflyttningstid | -183 |
| Utrymningstid | -257 |
| Tillgänglig tid | +80 |
| Marginal | -180¹ |

¹Avrundat värde



Figur 9-10 - Antal personer som befinner sig i övre konferensdelen under utrymningstiden.

9.7 Utvärdering av simuleringar i CFAST

Programmet CFAST är validerat för vissa förhållanden mellan de ingående rummens höjd, bredd, längd och effektutveckling, se bilaga A.2. Rummet som simuleras i detta fall uppfyller samtliga av dessa krav. Vid experiment där dessa förhållanden uppfylls ger CFAST tillfredställande resultat för övre brandgaslagrets höjd (Nystedt & Frantzich, 2011).

Då värdena för H/C och C/CO₂, vilka är viktiga parametrar för siktmodelleringen, tas fram på det sätt som det görs i denna rapport överensstämmer värden i CFAST för sikt väl med resultat från försök. Detta förutsätter dock att röken inte transporterats en lång väg först då detta leder till att sotpartiklar fastnar på ytor (Hultquist, 2000, p. 7). I det aktuella scenariot har röken inte transporterats en lång väg, vilket ökar tillförlitligheten i bedömningarna.

I CFAST-simuleringarna uppstår kritiska förhållanden då kriterierna för brandgaslagrets höjd och sikten i utrymnet bryts. Eftersom resultaten anses giltiga för båda kriterierna enligt ovan nämnda resonemang så bedöms simuleringen i stort också vara giltig. Dock bygger programmet fortfarande på de fundamentala förenklingar som anges i A.2.

9.8 Känslighetsanalys

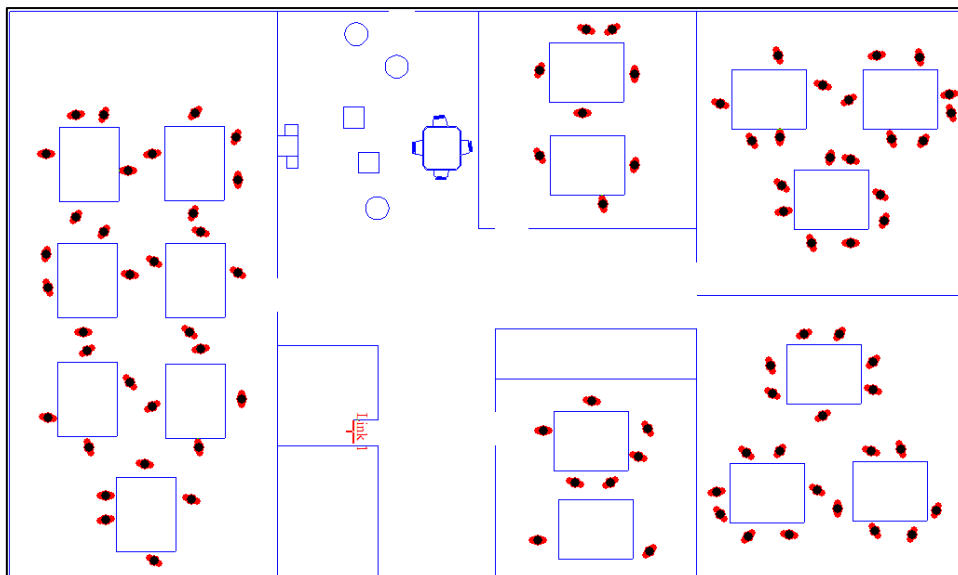
Eftersom kritiska förhållanden uppnås långt före utrymning kan fullbordas ses ett behov av att undersöka om ett annat resultat erhålls med mindre konservativa ingångsvärden. Till att börja med antas att även om *alla* ingångsvärden byts mot mindre konservativa kommer fortfarande kritiska förhållanden uppstå snabbare än en utrymning kan ske. Om detta visar sig stämna styrker detta att åtgärder behöver vidtas och en komplett känslighetsanalys blir överflödiga.

Samma CFAST-simuleringar genomförs men med tillväxthastigheten *medium*, $0,012 \text{ kW/s}^2$ istället för *fast*. I simuleringarna ändras också värdena för H/C och C/CO₂ mot värden för trä, se D.3.1, eftersom trä sotar mindre än polyuretan. Detta medför att tiden till kritiska förhållanden förändras från 80 sek till 110 sek, se Tabell 9-3, med både stängda och öppna dörrar. Precis som vid tidigare simuleringar uppnås kritiska förhållanden då brandgaslagret sjunker under 1,9 meters höjd och sikten i rummet samtidigt understiger 5 meter.

Tabell 9-3 - Tid till då kriterium för kritiska förhållanden bryts vid användning av mindre konservativa värden. Rödmarkerade fält utgör de kriterium som tillsammans frambringar kritiska förhållanden.

| Kriterium | Tid till kriterium fallerar, öppna dörrar [s] | Tid till kriterium fallerar, stängda dörrar [s] |
|---------------------------------------|---|---|
| 1. Brandgaslagrets höjd | 110 | 110 |
| 2. Siktbarhet 2 m ovan golv | 110 | 110 |
| 3. Strålning | 340 | 290 |
| 4. Temperatur | 160 | 150 |
| Resultierende tid till kritisk | 110 | 110 |

Möbleringen av möteslokalerna på tredje våningen kan utformas på flera olika sätt. ”Öar” som bordsformation, se Figur 9-11, innebär att lokalerna rymmer 88 istället för 98 personer och utrymmande personer får en rakare gångväg mot spiraltrappan. Denna möblering sänker förflyttningstiden från 183 sekunder till 164 sekunder.



Figur 9-11 – Tredje våningens utformning i Simulex med öar som bordsformation innehållande 88 personer.

Ett mindre konservativt antagande vore att det finns en förbrinntid på en minut men som ändå inte förlänger detektionstiden (varseblivningstiden) då detektion kan tänkas ske under denna tid. Med dessa avsevärt mindre konservativa antaganden blir tiden till kritiska förhållanden 170 sekunder och den totala utrymningstiden 238 sekunder. Detta visar att även med mindre konservativa antaganden så

överstiger utrymningstiden den tillgängliga tiden för utrymning med över en minut. Detta betyder att en fullständig känslighetsanalys blir överflödigt och det styrker att åtgärder behöver vidtas. En sammanfattning av tiderna ges i Tabell 9-4 nedan

Tabell 9-4 - Sammanfattning av ingående tider för bedömning av utrymningssäkerheten i den övre konferensdelen. Mindre konservativa värden har använts. Rödmarkerat fält utgör tid som krävs för utrymning och grönmarkerat fält är den tillgängliga tiden för utrymning innan kritiska förhållanden uppstår.

| Karakteristisk tid | Tid [s] |
|---|------------------------|
| Varseblivningstid | -14 |
| Besluts- och reaktionstid | -60 |
| Förflyttningstid | -164 |
| Utrymningstid | -238 |
| Tid till kritiska förhållanden i CFAST | +110 |
| Förbrinntid | +60 |
| Total tid till kritiska förhållanden | +170 |
| Marginal | -70¹ |

¹Avrundat värde

9.9 Åtgärder

I Figur 9-10 framgår tydligt att det inte går att skapa säker utrymning endast genom åtgärder som kortar ner förflyttningstiden eftersom utrymning inte ens hinner påbörjas innan kritiska förhållanden uppstår. Detta innebär att åtgärder mot branden krävs för att åstadkomma säkra utrymningsförhållanden om folk fortfarande skall utrymma genom det gemensamma utrymmet. Om inte detta görs behöver alternativa utrymningsvägar åstadkommas från samtliga mötesrum. Sådana åtgärder förkastas då de framstår som allt för omständiga, kostsamma och icke estetiskt tilltalande för byggnadens utseende. Nedan följer ett antal åtgärdsförslag samt utvärdering av dessa.

9.9.1 Sprinkler

Installation av sprinkler kan tänkas förlänga tiden till kritiska förhållanden och därmed ge utrymmande personer ytterligare tid att sätta sig i säkerhet. Utvärdering av åtgärden sker genom att undersöka tid till sprinkleraktivering med hjälp av simulering i CFAST, enligt beräkningsgång i A.8. Sprinklerdata som används är en aktiveringstemperatur på 57 °C och ett RTI-värde på 30 m^{1/2}s^{1/2}. Detta motsvarar en snabbt aktiverande sprinkler av typ ”Ultra fast response” (Bek, 2009, pp. 10-13). Valet av en snabbt aktiverande sprinkler motiveras av att tiden till kritiska förhållanden är mycket låg. Aktiveringstiden blir i denna simulering 115 sekunder vilket är längre än tiden till kritiska förhållanden och lösningen är därmed inte tillfredställande. Sprinkleraktivering är generellt sett svårt att uppnå innan kritiska förhållanden enligt analytisk dimensionering för små utrymmen. Enligt förenklad dimensionering skulle sprinkler innebära att ”maximalt gångavstånd till närmsta utrymningsväg” får ökas med en tredjedel, vilket innebär att 40 m istället för 30 m anses ok. Eftersom aktuellt gångavstånd är 48 m är sprinkler som lösning för övre konferensdelen varken godkänt enligt analytisk utvärdering eller förenklad dimensionering.

9.9.2 Mekanisk brandgasventilering

Vid installation av mekanisk brandgasventilering önskas tid till kritiska förhållanden förlängas genom att hålla brandgaslagrets höjd ovanför kritisk höjd. Den aktuella lokalen är dock liten och takhöjden anses för låg för att tillfredsställande brandgasventilering ska kunna ske. Den låga takhöjden kommer omöjliggöra att brandgaslagrets höjd hålls på en jämn nivå eftersom turbulens kommer uppstå och omblandning ske. Tillgången på tilluft är dessutom bristande och mekanisk brandgasventilation bedöms inte som en applicerbar lösning.

9.9.3 Passiva åtgärder

Genom att avlägsna det brännbara materialet i form av soffor och möbler i det gemensamma utrymmet sänks brandbelastningen till ett minimum och därmed reduceras sannolikheten för ett kraftigt brandförlopp i denna lokal. Det finns dock en risk att detta är en oönskad lösning för verksamheten då utrymmet idag fungerar som uppehållsutrymme. Ett alternativ är att ha möbler utan stoppning i ett brännbart material. Ett problem med lösningen är att den ej kan ses som permanent eftersom möbleringen kan ändras i framtiden.

I Tabell 6-3 konstateras att ”maximalt gångavstånd till närmsta utrymningsväg” kraftigt överstigs enligt reglerna för förenklad dimensionering. Om det gemensamma utrymmet byggs om för att uppfylla kraven på en utrymningsväg kommer denna sträcka istället endast utgöras av den längsta sträckan inom ett mötesrum fram till det gemensamma utrymmet och kravet kommer uppfyllas. För att utrymmet skall kunna klassas som en utrymningsväg behöver det bland annat byggas om till en egen brandcell vilket betyder att väggarna behöver uppfylla EI60-krav (Boverkets byggregler, 2011, p. 74). Ytskikten på väggarna är idag okända men skulle också behöva utvärderas om utrymmet skall kunna klassas som en utrymningsväg.

Med denna lösning uppstår ett behov av att kontrollera så att samtliga personer i ett mötesrum hinner utrymma till det gemensamma utrymmet vid brandstart i ett mötesrum istället. En av simuleringarna i Simulex visar att förflyttningstiden är under 30 sek för samtliga 38 personer i det största mötesrummet vid U-bordskonfiguration vilket är den lokal med längst tid. Detta bör kunna ske utan problem eftersom personer i brandrummet direkt kan se eller lukta en brand i det egna vistelserummet. Dörrstängare på samtliga dörrar till mötesrummen rekommenderas för att förhindra spridning av brandgaser till det gemensamma utrymmet vilket också är ett krav vid förenklad dimensionering (Boverkets byggregler, 2011, p. 45).

9.10 Reflektion och diskussion

Brandscenariot som utreds är väldigt specifikt beskrivet och beror på att det bedöms som mycket värre än alla andra tänkbara scenarier i denna byggnadsdel. Det anses dock inte vara orimligt utan i högsta grad möjligt vilket gör det väl värt att beakta. Utrymningstiden överstiger tiden till kritiska förhållanden med påfallande stor marginal. Grundproblemet är att många människor behöver utrymma genom ett litet utrymme där brand med hög effekt och kort tid till kritiska förhållanden kan uppstå. Antaganden som görs vid beräkningar och modellering har alltid betydelse. I detta scenario har dock påvisats att även om flera parametrars värden byts mot sådana som ger ett mindre allvarligt förlopp så uppfylls inte skyddsmålen och därmed anses inte osäkerheterna ha avgörande betydelse.

Enkla och effektiva åtgärder för denna del av byggnaden är något som tyvärr inte har identifierats. En mobil boendesprinkler i det gemensamma utrymmet i anslutning till möblemanget är en lösning som diskuterats eftersom det skulle vara billigt att installera och innebära små ingrepp i lokalerna. En sådan skulle troligtvis mildra brandförloppet avsevärt och eventuellt avbryta det. Information som stöder giltigheten av en sådan lösning har inte funnits och därför kan inte denna åtgärd föreslås.

En giltig lösning med hjälp av en aktiv brandteknisk installation har inte kunnat påvisas vilket gör att ingrepp i det passiva brandskyddet anses nödvändigt. Ett förslag om brandcellsindelning i kombination med att brännbart material avlägsnas är istället den bästa identifierade lösningen som dessutom uppfyller flera av de viktigaste kraven vid förenklad dimensionering enligt Boverkets nuvarande byggregler.

10 Brandscenario 4 – Bowlinghallen

Nedan beskrivs den identifierade problematiken vid bowlinghallen, påverkan på utrymning samt möjliga åtgärder.

10.1 Beskrivning

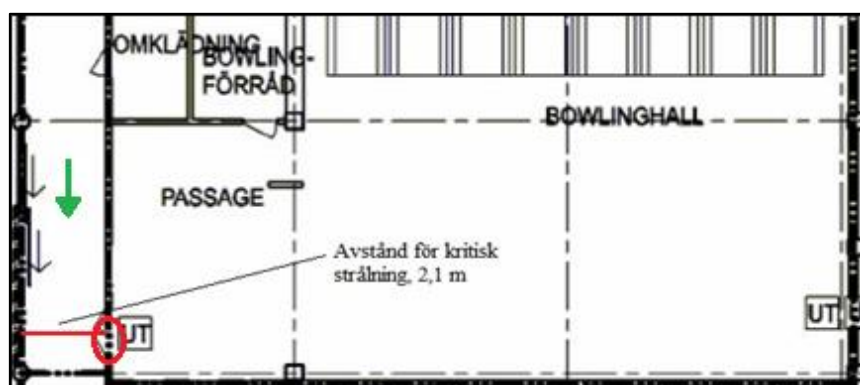
Utrymning ut ur bowlinghallen anses inte vara problematisk då väldigt få personer vistas i lokalen samt att två oberoende utrymningsvägar finns. Istället undersöks hur en brand i bowlinghallen kan påverka utrymning ut från övriga lokaler. Bowlinghallen väljs att undersökas närmare på grund av att det är en väldigt hög brandbelastning som kan medföra ett så pass kraftigt brandförlopp att utrymning i närliggande utrymningsväg förhindras. Anledningen är att dörren, se Figur 10-1, ut mot utrymningsvägen mellan matsal och bowlinghallen innehåller glasparti som kan medföra att utrymmande personer utsätts för oacceptabla strålningsnivåer, se Figur 10-2. Dörren är dessutom endast klassad E30 och kan därför antas öka i temperatur på ett oacceptabelt vis. Problematiken kan sammanfattas enligt följande: Att utifrån en kritisk strålning mot utrymmande personer i korridoren relatera detta till en temperatur på dörren och vidare bedöma rimligheten för att dörren uppnår denna temperatur.



Figur 10-1 - Bild på dörren till bowlinghallen

10.2 Angrepssätt

För att kunna möjliggöra beräkningar för avgörande kring huruvida utrymning försvåras i utrymningsvägen måste en kritisk strålningseffekt bestämmas. Denna sätts med utgångspunkt från de kritiska förhållanden som definierades under avsnitt 4.3. En kritisk strålning på 10 kW/m^2 bedöms som rimlig då denna ger kritiska förhållanden för personer som passerar i korridoren vid utrymning och endast väntas exponeras under en kort tid. Var strålningen ska ansättas är även det ett beslut som måste tas då strålningen beror på avståndet. Här väljs att ansätta den kritiska nivån i borte delen av korridoren se Figur 10-2. Detta ger nämligen ett fall som gör att hela korridoren stängs av för utrymning vilket ringar in problematiken på bästa sätt.



Figur 10-2 - Bild som beskriver det kritiska avstånd som ansätts för strålningsberäkningar. Den gröna pilen redovisar hur utrymnande personer kan röra sig förbi den strålande dörren vid utrymning från andra lokaler, markerad med röd ring.

10.3 Beräkningar

Beräkning utförs för att uppskatta vilken temperatur på dörren som motsvarar den kritiska strålningen tidigare definierad under 10.2. Ett antal förenklingar behöver dock göras och dessa följer i punktform nedan.

- Hela dörren anses ha en homogen temperatur.
- Hela dörren anses stråla. Egentligen är strålningen förmodligen starkast från glaspartierna.

Strålning beräknas enligt metodik för platta till punkt beskriven i A.5. Dörrmåttan i Figur 10-1 används och emissionstalet antas vara 1.

10.4 Resultat och övriga reflektioner

Resultatet från strålningsberäkningarna visar att kritisk strålningsnivå uppnås vid en dörrtemperatur på 660 °C , se C.4.1. Det som återstår att diskutera är hur rimligt det är att dörren uppnår denna temperatur. Då brandförlopp uppnår temperaturer kring $500\text{-}600 \text{ °C}$ anses ofta övertändning ha skett (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 18) och detta leder till att en del av bedömningen får göras angående hur rimlig en övertändning anses i lokalen. Brandbelastningen är väldigt hög och lokalen används idag i stort sett som ett lager vilket kan leda till kraftiga brandförlopp innefattande övertändning. Dessutom kan brandens placering variera, en brand längre in i lokalen kan ge hög temperatur på dörren på grund av övertändning. Medan en brand närmare dörren i exempelvis tvättvagnarna kan ge hög temperatur på grund av direkt flampåverkan då flammor i regel har temperaturer kring $700\text{-}1200 \text{ °C}$ (Bengtson, et al., 2005, p. 235). Ur ovanstående resonemang anses en dörrtemperatur på 660 °C vara trolig vid en eventuell brand i bowlinghallen och en kritisk situation har därför identifierats.

Vid besöket observerades även att den andra nödutgången från bowlinghallen, se Figur 10-3, stod öppen ut mot utrymningsvägen som leder ned mot garderoben.



Figur 10-3 - Bild på den andra nödutgången i bowlinghallen. Denna står öppen mot utrymningsväg.

Detta innebär att brandcellens funktion ej bibehålls och rökspredning direkt ut i utrymningsväg är att vänta vid eventuell brand. Även om utrymningsvägen anses användas i liten utsträckning kan rök spridas vidare på grund av den otäta genomföringen som omnämns i 3.2.1. Detta kan resultera i en rökfylld garderob och vidare även rökspredning ut i receptionen då dessa ligger i direkt anslutning, dock avskilda via brandcellsgräns. Ytterligare en brist har därmed identifierats.

10.5 Åtgärder

För att minska den strålning som dörren avger vid uppvärmning rekommenderas att åtgärder görs för sänka dörrens temperatur, detta på grund av strålningens kraftiga temperaturberoende. Detta görs enklast och förmodligen mest kostnadseffektivt genom att ersätta den nuvarande dörren i klass E30 med en dörr minst i klass EI60 vilket är lägsta brandklass för avskiljande konstruktion i BBR för Br1-byggnader (Brandteknik, 2012, p. 138). En dörr som även är klassad för isolering, I, kommer inte nå kritisk temperatur lika snabbt och problemet anses därför åtgärdat.

Angående den öppna nödutgången rekommenderas att denna hålls stängd. Alternativt kan dörren ställas upp med dörrstängare som aktiverar vid brandlarm om detta inkräktar mindre i den dagliga verksamheten. Den otäta genomföringen skall även den tätas för att denna medför att utrymningsvägens integritet ej bibehålls.

Allmänt rekommenderas även att Arken Hotell ser över användandet av den gamla bowlinghallen som lagerlokal då detta inte är lokalens primära användningsområde. Brandcellens klassning är dessutom inte upprättad för den aktuella brandbelastningen och lokalens placering i verksamheten kan medföra att utrymning äventyras på flera plan vid en tillräckligt kraftig brand. Om lokalen önskas användas som ren lagerlokal rekommenderas att ett aktivt släcksystem, exempelvis i form av sprinkler, övervägs att installeras. Vid eventuell brand i bowlinghallen kan räddningstjänst inte förväntas genomföra rökdykning med räddningsinsats då det vid fullt utvecklade bränder oftare läggs fokus på kontroll av

brandens utveckling och spridning. Vid eventuell brand i bowlinghallen bör även byggnadens integritet beaktas ur ren ekonomisk synvinkel samt hur verksamheten kan tänkas fungera efteråt. Detta är dock inte något som undersöks i rapporten.

11 Diskussion

Vid den brandtekniska riskvärdering som gjorts på Arken Hotell har fokus endast lagts på personsäkerhet. Konsekvenserna av denna avgränsning blir att ingen hänsyn till ekonomiska eller miljörelaterade skador tas.

Rangordning av brandscenarierna har skett genom en kvalitativ gradering av sannolikhet och konsekvens som främst bedöms utifrån statistiskt material av bränders uppkomst samt egna iakttagelser och resonemang. Detta medför att grovanalysen kan ses som mindre detaljrik och risken finns att den prioritering som gjorts är bristande. Rangordning kan endast ses som ett förhållande scenarierna emellan utan hänsyn till övriga samhället. Riskvärderingen kan därför inte jämföras med liknande verksamheter i landet.

Genom rapportens gång har flera olika modeller använts för att beskriva verkligheten. En modell är en förenkling och medför därför osäkerheter som kan påverka det slutgiltiga resultatet. Inom varje scenario i rapporten har därför någon slags kontroll av resultatet utförts för att säkerställa minskad modellosäkerhet. Det är omöjligt att eliminera all osäkerhet men det är viktigt att observationer har utförts över vilka parametrar som kan tänkas påverka resultatet mest i genomförda känslighetsanalyser.

Konservativa antaganden har gjorts i flera avseenden i rapporten eftersom det varit önskvärt att pröva anläggningens utrymningssäkerhet mot scenariot av värsta troliga karaktär. Vid denna typ av angreppssätt finns det alltid en risk att orealistiska scenarier tas fram då flera konservativa antaganden kombineras. Rapportens scenarier anses dock rimliga då inget överkonservativt värde kan identifieras.

Framtagna brandscenariers effekt har beskrivits med hjälp av en kvadratisk brandtillväxtkurva där tillväxtkonstanten är framtagen för att representera de flesta av materialen belägna i lokalerna. Ingen hänsyn tas till när spridning mellan olika objekt sker och tillväxten anses fortgå oavbrutet vilket förmodas ge en allvarligare effektutveckling jämfört med om spridningsberäkningar utförts för olika bränslepaket. Detta tillvägagångssätt leder till att branden inte blir platsspecifik och en tillväxt som täcker in fler scenarier skapas. Nackdelen är att ett kvadratisk brandbeteende endast är en modell och kommer inte alltid överensstämma med ett faktiskt brandförlopp.

Ingen hänsyn har tagits till en möjlig förbrinntid och brandens tillväxt påbörjas därmed direkt. Branden antas alltså inte utvecklas från exempelvis en glödbland. Förbrinntiden har dock stor påverkan på hur mycket tillgänglig tid som finns för utrymning då detektoraktivering kan tänkas ske redan vid liten rökutveckling.

Det är svårt att förutsäga hur människor reagerar i ett brandscenario vilket gör beslut- och reaktionstiden problematisk att bestämma. I rapporten används rekommenderade värden som bygger på verkliga försök och osäkerheter i denna parameter blir därför svåra att reducera. Försöken som gjorts är för särskilda verksamheter som inte alltid överensstämmer med den analyserade. Positivt är att besluts- och reaktionstiden är direkt kopplad till utrymningstiden och om mer exakta värden tas fram är den enkel att justera.

Flera antaganden och förenklingar har gjorts i de olika simuleringarna. I Simulex har förenklade ritningar använts som ritats upp eftersom givna CAD-ritningar inte kunde användas. Antaganden kring möblemangsuppställning, personers placering och val av utrymningsväg har också gjorts. Dessa grundar sig främst på vad som iaktogs under besöket men även på tillgänglig utrymningslitteratur. I CFAST och FDS har istället förenklingar av framförallt geometrin utförts. Förenklingar av geometrin i

simuleringarna bedöms dock ha liten påverkan på resultatet då rummens volymer bibehålls och dessa anses viktigast för de parametrar som undersöks.

Vid kvantifiering av tid till kritiska förhållanden har endast brandgaslagrets höjd kombinerat med sikt, temperatur eller strålning undersökts. Kritisk toxicitet har bortsetts från och detta främst på grund av svårigheten att få en entydig kemisk förening när en materialfördelning har uppskattats och tillförlitligheten i toxicitetsberäkningar kan då inte garanteras. Denna avsmalning anses dock acceptabel då det är troligt att kriteriet för toxiska koncentrationer bryts först efter det för brandgaslagrets höjd.

Utrymnings säkerheten på Arken Hotell är i sin helhet bra. I vissa av de scenarier som undersökts har dock utrymningen visats sig vara mer problematisk på grund av både höga personantal, snabb brandtillväxt och brister i utrymningsdimensioneringen. Det uppmärksammades även i grovanalysen att det finns bristfälliga rutiner vid utrymning av rullstolsburna. Det rekommenderas därför att rutiner kring detta etableras, exempelvis genom möjligheten till kommunikation med nödställda. Arken hotell rekommenderas även att överväga införandet av en utrymningsplats för rullstolsburna i anslutning till utrymningsvägar från hotellrummen. Övre konferensdelen och bowlinghallen kräver i dagsläget åtgärder för att förbättra och uppfylla acceptabelt brandskydd. Mässhallen visade sig uppfylla den förenklade dimensioneringen men då den analytiska utvärderingen gjordes framkom åtgärder som förbättrar utrymnings situationen vilka också redovisas. Matsalen kunde inte genom analytisk dimensionering påvisa god säkerhet men accepterades ändå i slutändan då den förenklade dimensioneringen uppfylls. Att vissa delar uppfyller kraven för förenklad dimensionering men inte analytisk dimensionering innebär ett etiskt dilemma som är svårt att förhålla sig till då de båda metoderna har olika utgångspunkt vilket gör en jämförelse problematisk.

12 Slutsatser och åtgärder

Det finns en välfungerande organisation och ett välarbetat systematiskt brandskyddsarbete på Arken Hotell. I nuläget är dock Arken Hotells brandskydd inte tillräckligt för att uppfylla det i rapporten uppsatta skyddsmålet. I händelse av brand kan inte säkerheten för samtliga personer som befinner sig i byggnaden garanteras. Nedan listas förslag på åtgärder och dessa delas upp i åtgärder som **bör** göras för att utrymningssäkerheten skall anses tillfredställande, men även åtgärder som **kan** utföras för att ytterligare förbättra brandskyddet på Arken Hotell.

Åtgärder som **bör** göras:

- Det gemensamma utrymmet i övre konferensdelen **bör** göras till en giltig utrymningsväg.
- Brandcellsgränsen kring matsal och bowlinghall **bör** utföras i lägst EI60.
- Hotellens brandcellsgränser **bör** undersökas så att de klarar sin utmarkerade klassning.
- Hotellens ventilation **bör** ses över för att garantera ett korrekt brandskydd.
- Ytskikt i mässhallen **bör** ändras till Euroklass B

Följande åtgärder **kan** genomföras:

- Installation av brandgasventilation **kan** göras i mässhallen.
- Installation av sprinklersystem **kan** göras i mässhallen.
- Installation av talat utrymningsmeddelande **kan** installeras i mässhallen.
- Brister som observerats i 3.2 **kan** ses över.
- Rutiner kring utrymning av rullstolsburna personer **kan** ses över.

13 Litteraturförteckning

Andersson, M. & Wadensten, K., 2002. *Brandteknisk riskanalys - indata, metodik och osäkerhetsanalys*, Lund: Lunds universitet.

Arken Hotell, 2014. *Konferens: Arken Hotell*. [Online]

Available at: <http://www.arkenhotel.com/konferens/konferenslokaler/lokaloversikt>

[Använd 17 04 2014].

Bek, P., 2009. *Sprinkleranlägs Brandeffektdämpande Egenskap*, Lyngby: Danmarks Tekniske Universitet.

Bengtson, S., Jönsson, R. & Frantzich, H., 2005. *Brandskyddshandboken: en handbok för projektering av brandskydd i byggnader*. Lund: Lunds universitet.

Boverket, 2006. *Utrymningsdimensionering*, Karlskrona: Boverket.

Boverket, 2013. *Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd*. Karlskrona: Boverket.

Boverkets byggregler, 2011. *Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler*. [Online]

Available at: <https://rinfo.boverket.se/BBR/PDF/BFS2011-26-BBR19.pdf>

[Använd 16 04 2014].

Boverkets byggregler, 2013. *BBR: BFS 2011:6 : ändringar införda till och med BFS 2013:14 (BBR 20)*. [Online]

Available at: http://www.boverket.se/Global/Lag_o_ratt/Dokument/Boverkets-Forfattningssamling/BBR-konsoliderad-BFS2011-6-tom-BFS2013-14.pdf

[Använd 16 04 2014].

Brandteknik, 2012. *Brandskyddshandboken: en handbok för projektering av brandskydd i byggnader*. Lund: Lunds Universitet.

Drysdale, D., 2011. *An Introduction to Fire Dynamics*. 3rd red. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Frantzich, H., 1998. *Användarmanual till SIMULEX ver 1.2*, Lund: Lunds universitet.

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

Hultquist, H., 2000. *Simulating visibility in HAZARD I / CFAST*, Lund: Lunds universitet.

ISO, 1995. *ISO/WD 13390, Subsystem 1: Initiation and development of fire and fire effluents*, Berlin: International Organization for Standardization.

Karlsson, B. & Quintiere, J. G., 2000. *Enclosure fire dynamics*. Boca Raton(FL): CRC Press.

McGrattan, K. o.a., 2007. *Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide*, u.o.: U.S. Department of Commerce.

McGrattan, K., McDermott, R., Hostikka, S. & Floyd, J., 2010. *Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide*, u.o.: U.S. Department of Commerce.

MSB, 2012. *IDA (Indikationer, Data och Analys)*, u.o.: u.n.

- Nasr, R. & Wall, M., 2012. *Utrymning av nattklubb – Resultat från två fullskaleförsök*, Lund: Lunds universitet .
- Nilsson, D., 2007. *Datorsimulering av utrymning vid brand – inventering av tre angreppssätt*, Lund: Lunds universitet.
- Nilsson, D. & Holmstedt, G., 2007. *Kompendium i Aktiva System - Detektion*, Lund: Lunds universitet.
- Nystedt, F. & Frantzich, H., 2011. *Kvalitetsmanual för brandtekniska analyser vid svenska kärntekniska anläggningar*, Lund: Lunds universitet.
- Paroc, 2014. *Brandklassificering: Brand: Paroc*. [Online]
Available at: <http://www.paroc.se/knowhow/brand/brandklassificering>
[Använd 07 04 2014].
- Paté-Cornell , M. E., 1996. Uncertainties in risk analysis: Six levels of treatment. *Reliability Engineering and System Safety*, Volym 54, pp. 100-101.
- Peacock, R. D., Reneke, P. A. & Forney, G. P., 2013. *CFAST - Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) User's Guide*, u.o.: NIST.
- SFPE, 2002. *Engineering Guide to Human Behavior in Fire*, u.o.: Society of Fire Protection Engineers.
- SFPE, 2002. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. 3rd red. Quincy(Massachusetts): National Fire Protection Association.
- Siemens, 2012. *Automatic fire detectors : Technical Manual*, Baar: Building Technologies Division .
- Staffansson, L., 2010. *Selecting design fires*, Lund: Lunds universitet.
- Särdqvist, S., 1993. *Initial fires: RHR, smoke production and CO generation from single items and room fire tests*, Lund: Dept. of Fire Safety Engineering.

BILAGOR

Bilaga A Teori

Nedan redovisas bilagor innehållande teori.

A.1 Teori angående kvadratisk brandtillväxt

Brandens tillväxt från antändning fram till övertändning och fullt utvecklad brand är en viktig fas i utrymningssynpunkt. Under brandtillväxten sker i de flesta fall detektion och utrymning påbörjas. Därför är det av betydelse att på ett bra sätt kunna bedöma effekten som branden har på personerna under detta stadie.

För att kunna beskriva brandens tillväxtfas antas effektutvecklingen öka kvadratisk över tiden där α är en konstant som beskriver hur snabbt branden når en given effektutveckling. Ekvationen ses nedan och brukar kallas αt^2 -branden (Staffansson, 2010, p. 33).

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

Ekvation A-1

A.2 Teori angående CFAST

När handberäkningar inte är tillräckliga för att beräkna brandförlopp i en byggnad kan mer avancerade brandmodeller användas för att göra transienta beräkningar. CFAST är en datorbaserad tvåzonsmodell vilket betyder att modellen bygger på att rum är uppdelade i två zoner (kontrollvolym) inom vilka kontinuitetsekvationer för massa, partiklar och energi beräknas för varje tidssteg. Den övre zonen representerar brandgaslagret och den undre omgivande luft. Varje zon antas vara väl omblandad och har homogena egenskaper vilket betyder att temperatur, densitet och koncentration är lika inom hela zonen. Den användardefinierande branden består bara av en källa till massa och energi i form av massavbrining tillsammans med förbränningsvärme. Detta betyder att den fullständiga förbränningsprocessen ej modelleras och rummet ger ingen återkoppling på brandens intensitet (Nystedt & Frantzych, 2011). Vid användning av CFAST måste vissa kriterier uppfyllas angående förhållanden mellan längd, höjd och bredd för respektive rum och brandens effekt för att simulering ska anses giltig och dessa redovisas i Tabell A-1. Det går dock att köra programmet med geometrier utöver dessa och konsekvensen av detta måste då hanteras av användaren.

Tabell A-1 – Tabell över intervall inom vilka CFAST validerats (ISO, 1995).

| Förhållande | Acceptabelt | Speciell hänsyn |
|----------------|----------------------------------|-------------------|
| Max (L/B) | $L/B < 3$ | $3 < L/B < 5$ |
| Max(L/H) | $L/H < 3$ | $3 < L/H < 6$ |
| Min (B/H) | $B/H > 0,4$ | $0,2 < B/H < 0,4$ |
| \dot{Q} [kW] | $\dot{Q} \geq 5 \cdot A\sqrt{H}$ | - |

Nedan följer ytterligare begränsningar med programmet (Nystedt & Frantzych, 2011):

- Kräver att rum liknas vid rätblock.
- Antagandet med homogen temperatur stämmer inte helt med verkligheten.
- Ingen hänsyn tas till inblandning mellan zoner vilket inte stämmer överens med verkligheten.
- Inte validerad för mer än 3-6 rum och desto längre bort från branden man utvärderar desto sämre är giltighet.
- Kan ej hantera en fullt utvecklad brand då ingen hänsyn till förhållandet efter övertändning tas.
- Modellen simulerar allt som anges av användaren oavsett giltighet.

- En liten brand i ett stort utrymme innebär inte alltid att två zoner uppstår.

A.3 Teori angående Simulex

Simulex är ett datorprogram som används för att simulera utrymning från byggnader genom att titta på tiden det tar för personer att lämna den. Simulex avgör hur utrymning kan ske genom att använda förbestämda planskisser (Frantzich, 1998) Användaren definierar utgångar som personer kommer utrymma mot under simulering och avståndskartor beräknas för att avgöra närmsta utgång beroende på placering av människor i byggnaden. Flera avståndskartor kan skapas och regleras efter vilka utgångar som är tillgängliga för utrymning för respektive person (Nilsson, 2007).

Simulex har en inbyggd funktion där gånghastigheten bestäms för respektive individ genom att beräkna avståndet till närmsta person framför och med det bestämma hur mycket hastigheten skall reduceras till. Om avståndet är kring 0,3m stannar personen och försöker hitta en ny väg. Simulex behöver därför inget definierat personflöde vid trappor eller dörrar då detta automatiskt sker när persontätheten ökar och avstånd till närmsta person minskar. När trappor används reduceras hastigheten tillfälligt, hur mycket beror på om personer färdas nerför eller uppför trapporna, detta har dock visat sig att inte riktigt stämma överens med verkliga experiment. (Nilsson, 2007).

Personers bredd och maximal gånghastighet är egenskaper som användaren själv kan ändra men om inget annat anges nyttjar Simulex förutbestämda inställningar med en viss fördelning. Vid utplacering av en person slumpas dessa egenskaper vilket betyder att resultat mellan två likadana simuleringar kan variera beroende på ordningen av personer med olika gånghastighet hamnar.

A.4 Teori angående FDS

Om inte zonmodeller är tillräckliga för att utföra vissa analyser och beräkningar på grund av problem med giltighet eller applicerbarhet kan CFD-modeller (Computational Fluid Dynamics) nyttjas. Det som skiljer en tvåzonsmodell mot en CFD-modell är att istället för att dela upp en geometri i två zoner (kontrollvolym) delas den upp i ett större antal celler (kontrollvolym) där kontinuitetsekvationer för massa, rörelsemängd och energi löses för varje cell och varje tidssteg. En CFD-modell som specifikt har utvecklats för simulering av bränder är FDS (Fire Dynamics Simulator). FDS innehåller en undermodell kallad LES (Large Eddy Simulation) som är framtagen för att behandla turbulens från en brand genom att simulera de stora virvlarna och beräkna medelvärde för de små. Fördelen med FDS är att det kan användas för att analysera brandförlopp i utrymmen där handberäkningar och zonmodeller inte är lämpliga och validerade t.ex. korridorer, atrium och rum med lutande tak. I denna rapport används FDS 5.5. Det ska dock nämnas att även FDS innehåller förenklingar och ska inte ses som en total sanning. Lösningens kvalitet är dessutom beroende av hur många celler geometrin delas upp i där mindre celler generellt ger bättre resultat men kräver längre beräkningstider (Nystedt & Frantzich, 2011, pp. 28-30). För att ta fram den rekommenderade cellstorleken används först Ekvation A-2.

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_a c_p T_a \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad \text{Ekvation A-2}$$

Den cellstorlek som krävs kan därefter räknas ut via Ekvation A-3 nedan.

$$\frac{D^*}{\delta_x} = 10 \quad \text{Ekvation A-3}$$

Kvoten sätts till 10 då en vanlig simuleringsutgångspunkt är att denna bör ligga i storleksordningen 10-20 för att kunna antas ge tillfredsställande resultat (Nystedt & Frantzych, 2011, p. 80).

För att bedöma brandgaslagrets höjd i FDS kan kvantiteten "LAYER HEIGHT" användas. Funktionen definierar höjden med hjälp av den aktuella temperaturfördelningen i rummet och väljer att placera brandgaslagrets höjd där en stor temperaturgradient identifieras. Ett liknande tillvägagångssätt används av programmet vid användning av funktionen "UPPER TEMPERATURE" som i rapporten symboliserar brandgaslagrets temperatur (McGrattan, et al., 2010, p. 164). Något som bör nämnas är att genom att definiera brandgaslagrets temperatur på detta sätt erhålls andra värden än att placera ut flertalet mätpunkter för temperatur på olika höjder.

FDS kan även användas för att beräkna den infallande strålningen genom att varje cell sänder ut ett bestämt antal strålar. Detta leder till att den simulerade strålningen kan visa bristfälliga resultat, speciellt på längre avstånd. För att motverka detta kan antalet strålar från en cell höjas av användaren från det grundspecifierade 104, detta resulterar dock i en längre beräkningstid. Om antalet strålar från cellerna är lågt kan en effekt som kallas "ray effect" uppstå, vilken gör att strålningen inte blir jämt fördelad på den träffade ytan utan istället formar flera utspridda varma punkter, så kallade "hot spots", (McGrattan, et al., 2007).

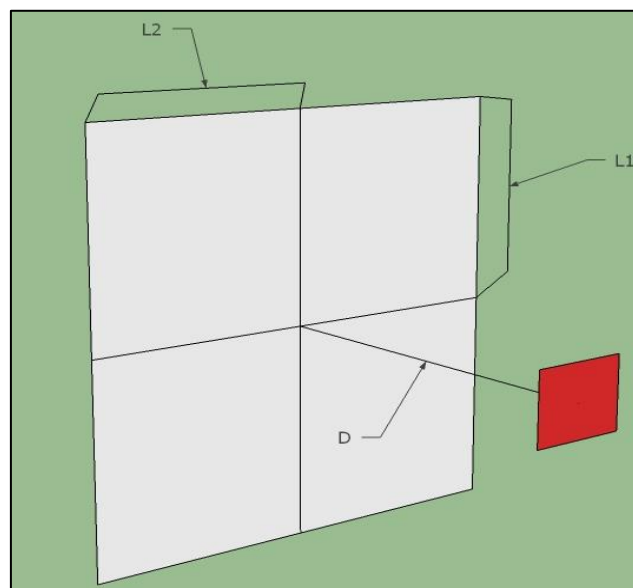
A.5 Strålningsteori platta till punkt

Vid beräkning av värmestrålning används i rapporten Ekvation A-4 nedan (Drysdale, 2011, pp. 62,64).

$$\dot{q}'' = \phi_{tot} \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad \text{Ekvation A-4}$$

Där de ingående variablerna ϕ_{tot} , ε och T varierar utifrån fall. Dock är ett vanligt antagande att sätta emissiviteten, ε , till 1 då detta är konservativt (Bengtson, et al., 2005, p. 232).

Synfaktorn, ϕ_{tot} , är den faktor som korrigerar för hur mycket av värmestrålningen som faktiskt träffar det aktuella målet. Denna beräknas med hjälp av metoden platta till punkt som beskrivs i Drysdale (2011) pp.65-66. Metoden utgår från att den strålände kroppen, exempelvis flaman, approximeras som en platta se Figur A-1.



Figur A-1 - Figur över uppdelningen av den strålände plattan. Parametrar som används för beräkning av synfaktorn är utpekade.

Plattan delas sedan in i fyra delar och parametrarna S och α_s beräknas för en av dessa med Ekvation A-5 och Ekvation A-6. Längderna bestäms så att förhållandet alltid ger att $S \leq 1$.

$$S = \frac{L1}{L2} \quad \text{Ekvation A-5}$$

$$\alpha_s = \frac{L1 \cdot L2}{D_l^2} \quad \text{Ekvation A-6}$$

Med hjälp av dessa ekvationer kan sedan värden för synfaktorn hämtas ur tabell som redovisas i Figur A-2 (Drysdale, 2011, p. 66).

| Table 2.8 Values of $\phi(\alpha, S)$ for various values of α and S^a | | | | | | | | | | |
|---|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| α | $S = 1$ | $S = 0.9$ | $S = 0.8$ | $S = 0.7$ | $S = 0.6$ | $S = 0.5$ | $S = 0.4$ | $S = 0.3$ | $S = 0.2$ | $S = 0.1$ |
| 2.0 | 0.178 | 0.178 | 0.177 | 0.175 | 0.172 | 0.167 | 0.161 | 0.149 | 0.132 | 0.102 |
| 1.0 | 0.139 | 0.138 | 0.137 | 0.136 | 0.133 | 0.129 | 0.123 | 0.113 | 0.099 | 0.075 |
| 0.9 | 0.132 | 0.132 | 0.131 | 0.130 | 0.127 | 0.123 | 0.117 | 0.108 | 0.094 | 0.071 |
| 0.8 | 0.125 | 0.125 | 0.124 | 0.122 | 0.120 | 0.116 | 0.111 | 0.102 | 0.089 | 0.067 |
| 0.7 | 0.117 | 0.116 | 0.116 | 0.115 | 0.112 | 0.109 | 0.104 | 0.096 | 0.083 | 0.063 |
| 0.6 | 0.107 | 0.107 | 0.106 | 0.105 | 0.103 | 0.100 | 0.096 | 0.088 | 0.077 | 0.058 |
| 0.5 | 0.097 | 0.096 | 0.096 | 0.095 | 0.093 | 0.090 | 0.086 | 0.080 | 0.070 | 0.053 |
| 0.4 | 0.084 | 0.083 | 0.083 | 0.082 | 0.081 | 0.079 | 0.075 | 0.070 | 0.062 | 0.048 |
| 0.3 | 0.069 | 0.068 | 0.068 | 0.068 | 0.067 | 0.065 | 0.063 | 0.059 | 0.052 | 0.040 |
| 0.2 | 0.051 | 0.051 | 0.050 | 0.050 | 0.049 | 0.048 | 0.047 | 0.045 | 0.040 | 0.032 |
| 0.1 | 0.028 | 0.028 | 0.028 | 0.028 | 0.028 | 0.028 | 0.027 | 0.026 | 0.024 | 0.021 |
| 0.09 | 0.026 | 0.026 | 0.026 | 0.026 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.024 | 0.022 | 0.019 |
| 0.08 | 0.023 | 0.023 | 0.023 | 0.023 | 0.023 | 0.023 | 0.022 | 0.022 | 0.020 | 0.017 |
| 0.07 | 0.021 | 0.021 | 0.021 | 0.021 | 0.020 | 0.020 | 0.020 | 0.019 | 0.018 | 0.016 |
| 0.06 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.017 | 0.017 | 0.017 | 0.016 | 0.014 |
| 0.05 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.014 | 0.014 | 0.013 |
| 0.04 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.012 | 0.011 | 0.010 |
| 0.03 | 0.009 | 0.009 | 0.009 | 0.009 | 0.009 | 0.009 | 0.009 | 0.009 | 0.009 | 0.008 |
| 0.02 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 |
| 0.01 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 |

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

Figur A-2 – Tabell med resultat för Ekvation A-7 för olika S och α (Drysdale, 2011, p. 66).

Alternativt kan synfaktorn beräknas med Ekvation A-7 (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 162).

$$\phi_i = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{L1}{\sqrt{L1^2 + D_l^2}} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{L2}{\sqrt{L1^2 + D_l^2}} \right) + \frac{L2}{\sqrt{L2^2 + D_l^2}} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{L1}{\sqrt{L1^2 + D_l^2}} \right) \right) \quad \text{Ekvation A-7}$$

Slutligen multipliceras denna med 4 för att få den totala synfaktorn. Om den totala synfaktorn blir större än 1 sätts värdet till 1 då värdets intervall är begränsat mellan 0 och 1.

A.6 Teori för beräkning av brandgasfyllnad i stora utrymmen

Vid beräkning av brandgasfyllnad av stora utrymmen kan metod beskriven i Karlsson & Quintiere (2000) användas. Metoden kräver att brandens effektutveckling anses liten jämfört med utrymmets storlek. Denna metod är rent analytiskt framtagen och bygger bland annat på följande förenklingar:

- Inga värmeförluster till omgivningarna
- Uniform temperatur i brandgaslagret

Nedan beskrivs beräkningsgången som används där ekvationer är tagna från Karlsson & Quintiere (2000). Brandgaslagrets höjd kan beräknas med Ekvation A-8.

$$z = \left(k_k \frac{\alpha^{1/3} 2t^{(1+n/3)}}{S_a} + \frac{1}{H_h^{2/3}} \right)^{-3/2} \quad \text{Ekvation A-8}$$

För att Ekvation A-8 skall kunna beräknas används också Ekvation A-9.

$$k_k = \frac{0,21}{\rho_g} \left(\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3} \quad \text{Ekvation A-9}$$

Denna ekvation bygger dock på ett antaget ρ_g och därför används en iterativ process för att få fram ett bättre värde. Därmed används även Ekvation A-10.

$$\rho_g = \rho_a \left(1 - \frac{\alpha t^{n+1}}{(n+1)(H_h - z)S_a c_p 353} \right) \quad \text{Ekvation A-10}$$

Med det nya ρ_g -värdet upprepas sedan processen så att z-värdet räknas fram tills tillfredsställande noggrannhet uppnås.

Temperaturen på det varma brandgaslagret kan sedan beräknas med hjälp av omskrivning av ideala gaslagen, se Ekvation A-11.

$$T_g = 353/\rho_g \quad \text{Ekvation A-11}$$

A.7 Teori för beräkning av brandgasventilation

Vid beräkning av naturlig ventilation av brandgaser från toppen av brandgaslagret kan metod beskriven i Karlsson & Quintiere (2000) användas. Metoden baseras på Zukoskis modell för rökgasfyllnad som kräver att brandens effektutveckling kan anses liten jämfört med utrymmets storlek. Denna metod är rent analytiskt framtagen och bygger bland annat på följande förenklingar:

- Inga värmeförluster till omgivningarna
- Uniform temperatur i brandgaslagret

Nedan beskrivs beräkningsgången som används (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 213).

Först ansätts en rimlig höjd på brandgaslagrets höjd: z [m]

1. Därefter beräknas brandgasernas massflöde i rummet då ”steady-state” gäller Ekvation A-12

$$\dot{m}_p = 0,21 \left(\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3} \cdot \dot{Q}^{1/3} \cdot z^{5/3} \quad \text{Ekvation A-12}$$

2. Tryckskillnaden över den lägre placerade öppningen, exempelvis en port, beräknas med Ekvation A-13.

$$\Delta P_l = \frac{\dot{m}_p^2}{2\rho_a (C_D \cdot A_D)^2} \quad \text{Ekvation A-13}$$

3. Ekvation A-14 används för att beräkna brandgaslagrets temperatur.

$$T_g = T_a + \frac{\dot{Q}}{c_p \dot{m}_e + hA_w} \quad \text{Ekvation A-14}$$

4. ρ_g tas fram med sambandet i Ekvation A-15.

$$\rho_g = 353/T_g \quad \text{Ekvation A-15}$$

5. Massflödet ut ur rummet tas till sist fram med hjälp av Ekvation A-16.

$$\dot{m}_e = C_D A_E \sqrt{2\rho_g(-\Delta P_l + (\rho_a - \rho_g)g)(H_E - z)} \quad \text{Ekvation A-16}$$

A.8 Teori för sprinklerberäkningar

Syftet med sprinkler är att snabbt kunna aktivera i ett tidigt skede och sedan släcka eller kontrollera den tillväxta branden under en viss tid. En tidig sprinkleraktivering har därmed möjlighet att förlänga tid till kritiska förhållanden och då också möjliggöra säker utrymning.

Branden antas vid sprinklerberäkningar i denna rapport att bli kontrollerad och hålla konstant effekt efter aktivering. Detta antagande är konservativt och anses underbyggt på svårigheten att förutspå hur en riktig brand reagerar (Staffansson, 2010, p. 51). Följande beräkningsgång används i rapporten vid test av sprinkler som åtgärdaförslag.

1. Riskklass för utrymnet bestäms. Den framtagna klassen fastställer sedan sprinklers täckningsyta. Sprinklerens egenskaper som RTI och aktiveringstemperatur beslutas efter det utrymme i vilket sprinklern skall operera.
2. Tid fram till sprinkleraktivering beräknas antingen genom FDS eller med CFAST. Brandens tillväxt antas ske fortlöpande fram till att aktivering är ett faktum. Effekten som branden har vid detta tillfälle hålls sedan konstant resterande tid.
3. FDS och CFAST simuleras igen men med en ny effektkurva som representerar brandförloppet med sprinklerinverkan och tid till kritiskt förhållande analyseras och jämförs med tillgänglig tid.

A.9 Teori angående beräkning av flamhöjd

Flera experiment har gjorts för att försöka relatera flamhöjden till brandens diameter och avgivna energi. Via dessa experiment har många ekvationer härletts som beskriver denna relation olika bra. Den mest användbara av dessa ekvationer beskriver denna relation bra i de flesta fall utom då branden har karaktären av en jetflamma. Ekvationen är framtagen av Heskestad och redovisas nedan som Ekvation A-17 (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 52).

$$L = \left(0,235 \cdot \dot{Q}^{\frac{2}{5}}\right) - 1,02 \cdot D_d$$

Ekvation A-17

Bilaga B Förenklad dimensionering – Gångavstånd

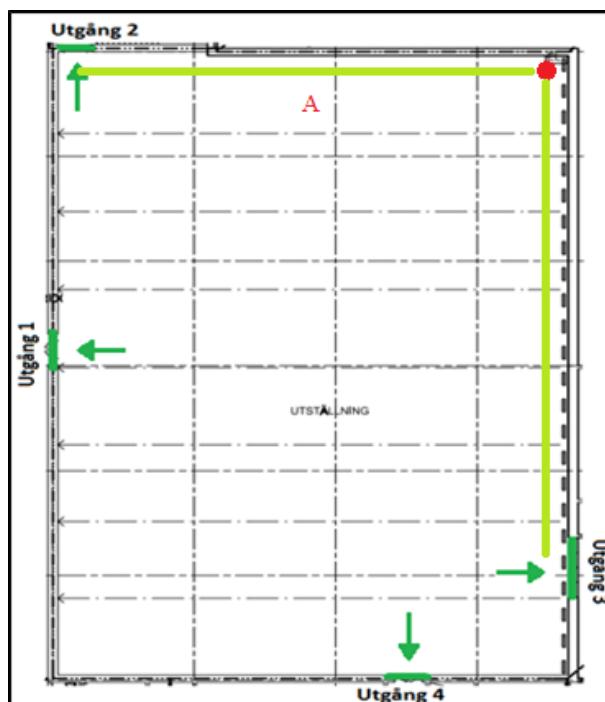
I följande avsnitt kontrolleras gångavståndet till närmsta utrymningsväg eller till annan brandcell för det mest ogynnsamma fallet (röd prick).

B.1 Mässhall

Maximalt gångavstånd till närmaste utrymningsväg i Vk 2B lokal är 30 m. Beräkning av gångavstånd A till närmsta utgång (Utgång 2) blir därmed:

$$\text{Gångavstånd} = A \approx 25 \text{ m}$$

Vilket är mindre än 30 m och därför uppfylls gångavståndskriteriet.



Figur B-1 - Kontroll av gångavstånd i Mässhallen. Röd prick motsvarar det mest ogynnsamma läget.

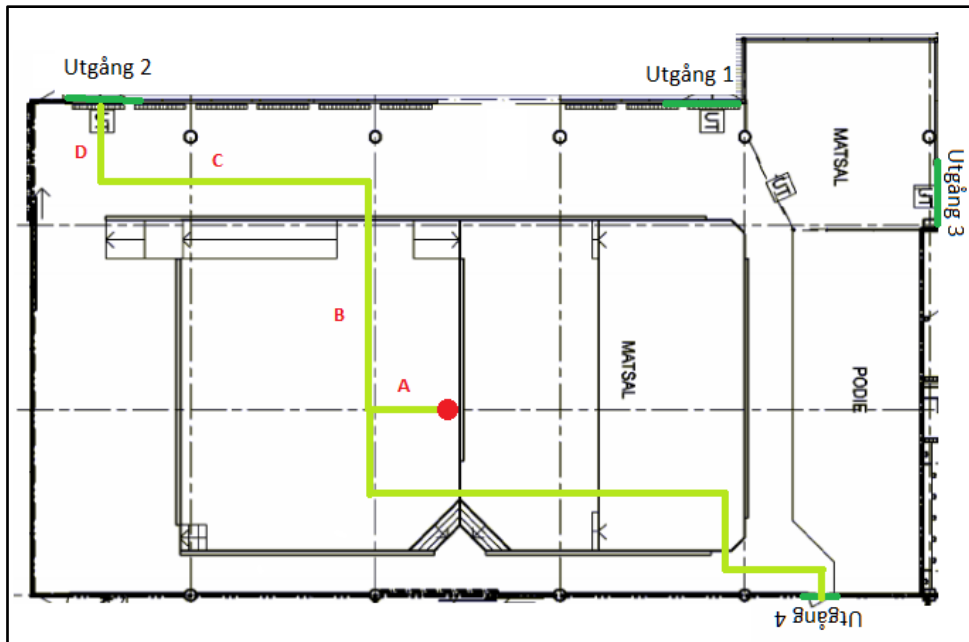
B.2 Matsal

Maximalt gångavstånd till närmaste utrymningsväg i Vk 2B lokal är 30 m. A på bilden motsvarar en sammanfallande gångväg och därför dubbleras denna stäcka då lokalen är Vk 2B.

Beräkning av gångavstånd till närmsta utgång (Utgång 2) blir därmed:

$$\text{Gångavstånd} = (2 \times A) + B + C + D \approx 28 \text{ m}$$

Vilket är mindre än 30 m och därför uppfylls gångavståndskriteriet.



Figur B-2 - Kontroll av gångavstånd i Matsalen. Röd prick motsvarar det mest ogynnsamma läget.

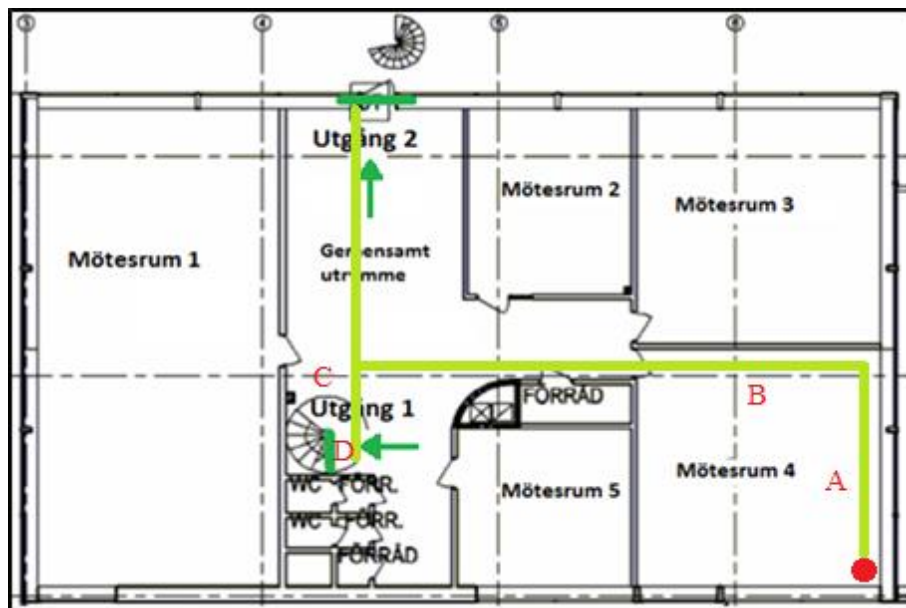
B.3 Övre konferensdelen

Maximalt gångavstånd till närmaste utrymningsväg i Vk 2B lokal är 30. Både A och B på bilden motsvarar en sammanfallande gångväg och därför dubbleras denna sträcka då lokalen är Vk 2B. D på bilden motsvarar den höjdskillnad man förflyttas mellan de olika plan och denna sträcka multipliceras med 4.

Beräkning av gångavstånd till närmsta utgång (Utgång 1) blir därmed:

$$\text{Gångavstånd} = (2 \times A) + (2 \times B) + C + (4 \times D) \approx 48 \text{ m}$$

Vilket är mer än 30 m och därför uppfylls inte gångavståndskriteriet.



Figur B-3 - Kontroll av gångavstånd i Övre konferensdelen. Röd prick motsvarar det mest ogynnsamma läget.

Bilaga C Handberäkningar och resultat

Nedan redovisas bilagor innehållande indata till beräkningar samt resultat av dessa.

C.1 Brandscenario 1 – Mässhallen

Nedan redovisas indata, beräkningar och resultat för mässhallen.

C.1.1 Indata till Figur 7-2

För att ta fram det α -värde som används vid beräkningar görs en jämförelse mellan flertalet uppmätta α -värden vilka antas representera material som vid olika tillställningar kan finnas i lokalen. Dessa värden och dess ursprungslitteratur redovisas i Tabell C-1.

Tabell C-1 - Tabell över de olika α -värden som används i Figur 7-2 med tillhörande referens.

| Index | Litteraturnamn | α -värde [kW/s ²] | Referens |
|-----------------------------|--|---|-------------------------------------|
| Stol 1 | Chairs, stackable. 15: Single chair | 0,0035 | (Särdqvist, 1993, p. Y5.0/15) |
| Stol 2 | Chairs, stackable. 17: 8 chairs in 1 stack | 0,0113 | (Särdqvist, 1993, p. Y5.0/17) |
| Stol 3 | Lightweigh typa A upholstered furniture | 0,0470 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 42) |
| Madrass 1 | Mattress and boxspring, 62.36 kg (initial fire growth) | 0,0860 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40) |
| Madrass 2 | Beds. 23: Mattress Feeburning Test 11 | 0,0015 | (Särdqvist, 1993, p. Y6/23) |
| Madrass 3 | Mattress and boxspring, 62.36 kg (initial fire growth) | 0,0009 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40) |
| Bord, liknas med träpall | Wooden pallets 5 ft high | 0,0470 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 42) |
| Träpanel | Wood panels, 10: Wood panel, spruce. | 0,0617 | (Särdqvist, 1993, p. O3/10) |
| Kartong | Empty cartons 15 ft high | 0,0470 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 42) |
| Slow | Slow | 0,0030 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 41) |
| Medium | Medium | 0,0120 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 41) |
| Fast | Fast | 0,0470 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 41) |
| Ultra fast | Ultra fast | 0,1900 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 41) |

C.1.2 Utvärdering av brandens effekt

För att räkna fram möjlig energi som kan frigöras med hjälp av det syre som finns i rummet innan brand uppstår används Ekvation C-1 nedan (Staffansson, 2010, p. 40).

$$E = 13100 \cdot V \cdot (0,23 - 0,10) \cdot \rho_a$$

Ekvation C-1

De värden som sätts in i ekvationen är $V = 9894,4 \text{ m}^3$ och $\rho_a = 1,2$ (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 61). Energin som kan frigöras med hjälp av rummets syre blir därmed över 20000 MJ. Denna energi jämförs sedan med den energi som branden har avgett vid tiden för maxeffekt enligt Ekvation C-2 (Staffansson, 2010, p. 40).

$$E = \int_0^t \dot{Q}(t) dt$$

Ekvation C-2

Där \dot{Q} beskrivs i A.1. Tiden till maxeffekt är ca 525 s och denna används vid beräkning av frigiven energi. Detta resulterar i en total frigiven energi på ca 3000 MJ, eller ungefär 15 % av den energi som lokalens syremängd maximalt skulle kunna räkna till.

Mängden bränsle som förbrukats vid tid till maxeffekt utvärderas också för att undersöka maxeffektens rimlighet. Då ett värde på den förbränningsentalpi som rummets material består av behövs görs antagandet att samtligt brännbart material består av trä. Antagandet görs då ingen exakt information om rummets möblemang finns vid de evenemang som hålls i lokalen och med hänsyn till att möblemanget troligen skiftar även mellan olika tillställningar av samma typ. De värden som används för att uppskatta förbränningsentalpin redovisas nedan i Tabell C-2.

Tabell C-2 – Värden som används för att uppskatta förbränningsentalpin för trä, SFPE tabell 3-4.14.

| Typ av trä | Förbränningsentalpi [kJ/g] |
|-------------|----------------------------|
| Red oak | 17,1 |
| Douglas fir | 16,4 |
| Pine | 17,9 |
| Medelvärde | 17,133 |

Med hjälp av medelvärdet räknas den totala mängd bränsle som ska ha förbränts vid tiden till maxeffekt via en omstrukturerad Ekvation C-3 (Staffansson, 2010, p. 38).

$$\dot{Q} = \dot{m}' A_f \Delta H_{eff}$$

Ekvation C-3

Där den effektiva förbränningsentalpin beräknas enligt Ekvation C-4 (Staffansson, 2010, p. 38).

$$\Delta H_{eff} = \chi \Delta H_c$$

Ekvation C-4

Ekvation X skrivs sedan om till Ekvation C-5.

$$\int_0^t \dot{m} dt = \frac{\int_0^t \dot{Q} dt}{\chi \Delta H_c}$$

Ekvation C-5

Förbränningseffektiviteten sätts till 0,7 då trä anses vara ett sotande material. Detta resulterar i att den totala mängden trä som krävs för att branden skall fortgå oförändrad i 525 sekunder blir ca 175 kg.

C.1.3 Höjd och temperatur på brandgaslager

Beräkningar för brandgasfyllnad för Mässhallen utförs enligt metod och ekvationer som beskrivs under avsnitt A.6. Nedan i Tabell C-3 följer indata till beräkningarna.

Tabell C-3 - Redovisning av de värden som används för beräkning av kritiska förhållanden vid brand i mässhallen.

| Symbol | Innebörd | Värde | Enhet |
|----------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| z | Rökgaslagrets höjd över marken | Varierar | m |
| k _k | Sammanlagning av konstanter | Varierar | $((m \cdot g)/J)^{1/3}$ |
| α | Tillväxtfaktor | 0,061728 | kW/s ² |
| S _a | Rummets yta | 1118 | m ² |
| t | Tid | Varierar | s |
| n | Brandbaserad exponent | 2 | - |
| H _h | Rummets höjd | 8,85 (Lutande tak 7,8 – 9,9 m) | m |

| | | | |
|----------|--------------------------|---|-------------------|
| ρ_g | Brandgasens densitet | Varierar, startvärde 1,0 | kg/m ³ |
| ρ_a | Omgivande lufts densitet | 1,2 (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 61) | kg/m ³ |
| g | Tyngdacceleration | 9,81 | m/s ² |
| c_p | Luftens värmekapacitet | 1,0 (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 61) | J/(kg·K) |
| T_a | Omgivande lufttemperatur | 293 | K |
| T_g | Rökgasernas temperatur | Varierar | K |

Värden från itereringsprocessen redovisas i Tabell C-4. Beräkningar utförs i tidssteg om 60 sekunder.

Tabell C-4 - Redovisning av de värden som framtoqs för rökgaslagrets höjd och densitet vid iterativa beräkningsprocessen i mässhallen.

| Fall | Startsteg | 2:a steget | 3:e steget | 4:e steget | 5:e steget | 6:e steget |
|---------------------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| z_{60} [m] | 8,321 | 8,39 | 8,30 | 8,39 | 8,39 | 8,39 |
| $\rho_{g,60}$ [1 kg/m ³] | 1 | 1,17 | 0,98 | 1,18 | 1,17 | 1,17 |
| z_{120} [m] | 7,32 | 7,47 | 7,46 | 7,46 | 7,46 | 7,46 |
| $\rho_{g,120}$ [1 kg/m ³] | 1 | 1,13 | 1,12 | 1,12 | 1,12 | 1,12 |
| z_{180} [m] | 6,22 | 6,33 | 6,32 | 6,32 | 6,32 | 6,32 |
| $\rho_{g,180}$ [1 kg/m ³] | 1 | 1,06 | 1,06 | 1,06 | 1,06 | 1,06 |
| z_{240} [m] | 5,19 | 5,10 | 5,11 | 5,11 | 5,11 | 5,11 |
| $\rho_{g,240}$ [1 kg/m ³] | 1 | 0,96 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | 0,97 |
| z_{300} [m] | 4,29 | 3,83 | 3,92 | 3,91 | 3,91 | 3,91 |
| $\rho_{g,300}$ [1 kg/m ³] | 1 | 0,83 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 |
| z_{360} [m] | 3,54 | 2,55 | 2,82 | 2,86 | 2,77 | 2,77 |
| $\rho_{g,360}$ [1 kg/m ³] | 1 | 0,65 | 0,74 | 0,72 | 0,72 | 0,72 |
| z_{420} [m] | 2,93 | 1,29 | 1,83 | 1,67 | 1,73 | 1,72 |
| $\rho_{g,420}$ [kg/m ³] | 1 | 0,42 | 0,59 | 0,54 | 0,55 | 0,55 |
| z_{480} [m] | 2,44 | 0,21 | 0,96 | 0,74 | 0,81 | 0,79 |
| $\rho_{g,480}$ [kg/m ³] | 1 | 0,12 | 0,40 | 0,32 | 0,35 | 0,34 |

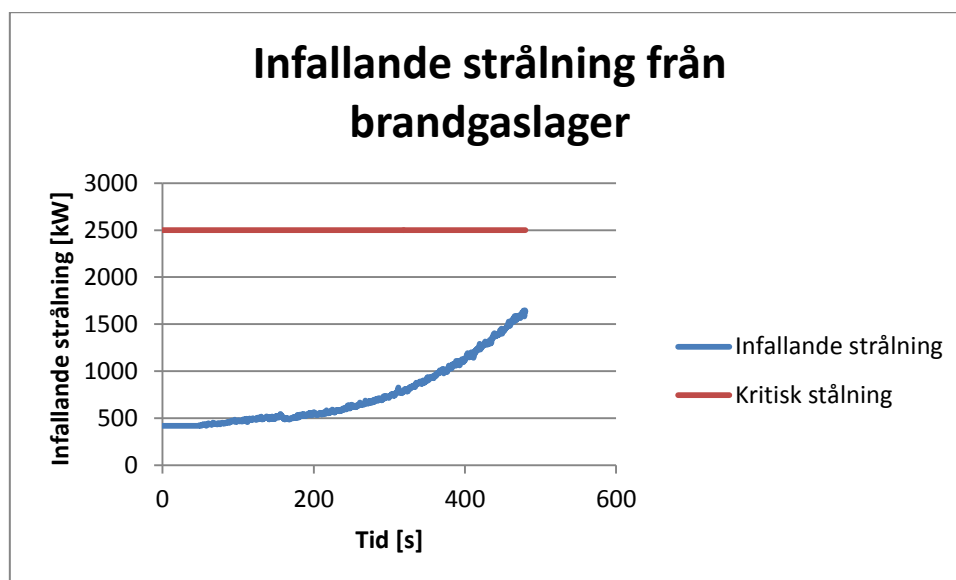
Temperaturen på brandgaslagret beräknas sedan med Ekvation A-11 och redovisas i Tabell C-5.

Tabell C-5 - Den temperatur som brandgaslagret beräknas ha enligt Ekvation A-11 beroende på dess dåvarande densitet.

| Rökgaslagrets densitet [kg/m ³] | Beräknad temperatur [°C] |
|---|--------------------------|
| $\rho_{g,60}$ | 28,5 |
| $\rho_{g,120}$ | 41,6 |
| $\rho_{g,180}$ | 61,4 |
| $\rho_{g,240}$ | 91,4 |
| $\rho_{g,300}$ | 138,4 |
| $\rho_{g,360}$ | 217,4 |
| $\rho_{g,420}$ | 369,9 |
| $\rho_{g,480}$ | 766,6 |

C.1.4 Strålning från brandgaslager

Vid beräkning av strålning från brandgaslager i Mässhallen sätts den totala synfaktorn till 1 eftersom rökgaslagret är vida utbredd och därmed kan anses stråla helt till personen. Emissiviteten sätts även den till 1 för ett konservativt värde. Temperatur som används är framräknat i FDS och Ekvation A-4 ger följande kurva, se Figur C-1. Strålningen är beräknad mot en punkt i mitten av rummet.



Figur C-1 - Den strålning som brandgaslagret anses ha på en punkt i mitten av rummet.

C.1.5 Handberäkning angående brandgasventilation

Beräkningar för naturlig brandgasventilation av mässhallen utförs enligt metod och ekvationer som beskrivs under A.7. Dock skrivs Ekvation A-16 om för att ta reda på vilken area på ventilationsluckor som behövs för att naturlig ventilation skall kunna användas. På grund av detta ansätts det i beräkningarna att $\dot{m}_e = \dot{m}_p$. Rökgaslagrets höjd över marken ansätts till 5 m då denna nivå ligger över den kritiska. Nedan i Tabell C-6 listas indata till beräkningarna.

Tabell C-6 - Redovisning av den indata som används vid beräkning av krävd ventilationsarea för mässhall.

| Symbol | Innebörd | Värde | Enhet |
|--------------|---------------------------------------|--|-----------------------|
| z | Rökgaslagrets höjd över marken | 5 | m |
| \dot{m}_e | Massflödet av brandgaser ut ur rummet | 28,57 | m ³ /s |
| \dot{Q} | Brandens maxeffekt | 17000 | kW |
| ΔP_l | Tryckskillnad över porten | 4,28 | Pa |
| C_D | Flödeskoefficient | 0,6 (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 212) | - |
| A_D | Tilluftens area | 14,85 | m ² |
| A_w | Väggarnas area | 1642,4 | m ² |
| A_E | Ventilationsluckornas totala area | - | m ² |
| h | Värmeledningskoefficient | 0,033 (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 214) | kW/(m ² K) |
| H_E | Lokalens höjd | 8,85 (Lutande tak 7,8 – 9,9 m) | m |
| ρ_g | Brandgasens densitet | 0,708 | kg/m ³ |
| ρ_a | Omgivande lufts densitet | 1,2 (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 61) | kg/m ³ |
| g | Tyngdacceleration | 9,81 | m/s ² |
| c_p | Luftens värmekapacitet | 1,0 (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 61) | J/(kg·K) |

| | | | |
|----------------|--------------------------|-------|---|
| T _a | Omgivande lufttemperatur | 293 | K |
| T _g | Rökgasernas temperatur | 498,4 | K |

Vid insättning av värden Tabell C-6 i Ekvation A-7 ges en erforderlig area på 10,58 m².

C.2 Brandscenario 2 – Matsalen

I detta avsnitt redovisas de indata, beräkningar och utvärderingar som används vid bedömning av scenario Matsal.

C.2.1 Indata till Figur 8-2

För att ta fram det α -värde som används vid beräkningar görs en jämförelse mellan flertalet uppmätta α -värden vilka antas representera material som finns i lokalen. Dessa värden och dess ursprungslitteratur redovisas i Tabell C-7.

Tabell C-7 - Tabell över de olika α -värden som används i Figur 8-2 med tillhörande referens.

| Index | Litteraturnamn | α -värde [kW/s ²] | Referens |
|-----------|---|---|-------------------------------------|
| Stol 1 | Chair wood frame w/latex foam cushions, 11.2 kg | 0,0042 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40) |
| Stol 2 | Chair F24, 28.3 kg | 0,0086 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40) |
| Stol 3 | Chair F26, 19.2 kg | 0,0264 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40) |
| Stol 4 | Chair F21, 28.15 kg (initial stage of fire growth) | 0,0344 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40) |
| Stol 5 | Easychair CO7 11.52 kg | 0,0344 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40) |
| Stol 6 | Chair F21, 28.34 kg (large hood) | 0,1055 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40) |
| Stol 7 | Chair F25, 27.8 kg (initial stage of fire growth) | 0,1055 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40) |
| Stol 8 | Chair F29, 14.0 kg | 0,1055 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40) |
| Stol 9 | Chair F21, 28.34 kg | 0,521 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40) |
| Soffa 1 | Mock-up sofa, ordinary PU foam, cotton fabric | 0,002268 | (Särdqvist, 1993, pp. Y5.4/12-15) |
| Soffa 2 | Mock-up sofa, ordinary PU foam, acrylic velour fabric | 0,016667 | (Särdqvist, 1993, pp. Y5.4/12-15) |
| Soffa 3 | Chair F32, (sofa) 51.5 kg | 0,1055 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40) |
| Soffa 4 | Chair F31, (loveseat) 40.4 kg | 0,1648 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40) |
| Träpallar | Wooden pallets 1 1/2 feet high | 0,012 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 42) |

| | | | |
|-----------|---------------|-------|-------------------------------------|
| Slow | Standardvärde | 0,003 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 41) |
| Medium | Standardvärde | 0,012 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 41) |
| Fast | Standardvärde | 0,047 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 41) |
| Ultrafast | Standardvärde | 0,19 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 41) |

C.2.2 Utvärdering av brandens effekt

För att kontrollera om den uppskattade branden i 8.3 är rimlig fram till maxeffekt utförs beräkningar för att se om syret i rummet ger tillräcklig energi samt att mängden avbrunnet material är i storleksordning skäligen jämfört med antalet möbler i utrymmet.

Med Ekvation C-1 beräknas den totala energin som syret i matsalen kan avge. Volymen i matsalen som har uppskattats till 2419 m³ avger med ekvationen en energi på 4944 MJ. Genom att jämföra denna energi med den som branden genererar fram till maxeffekt erhålls en underrättelse om branden kan växa obehindrat av syretillgången till maxeffekt. Med Ekvation C-2 kan energin som branden genererar beräknas.

Den uppskattade brandeffekten och tillväxthastigheten har i avsnitt 8.3 fastställts till 17 MW respektive 0,047 kW/s². Tiden till maxeffekt blir då 601 sekunder om branden definieras med kvadratisk tillväxt enligt A.1. Detta ger en total energimängd på 3401MJ, vilket är 69 % av den som finns tillgängligt från syret i lokalen.

Mängden bränsle som krävs för att nå maxeffekt beräknas genom att använda den totala energimängden som genereras och en passande förbränningsentalpi för utrymmet. Tidigare i 8.3.1 utfördes en uppskattning av brännbart material i matsalen till fördelningen 70 % trä och 30 % polyuretanskum. Detta resulterar i följande förbränningsentalpi, se Tabell C-8.

Tabell C-8 – Värden som används för framvägning av förbränningsentalpi för matsalen.

| Material | Förbränningsentalpi [MJ/kg] |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Trä | 19,5 ^a |
| Polyuretanskum | 24 ^b |
| 70 % trä, 30 % polyuretanskum | 20,85 |

^a (SFPE, 2002, pp. 1-93). ^b (SFPE, 2002, pp. A-40).

Med Ekvation C-4 kan den effektiva förbränningsentalpin beräknas. Förbränningseffektiviteten bedöms till 0,7 då både trä och polyuretan är sotande material. Slutligen kan resulterande mängd förbrukat bränsle fastställas till 233 kg med Ekvation C-5.

C.2.3 Strålning mot utgångar

Nedan redovisas beräkningar som syftar i att se om kritisk strålning efter uppsatta kriterier uppstår vid någon av utgångarna i matsalen. Beräkningarna grundar sig i en omskrivning av Ekvation A-4 till Ekvation C-6 nedan och teori bakom strålningsberäkningarna hittas i A.5.

$$\phi_{tot} = \frac{\dot{q}''}{\varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4} \quad \text{Ekvation C-6}$$

Genom att ansätta den kritiska strålningen till 2,5 kW/m² (detta förutsätter köande personer vilket bedöms som rimligt vid utrymningsituation) och emissiviteten till 1 i enlighet med bilaga A.5 samt en medelflamtemperatur på 900 °C kan en synfaktor tas fram. Temperaturen är en parameter som påverkar svaret väldigt mycket, ett högt värde väljs då detta resulterar i en minskad synfaktor och i sin tur en mindre storlek på flammen vilket är konservativt då detta uppnås tidigare. Detta ger resultat enligt Tabell C-9 nedan.

Tabell C-9 – Resultat för beräkning av synfaktor utifrån medelflamtemperatur och kritisk strålningsintensitet.

| Kritisk nivå strålningsnivå [kW/m ²] | Medelflamtemperatur [K] | ε | ϕ_{tot} [-] | ϕ_i [-] |
|--|-------------------------|---------------|------------------|--------------|
| 2,5 | 1173 | 1 | 0,024 | 0,006 |

Detta leder till att $\phi_i = 0,006$. Med hjälp av Figur A-2 kan ett värde på α och S tas fram. Då längden till de olika nödutgångarna från flammen är känd kan sedan den flammhöjd och flambasbredd som krävs för att uppnå kritisk strålningsmängd vid de olika utgångarna tas fram. Därefter bedöms det om flammans höjd och den cirkulära area som bredden resulterar i är rimliga eller ej. För att beräkna den cirkulära brandbasens area som flambasbredden tänks representera används Ekvation C-7 nedan.

$$A = \frac{\text{Bredd}^2 \cdot \pi}{4} \quad \text{Ekvation C-7}$$

Värden på α_s , S och avstånd till de olika nödutgångarna redovisas i Tabell C-10.

Tabell C-10 – Indatavärden för beräkningar av erforderlig flammhöjd och flambasbredd.

| Utgång | Avstånd från brand [m] | S | α_s |
|--------|------------------------|---|------------|
| 1 | 9,9 | 1 | 0,02 |
| 2 | 19,8 | 1 | 0,02 |
| 3 | 13,9 | 1 | 0,02 |
| 4 | 11,2 | 1 | 0,02 |

Den höjd och bredd som krävs för att kritisk strålning skall uppnås vid de olika utgångarna löses ut med hjälp av S, α_s och avståndet till respektive utgång. Detta resulterar i värden som presenteras i Tabell C-11.

Tabell C-11 – Resultierande flambhöjd och flambasbredd som krävs för att uppnå kritisk strålning.

| Utgång | Höjd [m] | Bredd [m] |
|--------|----------|-----------|
| 1 | 2,8 | 2,8 |
| 2 | 5,6 | 5,6 |
| 3 | 3,95 | 3,95 |
| 4 | 3,2 | 3,2 |

De framräknade flambasernas areor redovisas i Tabell C-12.

Tabell C-12 – Resultierande flambasareor för att uppnå kritisk strålning.

| Utgång | Bredd [m] | Area [m ²] |
|--------|-----------|------------------------|
| 1 | 2,8 | 6,1 |
| 2 | 5,6 | 24,6 |
| 3 | 3,95 | 12,2 |
| 4 | 3,2 | 7,95 |

Tabell C-12 visar att kritisk strålning kan uppnås vid utgång 1 och utgång 4 då brandens area håller sig inom den begränsning som tidigare har gjorts. För att undersöka när dessa areor uppnås används Ekvation A-17 där effekten löses ut. Den framtagna effekten används sedan för att ta fram tiden med hjälp av sambandet för kvadratisk brandtillväxt beskrivet i A.1. Resultatet av beräkningarna redovisas i Tabell C-13 tillsammans med tiden till kritiska förhållanden för jämförelse mellan dessa.

Tabell C-13 - Jämförelse av tid till kritiska förhållanden baserat på strålning eller andra orsaker (sikt och brandgaslagrets höjd).

| Karakteristisk tid [s] | Utgång 1 | Utgång 4 |
|--|----------|----------|
| Tid till kritisk strålningsnivå | 246 | 288 |
| Tid till kritiska förhållanden (andra orsaker) | 215 | 200 |

C.3 Brandscenario 3 – Övre konferensdelen

I Tabell C-14 redovisas den indata som används till Figur 9-6.

Tabell C-14 - Tillväxthastighet för olika möbler, material och standardhastigheter.

| Material | Beskrivning | α -värde | Källa |
|------------------|---|-----------------|-------------------------------------|
| Stol 1 | Chair F22, 31,9 kg | 0,0003 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40) |
| Stol 2 | Chair wood frame w/latex foam cushions, 11,2 kg | 0,0042 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40) |
| Stol 3 | Chair F24, 28,3 kg | 0,0086 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40) |
| Stol 4 | Chair F26, 19,2 kg | 0,0264 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40) |
| Stol 5 | Easychair CO7 11,52 kg | 0,0344 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40) |
| Stol 6 | Chair F29, 14,0 kg | 0,1055 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40) |
| Träpallar | Wooden pallets 1 1/2 feet high | 0,012 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 40) |
| Slow | Standardvärde | 0,003 | EFD |
| Medium | Standardvärde | 0,012 | EFD |
| Fast | Standardvärde | 0,047 | EFD |
| Ultrafast | Standardvärde | 0,19 | EFD |

C.4 Brandscenario 4 – Bowlinghallen

Nedan redovisas indata, beräkningar och resultat för bowlinghallen.

C.4.1 Strålning från dörr

Vid beräkning av erforderlig temperatur på bowlinghallens dörr för att uppnå en kritisk strålningsintensitet vald till 10 kW/m^2 används den metod som beskrivs i A.5. Följande indata används för att beräkna synfaktorn för den strålande dörren, se Tabell C-15.

Tabell C-15 - Data för beräkning av synfaktor för den strålande bowlingdörren.

| Höjd [m] | Bredd [m] | Avstånd [m] | S [-] | α_s [-] | ϕ_i [-] | ϕ_{tot} [-] |
|----------|-----------|-------------|--------|----------------|--------------|------------------|
| 2,1 | 2,0 | 2,1 | 0,9524 | 0,2381 | 0,0582 | 0,2328 |

Med synfaktorn beräknad kan erforderlig temperatur för att uppnå kritisk strålning lösas ut ur Ekvation A-4. Indata och resultat redovisas i Tabell C-16.

Tabell C-16 - Indata för strålningsberäkningar samt resulterande temperatur på dörren till bowlinghallen.

| Kritisk strålningsnivå [kW/m^2] | ϵ [-] | ϕ_{tot} [-] | Temperatur [$^{\circ}\text{C}$] |
|--|----------------|------------------|-----------------------------------|
| 10 | 1 | 0,2328 | 659,95 |

Bilaga D Indata till simuleringar

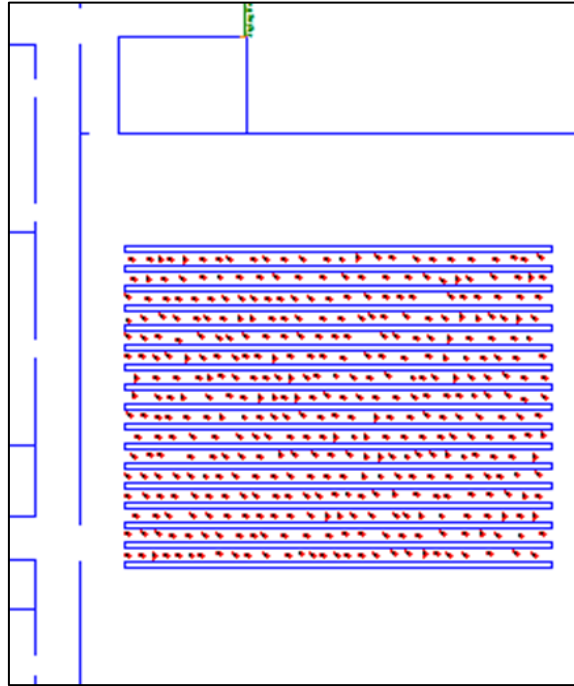
Nedan bifogas indata för simuleringar i exempelvis CFAST, Simulex och FDS.

D.1 Brandscenario 1 – Mässhallen

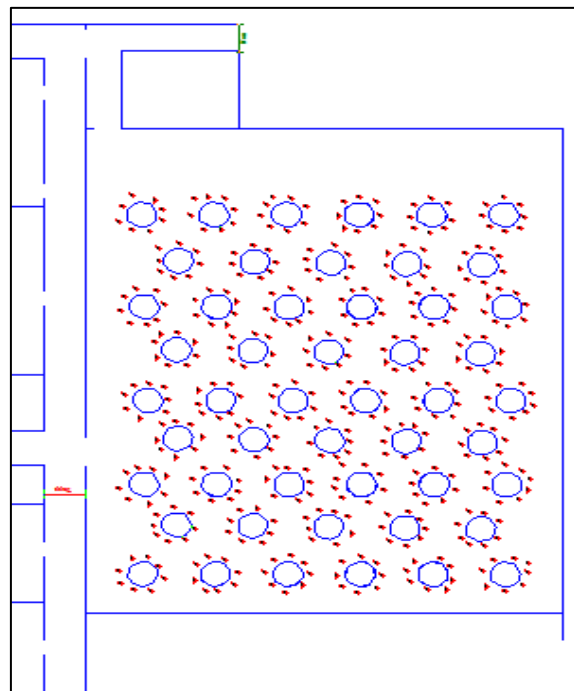
Nedan redovisas indata till simuleringar beträffande Brandscenario 1.

D.1.1 Uppställning i Simulex för tillställningar i Mässhallen

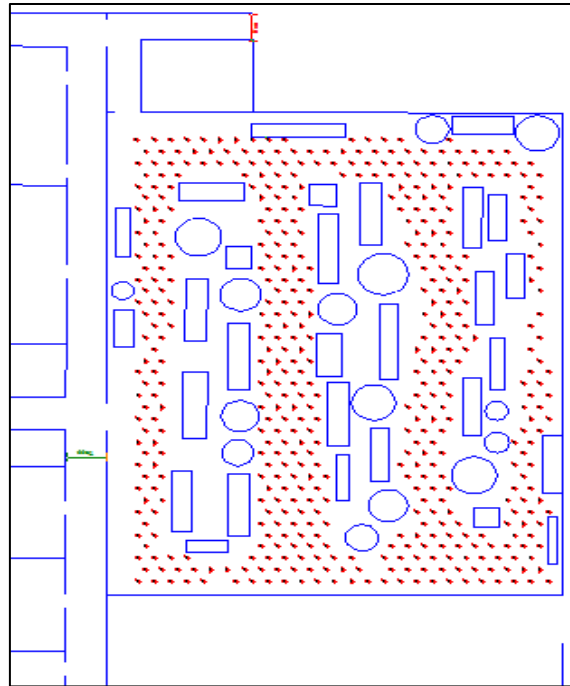
De uppställningar som används vid simuleringar i Simulex redovisas nedan i Figur D-1-Figur D-3.



Figur D-1 - Uppställning i mässhallen för bioevenemang.



Figur D-2 - Uppställning i mässhallen för middagsevenemang.



Figur D-3 - Uppställning i mässhallen för evenemanget mässa.

D.1.2 Förenklingar och indata för FDS

Vid simuleringar av mässhallen i FDS används en cellstorlek på 10 cm ovanför branden med 2,0 m extra på vardera sida. Övrigt utrymme utförs cellstorleken 20 cm. Vissa förenklingar av geometrin görs, dessa redovisas nedan.

- Rummet avbildas som ett rätblock med plant tak och dimensionerna 43,2 x 26,4 x 9,0 m där höjden liknas vid takets medelhöjd.
- Ingen hänsyn till inredning på golvplan tas. Denna anses ej påverka de faktorer som undersöks.
- Endast utrymningsvägar som antas vara öppna för utrymning är modellerade som öppningar.

Effekten modelleras efter den data som presenteras under 7.3. Simuleringen körs i 480 sekunder och branden antas ej bli ventilationskontrollerad baserat på slutsatser i 7.3.2. I simuleringen införs en radiellt spridande brand med spridningshastigheten 0,003 m/s vilket ger en effektutveckling enligt den tillväxthastighet som definierats under 7.3.1.

För FDS-simuleringar i Mässhallen ansätts bränslet till att vara cellulosa-baserat då detta bäst efterliknar trä. Anledningen till att trä ansätts är att oavsett tillställning bedöms trä alltid finnas närvarande, dels i form av träpanelen på väggarna och dels i form av eventuell evenemangsspecifik inredning. Då flera värden hittas för en parameter väljs medelvärden. På grund av att bränslet är generaliserat mäts därför inte koncentrationen av förbränningsprodukter och syre då dessa beror på bränslets sammansättning. Detta medför att parametrarna C,H och O ej får samma betydelse i simuleringen. Värden och referenser presenteras nedan i Tabell D-1.

Tabell D-1 – Värden för bränsle i FDS.

| Parameter | C | H | O | Soot yield [g/g] | ΔH_c [kJ/g] |
|-----------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|---------------------|
| Värde | 10 ^a | 14 ^a | 7 ^a | 0,015 ^b | 17,13 ^b |

^a (SFPE, 2002, pp. A-41) ^b (SFPE, 2002, pp. 3-111)

Material i väggar, golv och tak är osäkra och därför körs två fall med olika material. Taket i mässhallen antas i båda fallen vara ett sandwich-element med plåt, isolering, plåt. Väggar och golv varierar mellan betong och lättbetong. Glasrutor i taknivå modelleras som långor utförda i glas med uppskattad höjd. Sammanfattning ses i Tabell D-2.

Tabell D-2 – De två olika fall med material som simuleras i FDS.

| Fall | Väggar | Golv | Tak |
|------|------------|------------|-----------------------|
| 1 | Betong | Betong | Plåt, isolering, plåt |
| 2 | Lättbetong | Lättbetong | Plåt, isolering, plåt |

Egenskaper för de material som används presenteras i Tabell D-3 nedan.

Tabell D-3 - Konstanter för material i FDS.

| Material | ρ [kg/m ³] | k [W/mK] | c [J/kgK] | Referens |
|------------|-----------------------------|------------|-------------|--------------------------------------|
| Betong | 2100 | 1,1 | 880 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 122) |
| Lättbetong | 500 | 0,15 | 1000 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 122) |
| Glas | 2600 | 0,8 | 840 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 122) |
| Isolering | 100 | 0,041 | 800 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 122) |
| Plåt | 7820 | 45 | 460 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 122) |

D.2 Brandscenario 2 – Matsal

Nedan följer en redovisning för den indata som används vid utredning av scenario Matsal.

D.2.1 Förenklingar och indata för FDS

Vid simulering i FDS av matsalen väljs en cellstorlek på 10 cm vid branden med 1,1 m marginal på vardera sida. I resterande utrymme väljs cellstorleken 20 cm.

Förenklingar i geometrin redovisas nedan:

- Geometrin generaliseras till en rektangulär box (20 x 33,6 x 3,6 m) med plant tak där den totala volymen överensstämmer med matsalens verkliga volym.
- Alla nödutgångar antas vara öppna under hela simuleringen.
- Ingen hänsyn tas till möbler i utrymmet då dessa inte antas påverka den utdata som analyseras.

Effektutvecklingen utformas efter den tillväxthastighetskonstant som togs fram avsnitt 8.3. Total simuleringstid bestäms till 300 sekunder och under denna tid antas branden ej bli ventilationskontrollerad genom tidigare slutsatser från avsnitt 0. För att efterlikna ett riktigt brandförlopp införs en radiellt spridande brand med en spridningshastighet på ca 0,003 m/s vilket kommer efterlikna den tillväxthastighet som nämns ovan.

I kap 8.3 uppskattas brandens bränsle till att största delen bestå av trä och polyuretanskum i fördelningen 70/30. Denna uppskattning används också här för att väga fram indataparametrar till FDS. Om fler värden för en parameter finns tas ett medelvärde från dessa fram, värden på indataparametrar för bränsle redovisas i Tabell D-4.

Tabell D-4 - Värden för bränsle i FDS.

| Parameter | C | H | O | Soot yield [g/g] | ΔH_c [kJ/g] |
|-----------|------------------|-------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| Värde | 9 ^{c,d} | 12 ^{c,d} | 6 ^{c,d} | 0,06675 ^b | 20,85 ^{a,b} |

^a (SFPE, 2002, pp. 1-93) ^b (SFPE, 2002, pp. 3-111) ^c (SFPE, 2002, pp. A-40) ^d (SFPE, 2002, pp. A-42)

Materialval i väggar, tak och golv har i största möjliga mån valts att efterlikna det sanna.

Fönsterpartier placeras på båda långsidorna men på grund av osäkerheter kring vad övriga väggar består av utförs två simuleringar med olika väggmaterial för att se hur vida förändrad värmeledning påverkar resultatet. Vilka material som används i respektive simulering redovisas i Tabell D-5, egenskaper för dessa material redovisas i Tabell D-6.

Tabell D-5 - De två olika fall med material som simuleras i FDS.

| Fall | Väggar | Golv | Tak |
|------|------------|------------|------------|
| 1 | Betong | Betong | Betong |
| 2 | Lättbetong | Lättbetong | Lättbetong |

Tabell D-6 - Konstanter för material i FDS

| Material | ρ [kg/m ³] | k [W/mK] | c [J/kgK] | Referens |
|------------|-----------------------------|----------|-----------|--------------------------------------|
| Betong | 2100 | 1,1 | 880 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 122) |
| Lättbetong | 500 | 0,15 | 1000 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 122) |
| Glas | 2600 | 0,8 | 840 | (Karlsson & Quintiere, 2000, p. 122) |

C, H, O ses dock inte som relevant i simuleringen då koncentrationer av koldioxid, kolmonoxid och syre ej analyseras vidare.

D.3 Brandscenario 3 – Övre konferensdelen

Nedan redovisas den data som används vid bedömning av scenario Övre konferensdel.

D.3.1 Indata till simuleringar i CFAST

För att simuleringen i CFAST ska kunna anses representativ för ett verkligt brandförlopp tas indata fram som bedöms likna vad som kan förekomma i övre konferensdelen. Några av dessa indata redovisas i Tabell D-7.

Tabell D-7 - Indata till parametrarna H/C och C/CO₂, medelvärde används på grund av okunskap kring materialet samt att flera värden hittades. Värden hämtas från litteraturstudier (SFPE, 2002, pp. 3-108,3-111).

| Polyuretanskum | H/C [g/g] | C/CO ₂ [g/g] · 10 ⁻³ |
|-------------------|--------------|--|
| GM21 | 0,151 | 1,29 |
| GM23 | 0,151 | 3,31 |
| GM25 | 0,142 | 3,33 |
| GM27 | 0,142 | 2,55 |
| Medelvärde | 0,147 | 2,62 |

De värden som ansätts för branden redovisas i Tabell D-8.

Tabell D-8 – Den kemiska data som ansätts för branden när simulering sker i CFAST.

| Material | Trä | Polyuretanskum | 70 % trä, 30 % polyuretanskum |
|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Förbränningsvärme [MJ/kg] | 19,5 (SFPE, 2002, pp. 1-93) | 24 (SFPE, 2002, pp. A-40) | 20,85 |
| H/C [g/g] | 0,14 (Hultquist, 2000) | 0,147 se Tabell D-7 | 0,1421 |
| C/CO₂ [g/g] | 0,012 (Hultquist, 2000) | 0,0026 se Tabell D-7 | 0,00918 |

Ytterligare indata som används vid simulering i CFAST redovisas i

Tabell D-9.

Tabell D-9 - Brandens placering och annan indata. Origo är motsatt hörn från branden som syns i Figur 9-7. X-axeln är bredd och y-axeln längd.

| Placering x,y,z [m] | Tillväxthastighet [kW/s ²] | Maxeffekt [kW] | Tid under maxeffekt [s] | Total massa [kg] | Radiative fraction |
|------------------------|---|-------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------|
| 5,5 ; 9,0 ; 0,5 | 0,047 | 3200 | 300 | 220 | 0,3 |

Placering av strålningsmätare i FDS redovisas i tabell Tabell D-10.

Tabell D-10 - Placering av strålningsmätare och dess normalvektor (riktningen mätytan är vänd mot)

| Target | Placering x,y,z [m] | Normalvektor |
|--------|---------------------|-------------------------------|
| 1 | 1,0 ; 4,0 ; 1.6 | 0,66 ; 0,73 ; -0,19 (branden) |
| 2 | 1,0 ; 4,0 ; 1.7 | 0,0 ; 0,0 ; 1,0 (tak) |

D.3.2 Indata för sprinklerberäkningar

Konferensdelen påminner om kontorsutrymmen och passar därmed in i låg riskklass (LH), täckningsytan för en sprinkler inom denna klass får då vara maximalt 21 m². Då utrymmet är litet och kritiska förhållanden uppstår otroligt tidigt i utrymningsförloppet krävs en sprinkler som fort ska kunna aktivera och verka. En sprinkler med RTI-värde för "Ultra fast response" (30 m^{1/2}s^{1/2}) med en så låg aktiveringstemperatur som 57 °C appliceras (Bek, 2009, pp. 10-13).

D.4 Fördelning för hotellgäster i Simulex

För att sätta en representativ fördelning för de besökare som gästar hotellet används en fördelning som tillhandahålls av ansvarig fastighetskötare vid objektet. Denna fördelning samt representativ persontyp i Simulex redovisas i Tabell D-11.

Tabell D-11 – Data över besökarstatistik för Arken Hotell samt representativ personlighetstyp i Simulex.

| Ålder | Fördelning [%] | Persontyp i Simulex |
|-------|----------------|---------------------|
| 0-10 | - | - |
| 11-20 | 5 | Child |
| 21-30 | 15 | Adult Male/Female |
| 31-40 | 25 | Adult Male/Female |
| 41-50 | 25 | Adult Male/Female |
| 51-60 | 20 | Adult Male/Female |
| 60+ | 10 | Elderly |

Då det är oklart vilken fördelning mellan män och kvinnor som finns i populationen på hotellet sätts denna till lika. Den resulterande indata som används i programmet redovisas i Tabell D-12.

Tabell D-12 – Resulterande fördelning för hotellgäster i Simulex.

| Persontyp i Simulex | Fördelning [%] |
|---------------------|----------------|
| Adult Male | 42 |
| Adult Female | 43 |
| Child | 5 |
| Elderly | 10 |

Bilaga E Resultat från simuleringar

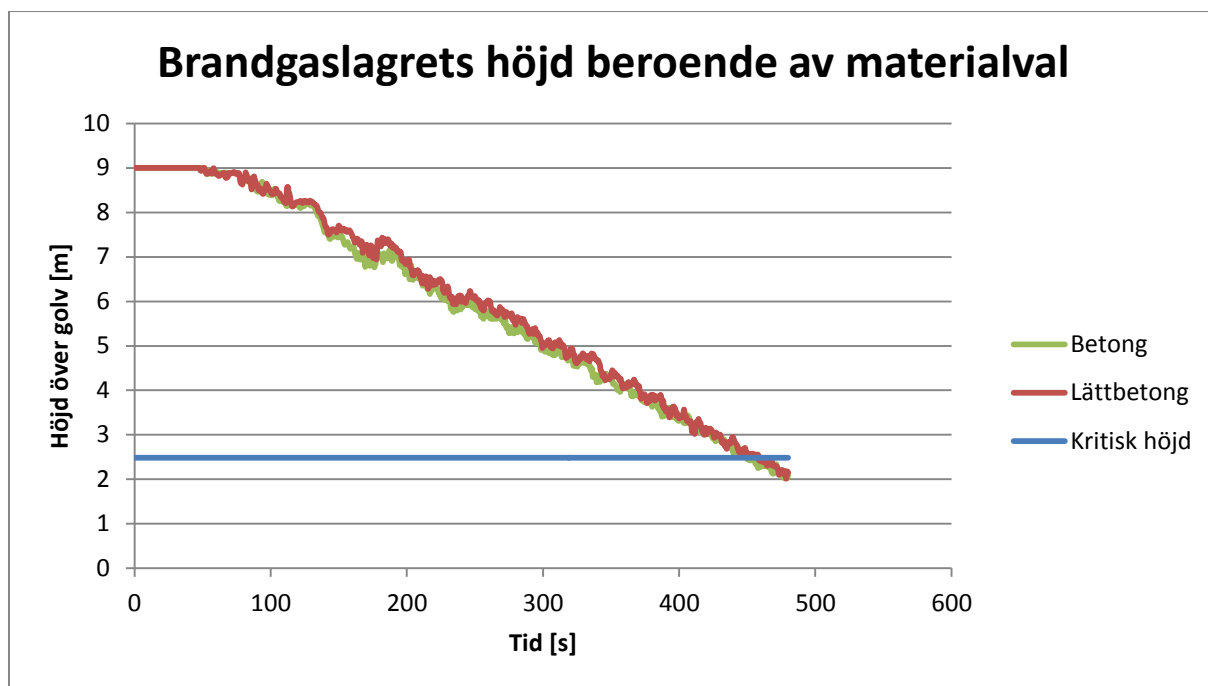
I detta avsnitt redovisas utdata från de simuleringar som har använts vid utvärderingen av brandskyddet på Arken Hotell.

E.1 Scenario 1 – Mässhall

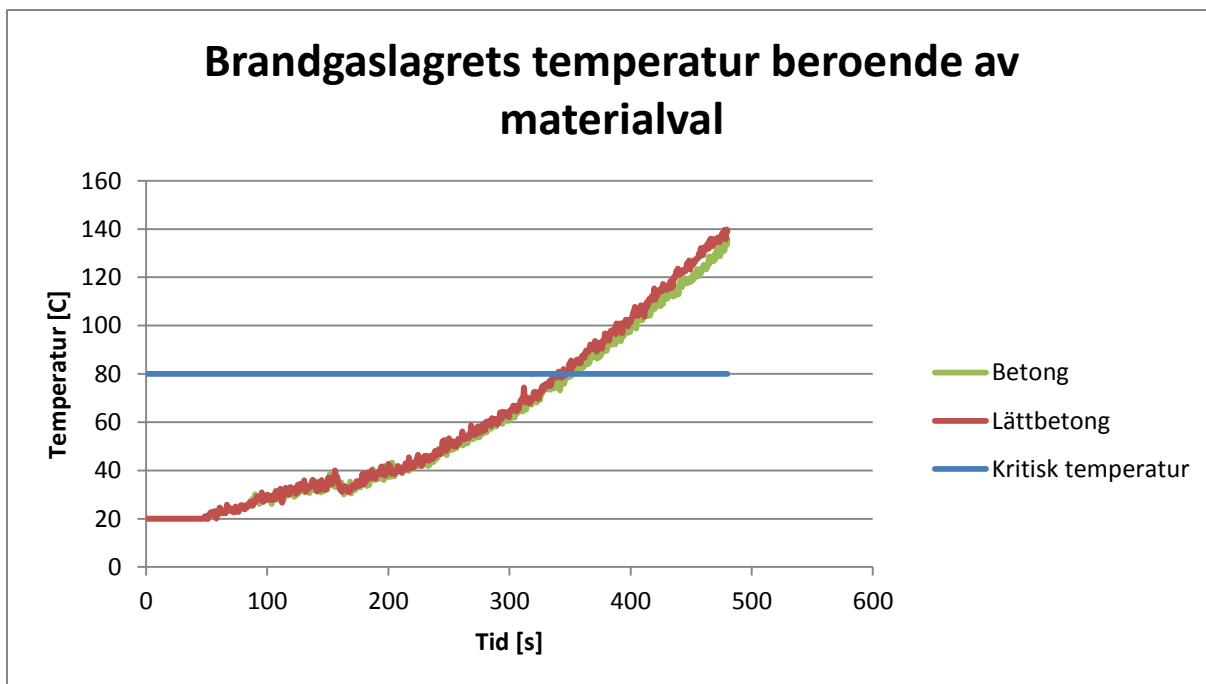
Den utdata som fås från simuleringar för scenario Mässhall redovisas neda.

E.1.1 Resultat från simuleringar i FDS

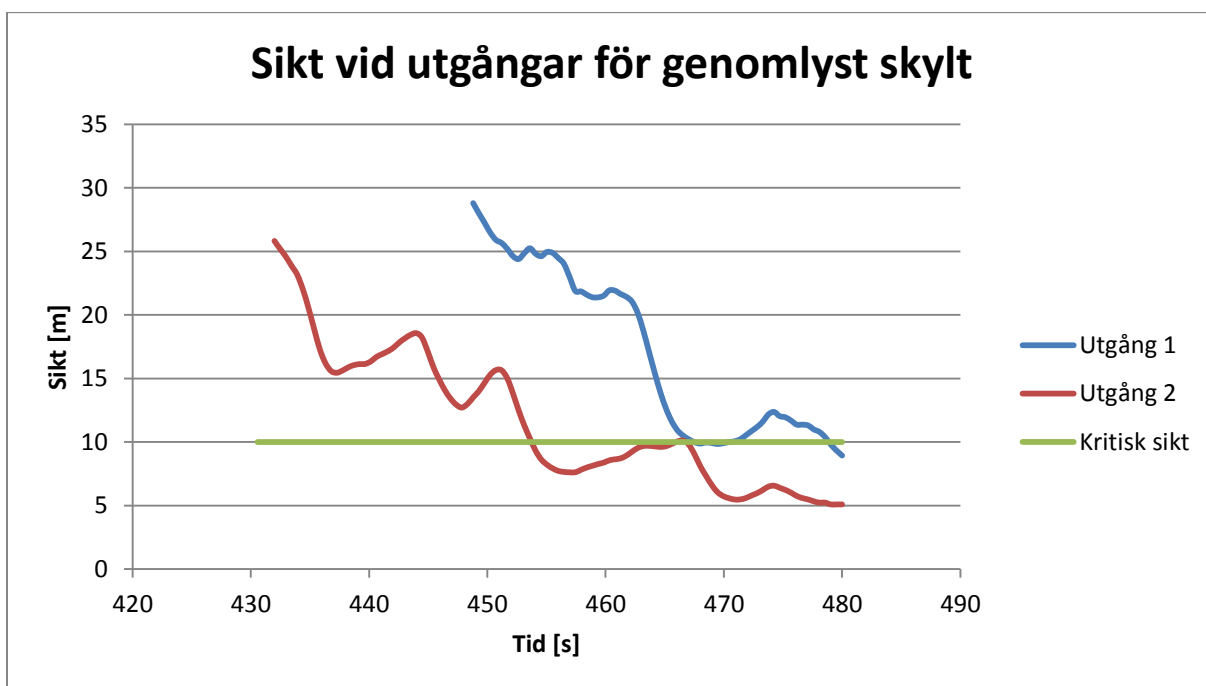
De resultat som ges via FDS simuleringarna redovisas nedan i Figur E-1 - Figur E-4. Kritiska gränser är från Tabell 4-1 med undantag för detektoraktivering där nivån för aktivering sätts till 3.5 %/m (Siemens, 2012, p. 123).



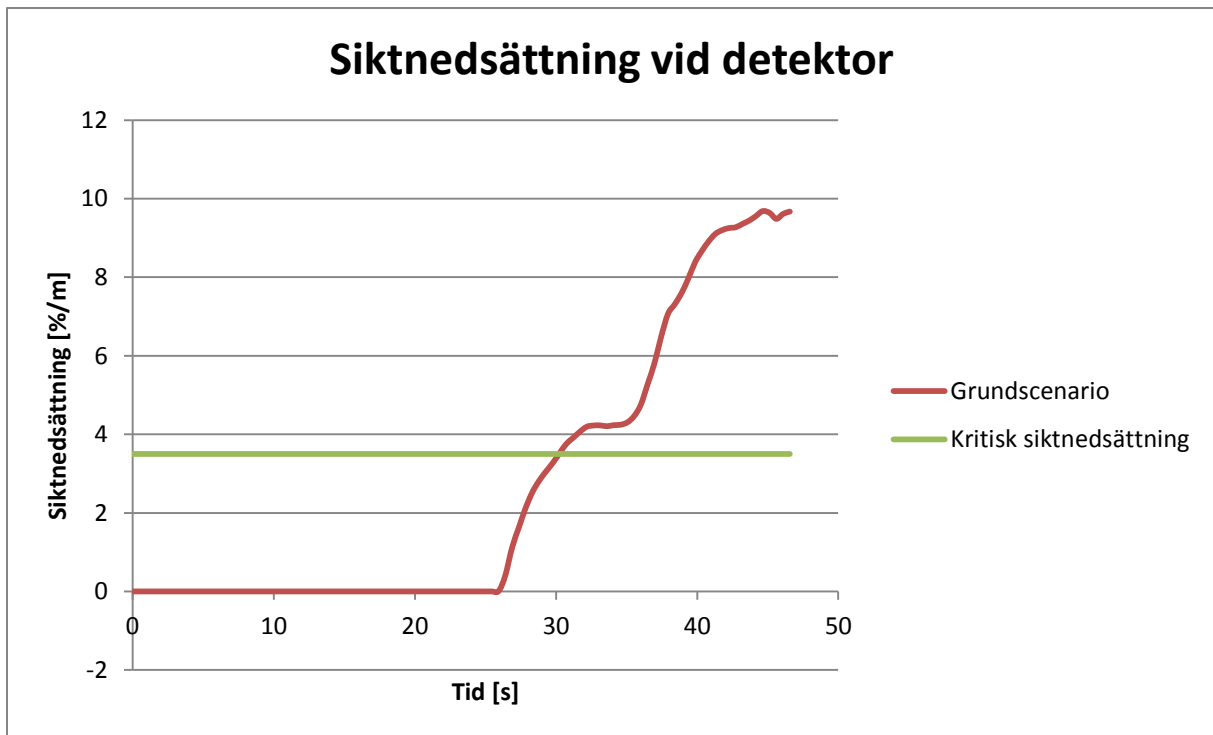
Figur E-1 - Jämförelse mellan de två FDS simuleringarna och den innebörd golv och väggarnas materialegenskaper har för rökgaslagrets höjd.



Figur E-2 - Jämförelse mellan de två FDS simuleringarna och den inbörd golv och väggarnas materialegenskaper har för rökgaslagrets genomsnittliga temperatur.



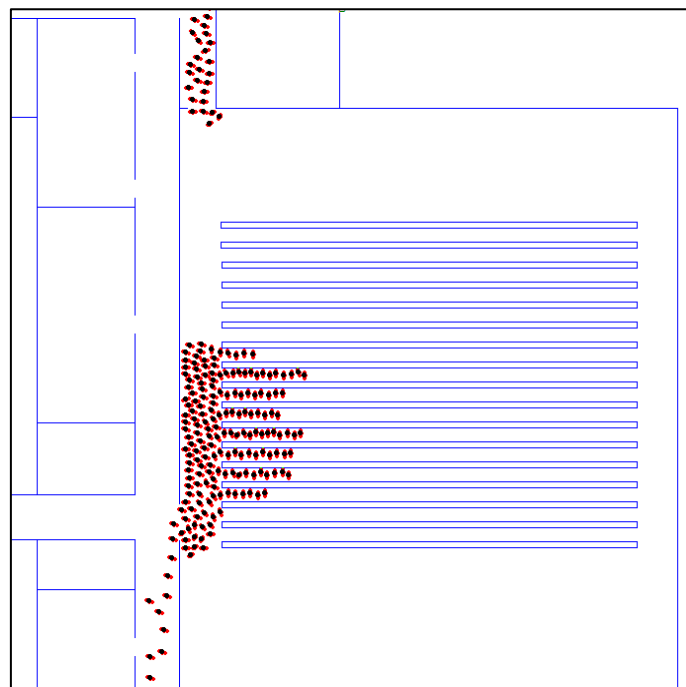
Figur E-3 - Simulerad sikt vid dörrar där folk förväntas befinna sig under längre tider vid utrymning.



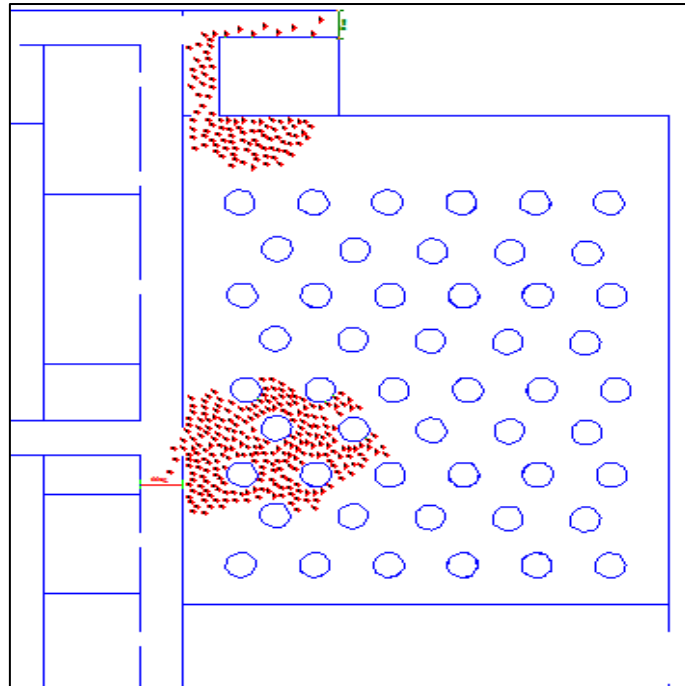
Figur E-4 - Tid till detektoraktivering vid simulering av brand i FDS.

E.1.2 Känslighetsanalys – Typ av evenemang i Simulex

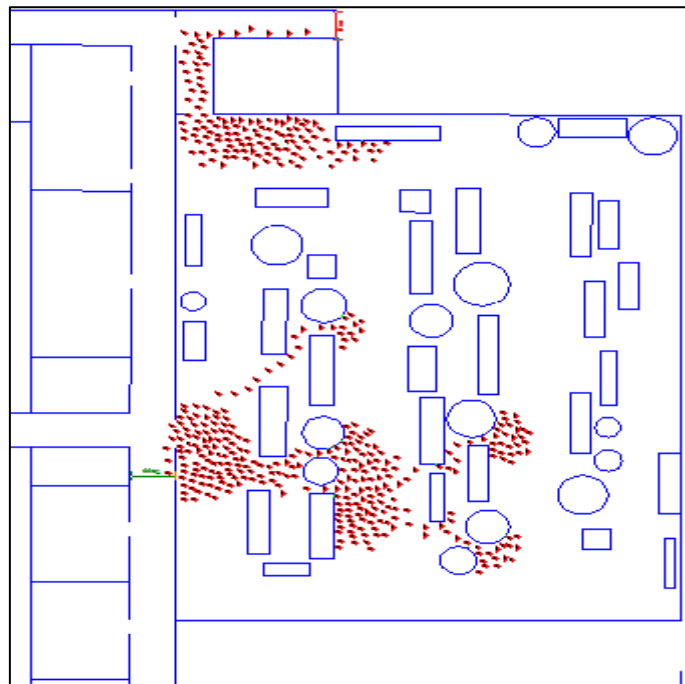
I avsnittet nedan undersöks huruvida evenemangsspecifikt möblemang påverkar förflyttningstiden vid utrymning ut ur mässhallen.



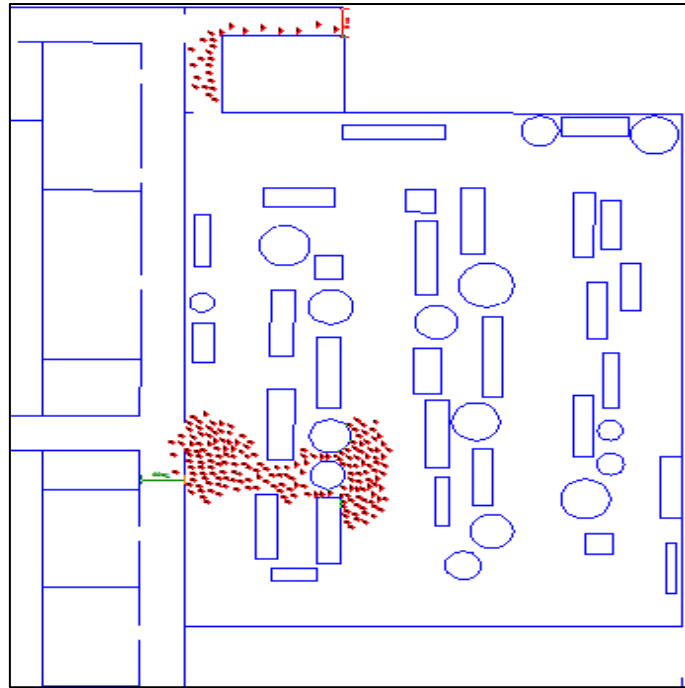
Figur E-5 - Köbildning skapas mellan de stolsrader som används vid filmvisning. Kontinuerlig kö finns dock hela tiden vid lokalens utgång.



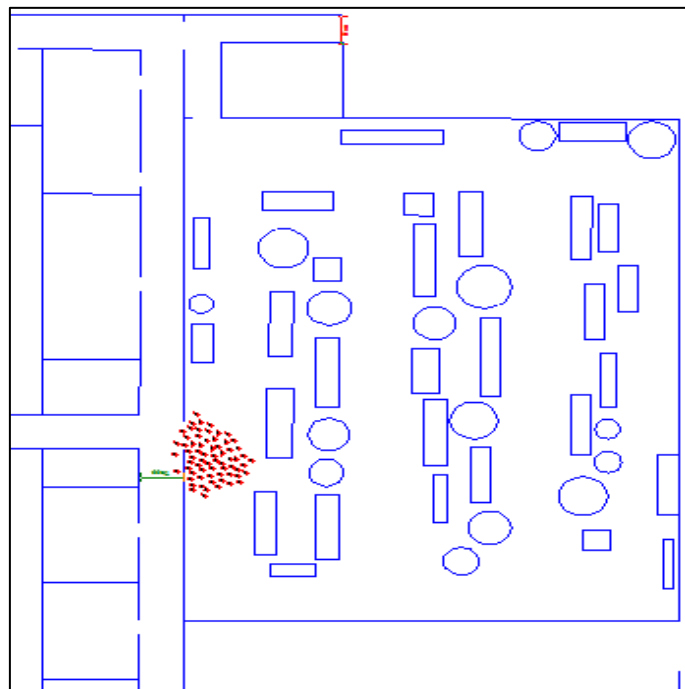
Figur E-6 - Ingen direkt köbildning med avseende på möblering kan ses vid middagsevenemang.



Figur E-7 - Kraftig köbildning skapas i lokalen då en mässliknande möblering har använts.



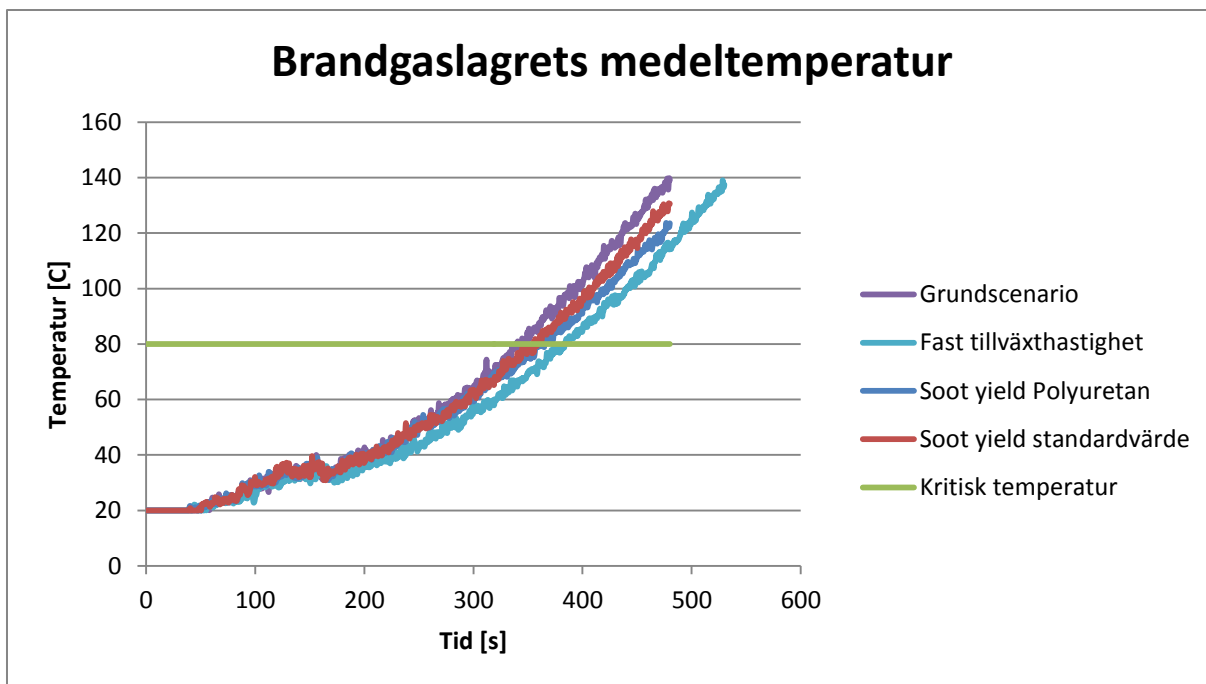
Figur E-8 - Köbildningen vid mässa fördröjer inte människors förmåga att ta sig ut ur rummet då en kontinuerlig kö hela tiden finns vid utgången.



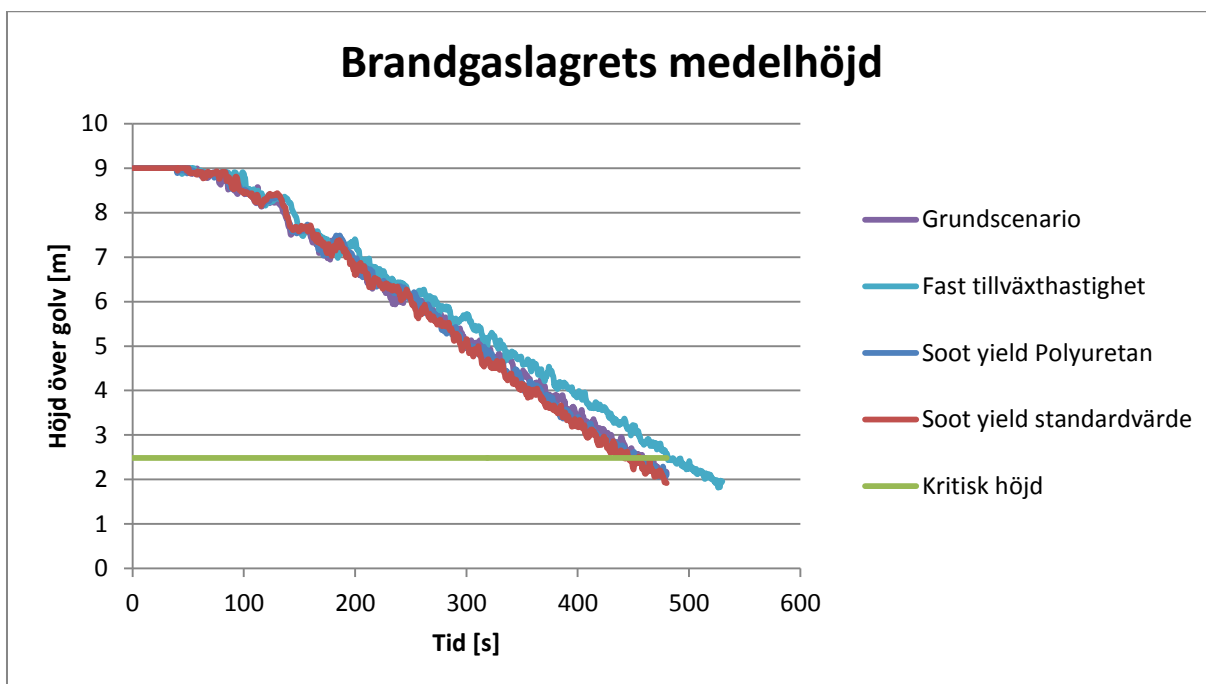
Figur E-9 - När köbildningen i kring möbleringen vid mässa har försvunnit finns fortfarande en kö vid utgången.

E.1.3 Känslighetsanalys – Resultat FDS simuleringar

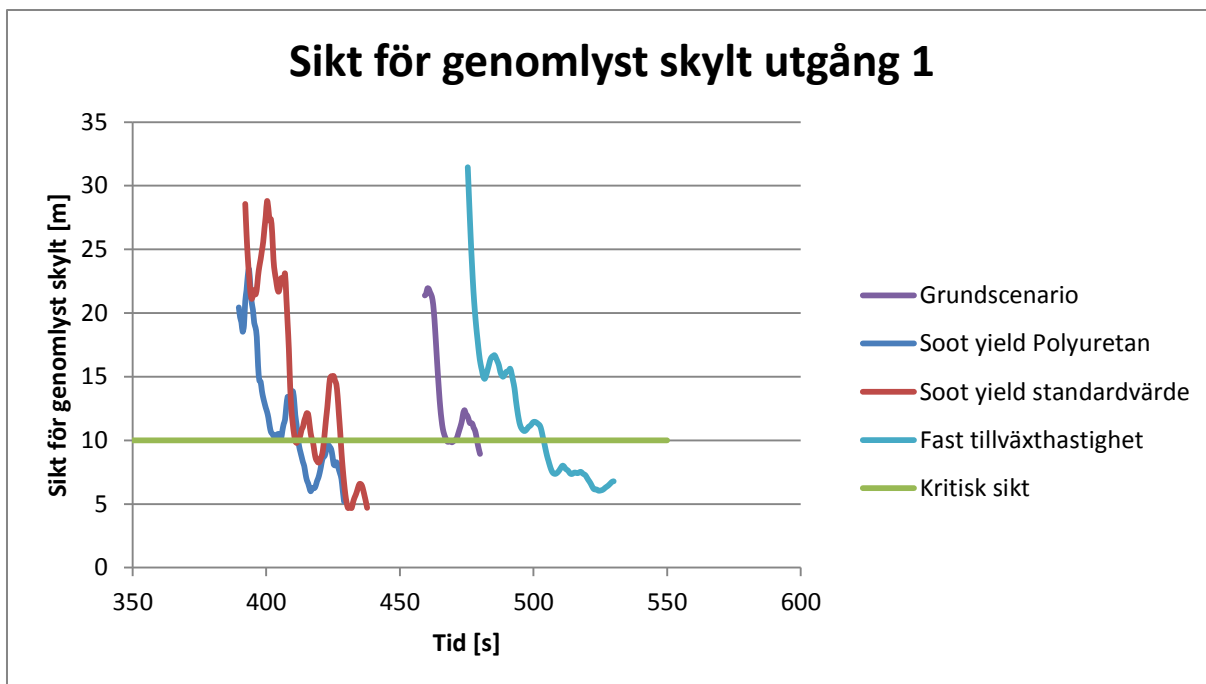
Nedan redovisas de resultat som fås då olika parametrar i FDS grundkod har förändrats.



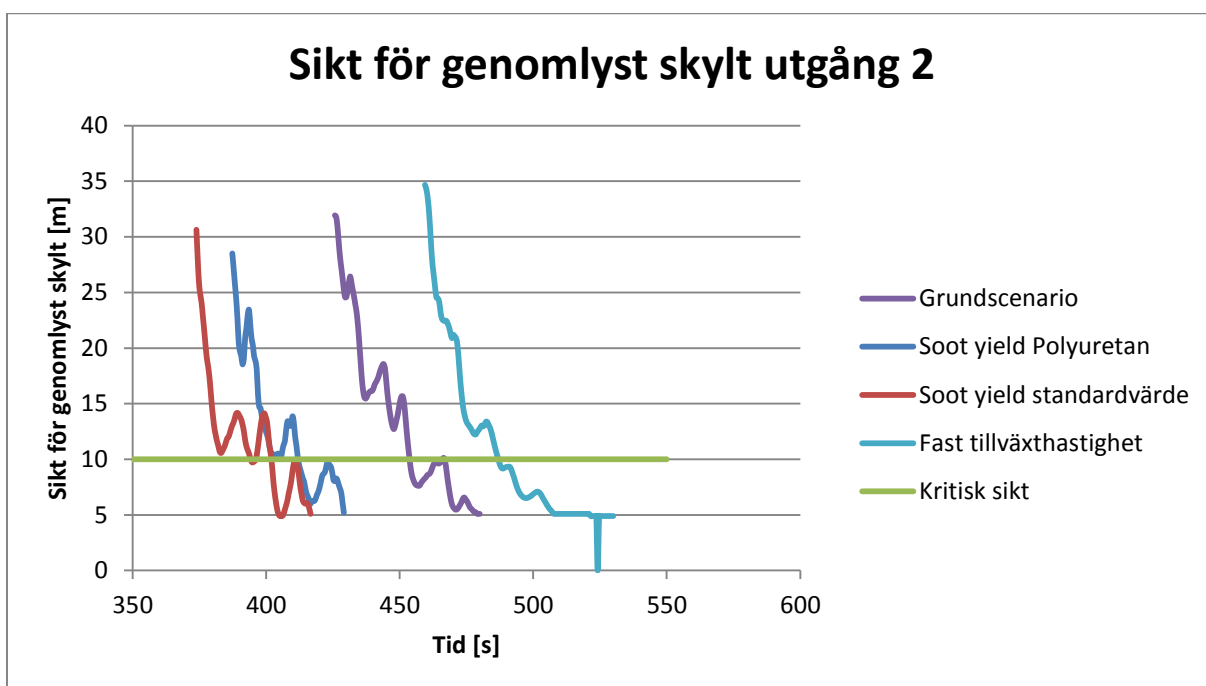
Figur E-10 – Jämförelse av brandgaslagrets medeltemperatur då olika indata används.



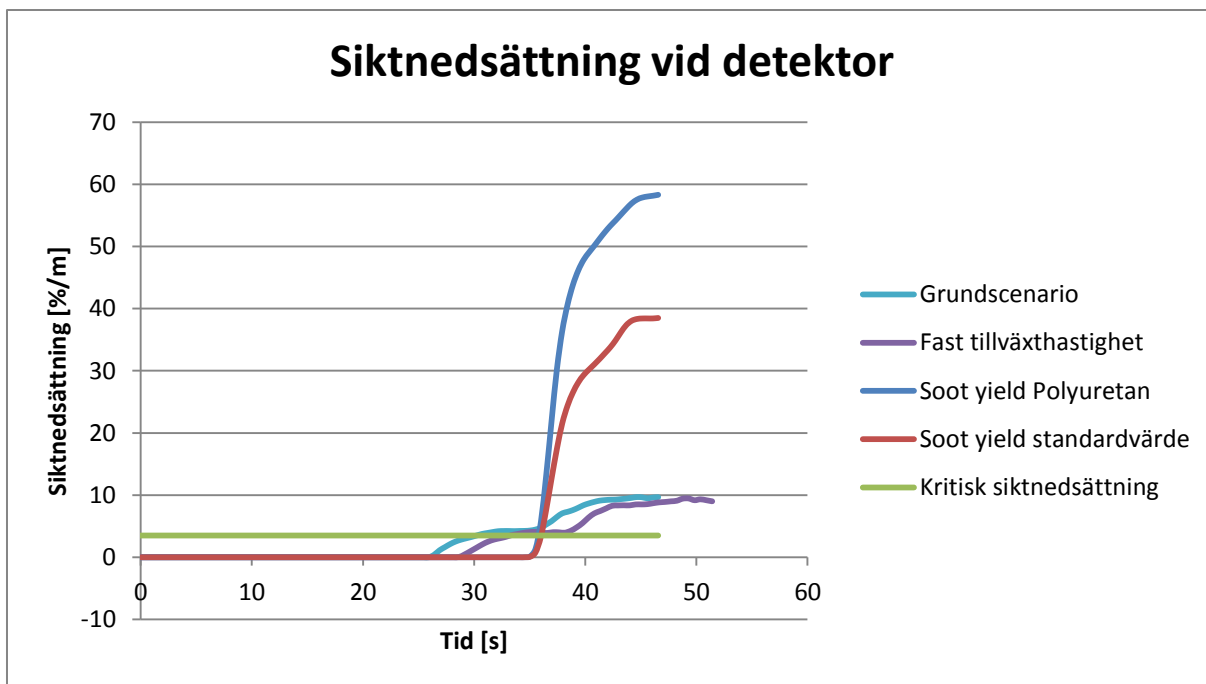
Figur E-11 - Jämförelse av brandgaslagrets höjd då olika indata används.



Figur E-12 - Jämförelse av sikten vid utgång 1 då olika indata används.



Figur E-13 - Jämförelse av sikten vid utgång 2 då olika indata används.



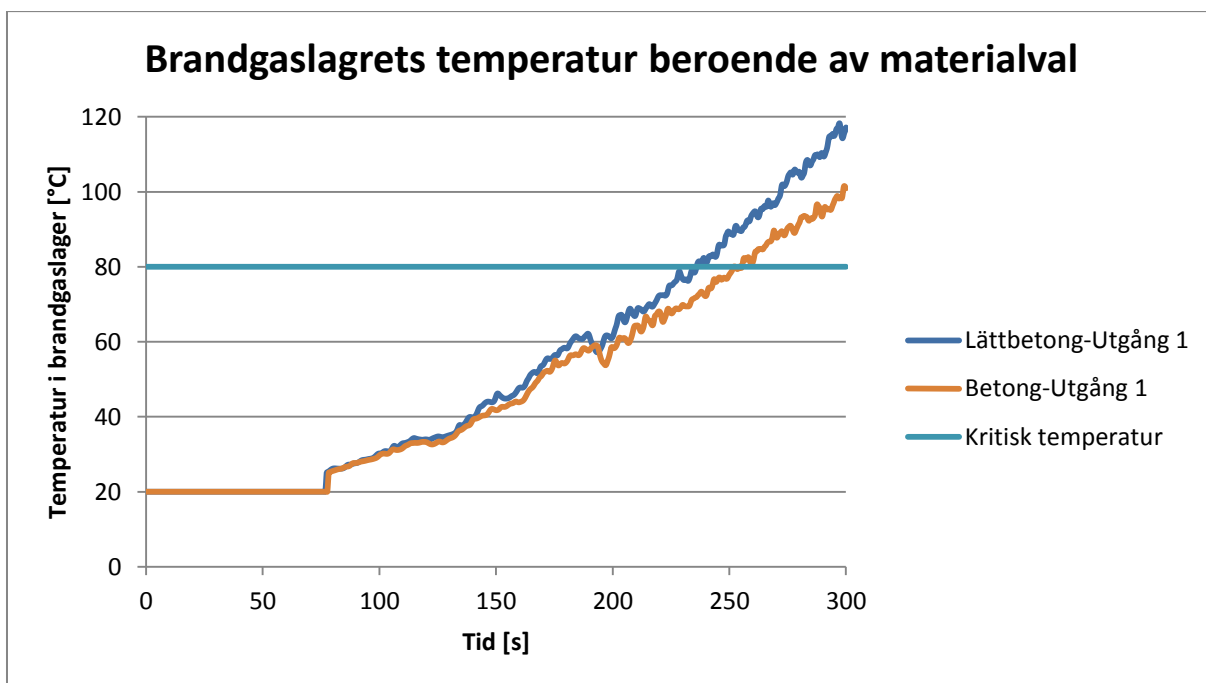
Figur E-14 - Jämförelse av detektoraktivering då olika indata används.

E.2 Scenario 2 – Matsal

Nedan redovisas den utdata som fås vid simuleringar i scenario Matsal.

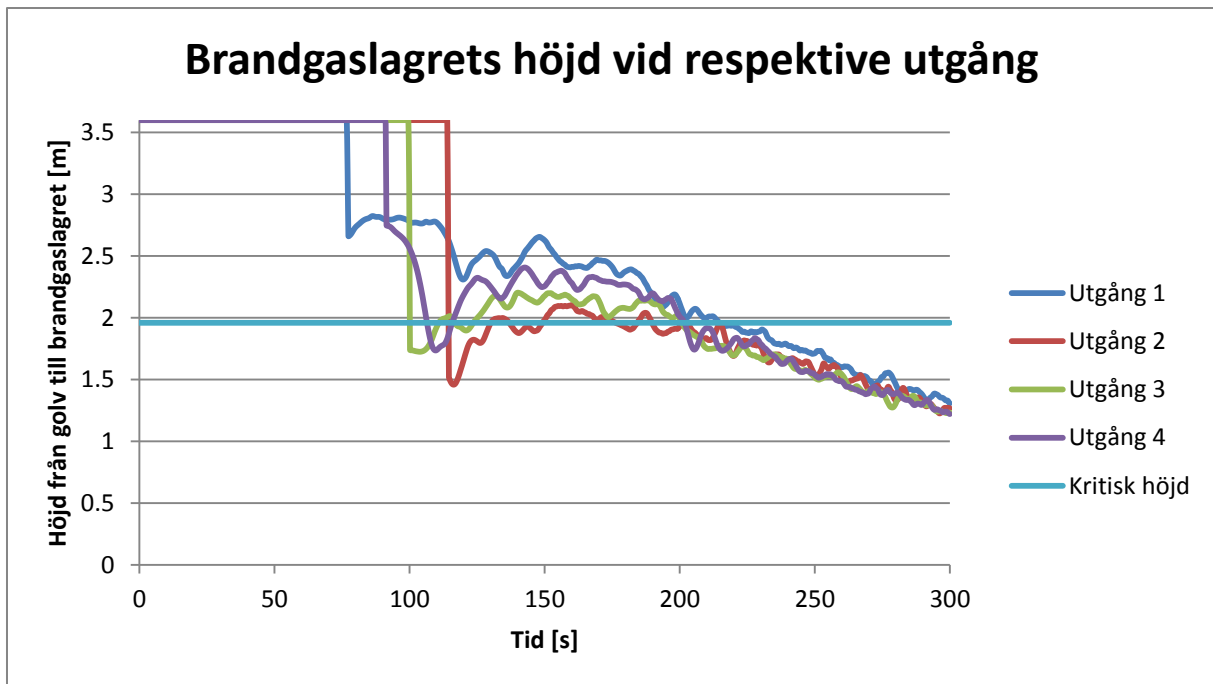
E.2.1 Resultat från simuleringar i FDS

Nedanstående redovisas resultat från FDS simulering av matsal. Linje som markerar kritisk nivå har placerats ut för att lättare kunna kontrollera resultatet.



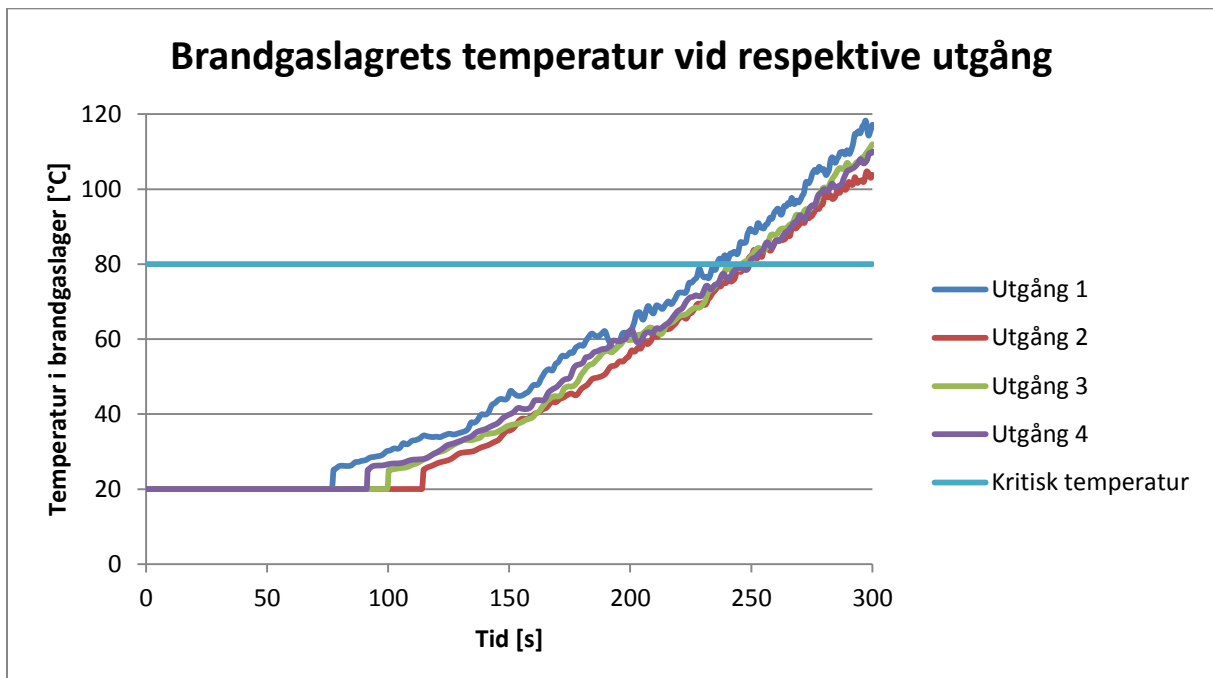
Figur E-15 - Brandgaslagrets temperatur som funktion av tiden samt materialval i simuleringar i FDS.

Vid jämförelse av resultat mellan lättbetong- och betongväggar observeras ingen större skillnad mellan kritisk höjd och sikt. Däremot iakttas skillnad i temperatur på grund av väggarnas skilda värmeledningsegenskaper vilket kan ses i Figur E-15 ovan.



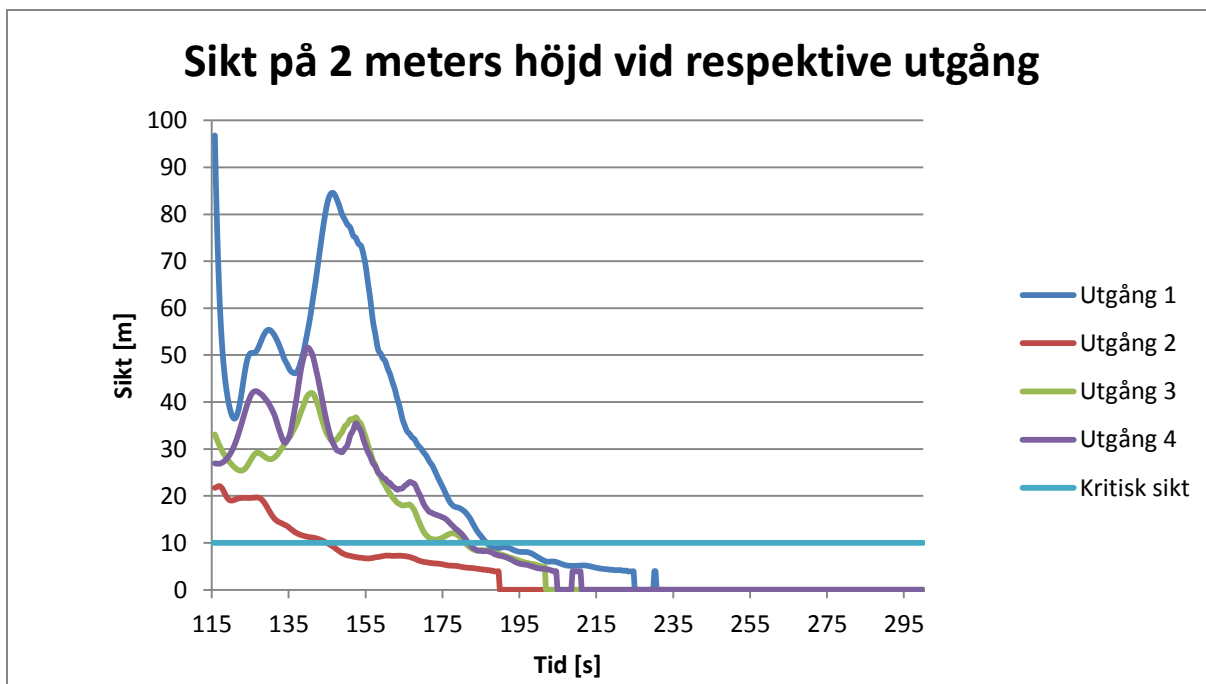
Figur E-16 – Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden från simuleringar i FDS.

Förklaring till att brandgaslagret i alla fyra utgångar når kritisk nivå redan efter 100 sekunder kan förklaras av de virvlar som uppstår då brandgaserna träffar väggarna. Denna företeelse har bortsetts från vid fastställande av tid till kritisk höjd och därmed har den senare tiden använts. Detta bedöms genomförbart då det vid tidpunkten endast är brandgaslagret som uppnått kritiskt höjd och kritiska förhållanden uppstår först i kombination med andra kriterier.



Figur E-17 - Brandgaslagrets temperatur som funktion av tiden från simuleringar i FDS.

Grafen visar att utgång 1 når kritisk temperatur först därefter når resterande utgångarna ungefär samtidigt.

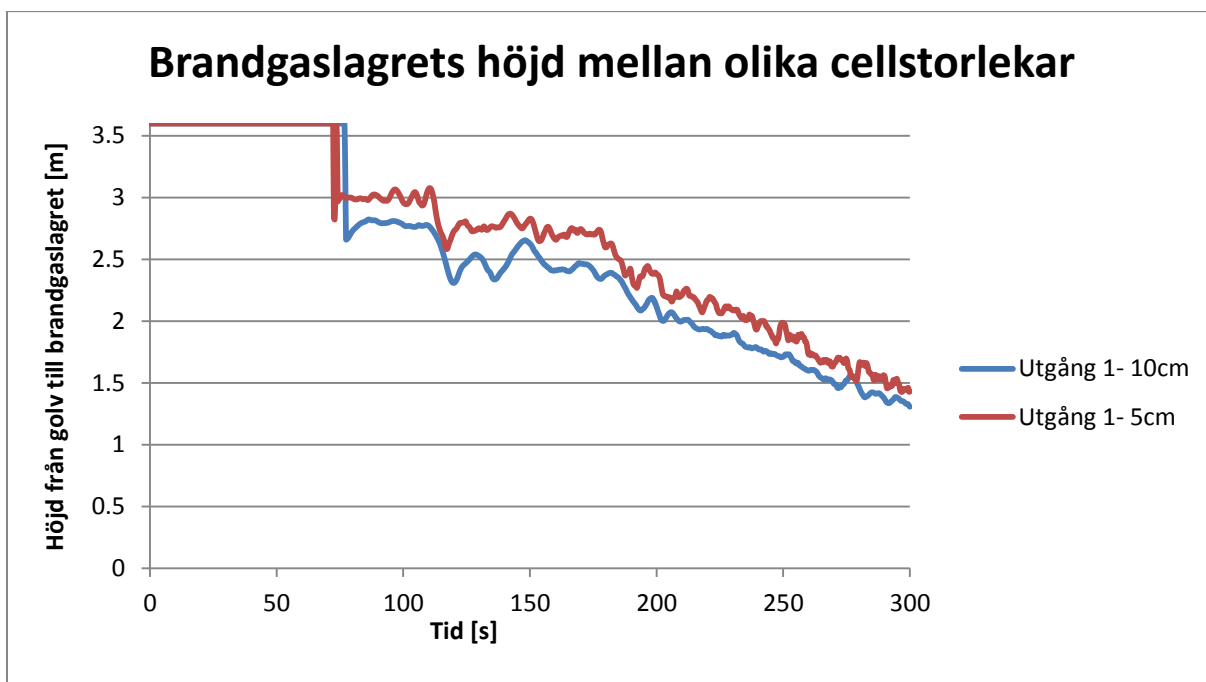


Figur E-18 - Sikten på 2 meters höjd som funktion av tiden från simuleringar i FDS.

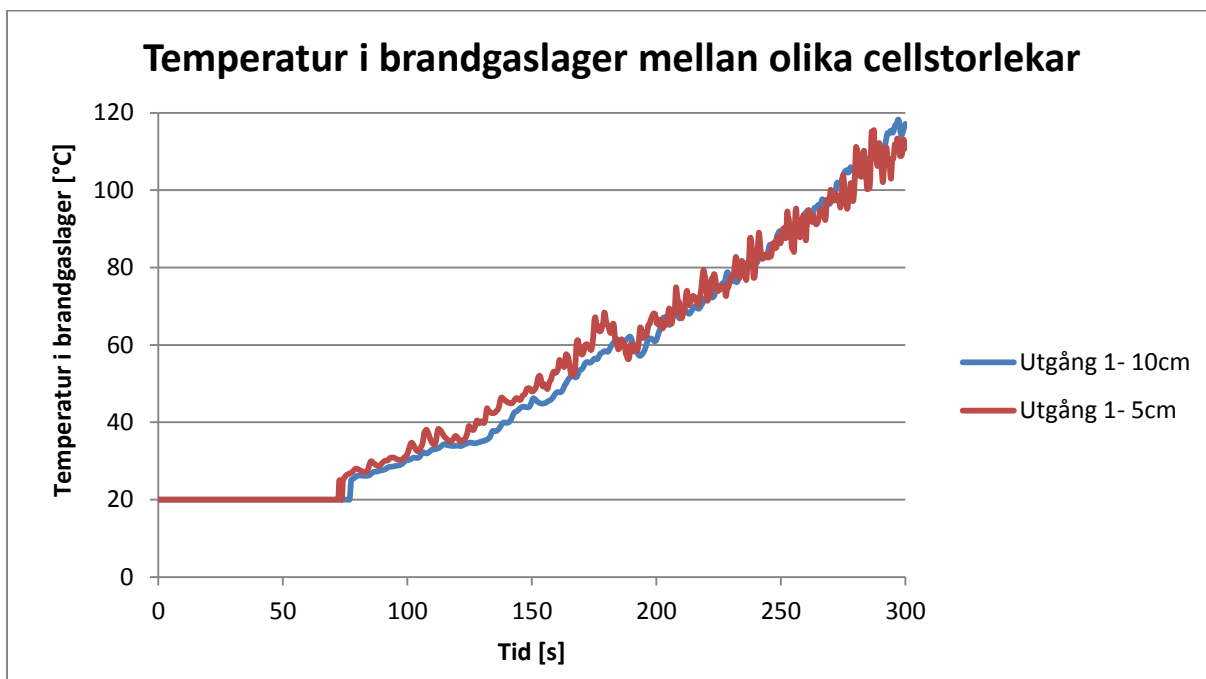
Att sikten varierar underligt i början förklaras av samma observerade fenomen som för brandgashöjden i Figur E-16.

E.2.2 Utvärdering av FDS

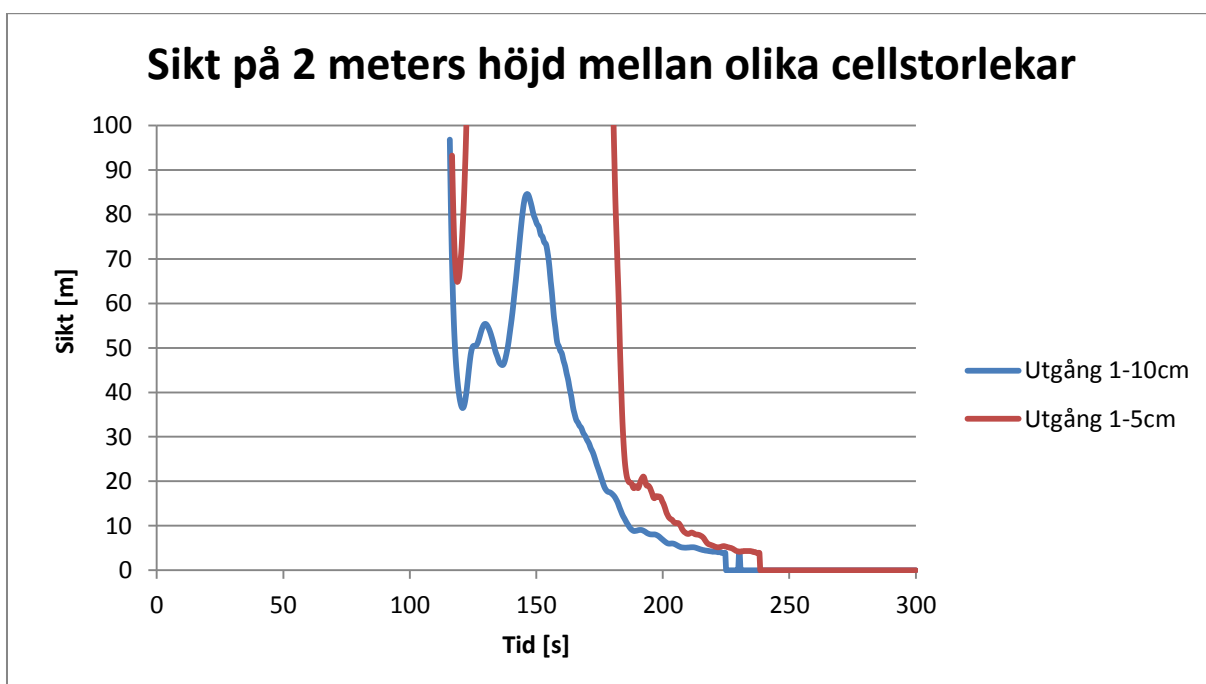
Nedan redovisas känslighetsanalys av kritiska parametrar vid reducering av cellstorlek för undersökning av möjlig nodkonvergens. Blå linje beskriver celluppdelningen 10 cm vid brand och 20 cm i resterande utrymme. Röd linje beskriver celluppdelningen 5 cm vid brand och 10 cm i resterande utrymme.



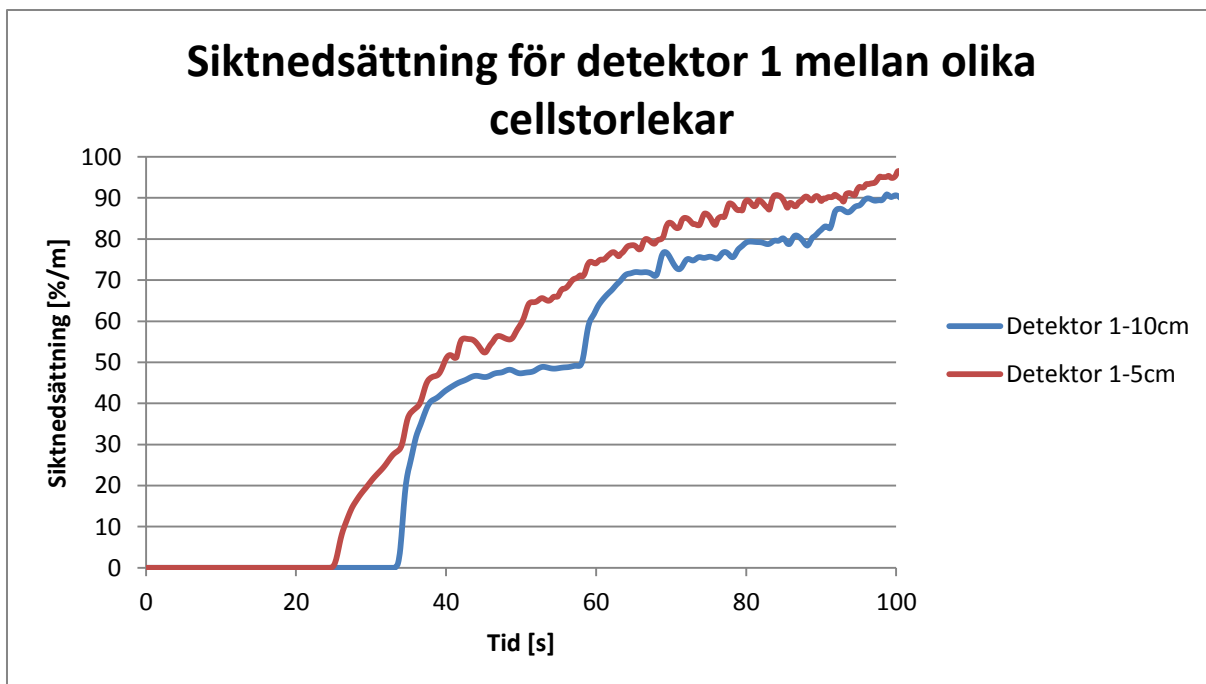
Figur E-19 – Jämförelse av brandgaslagrets höjd mellan två simuleringar i FDS med olika cellindelning av utrymmet. Syftet är att undersöka eventuell nodkonvergens.



Figur E-20 - Jämförelse av brandgaslagrets temperatur mellan två simuleringar i FDS med olika cellindelning av utrymmet. Syftet är att undersöka eventuell nodkonvergens.



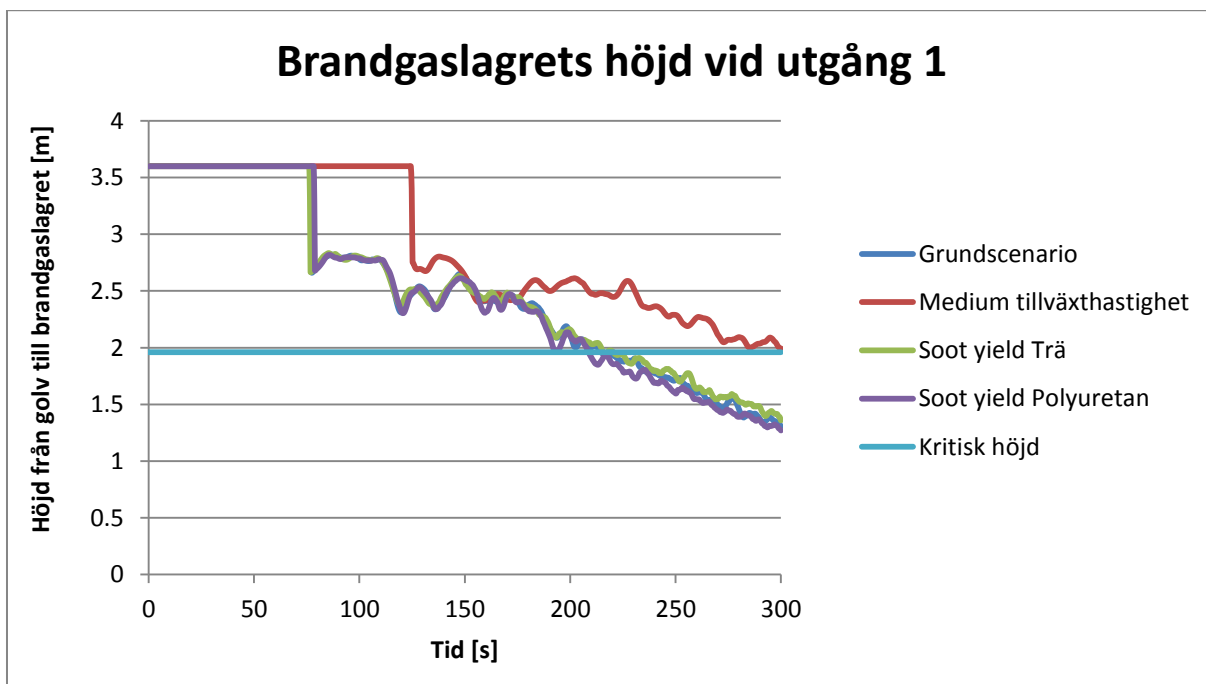
Figur E-21 – Jämförelse av sikten på 2 meters höjd mellan två simuleringar i FDS med olika cellindelning av utrymmet. Syftet är att undersöka eventuell nodkonvergens.



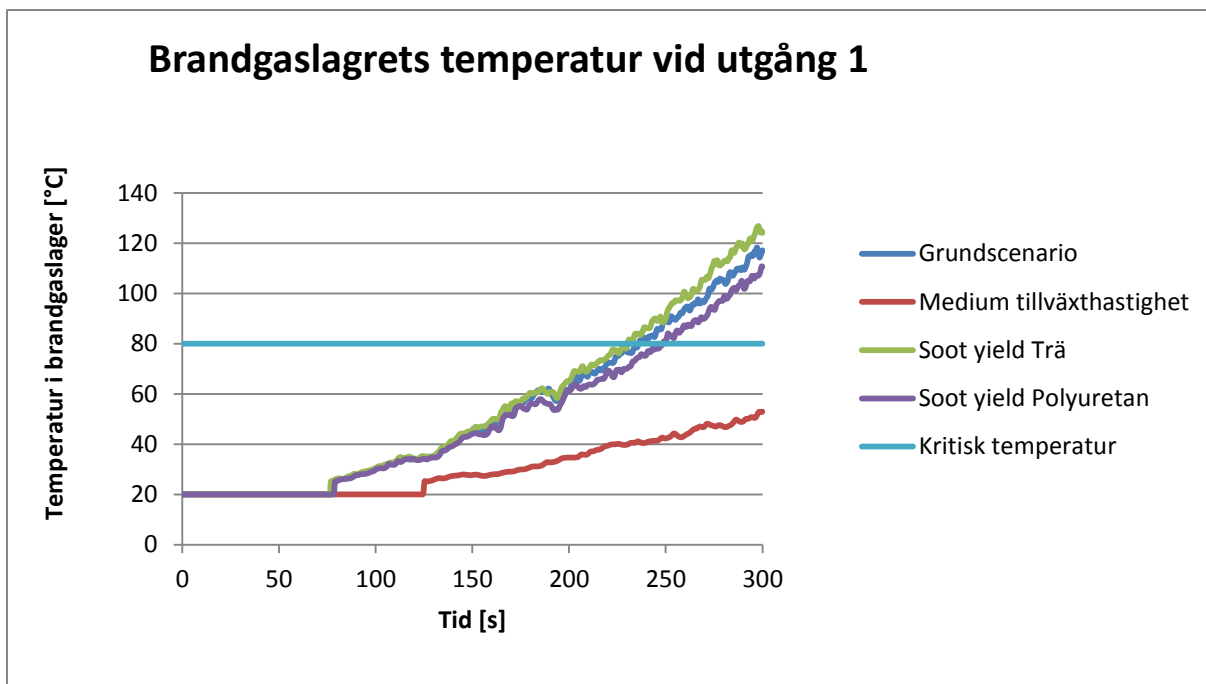
Figur E-22 - Jämförelse av dämpningen i detektor 1 mellan två simuleringar i FDS med olika cellindelning av utrymmet. Syftet är att undersöka hur en reducering av cellstorleken påverkar resultatet.

E.2.3 Känslighetsanalys

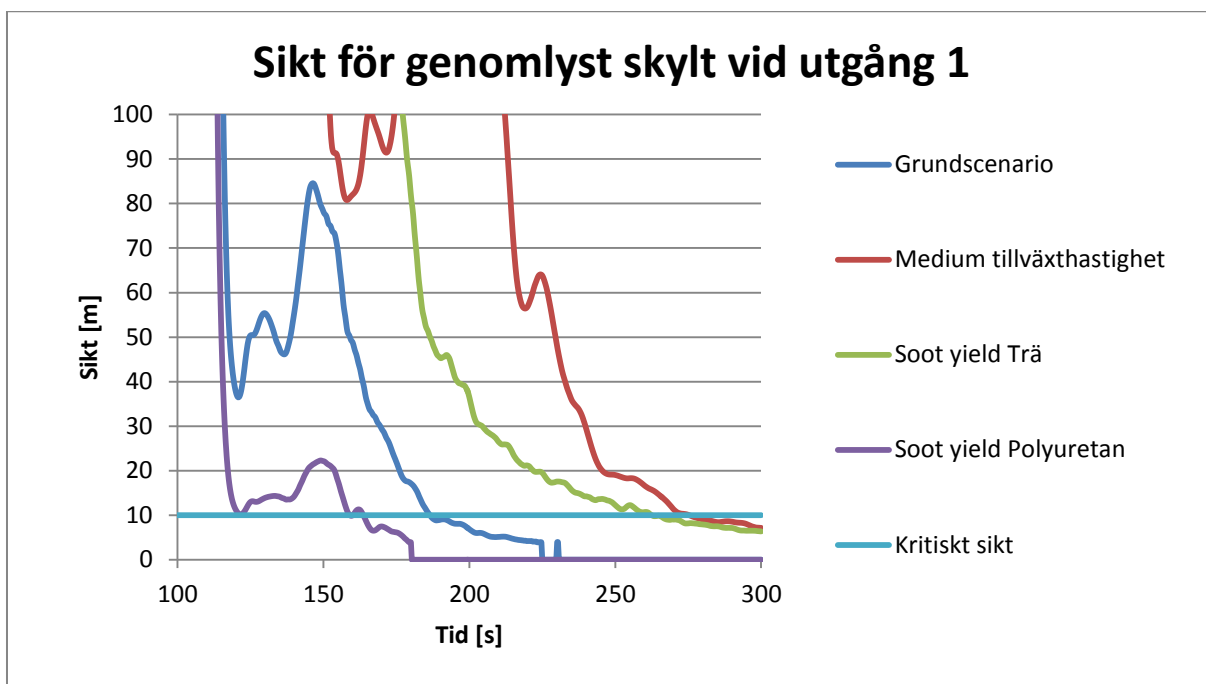
Nedan redovisas skillnader i tid till kritisk sikt, höjd på brandgaslager och temperatur vid ändring av ingående parametrar för utgång 1. Tid till detektion har också undersökt genom att ta ett medelvärde av siktnedsättningen av de närmsta detektorerna per sekund. Parametrar som testas är soot-yield och tillväxtkonstanten och linjen *Grundscenario* representerar den brandkonfiguration som ansetts rimlig och har motiverats tidigare i rapporten



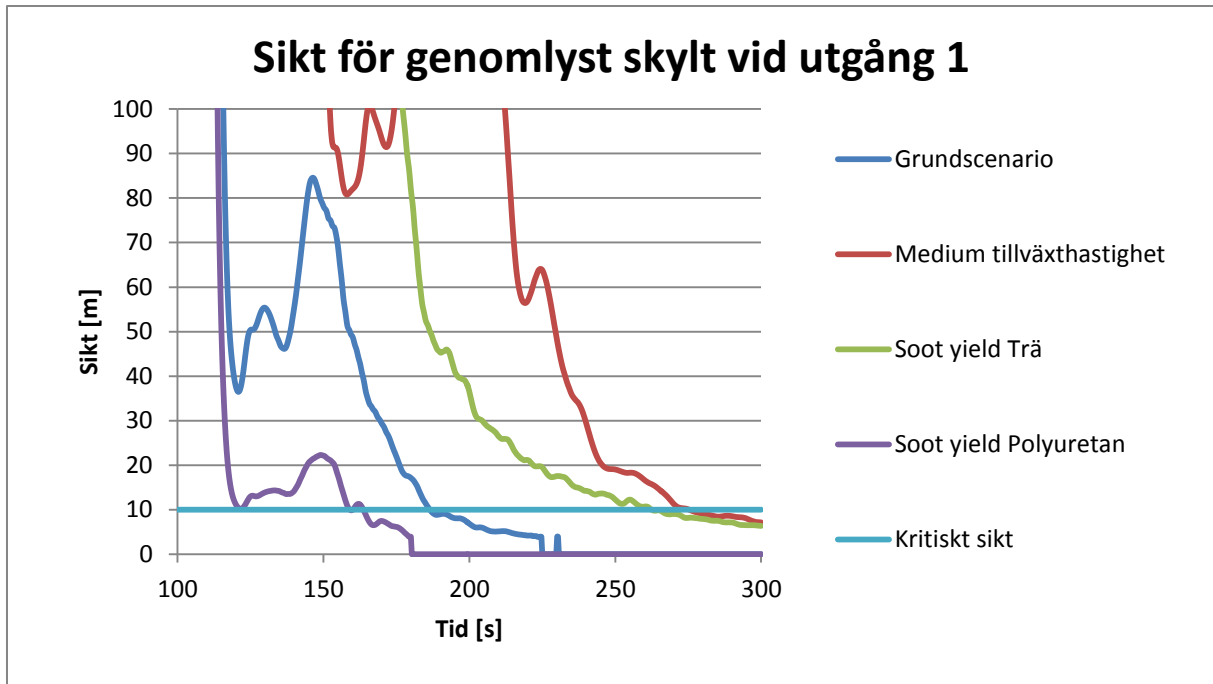
Figur E-23 - Inverkan på brandgaslagrets höjd vid ändring av olika parametrar för branden.



Figur E-24 - Inverkan på brandgaslagrets temperatur vid ändring av olika parametrar för branden.



Figur E-25 - Inverkan på sikten på 2 meters höjd för utgång 1 vid ändring av olika parametrar för branden.



Figur E-26 - Inverkan på detektoraktivering vid ändring av olika parametrar för branden.

Bilaga F Indata till FDS

I denna bilaga redovisas indatafil till FDS simulering. Först redovisas hela mässhallens indatafil för den framtagna branden utan inverkan av sprinkler. Efter det redovisas de förändringar som utfördes för de olika simuleringarna. Därefter redovisas hela indata för matsalen utan inverkan av sprinkler och avslutningsvis de förändringar som utfördes för de olika simuleringarna.

F.1 Kod för mässhall

--NAMN--

&HEAD CHID='MASSHALL' /

--MESH--

&MESH ID='Mesh 1', IJK=216,48,45 , XB=0.0,43.2,0.0,9.6,0.0,9.0, /

&MESH ID='Mesh 2', IJK=90,36,45 , XB=0.0,18.0,9.6,16.8,0.0,9.0, /

&MESH ID='Mesh 4', IJK=90,36,45 , XB=25.2,43.2,9.6,16.8,0.0,9.0, /

&MESH ID='Mesh 3', IJK=216,48,45 , XB=0.0,43.2,16.8,26.4,0.0,9.0, /

&MESH ID='Mesh Brand', IJK=72,72,90 , XB=18.0,25.2,9.6,16.8,0.0,9.0, /

--TID--

&TIME T_BEGIN=0 /

&TIME T_END=480 /

--BRÄNNARE--

&REAC ID='WOOD', C=10., H=14., O=7., SOOT_YIELD=0.015, HEAT_OF_COMBUSTION=17133.3333, /

Genomsnitt från SFPE. Tabell 3-4.14

&SURF ID='BRAND', HRRPUA=1700., COLOR='RASPBERRY', SPREAD_RATE=0.003399709, XYZ=21.61,13.21,0.11, /

&OBST XB=20.0,23.2,11.6,14.8,0.0,0.1, /

&VENT XB=20.0,23.2,11.6,14.8,0.1,0.1, SURF_ID='BRAND', /

/

--MATERIAL--

&MATL ID='GLAS', CONDUCTIVITY=0.8, SPECIFIC_HEAT=0.84 , DENSITY=2600 /

&MATL ID='PLÅT' , CONDUCTIVITY=45.0, SPECIFIC_HEAT=0.46 , DENSITY=7820 /

&MATL ID='BETONG' , CONDUCTIVITY=1.1, SPECIFIC_HEAT=0.88 , DENSITY=2100 /

&MATL ID='LÄTTBETONG' , CONDUCTIVITY=0.15, SPECIFIC_HEAT=1.0 , DENSITY=500 /

&MATL ID='ISOLERING' , CONDUCTIVITY=0.041, SPECIFIC_HEAT=0.8 , DENSITY=100 /

--DEVICES--

&DEVC XB=10.81,10.81,8.81,8.81,0.0,9.0, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='TV' /

&DEVC XB=10.81,10.81,17.61,17.61,0.0,9.0, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='TH' /

&DEVC XB=21.61,21.61,8.81,8.81,0.0,9.0, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='MV' /

&DEVC XB=21.61,21.61,17.61,17.61,0.0,9.0, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='MH' /

&DEVC XB=32.41,32.41,8.81,8.81,0.0,9.0, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BV' /

&DEVC XB=32.41,32.41,17.61,17.61,0.0,9.0, QUANTITY='LAYER HEIGHT', ID='BH' /

&DEVC XB=10.81,10.81,8.81,8.81,0.0,9.0, QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', ID='TV UT' /

&DEVC XB=10.81,10.81,17.61,17.61,0.0,9.0, QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', ID='TH UT' /

&DEVC XB=21.61,21.61,8.81,8.81,0.0,9.0, QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', ID='MV UT' /

&DEVC XB=21.61,21.61,17.61,17.61,0.0,9.0, QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', ID='MH UT' /

&DEVC XB=32.41,32.41,8.81,8.81,0.0,9.0, QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', ID='BV UT' /

&DEVC XB=32.41,32.41,17.61,17.61,0.0,9.0, QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', ID='BH UT' /

&DEVC XB=1.01,1.01,1.11,1.11,0.0,9.0, QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', ID='Dörr Spa' /

&DEVC XB=20.71,20.71,1.01,1.01,0.0,9.0, QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', ID='Dörr Korridor' /

&DEVC XB=34.45,34.45,23.01,23.01,0.0,9.0, QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', ID='Dörr Ut' /

&DEVC XB=42.21,42.21,16.15,16.15,0.0,9.0, QUANTITY='UPPER TEMPERATURE', ID='Dörr Hotellkorridor' /

--SLICES--

&SLCF PBY=8.81, QUANTITY='TEMPERATURE', /
&SLCF PBY=13.2, QUANTITY='TEMPERATURE', /
&SLCF PBY=17.61, QUANTITY='TEMPERATURE', /

&SLCF PBX=14.41, QUANTITY='TEMPERATURE', /
&SLCF PBX=21.6, QUANTITY='TEMPERATURE', /
&SLCF PBX=28.81, QUANTITY='TEMPERATURE', /

--MATERIALYTOR--

&SURF ID='FÖNSTER', MATL_ID='GLAS', THICKNESS=0.015, COLOR='POWDER BLUE', TRANSPARENCY=0.5 /
&SURF ID='LÄTTBETONGVÄGG', MATL_ID='LÄTTBETONG', THICKNESS=0.2 /
&SURF ID='SANDWICH', MATL_ID='PLÅT','ISOLERING','PLÅT', THICKNESS=0.005,0.1,0.005 /

--VÄGGAR--

--NEDRE VÄGG upp till FÖNSTER--

&OBST XB=0.0,43.2,0.0,0.0,0.0,7.4, COLOR='GRAY', TRANSPARENCY=0.8, SURF_ID='LÄTTBETONGVÄGG' /

--NEDRE VÄGG FÖNSTER--

&OBST XB=0.0,43.2,0.0,0.0,7.4,9.0, SURF_ID='FÖNSTER' /

--VÄNSTER VÄGG--

&OBST XB=0.0,0.0,0.0,26.4,0.0,9.0, COLOR='GRAY', TRANSPARENCY=0.8, SURF_ID='LÄTTBETONGVÄGG' /

--ÖVRE VÄGG upp till fönster--

&OBST XB=0.0,43.2,26.4,26.4,0.0,7.4, COLOR='GRAY', TRANSPARENCY=0.8, SURF_ID='LÄTTBETONGVÄGG' /

--ÖVRE VÄGG FÖNSTER--

&OBST XB=0.0,43.2,26.4,26.4,7.4,9.0, SURF_ID='FÖNSTER' /

--HÖGER VÄGG--

&OBST XB=43.2,43.2,0.0,26.4,0.0,9.0, COLOR='GRAY', TRANSPARENCY=0.8, SURF_ID='LÄTTBETONGVÄGG' /

--GOLV--

&OBST XB=0.0,43.2,0.0,26.4,0.0,0.0, COLOR='GRAY', SURF_ID='LÄTTBETONGVÄGG' /

--TAK--

&OBST XB=0.0,43.2,0.0,26.4,9.0,9.0, COLOR='GRAY', SURF_ID='SANDWICH' /

--DÖRRAR--

&HOLE XB=-0.01,0.01,0.4,1.8,0.0,2.0, /
&HOLE XB=19.8,21.6,-0.01,0.01,0.0,2.0, /

--VENTILATION--

&VENT XB=0.0,0.0,0.4,1.8,0.0,2.0, SURF_ID='OPEN' /
&VENT XB=19.8,21.6,0.0,0.0,0.0,2.0, SURF_ID='OPEN' /

--SIKTBARHET--

&DEVC XB=0.0,10.0,1.1,1.1,2.0,2.0, QUANTITY='PATH OBSCURATION', ID='SIKT Topp dörr', /
&DEVC XB=20.7,20.7,0.0,9.6,2.0,2.0, QUANTITY='PATH OBSCURATION', ID='SIKT Korridor dörr', /

--SMOKE DETECTORS--

&PROP ID='Smoke Detector', QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION', /
&DEVC ID='1V Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=4.81,6.61,8.93, /
&DEVC ID='2V Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=9.61,6.61,8.93, /
&DEVC ID='3V Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=14.41,6.61,8.93, /
&DEVC ID='4V Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=19.21,6.61,8.93, /
&DEVC ID='5V Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=24.01,6.61,8.93, /
&DEVC ID='6V Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=28.81,6.61,8.93, /
&DEVC ID='7V Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=33.61,6.61,8.93, /
&DEVC ID='8V Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=38.41,6.61,8.93, /
&DEVC ID='1M Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=4.81,13.21,8.93, /
&DEVC ID='2M Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=9.61,13.21,8.93, /

&DEVC ID='3M Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=14.41,13.21,8.93, /
&DEVC ID='4M Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=19.21,13.21,8.93, /
&DEVC ID='5M Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=24.01,13.21,8.93, /
&DEVC ID='6M Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=28.81,13.21,8.93, /
&DEVC ID='7M Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=33.61,13.21,8.93, /
&DEVC ID='8M Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=38.41,13.21,8.93, /
&DEVC ID='1H Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=4.81,19.81,8.93, /
&DEVC ID='2H Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=9.61,19.81,8.93, /
&DEVC ID='3H Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=14.41,19.81,8.93, /
&DEVC ID='4H Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=19.21,19.81,8.93, /
&DEVC ID='5H Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=24.01,19.81,8.93, /
&DEVC ID='6H Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=28.81,19.81,8.93, /
&DEVC ID='7H Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=33.61,19.81,8.93, /
&DEVC ID='8H Smoke Detector', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=38.41,19.81,8.93, /

--HEAT DETECTORS--

&PROP ID='Heat Detector', QUANTITY='LINK TEMPERATURE', RTI=0.5, ACTIVATION_TEMPERATURE=33. /
&DEVC ID='1V Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=4.81,6.61,8.93, /
&DEVC ID='2V Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=9.61,6.61,8.93, /
&DEVC ID='3V Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=14.41,6.61,8.93, /
&DEVC ID='4V Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=19.21,6.61,8.93, /
&DEVC ID='5V Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=24.01,6.61,8.93, /
&DEVC ID='6V Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=28.81,6.61,8.93, /
&DEVC ID='7V Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=33.61,6.61,8.93, /
&DEVC ID='8V Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=38.41,6.61,8.93, /
&DEVC ID='1M Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=4.81,13.21,8.93, /
&DEVC ID='2M Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=9.61,13.21,8.93, /
&DEVC ID='3M Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=14.41,13.21,8.93, /
&DEVC ID='4M Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=19.21,13.21,8.93, /
&DEVC ID='5M Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=24.01,13.21,8.93, /
&DEVC ID='6M Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=28.81,13.21,8.93, /
&DEVC ID='7M Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=33.61,13.21,8.93, /
&DEVC ID='8M Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=38.41,13.21,8.93, /
&DEVC ID='1H Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=4.81,19.81,8.93, /
&DEVC ID='2H Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=9.61,19.81,8.93, /
&DEVC ID='3H Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=14.41,19.81,8.93, /
&DEVC ID='4H Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=19.21,19.81,8.93, /
&DEVC ID='5H Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=24.01,19.81,8.93, /
&DEVC ID='6H Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=28.81,19.81,8.93, /
&DEVC ID='7H Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=33.61,19.81,8.93, /
&DEVC ID='8H Heat Detector', PROP_ID='Heat Detector', XYZ=38.41,19.81,8.93, /

--SPRINKLER--

&PROP ID='Sprinkler', QUANTITY='LINK TEMPERATURE', RTI=50, ACTIVATION_TEMPERATURE=68 /
&DEVC ID='Över brand', PROP_ID='Sprinkler', XYZ=21.61,13.21,8.93, /
&DEVC ID='Vänster brand', PROP_ID='Sprinkler', XYZ=19.61,13.21,8.93, /
&DEVC ID='Höger brand', PROP_ID='Sprinkler', XYZ=23.61,13.21,8.93, /
&DEVC ID='Topp brand', PROP_ID='Sprinkler', XYZ=21.61,15.21,8.93, /
&DEVC ID='Under brand', PROP_ID='Sprinkler', XYZ=21.61,11.21,8.93, /

--Hastighet slice--

&SLCF PBY=13.2, QUANTITY='U-VELOCITY', /
&SLCF PBY=13.2, QUANTITY='W-VELOCITY', /
&SLCF PBX=21.6, QUANTITY='V-VELOCITY', /
&SLCF PBX=21.6, QUANTITY='W-VELOCITY', /

&TAIL /

F.1.1 Simulering lägre alpha i mässhall

Grundkod

&SURF ID='BRAND', HRRPUA=1700., COLOR='RASPBERRY', SPREAD_RATE=0.003399709, XYZ=21.61,13.21,0.11, /

Ny kod

```
&SURF ID='BRAND', HRRPUA=1700., COLOR='RASPBERRY', SPREAD_RATE=0.002966535, XYZ=21.61,13.21,0.11, /
```

F.1.2 Simulering soot-yield 0,1 i mässhall

Grundkod

```
&REAC ID='WOOD', C=10., H=14., O=7., SOOT_YIELD=0.015, HEAT_OF_COMBUSTION=17133.3333, /
```

Ny kod

```
&REAC ID='WOOD', C=10., H=14., O=7., SOOT_YIELD=0.1, HEAT_OF_COMBUSTION=17133.3333, /
```

F.1.3 Simulering soot-yield 0,1875 i mässhall

Grundkod

```
&REAC ID='WOOD', C=10., H=14., O=7., SOOT_YIELD=0.015, HEAT_OF_COMBUSTION=17133.3333, /
```

Ny kod

```
&REAC ID='WOOD', C=10., H=14., O=7., SOOT_YIELD=0.1875, HEAT_OF_COMBUSTION=17133.3333, /
```

F.1.4 Simulering sprinklad mässhall

I denna simulering används samma FDS kod som osprinklad mässhall. Brandens area anpassas för att nå en viss brandeffekt och sedan bli kontrollerad resterande tid. Detta för att efterlikna sprinklers effekt på utrymmet.

Grundkod

```
&REAC ID='WOOD', C=10., H=14., O=7., SOOT_YIELD=0.015, HEAT_OF_COMBUSTION=17133.3333, /
```

Genomsnitt från SFPE. Tabell 3-4.14

```
&SURF ID='BRAND', HRRPUA=1700., COLOR='RASPBERRY', SPREAD_RATE=0.003399709, XYZ=21.61,13.21,0.11, /
```

```
&OBST XB=20.0,23.2,11.6,14.8,0.0,0.1, /
```

```
&VENT XB=20.0,23.2,11.6,14.8,0.1,0.1, SURF_ID='BRAND', /
```

Ny kod

```
&REAC ID='WOOD', C=10., H=14., O=7., SOOT_YIELD=0.015, HEAT_OF_COMBUSTION=17133.3333, /
```

Genomsnitt från SFPE. Tabell 3-4.14

```
&SURF ID='BRAND', HRRPUA=1700., COLOR='RASPBERRY', SPREAD_RATE=0.003399709, XYZ=21.61,13.21,0.11, /
```

```
&OBST XB=21.1,22.1,12.7,13.7,0.0,0.1, /
```

```
&VENT XB=21.1,22.1,12.7,13.7,0.1,0.1, SURF_ID='BRAND', /
```

F.2 Kod för matsal

```
&HEAD CHID='Matsal-osprinklad' /
```

```
&MESH ID='1', IJK=168,40,18, XB=0.0,33.6,0.0,8.0,0.0,3.6 /
```

```
&MESH ID='2', IJK=85,20,18, XB=16.6,33.6,8.0,12.0,0.0,3.6 /
```

```
&MESH ID='3', IJK=168,40,18, XB=0.0,33.6,12.0,20.0,0.0,3.6 /
```

```
&MESH ID='4', IJK=63,20,18, XB=0.0,12.6,8.0,12.0,0.0,3.6 /
```

```
&MESH ID='Brand', IJK=40,40,36, XB=12.6,16.6,8.0,12.0,0.0,3.6 /
```

```
&TIME T_END=300 /
```

```
--Brand--
```

```
&REAC ID='Möbler', SOOT_YIELD=0.06675, C=9, H=12, O=6, HEAT_OF_COMBUSTION=20850, IDEAL=.TRUE. /
```

```
&SURF ID='BRAND', HRRPUA=1700, COLOR='RASPBERRY', SPREAD_RATE=0.002966535, XYZ=14.6,10.0,0.1 /
```

&OBST XB=13.7,15.5,9.1,10.9,0.0,0.10, SURF_IDS='BRAND','INERT','INERT'/

--MATERIAL--

&MATL ID='GLAS', CONDUCTIVITY=0.8, SPECIFIC_HEAT=0.84, DENSITY=2600 /

&MATL ID='PLÅT', CONDUCTIVITY=45.0, SPECIFIC_HEAT=0.46, DENSITY=7820 /

&MATL ID='BETONG', CONDUCTIVITY=1.1, SPECIFIC_HEAT=0.88, DENSITY=2100 /

&MATL ID='LÄTTBETONG', CONDUCTIVITY=0.15, SPECIFIC_HEAT=1.0, DENSITY=500 /

&MATL ID='ISOLERING', CONDUCTIVITY=0.041, SPECIFIC_HEAT=0.8, DENSITY=100 /

--SURF--

&SURF ID='FÖNSTER', MATL_ID='GLAS', THICKNESS=0.015, COLOR='POWDER BLUE', TRANSPARENCY=0.5 /

&SURF ID='LÄTTBETONGVÄGG', MATL_ID='LÄTTBETONG', THICKNESS=0.2 /

--VÄGGAR--

--NEDRE VÄGG--

&OBST XB=0.0,33.6,0.0,0.0,0.0,3.6, SURF_ID='FÖNSTER' /

--ÖVRE VÄGG--

&OBST XB=0.0,33.6,20.0,20.0,0.0,3.6, SURF_ID='FÖNSTER' /

--VÄNSTER VÄGG--

&OBST XB=0.0,0.0,0.0,20.0,0.0,3.6, SURF_ID='LÄTTBETONGVÄGG' /

--HÖGER VÄGG--

&OBST XB=33.6,33.6,0.0,20.0,0.0,3.6, SURF_ID='LÄTTBETONGVÄGG' /

--GOLV--

&OBST XB=0.0,33.6,0.0,20.0,0.0,0.0, SURF_ID='LÄTTBETONGVÄGG' /

--TAK--

&OBST XB=0.0,33.6,0.0,20.0,3.6,3.6, SURF_ID='LÄTTBETONGVÄGG' /

--Dörr--

--Första dörr undre vägg--

&HOLE XB=6.8,8.8,-0.01,0.01,0.0,2.0 /

--Andra dörr undre vägg--

&HOLE XB=30.6,32.6,-0.01,0.01,0.0,2.0 /

--Dörr vänster vägg--

&HOLE XB=-0.01,0.01,2.40,4.40,0.0,2.0 /

--Dörr övre vägg--

&HOLE XB=3.6,4.6,19.999,20.001,0.0,2.0 /

--VENT--

--Första dörr undre vägg--

&VENT XB=6.8,8.8,0.0,0.0,0.0,2.0, SURF_ID='OPEN' /

--Andra dörr undre vägg--

&VENT XB=30.6,32.6,0.0,0.0,0.0,2.0, SURF_ID='OPEN' /

--Dörr vänster vägg--

&VENT XB=0.0,0.0,2.40,4.40,0.0,2.0, SURF_ID='OPEN' /

--Dörr övre vägg--

&VENT XB=3.6,4.6,20.0,20.0,0.0,2.0, SURF_ID='OPEN' /

--Mätanordningar--

&SLCF PBY=6.7, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&SLCF PBY=10, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&SLCF PBY=13, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&SLCF PBX=8.4, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&SLCF PBX=14.6, QUANTITY='TEMPERATURE' /
&SLCF PBX=25.2, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&SLCF PBY=10, QUANTITY='U-VELOCITY' /
&SLCF PBY=10, QUANTITY='W-VELOCITY' /
&SLCF PBX=14.6, QUANTITY='V-VELOCITY' /
&SLCF PBX=14.6, QUANTITY='W-VELOCITY' /

--HÖJD--

&DEVC ID='1-undrevägg-höjd', XB=7.81,7.81,1.0,1.0,0.0,3.6, QUANTITY='LAYER HEIGHT' /
&DEVC ID='2-undrevägg-höjd', XB=31.61,31.61,1.0,1.0,0.0,3.6, QUANTITY='LAYER HEIGHT' /
&DEVC ID='1-vänstervägg-höjd', XB=1.0,1.0,3.41,3.41,0.0,3.6, QUANTITY='LAYER HEIGHT' /
&DEVC ID='1-övre vägg-höjd', XB=4.01,4.01,19.0,19.0,0.0,3.6, QUANTITY='LAYER HEIGHT' /

--TEMPERATUR--

&DEVC ID='1-undrevägg-temp', XB=7.81,7.81,1.0,1.0,0.0,3.6, QUANTITY='UPPER TEMPERATURE' /
&DEVC ID='2-undrevägg-temp', XB=31.61,31.61,1.0,1.0,0.0,3.6, QUANTITY='UPPER TEMPERATURE' /
&DEVC ID='1-vänstervägg-temp', XB=1.0,1.0,3.41,3.41,0.0,3.6, QUANTITY='UPPER TEMPERATURE' /
&DEVC ID='1-övre vägg-temp', XB=4.01,4.01,19.0,19.0,0.0,3.6, QUANTITY='UPPER TEMPERATURE' /

--SIKTBARHET--

&DEVC XB=7.81,7.81,0.0,8.0,2.0,2.0, QUANTITY='PATH OBSCURATION', ID='1-undrevägg-sikt' /
&DEVC XB=31.61,31.61,0.0,8.0,2.0,2.0, QUANTITY='PATH OBSCURATION', ID='2-undrevägg-sikt' /
&DEVC XB=0.0,10.0,3.41,3.41,2.0,2.0, QUANTITY='PATH OBSCURATION', ID='1-vänstervägg-sikt' /
&DEVC XB=4.01,4.01,12.0,20.0,2.0,2.0, QUANTITY='PATH OBSCURATION', ID='1-övre vägg-sikt' /

--Smoke detectors--

&PROP ID='Smoke Detector', QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION' /
&DEVC ID='1 undre smoke', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=3.01,7.56,3.53, /
&DEVC ID='2 undre smoke', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=10.61,7.56,3.53, /
&DEVC ID='3 undre smoke', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=20.96,7.56,3.53, /
&DEVC ID='4 undre smoke', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=29.51,7.56,3.53, /
&DEVC ID='1 övre smoke', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=3.01,15.21,3.53, /
&DEVC ID='2 övre smoke', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=10.61,15.21,3.53, /
&DEVC ID='3 övre smoke', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=20.96,15.21,3.53, /
&DEVC ID='4 övre smoke', PROP_ID='Smoke Detector', XYZ=29.51,15.21,3.53, /

--Heat detectors--

&PROP ID='Heat Detektor', QUANTITY='LINK TEMPERATURE', RTI=0.5, ACTIVATION_TEMPERATURE=33 /
&DEVC ID='1 undre heat', PROP_ID='Heat Detektor', XYZ=3.01,7.56,3.53, /
&DEVC ID='2 undre heat', PROP_ID='Heat Detektor', XYZ=10.61,7.56,3.53, /
&DEVC ID='3 undre heat', PROP_ID='Heat Detektor', XYZ=20.96,7.56,3.53, /
&DEVC ID='4 undre heat', PROP_ID='Heat Detektor', XYZ=29.51,7.56,3.53, /
&DEVC ID='1 övre heat', PROP_ID='Heat Detektor', XYZ=3.01,15.21,3.53, /
&DEVC ID='2 övre heat', PROP_ID='Heat Detektor', XYZ=10.61,15.21,3.53, /
&DEVC ID='3 övre heat', PROP_ID='Heat Detektor', XYZ=20.96,15.21,3.53, /
&DEVC ID='4 övre heat', PROP_ID='Heat Detektor', XYZ=29.51,15.21,3.53, /

&TAIL /

F.2.1 Simulering lägre alpha i matsal

Grundkod

&SURF ID='BRAND', HRRPUA=1700, COLOR='RASPBERRY', SPREAD_RATE=0.002966535, XYZ=14.6,10.0,0.1 /

&OBST XB=13.7,15.5,9.1,10.9,0.0,0.10, SURF_IDS='BRAND','INERT','INERT' /

Ny kod

&SURF ID='BRAND', HRRPUA=1700, COLOR='RASPBERRY', SPREAD_RATE=0.001498964, XYZ=14.6,10.0,0.1 /

&OBST XB=13.7,15.5,9.1,10.9,0.0,0.10, SURF_IDS='BRAND','INERT','INERT'/

F.2.2 Simulering högre soot-yield i matsal

Grundkod

&REAC ID='Möbler', SOOT_YIELD=0.06675 , C=9 , H=12 , O=6, HEAT_OF_COMBUSTION=20850 , IDEAL=.TRUE. /

Ny kod

&REAC ID='Möbler', SOOT_YIELD=0.1875 , C=9 , H=12 , O=6, HEAT_OF_COMBUSTION=20850 , IDEAL=.TRUE. /

F.2.3 Simulering lägre soot-yield i matsal

Grundkod

&REAC ID='Möbler', SOOT_YIELD=0.06675 , C=9 , H=12 , O=6, HEAT_OF_COMBUSTION=20850 , IDEAL=.TRUE. /

Ny kod

&REAC ID='Möbler', SOOT_YIELD=0.015 , C=9 , H=12 , O=6, HEAT_OF_COMBUSTION=20850 , IDEAL=.TRUE. /

F.2.4 Simulering sprinklad matsal

I denna simulering används samma FDS kod som osprinklad matsal. Spread_rate har anpassats efter en ny maxeffekt och brandarea för att nå en viss brandeffekt och sedan bli kontrollerad resterande tid. Detta för att efterlikna sprinklers effekt på utrymmet.

Grundkod

&SURF ID='BRAND' , HRRPUA=1700 , COLOR='RASPBERRY' , SPREAD_RATE=0.002966535, XYZ=14.6,10.0,0.1 /

&OBST XB=13.7,15.5,9.1,10.9,0.0,0.10, SURF_IDS='BRAND','INERT','INERT'/

Ny kod

&SURF ID='BRAND-sprinkler' , HRRPUA=1467 , COLOR='RASPBERRY' , SPREAD_RATE=0.003193441, XYZ=14.6,10.0,0.1 /

&OBST XB=14.3,14.9,9.7,10.3,0.0,0.10, SURF_IDS='BRAND','INERT','INERT'/