

Brandteknisk riskvärdering av Babel i Malmö



Kristoffer Björkman
Erika Lövström
Filip Nilsson
Carolina Osvalder

Rapport 9484
Lund 2016-05-30



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Brandteknisk riskvärdering av Babel i Malmö

Författare

Kristoffer Björkman

Erika Lövström

Filip Nilsson

Carolina Osvalder

Handledare

Bjarne Husted

Lund 2016

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

Titel

Brandteknisk riskvärdering av Babel i Malmö

Title

Fire Safety Evaluation of Babel in Malmö

Författare/Authors

Kristoffer Björkman

Erika Lövström

Filip Nilsson

Carolina Osvalder

Rapport/Report

9484

Brandingenjörsprogrammet, Avdelningen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2016

Fire Safety Engineering Program, Division of Fire Safety Engineering, Lund Institute of Technology, 2016

© Avdelningen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, Lund 2016

Antal sidor/Number of pages

82

Språk/Languages

Svenska/Swedish

Bilder och illustrationer/Pictures and illustrations

Samtliga bilder och illustrationer är tagna och skapade av författarna.

All pictures and illustrations are taken and created by the authors.

Nyckelord

Brandteknisk riskvärdering, brandscenario, effektutveckling, FDS, känslighetsanalys, nattklubb, Pathfinder, personsäkerhet, utrymning

Keywords

Fire Safety Evaluation, fire scenario, heat release rate, FDS, sensitivity analysis, nightclub, Pathfinder, human safety, evacuation

Avdelningen för Brandteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet
Box 118
SE-221 00 Lund
www.brand.lth.se
brand@brand.lth.se
Tel: 046 – 222 73 60

Division of Fire Safety Engineering
Lund Institute of Technology
Lund University
P.O. 118
SE-221 00 Lund
Sweden
www.brand.lth.se
brand@brand.lth.se
Tel: 046 – 222 73 60

Abstract

The purpose of this report is to evaluate the existing fire protection system at the nightclub Babel in Malmö. The aim is to ensure a safe evacuation of all people in the building in case of fire.

As a result of a risk analysis, three fire scenarios were chosen for further evaluation. The fire was simulated in FDS and time until unacceptable conditions arose was studied. The human evacuation simulation was performed in Pathfinder and compared to the FDS-simulation. In all three cases, the existing fire protection system was not satisfying to safely evacuate all the people.

To improve the fire safety some measures are suggested. The most important is to separate the entrance and the wardrobe from the other parts of the building. Also to make sure that detection of fire is possible in the entire building during opening hours and to update the internal control of fire protection are important measures.

Sammanfattning

Denna rapport ingår som en del i kursen Brandteknisk riskvärdering som ges för brandingenjörstudenterna vid Lunds Tekniska Högskola. Syftet med rapporten är att utvärdera utrymningsmöjligheten för nattklubben Babels besökare och personal i händelse av brand. Rapportens mål är att fastslå huruvida byggnadens utformning samt det befintliga brandskyddet utgör en fullgod brandteknisk lösning avseende utrymning. I målet ingår även att ge förslag på åtgärder om personsäkerheten inte anses tillräcklig.

Rapporten avgränsas till att endast behandla de lokaler som förväntas nyttjas av besökare och personal under Babels öppningstider. Analyserna som genomförs omfattar endast de tillfällen då verksamheten är öppen för allmänheten. Inga materiella skador tas i beaktande och vid inventering av möjliga brandscenarier tas ingen hänsyn till händelser som av författarna anses orimliga.

Babel bedriver olika typer av arrangemang, framförallt nattklubb och konserter, men även filmvisningar. Verksamheten bedrivs på två plan och har i nuläget inget gällande dimensionerande personantal.

Arbetet inleddes i februari 2016 med ett platsbesök på Babel där möjliga brandscenarier identifierades och det befintliga brandskyddet inventerades. Efter platsbesöket genomfördes en deterministisk riskanalys av identifierade brandscenarier där tre scenarier valdes för vidare analys. Dessa var brand i garderoben i anslutning till entrén, brand i ett förråd på scenen samt brand i köket.

För brandförloppen togs sedan effektutvecklingskurvor fram och varje scenario simulerades i FDS för att få en uppfattning om brandgasspridning samt vid vilken tidpunkt icke godtagbara förhållanden uppstår. Ett flertal utrymningssimuleringar genomfördes i programmet Pathfinder vilket gav en uppfattning om utrymning kunde ske på ett tillfredställande sätt. Efter analyserna gjordes en sammanvägning av resultaten från brand- och utrymningssimuleringarna för att utvärdera det befintliga brandskyddet. Även känslighetsanalyser genomfördes för att få en uppfattning om hur olika parametrar inverkar på brand- och utrymningsförloppen.

Riskvärderingen visar att det uppstår icke godtagbara förhållanden i alla tre scenarier innan samtliga besökare hinner utrymma. Därför presenteras åtgärdsförslag för dessa scenarier. Även allmänna åtgärdsförslag presenteras i rapporten baserat på brister som identifierades under platsbesöket.

Den enskilt viktigaste åtgärden som föreslås är att avskilja entrén och garderoben från övriga lokaler med hjälp av en brandklassad vägg, då detta skulle ha stor inverkan på brandgasspridningen i byggnaden. Även att möjliggöra detektion i alla lokaler under öppningstid och att se över det systematiska brandskyddsarbetet anses vara viktiga åtgärder.

Förord

Först och främst vill vi rikta ett stort tack till handledare och kontaktpersoner för den hjälp vi har fått under arbetet med rapporten, tack för att ni villigt delat med er av er kunskap.

Bjarne Husted Universitetslektor vid avdelningen för Brandteknik, LTH

Linus Ahlman Brandingenjör vid Räddningstjänsten Syd

Fredrik Stenfell Verksamhetsansvarig för Babel

Nomenklatur

c_p	Värmekapacitet [kJ/kg*K]
D^*	Brandens karakteristiska diameter [m]
dx	Cellstorlek [m]
g	Gravitationskonstanten [m/s ²]
ΔH_c	Total förbränningsvärme [kJ/kg]
ΔH_{eff}	Effektiv förbränningsvärme [kJ/kg]
m	Massa [kg]
Q	Energi [kJ]
\dot{Q}	Effektutveckling [kW]
\dot{Q}''	Effektutveckling per kvadratmeter [kW/m ²]
T	Temperatur [K]
t	Tid [s]
$t_{förflyttning}$	Förflyttningstid [s]
$t_{varseblivning}$	Varseblivningstid [s]
$t_{förberedelse}$	Förberedelsestid [s]
$t_{utrymning}$	Total utrymningstid [s]
α	Tillväxthastighetskoefficient [kW/s ²]
ρ	Densitet [kg/m ³]
χ	Förbränningseffektivitet [-]

Akronymer

BBR	Boverkets byggregler
BBRAD	Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd
CFD	Computational Fluid Dynamics
FDS	Fire Dynamics Simulator
IDA	Indikatorer, Data och Analys
LES	Large Eddy Simulation
LSO	Lag om skydd mot olyckor
MSB	Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
NIST	National Institution of Standards and Technology
RTI	Response Time Index

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Syfte	1
1.2	Mål	1
1.3	Avgränsningar	1
1.4	Begränsningar.....	1
2	Metod.....	3
2.1	Objektsbeskrivning.....	3
2.2	Grovanalys	3
2.3	Brandförlopp.....	4
2.4	Utrymningsförlopp.....	4
2.5	Riskvärdering.....	4
2.6	Känslighetsanalys.....	4
2.7	Förslag på åtgärder	4
3	Objektsbeskrivning.....	5
3.1	Verksamheten.....	5
3.2	Personal.....	5
3.3	Objektets utformning.....	5
4	Befintligt brandskydd	11
4.1	Detektionssystem.....	11
4.2	Utrymningslarm	11
4.3	Manuell aktivering	12
4.4	Rutiner vid utrymning.....	12
4.5	Utrymningsvägar.....	12
4.6	Brandcellsgränser.....	15
4.7	Släckutrustning och släcksystem	15
4.8	Brandskyddsbehandlade textilier.....	15
4.9	Systematiskt brandskyddsarbete	15
4.10	Räddningstjänst.....	16
5	Utrymning.....	17
5.1	Stimulusresponsmodell.....	17
5.2	Försvårande omständigheter	17
5.3	Varseblivningstid	17
5.4	Förberedelse tid.....	17
5.5	Förflyttningstid	18
5.6	Pathfinder	18
5.7	Godtagbara nivåer	18
6	Riskidentifiering	19
6.1	Statistik	19

6.2	Grovanalys av brandscenarier.....	19
6.3	Riskbedömning.....	22
7	Scenario 1 – Brand i garderob	23
7.1	Dimensionerande brand.....	23
7.2	Simulering av brand i garderob	24
7.3	Utrymningssimulering.....	26
7.4	Riskvärdering.....	27
7.5	Känslighetsanalys.....	27
7.6	Förslag på åtgärder	29
7.7	Diskussion	30
8	Scenario 2 – Brand i förråd på scen.....	31
8.1	Dimensionerande brand.....	31
8.2	Simulering av brand i förråd på scen.....	32
8.3	Utrymningssimulering.....	35
8.4	Riskvärdering.....	36
8.5	Känslighetsanalys.....	36
8.6	Förslag på åtgärder	38
8.7	Diskussion	38
9	Scenario 3 – Brand i kök.....	39
9.1	Dimensionerande brand.....	39
9.2	Simulering av brand i kök.....	40
9.3	Utrymningssimulering.....	42
9.4	Riskvärdering.....	43
9.5	Känslighetsanalys.....	44
9.6	Förslag på åtgärder	45
9.7	Diskussion	46
10	Åtgärdsförslag.....	47
10.1	Scenariospecifika åtgärder	47
10.2	Generella åtgärdsförslag	47
10.3	Övervägda åtgärder	48
11	Diskussion.....	51
12	Referenser.....	53
A	Bilaga - Statistik.....	55
B	Bilaga - Brandförlopp.....	61
C	Bilaga - FDS.....	69
D	Bilaga - Känslighetsanalys av utrymning.....	81

1 Inledning

Rapporten ingår som en del i kursen Brandteknisk riskvärdering som ges för studenterna vid Brandingenjörsutbildningen på Lunds Tekniska Högskola.

1.1 Syfte

Syftet med rapporten är att utvärdera utrymningsmöjligheten för nattklubben Babels besökare och personal i händelse av brand. Samtliga skall hinna utrymma innan kritiska förhållanden uppstår.

1.2 Mål

Rapportens mål är att fastslå huruvida byggnadens utformning samt det befintliga brandskyddet utgör en fullgod brandteknisk lösning avseende utrymning. Om personsäkerheten inte anses tillräcklig skall förslag på åtgärder ges.

1.3 Avgränsningar

Då rapporten syftar till att utvärdera personsäkerhet kopplat till utrymning kommer materiella skador och miljöpåverkan inte tas i beaktande. Vid inventering av möjliga brandscenarier tas ingen hänsyn till händelser som av författarna anses orimliga, exempelvis attentat av extrem karaktär.

Endast de lokaler som förväntas nyttjas av besökare och personal under nattklubben Babels öppningstider undersöks. Exempelvis finns ett städutrymme på första våningen i anslutning till garderoben som förväntas vara låst. De analyser som genomförs i rapporten omfattar endast de tillfällen då Babel är öppet för allmänheten.

De dimensionerande brandscenarier som analyseras förväntas pågå utan inverkan från eventuella släckförsök.

Då de delar av objektet där besökare vistas ingår i samma brandcell kommer ingen hänsyn tas till brandspridning via ventilationssystemet.

Eventuella åtgärdsförslag analyseras endast översiktligt ur ett ekonomiskt perspektiv.

Enligt verksamhetsansvarig vistas sällan personer med rörelsenedsättning i byggnaden och i de fall det förekommer har de assistenter med sig som förväntas hjälpa till vid utrymning (Stenfell, 2016). Rapporten utgår därför från att inga personer med rörelsenedsättning vistas i byggnaden.

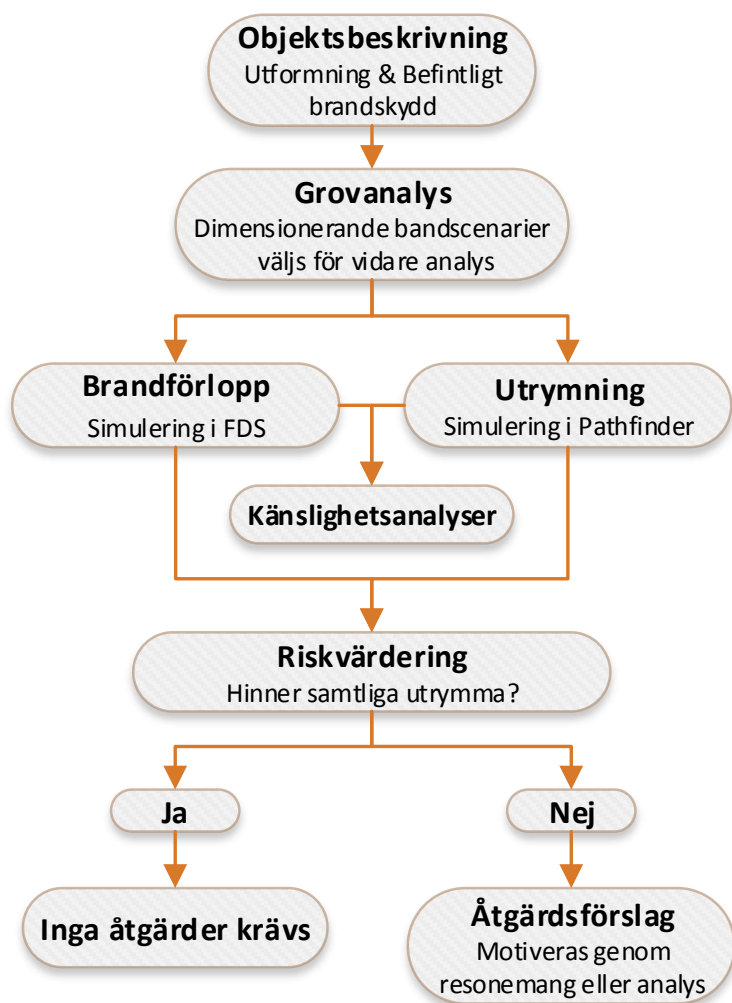
1.4 Begränsningar

De handberäkningar och datormodeller som används i rapporten bygger på förenklingar och antaganden. Detta kan leda till att resultaten blir grova uppskattningar av verkligheten.

Tid och resurser begränsar rapporten. Antalet scenarier och kombinationer av dessa skulle kunna bli oändliga och därför väljs ett fåtal representativa scenarier ut för vidare analys.

2 Metod

I följande kapitel beskrivs arbetsflödet som används för att uppnå tidigare nämnt syfte och mål. Arbetsflödet visualiseras även i Figur 2.1 nedan.



Figur 2.1. En överblick över arbetsflödet som används för att uppnå rapportens syfte och mål.

2.1 Objektsbeskrivning

För att få en uppfattning om objektet genomfördes ett platsbesök. Inför besöket studerades ritningar samt statistik över bränder i liknande objekt. Besöket genomfördes den 15 februari 2016, närvarande var Bjarne Husted (handledare, LTH), Linus Ahlman (extern handledare, Räddningstjänsten Syd) och Fredrik Stenfell (verksamhetsansvarig, Babel) samt författarna.

Under platsbesöket gavs först en kort introduktion till verksamheten och därefter presenterade räddningstjänsten sina synpunkter på objektets brandsäkerhet. En kort intervju genomfördes med Babels verksamhetsansvarig, möjliga brandscenarier identifierades och Babels befintliga brandskydd inventerades. Lokalerna fotograferades och geometrin mättes.

Även ett andra platsbesök genomfördes den 25 april 2016 där ytterligare frågor ställdes till Fredrik Stenfell.

2.2 Grovanalys

Efter platsbesöket genomfördes en deterministisk riskanalys av identifierade brandscenarier där varje scenario tilldelades ett värde för sannolikhet och ett för konsekvens. Statistik över bränder

för liknande objekt studerades för att bedöma sannolikheten och kvalitativa resonemang fördes för att uppskatta konsekvenserna. Med hjälp av en riskmatris valdes sedan tre scenarier ut för vidare analys.

2.3 Brandförlopp

Brandförloppen för de valda scenarierna tilldelades effektkurvor framtagna med hjälp av beräkningar och litteraturstudier. Varje scenario simulerades sedan med hjälp av CFD-programmet FDS för att få en uppfattning om brandgasspridning samt tid till när icke godtagbara förhållanden uppstår. Hänsyn togs till utrymningsförloppet gällande vilka nödutgångar som antogs nyttjas för respektive scenario. Detta gjordes för att ventilationsförhållandena och brandgasspridningen skulle bli så representativa som möjligt.

För att bestämma maximal effektutveckling i de fall branden är ventilationskontrollerad används simuleringsprogrammet Argos som bygger på en tvåzonsmodell.

2.4 Utrymningsförlopp

Utrymningsförloppet undersöktes med hjälp av simuleringar i programmet Pathfinder. Ett flertal simuleringar genomfördes för varje scenario vilket gav en uppfattning om utrymning kunde ske på ett tillfredställande sätt. I simuleringarna stängdes nödutgångar allt eftersom icke godtagbara förhållanden uppstod vid respektive utgång.

2.5 Riskvärdering

En sammanvägning gjordes av resultaten från brand- och utrymningssimuleringarna för att utvärdera det befintliga brandskyddet.

2.6 Känslighetsanalys

Känslighetsanalyser genomfördes för att få en uppfattning om hur olika parametrar inverkar på brand- och utrymningsförloppen.

2.7 Förslag på åtgärder

I de fall där det befintliga brandskyddet inte ansågs tillräckligt, togs förslag på förbättrande åtgärder fram. Åtgärdsförslagen motiverades genom resonemang och analys.

3 Objektsbeskrivning

I följande kapitel presenteras Babels verksamhet och objektets utformning.

3.1 Verksamheten

Babel öppnade sin verksamhet 2008 på Spångatan 38 i Malmö och har öppet flera dagar i veckan. Byggnaden är en gammal kyrka som är kulturminnesmärkt. I lokalerna bedrivs olika typer av arrangemang, framförallt nattklubb och konserter, men även filmvisningar. De flesta arrangemang står Babel själva för, men det finns även möjlighet för arrangörer att hyra in sig i lokalerna. (Stenfell, 2016)

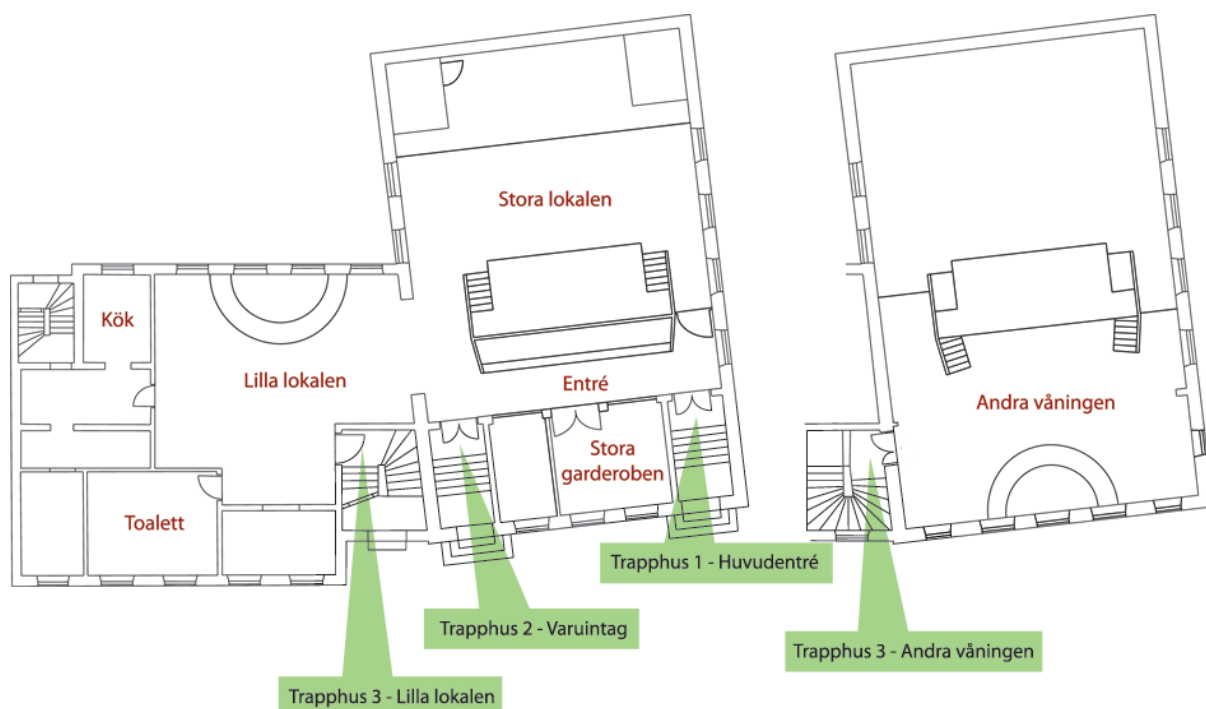
Verksamheten bedrivs på två plan och har i nuläget inget gällande dimensionerande personantal kopplat till serveringstillståndet (Oleskow, 2016). Inte heller i Babels danstillstånd finns något dimensionerande personantal angivet (Cruse Hbali, 2016).

3.2 Personal

Verksamhet bedrivs främst på kvällen vilket innebär att personalantalet varierar över dygnet. Dagtid befinner sig endast ett fåtal personer ur personalen i byggnaden, medan personalstyrkan under kvällstid kan bestå av upp emot 25 personer. Antalet ordningsvakter varierar beroende på tillställning och veckodag, men under en vanlig lördag då det bedrivs nattklubb finns det minst fem ordningsvakter på plats. Oavsett tillställning arbetar alltid Babels personal i garderob och bar samt deras egna ordningsvakter. (Stenfell, 2016)

3.3 Objektets utformning

Nedan följer en beskrivning av objektets olika lokaler och nyttjandet av dessa. I Figur 3.1 presenteras en översikt av Babel och de olika lokalerna.



Figur 3.1. Ritning över Babel med namngivna lokaler och trapphus.

Stora lokalen

I den stora lokalen finns scen och dansgolv på första våningen, se Figur 3.2. På scenen finns två förråd där diverse utrustning förvaras. Framför scenen finns ett öppet dansgolv med en takhöjd på omkring åtta meter.



Figur 3.2. Scen och dansgolv i stora lokalen.

På motsatt sida scenen finns två trappor som leder upp till andra våningen. Mellan trapporna och våningsplanen finns en avsats, se Figur 3.3. Under avsatsen finns ett förvaringsutrymme där det förvaras möbler. På det andra våningsplanet finns en bar och soffgrupper.



Figur 3.3. Avsats mellan våningsplanen i stora lokalen.

När det arrangeras konserter är personantalet normalt högst i stora lokalen. Golven är då fria från möblemang förutom den fasta inredningen. Baren på andra våningen är alltid bemannad med en ansvarig. Vid de tillfällen då det är filmvisning i lokalen är bord och stolar uppställda liksom kafésittning eller endast stolar i rader framför scenen. Det kan då vara upp emot 200 stolar som ställs upp. (Stenfell, 2016)

Lilla lokalen

Den lilla lokalen ligger i anslutning till den stora och består av en öppen yta med bar, se Figur 3.4. Även DJ-bås och fastmonterade soffor med tillhörande bord finns i lokalen. Denna lokal angränsar även till stora lokalen, entrén, köksutrymmet och toaletterna.



Figur 3.4. Lilla lokalen med bar och öppning mot stora lokalen.

Vid konsert och filmvisningar är det främst folk i denna lokal före och efter föreställning. Då kan det finnas uppställda bord och stolar precis som i den stora lokalen. Besökare förväntas vara mer jämnt fördelade mellan stora och lilla lokalen under nattklubbverksamhet. Baren är alltid bemannad med en ansvarig. (Stenfell, 2016)

Entré

Entrén består av en smal korridor med en kassadisk och en liten garderob längs med väggen på den ena långsidan. I ena änden av korridoren ligger huvudentrén och i den andra varuintaget, båda består av ett mindre trapphus med halvtrappa från markplan. Den lilla garderoben har plats för ungefär 200 jackor, se Figur 3.5. Den lilla garderoben nyttjas endast ett fåtal gånger per år (Stenfell, 2016). Entrén leder vidare till stora och lilla lokalen. Mellan entrén och stora lokalen finns en nödutgång som endast går att öppna från stora lokalen.



Figur 3.5. Lilla garderoben bakom disken i entrén.

Vid öppning och stängning kan det uppstå köer då personer ska hänga in eller hämta ut sina jackor och väskor från den stora garderoben. Under övrig öppningstid befinner sig få personer i detta utrymme. Det finns alltid minst en kassavärd i entrén. Utanför huvudentrén finns ordningsvakter då nattklubb och konsert arrangeras. (Stenfell, 2016)

Stora garderoben

Den stora garderoben är placerad mellan huvudentrén och varuintaget. I garderoben finns hängare i form av stänger fastsatta i taket med tillhörande galgar, se Figur 3.6. Det finns plats för cirka 600 jackor i garderoben. Under öppningstid står dörrarna från garderoben ut till entrén öppna och ett bord är placerat i öppningen. Den stora garderoben är alltid bemannad under öppningstid.



Figur 3.6. Stora garderoben med hängare i flera nivåer.

Toalett

Toaletterna nås via den lilla lokalen. Toalettutrymmet består av bås, handfat samt urinoarer. Endast en dörr leder till utrymmet.

Kök

Köksutrymmet angränsar till den lilla lokalen. I köket finns matlagningsmöjligheter i form av stekbord, ugn och mikrovågsugn, se Figur 3.7. Det finns också ett angränsande förvaringsutrymme. Köket används i begränsad omfattning vilket innebär att det sällan vistas personer i rummet (Stenfell, 2016).



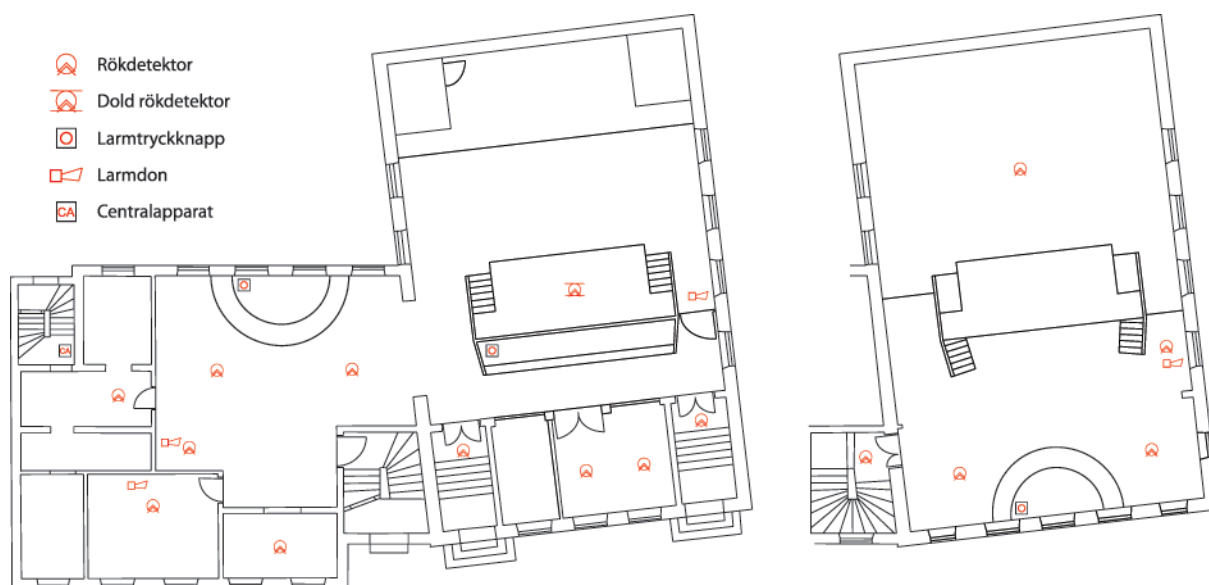
Figur 3.7. Bild på köket.

4 Befintligt brandskydd

Detta kapitel syftar till att beskriva det befintliga brandskyddet på Babel. Räddningstjänsten Syd (2015) utfärdade i december 2015 ett föreläggande som ställer krav på brandskyddet, bland annat bättre detektion. När platsbesöket genomfördes i februari 2016 höll flera av dessa brister på att åtgärdas. Beskrivningen nedan utgår från att samtliga punkter i föreläggandet är åtgärdade.

4.1 Detektionssystem

Samtliga lokaler är efter Räddningstjänsten Syds föreläggande (2015) utrustade med optiska rökdetektorer, se Figur 4.1. De detektorer som är placerade i den stora lokalen är avstängda under tiden det bedrivs verksamhet. Anledningen är att undvika falsklarm på grund av rökmaskiner som kan användas på scen under konserter. Förvaringsutrymmet under avsatsen i stora lokalen är dock alltid detekterat.



Figur 4.1. Placering av detektorer, ringklockor, larmtryckknappar och centralapparat.

Detektorerna är kopplade till centralapparaten som även hanterar inbrottslarmet. Centralapparaten är placerad i trapphuset som ansluter till köksutrymmet och har ingen vidarekoppling vid brandlarm (Stenfell, 2016). Vid centralapparaten finns även information om agerande vid ett eventuellt brandlarm.

4.2 Utrymningslarm

Utrymningslarmet består av både talat meddelande och ringklockor. Det talade utrymningslarmet är kopplat direkt till Babels ljudanläggning. Vid larm avbryts det pågående ljudet i högtalarna och utrymningslarmet aktiveras. Även matningsspänningen till rökmaskinen upphör vid larm. (Stenfell, 2016)

Enligt föreläggandet från räddningstjänsten skall hörbarheten vara god, minst 65 dB, i samtliga utrymmen. (Räddningstjänsten Syd, 2015)

Det finns nödbelysning i samtliga lokaler om strömmen skulle sluta fungera. I händelse av strömavbrott kommer endast ringklockorna att ljuda, eftersom ljudanläggningen saknar reservmatning. (Ahlman, 2016)

4.3 Manuell aktivering

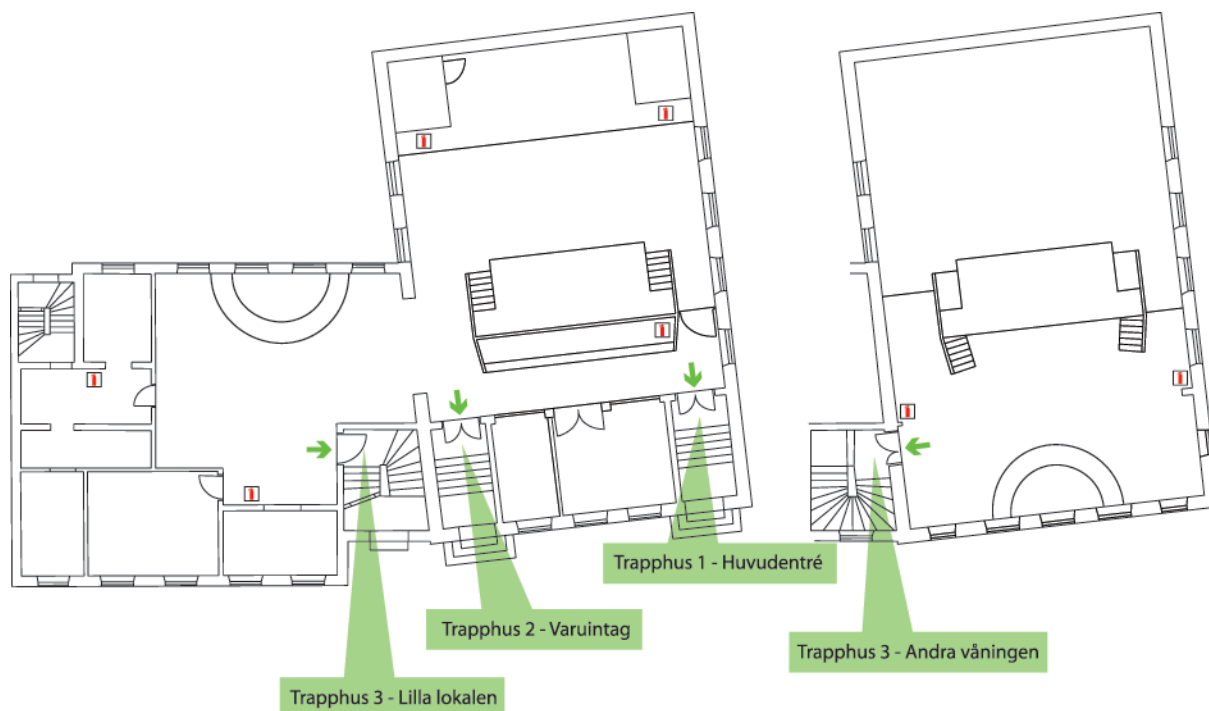
I byggnaden finns tre larmtryckknappar som aktiverar utrymningslarmet, en i respektive bar samt en i entrén vid kassadisen.

4.4 Rutiner vid utrymning

Tydliga riktlinjer finns för hur personalen på Babel ska agera vid brand. Det finns personal med huvudansvar för vidtagande av åtgärder i händelse av brand med olika ansvarsområden. Dessa ansvarsområden är entrén, respektive bar, dansgolvet vid scenen samt köket. Tillsammans ser personalen till att öppna upp nödutgångar, tända ljuset i lokalerna, uppmana besökare att utrymma samt larma SOS. Då räddningstjänsten anländer lämnar vakterna lägesrapport om händelsen. Ansvarig ser till att den interna brandskyddskontrollen är genomförd enligt checklista. (Stenfell, 2016)

4.5 Utrymningsvägar

De utrymningsvägar som finns tillgängliga presenteras i Figur 4.2. De består av tre oberoende trapphus varav två går från markplan till första våningen. Det tredje trapphuset sträcker sig från markplan och täcker Babels båda våningar. Det finns genomlysta vägledande markeringar på flera ställen i byggnaden.



Figur 4.2. Nödutgångar och handbrandsläckare samt benämning av trapphus.

Det finns även en nödutgång genom köksutrymmet men efter överläggande med Räddningstjänsten Syd tas ingen hänsyn till denna i utrymningssimuleringarna då den anses bristfällig.

Trapphus 1 – Huvudentré

Huvudentrén utgör en av de möjliga utrymningsvägarna från Babel. I Figur 4.3 visas dörren till trapphuset och dörren ut mot det fria med tillhörande vägledande markeringar. Trapphuset består av en halvtrappa. Vid larm öppnar personal på Babel upp dörren från stora lokalen mot denna utgång (Stenfell, 2016). Båda dörrarna är utrustade med panikregel. Denna utgång är bemannad av vakter då det bedrivs nattklubsverksamhet och står troligtvis öppen vid dessa tillfällen.



Figur 4.3. Nödutgång från entrén genom huvudentrén.

Trapphus 2 – Varuintag

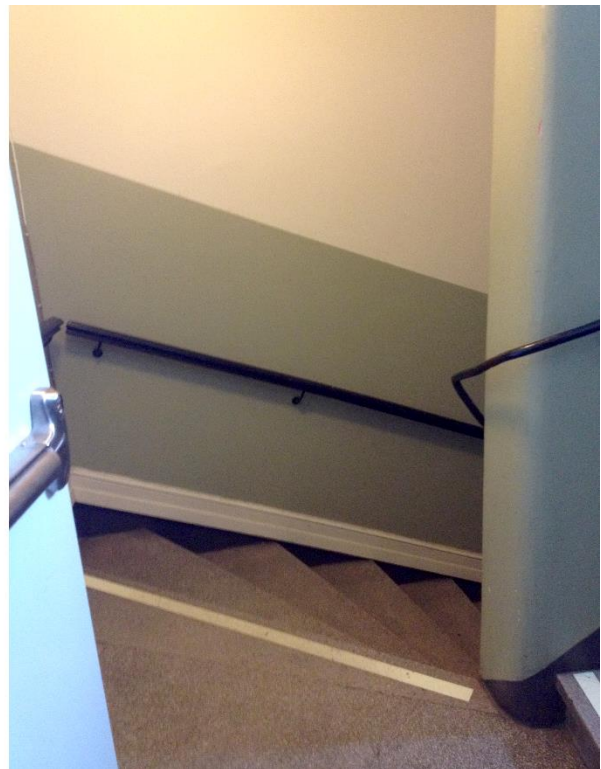
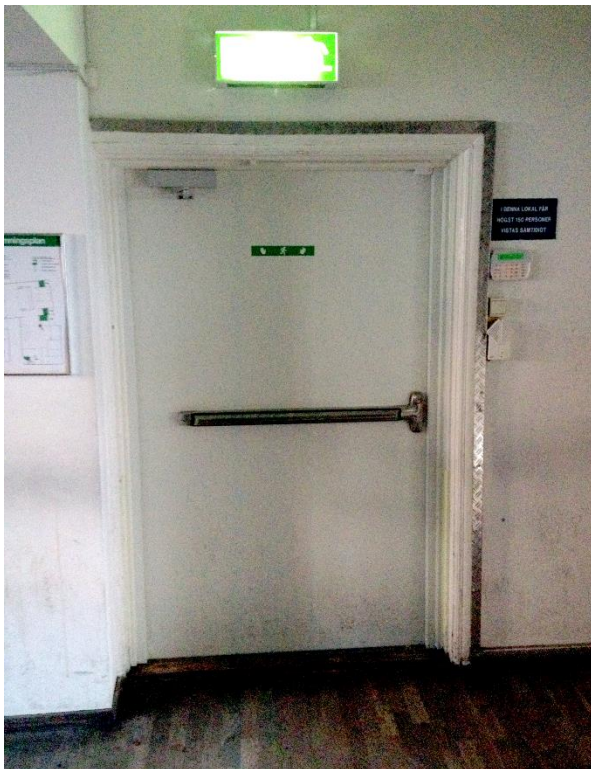
Det finns ytterligare ett trapphus som ansluter till entrén. Det är placerat bredvid den stora garderoben och är identiskt med huvudentrén. I trapphuset finns även en ramp uppställd mot väggen som används för in- och utlastning. Under öppningstider skall rampen vara fastspänd i väggen. I Figur 4.4 syns utrymningsvägen med tillhörande vägledande markering. Dörren ut till trapphuset från entrén är försedd med en skylt med texten ”Kära gäster gå inte ut här! Använd utgång till vänster”, vilket syftar på huvudentrén. Dörren saknar panikregel men är olåst och går att trycka upp utan att vrida det ordinarie handtaget. Dörren ut mot det fria är utrustad med panikregel.



Figur 4.4. Nödutgång från entrén genom varuintaget. Till höger syns rampen som används för in- och utlastning.

Trapphus 3 - Lilla lokalen

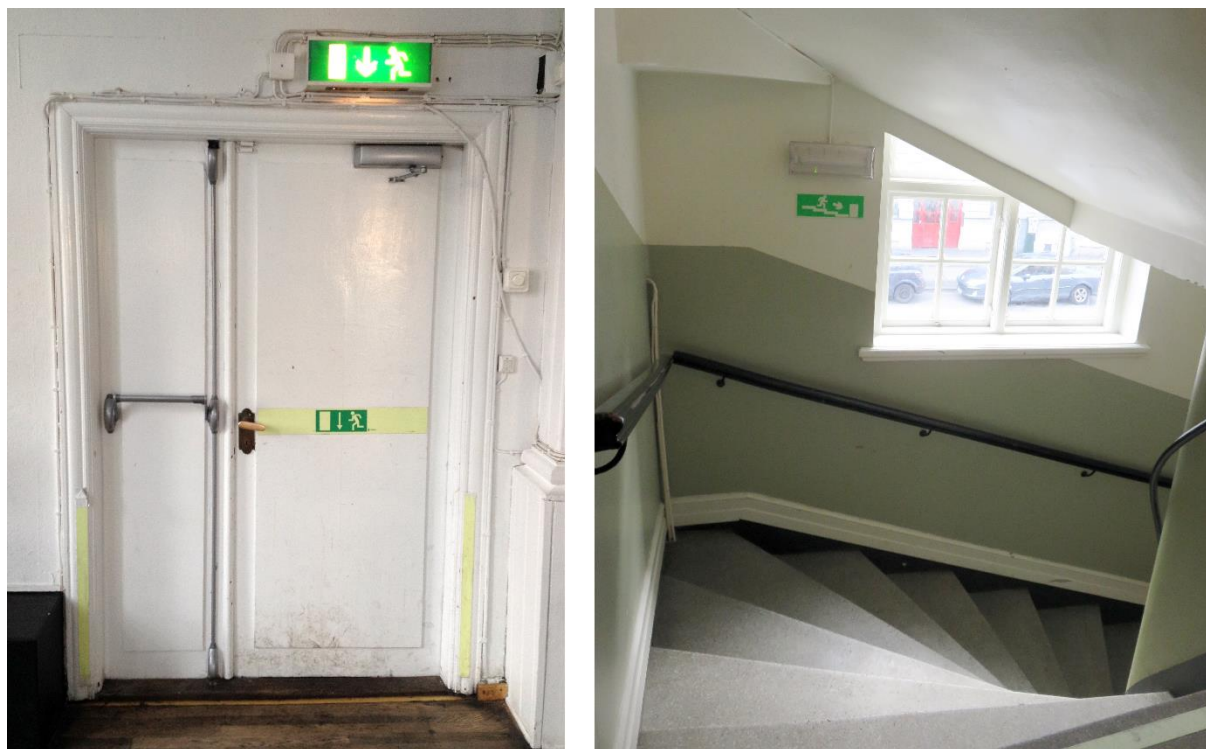
Trapphus 3 ansluter till båda våningarna och utgör en egen brandcell. I Figur 4.5 visas dörren i lilla lokalen och avsatsen i trapphuset på första våningen. Här sammanfaller utrymningsflödena från första och andra våningen. Dörren är försedd med panikregel.



Figur 4.5. Nödutgång från lilla lokalen med tillhörande trapphus.

Trapphus 3 – Andra våningen

Figur 4.6 visar dörren från andra våningen och trapphuset med tillhörande vägledande markeringar. Dörren är försedd med panikregel men går inte att öppna om dörren är låst.



Figur 4.6. Nödutgång från andra våningen med tillhörande trapphus.

4.6 Brandcellsgränser

Största delen av byggnaden ingår i en och samma brandcell. Undantaget är köksutrymmet och trapphus 3 som är brandtekniskt avskilt. Dörren till köksutrymmet är försedd med hållmagnet och dörrstängare.

4.7 Släckutrustning och släcksystem

Enligt Lagen (2003:778) om skydd mot olyckor ska ägaren till en byggnad i skäligen omfattning hålla utrustning för släckning av brand. Riktlinjen är att gångavståndet till närmsta handbrandsläckare inte ska överstiga 25 meter (SVEBRA, 2015). Med avseende på placering av handbrandsläckare på Babel bedöms kravet från LSO vara uppfyllt.

4.8 Brandskyddsbehandlade textilier

Draperierna vid scenen och mellan den stora och lilla lokalen är behandlade med flamskyddsmedel (Stenfell, 2016).

4.9 Systematiskt brandskyddsarbete

Ansvarig för det systematiska brandskyddsarbetet är Babels delägare Fredrik Stenfell. All personal på Babel genomgår Räddningstjänsten Syds brandskyddsutbildning vart tredje år. Senaste tillfället för denna utbildning var hösten 2015. All ny personal ska inom en vecka informeras om vilka rutiner som gäller enligt brandskyddsutbildningen. Detta gäller även timanställda. Brandövningar med personalen sker i januari varje år. (Stenfell, 2016)

4.10 Räddningstjänst

Brand- och utrymningslarm är inte vidarekopplat till räddningstjänsten utan de måste larmas via SOS. Vid larm är Räddningstjänsten Syd på plats inom några minuter. Tillgängligheten för räddningstjänsten anses god. (Ahlman, 2016)

5 Utrymning

Kapitlet syftar till att förklara den modell som används för att simulera utrymningsförloppet samt förklara de olika utrymningsstadierna. Även det utrymningsprogram som används för simulering presenteras översiktligt.

5.1 Stimulusresponsmodell

För att simulera utrymningsförloppet används en stimulusresponsmodell som presenteras av Nilsson (2006). Modellen delar in utrymningsförloppet i tre faser: varseblivning, förberedelse och förflyttning. Någon form av larm eller signal gör personer varse om att något onormalt inträffat, stimulus. Detta leder till att personerna efter en tid börjar bege sig mot säker plats, respons. Summan av tiden för varje stadie utgör den totala utrymningstiden och presenteras i ekvation 5.1 nedan:

$$t_{utrymning} = t_{varseblivning} + t_{förberedelse} + t_{förflyttning} \quad \text{Ekvation 5.1}$$

5.2 Försvårande omständigheter

På Babel används både rökmaskin och ljus som skulle kunna likna signaturen från en brand. Dessutom är ljudnivån hög och belysningen dämpad. Besökare förväntas även vara alkoholpåverkade. Detta anses vara försvårande omständigheter för att initiera en utrymning på snabbt sätt (Frantzich, 2001).

5.3 Varseblivningstid

Den tid som förflyter innan en person antas vara medveten om att något onormalt har inträffat benämns varseblivningstid. Om en byggnad är utrustad med utrymningslarm kan detta antas vara tiden från att en brand startar till att utrymningslarmet aktiveras. För personer som ser brand eller brandgaser kan varseblivningstiden förväntas bli mycket kort (Frantzich, 2001). Enligt BBRAD bör den dock inte understiga 30 sekunder (Boverket, 2013).

5.4 Förberedelsetid

Förberedelsetid avser den tid från att en person blivit varse att något onormalt inträffat till dess att personen börjar röra sig mot en utgång. En annan benämning är besluts- och reaktionstid. Beteenden som kan förväntas inträffa under denna fas är bland annat att tillgodogöra sig information, hjälpa andra samt eventuellt försöka släcka branden (Nilsson, 2006).

Under hösten 2011 genomfördes två fullskaleförsök på nattklubbar i Malmö och Lund. Resultatet visade att merparten av besökarna började utrymma inom 90 sekunder. Utrymningen genomfördes i båda fallen strax före stängning. I det fall där vakter inte hjälpte till med utrymningen valde merparten av gästerna att ställa sig i kö till garderoben istället för att utrymma. (Nasr och Wall, 2012)

I en studie av Frantzich presenteras förberedelsetid beroende på larmtyp. För ringklockor blev förberedelsetiden fem minuter medan förinspelat meddelande gav en förberedelsetid på två minuter och 45 sekunder. Om personerna ser brand eller brandgaser kan denna tid förväntas bli betydligt kortare. (Frantzich, 2001)

För utrymningsdimensionering av nattklubb presenterar Boverket (2013) förslag på förberedelsetid i BBRAD på mellan tre och fem minuter.

5.5 Förflyttningstid

Den tid det tar för samtliga personer att lämna byggnaden eller på annat sätt nå en säker plats benämns förflyttningstid. Den beror på ett flertal faktorer som till exempel hur personer är fördelade i lokalerna, gånghastighet, trappor, bredd på och tillgång till nödutgångar (Boverket, 2013).

I en rapport av Rinne, Tillander och Grönberg (2010) presenteras en fördelning på gånghastighet för horisontell förflyttning. Denna fördelning återskapas vid simulering av utrymning med ett medelvärde på 1,4 m/s och standardavvikelsen 0,4 m/s. Som max- och minvärde används 0,5 m/s respektive 2,0 m/s.

5.6 Pathfinder

Pathfinder är ett simuleringsprogram som kan användas för att analysera människors förflyttning vid utrymning. I programmet tilldelas förberedelsetiden en fördelning baserat på resonemang som presenteras ovan under avsnitt *Förberedelsetid*. Förflyttningstiden baseras på bland annat gånghastighet, vilken varierar beroende på om personerna färdas horisontellt eller i trappor. I rapporten kommer gånghastigheten tilldelas en fördelning vilket representerar att människor går olika fort. I utrymningsmodellerna antas besökarna bege sig till den närmaste nödutgången.

I samtliga analyser simuleras utrymningsförloppet med 650 personer då detta är det maximala antalet personer som vistas i lokalerna (Stenfell, 2016).

5.7 Godtagbara nivåer

Brandförloppet simuleras i FDS för att undersöka tiden till när godtagbara nivåer överskrids vid respektive nödutgång. Som godtagbara nivåer används de gränsvärden som Boverket (2013) presenterar i BBRAD, se Tabell 5.1. Vid den tid detta värde överskrids i simuleringen av brandförloppet antas nödutgången inte längre kunna nyttjas och stängs därför i Pathfinder vid simulering av utrymningsförloppet.

Tabell 5.1. Gränsvärden från Boverket (2013).

Kriterium	Nivå
1. Brandgaslagrets höjd ovan golv	Lägst $1,6 + (\text{rumshöjd} * 0,1)$ (m)
2. Siktbarhet (2 m ovan golv)	10 m i utrymmen $> 100 \text{ m}^2$ 5 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	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 $80 \text{ }^\circ\text{C}$
5. Toxicitet (2 m ovan golv)	Kolmonoxidkoncentration (CO) $< 2000 \text{ ppm}$ Koldioxidkoncentration (CO ₂) $< 5 \%$ Syrgaskoncentration (O ₂) $> 15 \%$

Utrymning genom brandgaser kan i vissa avseenden accepteras då nivåerna för både kriterium 1 och 2 måste överskridas för att förhållandena inte längre skall anses godtagbara. För övriga kriterier räcker det att en av nivåerna överskrids. (Boverket, 2013)

Det bör påpekas att detta är rekommenderade värden. Att nivåerna överskrids betyder nödvändigtvis inte att utrymning inte skulle kunna fortgå.

6 Riskidentifiering

Detta kapitel syftar till att skapa en översikt av de brandscenarier som skulle kunna uppstå på Babel. Med hjälp av kvalitativa resonemang bedöms konsekvensen för varje scenario och genom att studera statistik tilldelas varje scenario en sannolikhet. Samlat leder detta till en rangordning av scenarierna i en riskmatris där de med störst risk analyseras vidare med beräkningar samt simuleringar för att utvärdera Babels befintliga brandskydd.

6.1 Statistik

För att få en uppfattning om vilka brandscenarier som är vanligast förekommande för verksamheter liknande Babel används MSB:s statistikdatabas IDA, som är ett register över insatsrapporter från Sveriges räddningstjänster. Information från databasen används som underlag till bedömningen av sannolikheten för scenarierna nedan.

Under 2014 genomfördes 144 insatser av räddningstjänsten i kategorin ”Restaurang/Danslokal”. Antalet insatser har varit ungefär detsamma under åren 1998-2014 (Ida.msb.se, 2016). Statistik över brandorsak, brandens startutrymme och startföremål under dessa år redovisas i bilaga A – *Statistik*. De vanligaste brandorsakerna är ”Tekniskt fel” samt ”Anlagd med uppsåt” som tillsammans står för ungefär en tredjedel av fallen. Det vanligaste startutrymmet är ”Kök” som står för omkring en tredjedel av fallen och därefter ”Samlingslokal” som står för ungefär en tiondel. Det vanligaste startföremålet för bränder i denna verksamhet är ”Spis”. (Ida.msb.se, 2016)

6.2 Grovanalys av brandscenarier

Under det första platsbesöket identifierades ett flertal möjliga brandscenarier. Nedan följer en inventering där varje scenario beskrivs kortfattat. Varje scenario tilldelas också en sannolikhet samt en konsekvens på en skala från ett till fem, där fem innebär mest troligt respektive störst konsekvens och ett innebär minst troligt respektive minst konsekvens. Det bör poängteras att dessa siffror inte går att jämföra med andra scenarier utanför denna rapport.

Brand i förråd på scen (A)

På ena sidan av scenen finns ett mindre förråd där diverse utrustning förvaras, bland annat instrument och kablar. Där finns även ett säkringsskåp, flertalet eluttag samt uttag för trefas. I scenariot sker ett tekniskt fel i utrymmet vilket leder till en brand som sprider sig till övrig utrustning. Dörren till förvaringsutrymmet är normalt stängd, men i detta scenario antas den vara uppställd.

Brandbelastningen i utrymmet är mycket hög i förhållande till dess storlek. Eftersom det inte finns någon detektor i utrymmet kan utrymning fördröjas och påbörjas först då branden upptäcks av personer i lokalen. Dock blockerar branden inga utrymningsvägar.

Sannolikheten för detta scenario baseras på att det finns mycket teknisk utrustning i förrådet och som det tidigare nämnts är ”Tekniskt fel” en av de vanligaste brandorsakerna för denna verksamhetstyp.

Konsekvens: 3

Sannolikhet: 3

Brand i utrustning på scen (B)

Då det arrangeras många konserter förekommer det ofta mycket utrustning på scenen. I detta scenario inträffar ett tekniskt fel i någon utrustning på scenen.

Då personer vistas på och vid scenen borde branden upptäckas nästan omedelbart trots att detektionen är avstängd i stora lokalen. Branden blockerar ingen utrymningsväg och konsekvensen anses därför bli relativt liten.

Sannolikheten för detta scenario baseras på statistik för "Tekniskt fel" i denna verksamhetstyp.

Konsekvens: 2

Sannolikhet: 2

Brand i lös inredning (C)

I detta scenario anläggs en brand i någon av Babels brännbara lösa inredning.

Konsekvensen av detta scenario kan bli stor om branden lyckas sprida sig i inredningen, vilket sker om den får tillväxa under en längre tid. I stora lokalen är detektionen avstängd, därför förutsätts det att en person upptäcker branden och larmar. Övriga lokaler är däremot detekterade och en brand i någon av dem blir därför inte lika beroende av den mänskliga faktorn. Därför anses konsekvenserna bli större i den stora lokalen. Förutsättningar för utrymning är beroende av var i byggnaden branden uppstår.

Sannolikheten för detta scenario baseras på statistik för anlagda bränder på nattklubbar.

Konsekvens: 2

Sannolikhet: 2

Brand i draperier (D)

I detta scenario anläggs en brand i något av de draperier som finns vid scenen eller längs med väggarna i stora lokalen.

Konsekvensen av detta scenario beror på om flamskyddsmedlet som draperierna är behandlade med fungerar som avsett. Efter det första platsbesöket undersöktes inte draperierna närmare och det förutsätts därför att flamskyddsmedlet fungerar. I och med det blir konsekvensen av scenariot låg då flamskyddsmedlet försvårar antändning och brandspridning i materialet.

Sannolikheten för detta scenario baseras på statistik för anlagda bränder på nattklubbar.

Konsekvens: 1

Sannolikhet: 2

Brand i stora garderoben (E)

I detta scenario uppstår en brand i den stora garderoben som antas vara anlagd eller uppkomma på grund av tekniskt fel.

Konsekvensen av detta scenario kan bli mycket stor, då garderoben kan innehålla mycket brännbart material och branden troligen kommer blockera de två angränsande nödutgångarna.

Sannolikheten för att en brand ska uppstå i den stora garderoben bedöms utifrån statistik över anlagda bränder och inventering av möjliga antändningskällor vid platsbesöket. Garderoben är bemannad vilket försvårar anlagd brand.

Konsekvens: 5

Sannolikhet: 2

Brand i lilla garderoben (F)

En möjlig brandorsak i lilla garderoben är anlagd brand.

Konsekvensen av detta scenario skulle troligen innebära att de två angränsande nödutgångarna blockeras.

Sannolikheten för scenariot bedöms som låg. Den lilla garderoben används endast vid ett fåtal tillfällen varje år, på sommarhalvåret då besökarna sällan hänger av sig och vintertid då den stora garderoben inte räcker till.

Konsekvens: 4

Sannolikhet: 1

Brand i papperskorg på toaletten (G)

Inne på toaletten finns ett antal papperskorgar som under öppettider troligtvis innehåller brännbart material. I detta scenario anläggs en brand i en av papperskorgarna.

Då det i övrigt inte finns mycket brännbart material i utrymmet samt att väggar, tak och golv är svårantändliga sprider sig branden troligtvis inte vidare. Dörren in till toaletten är robust och försedd med dörrstängare vilket försvårar brandspridning till andra lokaler. När branden detekteras bör utrymning kunna ske utan större problem då branden inte påverkar någon nödutgång.

Sannolikheten för detta scenario baseras på statistik för anlagda bränder i liknande verksamheter.

Konsekvens: 1

Sannolikhet: 2

Brand i kök (H)

Under platsbesöket observerades brännbart material i köket i närheten av stekborden. I detta scenario antänds något av det brännbara materialet. Möjliga antändningskällor är kontakt med en varm yta eller ett tekniskt fel i någon köksutrustning.

Dörren till köksutrymmet är försedd med automatisk dörrstängare, men i scenariot antas dörren förbli öppen. I utrymmet finns en detektor placerad. En brand i köket skulle troligtvis inte blockera någon nödutgång och konsekvensen bedöms därför bli relativt liten.

Statistiskt sett är köket det vanligaste startutrymmet för brand i kategorin "Restaurang/Danslokal". Enligt Stenfell (2016) serveras det mat i ytterst begränsad omfattning och det bör därför ifrågasättas hur tillämpbar denna statistik är för objektet. Sannolikheten för scenariot bedöms därför bli något lägre än vad statistik visar.

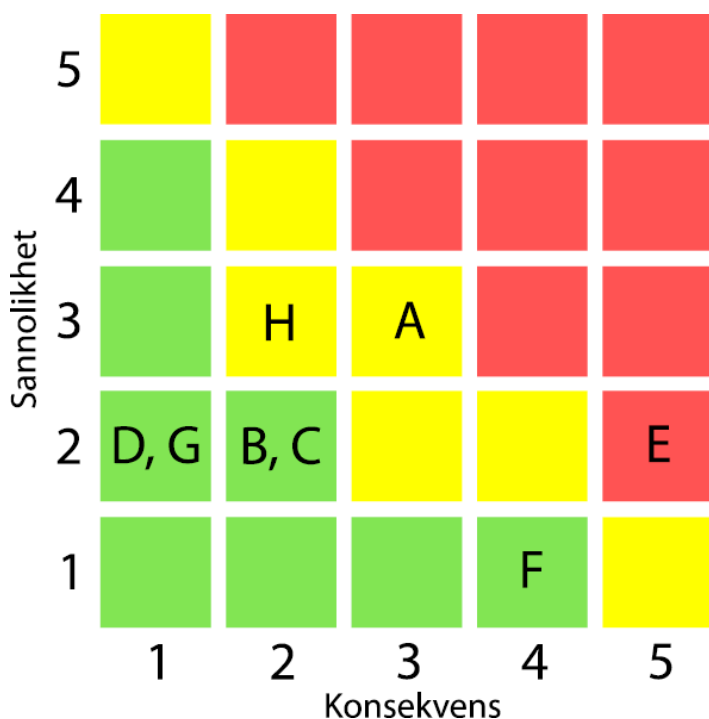
Konsekvens: 2

Sannolikhet: 3

6.3 Riskbedömning

Risk kan definieras som en sammanvägning av sannolikhet och konsekvens genom att multiplicera värdena för de båda. För att åskådliggöra hur brandscenarierna förhåller sig till varandra presenteras de nedan i en riskmatris, se Figur 6.1.

Det gröna området indikerar en låg risk, medan det gula och röda området indikerar en risk som bör undersökas vidare. Av dessa två utgör det röda området en allvarligare risk än det gula. Graderingen av riskerna som presenteras här går inte att applicera på andra objekt utan är unika för Babel.



Figur 6.1. Riskmatris med sammanvägd konsekvens och sannolikhet för de åtta scenarierna.

Värdena från riskidentifieringen redovisas i Tabell 6.1 nedan, där även det sammanvägda värdet på risken presenteras för respektive scenario.

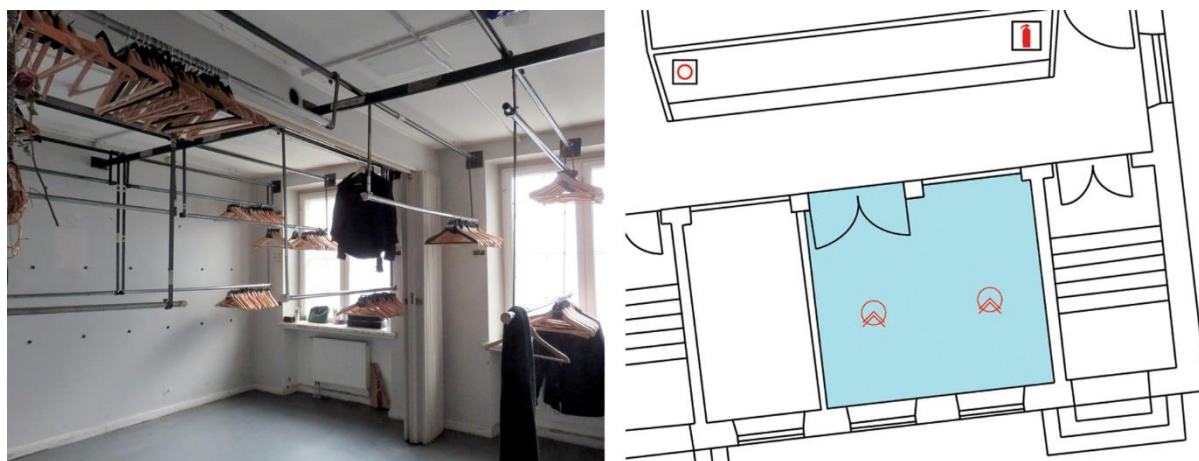
Tabell 6.1. Sammanställning utifrån riskmatrisen av brandscenarierna A-H med respektive konsekvens och sannolikhet, samt sammanvägd risk.

Scenario	Konsekvens	Sannolikhet	Risk
A – Brand i förråd på scen	3	3	9
B – Brand i utrustning på scen	2	2	4
C – Brand i lös inredning	2	2	4
D – Brand i draperier	1	2	2
E – Brand i stora garderoben	5	2	10
F – Brand i lilla garderoben	4	1	4
G – Brand i papperskorg på toaletten	1	2	2
H – Brand i kök	2	3	6

Utifrån riskmatrisen väljs de tre scenarier med störst risk för vidare analys. Dessa scenarier är, rangordnade i inbördes ordning, *Brand i stora garderoben*, *Brand i förråd på scen* och *Brand i kök*.

7 Scenario 1 – Brand i garderob

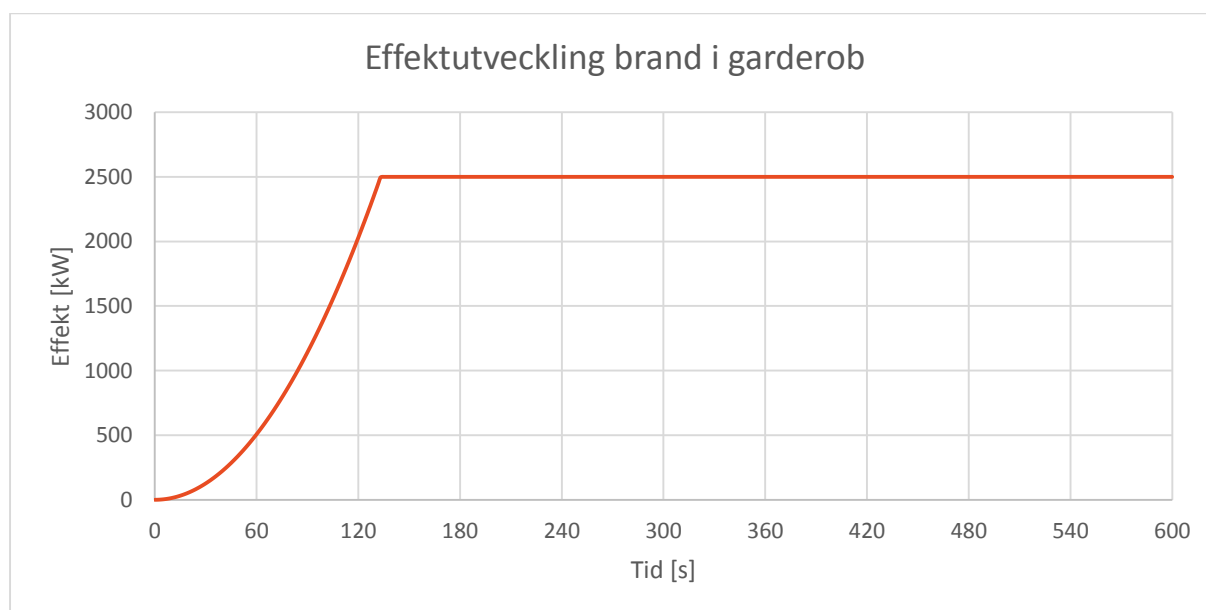
Den stora garderoben på Babel är placerad direkt till vänster om entrén, se Figur 7.1 nedan. Rummet har en golvarea på omkring 20 m² och plats för drygt 600 jackor. Normalt bemannas garderoben av minst en person. Rummet har två rökdetektorer i taket och i entrékorridoren som löper utanför finns en larmtryckknapp för aktivering av utrymningslarm samt en handbrandsläckare, se Figur 7.1.



Figur 7.1. Foto av en tom garderob tagen från dörröppning mot yttervägg samt en ritning över stora garderoben och angränsande rum med detektorer, larmtryckknapp och handbrandsläckare.

7.1 Dimensionerande brand

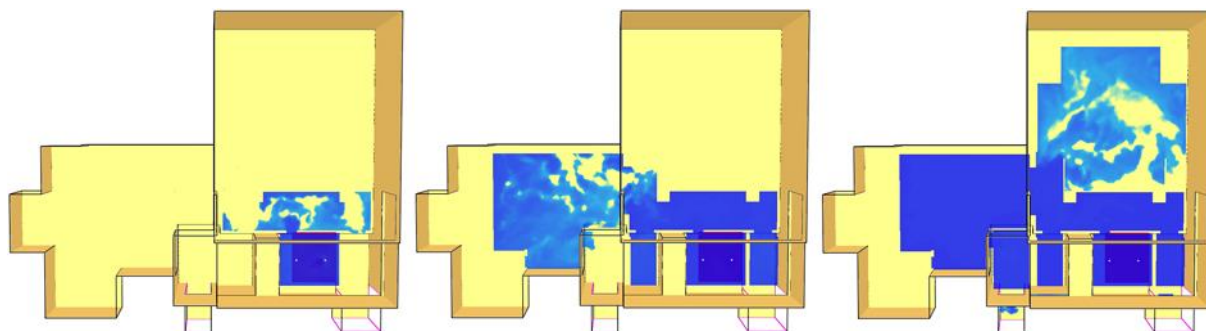
I Figur 7.2 presenteras effektutvecklingskurvan för branden i garderoben. För framtagning av effektutvecklingen se Bilaga B – *Brandförlopp*. Tillväxthastigheten är mellan ”Fast” och ”Ultra fast” och maximal effektutveckling på 2,5 MW uppnås efter cirka två minuter. Branden är ventilationskontrollerad och då mängden bränsle är mycket stor förblir effektutvecklingen konstant under det simulerade brandförloppet.



Figur 7.2. Effektutveckling för garderobsbranden under förloppets inledande tio minuter. Förloppet varar totalt i 60 minuter med den fortsatt konstanta effekten 2500 kW.

7.2 Simulering av brand i garderob

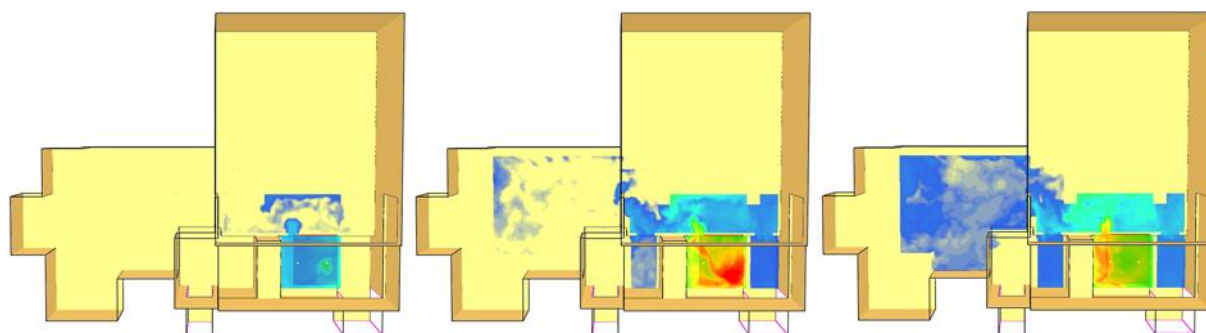
Med hjälp av FDS simuleras brandförloppet i garderoben, se bilaga C – FDS för detaljer. För att få en uppfattning om och när godtagbara nivåer överskrids i lokalerna studeras genererade *slice files*. Förhållandena för sikt, temperatur, kolmonoxid, koldioxid och syre studeras på två meters höjd under tio minuter och jämförs mot BBRADs gränsvärden som presenteras i kapitel 5 *Utrymning*. I Figur 7.3 presenteras siktförhållandena vid tre olika tidpunkter, de färgade områdena motsvarar sikt under fem meter.



Figur 7.3. Siktförhållanden efter 60, 120 samt 300 sekunder två meter över golvet på första våningen. Endast områden där sikten understiger fem meter presenteras.

Redan efter en minut börjar sikten understiga fem meter i området utanför garderoben. Efter två minuter är sikten vid samtliga nödutgångar på första våningen mindre än fem meter. Efter fem minuter börjar även sikten i stora lokalen understiga fem meter.

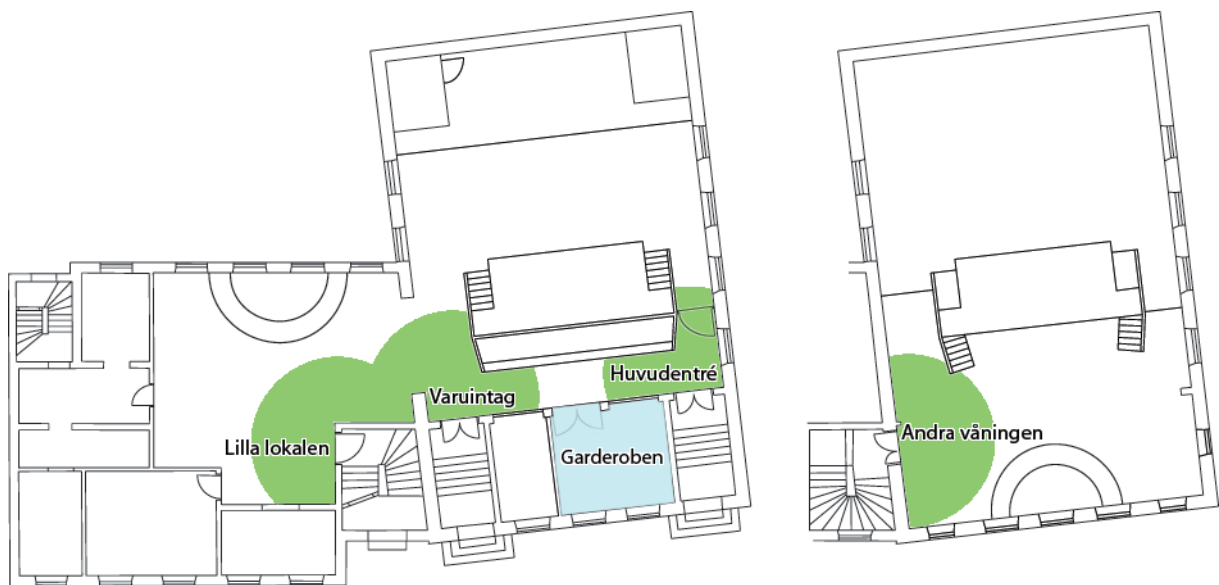
I Figur 7.4 presenteras temperaturen på första våningen två meter över golvet. Endast områden där temperaturen överstiger 80 °C visas.



Figur 7.4: Temperaturen efter 70, 180 samt 270 sekunder två meter över golvet på första våningen. Endast temperaturer över 80 °C visas.

Efter drygt en minut börjar temperaturen stiga över 80 °C i området utanför garderoben. Tre minuter in i förloppet sker detta även för lilla lokalen, och efter fyra och en halv minut är temperaturen vid samtliga nödutgångar på första våningen över 80 °C.

Slice files analyseras för att undersöka när respektive nödutgång inte längre går att nyttja. Områdena som analyseras förtydligas i Figur 7.5 nedan.



Figur 7.5. Områden där det vid utrymning förväntas uppstå kö.

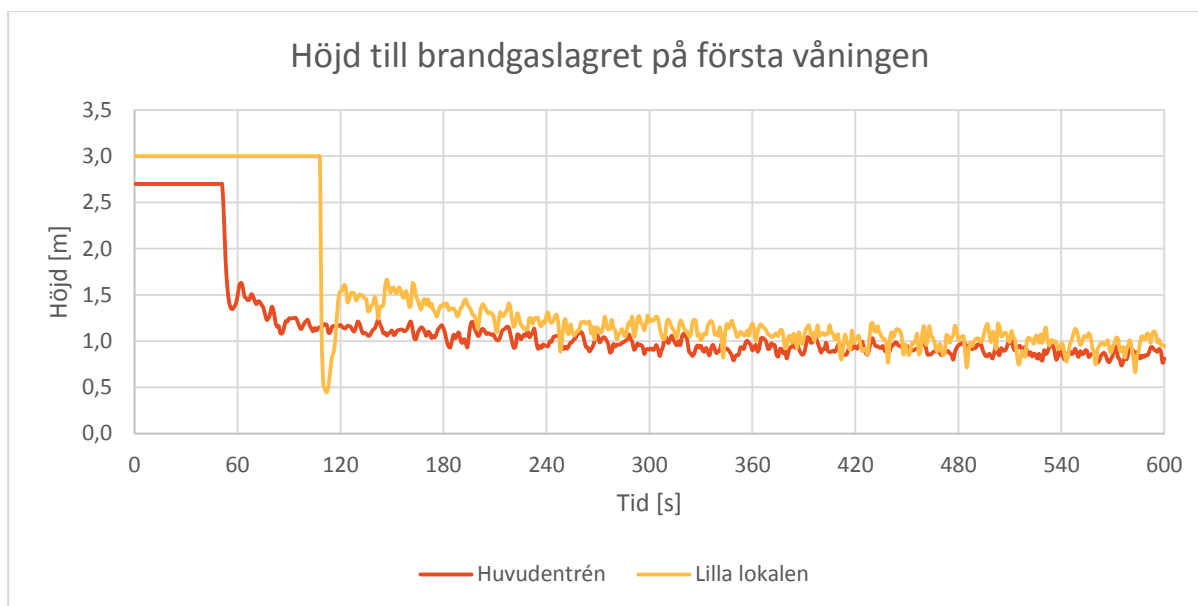
I Tabell 7.1 redovisas tiden till godtagbara nivåer överskrids för respektive nödutgångs kömråde.

Tabell 7.1. Tiden till godtagbara nivåer överskrids på två meters höjd vid analys av slice files. Tiden inom parentes anger när trapphus 3 rökfylles.

	Huvudentré	Varuintag	Lilla lokalen	Andra våningen
Sikt (5 m)	65 s	120 s	120 s	210 s (190 s)
Temperatur (80 °C)	90 s	90 s	390 s	-
CO (2000 ppm)	270 s	-	-	-
CO ₂ (5 %)	160 s	180 s	340 s	-
O ₂ (15 %)	160 s	230 s	400 s	-

I stort sett alla undersökta parametrar på första våningen överskrider godtagbara nivåer. Efter tre och en halv minut har sikten understigit fem meter vid samtliga nödutgångar. Godtagbara nivåer för siktförhållanden överskrids även i trapphuset på andra våningen efter 190 sekunder, vilket betyder att den nödutgången därefter inte kan nyttjas.

För varuintaget blir tiden då temperaturen överstiger 80 °C dimensionerande. För huvudentrén och lilla lokalen blir sikten icke godtagbar först, men då måste även höjden till brandgaslagret understiga 1,9 meter för att siktförhållandena ska anses icke godtagbara. Detta undersöks för huvudentrén och lilla lokalen, resultatet presenteras i Figur 7.6 nedan.



Figur 7.6. Höjden från golvet till brandgaslagret vid nödutgångarnas respektive kömråde på första våningen.

Brandgaslagret understiger 1,9 meter innan sikten understiger fem meter, vilket betyder att tiderna för sikten i Tabell 7.1 blir dimensionerande för huvudentrén och lilla lokalen.

I Tabell 7.2 presenteras de maximala värden för respektive parameter och kömråde som uppstår under brandförloppet på två meters höjd.

Tabell 7.2. Maximala värden som uppnås vid respektive nödutgångs kömråde för de undersökta parametrarna.

	Huvudentré	Varuintag	Lilla lokalen	Andra våningen
Sikt (5 m)	< 1 m	< 1 m	< 1 m	< 1 m
Temperatur (80 °C)	223 °C	233 °C	82 °C	49 °C
CO (2000 ppm)	3000 ppm	1800 ppm	1600 ppm	1200 ppm
CO ₂ (5 %)	13 %	9 %	8 %	5 %
O ₂ (15 %)	10 %	13 %	14 %	16 %

Vid samtliga nödutgångar understiger sikten en meter. Temperaturen blir mycket hög vid nödutgångarna i direkt anslutning till garderoben. Vid huvudentrén överskrider samtliga toxiska parametrar godtagbara nivåer. Nivåerna för koldioxid och syre överskrids även vid nödutgångarna i lilla lokalen och varuintaget. Vid nödutgången på andra våningen uppnår koldioxidkoncentrationen icke godtagbar nivå.

Värmestrålning undersöks inte då många andra parametrar överskrider godtagbara nivåer i ett tidigt skede av brandförloppet. Strålningen förväntas inte uppnå icke godtagbara nivåer tidigare än övriga parametrar.

7.3 Utrymningssimulering

Då två detektorer är placerade i taket i garderoben detekteras branden mycket snabbt. Varseblivningstiden antas till 30 sekunder vilket är konservativt i förhållande till resultat från simulering i FDS.

Merparten av besökarna förväntas inte se brand eller brandgaser tidigt i brandförloppet. Efter 70 sekunder börjar lilla lokalen rökfyllas och de besökare som befinner sig där förväntas bege sig bort

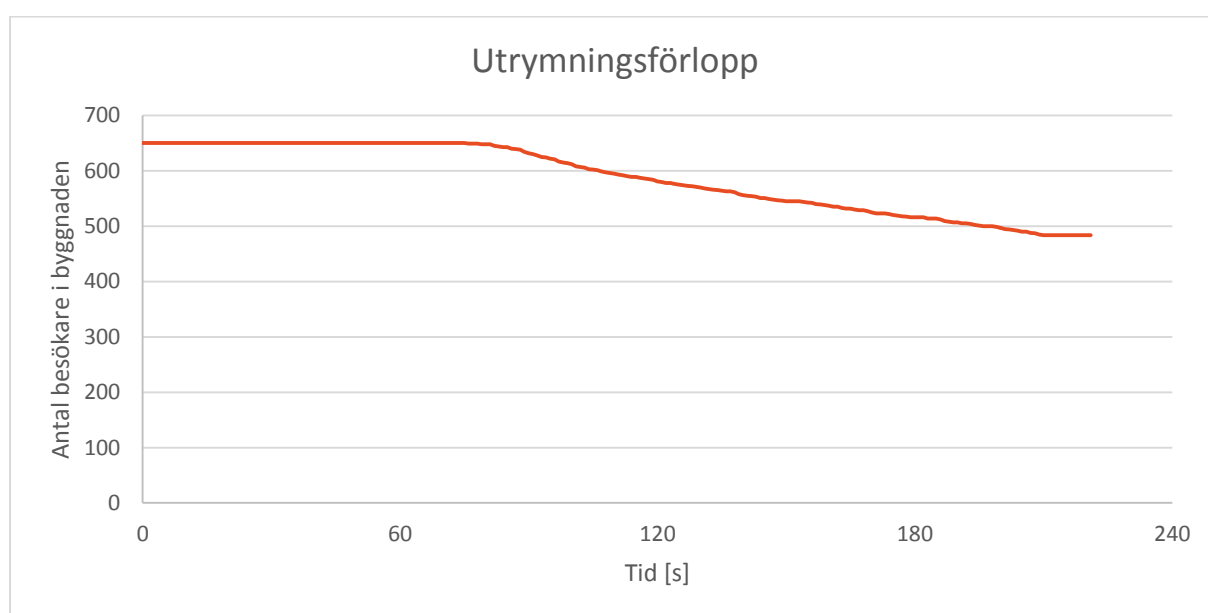
från brandgaserna eller utrymma enligt resonemang i kapitel 5 *Utrymning*. Efter 90 sekunder når brandgaserna stora lokalen och de besökare som befinner sig där förväntas börja utrymma byggnaden. I Tabell 7.3 nedan presenteras de fördelningar och tider som används för att simulera utrymningsförloppet i Pathfinder.

Tabell 7.3. Fördelning och tider för respektive utrymningsstadie.

Utrymningsstadie	Fördelning	Tid [s]	Kumulativ tid [s]
Varseblivning	-	30	30
Förberedelse (Lilla lokalen)	Uniform	40 - 55	70 - 85
Förberedelse (Stora lokalen)	Uniform	60 - 115	90 - 145

Förflyttningstiden simuleras för 650 besökare där merparten förväntas befinna sig i stora lokalen. Nödutgångarna stängs vartefter godtagbara nivåer överskrids enligt tider i Tabell 7.1.

Utrymningsförloppet simuleras med hjälp av Pathfinder och presenteras i Figur 7.7 nedan.



Figur 7.7. Visualisering av utrymningsförloppet med antal besökare i byggnaden som funktion av tid.

Totalt genomförs tio simuleringar och i genomsnitt hinner 476 besökare inte utrymma innan godtagbara nivåer överskridits vid samtliga nödutgångar. I de tio simuleringarna hinner mellan 467 och 484 besökare inte utrymma.

7.4 Riskvärdering

Då icke godtagbara nivåer uppnås vid samtliga nödutgångar innan alla besökare hunnit utrymma anses förutsättningarna för detta brandscenario inte utgöra ett tillräckligt brandskydd. Dock antas fönstren förbli intakta under hela brandförloppet vilket är konservativt. Detta analyseras och diskuteras vidare i avsnitten *Känslighetsanalys* och *Diskussion* nedan.

7.5 Känslighetsanalys

För att undersöka hur olika parametrar som inverkar på brand- och utrymningsförloppet påverkar resultatet genomförs känslighetsanalyser i FDS och Pathfinder.

FDS

Den tillväxthastighet som används i grundscenariot för garderobsbranden ligger mellan ”Fast” och ”Ultra fast” och anses vara konservativ. För att undersöka hur valet av tillväxthastighet påverkar brandförloppet utförs en simulering där tillväxthastigheten ändras till ”Medium”, vilket motsvarar $0,0117 \text{ kW/m}^2$ (Abrahamsson, 1997).

I garderoben finns två fönster som kan förväntas gå sönder vid en temperaturökning i rummet. Fönsterrutor kan spricka redan vid en temperaturskillnad på $40 \text{ }^\circ\text{C}$ (Nystedt, 2006), och grundscenariot visar att temperaturen ökar kraftigt i garderoben varför det är intressant att studera vidare. Rummets temperatur uppnår $90 \text{ }^\circ\text{C}$ på två meters höjd efter cirka 50 sekunder, vilket är en konservativ temperatur att anta att fönstren spricker vid. För att undersöka hur brandförloppet påverkas av att fönstren går sönder utförs en simulering där fönstren öppnas efter denna tid. I Argos undersöks vilken maximal effektutveckling branden kan nå när ventilationsförhållandena ändras, denna beräknas till 5 MW.

Känslighetsanalysen genomförs på samma sätt som för grundanalysen, där tid till icke godtagbara nivåer för respektive nödutgång analyseras i Smokeview. Dessa tider används sedan i Pathfinder för att avgöra när nödutgångar inte längre kan nyttjas. För detaljer kring indata för de nya simuleringarna i FDS, se bilaga C – FDS.

Resultatet från känslighetsanalyserna presenteras i Tabell 7.4 nedan.

Tabell 7.4. Antal besökare i byggnaden då icke godtagbara nivåer nåts vid samtliga nödutgångar, av totalt 650 personer.

	Antal besökare kvar i byggnaden
Grundanalys (2,5 MW)	476
Lägre tillväxt (2,5 MW)	279
Trasiga fönster (5 MW)	463

Inte i någon av analyserna hinner alla besökare utrymma innan icke godtagbara nivåer överskridits vid samtliga nödutgångar. I grundanalysen och simuleringen med trasigt fönster hinner ungefär 200 personer utrymma. Då tillväxthastigheten justeras till ”Medium” hinner ytterligare 200 besökare utrymma.

Hur temperaturen varierar vid respektive nödutgång beroende på de olika fallen undersöks och presenteras i Tabell 7.5 nedan. Temperaturen presenteras som ett medelvärde då den stabiliserats för respektive nödutgångs kömråde i de olika fallen.

Tabell 7.5. Medeltemperatur på två meters höjd då temperaturen stabiliserats för respektive nödutgångs kömråde i de olika fallen.

	Huvudentré	Varuintag	Lilla lokalen	Andra våningen
Grundanalys (2,5 MW)	$223 \text{ }^\circ\text{C}$	$233 \text{ }^\circ\text{C}$	$82 \text{ }^\circ\text{C}$	$49 \text{ }^\circ\text{C}$
Lägre tillväxt* (2,5 MW)	$163 \text{ }^\circ\text{C}$	$163 \text{ }^\circ\text{C}$	$61 \text{ }^\circ\text{C}$	$35 \text{ }^\circ\text{C}$
Trasiga fönster (5 MW)	$171 \text{ }^\circ\text{C}$	$160 \text{ }^\circ\text{C}$	$66 \text{ }^\circ\text{C}$	$37 \text{ }^\circ\text{C}$

*Simuleringen når inte konstanta förhållanden, temperaturerna som anges är uppmätta efter 600 sekunder.

Temperaturerna för analysen med den lägre tillväxthastigheten stabiliserar inte på en konstant nivå efter de 600 sekunder som simuleringen pågick. Analysen med de trasiga fönstren visar att temperaturerna vid samtliga nödutgångar blir lägre jämfört med grundanalysen.

Pathfinder

I grundsimuleringen följer gånghastigheten en normalfördelning med medelvärde 1,4 m/s. Då besökare eventuellt behöver gå hukade för att utrymma undersöks hur en lägre gånghastighet påverkar utrymningsförloppet. Även en högre gånghastighet simuleras. Resultatet presenteras i Tabell 7.6 nedan.

Tabell 7.6. Antal besökare som inte hinner utrymma innan godtagbara nivåer överskrids vid respektive nödutgång då olika gånghastigheter analyseras, av totalt 650 personer.

	Antal besökare kvar i byggnaden
Grundanalys (1,4 m/s)	476
Lägre gånghastighet (0,9 m/s)	509
Högre gånghastighet (1,9 m/s)	414

Trots att gånghastigheten minskas till 0,9 m/s ger detta en relativt liten förändring på antalet personer som hinner utrymma. Däremot om gånghastigheten ökas till 1,9 m/s blir skillnaden större, dock hinner långt ifrån alla besökare utrymma innan godtagbara nivåer överskrids.

Även hur tiderna för respektive utrymningsstadie påverkar utrymningsförloppet undersöks. I den första känslighetsanalysen undersöks hur många besökare som hinner utrymma om samtliga påbörjar förflyttning efter 60 sekunder. I den andra känslighetsanalysen genomförs simuleringar där samtliga besökare uniformt påbörjar förflyttning efter 210-330 sekunder enligt Boverkets rekommendationer. Resultatet presenteras i Tabell 7.7 nedan.

Tabell 7.7. Antal besökare som inte hinner utrymma innan godtagbara nivåer överskrids vid respektive nödutgång då tid innan förflyttning varieras, av totalt 650 personer.

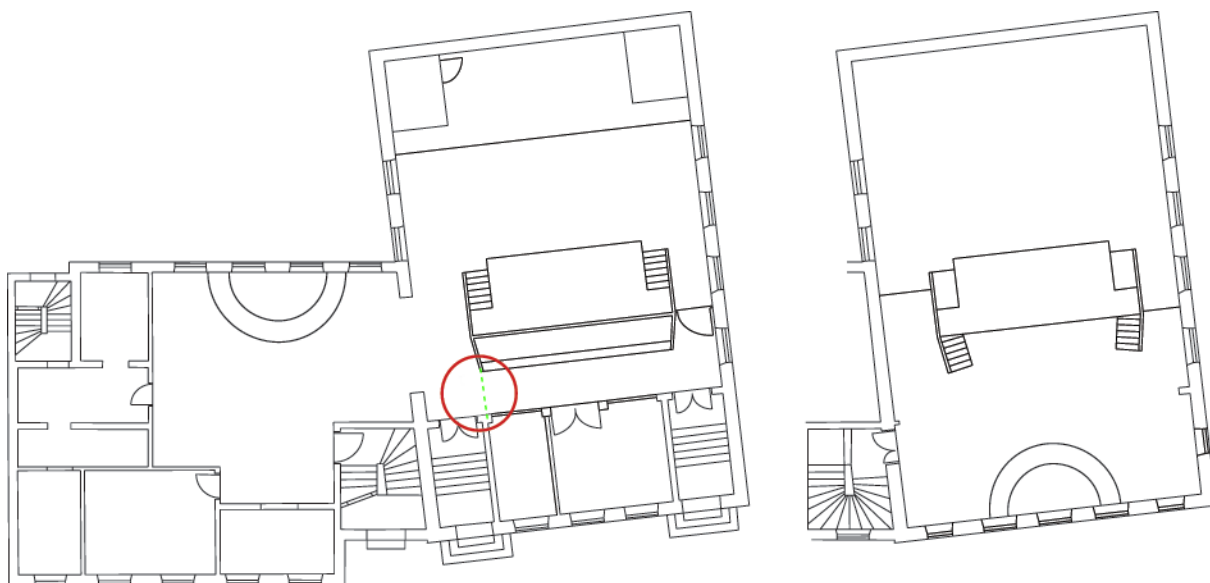
	Antal besökare kvar i byggnaden
Grundanalys (enligt tabell 3)	476
Förflyttning efter 60 s	425
Förflyttning efter 210-330 s (30 + 180-300 s)	650

Om värden från BBRAD (Boverket, 2013) används för varseblivnings- och förberedelsetid hinner ingen utrymma innan godtagbara nivåer överskrids vid samtliga nödutgångar. Även då samtliga besökare påbörjar förflyttning efter en minut hinner endast drygt 200 personer utrymma.

7.6 Förslag på åtgärder

Detta avsnitt syftar till att ge förslag på åtgärder specifika för den analys som genomförts ovan. Generella åtgärdsförslag samt sammanfattning av de scenariospecifika åtgärderna presenteras i kapitel 10 *Åtgärdsförslag*.

Garderoben är inte brandtekniskt avskild från övriga lokaler, vilket innebär att brandgaser enkelt kan sprida sig från detta utrymme. För att undvika detta rekommenderas att garderoben tillsammans med entrén avskiljs genom att placera en vägg i entrén, mellan garderoben och varuintaget, se Figur 7.8. Vägg och dörr bör utformas för att minimera brandgasspridning.



Figur 7.8. Åtgärdsförslag med placering av vägg.

Åtgärdsförslaget simuleras i FDS med endast huvudentrén, entrén och garderoben. Resultatet visar att efter 60 sekunder har godtagbara nivåer överskridits vid huvudentrén. De få personer som befinner sig i utrymmet förväntas hinna utrymma inom denna tid. Övriga nödutgångar förväntas inte bli påverkade av branden, varpå alla besökare hinner utrymma.

7.7 Diskussion

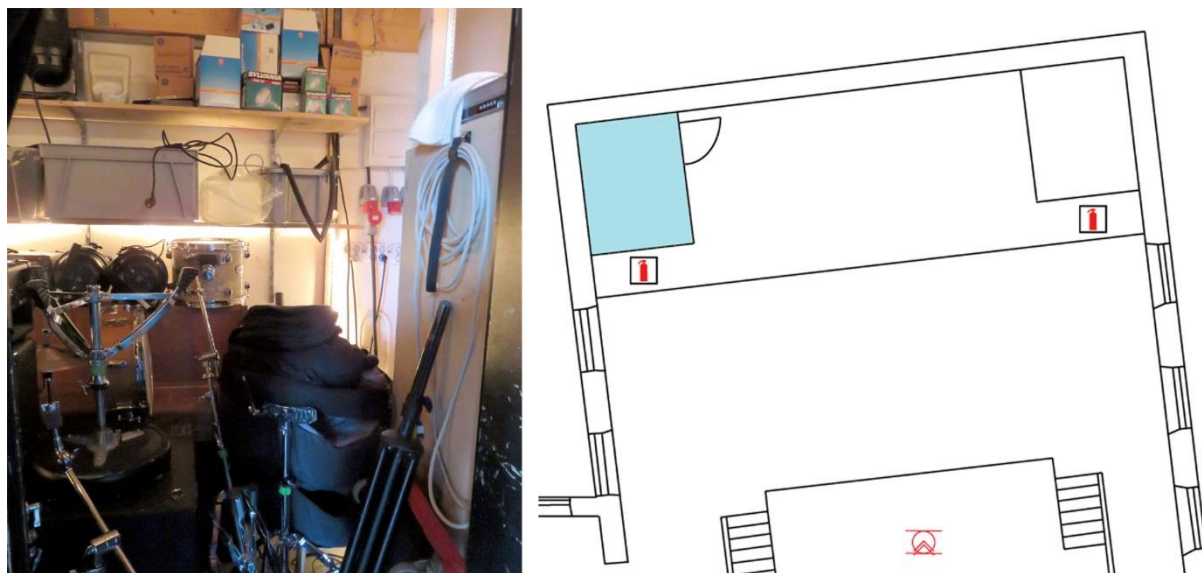
Godtagbara nivåer överskrids relativt fort vilket leder till att många besökare blir kvar i byggnaden. Analysen visar att förhållandena för de personer som befinner sig i byggnaden troligen är livshotande. Dessutom analyseras brandförloppet endast under tio minuter, men bränslemängden möjliggör att branden kan fortgå betydligt längre. Detta gör att ännu värre förhållanden kan komma att uppstå.

Även med en lägre tillväxthastighet blir förhållandena icke godtagbara långt innan samtliga besökare hunnit utrymma. Detta gör att det krävs en ordentlig åtgärd för att säker utrymning ska kunna ske. Begränsning av effektutvecklingen genom sprinklerinstallation hade varit en möjlig åtgärd, men anses inte rimligt då det är kostsamt och byggnaden inte är anpassad för detta.

Istället föreslås en byggnadsteknisk lösning som förhindrar brandgasspridning. Den föreslagna åtgärden att avskilja entrén med garderoben från övriga delar av byggnaden är en sådan lösning. Väggens placering bidrar till att övriga nödutgångar kan nyttjas under hela brandförloppet. Eventuellt läckage av brandgaser genom dörren till stora lokalen och föreslagna dörr anses inte påverka förhållandena i övriga delar och försummas därför i åtgärdsanalysen.

8 Scenario 2 – Brand i förråd på scen

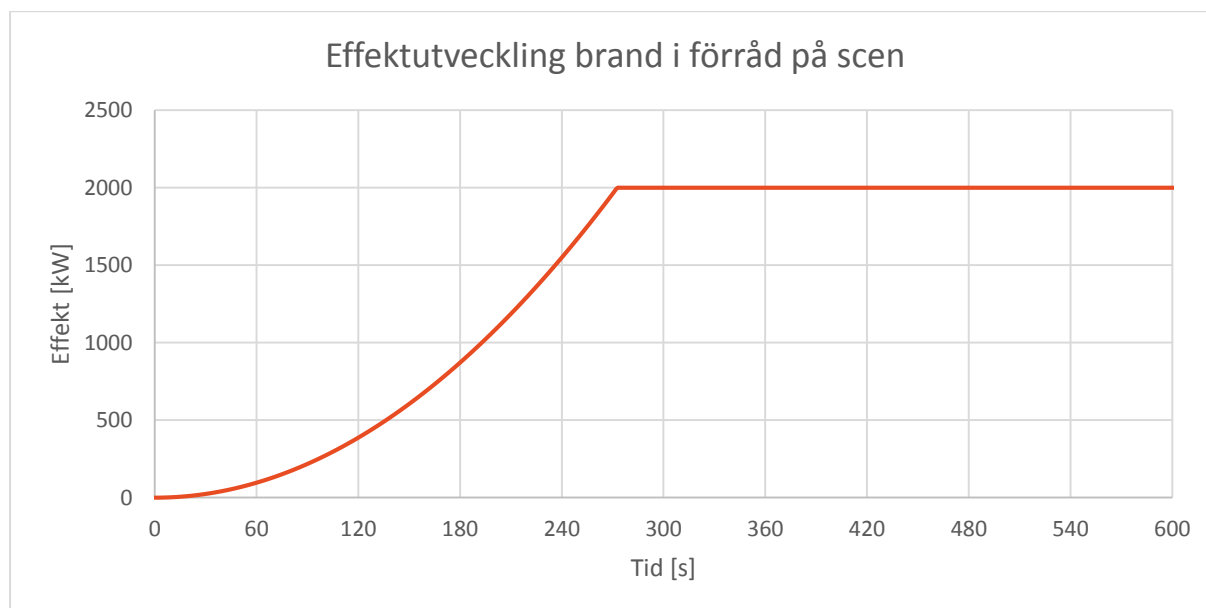
Förrådet är placerat till vänster på scen och används till förvaring av bland annat instrument och diverse utrustning, se Figur 8.1. I scenariot antas att förrådsdörren är öppen under hela brandförloppet. Det finns ingen detektor i utrymmet och när det bedrivs verksamhet är detektionen i den stora lokalen avstängd, med undantag för utrymmet under avsatsen i stora lokalen som alltid är detekterat.



Figur 8.1. Bild och ritning över förrådet på scenen med placering av handbrandsläckare på scenen och dold detektor i utrymmet under avsatsen i stora lokalen.

8.1 Dimensionerande brand

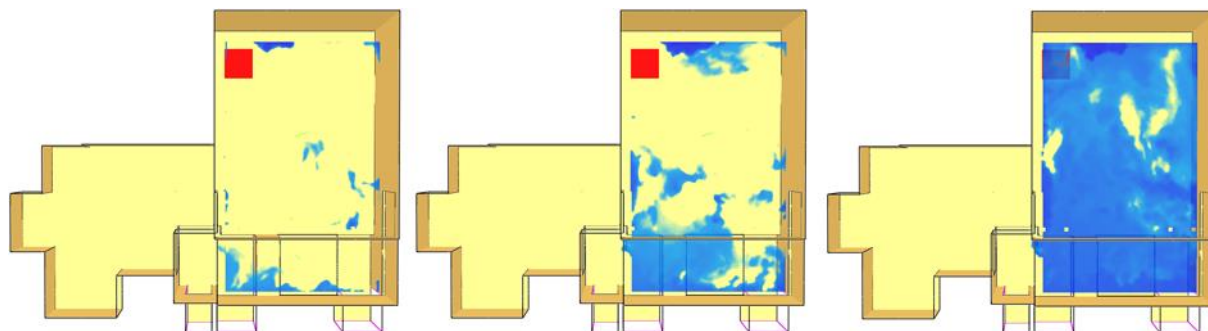
I Figur 8.2 presenteras effektutvecklingskurvan för branden i förrådet. För framtagning av effektutvecklingen se bilaga B – *Brandförlopp*. Tillväxthastigheten är mellan ”Medium” och ”Fast” och den maximala effekten på 2,0 MW uppnås efter cirka fyra och en halv minut. Branden är ventilationskontrollerad och antas förbli konstant under det simulerade brandförloppet.



Figur 8.2. Effektutveckling för scenbranden under förloppets inledande tio minuter. Förloppet varar i totalt 28 minuter med den fortsatta konstanta effekten 2000 kW.

8.2 Simulering av brand i förråd på scen

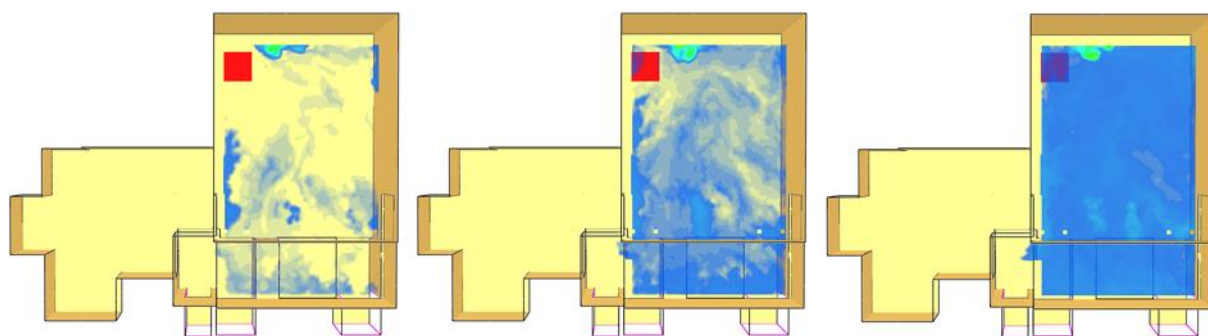
Med hjälp av FDS simuleras brandförloppet i förrådet, se bilaga C – FDS för detaljer. För att få en uppfattning om och när godtagbara nivåer överskrids i lokalerna studeras genererade *slice files*. Förhållandena för sikt, temperatur, kolmonoxid, koldioxid och syre studeras på två meters höjd under tio minuter och jämförs mot BBRADs gränsvärden som presenteras i kapitel 5 *Utrymning*. I Figur 8.3 presenteras siktförhållandena vid tre olika tidpunkter på andra våningen, de färgade områdena motsvarar sikt under fem meter.



Figur 8.3. Siktförhållanden efter 170, 180 samt 200 sekunder två meter över bjälklaget på andra våningen. Endast områden där sikten understiger fem meter presenteras.

Efter omkring tre minuter understiger sikten fem meter vid nödutgången på andra våningen. Efter ytterligare en halv minut har sikten understigit fem meter i hela lokalen på två meters höjd över bjälklaget mellan första och andra våningen. Inga *slice files* presenteras för första våningen då sikten där försämras först efter omkring fem minuter.

I Figur 8.4 presenteras temperaturen på andra våningen två meter över golvet. Endast områden där temperaturen överstiger 80 °C visas.



Figur 8.4. Temperaturen efter 270, 290 samt 320 sekunder två meter över bjälklaget på andra våningen. Endast temperaturer över 80 °C visas.

På två meters höjd över bjälklaget mellan första och andra våningen börjar temperaturen fluktuera kring 80 °C efter drygt fyra minuter. Efter omkring fem minuter har temperaturen överstigit 80 °C i hela lokalen på undersökt höjd. Inga *slice files* presenteras för första våningen då temperaturen där aldrig överstiger godtagbar nivå.

Slice files analyseras för att undersöka när respektive nödutgång inte längre går att nyttja. Områdena som analyseras förtydligas i Figur 8.5 nedan.



Figur 8.5. Områden där det vid utrymning förväntas uppstå kö.

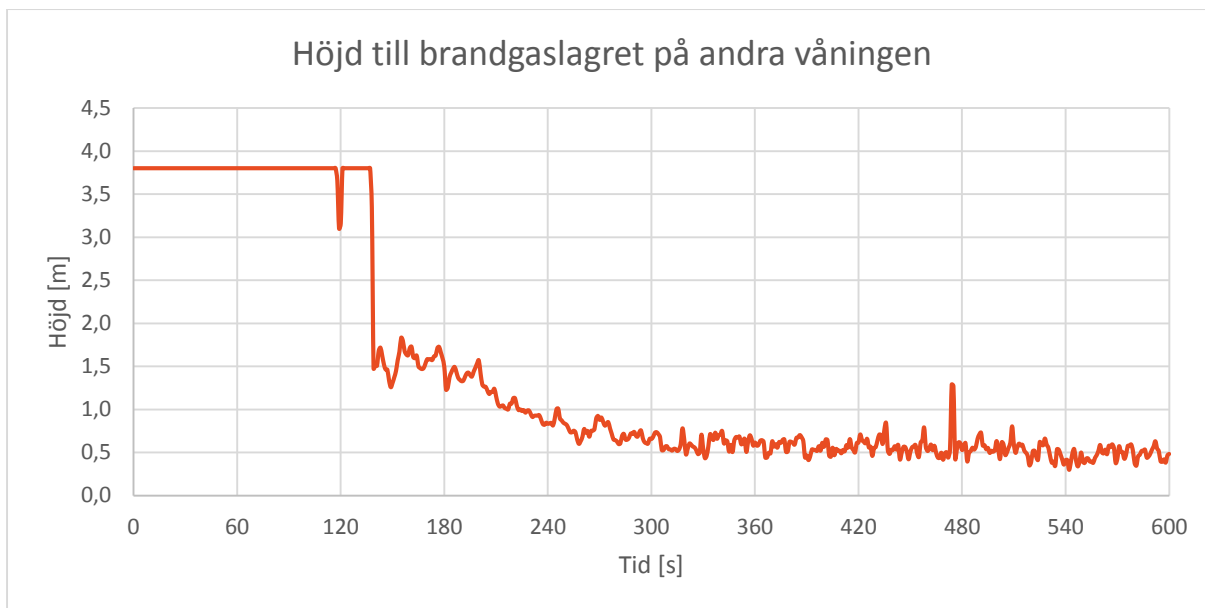
I Tabell 8.1 redovisas tiden till godtagbara nivåer överskrids för respektive nödutgångs kömråde.

Tabell 8.1. Tiden till godtagbara nivåer överskrids på två meters höjd vid analys av slice files, presenterade för respektive nödutgångs kömråde.

	Huvudentré	Varuintag	Lilla lokalen	Andra våningen
Sikt (5 m)	350 s	360 s	270 s	180 s
Temperatur (80 °C)	-	-	-	280 s
CO (2000 ppm)	-	-	-	600 s
CO ₂ (5 %)	-	-	-	580 s
O ₂ (15 %)	-	-	-	520 s

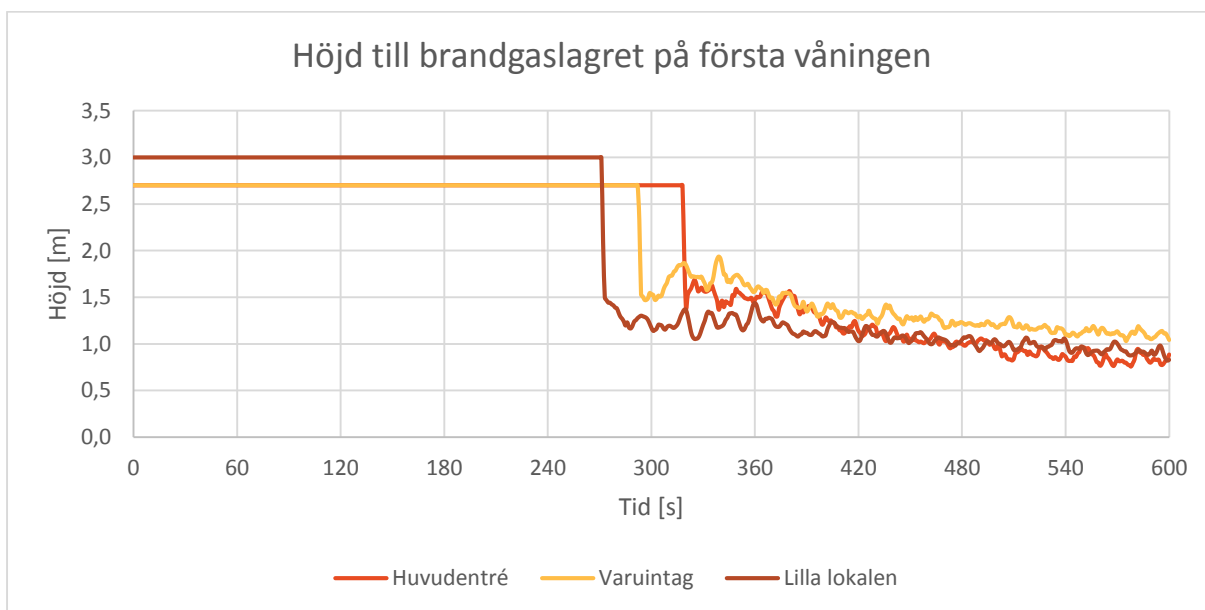
Vid samtliga nödutgångar understiger sikten fem meter. På andra våningen sker det efter tre minuter och på första våningen efter cirka fem till sex minuter. Vid nödutgången på andra våningen överskrider även alla de andra parametrarna godtagbara nivåer, detta sker dock efter att sikten understigit fem meter. I simuleringen förblir nödutgången på andra våningen öppen under hela brandförloppet vilket medför brandgasspridning till lilla lokalen via trapphuset.

För att siktförhållandena ska anses som icke godtagbara måste även höjden till brandgaslagret understiga 1,9 meter på första våningen och 2,0 meter på andra våningen, där takhöjden är högre. Detta undersöks för respektive kömrådet och resultatet presenteras i Figur 8.6 och Figur 8.7 nedan.



Figur 8.6. Brandgaslagrets höjd över bjälklaget mellan första och andra våningen vid nödutgång från andra våningen.

Efter ungefär två och en halv minut understiger brandgaslagret två meter och efter fem minuter har det stabiliserats en halv meter över golvet. Då sikten understiger fem meter i ett senare skede är det den tiden som blir dimensionerande, se Tabell 8.1 ovan.



Figur 8.7. Brandgaslagrets höjd över golvet på första våningen för respektive nödutgång.

Vid samtliga nödutgångar på första våningen understiger höjd till brandgaslagret 1,9 meter efter omkring fem minuter. För samtliga nödutgångar sker detta innan sikten understiger fem meter och tider i Tabell 8.1 blir därför dimensionerande.

I Tabell 8.2 presenteras de maximala värden som uppnås under brandförloppet för respektive nödutgång på två meters höjd.

Tabell 8.2. De maximala värden som uppstår på två meters höjd för respektive parameter och kömråde under brandförloppet.

	Huvudentré	Varuintag	Lilla lokalen	Andra våningen
Sikt (5 m)	<1 m	<1 m	<1 m	<1 m
Temperatur (80 °C)	43 °C	57 °C	68 °C	123 °C
CO (2000 ppm)	1200 ppm	1100 ppm	1500 ppm	2000 ppm
CO ₂ (5 %)	3,5 %	3,5 %	4,5 %	5 %
O ₂ (15 %)	17 %	17 %	16 %	14 %

Vid samtliga nödutgångar understiger sikten en meter. På första våningen blir förhållandena i lilla lokalen sämst, dock överskrids aldrig godtagbara nivåer förutom med avseende på sikt. På andra våningen överskrids alla parametrar men endast marginellt för de toxiska parametrarna.

Värmestrålning undersöks inte då strålningen inte förväntas överstiga godtagbara nivåer tidigare än sikten understiger fem meter.

8.3 Utrymningssimulering

Det finns ingen detektor i förrådet och i stora lokalen är detektionen avstängd under öppningstid. Varseblivningstiden kommer därför motsvaras av den tid det tar innan besökare uppfattar att något onormalt inträffat, eller tills personalen aktiverar utrymningslarmet manuellt. Brandförloppet studeras i Smokeview och varseblivningstiden ansätts till 60 sekunder.

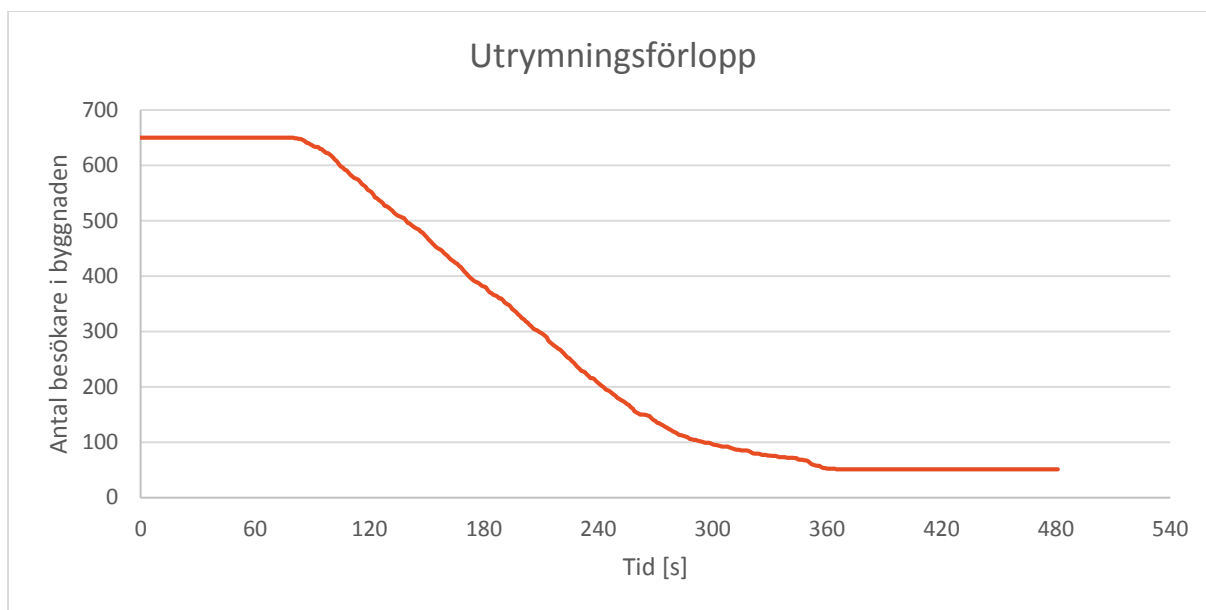
Då merparten av besökarna befinner sig i stora lokalen och förväntas se brand eller brandgaser förväntas förberedelse tiden bli mycket kort, enligt resonemang i kapitel 5 *Utrymning*. I Tabell 8.3 nedan presenteras de fördelningar och tider som används för att simulera utrymningsförloppet i Pathfinder.

Tabell 8.3. Fördelningar och tider för respektive utrymningsstadie.

Utrymningsstadie	Fördelning	Tid [s]	Kumulativ tid [s]
Varseblivning	-	60	60
Förberedelse (Lilla lokalen)	Uniform	20 - 40	80 - 100
Förberedelse (Stora lokalen)	Uniform	10 - 30	70 - 90

Förflyttningstiden simuleras för 650 besökare där merparten förväntas befinna sig i stora lokalen. Nödutgångarna stängs vartefter godtagbara nivåer överskrids enligt tider i Tabell 8.1.

Utrymningsförloppet simuleras med hjälp av Pathfinder och presenteras i Figur 8.8.



Figur 8.8. Visualisering av utrymningsförloppet med antal besökare i byggnaden som funktion av tid.

Utrymningsförloppet simuleras tio gånger och i genomsnitt hinner 45 besökare inte utrymma innan godtagbara nivåer överskridits vid samtliga nödutgångar. I de tio simuleringarna hinner mellan 36 och 70 besökare inte utrymma.

8.4 Riskvärdering

Då icke godtagbara nivåer uppnås vid samtliga nödutgångar innan alla besökare hunnit utrymma anses förutsättningarna för detta brandscenario inte utgöra ett tillräckligt brandskydd. Brandgasspridning till lilla lokalen via trapphuset anses inte trolig då nödutgången på andra våningen inte nyttjas efter att icke godtagbara nivåer uppstått där. Detta diskuteras mer ingående i *Diskussion* nedan.

8.5 Känslighetsanalys

För att undersöka hur olika parametrar som inverkar på brand- och utrymningsförloppet påverkar resultatet genomförs känslighetsanalyser.

FDS

Den tillväxthastighet som används i grundscenariot för scenbranden ligger mellan ”Medium” och ”Fast”. För att undersöka hur valet av tillväxthastighet påverkar brandförloppet utförs en simulering där tillväxthastigheten ändras till ”Slow”.

Känslighetsanalysen genomförs på samma sätt som för grundanalysen, där tid till icke godtagbara nivåer för respektive nödutgång analyseras i Smokeview. Dessa tider används sedan i Pathfinder för att avgöra när nödutgångar inte längre kan nyttjas. För detaljer kring indata för den nya simuleringen i FDS, se bilaga C – FDS.

Resultatet presenteras i Tabell 8.4 nedan.

Tabell 8.4. Antal besökare i byggnaden då icke godtagbara nivåer nåts vid samtliga nödutgångar.

	Antal besökare kvar i byggnaden
Grundanalys (Medium)	45
Lägre tillväxt (Slow)	0

För simuleringen med tillväxthastigheten ”Slow” hinner samtliga besökare utrymma innan godtagbara nivåer överskrids vid någon av nödutgångarna. Därför genomförs ingen analys av besökarnas möjlighet att förflytta sig mellan nödutgångar.

Vilka temperaturer som uppnås vid respektive nödutgång beroende på de olika fallen undersöks och presenteras i Tabell 8.5 nedan.

Tabell 8.5. Temperatur på två meters höjd för respektive nödutgångs kömråde i de olika fallen.

	Huvudentré	Varuintag	Lilla lokalen	Andra våningen
Grundanalys (Medium)	43 °C	57 °C	68 °C	123 °C
Lägre tillväxt (Slow)	25 °C	28 °C	35 °C	61 °C

Temperaturerna i tabellen visar att grundanalysen ger högre värden än en brand med en lägre tillväxthastighet. Den senare har inte nått 80 °C vid någon nödutgång, men har ännu inte stabiliserats efter tio minuter utan kan förväntas ge högre värden senare under brandförloppet.

Pathfinder

I grundsimuleringen följer gånghastigheten en normalfördelning med medelvärde 1,4 m/s. Då besökare eventuellt behöver gå hukade för att utrymma undersöks hur en lägre gånghastighet påverkar utrymningsförloppet. Även en högre gånghastighet simuleras. Resultatet presenteras i Tabell 8.6 nedan.

Tabell 8.6. Antal besökare som inte hinner utrymma innan godtagbara nivåer överskrids vid respektive nödutgång då olika gånghastigheter analyseras, av totalt 650 personer.

	Antal besökare kvar i byggnaden
Grundanalys (1,4 m/s)	45
Lägre gånghastighet (0,9 m/s)	103
Högre gånghastighet (1,9 m/s)	0

Då gånghastigheten minskas till 0,9 m/s blir ungefär dubbelt så många besökare kvar i byggnaden. Om däremot gånghastigheten ökas till 1,9 m/s hinner samtliga besökare utrymma innan godtagbara nivåer överskrids vid någon nödutgång.

Även hur tiderna för respektive utrymningsstadium påverkar utrymningsförloppet undersöks. I känslighetsanalysen genomförs simuleringar där samtliga besökare uniformt påbörjar förflyttning efter 210-330 sekunder enligt Boverkets rekommendationer. Resultatet presenteras i Tabell 8.7 nedan.

Tabell 8.7. Antal besökare som inte hinner utrymma innan godtagbara nivåer överskrids vid respektive nödutgång då tid innan förflyttning varierar, av totalt 650 personer.

	Antal besökare kvar i byggnaden
Grundanalys (tider enligt tabell 3)	45
Förflyttning efter 210-330 s (30 + 180-300 s)	416

Simulering med Boverkets rekommenderade tider leder till att betydligt fler besökare blir kvar i byggnaden.

8.6 Förslag på åtgärder

Detta avsnitt syftar till att ge förslag på specifika åtgärder för den analys som genomförts ovan. Generella förslag samt sammanfattning av de scenariospecifika åtgärderna presenteras i kapitel 10 *Åtgärdsförslag*.

Förrådet på scenen innehåller mycket brännbart material och dessutom finns starkström som kan utgöra en möjlig tändkälla. Det anses därför rimligt att även detta utrymme detekteras likt förrådsutrymmet under avsatsen mellan första och andra våningen i stora lokalen.

Simulering av brandförloppet visar att temperaturen överstiger 80 °C inom ett par minuter vid taket. Det borde därför vara möjligt att detektera brand i hela stora lokalen med värme som signatur. Detta i kombination med de rökdetektorer som finns installerade möjliggör en detektion utan risk för falsklarm på grund av rökmaskin. På så sätt skulle även detektion i stora lokalen vara möjlig då verksamhet bedrivs.

8.7 Diskussion

Siktförhållandena understiger godtagbara nivåer vid samtliga nödutgångar i grundanalysen. I analysen rökfylls trapphuset och lilla lokalen via nödutgången på andra våningen. Ett troligare scenario är att nödutgången inte står helt öppen efter att godtagbara nivåer överskridits där och inte längre nyttjas för utrymning. Det skulle troligen minska brandgasspridning till trapphuset och lilla lokalen, vilket skulle möjliggöra utrymning från lilla lokalen under längre tid.

Trots att sikten understiger fem meter och att utrymning därefter inte anses möjlig uppstår inte livshotande förhållanden för besökarna på första våningen. Troligtvis fortsätter besökarna utrymma även efter att sikten understigit fem meter, om än långsammare då de behöver huka sig eller krypa.

I utrymningssimuleringen råder det osäkerhet kring varseblivningstiden då den är uppskattad utifrån brandgasspridning i Smokeview och inte när en detektor hade aktiverat. I känslighetsanalysen med lägre tillväxthastighet är det ännu svårare att uppskatta varseblivningstiden då brandgaserna sprider sig långsammare. I detta fall hinner samtliga besökare utrymma innan godtagbara nivåer uppstår vid någon nödutgång, men i och med osäkerheterna kring varseblivningstiden råder det även osäkerhet kring resultatet.

Om förrådet är detekterat förkortas varseblivningstiden och möjligheten till tidig släckinsats ökar. En kortare varseblivningstid resulterar även i att fler personer hinner utrymma innan icke godtagbara förhållanden uppstår. I analysen antas förrådsdörren stå öppen men det är troligare att dörren är stängd när verksamhet bedrivs. Detta skulle leda till att godtagbara nivåer överskrids senare och i kombination med kortare varseblivningstid skulle troligtvis en säker utrymning kunna ske.

9 Scenario 3 – Brand i kök

Köket är placerat i anslutning till den lilla lokalen men är avskilt i egen brandcell, se Figur 9.1. I scenariot antas att dörren ut till lilla lokalen inte stängs automatiskt utan förblir öppen. Utanför köket finns en detektor och en handbrandsläckare placerad.



Figur 9.1. Bilder från köket och ritning över köksutrymmet med placering av detektor och handbrandsläckare utanför köket. Vid platsbesök fanns mycket brännbart material i direkt anslutning till ytor som kan vara heta.

9.1 Dimensionerande brand

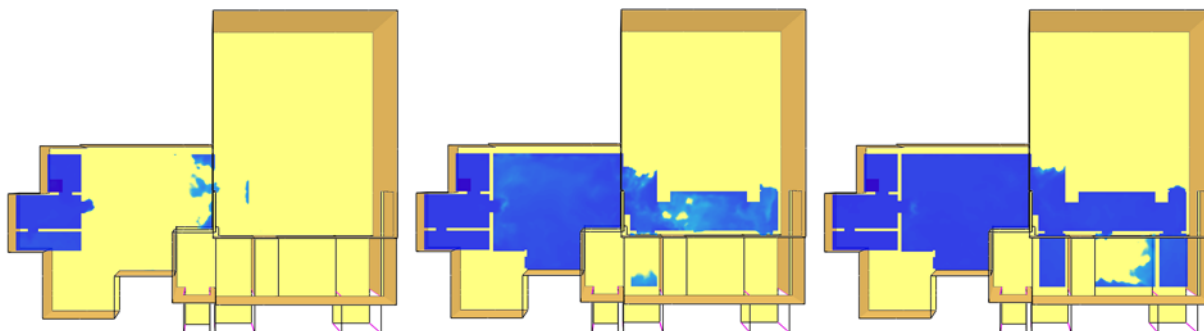
I Figur 9.2 presenteras effektutvecklingskurvan för branden i köket. För framtagning av effektutvecklingen se bilaga B – *Brandförlopp*. Tillväxthastigheten är ”Fast” och maximal effekt på 1,2 MW nås efter knappt tre minuter. Branden är bränslekontrollerad och effekten halveras efter drygt sex minuter.



Figur 9.2. Effektutveckling för köksbranden under förloppets inledande tio minuter.

9.2 Simulering av brand i kök

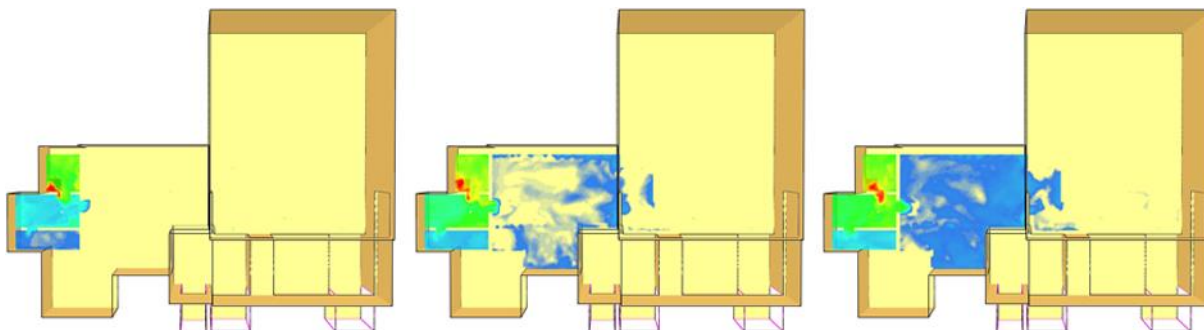
Med hjälp av FDS simuleras brandförloppet i köket, se bilaga C – FDS för detaljer kring indata. För att få en uppfattning om och när godtagbara nivåer överskrids i lokalerna studeras genererade *slice files*. Förhållandena för sikt, temperatur, kolmonoxid, koldioxid och syre studeras på två meters höjd under tio minuter och jämförs mot BBRADs gränsvärden som presenteras i kapitel 5 *Utrymning*. I Figur 9.3 presenteras siktförhållandena vid tre olika tidpunkter, de färgade områdena motsvarar sikt under fem meter.



Figur 9.3. Siktförhållanden efter 150, 180 samt 220 sekunder två meter över golvet på första våningen. Endast områden där sikten understiger fem meter presenteras.

Efter två och en halv minut börjar sikten understiga fem meter i lilla lokalen och efter ytterligare 30 sekunder är sikten under fem meter i hela den lilla lokalen. Efter knappt fyra minuter är sikten under fem meter i alla lokaler med takhöjd runt tre meter på första våningen.

I Figur 9.4 presenteras temperaturen på första våningen två meter över golvet. De färgade områdena motsvarar temperaturer över 80 °C.



Figur 9.4. Temperaturen efter 140, 240 samt 340 sekunder två meter över golvet på första våningen. Endast temperaturer över 80°C visas.

Efter två minuter börjar brandgaser att strömma ut från köksutrymmet. Fyra minuter in i förloppet fluktuerar temperaturen omkring 80 °C i stora delar av lilla lokalen och efter knappt sex minuter har temperaturen överstigit 80 °C i hela lilla lokalen.

Slice files analyseras för att undersöka när respektive nödutgång inte längre går att nyttja. Områdena som analyseras förtydligas i Figur 9.5 nedan.



Figur 9.5. Områden där kö förväntas uppstå vid utrymning.

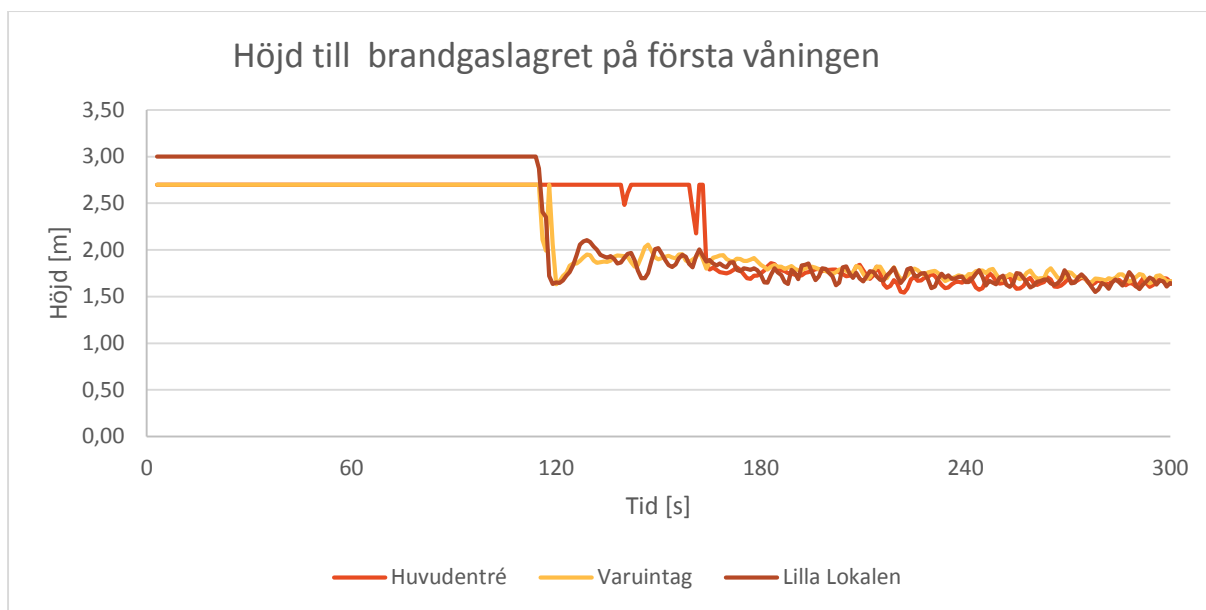
I Tabell 9.1 redovisas tiden till godtagbara nivåer överskrids för respektive nödutgångs köområde.

Tabell 9.1. Tiden till godtagbara nivåer överskrids på två meters höjd vid analys av slice files, presenterade för respektive nödutgångs köområde.

	Huvudentré	Varuintag	Lilla lokalen	Andra våningen
Sikt (5 m)	200 s	180 s	170 s	350 s
Temperatur (80 °C)	-	280 s	265 s	-
CO (2000 ppm)	-	-	-	-
CO ₂ (5 %)	-	-	-	-
O ₂ (15 %)	-	-	-	-

Vid samtliga nödutgångar blir sikten kritisk. Efter knappt tre minuter understiger sikten fem meter vid nödutgången från lilla lokalen. Inom fyra minuter är siktförhållandena icke godtagbara vid samtliga nödutgångar på första våningen. Efter sex minuter överskrids godtagbara nivåer för sikten vid nödutgången på andra våningen. Temperaturen överskrider godtagbara nivåer vid köområdet i lilla lokalen och varuintaget efter fyra till fem minuter.

För att siktförhållandena ska anses som icke godtagbara måste även höjden till brandgaslagret understiga 1,9 meter. Detta undersöks för respektive köområde på första våningen och resultatet presenteras i Figur 9.6.



Figur 9.6. Höjden från golvet till brandgaslagret vid respektive nödutgångs kömråde på första våningen.

Brandgaslagret stabiliseras på 1,7 meters höjd efter knappt tre minuter. Det sker innan sikten understiger fem meter, alltså blir tiderna i Tabell 9.1 ovan dimensionerande.

På andra våningen understiger höjden till brandgaslagret två meter innan sikten understiger fem meter och utrymning anses därför inte möjlig efter 350 sekunder.

I Tabell 9.2 presenteras de maximala värden för respektive parameter och kömråde som uppstår på två meters höjd under brandförloppet.

Tabell 9.2. De maximala värden som uppstår på två meters höjd för respektive parameter och kömråde under brandförloppet.

	Huvudentré	Varuintag	Lilla lokalen	Andra våningen
Sikt (5 m)	< 1 m	< 1 m	< 1 m	< 1 m
Temperatur (80 °C)	52 °C	89 °C	102 °C	32 °C
CO (2000 ppm)	300 ppm	300 ppm	400 ppm	150 ppm
CO ₂ (5 %)	2 %	2 %	3 %	< 1 %
O ₂ (15 %)	17 %	17 %	17 %	20 %

Vid samtliga nödutgångar understiger sikten en meter. Temperaturerna överskrider 80 °C vid varuintaget och lilla lokalen. Maximal temperatur som uppnås är omkring 100 °C. Ingen av de toxiska nivåerna överskrider.

Värmestrålning undersöks inte då branden är placerad så att inga besökare utsätts för strålning från flammor och brandgaserna inte når tillräckligt hög temperatur för att stråla på en icke godtagbar nivå.

9.3 Utrymningssimulering

Varseblivningstiden kommer i detta scenario motsvara detektionstiden för detektorn vilken simuleras i FDS. Då den är placerad i anslutning till köket detekteras branden mycket snabbt. Varseblivningstiden antas till 30 sekunder vilket är konservativt i förhållande till resultat från simulering.

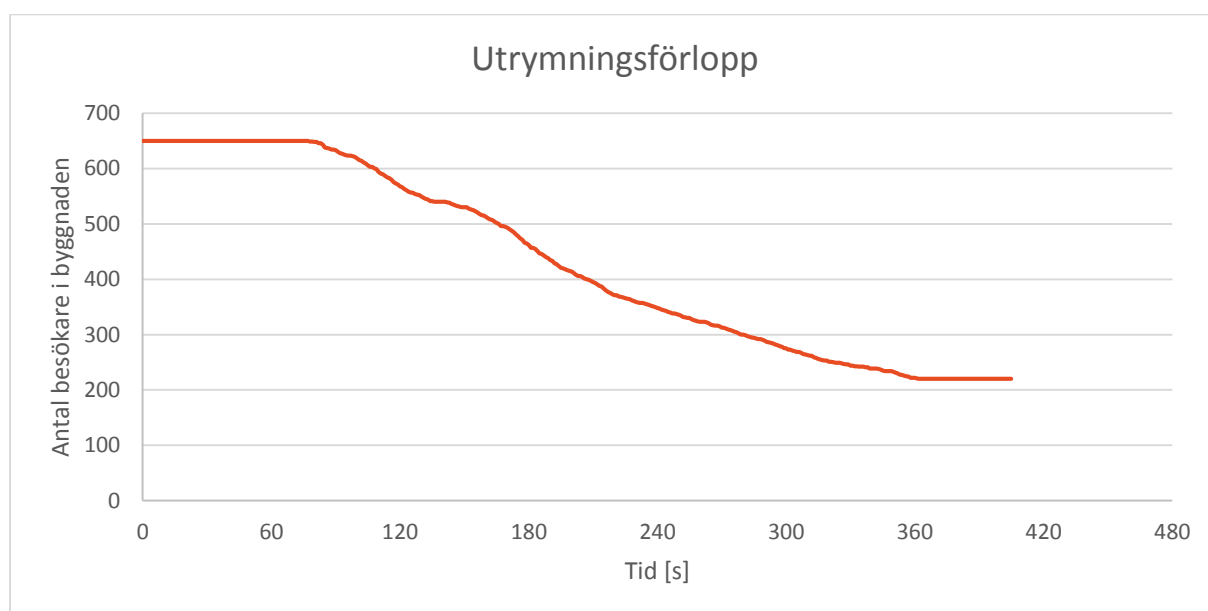
Merparten av besökarna förväntas inte se branden eller brandgaser tidigt i brandförloppet. Efter 70 sekunder börjar lilla lokalen rökfillas och de besökare som befinner sig där förväntas bege sig bort från brandgaserna eller utrymma enligt resonemang i kapitel 5 *Utrymning*. Efter 130 sekunder når brandgaser stora lokalen och de besökare som befinner sig där förväntas börja utrymma byggnaden. I Tabell 9.3 nedan presenteras de fördelningar och tider som används för att simulera varseblivnings- och förberedelsetiden i Pathfinder.

Tabell 9.3. Fördelning och tider för respektive utrymningsstadie.

Utrymningsstadie	Fördelning	Tid [s]	Kumulativ tid [s]
Varseblivning	-	30	30
Förberedelse (Lilla lokalen)	Uniform	40 – 85	70 – 115
Förberedelse (Stora lokalen)	Uniform	100 – 130	130 – 160

Förflyttningstiden simuleras för 650 besökare där merparten förväntas befinna sig i stora lokalen. Nödutgångarna stängs vartefter godtagbara nivåer överskrids enligt tider i Tabell 9.1.

Utrymningsförloppet simuleras med hjälp av Pathfinder och presenteras i Figur 9.7 nedan.



Figur 9.7. Visualisering av utrymningsförloppet med antal besökare i byggnaden som funktion av tid.

Utrymningsförloppet simuleras tio gånger och i genomsnitt hinner 218 besökare inte utrymma innan godtagbara nivåer överskridits vid samtliga nödutgångar. I de tio simuleringarna hinner mellan 195 och 226 besökare inte utrymma.

9.4 Riskvärdering

Då icke godtagbara nivåer uppnås vid samtliga nödutgångar innan alla besökare hunnit utrymma anses förutsättningarna för detta brandscenario inte utgöra ett tillräckligt brandskydd. Det anses dock konservativt att dörren till köket förblir helt öppen då den är utrustad med hållmagnet som aktiveras av brandlarmet. Dessutom är fönstret intakt under det simulerade brandförloppet vilket antas vara konservativt med avseende på brandgasspridning. Detta analyseras och diskuteras mer ingående i *Känslighetsanalys* och *Diskussion* nedan.

9.5 Känslighetsanalys

För att undersöka hur olika parametrar som inverkar på brand- och utrymningsförloppet påverkar resultatet genomförs känslighetsanalyser.

FDS

I grundsimuleringen antas fönsterrutorna förbli intakta. Detta anses inte troligt då fönsterrutor kan spricka redan vid en temperaturskillnad på 40 °C (Nystedt, 2006). Grundsimuleringen visar att temperaturen i köket ökar betydligt mer. Efter 60 sekunder är temperaturen i rummet i genomsnitt 90 °C på två meters höjd. Denna tid används för att simulera brandförloppet när fönsterrutorna spricker i FDS. När fönsterrutorna spricker ändras ventilationsförhållandena i rummet, vilket innebär att det finns förutsättningar för en brand att brinna med en högre effektutveckling men även att mer brandgaser kan ventileras ut ur byggnaden. Maxeffekten beräknas med hjälp av Argos till 3,3 MW, vilket används i simuleringen.

För att undersöka hur brandgasspridningen förändras då branden har en lägre effekt simuleras scenariot med en halverad effekt på 0,6 MW. Det är intressant eftersom brandgaserna då kommer ha en lägre temperatur och därmed en lägre termisk stigningskraft. Om brandgaserna inte stiger lika högt kan icke godtagbara förhållanden uppstå tidigare på lägre höjd.

Känslighetsanalysen genomförs på samma sätt som för grundanalysen, där tid till icke godtagbara nivåer för respektive nödutgång analyseras i Smokeview. Dessa tider används sedan i Pathfinder för att avgöra när nödutgångar inte längre kan nyttjas. För detaljer kring indata för de nya simuleringarna i FDS, se bilaga C – FDS.

Resultatet från känslighetsanalyserna presenteras i Tabell 9.4 nedan. I känslighetsanalyserna har ingen hänsyn tagits till att mängden bränsle är begränsad.

Tabell 9.4. Antal besökare i byggnaden då icke godtagbara nivåer uppnåtts vid samtliga nödutgångar, av totalt 650 personer.

	Antal besökare kvar i byggnaden
Grundanalys (1,2 MW)	218
Trasigt fönster (3,3 MW)	279
Halverad effekt (0,6 MW)	283

I båda känslighetsanalyserna hinner färre personer utrymma jämfört med grundanalysen. Trots att effekten halverades i den ena känslighetsanalysen uppstår i denna simulering icke godtagbara nivåer tidigare än i grundanalysen. Ungefär lika många besökare hinner utrymma vid en brand med fem gånger så hög effektutveckling då brandgaser till viss del ventileras genom fönstret i köket.

Hur temperaturen varierar vid respektive nödutgång beroende på brandens effektutveckling undersöks och de maximala värdena presenteras i Tabell 9.5 nedan. Temperaturerna är uppmätta i punkter på två meters höjd. De anses, efter att *slice files* studerats, vara representativa för hela köområdet.

Tabell 9.5. Medeltemperatur på två meters höjd då temperaturen stabiliserats för respektive nödutgångs köområde i de olika fallen.

	Huvudentré	Varuintag	Lilla lokalen	Andra våningen
Grundanalys (1,2 MW)	52 °C	89 °C	102 °C	32 °C
Trasigt fönster (3,3 MW)	74 °C	134 °C	150 °C	40 °C
Halverad effekt (0,6 MW)	31 °C	37 °C	42 °C	21 °C

I grundanalysen överskrids 80 °C vid varuintaget och lilla lokalen, men når maximalt upp till 89 °C respektive 102 °C. Känslighetsanalysen med trasigt fönster överskrider också godtagbar temperatur vid dessa utgångar. För analysen med halverad effektutveckling uppnås inte 80 °C vid någon av nödutgångarna.

Pathfinder

I grundsimuleringen följer gånghastigheten en normalfördelning med medelvärde 1,4 m/s. Då besökare eventuellt behöver gå hukade för att utrymma undersöks hur en lägre gånghastighet påverkar utrymningsförloppet. Även en högre gånghastighet simuleras. Resultatet presenteras i Tabell 9.6 nedan.

Tabell 9.6. Antal besökare som inte hinner utrymma innan godtagbara nivåer överskrids vid respektive nödutgång då olika gånghastigheter analyseras, av totalt 650 personer.

	Antal besökare kvar i byggnaden
Grundanalys (1,4 m/s)	218
Lägre gånghastighet (0,9 m/s)	265
Högre gånghastighet (1,9 m/s)	105

Då gånghastigheten minskas till en konstant hastighet på 0,9 m/s blir resultatet att färre besökare hinner utrymma. Trots att gånghastigheten ökas till 1,9 m/s för samtliga besökare hinner inte alla utrymma innan godtagbara nivåer överskrids vid nödutgångarna.

Även hur tiderna för respektive utrymningsstadie påverkar utrymningsförloppet undersöks. I den första känslighetsanalysen undersöks hur många besökare som hinner utrymma om samtliga påbörjar förflyttning efter 60 sekunder. I den andra känslighetsanalysen genomförs simuleringar där samtliga besökare uniformt påbörjar förflyttning efter 210-330 sekunder enligt Boverkets rekommendationer. Resultatet presenteras i Tabell 9.7 nedan.

Tabell 9.7. Antal besökare som inte hinner utrymma innan godtagbara nivåer överskrids vid respektive nödutgång då tid innan förflyttning varierar, av totalt 650 personer.

	Antal besökare kvar i byggnaden
Grundanalys (enligt tabell 3)	218
Förflyttning efter 60 s	86
Förflyttning efter 210-330 s (30 + 180-300 s)	521

Även då utrymningsförloppet simuleras med en mycket kort tid innan förflyttning påbörjas hinner inte alla besökare utrymma. Då rekommenderade tider enligt BBRAD (Boverket, 2013) används hinner endast drygt 100 besökare utrymma innan godtagbara nivåer överskrids vid samtliga nödutgångar.

9.6 Förslag på åtgärder

Detta avsnitt syftar till att ge förslag på specifika åtgärder för den analys som genomförts ovan. Generella förslag samt sammanfattning av de scenariospecifika åtgärderna presenteras i kapitel 10 *Åtgärdsförslag*.

Köket är avskilt i en egen brandcell där dörren som ansluter till lilla lokalen i scenariot ovan antas förbli öppen. För att undvika att dörren blockeras rekommenderas att dörrrens svängradie markeras på golvet, detta för att förhindra att föremål placeras där. Hur detta efterlevs samt kontroll av magnetstängaren bör även ingå i det systematiska brandskyddsarbetet.

Enligt Stenfell (2016) används köket i mycket begränsad omfattning. Vid platsbesöket observerades mycket brännbart material vilket skulle kunna vara en följd av att köket till viss del även används som förvaringsutrymme. För att minska risken att brand uppstår bör brännbart material förvaras skilt från köksutrustning med heta ytor. Ett annat förslag är att installera en huvudströmbrytare till köksutrustning som sällan används.

9.7 Diskussion

Godtagbara nivåer för sikt överskrids vid samtliga nödutgångar i grundanalysen. Dock stabiliseras brandgaslagret på en relativt hög höjd och temperaturen uppnår som mest omkring 100 °C. Varken siktförhållandena eller uppnådd temperatur anses vara direkt livshotande. Då inte heller de toxiska parametrarna överskrider godtagbara nivåer borde utrymning kunna fortgå om än långsammare, då besökare behöver gå hukade eller krypa under brandgaslagret. Samma resonemang kan föras kring analysen med halverad effekt, där temperaturen knappt stiger över 40 °C.

Grundanalysen bygger på att dörren till köksutrymmet förblir öppen under hela brandförloppet. Dörren är försedd med dörrstängare som i de fall dörren inte är blockerad kommer aktivera och begränsa brandgasspridning till övriga lokaler. Det är ett konservativt antagande som bygger på att dörren ställts upp för att förenkla passage genom utrymmet. Personal har även möjlighet att stänga dörren manuellt.

Det antas även att fönstret inte går sönder, vilket är ett konservativt antagande för en så pass kraftig brand som ger upphov till stora temperaturökningar. Ett troligare händelseförlopp är att fönstret spricker vilket analyserades i en av känslighetsanalyserna. Resultatet visar att godtagbara nivåer överskrids ungefär samtidigt som i grundanalysen trots att effekten är nästan tre gånger så hög. Anledningen till detta är att mycket brandgaser ventileras ut ur byggnaden. Dock blir förhållandena i lokalerna sämre, framförallt med avseende på temperatur. Detta beror på att effekten blir högre till följd av att fönstret spricker. En bättre jämförelse hade kunnat göras mellan två ventilationskontrollerade bränder, vilket troligen hade visat att det trasiga fönstret gett bättre förhållanden.

Med hänsyn till dörrstängaren, möjlighet till tidig detektion och att fönstret troligtvis spricker anses händelseförloppet i grundanalysen mycket osannolikt. Det befintliga brandskyddet anses tillräckligt så länge funktionen kan säkerställas samt att det systematiska brandskyddsarbetet uppdateras och efterlevs.

10 Åtgärdsförslag

I detta kapitel presenteras de scenariospecifika och generella åtgärdsförslag som identifierats i analys och vid platsbesök.

10.1 Scenariospecifika åtgärder

Nedan summeras de scenariospecifika åtgärdsförslagen rangordnade i prioriteringsordning för respektive brandscenario. Ingående förklaring och motivering återfinns i de kapitel som behandlar respektive brandscenario.

Scenario 1 – Brand i garderob

- Uppföra en brandklassad avskiljning i entrén mellan stora garderoben och varuintaget.

Scenario 2 – Brand i förråd på scen

- Detektion av rök och värme i stora lokalen då verksamhet bedrivs.
- Installera detektor i förrådet.

Scenario 3 – Brand i kök

- Förvara brännbart material skilt från heta ytor.
- Markering av köksdörrens svängradie på golvet för att förhindra att föremål placeras framför den.
- Kontroll av hur ovanstående punkt efterlevs samt kontroll av dörrens magnetstängare bör ingå i det systematiska brandskyddsarbetet.
- Huvudströmbrytare till köksutrustning som sällan används.

10.2 Generella åtgärdsförslag

Vid platsbesöket kunde ett antal brister i det befintliga brandskyddet identifieras. Åtgärdsförslagen som följer nedan är generella och presenteras i den ordning de bör prioriteras.

Systematiskt brandskyddsarbete

För att upprätthålla ett skäligt brandskydd bör det systematiska brandskyddsarbetet ses över. Vid platsbesöken identifierades ett flertal lättåtgärdade brister, bland annat olämpligt placerade möbler och skymda vägledande markeringar, se Figur 10.1.



Figur 10.1. På bilden visas bord som blockerar nödutgången på andra våningen, draperier som skymmer vägledande markering i stora lokalen och utemöbler som försvårar utrymning genom varuintaget.

Forskning visar att dörrvaktens och personals agerande har stor inverkan på utrymningsförloppet (Nasr och Wall, 2012). Det anses därför viktigt att uppmärksamma anställa om detta och att regelbundet genomföra utrymningsövningar.

Nödutgången på andra våningen

I känslighetsanalys av tillgängliga nödutgångar framgår det att nödutgången på andra våningen har störst inverkan på den totala förflyttningstiden. Om denna nödutgång är blockerad ökar förflyttningstiden med cirka 80 %, se bilaga D – *Känslighetsanalys av utrymning*. Vid platsbesöket gick denna dörr inte att öppna med panikregel om dörren var låst. Det bör därför säkerställas att nödutgången alltid går att öppna med endast panikregel.

Möjlighet att öppna nödutgången mellan stora lokalen och entrén från båda håll

Dörren som sammanbinder stora lokalen med entrén går endast att öppna från stora lokalen. Denna dörr bedöms som mindre attraktiv som utrymningsväg då den är svår att upptäcka och den skylt som hänvisar till dörren i stora lokalen riskerar att skymmas av draperier. Därför bör det säkerställas att personal från entré och garderob samt vakter i huvudentré har möjlighet att öppna dörren från entrén och på så sätt se till att dörren används tidigt i utrymningsskedet.

Brandgasventilation

För att skapa bättre förutsättningar för utrymning genom trapphus 3 som förbinder första och andra våningen skulle rökluckor kunna installeras. Åtgärden analyseras aldrig genom simulering men risken med att trapphuset rökfylls minimeras.

Begränsa antalet besökare

En möjlig åtgärd för att förkorta utrymningstiden är att begränsa antalet besökare som får vistas i lokalerna. Om antalet besökare begränsas till 500 och 400 besökare minskar förflyttningstiden med cirka 20 % respektive 35 %, se bilaga D – *Känslighetsanalys av utrymning*. Resultatet bör ses som underlag till vidare diskussion snarare än dimensionerande antal, men åtgärden bör övervägas om inga andra vidtas.

10.3 Övervägda åtgärder

Nedan presenteras åtgärder som övervägts.

Utrymning via köksutrymmet

I bilaga D – *Känslighetsanalys av utrymning* presenteras den totala förflyttningstiden då även dörren till köksutrymmet nyttjas för utrymning. Resultatet visar att förflyttningstiden minskar med ungefär 10 %. Den förkortning av utrymningstiden som åtgärden leder till bör vägas mot kostnaden att utforma den till en fullgod utrymningsväg.

Bredare trappor kring avsats mellan första och andra våningen

Simulering av utrymning visar att besökare på avsatsen lämnar byggnaden sist. I bilaga D – *Känslighetsanalys av utrymning* presenteras resultatet av simulering med bredare trappor. Detta resulterar dock inte i att utrymningstiden förkortas.

Nödutgång från stora lokalen till innergården

En nödutgång direkt från dansgolvet till innergården resulterade i en relativt liten förändring på utrymningstiden då flödet begränsades av ovan nämnda avsats, se bilaga D – *Känslighetsanalys av utrymning*. En kombination av bredare trappor och en extra nödutgång ger dock en större påverkan på den totala utrymningstiden, totalt minskar förflyttningstiden med ungefär 25 %.

Sprinkler

Sprinklerinstallation är en möjlig åtgärd som skulle ha stor positiv inverkan på brandskyddet. Dock är det kostsamt att installera sprinkler i hela byggnaden, därför kan ett alternativ vara att endast installera sprinkler i den stora garderoben och i entrén. Då bör även garderoben tillsammans med entrén avskiljas i en egen brandcell.

11 Diskussion

Den dynamiska metod som används i rapporten, där nödutgångar stängs succesivt allt eftersom godtagbara nivåer överskrids, ger möjlighet att analysera hela utrymningsförloppet. Metoden bygger på ett tillvägagångssätt där varje nödutgång undersöks var för sig. Det förutsätts att då förhållandena överskrider godtagbara nivåer vid en nödutgång kan besökare förflytta sig och använda andra nödutgångar. I samtliga analyser överskrids godtagbara nivåer antingen vid inga eller vid alla nödutgångar innan besökarna hunnit utrymma. Därför anses detta tillvägagångssätt vara rimligt och ingen närmare analys av förhållandena mellan nödutgångarna krävs. Det antas att besökare utrymmer via närmsta nödutgång, ett troligare scenario är att personer i större utsträckning tar den väg de kom in igenom. Detta hade förmodligen resulterat i att färre personer hunnit utrymma.

Ett alternativt tillvägagångssätt är att då icke godtagbara nivåer uppstår någonstans i byggnaden där personer förväntas befinna sig anses utrymning inte längre möjlig. Denna metod skulle troligtvis resultera i att mycket färre personer hinner utrymma och leder inte till någon djupare analys av utrymningsförloppet.

Förberedelsetiden har i utrymningssimuleringarna tilldelats en uniform fördelning för att representera när besökarna uppfattar brandgasspridningen. Det är dock svårt att uppfatta hur fördelningen påverkar resultatet. Troligen beror det på det stora antalet besökare och den höga persontätheten i byggnaden. Det kan därför ifrågasättas om utrymningsmodellen är applicerbar på ett sådant utrymningsscenario. Tidsbegränsningar gör att modellen inte kan utvärderas utförligare och resultaten bör därför betraktas med viss osäkerhet. Dock anses inbördes jämförelser vid känslighetsanalys och åtgärdsförslag ge god uppfattning om dess påverkan.

I utrymningssimuleringarna antas det att besökarna beger sig mot närmsta nödutgång. I verkligheten kan det förväntas att besökarna i större utsträckning rör sig mot den dörr de kom in genom. Troligtvis vill personer utrymma nedåt i en byggnad, därför kan det förväntas att flertalet av de personer som befinner sig på avsatsen väljer att gå nedåt istället för uppåt. Dock bildas stora köer på grund av det höga personantalet även i utrymningssimuleringarna, vilket gör att skillnaderna i förflyttningstid sannolikt är små.

Även i simuleringarna av brandförloppet tas hänsyn till vilka nödutgångar som nyttjas. De dörrar som förmodas användas är öppna under hela brandförloppet. Antagandet om vilka dörrar som nyttjas gjordes innan simuleringen utfördes. För att få ett så rättvisande resultat som möjligt borde dörrarna öppnas och stängas succesivt i simuleringarna. Detta hade troligtvis gett andra ventilationsförhållanden och påverkat flödet av brandgaser i byggnaden.

I simuleringarna av brandförloppet har ingen hänsyn tagits till hinder i taket vilket hade skapat mer turbulens och luftinblandning. Resultatet från simuleringarna gällande höjd till brandgaslagret kan därmed inte betraktas som konservativt. Turbulensen bidrar till att brandgaslagret sjunker medan luftinblandningen medför bättre siktförhållanden. Hinder i taket hade troligen gett en bättre bild av verkligheten men det anses för omfattande att definiera dessa i FDS. Även den befintliga ventilationen hade påverkat brandgasspridningen men har inte tagits hänsyn till i rapporten.

I de flesta fall är det sikten som uppnår icke godtagbara nivåer först och därmed blir dimensionerande. Att mäta sikt i FDS går att göra på olika sätt, i rapporten uppskattas värdena för sikten utifrån *slice files*. Denna metod ger en helhetsbild över hur sikten varierar i rummet på en viss höjd, samt en bra indikation på hur snabbt sikten försämras. Problematiken med metoden är att den inte visar hur sikten varierar med avseende på vilket håll en person tittar åt. Den visar heller

inte hur sikten är om en person som befinner sig i ett område med bra sikt ser igenom ett område med lägre sikt. I denna rapport har en uppskattning gjorts genom att ange tiden till när sikten i stora delar av de definierade kömrådena understigit fem meter. På så sätt har ingen hänsyn behövts ta till variationen av olika siktförhållanden.

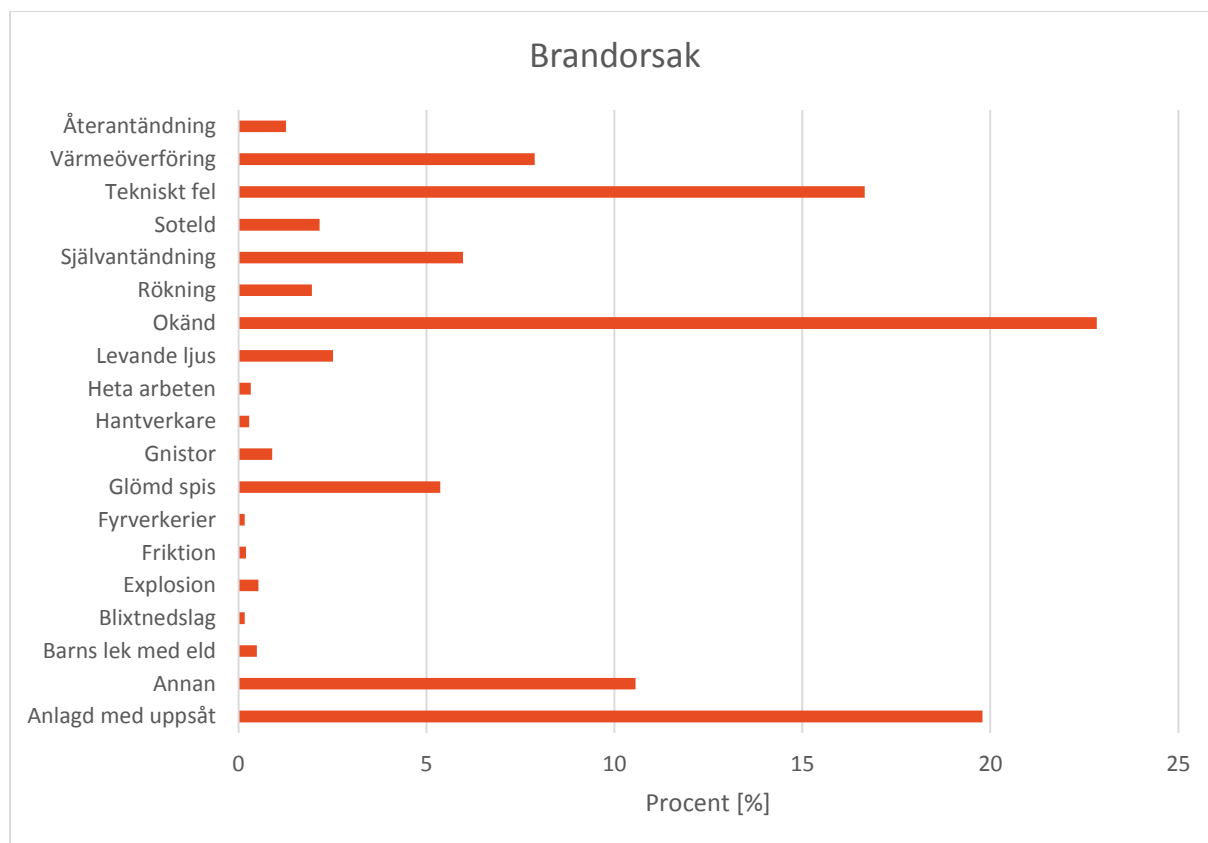
För att uppnå ett skäligt brandskydd på Babel måste åtgärder vidtas. Flera av de scenariospecifika åtgärder som presenteras i rapporten skulle även gynna utrymningsförloppet vid andra brandscenarier. Den enskilt viktigaste åtgärden anses vara den vägg som föreslagits avskilja entrén från övriga lokaler, då den har stor inverkan på brandgasspridningen i byggnaden. Även att möjliggöra detektion i alla lokaler under öppningstid och att se över det systematiska brandskyddsarbetet anses vara viktiga åtgärder som är relativt enkla att genomföra.

- Oleskow, T. (2016). *Ang. Alkoholtillstånd för nattklubben Babel på Spångatan*. [e-mail].
- Rinne, T., Tillander, K. and Grönberg, P. (2010). *Data collection and analysis of evacuation situations*. [Espoo]: VTT.
- Räddningstjänsten Syd, (2015). *Föreläggande - Diariennr: 1201.2014.04584*. Malmö: Räddningstjänsten Syd.
- SFS 2003:778. *Lag om skydd mot olyckor*.
- Stenfell, F. (den 15 februari, 2016). *Platsbesök Babel*.
- SVEBRA, (2015). *SVEBRA RIKTLINJER SV-RI 2015:1 – Val och placering av handbrandsläckare*. 5e uppl. [e-bok] Stockholm: SVEBRA. Tillgänglig via:
http://www.svebra.org/images/certifieringsdokument/SV-RI_2015_1_-_Val_och_placering_av_brandsl%C3%A4ckare.pdf [Hämtad 30 mars 2016].
- Särdqvist, S. (1993). *Initial Fires*. Lund: Department of Fire Safety Engineering.

A Bilaga - Statistik

Nedan presenteras den statistik som ligger till grund för riskidentifieringen i kapitel 6 *Riskidentifiering*. Statistiken är hämtad från MSB:s informationssystem IDA och gäller för åren 1998-2014 och kategorin ”Restaurang/danslokal”.

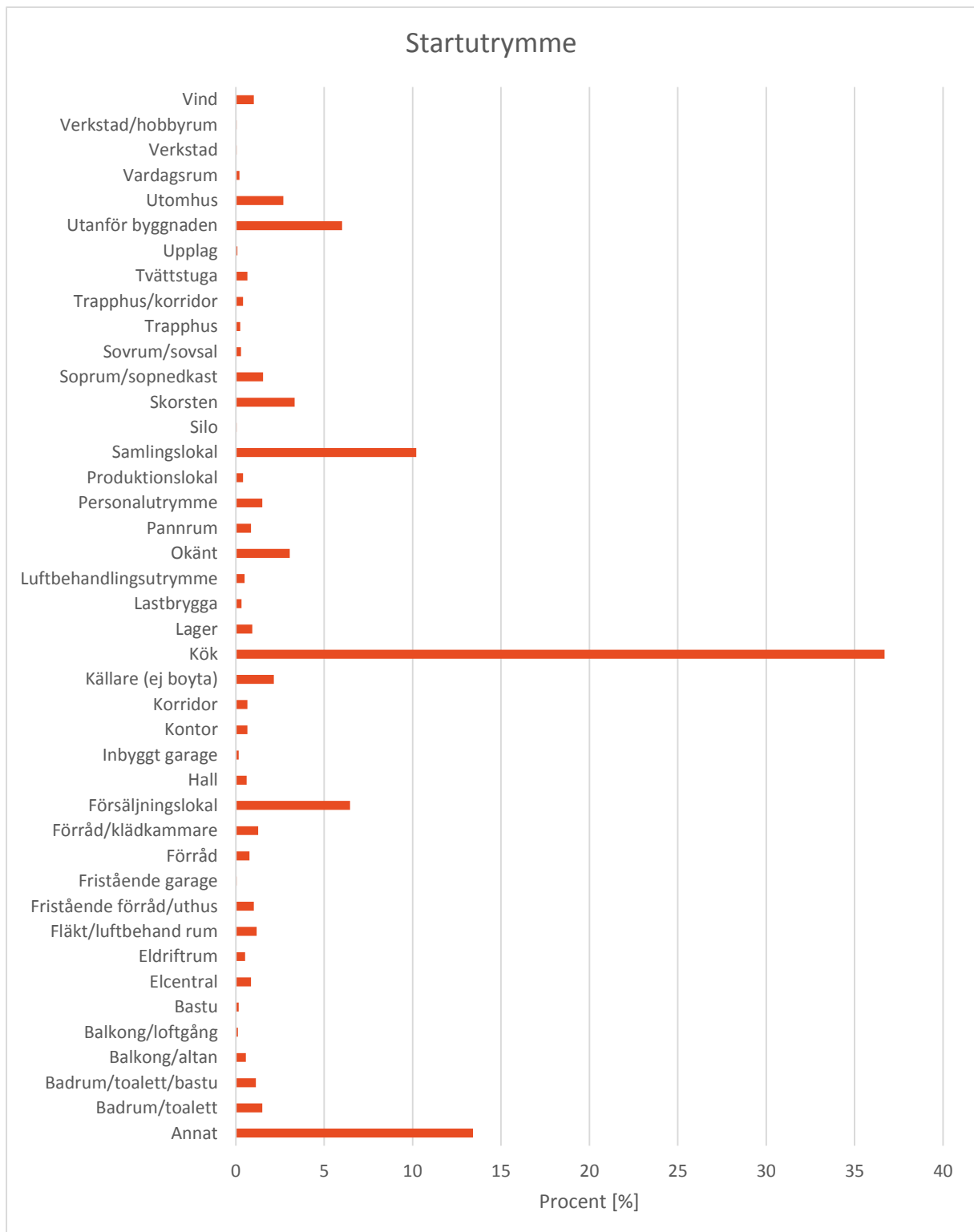
Figur A.1 visar fördelningen av brandorsak för kategorin ”Restaurang/danslokal”.



Figur A.1. Fördelning över brandorsak för ”Restaurang/danslokal” under åren 1998-2014. Hämtad från MSB:s databas IDA 2016-03-07.

Förutom ”Okänd” är ”Tekniskt fel” och ”Anlagd med uppsåt” de vanligaste brandorsakerna för denna typ av verksamhet.

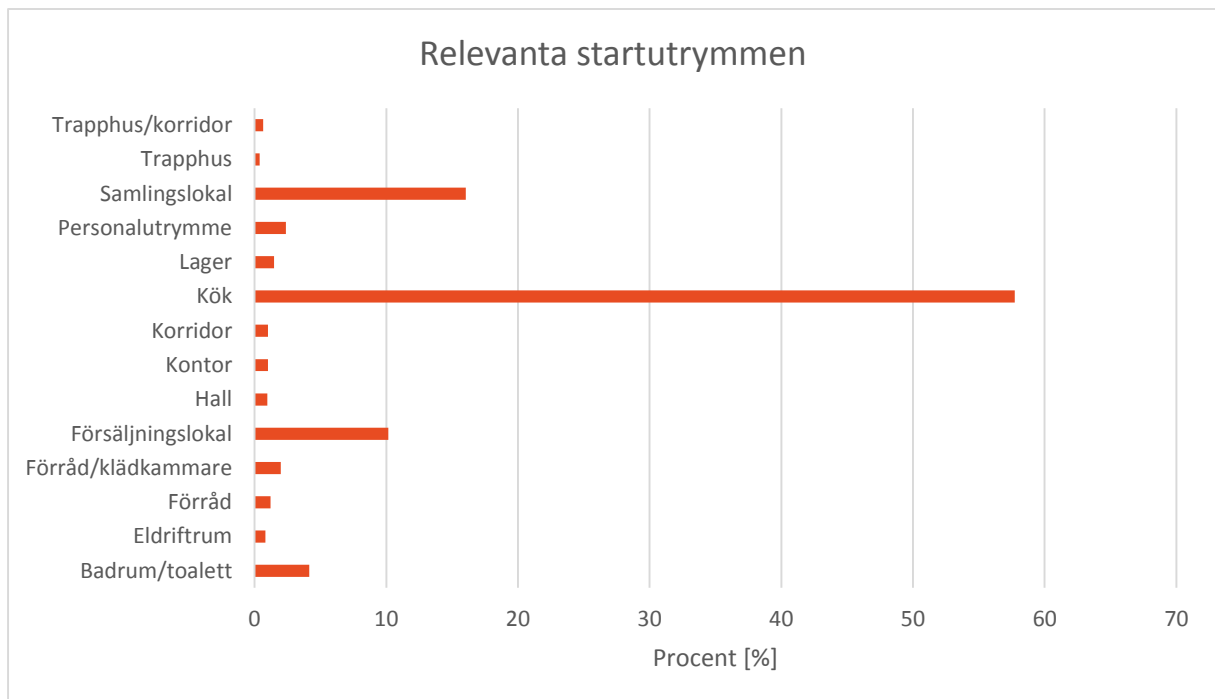
I Figur A.2 nedan redovisas statistik över fördelningen av var i byggnaden branden startat. Sammanlagt redovisas 42 kategorier.



Figur A.2. Fördelning över startutrymmen för bränder i "Restaurang/danslokal" under åren 1998-2014. Hämtad från MSB:s databas IDA 2016-03-07.

Ur figuren kan utläsas att "Kök" är det överlägset vanligaste startutrymmet. Bortsett från "Annat" är "Samlingslokal" den näst största kategorin som står för ungefär 10 % av fallen.

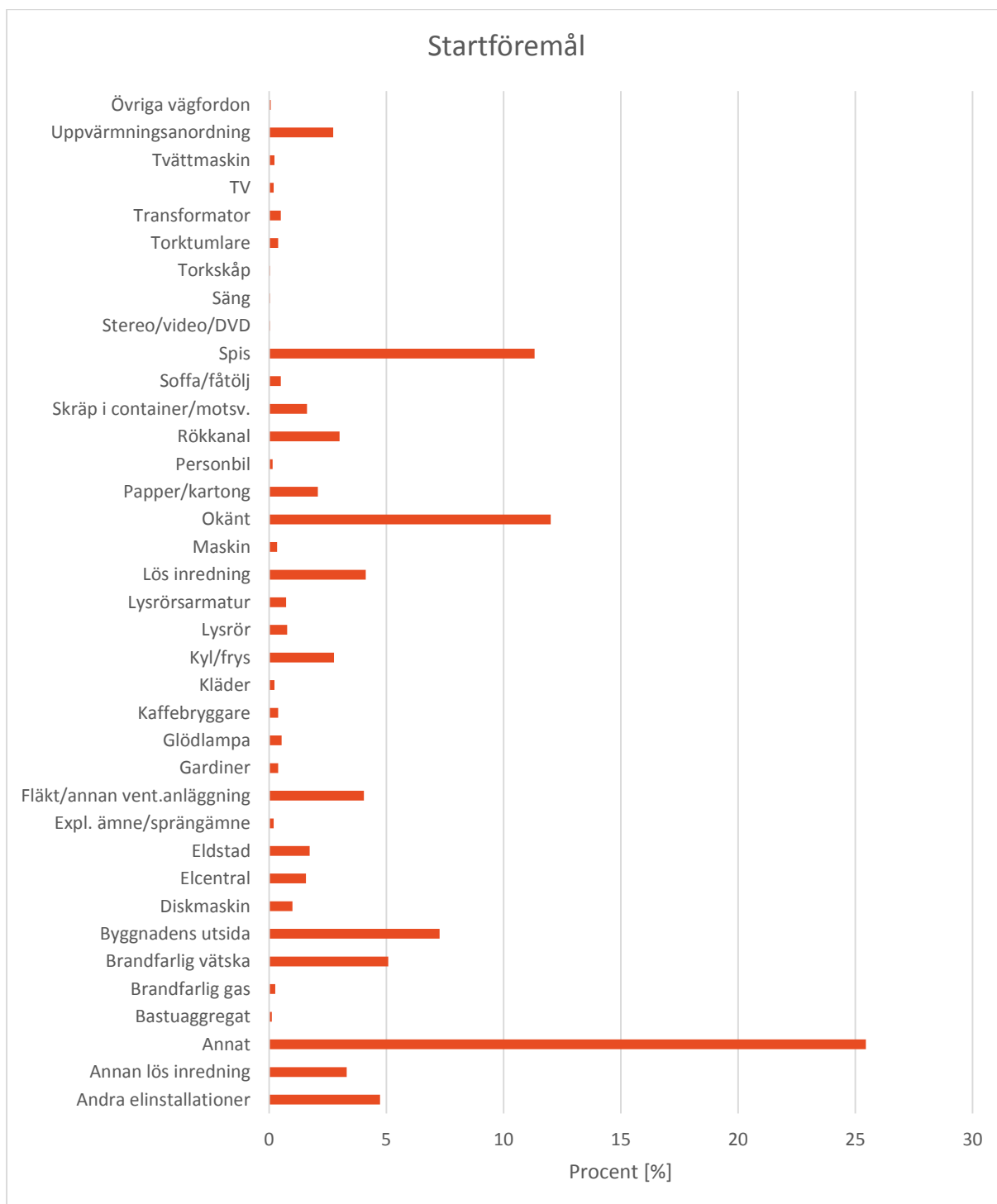
De startutrymmen som är intressanta redovisas i Figur A.3 där förhållandena mellan kategorierna redovisas inbördes. Detta för att enklare kunna studera förhållandet mellan kategorierna.



Figur A.3. Inbördes fördelning av startutrymmen som är intressanta för Babel. Statistiken är baserad på data från MSB:s databas IDA och är hämtad 2016-03-07.

”Kök” står för den största andelen, därefter följer ”Samlingslokal” och ”Försäljningslokal”. Tillsammans står dessa tre kategorier för cirka 85 %.

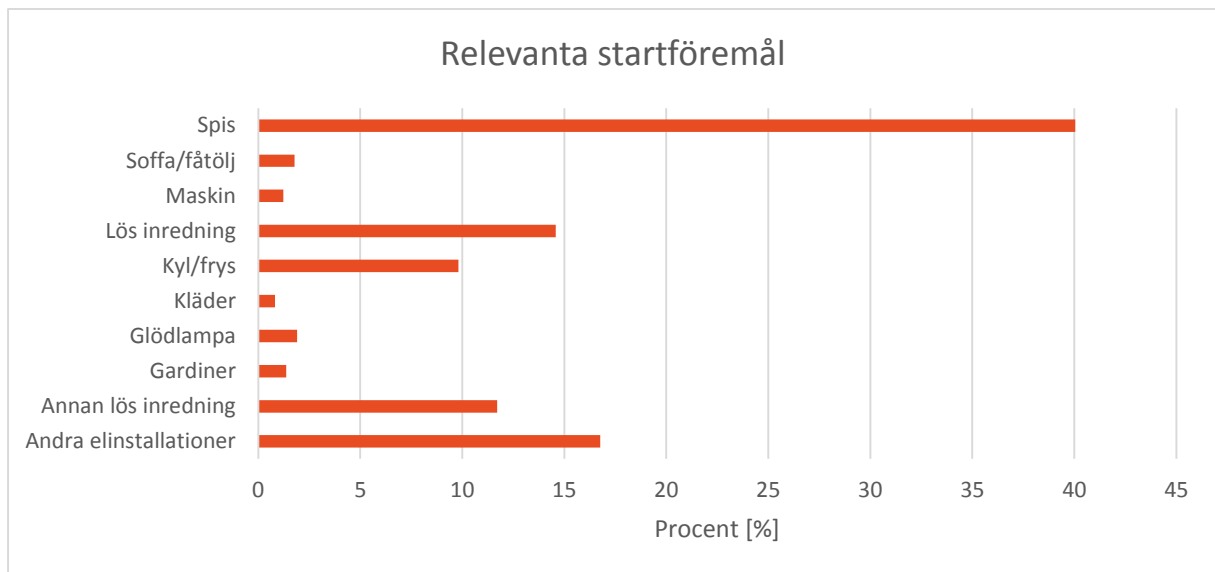
I Figur A.4 nedan redovisas fördelningen över startföremål. Sammanlagt redovisas 37 kategorier.



Figur A.4. Fördelning över startföremål för bränder i "Restaurang/danslokal" under åren 1998-2014. Hämtad från MSB:s databas IDA 2016-03-07.

Förutom "Annat" och "Okänt" är "Spis" det vanligaste startföremålet för bränder i denna typ verksamhet.

De startföremål som är intressanta för Babel sammanställs i Figur A.5 nedan. Fördelningen förhåller sig inbördes mellan startföremålen.



Figur A.5. Inbördes fördelning av startföremål som är intressanta för Babel. Statistiken är baserad på data från MSB:s databas IDA och är hämtad 2016-03-07.

Förutom "Kök" är "Lös inredning" och "Andra elinstallationer" vanliga startutrymmen.

B Bilaga - Brandförlopp

Denna bilaga syftar till att redogöra för beräkningar och litteratur som ligger till grund för de brandförlopp som väljs genom riskidentifieringen i kapitel 6 *Riskidentifiering*. Analys om huruvida bränderna blir ventilations- eller bränslekontrollerade har gjorts utifrån rummets geometri och öppningar. Litteratur och tidigare försök har studerats för att komma fram till det aktuella bränslets totala energinnehåll samt brandens tillväxthastighet. Formler som används till dessa beräkningar presenteras nedan. I alla brandscenarier antas branden följa en αt^2 -kurva.

Energihåll

För att beräkna hur mycket energi en viss mängd material innehåller används ekvation B.1 (Karlsson & Quintiere, 2000).

$$Q = m * \Delta H_c * \chi = m * \Delta H_{eff} [J] \quad \text{Ekvation B.1}$$

$$m = \text{massa [kg]}$$

$$\Delta H_c = \text{total förbränningsvärme [kJ/kg]}$$

$$\chi = \text{förbränningseffektivitet [-]}$$

$$\Delta H_{eff} = \text{effektiv förbränningsvärme [kJ/kg]}$$

Mängden energi som förbrukas under ett brandförlopp utgör arean under grafen i en effektutvecklingskurva. Resultatet beräknas genom integrering enligt ekvation B.2.

$$Q_{0-t} = \int_0^t \dot{Q} dt [kJ] \quad \text{Ekvation B.2}$$

$$t = \text{tid [s]}$$

$$\dot{Q} = \text{effektutveckling [kW]}$$

Tillväxthastighet

För att uppskatta brandens tillväxthastighet används ekvation B.3 (Karlsson and Quintiere, 2000).

$$\dot{Q} = \alpha t^2 [kW] \quad \text{Ekvation B.3}$$

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

$$t = \text{tid [s]}$$

B.1 Scenario 1 – Brand i garderob

Nedan presenteras hur tillväxthastighet och maximal brandeffekt tas fram för branden i garderoben.

Energiinnehåll

Stora garderoben på Babel antas i analysen innehålla 600 jackor. Förbränningsvärmets är 21 MJ/kg och tio jackor väger 7,5 kg (Johansson, 2004). Totala energiinnehållet beräknas med ekvation B.1.

$$Q = 7,5 \cdot 60 \cdot 21 \approx 9500 \text{ MJ}$$

Branden anses inte kontrolleras av mängden bränsle i garderoben, utan förväntas bli ventilationskontrollerad. Den maximala ventilationskontrollerade effektutvecklingen simuleras med hjälp av Argos.

Tillväxthastighet

För att bestämma en dimensionerande tillväxthastighet studeras litteratur och tidigare försök. Dessa summeras i Tabell B.1 nedan och ett medelvärde för vidare analys beräknas.

Under 2003 genomfördes ett fullskaleförsök vid LTH där 105 jackor eldades i en container på MSBs anläggning i Revinge. Genom att mäta massavbrining kunde en effektutveckling tas fram som presenterades i ett examensarbete av Johansson (2004). Med maximal effektutveckling och tiden tills den uppnås beräknades en tillväxthastighet enligt ekvation B.3, resultatet presenteras i Tabell B.1 nedan.

Tillväxthastigheten blev i försöket på Revinge väldigt hög, anledningen till detta beror antagligen på att försöket utfördes i en stålcontainer vilket ger en hög återstrålning. Antändning gjordes med en kraftig antändningskälla på mitten av klädställningen vilket ger brandspridning i flera riktningar, och således en snabb tillväxthastighet.

Det nationella forskningsrådet i Kanada publicerade 2005 en rapport utförd av Bwalya (2005) med syftet att ta fram dimensionerande bränder för kommersiella fastigheter. Bland annat gjordes ett försök med kläder på en klädhängare. Med de värden som anges i rapporten beräknas en tillväxthastighet med ekvation B.3, vilken presenteras i Tabell B.1

Abrahamsson (1997) publicerade en rapport i syfte att ge ett underlag för dimensionerande av bränder i samlingslokaler. Bland annat innehåller rapporten beräknade tillväxthastigheter för två försök i garderober med brand i kläder. Tillväxthastigheterna presenteras i Tabell B.1 nedan.

Tabell B.1. Sammanställning av tillväxthastighet för brand i jackor från studier av litteratur och försök, samt med beräkningar enligt ekvation B.3.

Referens	\dot{Q} [kW]	t [s]	α [kW/s ²]
Johansson (2004)	4000	90	0,494
Bwalya (2005)	1200	300	0,013
Abrahamsson (1997)	-	-	0,012 och 0,046

Värdena i tabellen ovan ger ett medelvärde för tillväxthastigheten, $\alpha = 0,141 \text{ kW/s}^2$, vilket är ungefär tre gånger större än vad Boverket (2013) rekommenderar som dimensionerande. Tillväxthastigheten påverkas i stor utsträckning av var branden startar, hur kraftig tändkällan är och hur möjligheterna för flamspridning ser ut. Värdet $0,141 \text{ kW/m}^2$ används för vidare analys men anses vara konservativt.

Maximal effektutveckling

Eftersom branden förmodas bli ventilationskontrollerad används Argos för att beräkna den maximala effekten, vilken blir 2,5 MW. För att beräkna tiden till maximal effektutveckling uppnås används ekvation B.3.

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{2500}{0,141}} \approx 130 \text{ s}$$

Branden når sin maximala effektutveckling efter ungefär 130 sekunder och därefter antas den vara konstant tills allt bränsle förbrukats. För att beräkna hur längre brandförloppet pågår används bränslets totala energiinnehåll. Mängden energi som förbrukas under tillväxtfasen beräknas med ekvation B.2.

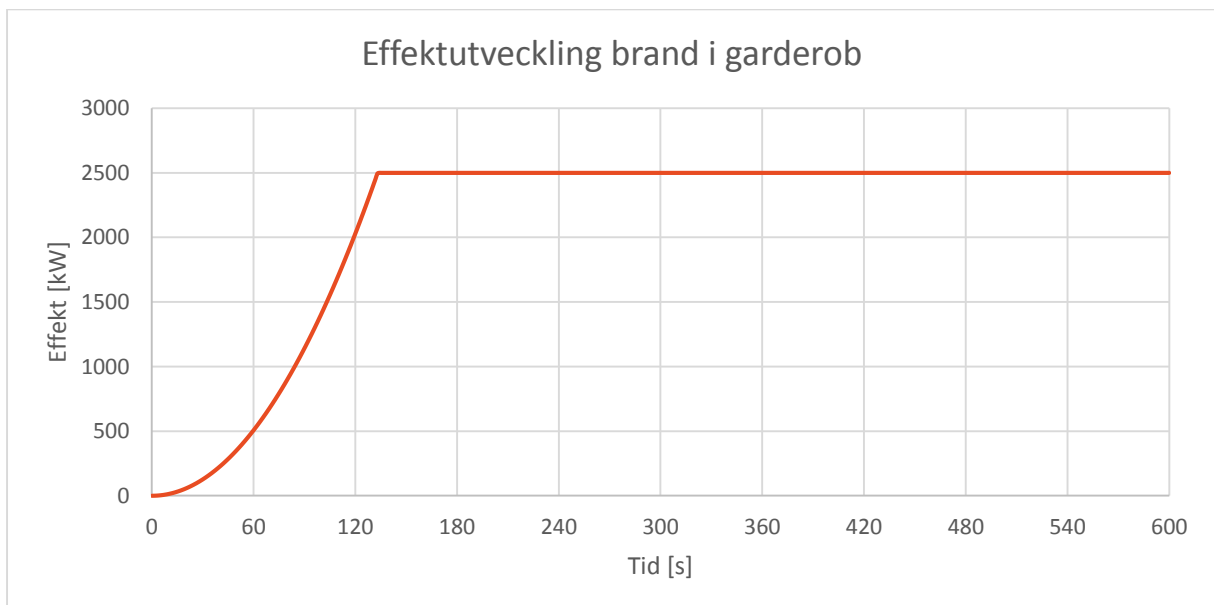
$$Q_{0-130} = \int_0^{130} \dot{Q} dt = \int_0^{130} \alpha t^2 dt = \alpha \left[\frac{t^3}{3} \right]_0^{130} = 0,141 \cdot \frac{130^3}{3} = 110 \text{ MJ}$$

Återstående mängd energi = 9500-110 = 9390 MJ

$$Q_{130-t} = 9390 \text{ MJ} = \dot{Q} \cdot t \rightarrow t = \frac{9390}{2,5} = 3760 \text{ s} \approx 60 \text{ min}$$

Brandförloppet varar i ungefär 60 minuter.

Figur B.1 visar brandförloppet under de första tio minuterna efter antändning. Under resterande förlopp antas effektutvecklingen vara konstant på 2500 kW.



Figur B.1. Effektutveckling för garderobsbranden under brandförloppets inledande tio minuter. Förloppet pågår i 60 minuter med den fortsatt konstanta effekten 2500 kW.

Rummets fönster kommer troligen att gå sönder under ett brandförlopp och således bidra till ytterligare ventilation och därmed en högre effekt. Det anses dock mer konservativt med avseende på utrymning att låta fönstren förbli intakta och på så sätt generera maximal brandgasspridning in i byggnaden.

B.2 Scenario 2 - Brand i förråd på scen

Nedan presenteras hur tillväxthastighet och maximal brandeffekt tas fram för branden i förrådet på scenen.

Energiinnehåll

Förrådet innehåller mycket brännbart material på en liten yta, bland annat kablar, trumset, plastbackar, vägghyllor och diverse annat. I Tabell B.2 sammanställs materialen, vilket ämne de består av, hur stor andel de uppskattas utgöra av bränslet samt ett värde på dess effektiva förbränningsvärme utifrån litteratur.

Tabell B.2. Sammanställning över bränslet i scenförrådet med värden på den effektiva förbränningsvärmen.

Material	Ämne	Andel	Effektiv förbränningsvärme [MJ/kg]
Kablar	PVC	50 kg (48 %)	41 (Särdqvist, 1993)
Plastbackar	Polypropylen	15 kg (14 %)	30,2* (Abrahamsson, Karlsson & Quintiere)
Trumset	Trä, hög densitet	20 kg (19 %)	12,4 (SFPE, 2016)
Vägghyllor	Trä	20 kg (19 %)	12,4 (SFPE, 2016)

*Värdet har reducerats med $\chi=0,7$.

För att beräkna bränslets totala energiinnehåll används ekvation B.1:

$$Q = 50 \cdot 41 + 15 \cdot 30,2 + 20 \cdot 12,4 + 20 \cdot 12,4 = 3000 \text{ MJ}$$

Energiinnehållet 3000 MJ är stort i förhållande till utrymmets storlek vilket gör att branden antas bli ventilationskontrollerad och därmed begränsas av dörröppningen och inte av mängden bränsle.

Tillväxthastighet

Tillväxthastigheten för kablarna i utrymmet baseras på värden från Särdqvist (1993). Försöket utfördes med kablar placerade i högar. Branden når maxeffekten 500 kW efter 900 sekunder vilket ger ett α -värde på $0,000617 \text{ kW/s}^2$ enligt ekvation B.3. Detta värde är endast 20 % av α -värdet för tillväxthastigheten "Slow". För att vara konservativa används värdet för "Slow" som ger $\alpha=0,0029 \text{ kW/s}^2$ (Abrahamsson, 1997).

Tillväxthastigheten för plastmaterial är enligt Abrahamsson (1997) "Fast", vilket motsvarar $\alpha=0,046 \text{ kW/s}^2$.

Tillväxthastigheten för trumsetet baseras på tillväxthastigheten för hårt trä. I SFPE-handboken (2002) har tester genomförts med en träbyrå vilken antas bestå av liknande trämaterial. I försöket når branden maximal effekt efter ca 400 sekunder, vilket är 1800 kW. Ekvation B.3 ger då ett α -värde på $0,0113 \text{ kW/s}^2$.

Tillväxthastigheten för vägghyllorna baseras på försök från Särdqvist (1993) med trämaterial. I detta försök är α -värdet $0,089 \text{ kW/s}^2$.

Maximal effektutveckling

Försöket med kablarna från Särdqvist (1993) utfördes med kablar placerade i högar med massan 17,5 kg. Den maximala effektutvecklingen uppgick då till 500 kW. I detta scenario finns 50 kg kablar vilket är cirka tre gånger så mycket och ger då en maximal effektutveckling på 1500 kW.

Plastmaterialet i förrådet antas bestå av polypropylen som enligt Abrahamsson (1997) har en effektutveckling per kvadratmeter golvyta på 7000 kW/m^2 . Detta värde gäller om materialet är staplat i fyra meter, vilket inte är fallet i detta scenario. Materialet är placerat bredvid varandra och

tar upp en yta på $2 \cdot 0,3 \cdot 0,3$ meter (längd*bredd*höjd). Ett viktat värde på effektutvecklingen blir då:

$$(7000/4) \cdot 0,3 \cdot 0,6 = 315 \text{ kW}$$

Trumsetets effektutveckling baseras på försök som presenteras i SFPE-handboken (2002) med en träbyrå. Trumsetet antas väga lika mycket som en byrå och approximeras därför därefter. Effektutvecklingen uppnår då 1800 kW som mest.

För att avgöra vägghyllornas effektutveckling används ett riktvärde på effektutvecklingen per kvadratmeter för liknande material, som är 150 kW/m^2 (Karlsson & Magnusson, 1987). Vägghyllorna inne i förrådet uppskattas uppta en area på $1,5 \text{ m}^2$ vilket ger den totala effekten 225 kW.

En sammanställning av värdena för tillväxthastigheten och den maximala effektutvecklingen för de olika materialen i förrådsutrymmet redovisas i Tabell B.3.

Tabell B.3. Sammanställning över tillväxthastigheten och den maximalt uppnådda effekten för materialen i förrådet på scen.

	Kablar	Plastbackar	Trumset	Vägghyllor	
Tillväxthastighet [kW/s ²]	0,0029	0,046	0,0113	0,089	Viktat medelvärde =0,0269
Maximal effekt [kW]	1500	315	1800	225	Total effekt =3840

Värdet för tillväxthastigheten viktas utifrån andelen av de olika materialen och ger $\alpha=0,0269 \text{ kW/s}^2$. Även den maximala effektutvecklingen för dessa material adderas till $\dot{Q}=3840 \text{ kW}$. Branden förmodas dock kontrolleras av ventilationsförhållandena i rummet, och därför används Argos för att beräkna den maximala effekten vilket ger resultatet 2,0 MW.

För att avgöra tiden till maximal effekt används ekvation B.3 för tillväxtfasen.

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{2000}{0,0269}} \approx 270 \text{ s}$$

Branden når sin maximala effektutveckling efter ungefär 270 sekunder och därefter antas den vara konstant till allt bränsle förbrukats. För att beräkna hur längre brandförloppet pågår används bränslets totala energiinnehåll. Mängden energi som förbrukas under tillväxtfasen beräknas med ekvation B.2.

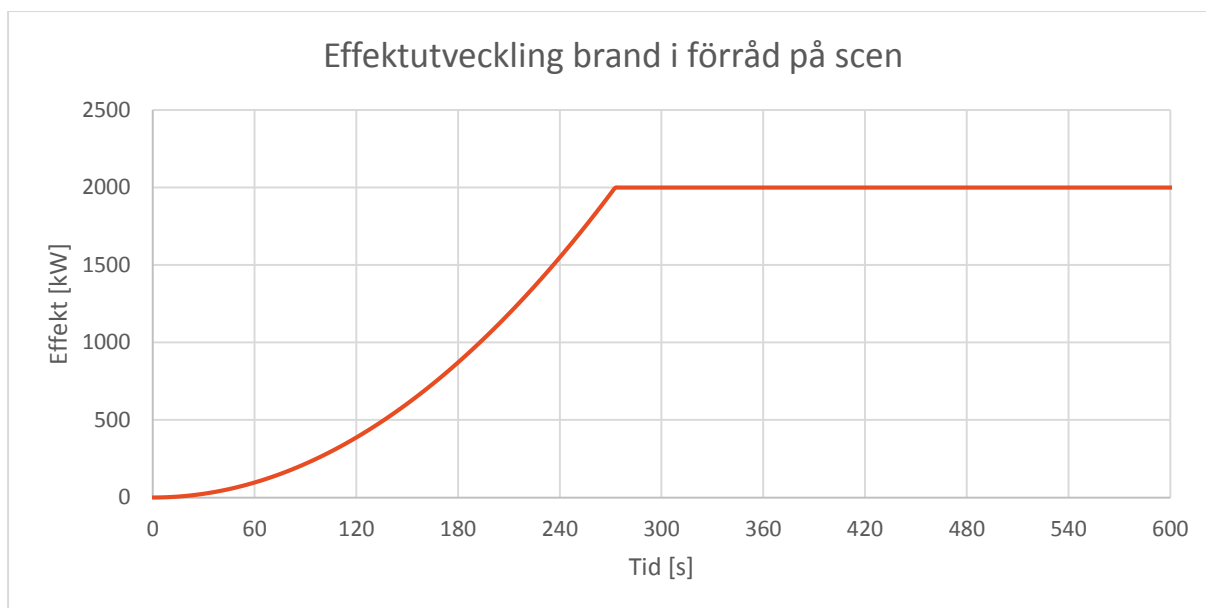
$$Q_{0-270} = \int_0^{270} \dot{Q} dt = \int_0^{270} \alpha t^2 = \alpha \left[\frac{t^3}{3} \right]_0^{270} = 0,0269 \cdot \frac{270^3}{3} = 177 \text{ MJ}$$

$$\text{Återstående mängd energi} = 3000 - 177 = 2823 \text{ MJ}$$

$$Q_{270-t} = 2758 \text{ MJ} = \dot{Q} \cdot t \rightarrow t = \frac{2823}{2} = 1412 \text{ s} \approx 23,5 \text{ min}$$

$$\text{Total tid} = 4,5 \text{ min} + 23,5 \text{ min} = 28 \text{ min}$$

Resultatet blir att 3000 MJ har förbrukats efter 28 minuter, varefter branden avtar. I Figur B.2 visas den framtagna effektutvecklingskurvan för scenbranden.



Figur B.2. Effektutveckling för scenbranden under förloppets inledande tio minuter. Förloppet varar totalt i 28 minuter med den fortsatt konstanta effekten 2000 kW.

B.3 Scenario 3 – Brand i kök

Nedan presenteras hur tillväxthastighet och maximal brandeffekt tas fram för branden i köket.

Energiinnehåll

I köket på Babel finns brännbart material, till största delen i form av plast. I scenariot antas plastbackar, cellplast och plastlådor ovanför stekbordet samt mikrovågsugnen brinna.

Cellplasten antas bestå av polystyren medan det övriga plastmaterialet antas bestå av polypropylen. Värden på förbränningsvärmen ΔH_c presenteras i Karlsson & Quintiere (2000) och Abrahamsson (1997). Värdena redovisas i Tabell B.4.

Tabell B.4. Sammanställning över energiinnehåll för polystyren och polypropylen, från Karlsson & Quintiere (2000) och Abrahamsson (1997).

Referens	Ämne	ΔH_c [MJ/kg]
Karlsson & Quintiere (2000)	Polystyren	39,2
Abrahamsson (1997)	Polystyren	41-43
Karlsson & Quintiere (2000)	Polypropylen	43,4
Abrahamsson (1997)	Polypropylen	43

Detta ger ett medelvärde på $\Delta H_c = 40,6$ MJ/kg för polystyren och $\Delta H_c = 43,2$ MJ/kg för polypropylen. Mängden polystyren i utrymmet approximeras till 1 kg. Mängden polypropylen approximeras till 10 kg.

För att beräkna det totala energiinnehållet i materialen används ekvation B.1. Förbränningseffektiviteten χ anger hur stor del av energiinnehållet som avges under förbränningen och antas till 0,7.

$$Q = 1 \cdot 40,6 \cdot 0,7 + 10 \cdot 43,2 \cdot 0,7 = 330 \text{ MJ}$$

Det totala energiinnehållet blir 330 MJ, vilket betyder att branden förmodligen kommer att begränsas av mängden bränsle och inte av ventilationsförhållandena.

Tillväxthastighet

Brandens tillväxthastighet baseras på värden från Abrahamsson (1997) där den för plastmaterial anges vara ”Fast”, vilket motsvarar ett α -värde på 0,046 kW/s².

Maximal effektutveckling

I Abrahamsson (1997) redovisas olika värden för den avgivna värmeeffekten per kvadratmeter golvyta \dot{Q}'' för de båda materialen. Detta sammanställs i Tabell B.5 nedan.

Tabell B.5. Sammanställning över effekt per kvadratmeter golvyta för polystyren och polypropen, från Abrahamsson (1997).

Ämne	\dot{Q}'' [kW/m ² golvyta]	Medelvärde [kW/m ² golvyta]
Polystyren	5400-8200	6800
Polypropylen	4400-9600	7000

Ett viktat medelvärde, utifrån andelen av de två plastmaterialen i köket, beräknas till 6980 kW/m² golvyta. I litteraturen anges värdet som avgiven effekt per kvadratmeter golvarea och att materialet är staplat fyra meter.

Materialen i detta scenario är inte staplade i högar utan är placerade bredvid varandra. De antas ta upp en total volym på 2*0,5*0,7 m (bredd*djup*höjd). Värdena i Tabell B.5 kan därför inte appliceras direkt utan måste anpassas till scenariot. Den uppskattade golvytan som materialen tar upp är 1 m² men värdet justeras med avseende på höjden till (6980/4)*0,7 kW \approx 1,2 MW.

För att avgöra tiden till maximal effektutveckling används ekvation B.3.

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{1222}{0,046}} \approx 160 \text{ s}$$

Den maximala effektutvecklingen nås efter ungefär 160 sekunder och därefter antas den vara konstant tills allt bränsle förbrukats. Därefter minskar brandens effekt. Under brandförloppet kommer förmodligen mer brännbart material i köket och i angränsande utrymmen att antända. Efter att det ursprungliga plastmaterialet förbrukats antas därför inte effekten minska till noll, utan branden antas fortsätta med en effekt som motsvarar halva maxeffekten. För att avgöra när det ursprungliga bränslets energi förbrukats används ekvation B.2.

Energien som förbrukas under tillväxtfasen:

$$Q_{0-160} = \int_0^t \dot{Q} dt = \int_0^{160} \alpha t^2 dt = \alpha \left[\frac{t^3}{3} \right]_0^{160} = 0,046 \cdot \frac{160^3}{3} = 63 \text{ MJ}$$

$$\text{Återstående mängd energi} = 330 - 63 = 267 \text{ MJ}$$

$$Q_{160-t} = 267 \text{ MJ} = \dot{Q} t \rightarrow t = \frac{267}{1,22} = 220 \text{ s}$$

$$\text{Total tid} = 160 + 220 \text{ s} = 380 \text{ s}$$

Resultatet blir att 330 MJ har förbrukats efter drygt sex minuter, därefter avtar brandens effekt. Figur B.3 visar den framtagna effektutvecklingen för scenariot.



Figur B.3. Effektutveckling för köksbranden under brandförloppets inledande tio minuter.

C Bilaga - FDS

I denna bilaga beskrivs de parametrar som är viktiga för simuleringarna i FDS, och de indata som definierats. I slutet av denna bilaga följer även en verifiering av de bränder som simuleras för att avgöra dess giltighet.

Programmet FDS

Programmet FDS är en Computational Fluid Dynamics-modell (CFD) och är framtaget av NIST. Programmet använder en LES-modell som fungerar genom att numeriskt lösa en form av Navier-Stokes ekvationerna, som bygger på bevarandet av energi, massa och rörelse av ämnen och därigenom simulering av brandens utveckling. För att kunna utföra beräkningar delas rummen in i mindre volymer som skapar ett rutnät av celler, en så kallad mesh. (McGrattan et al., 2014)

Cellstorleken påverkar hur exakta resultaten från simuleringarna blir. Ju mindre celler, desto bättre upplösning av flödesdynamiken och därmed bättre resultat. Används för stora celler kommer de rörelser som är mindre än cellstorleken inte att synas, mätningarna sker längre ifrån varandra och resultaten kan bli missvisande. Cellstorleken är även den faktor som har störst inverkan på simuleringstiden, en halvering av storleken innebär en 16 gånger längre simuleringstid. (McGrattan et al., 2014)

För att visualisera simuleringen i FDS används programmet Smokeview. I detta program kan brandens utveckling följas under hela simuleringsförloppet, vilket är till hjälp för att avgöra vilka förhållanden som uppstår.

I denna rapport används FDS version 6.1.2.

Mesh

För alla scenarion används 10 cm stora celler i hela verksamheten. Antalet mesher är 18 stycken för alla scenarion. Totalt antal celler är ca 2 900 000 st.

Öppningar

Vilka öppningar som används i simuleringarna skiljer sig för de olika scenarierna. Personer som befinner sig i Babel förväntas använda olika nödutgångar vid utrymningen beroende på scenario och vilka dörrar som blockeras av bränderna. De nödutgångar som personer förväntas använda hålls öppna under hela simuleringsförloppet, ingen hänsyn tas till när utrymningen egentligen påbörjas efter varseblivningstiden. Öppningarna definieras som *hole* i FDS. Utanför öppningarna sätts en mesh som öppnas till atmosfären genom funktionen *vent*. Detta indikerar att atmosfären tar vid och flöde kan ske över gränserna.

Ventilation och läckage

I simuleringarna har ingen hänsyn tagits till ventilation i verksamheten då det finns begränsad med information om denna. Läckage som finns naturligt från byggnaden genom väggar och tak definieras inte heller. Läckaget anses dock kompenseras för genom att hålla vissa dörrar öppna under hela brandförloppet, då det i verkligheten egentligen sker först då utrymning påbörjas.

Material

I koden till FDS definieras olika material som sedan appliceras på de väggar, tak och golv som skapats i programmet. I Tabell C.1 nedan redovisas dessa material och deras egenskaper.

Tabell C.1. Visar egenskaperna för de material som används i FDS.

Material	Densitet [kg/m ³]	Värmeledningsförmåga [W/m·K]	Specifik värmekapacitet [J/kg·K]	Emissivitet
Betong	2400	1,7	1,0	0,94
Gips	900	1,3	1,0	0,90
Trä	500	0,14	1,6	0,90

Materialet trä appliceras på väggar och tak till de två scenförråden, och för dessa definieras en tjocklek på 0,1 m. Även golvet i dessa förråd, scengolvet och avsatsen i stora lokalen definieras som trä med en tjocklek på 0,2 m. På alla övriga väggar samt i taket används 0,2 m tjockt gips. För golvet på första och andra våningen används betong med en tjocklek på 0,2 m.

Bränsle och bränsleyta

I FDS måste branden definieras som ett ämne med olika egenskaper. Då inte alla ämnen finns specificerade i förväg i FDS kan ett ämne med ett likt ΔH_c som bränslet användas (Hustedt, 2016). För köksbranden används därför propan vars ΔH_c stämmer bra överens med de plastmaterial som egentligen utgör bränslet. Det går även att definiera ett eget bränsle genom att ange antalet atomer som ämnet består av (McGrattan et al., 2014). I garderobsbranden antas att polyester utgör bränslet. Polyester är en syntetisk polymer som kan framställas ur Tereftalsyra vars kemiska formel är $C_8H_6O_4$. I scenbranden är det mycket olika material som brinner, men bränslet definieras till trä som till största delen består av cellulosa och har den kemiska formeln $C_6H_{10}O_5$.

En annan parameter som ska specificeras är HRRPUA, effektutvecklingen per areaenhet. Till detta ligger effektutvecklingskurvorna för de tre bränderna som underlag, samt hur stor den brinnande ytan är. Effektutvecklingskurvan definieras i bilaga B – *Brandförlopp*. I Tabell C.2 definieras de olika bränderna.

Tabell C.2. Sammanställning av de olika bränderna som simuleras i FDS.

	Bränsle	HRR [kW]	Area [m ²]	HRRPUA [kW/m ²]
Köksbrand	Propan	1222	1	1222
Garderobsbrand	Polyester	2500	14*	178
Scenbrand	Trä	2000	5	400

* Totala golvarean i garderoben är 19 m² och branden antas utgöra 75 % av golvytan vilket ger en area på cirka 14 m².

För att simulera tillväxten och avtagandet av köksbranden används en *RAMP*-funktion. När bränslet är slut efter 380 sekunder, vilket den framtagna effektutvecklingskurvan anger, avtar branden till hälften av den maximala effektutvecklingen. Detta görs eftersom branden under brandförloppet förmodligen lyckats sprida sig till närliggande brännbart material som fortsätter brinna efter att det inledande bränslet förbrukats.

För garderobsbranden och scenbranden simuleras tillväxten istället med funktionen *spread rate*. Problemet med *RAMP*-funktionen för detta scenario är att i det tidiga brandförloppet uppfylls inte villkoret för D^*/dx . Detta gäller även för köksbranden men eftersom den branden är mindre uppfylls villkoren snabbare vilket gör att det anses okej. *Spread rate*-funktionen anger istället att brandens yta växer radiellt med en konstant hastighet. Funktionen efterliknar en αt^2 -tillväxt väl och

förväntas därför kunna representera dessa brandscenarier. *Spread rate*-värdet beräknas med ekvation C.1 (Stöd för tillämpning – CFD, 2013):

$$\text{Spread rate} = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi} \cdot \frac{1}{\text{HRRPUA}}} \quad \text{Ekvation C.1}$$

Även *heat of combustion*, *soot yield*, *CO yield* och *radiative fraction* definieras för bränderna. Värdena för dessa är hämtade från SFPE-handboken (2016). Värdet på strålningsfraktionen avgör hur stor del av energin från branden som överförs i form av strålning respektive konvektion. Ju högre strålningsfraktion, desto lägre konvektion och därmed lägre temperatur i rummet då konvektionen bidrar till en högre värmeöverföring än strålningen (McGrattan et al., 2014). Strålningsfraktionen bestäms genom förhållandet $\Delta H_{\text{rad}}/\Delta H_c$, alltså förhållandet mellan mängden förbränningsvärme som utgörs av strålning och det totala förbränningsvärdet.

För att luftinblandningen ska simuleras korrekt i FDS bör branden inte placeras direkt på golvet. För utrymningssimuleringar bör branden istället placeras på en yta 0,5 meter över golvet, vilket har tillämpats i köket och garderoben (Stöd för tillämpning – CFD, 2013). Branden i scenförrådet utgör dock hela golvytan vilket förändrar ventilationsförhållandena om den skulle placeras på en högre nivå. Den branden placeras därför i höjd med golvet.

Mätparametrar

För att FDS ska generera resultat för intressanta parametrar används *devices* och *slice files*. För *devices* sker mätningarna i punkter i enskilda celler. Detta används för temperaturen och brandgaslagrets höjd vid kritiska platser i verksamheten, vilket är vid nödutgångar, vid köbildningsområden och i nära anslutning till de utrymmen där branden startar. Mätningarna utförs från golv till tak med 20 cm mellanrum. Tvådimensionella bilder som skär rummet i z-plan, så kallade *slice files*, används för att visualisera temperatur, sikt och volymfraktion av CO, CO₂ och O₂. Dessa placeras två meter över golvet för att visualisera förhållanden i z-led.

Inga mätningar genomförs för strålningspåverkan från branden. I FDS finns en del begränsningar med strålningsberäkningar, de måste utföras med ett stort antal strålar per cell vilket ökar simuleringstiden betydligt.

För simulering av detektion av branden används ytterligare en *device*. Detektorerna definieras som fotoelektriska rökdetektorer vilket anges som *Chamber Obscuration* i FDS. För att definiera vid vilka förhållanden aktivering ska ske används värdet 4,5 %/m, vilket motsvarar 50 meters sikt. I FDS placeras bara de detektorer ut som befinner sig närmast branden, se figurer i bilaga B – *Brandförlopp*. Detta innebär att för köksbranden placeras en detektor utanför köksdörren och för garderobsbranden placeras två detektorer inne i garderoben. För scenbranden placeras inga detektorer ut, då detta scenario baseras på att branden detekteras först av personer som vistas i närheten av branden och det heller inte finns några påslagna detektorer i närheten av branden.

Grundscenarier

Nedan presenteras hur bränderna för de olika scenarierna definieras i FDS.

Garderob

```
&REAC FUEL='Polyester', C=8, H=6, O=4 N=0, SOOT_YIELD=0.091, CO_YIELD=0.027,
HEAT_OF_COMBUSTION=20600.0, IDEAL=.FALSE./
&RADI RADIATION=.TRUE., NUMBER_RADIATION_ANGLES=104, RADIATIVE_FRACTION=0.476/
&SURF ID='FIRE', COLOR='RED', HRRPUA=178.6/
&VENT ID='BURNER', SURF_ID='FIRE', XB=0.5,4.5,2.9,6.4,0.5,0.5, XYZ=2.5,4.7,0.5,
SPREAD_RATE=0.0159/
```

Scen

```
&REAC FUEL='Tra', C=6, H=10, O=5, N=0, FYI='MaterialIForrad', SOOT_YIELD=0.02486,  
CO_YIELD=0.03512, HEAT_OF_COMBUSTION=12628.0, IDEAL=.FALSE./  
&RADI RADIATION=.TRUE., NUMBER_RADIATION_ANGLES=104, RADIATIVE_FRACTION=0.23/  
&SURF ID='FIRE', COLOR='RED', HRRPUA=400/  
&VENT ID='BURNER', SURF_ID='FIRE', XB=16.6,18.9,9.6,11.8,0.8,0.8, XYZ=17.8,10.7,0.8,  
SPREAD_RATE=0.00463/
```

Kök

```
&REAC FUEL='PROPANE', FYI='PLASTER', SOOT_YIELD=0.068, CO_YIELD=0.027,  
HEAT_OF_COMBUSTION=42960.0, IDEAL=.TRUE./  
&RADI RADIATION=.TRUE., NUMBER_RADIATION_ANGLES=104, RADIATIVE_FRACTION=0.445/  
  
&SURF ID='FIRE', COLOR='RED', HRRPUA=1222.0, RAMP_Q='fireramp'/  
&RAMP ID='fireramp', T=0.0, F=0.0/  
&RAMP ID='fireramp', T=10.0, F=0.00376/  
&RAMP ID='fireramp', T=30.0, F=0.0339/  
&RAMP ID='fireramp', T=50.0, F=0.0941/  
&RAMP ID='fireramp', T=70, F=0.184/  
&RAMP ID='fireramp', T=90, F=0.305/  
&RAMP ID='fireramp', T=110, F=0.455/  
&RAMP ID='fireramp', T=130, F=0.636/  
&RAMP ID='fireramp', T=150, F=0.847/  
&RAMP ID='fireramp', T=163, F=1.0/  
&RAMP ID='fireramp', T=370, F=1.0/  
&RAMP ID='fireramp', T=380, F=0.5/  
&VENT ID='BURNER', SURF_ID='FIRE', XB=7.8,8.8,24.3,25.3,1.0,1.0/
```

Känslighetsanalyser

För de olika känslighetsanalyserna ändras olika parametrar som förväntas ha inverkan på brandutvecklingen. För varje fall ändras endast en parameter, övriga förhållandena är desamma som för grundscenariot. Under respektive känslighetsanalys nedan redovisas endast de koder som ändras. Hur länge brandscenarierna simuleras beror på hur lång tid som krävs för att uppnå stabila förhållanden i lokalerna, varför en del av känslighetsanalyserna inte simuleras under lika lång tid som grundscenarierna.

Garderob – Trasiga fönster

När fönstren i garderoben spricker efter 50 sekunder i simuleringen blir ventilationsförhållandena för branden bättre vilket innebär möjlighet till en högre effekt. Simulering i Argos visar att den maximala effekten blir 5 MW med fönsteröppningarna. Indatan i FDS ändras enligt följande:

```
&DEVC XYZ=0.0,0.0,0.0, ID='Timer', SETPOINT=50.0, QUANTITY='TIME', INITIAL_STATE=.FALSE./  
&HOLE XB=-0.1,0.5,4.5,3.5,0.8,2.0, DEVC_ID='Timer'/  
&HOLE XB=-0.1,0.5,5.9,6.9,0.8,2.0, DEVC_ID='Timer'/  
  
&REAC FUEL='Polyester', C=8, H=6, O=4, N=0, SOOT_YIELD=0.091, CO_YIELD=0.027,  
HEAT_OF_COMBUSTION=20600.0, IDEAL=.FALSE./  
&RADI RADIATION=.TRUE., NUMBER_RADIATION_ANGLES=104, RADIATIVE_FRACTION=0.476/  
&SURF ID='FIRE', COLOR='RED', HRRPUA=357.1/  
&VENT ID='BURNER', SURF_ID='FIRE', XB=0.5,4.5,2.9,6.4,0.5,0.5, XYZ=2.5,4.7,0.5,  
SPREAD_RATE=0.0112/
```

Simuleringen avslutades efter drygt nio minuter då stabila förhållanden hade uppnåtts vid denna tidpunkt.

Garderob – Lägre tillväxt

I detta scenario simuleras branden med en lägre tillväxthastighet, α -värde. Tillväxten sätts till ”Medium” vilket betyder att $\alpha=0,0117 \text{ kW/s}^2$ (Abrahamsson, 1997). Detta förändrar värdet för *spread rate* i FDS-koden.

```
&REAC FUEL='Polyester', C=8, H=6, O=4, N=0, SOOT_YIELD=0.091, CO_YIELD=0.027,
HEAT_OF_COMBUSTION=20600.0, IDEAL=.FALSE./
&RADI RADIATION=.TRUE., NUMBER_RADIATION_ANGLES=104, RADIATIVE_FRACTION=0.476/
&SURF ID='FIRE', COLOR='RED', HRRPUA=178.6/
&VENT ID='BURNER', SURF_ID='FIRE', XB=0.5,4.5,2.9,6.4,0.5,0.5, XYZ=2.5,4.7,0.5,
SPREAD_RATE=0.0046/
```

Scen - Lägre tillväxt

I detta scenario ändras tillväxthastigheten till ”Slow”, vilket förändrar värdet för *spread rate*.

```
&REAC FUEL='Tra', C=6, H=10, O=5, N=0, FYI='MaterialIForrad', SOOT_YIELD=0.02486,
CO_YIELD=0.03512, HEAT_OF_COMBUSTION=12628.0, IDEAL=.FALSE./
&RADI RADIATION=.TRUE., NUMBER_RADIATION_ANGLES=104, RADIATIVE_FRACTION=0.23/
&SURF ID='FIRE', COLOR='RED', HRRPUA=400/
&VENT ID='BURNER', SURF_ID='FIRE', XB=16.6,18.9,9.6,11.8,0.8,0.8, XYZ=17.8,10.7,0.8,
SPREAD_RATE=0.00152/
```

Kök – Halverad effekt

I detta scenario halveras den ursprungliga effekten till 611 kW. Detta förändrar hur branden rampas.

```
&REAC FUEL='PROPANE', FYI='PLASTER', SOOT_YIELD=0.068, CO_YIELD=0.027,
HEAT_OF_COMBUSTION=42960.0, IDEAL=.TRUE./
&RADI RADIATION=.TRUE., NUMBER_RADIATION_ANGLES=104, RADIATIVE_FRACTION=0.445/
&SURF ID='FIRE', COLOR='RED', HRRPUA=611.0, RAMP_Q='fireramp'/
&RAMP ID='fireramp', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='fireramp', T=10.0, F=0.00753/
&RAMP ID='fireramp', T=30.0, F=0.0678/
&RAMP ID='fireramp', T=50.0, F=0.188/
&RAMP ID='fireramp', T=70, F=0.369/
&RAMP ID='fireramp', T=90, F=0.61/
&RAMP ID='fireramp', T=110, F=0.911/
&RAMP ID='fireramp', T=115, F=1.0/
&VENT ID='BURNER', SURF_ID='FIRE', XB=7.8,8.8,24.3,25.3,1.0,1.0/
```

Simuleringen avslutades efter fem minuter då stabila förhållanden hade uppnåtts vid denna tidpunkt.

Kök – Trasigt fönster

I detta scenario går fönstret sönder efter 60 sekunder. Detta simuleras med en timer som öppnar fönstret efter 60 sekunder.

```
&DEVC XYZ=0.0,0.0,0.0, ID='Timer', SETPOINT=60.0, QUANTITY='TIME', INITIAL_STATE=.FALSE./
&HOLE XB=10.6,11.3,23.5,24.5,0.8,2.0, DEVC_ID='Timer'/
```

Det öppna fönstret innebär ytterligare en öppning till köket och därmed förbättrade ventilationsförhållanden för branden. De nya förhållandena möjliggör en högre effektutveckling

än i de tidigare scenarierna, vilket simuleras i Argos till 3,3 MW. Detta förändrar rampningen för branden.

```
&REAC FUEL='PROPANE', FYI='PLASTER', SOOT_YIELD=0.068, CO_YIELD=0.027,  
HEAT_OF_COMBUSTION=42960.0, IDEAL=.TRUE./  
&RADI RADIATION=.TRUE., NUMBER_RADIATION_ANGLES=104, RADIATIVE_FRACTION=0.445/  
&SURF ID='FIRE', COLOR='RED', HRRPUA=3300.0, RAMP_Q='fireramp'/  
&RAMP ID='fireramp', T=0.0, F=0.0/  
&RAMP ID='fireramp', T=10.0, F=0.00139/  
&RAMP ID='fireramp', T=30.0, F=0.01254/  
&RAMP ID='fireramp', T=50.0, F=0.03485/  
&RAMP ID='fireramp', T=60.0, F=0.0502/  
&RAMP ID='fireramp', T=70.0, F=0.0683/  
&RAMP ID='fireramp', T=90, F=0.113/  
&RAMP ID='fireramp', T=110, F=0.169/  
&RAMP ID='fireramp', T=130, F=0.236/  
&RAMP ID='fireramp', T=150, F=0.314/  
&RAMP ID='fireramp', T=170, F=0.403/  
&RAMP ID='fireramp', T=190, F=0.503/  
&RAMP ID='fireramp', T=210, F=0.615/  
&RAMP ID='fireramp', T=230, F=0.738/  
&RAMP ID='fireramp', T=250, F=0.871/  
&RAMP ID='fireramp', T=268, F=1.0/  
&VENT ID='BURNER', SURF_ID='FIRE', XB=7.8,8.8,24.3,25.3,1.0,1.0/
```

Simuleringen avslutades efter drygt sju minuter då stabila förhållanden hade uppnåtts vid denna tidpunkt.

Åtgärdsförslag

Det är endast i scenariot med brand i garderoben som åtgärdsförslag simuleras i FDS. Detta görs med samma brand som i grundscenariot för garderobsbranden. *Devices* som mäter temperatur och brandgaslager från golv till tak med 20 cm mellanrum placeras på olika platser i utrymmet för att få en god helhetsbild. *Slice files* som mäter sikt, temperatur, CO, CO₂ och O₂ placeras i z-led på två meters höjd.

C.1 Verifiering

I detta avsnitt verifieras FDS-simuleringarna för att avgöra hur tillförlitliga de är.

Cellstorlek

För att kontrollera om cellstorleken är acceptabel för de olika scenarierna används villkor om förhållandet mellan brandens karakteristiska diameter och cellstorleken. I FDS användarhandbok (McGrattan et al., 2014) beskrivs att förhållandet ska vara mellan 4-16, medan Nystedt & Frantzich (2011) menar att förhållandet bör vara i storleksordningen 10-20 nära branden. Detta betyder att:

$$4 < \frac{D^*}{dx} < 20$$

D^* = brandens karaktäristiska diameter [m]

dx = cellstorleken [m]

Om villkoret är uppfyllt är cellstorleken tillräcklig för att ge bra resultat och upplösning för brandens utveckling. Vilken cellstorlek som bör användas beror på vilken effektutveckling branden har, enligt ekvation C.2 (McGrattan et al., 2014):

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

\dot{Q} = effektutvecklingen [kW]

ρ_{∞} = densiteten för omgivande luft = 1,2 kg/m³

c_p = värmekapaciteten för luft = 1,0 kJ/kgK

T = temperaturen på omgivande luft = 293 K

g = gravitationskonstanten = 9,81 m/s²

Resultatet för D^*/dx för bränderna som simuleras i FDS redovisas i Tabell C.3.

Tabell C.3. Sammanställning över värden för beräkning av D^*/dx för verifiering av cellstorleken för de olika scenarierna.

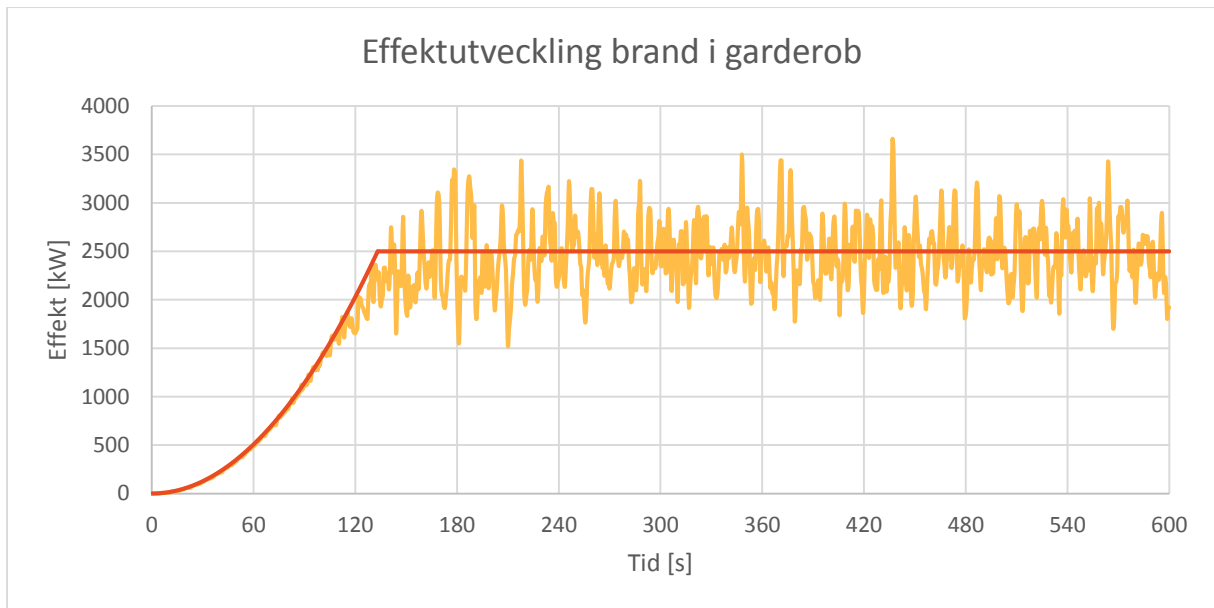
	\dot{Q} [kW]	D^* [m]	dx [m]	D^*/dx
Garderob – Grundscenario	2500	1,39	0,10	14
Garderob – Lägre tillväxt	2500	1,39	0,10	14
Garderob – Trasiga fönster	5000	1,83	0,10	18
Scen – Grundscenario	2000	1,27	0,10	13
Scen – Lägre tillväxt	2000	1,27	0,10	13
Kök – Grundscenario	1222	1,04	0,10	10
Kök – Trasigt fönster	3300	1,55	0,10	16
Kök – Halverad effekt	610	0,79	0,10	8

Resultaten visar att villkoret är uppfyllt för alla scenarier.

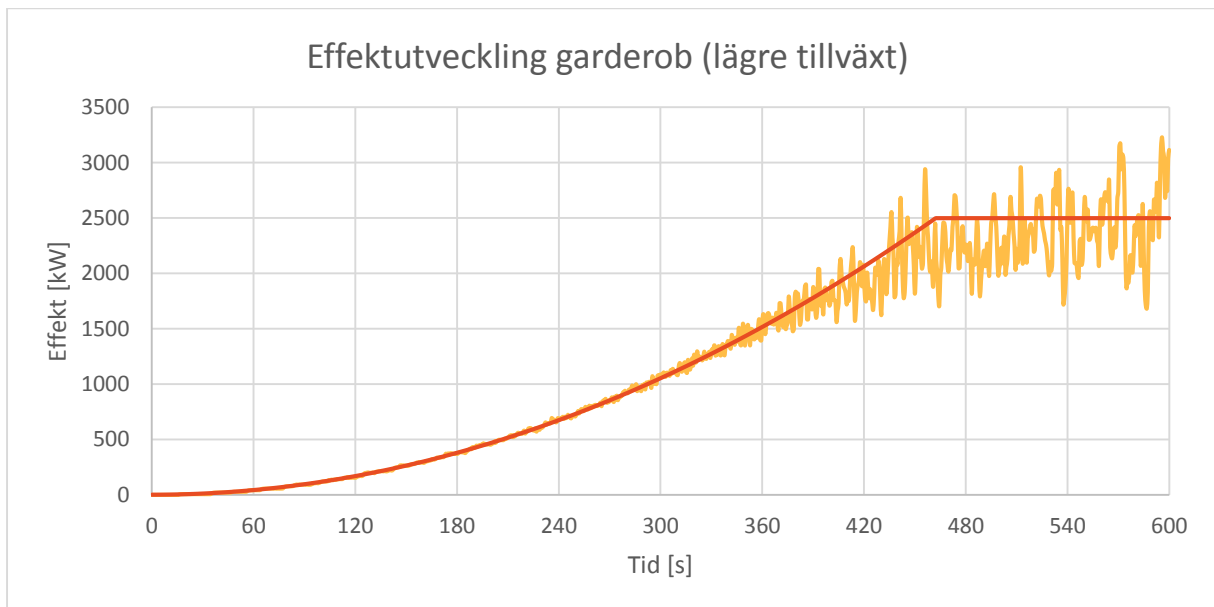
En annan metod för att verifiera cellstorleken är att undersöka om simuleringen är gridoberoende. Detta innebär att simuleringen görs om med en minskad cellstorlek och resultaten för den nya simuleringen studeras. Om resultaten för de två cellstorlekarna överensstämmer är villkoret för gridoberoendet uppfyllt. Minskning av cellstorleken innebär dock att simuleringstiden ökar avsevärt, och på grund av begränsningar i tid väljs att verifiera cellstorleken endast med kvoten D^*/dx .

Effektutveckling och tillväxthastighet

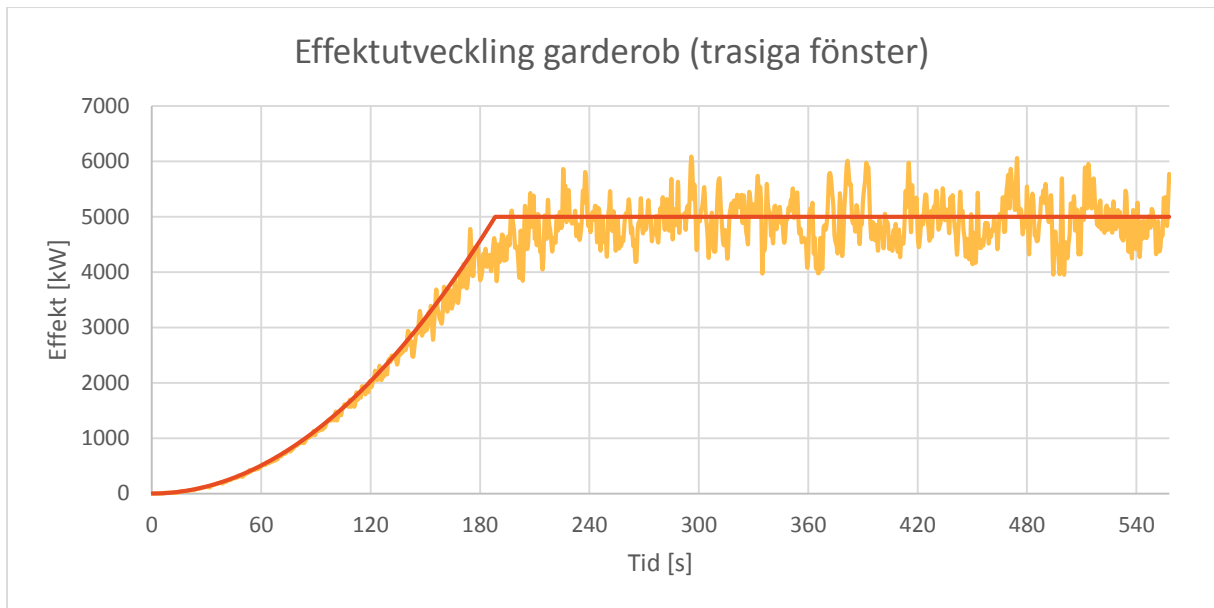
Det bör kontrolleras att den simulerade effektutvecklingen stämmer överens med den teoretiskt framtagna. FDS genererar värden för effekten under hela simuleringförloppet och den kurvan jämförs med den tidigare framtagna effektutvecklingskurvan, se bilaga B – *Brandförlopp*. De två kurvorna för respektive scenario visas i Figur C.1-C.8.



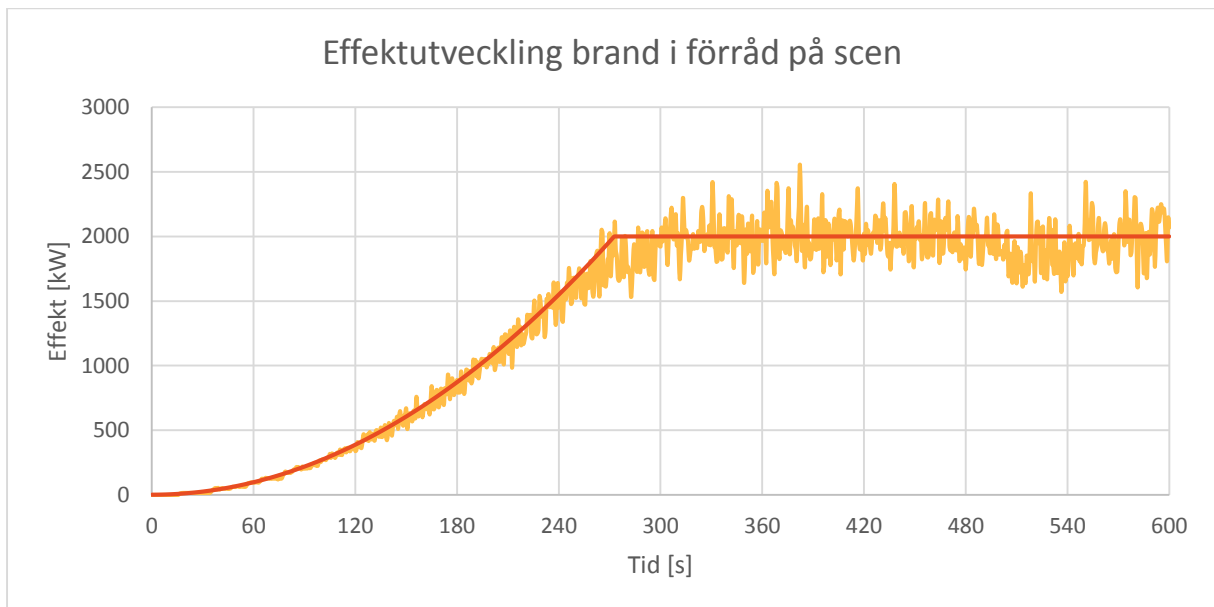
Figur C.1. Jämförelse av den teoretiskt framtagna (röd) och den av FDS genererade (gul) effektutvecklingskurvan för garderoben under tio minuter.



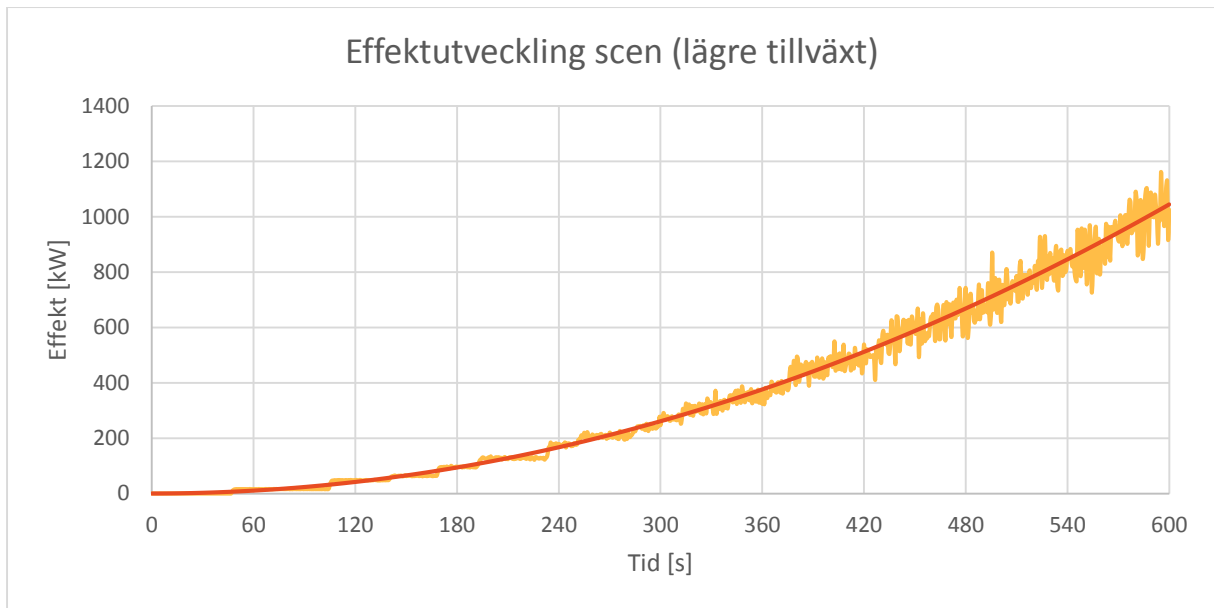
Figur C.2. Jämförelse av den teoretiskt framtagna (röd) och den av FDS genererade (gul) effektutvecklingskurvan för garderoben med lägre tillväxthastighet under tio minuter.



Figur C.3. Jämförelse av den teoretisk framtagna (röd) och den av FDS genererade (gul) effektutvecklingskurvan för garderoben med trasiga fönster under drygt nio minuter.



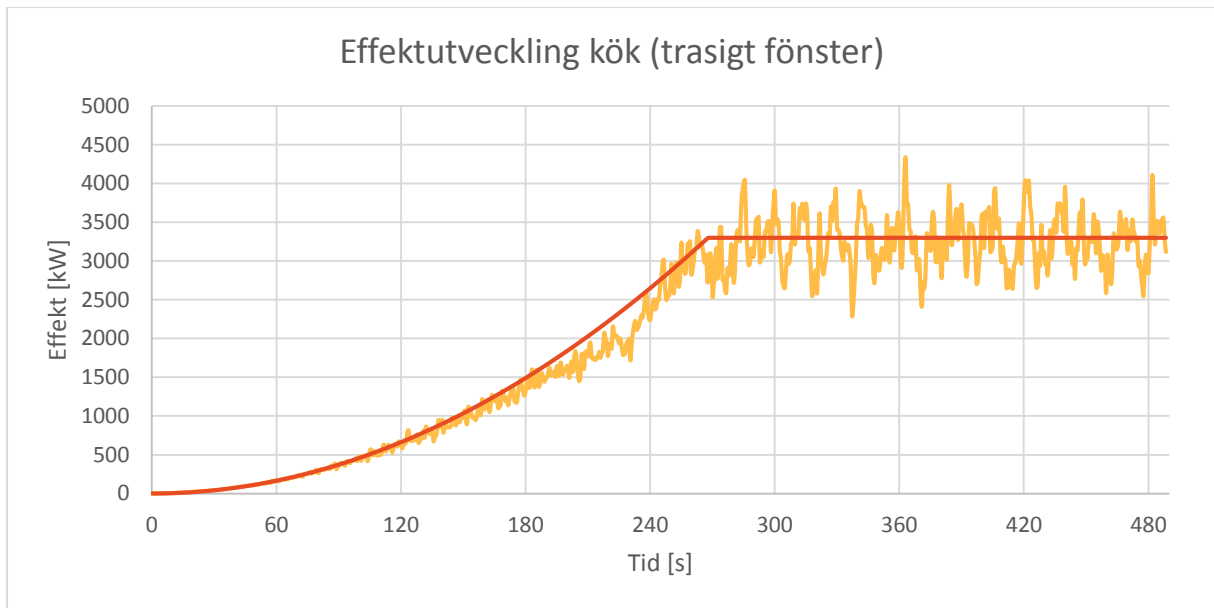
Figur C.4. Jämförelse av den teoretisk framtagna (röd) och den av FDS genererade (gul) effektutvecklingskurvan för garderoben med trasigt fönster under drygt nio minuter.



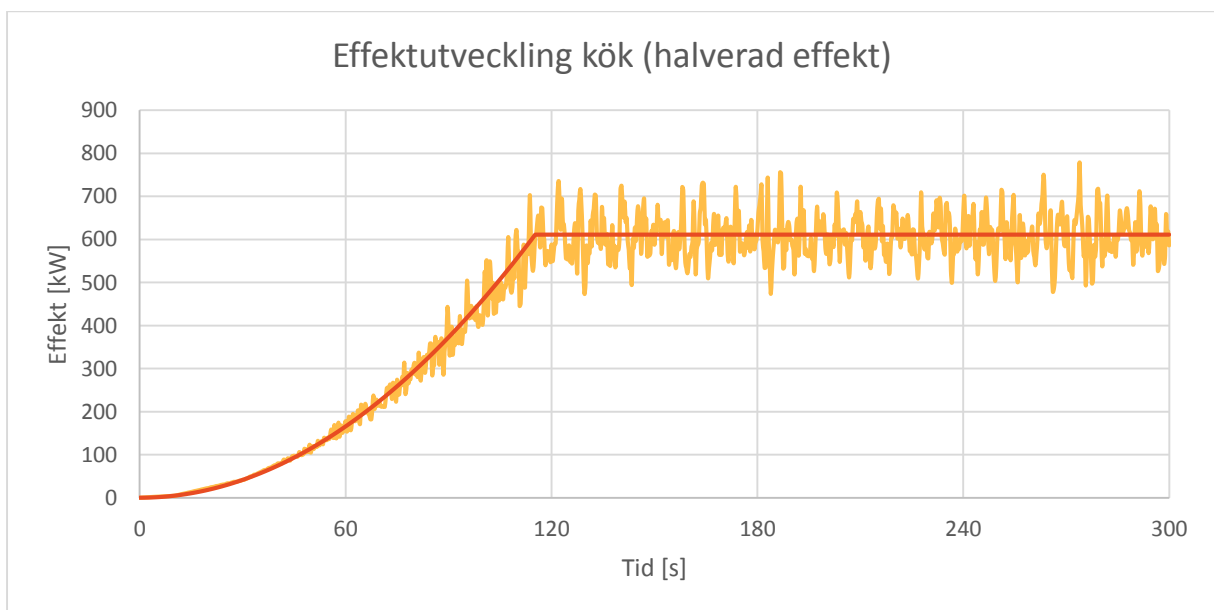
Figur C.5. Jämförelse av den teoretisk framtagna (röd) och den av FDS genererade (gul) effektutvecklingskurvan för scenen med lägre tillväxthastighet under tio minuter.



Figur C.6. Jämförelse av den teoretiskt framtagna (röd) och den av FDS genererade (gul) effektutvecklingskurvan för köket under tio minuter.



Figur C.7. Jämförelse av den teoretiskt framtagna (röd) och den av FDS genererade (gul) effektutvecklingskurvan för köket med trasigt fönster under drygt sju minuter.



Figur C.8. Jämförelse av den teoretiskt framtagna (röd) och den av FDS genererade (gul) effektutvecklingskurvan för köket med halverad effekt under fem minuter

I effektutvecklingskurvorna ovan syns hur effekten fluktuerar i simuleringarna i FDS. Anledningen till detta är att branden påverkas av ventilationsförhållandena i rummet. När branden blir ventilationskontrollerad påverkas den av mängden syre som finns tillgängligt vilket gör att effekten inte kan stabiliseras på en konstant nivå. Branden fluktuerar mer i de fall då brandens effekt är i närheten av den maximala effekt som dörröppningarna möjliggör, och figurerna ovan visar att denna teori stämmer överens med simuleringarna. Att en brand fluktuerar även när den är bränslekontrollerad är dock helt naturligt varför effektutvecklingskurvorna ovan anses godtagbara.

D Bilaga - Känslighetsanalys av utrymning

I denna bilaga presenteras resultat från olika simuleringar av förflyttningstiden.

Nödutgången på andra våningen

Vid platsbesöket gick nödutgången på andra våningen endast att öppna med panikregel då dörren var upplåst. För att undersöka hur blockering av respektive nödutgång påverkar förflyttningstiden simuleras detta i Pathfinder för 650 besökare, samtliga påbörjar förflyttning samtidigt. Medelvärdet från simuleringarna presenteras i Tabell D.1 nedan.

Tabell D.1. Medelvärde för förflyttningstid då respektive nödutgång blockeras under hela förloppet. Förflyttning påbörjas samtidigt.

Blockerad nödutgång	Förflyttningstid [s]	Förändring [%]
Ingen nödutgång blockerad	240	-
Huvudentré	325	+ 35
Varuintag	330	+ 38
Lilla lokalen	292	+ 22
Andra våningen	439	+ 83

Det framgår tydligt att blockering av nödutgången på andra våningen har störst påverkan på utrymningsförloppen. Därför bör det säkerställas att nödutgången alltid går att öppna med endast panikregel.

Begränsa antalet besökare

En möjlig lösning för att minska utrymningstiden är att begränsa antalet besökare. Samtliga analyser i denna rapport har utgått från att 650 besökare befinner sig i lokalerna och merparten av dessa i stora lokalen. För att undersöka hur utrymningstiden påverkas av ett lägre personantal simuleras förflyttningstiden i Pathfinder. Alla nödutgångar antas finnas tillgängliga under hela utrymningsförloppet och samtliga besökare påbörjar förflyttning samtidigt. Medelvärdet från simuleringarna presenteras i Tabell D.2 nedan.

Tabell D.2. Medelvärde för förflyttningstid beroende på antalet besökare. Förflyttning påbörjas samtidigt.

Antal besökare	Förflyttningstid [s]	Förändring [%]
650	240	-
500	189	- 21
400	154	- 36

Då antalet besökare minskas till 500 personer minskar även förflyttningstiden med knappt en minut. Vid en ytterligare minskning till 400 besökare förkortas förflyttningstiden med knappt en och en halv minut. Resultatet ovan bör ses som underlag till vidare diskussion snarare än dimensionerande antal.

Utrymning via köksutrymmet

I rapporten har ingen hänsyn tagits till utrymning via köksutrymmet då den inte uppfyller Boverkets krav. Dessutom ansåg räddningstjänsten att den inte skulle inkluderas i utrymningsanalysen. För att undersöka hur den befintliga dörren påverkar förflyttningstiden simuleras detta i Pathfinder. I Tabell D.3 presenteras medelvärdet från simuleringarna.

Tabell D.3. Medelvärde för förflyttningstiden då utrymning via köksutrymmet undersöks.

	Förflyttningstid [s]	Förändring [%]
Ingen nödutgång	240	-
0,9 m bred nödutgång	210	- 12

Resultatet visar att utrymning via köksutrymmet skulle förkorta förflyttningstiden med en halv minut. Det skulle dock krävas åtgärder, bland annat bättre skyltning och fri utrymningsväg genom köksutrymmet.

Bredare trappor kring avsats mellan första och andra våningen

I utrymningssimuleringarna framgick det att trapporna på båda sidor om avsatsen mellan första och andra våningen i stora lokalen begränsade personflödet från avsatsen. Därför undersöks hur bredare trappor påverkar förflyttningstiden. Medelvärdet från simuleringarna presenteras i Tabell D.4 nedan.

Tabell D.4. Medelvärde för förflyttningstiden med bredare trappor på båda sidor om avsatsen i stora lokalen.

	Förflyttningstid [s]	Förändring [%]
Nuvarande trappor (0,9 m)	240	-
1,2 m breda trappor	234	- 2

Resultatet från simulering visar att bredare trappor inte har någon inverkan på förflyttningstiden. Även om avsatsen töms snabbare bildas kö vid utgångar istället.

Nödutgång från stora lokalen till innergården

Då stora lokalen är det utrymme där det förväntas befinna sig flest besökare undersöks hur en nödutgång direkt från dansgolvet påverkar förflyttningstiden. Medelvärdet från simuleringar med 650 besökare som samtidigt påbörjar förflyttning presenteras i Tabell D.5 nedan.

Tabell D.5. Medelvärde för förflyttningstid beroende på dörrbredd på nödutgång från dansgolvet. Förflyttning påbörjas samtidigt.

	Förflyttningstid [s]	Förändring [%]
Ingen nödutgång	240	-
1,2 m bred nödutgång	234	- 2
1,8 m bred nödutgång	211	- 12

Trots att simuleringar genomförs med en dörrbredd på 1,8 meter förkortas förflyttningstiden endast med en halv minut. Dock överskrids godtagbara nivåer vid dansgolvet i ett senare skede då det är högt i tak. En nödutgång placerad här skulle troligen därför kunna nyttjas längre in i brandförloppet.

En kombination av bredare trappor (1,2 meter) vid avsatsen och en extra nödutgång (1,8 meter) från dansgolvet minskar förflyttningstiden med ungefär 25 %.