

Brandteknisk riskvärdering av

Varuhuset Femman

Rapport 9394



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Linus Ahlman
Erik Carlsson
Sebastian Du Rietz
Anders Nilsson
Johan Sjölin

Brandteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lund 2011

Brandteknisk riskvärdering av

Varuhuset Femman

Linus Ahlman

Erik Carlsson

Sebastian Du Rietz

Anders Nilsson

Johan Sjölin

Lund 2011

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 Varuhuset Femman

Title

Fire safety evaluation of shopping centre Femman

Rapport/Report

9394

Författare/Authors

Linus Ahlman

Erik Carlsson

Sebastian Du Rietz

Anders Nilsson

Johan Sjölin

Brandingenjörsprogrammet, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2011

Fire Safety Engineering Program, Lund Institute of Technology, 2011

© Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2011

Framsida/Front page

Fluff (2009). *Femman-panorama.jpg* (Elektronisk) Tillgänglig:

<<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Femman-panorama.jpg>> (2011-05-03)

Sökord

Brandteknisk riskvärdering, köpcentrum, Varuhuset Femman, utrymning, personsäkerhet, kritiska förhållanden, brand, FDS, Simulex.

Keywords

Fire safety evaluation, shopping centre, Femman, evacuation, human safety, critical conditions, fire, FDS, Simulex.

Språk/Language

Svenska/Swedish

Abstract

This report has been developed as a part of the course *Fire Safety Evaluation* given at the Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety at LTH. The primary purpose of the report is to evaluate human safety and evacuation regarding the shopping centre Femman in Gothenburg, Sweden. Two main fire scenarios have been studied, and through computer simulations and hand calculations it has been determined that the building, in the current situation, holds an unsatisfactory safety level. To ensure that safe evacuation can be guaranteed, a number of measures have been recommended to the property owner.

Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering

Lunds Tekniska Högskola

Box 118

221 00 Lund

Telefon: 046-222 73 00

Hemsida: www.brand.lth.se

E-postadress: brand@brand.lth.se

Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety

Faculty of Engineering

P.O. Box 118

SE-221 00 Lund

Sweden

Telephone: +46 46-222 73 00

Website: www.brand.lth.se

E-mail: brand@brand.lth.se

Erkännanden

Projektgruppen vill rikta ett stort tack till de personer som bidragit med hjälp och stöd under arbetets gång. Ett särskilt tack riktas till nedanstående personer.

Henrik Hassel	Biträdande Universitetslektor, Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola
Mattias Svanström	Brandingenjör & Civilingenjör i Riskhantering, Räddningstjänsten Storgöteborg
Jonathan Wahlqvist	Doktorand, Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola
Daniel Nilsson	Universitetslektor Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola
Matti Virta	Kontaktperson Hufvudstaden
Håkan Frantzich	Universitetslektor Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola
Lars Jensen	Professor, Avdelningen för Installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola

Samt vakt- och butikspersonal på Varuhuset Femman som varit behjälplig vid objektsbesöket.

Sammanfattning

Denna rapport är framtagen i kursen *Brandteknisk riskvärdering* med huvudsyftet att undersöka utrymningssäkerheten på Varuhuset Femman i Göteborg. Ingen hänsyn togs till ekonomiska aspekter eller miljöpåverkan. I rapporten har det konstaterats att säker utrymning inte kan garanteras enligt definierat skyddsmål. Åtgärdsförslag har därför tagits fram och indelats i vad som *skall* och vad som *bör* genomföras. De förslag som skall genomföras är enligt rapporten tillräckliga för att uppnå en fullgod utrymningssäkerhet. Rekommendationerna om åtgärder som bör genomföras syftar till att ytterligare höja säkerhetsnivån i byggnaden.

Varuhuset Femman, som är en del av köpcentret Nordstan i Göteborg, består av tre affärsplan, fyra kontorsplan samt ett installationsplan överst. På grund av tidsramen för projektet har rapporten avgränsats till att endast behandla affärsplanen. Vidare har invändiga passager som förbinder Varuhuset Femman med övriga Nordstan inte inkluderats i analysen, utan jämförts med att vara i det fria.

Efter platsbesök och studier av ritningsmaterial gjordes en genomgång av befintligt brandskydd, som bland annat innefattar ett heltäckande sprinklersystem och talat utrymningslarm. Befintliga utrymningsvägar och skyltning mot dessa har utvärderats och bedömdes i vissa fall som undermåliga.

Det pågår i dagsläget en ombyggnad av varuhuset vilket bland annat påverkar ventilationssystemet. Utifrån de ritningar som funnits tillgängligt vid denna utvärdering har det dock konstaterats att brandgasspridning via ventilationen inte utgör något problem då affärsplanen innefattas i en enda brandcell.

En riskidentifiering i form av grovanalys utfördes för att ta fram tänkbara brandscenarier. Scenarierna graderades subjektivt med avseende på sannolikhet och konsekvens, för att sedan presenteras i en riskmatris. Från riskmatrisen valdes representativa scenarier ut för att i största möjliga mån inbegripa de flesta tänkbara scenarierna. De scenarier som utretts är brand i leksaksbutiken Lekia på plan 1 och brand i damkonfektionsbutiken Gina Tricot på plan 3. Scenariot på Lekia analyserades både med och utan fungerande sprinklersystem. Till de utvalda brandscenarierna konstruerades dimensionerande bränder utifrån experimentell data och föreslagna riktlinjer.

För att bedöma utrymningssäkerheten jämfördes tiden till kritiska förhållanden med den totala utrymningstiden. Dessa parametrar togs fram med hjälp av simuleringar i datorprogrammen FDS, Simulex, @RISK och Detact QS samt kompletterades med handberäkningar. Utifrån resultaten diskuterades olika tänkbara åtgärdsförslag, som sedan validerades med nya simuleringar och beräkningar.

De åtgärdsförslag som skall genomföras är

- **Blockera öppningar mellan väggar och tak från butiker ut mot allmänna utrymnen**
- **Automatisk aktivering av utrymningslarm vid sprinkleraktivering**
- **Byta till informativt talat utrymningsmeddelande**
- **Gör utrymningsväg, dörr 141B, på plan 1 oberoende av personal**
- **Tydligare skyltning och utformning av utrymningsvägar**
- **Bättre och enklare lås på utrymningsdörrar**
- **Fortsatt kontinuerligt underhåll och regelbundna kontroller av sprinklersystem**
- **Kontroll av personalens utbildningsnivå gällande brandskydd**

För att ytterligare förbättra säkerheten bör även följande åtgärder genomföras

- **Rökdetektorer placeras i samtliga utrymmen**
- **Tidigt kodat larm till personal**
- **Ytterligare knappar för manuell aktivering av brandlarmet**
- **Automatisk avstängning av musik vid utrymningslarm**
- **Brandsläckare i samtliga butiker**

Nomenklaturlista

A	Area [m ²]
D	Diameter [m]
ΔH_c	Förbränningsentalpi [MJ/kg]
H	Höjd [m]
L	Flamhöjd [m]
m	Massa [kg]
\dot{m}	Massflöde [kg/s]
M	Molmassa [kg/mol]
R	Radie [m]
RTI	Termisk tröghet [m ^{0,5} s ^{0,5}]
\dot{q}''	Effekt per kvadratmeter [kW/m ²]
\dot{Q}	Effekt [kW]
Q	Energi [J]
T	Temperatur [K]
t	Tid [sekunder]
V	Volym [m ³]
α	Tillväxthastighet [kW/m ²]
ε	emissivitet [-]
ρ	Densitet [kg/m ³]
σ	Stefan boltzmans konstant $5,67 \times 10^{-8}$ [W/m ² K ⁴]
χ	Massfraktion syre i luft [-]
Φ	Synfaktor [-]

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Syfte	1
1.2	Mål	1
1.3	Metod.....	1
1.4	Skyddsmål	2
1.5	Avgränsningar	3
1.6	Begränsningar.....	3
2	Objektsbeskrivning	5
2.1	Verksamhet.....	5
2.2	Plan 1.....	5
2.3	Plan 2.....	6
2.4	Plan 3.....	7
2.5	Ventilation.....	8
3	Befintligt brandskydd.....	9
3.1	Passiva system.....	9
3.2	Aktiva system.....	9
3.3	Utrymning	10
3.4	Observationer vid besök	11
3.5	Undersökning av personalens brandskyddskunskaper	11
4	Brandförlopps- och utrymningsteori.....	13
4.1	Brandförlopp	13
4.2	Utrymning	13
5	Datormodeller	17
5.1	Detact QS	17
5.2	FDS.....	17
5.3	CFAST.....	18
5.4	Simulex.....	18
5.5	@RISK	19
6	Brandscenarier	21
6.1	Tänkbara brandscenarier	22
6.2	Dimensionerande brandscenarier	24
7	Scenario I.....	29
7.1	Dimensionerande brand.....	29
7.2	Brandförloppet.....	31
7.3	Utrymning	36
7.4	Känslighetsanalys.....	38
7.5	Jämförelse mellan tid till kritiska förhållanden och utrymningstid.....	42
8	Scenario II.....	45

8.1	Dimensionerande brand.....	45
8.2	Brandförloppet.....	48
8.3	Utrymning	54
8.4	Känslighetsanalys	57
8.5	Jämförelse mellan tid till kritiska förhållanden och utrymningstid	60
9	Åtgärdsförslag.....	63
9.1	Validering av tid till kritiska förhållanden	68
9.2	Validering av tid för utrymning.....	68
9.3	Resultat med åtgärdsförslag	71
10	Diskussion.....	73
11	Slutsats	77
11.1	Skall åtgärdas	77
11.2	Bör åtgärdas.....	77
12	Litteraturförteckning	79
Bilaga A	Enkät	81
A.1	Enkätens utformning	81
A.2	Resultat.....	83
Bilaga B	Spridning på grund av strålning	89
Bilaga C	Alfavärde.....	91
C. 1	Scenario I.....	91
C.2	Scenario II.....	91
Bilaga D	Sprinkleraktivering.....	93
Bilaga E	Energi	95
E.1	Scenario I & IIA.....	95
E.2	Scenario IIB	95
Bilaga F	Ventilationskontroll	97
F.1	Scenario I	97
F.2	Scenario II.....	97
Bilaga G	Indata FDS	99
G.1	Scenario I.....	100
G.2	Scenario II	101
Bilaga H	Strålning från brandgaslagret	103
Bilaga I	Resultat FDS.....	105
Bilaga J	Indata CFAST.....	111
J.1	Scenario I.....	111
J.2	Scenario II.....	111
Bilaga K	Indata Simulex	113
Bilaga L	Detektionstid rökdetektor	117

1 Inledning

Denna rapport utgör huvudmomentet i kursen *VBR054 - Brandteknisk Riskvärdering*, vilken ges vid brandingenjörsprogrammet på Lunds tekniska högskola. I rapporten behandlas utrymningssäkerheten för Varuhuset Femman, som är en del av köpcentret Nordstan i Göteborg. Byggnaden består av åtta plan, där de tre understa utgör butiksplan och på övriga plan bedrivs kontorsverksamhet. Rapporten riktar sig till fastighetsägare, räddningstjänst samt studerande vid brandingenjörsprogrammet.

1.1 Syfte

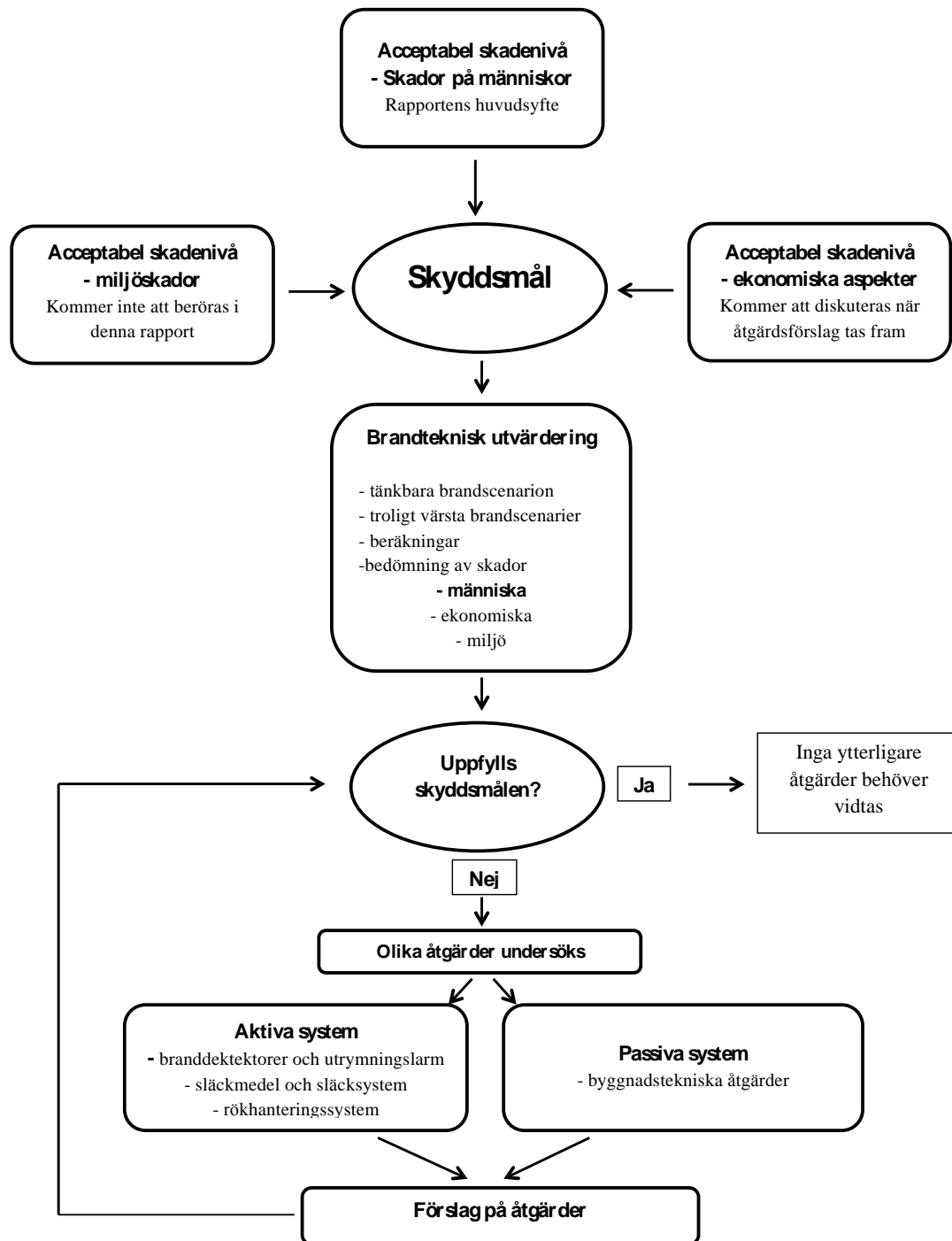
Syftet med denna rapport är att med hjälp av kunskaper från kursen brandteknisk riskvärdering, samt tidigare kurser, värdera personsäkerheten vid händelse av brand i Varuhuset Femman. Arbetet syftar även till att öka författarnas ingenjörsmässighet och förmåga att bygga och analysera modeller.

1.2 Mål

Målet med denna rapport är att göra en brandteknisk riskvärdering av Varuhuset Femman. Utifrån de erhållna resultaten skall det fastställas om utrymning kan ske innan kritiska förhållanden i byggnaden uppnås. Förslag på förbättringar som skall eller bör genomföras för att uppnå en fullgod säkerhetsnivå tas fram.

1.3 Metod

Arbetet med denna rapport är utformat efter flödesschemat i figur 1. Inledningsvis studeras ritningar och tillgänglig information för att få en bild av objektet. Därefter genomförs ett platsbesök på Varuhuset Femman och i samråd med handledare, kontaktperson och fastighetsrepresentanter bestäms en grov plan för rapportens avgränsningar. Utifrån diskussioner under och efter platsbesöket tas en större mängd möjliga brandscenarier fram. Sedan konstrueras en riskmatris från vilken ett mindre antal värsta troliga scenarier väljs ut. För att kunna kontrollera att säker utrymning kan ske innan kritiska förhållanden uppstår tas dimensionerande bränder fram. Med hjälp av datorprogrammet FDS (Fire Dynamics Simulator) och handberäkningar studeras tiden till kritiska förhållanden med befintligt brandskydd. Utrymningstiden för de olika brandscenarierna beräknas sedan med hjälp av datorprogrammet Simulex. Utifrån resultat från de olika beräkningarna kontrolleras om utrymningstiden är kortare än tiden till kritiska förhållanden. I de fall då detta kriterium uppfylls och säker utrymning kan ske, anses brandskyddet vara tillfredställande. I övriga fall tas åtgärdsförslag fram, vilka verifieras genom nya beräkningar. För att hantera osäkerheter i indata kommer i vissa fall datorprogrammet @RISK att användas.



Figur 1. Flödesschema där den generella arbetsgången under rapporten åskådliggörs.

1.4 Skyddsmål

Efter litteraturstudier och besöket på Varuhuset Femman bestäms skyddsmålet till att tidsmarginalen för utrymning endast får bli negativ i 10 procent av simulerade utrymningar för den värsta troliga branden. Att 10 procent väljs beror på att det med osäkerheten i fördelningarna kommer vara en väldigt stor spridning i utfallen av simuleringarna. Angreppssättet motsvarar ett konfidensintervall på 90 procent, som ger ett resultat där de mest extrema värden får ett mindre genomslag. Detta innebär att det eftersträvas att ingen människa skall utrymma under kritiska förhållanden.

1.5 Avgränsningar

Då personsäkerheten ligger i fokus för denna rapport försummas ekonomiska aspekter och skador på miljön.

Då analysen endast behandlar det tidiga brandförloppet som är intressant ur utrymnings synpunkt kommer inte räddningstjänstens säkerhet att beaktas. För att kunna genomföra detta skulle det senare brandförloppet, och dess eventuella inverkan på konstruktionens bärighet, behöva analyseras. Detta anses inte genomförbart inom projektets tidsram.

Rapporten avgränsas även geometriskt, genom att enbart behandla brand på butiksplanen. Dock tas hänsyn till de övre kontorsplanens personal vid utrymningsberäkningar då gemensamma utrymningsvägar kan förekomma.

Gångstråken mellan de olika byggnaderna i Nordstan jämföras med att vara i det fria efter utrymning från Varuhuset Femman. Denna förenkling motiveras med att de är stora öppna volymer försedda med brandgasventilatorer. Förhållandena på gångstråken antas därför vara jämförbara med utomhusklimat trots brand i Varuhuset Femman. Antagandet motiveras även med att människors rörelser inne på gångstråken i Nordstan bör vara snarlikt människors rörelser på en gågata vid utrymning. Detta medför att sannolikheten för att en utrymning stoppas upp, till följd av att personer skapar trängsel precis utanför utrymningsvägarna, inte är mycket högre då utrymningsvägarna leder till gångstråken mellan byggnaderna i Nordstan än då utrymningsvägarna leder ut direkt i det fria.

1.6 Begränsningar

Projektets tidsram begränsar antal och storlek på simuleringar, val av dimensionerande brandscenarier samt övriga beräkningar. Vidare är det geografiska avståndet till objektet från projektgruppens säte en begränsning, då ytterligare besök på objektet är svåra att genomföra.

2 Objektsbeskrivning

Varuhuset Femman är en del av affärscentret Nordstan beläget i centrala Göteborg. Under 1960 togs ett beslut om att genomföra ett saneringsprojekt av stadsdelen Nordstan. Stadsplanen i området var från 1600-talet och ett flertal av fastigheterna från 1800-talet. Ett antal byggnadsentreprenörer och flera storbanker köpte upp stadsdelen och en ny stadsplan godkändes. De första delarna stod klara 1969 och Varuhuset Femman var färdigt 1972 (Nordstans Marknadsledning, 2010). Byggnaden ägs idag av fastighetsbolaget Hufvudstaden och har ett taxeringsvärde på 1 215 000 000 kr (Hufvudstaden, u.d.).

Varuhuset Femman är inte en helt fristående byggnad utan två av fasaderna är sammanbundna med övriga Nordstan genom att Postgatan och Nordstadstorget är inbyggda. Detta gör att man kan röra sig genom hela Nordstan utan att befinna sig utomhus.

Byggnaden består av 8 plan där plan 1-3 inrymmer affärer, plan 4-7 kontor och överst ett installationsplan. Plan 2 ligger i marknivå och plan 1 är därmed att se som en stor källare.

Varuhuset Femman är till stor del byggt i betong då stomme, bjälklag och fasad är utfört i detta material, i fasaden finns även inslag av glas. Bygganden uppfördes enligt brandskyddsbeskrivningen troligen i dåvarande brandtekniskklass Br1. Yttertakets består av koppar (Wallin, 2001).

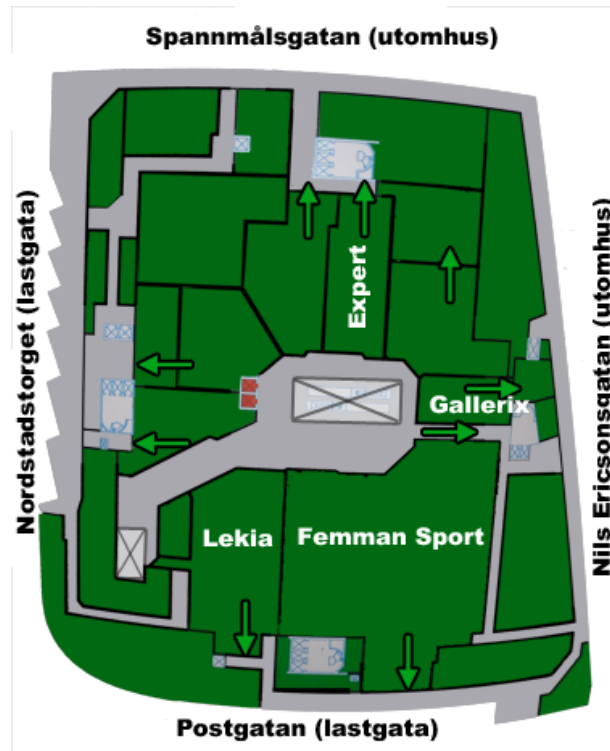
I dagsläget pågår det en renovering och tillbyggnad av Varuhuset Femmans kontorsplan som medför förändringar främst för de övre planen.

2.1 Verksamhet

Affärsplanen inhyser över 60 butiker och restauranger. På dessa plan erbjuds kläder, inredning, leksaker, sportartiklar, elektronik, musik och video med mera. Antalet besökande personer har vid befintlig dimensionering ansatts till 4386 personer (Wallin, 2001). Till många av affärerna finns det även en stor mängd lagerlokaler. De tre affärsplanen är sammanbundna genom ett atrium med rulltrappor i Varuhuset Femmans centrum.

2.2 Plan 1

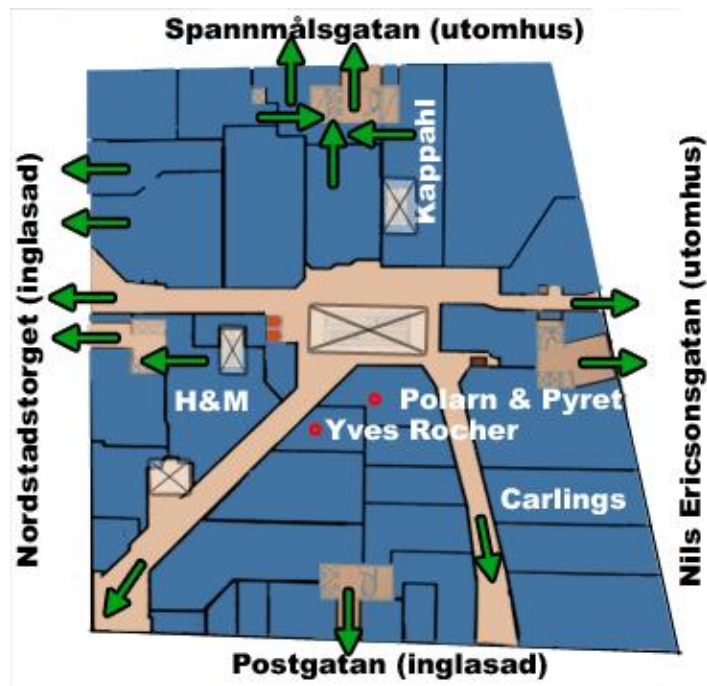
Plan 1 ligger under marknivå och är förbunden med en lastgång som löper runt byggnaden. Denna lastgång är förbunden med en lastgata som är gemensam för hela Nordstan och således förbinder hela kvarteret. Det är här de flesta leveranser till butikerna sker. Planet innehåller cirka 10 butiker och en stor del av planet utgörs av lager och utrymmen för anställda. Åtkomst till planet sker genom rulltrappan i atriets eller via trapporna vid Lekia som leder till plan 2. Figur 2 visar en översiktsbild över planet.



Figur 2. Översiktsbild plan 1. Gröna pilar visar utrymningsvägar. De två ljusa, kryssade rutorna visar öppningar till plan två.

2.3 Plan 2

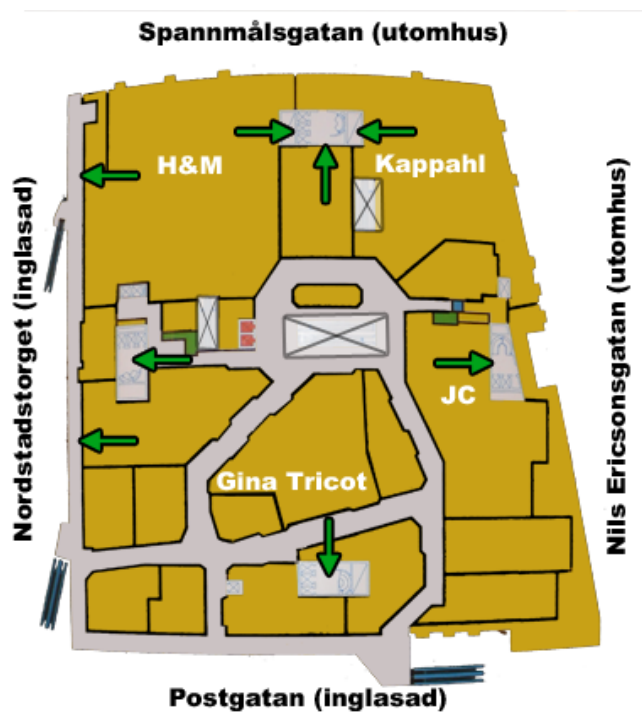
Plan 2 utgör byggnadens entréplan och är på två sidor förbundet med resterande delar av Nordstan. Planet innehåller cirka 30 butiker, två restauranger och en cafeteria, figur 3 nedan visar en översiktsbild. Till vissa av butikerna finns det lager- och kontorslokaler i direkt anslutning. Åtkomst till planet sker genom entréer från Nils Ericsonsgatan, Postgatan, Nordstadstorget samt en entré i korsningen Postgatan/Nordstadstorget.



Figur 3. Översiktsbild plan 2. Gröna pilar visar utrymningsvägar. De ljusa, kryssade rutorna i Kappahl och H&M visar öppningar till plan 3, de två andra ljusa, kryssade rutorna visar öppningar mot plan 1.

2.4 Plan 3

Plan 3 är det översta butiksplanet och innehåller ca 20 butiker samt två restauranger. Åtkomst till detta plan sker via rulltrappor från Nordstadstorget, Postgatan, ariet samt rulltrappor inom butikerna Kappahl och H&M. Figur 4 ger en översikt över planet.



Figur 4. Översiktsbild plan 3. Gröna pilar visar utrymningsvägar. De tre ljusa, kryssade rutorna visar öppningar till plan två.

2.5 Ventilation

I dagsläget utgör varuhusdelen en brandcell och de fyra trapphusen, som används för att komma till kontorsplanen samt till utrymning, är egna brandceller. Ventilationen på de tre affärsplanen utgörs av ett till- och frånluftssystem, där tilluften fördelas med ett stort antal don. Ventilationen i trapphusen är separerad från varuhusdelen och består av ett frånluftssystem. I samband med den pågående påbyggnaden av Varuhuset Femman byts all befintlig ventilation ut. Då rapporten endast behandlar varuhusdelen blir brandgasspridning mellan brandceller inte aktuellt och inga beräkningar genomförs på ventilationen.

3 Befintligt brandskydd

I kapitlet beskrivs det befintliga brandskyddet i Varuhuset Femman med reflektioner efter platsbesök. Både passiva och aktiva system presenteras och beskrivs.

3.1 Passiva system

De passiva systemen utgörs av byggnadstekniska lösningar. Informationen i detta avsnitt är huvudsakligen hämtad från brandskyddsbeskrivningen och är ej kontrollerad vid objektsbesök.

Det finns få brandceller i Varuhuset Femman då brandcellsgränser ut mot övriga fastigheter i Nordstan saknas. De tre affärsplanen nederst i Varuhuset Femman utgör en brandcell vilken skiljer varuhusdelen från lastgatan, där varutransporter och annan trafik förekommer, samt från kontorsplanen ovan. De fyra trapphusen vilka löper genom hela fastigheten och används som utrymningsvägar är egna brandceller. På plan 1 finns ytterligare två brandceller där miljöstationen med tillhörande soprum utgör en. Vidare utgör transformatorrummet, fläktrummet och tullverkets lokaler en brandcell (Wallin, 2001).

Byggnaden Varuhuset Femman är utförd i brandteknisk klass Br1. I varuhusdelen är ytskikt i tak utförda i klass I på tändskyddande beklädnad och väggarnas ytskikt är utförda i klass II. Ytskikten på golvet är utförda i klass G eller i obrännbart material. I utrymningsvägar är ytskikten på väggar och i tak utförda i klass I utanpå tändskyddande beklädnad eller obrännbart material, medan golven är utförda i lägst klass G eller i obrännbart material. Alla brandcellsgränser är utförda i lägst brandteknisk klass EI 60 och dörrar placerade i en brandcellsgräns är utförda i lägst motsvarande brandteknisk klass, med dörrstängare. Bjälklaget som skiljer kontorsplanen från affärsplanen är utförda i brandteknisk klass EI 90. Alla genomföringar i brandcellsgränser skall vara tätade med typgodkända material och vara utförda enligt de brandtätningmetoder som finns (Wallin, 2001).

Enligt *brandskyddsbeskrivningen* (Wallin, 2001) utläses att ventilationen utförs för att avsevärt försvåra brandspridning mellan brandceller. Kanaler är isolerade i gällande brandteknisk klass och inget brännbart material förekommer i ventilationsschakten. Mindre kök och pentry har separata imkanaler i lägst klass EI 15 och större kök i minst klass EI 60.

3.2 Aktiva system

Varuhuset Femman är utrustat med ett antal aktiva system, vilka beskrivs i detta kapitel.

3.2.1 Sprinkler

Hela varuhusdelen i Varuhuset Femman är försett med ett heltäckande sprinklersystem, vilket är utformat efter det vid installationstillfället gällande regelverket. Även lastgatan på bottenplanet, vilken används som utrymningsväg är försedd med sprinkler. Åldern och RTI-värdet på de sprinklerhuvuden som används i Varuhuset Femman varierar. Under platsbesöket kunde en handfull olika typer av sprinklerhuvuden identifieras och enligt brandskyddsbeskrivningen varierar dess RTI-värden mellan 50 för de nya och 300 för de äldre. Vid platsbesöket observerades de nyare sprinklerhuvudena huvudsakligen i butikerna. Sprinklercentralen är placerad i entréplanet (Wallin, 2001). Sprinklerbulbernas röda färg anger en aktiveringstemperatur på 68 °C (Jensen, 2002).

Restaurangernas fritöser, vilka utgör en förhöjd brandrisk, är försedda med punktskydd (Wallin, 2001).

3.2.2 Brand- och utrymningslarm

Då brandlarmet aktiveras, antingen av rökdetektor, sprinkleraktivering eller manuellt, larmas räddningstjänst samt vakt i byggnaden. Alla publika delar i Varuhuset Femman är försedda med talat utrymningslarm vilket aktiveras från brandlarmscentralen av vakt på plats. Dock måste det först konstateras om det är ett skarpt larm. I händelse av brand uppskattar vaktpersonal tiden från detektion till utrymningslarm till i bästa fall två minuter och i värsta fall fyra minuter. Scenario ”bästa fall” innebär att vakt finns i nära anslutning till brandlarmcentralen samt har en kollega som kontrollerar larmet. Scenario ”värsta fall” innebär att vakt finns i annan del av byggnaden och ej har kollega till hjälp. Femmanhuset har endast en vakt, men i händelse av till exempel brand assisterar vaktpersonal från andra delar av Nordstan.

Efter att vaktpersonalen blivit larmad kan ett förvarningslarm skickas ut till personalen i Varuhuset Femman, vilka kan förbereda sig och börja handla enligt den handlingsplan som finns. Detta gör att personalen är förberedd när utrymningssignalen och det talade utrymningsmeddelandet ljuder. För att garantera att utrymningslarmet hörs är den lägsta nivån lagd minst 10 dB högre än det högst förekommande bullret i lokalen. Ljudnivån kan variera mellan 65 och 115 dB. För att begränsa konsekvenserna av en ledningsskada är högtalarna indelade i flera högtalarkretsar och vid strömavbrott är anläggningens funktion säkrad i 60 minuter (Wallin, 2001). Det talade meddelandet är utformat enligt följande.

”Detta är ett viktigt meddelande. Varuhuset måste omedelbart utrymmas, gå mot utgång eller nödutgång. Följ personalens anvisningar, stanna inte i gångarna utan fortsatt ut ur Femman. Saknar du något barn eller anhörig så kontakta vakten vid respektive utgång. Vår personal svarar för att alla lämnar varuhuset.”

Varuhuset är beläget centralt i Göteborg och räddningstjänsten har en insatstid som understiger 10 minuter¹.

3.2.3 Brandgasventilation

I Varuhuset Femman är det endast trapphusen och hisschakten som är försedda med brandgasventilation. I trapphusen är brandgasventilationen utförd antingen som luckor i taket, vilka öppnas manuellt med en vajer från bottenplanet, eller i form av öppningsbara fönster på varje våningsplan. I hisschakten där rökluckor inte finns startar brandgasventilationen, som består av fläktar, vid rökdetektion (Wallin, 2001). Eftersom det inte finns någon brandgasventilation i övriga delar av Varuhuset Femman kommer brandgaserna att följa de gångar som mynnar ut till de inbyggda gångstråken utanför fastigheten på Postgatan respektive Nordstadstorget. Gångstråken, vilka står i förbindelse med andra fastigheter som ingår i köpcentret Nordstan, är försedda med brandgasventilation.

3.3 Utrymning

Objektet är överlag väldigt öppet och det finns ett stort antal utrymningsvägar från respektive plan, dessa utgörs av de gångstråk som leder genom köpcentret samt en rad mindre utrymningsvägar. Dessa gångstråk upplevs som naturliga utrymningsvägar och leder ut till Postgatan, Nordstadstorget eller via rulltrappor till övriga plan. Rulltrapporna stängs av vid brandlarm och fungerar därefter som vanliga trappor. De mindre utrymningsvägarna är framförallt belägna i butikernas bakkant och leder till antingen något av de fyra trapphusen eller via en utrymningsgång till lastgatan på plan 1.

¹ Brandingenjör/Civ.ing. Riskhantering Mattias Svanström, Räddningstjänsten Storgöteborg, e-post 2011-05-19

Från de fyra trapphusen, uppförda som egna brandceller, kan utrymning ske till entréplan eller upp till en avgränsad innergård på plan 4. Det förekommer vägledande markeringar in till trapphusen men väl inne i dem är det inte tydligt hur utrymning skall fortskrida. Trapphusen leder även till de ovanliggande planen med kontor. Vid utrymning av byggnaden kommer en del av den personal som befinner sig längre upp i byggnaden att utrymma genom trapphuset. Följaktligen förekommer gemensamma utrymningsvägar för kontorspersonal och personer i Varuhuset Femman.

Nödbelysning startar inom en minut efter strömbortfall. På den sämst belysta platsen uppgår belysningsstyrkan till minst 1 lux².

3.4 Observationer vid besök

Vid besöket uppfattades skyltningen för utrymning på flera platser som undermålig och i vissa fall rörig. Detta var som tydligast nere vid lastkajerna på lastgatan där man från en enda position kunde se skyltning mot flera utrymningsvägar och det var svårt att avgöra åt vilket håll man borde gå. De vägledande skyltarna var efterlysningsvärda medan de som markerade utrymningsväg i de flesta fall var genomlysta med dioder i ovankant. Det var även inkonsekvent markering inne i trapphusen, i vissa fall fanns vägledande markering men i andra fall inte. Enligt vaktpersonal på plats kan utrymning ske till innergården på plan 4, skyltningen upplevdes dock som undermålig.

Gångarna mellan butikerna på de olika planen uppfattas som tillräckligt breda för att tillfredställande utrymning skall kunna ske. Det bör dock sägas att vissa utrymningsdörrar genom butikernas lager upplevdes som smala. Kontrollmätningar av dörrbredder genomfördes på Lekia och Expert. Resultatet blev 92 cm för Lekias lagerdörr och 82cm för Experts lagerdörr. Inne på Lekia var utrymningsdörren delvis blockerad av två stycken trappstegar. En del av butikernas bakre utrymningsvägar leder genom lager, vilket kan innebära problem. Lagret kan innehålla en stor mängd materiel som skymmer sikten och döljer vägledande skyltar. Materiel kan även vara placerat i gångarna så att dessa delvis blockeras. Det finns i en del fall brister i vägledande markering ovanför de bakre utrymningsvägarna.

Sprinklersystemet uppfattas som heltäckande genom hela byggnaden, dock finns det många olika typer av sprinklerhuvuden med olika RTI. Placeringen av gamla och nya sprinklerhuvuden uppfattades som slumpmässig men i butikerna dominerade de nya. Systemets utformning i Kappahls butik kan ifrågasättas då vissa sprinklers var täckta av balkar och undertak. I butiken fanns det på vissa platser sprinklerhuvuden både under och ovan innetaket.

På plan 1 observerades en utrymningsdörr som inte går att öppna utan personalens hjälp.

3.5 Undersökning av personalens brandskyddskunskaper

Vid besök på objektet delas enkäter ut till personalen i Varuhuset Femmans butiker. Syftet med detta är att få en uppfattning om butikspersonalens kunskaper angående brandskydd och utrymning, samt undersöka om det finns skillnader i dessa kunskaper mellan personal som är fast respektive icke-fast anställd. Fastighetsägaren Hufvudstaden genomför kontinuerligt utrymningsövningar samt ger brandskyddsutbildning till butikscheferna. Butikscheferna vidarebefordrar sedan kunskaperna till sin personal, varför intresse finns att studera ifall dessa implementeras på ett tillfredställande sätt. Eftersom butikspersonalen regelbundet vistas i lokalerna är deras svar och kommentarer mycket värdefulla i syfte att belysa eventuella problemområden som bör studeras närmare.

Totalt samlades 46 enkäter in, varav 14 icke fast anställda och 32 fast anställda, från cirka 30 olika butiker. Enkätens utformning, samt mer ingående resultat, redovisas i bilaga A.

² Matti Virta, Hufvudstaden, e-post 2011-03-04

3.5.1 Resultat

- 75 % av fast anställda och 36 % av icke fast anställda anger att de, genom sitt företag, genomgått någon form av brandskyddsutbildning.
- 84 % av fast anställda och 86 % av icke fast anställda anger att det finns fasta rutiner för anställda vid brandlarm
- 75 % av fast anställda och 57 % av icke fast anställda anger att det genomförs utrymningsövningar regelbundet (9 % respektive 29 % svarade vet ej).
- 100 % av fast anställda och 100 % av icke fast anställda anger att de vet var deras närmaste utrymningsvägar finns.
- 94 % av fast anställda och 79 % av icke fast anställda anger att de vet var släckutrustning finns.
- 62 % av fast anställda och 57 % av icke fast anställda anger att de känner sig bekväma med hantering av släckutrustning.
- 26 % av fast anställda och 15 % av icke fast anställda anger att de vet hur brandlarmet startas manuellt.

Den sista punkten, som belyser hur liten andel av de anställda som vet hur brandlarmet startas manuellt, sticker ut väldigt mycket och är synnerligen anmärkningsvärd. Det skall dock tilläggas att manuell aktivering inte är möjlig i samtliga utrymmen och detta skulle kunna vara en bidragande faktor till det låga resultatet.

4 Brandförlopps- och utrymningsteori

Säker utrymning av Varuhuset Femman innebär att utrymningstiden måste vara kortare än den tid det tar till kritiska förhållanden uppstår. Dessa begrepp och bakomliggande teori förklaras i detta kapitel.

4.1 Brandförlopp

Ett brandförlopp kan delas in i tre huvudsakliga faser; tillväxt, fullt utvecklade och avsvälning. Under tillväxtfasen ökar brandens effekt för att sedan bli konstant under den fullt utvecklade fasen och sedan minska under avsvälningfasen (Karlsson & Quintiere, 2000).

Den ökande effekten beror huvudsakligen på att branden sprider sig och involverar mer bränsle i förbränningen. Beroende på bränslets sammansättning frigörs olika energimängder, giftiga ämnen och brandgaser (Drysdale, 1998).

Tillväxtfasen hos en brand är i princip alltid accelererande och brandens tillväxthastighet beror, förutom på syretillgång, huvudsakligen på bränslets sammansättning. Ett enkelt sätt att beskriva detta är med hjälp av en αt^2 -kurva, där branden har en kvadratisk tillväxt. Olika bränslen har olika tillväxthastigheter, så kallade alfavärden, som generellt sett varierar från *slow* med alfavärdet 0,003 kW/s^2 till *ultra fast* med alfavärdet 0,19 kW/s^2 . Både högre och lägre värden förekommer, dock ligger merparten i detta intervall (Karlsson & Quintiere, 2000). Då allt brännbart material i ett rum involveras i branden uppnås övertändning. I detta skede är effektgradienten som störst, varpå branden blir fullt utvecklade.

Syre- och bränsletillgången styr även hur stor branden kan bli, det vill säga den maximalt utvecklade effekten. Branden sägs ofta vara fullt utvecklade då potentiell maximal effekt är uppnådd. Om syret begränsar effekten är branden ventilationskontrollerad, om bränslet begränsar effekten är den bränslekontrollerad. Vid låg syretillgång är risken för att giftiga ämnen, till exempel kolmonoxid, frigörs oftast större än då den är bränslekontrollerad (Karlsson & Quintiere, 2000).

Vid användande av ett sprinklersystem kan en brands effektutveckling begränsas. Enligt Staffansson (2010) kommer en brand som understiger 5 MW vid sprinkleraktivering bibehålla den uppnådda effekten i en minut, för att sedan sänka den till en tredjedel. Då effekten överstiger 5 MW vid sprinkleraktivering erhålls en konstant effektutveckling under det resterande brandförloppet. Ett mer konservativt synsätt är att låta effekten vara konstant efter sprinkleraktivering, oavsett effekt vid tidpunkten.

Då bränslet börjar ta slut och effekten sjunker sägs branden vara inne i avsvälningfasen.

4.2 Utrymning

Kravet enligt Boverket (2008) är att byggnaden skall utformas så att utrymning kan ske på ett tillfredställande sätt vid brand. Detta innebär att de personer som vistas i lokalen skall kunna uppfatta att det brinner och på ett säkert sätt kunna ta sig ut ur byggnaden. För att uppfylla detta krav skall det finnas utrymningsvägar, vilka leder direkt ut i det fria. Dessa skall vara utformade med tanke på framkomlighet och gångavstånd till och i utrymningsvägen.

För utrymningsdimensionering finns det enligt Boverkets Byggregler (BBR) två alternativ, förenklade eller analytisk dimensionering. Förenklade dimensionering innebär att man följer alla de krav som ställs i reglerna. Den analytiska dimensioneringen används när man behöver göra avsteg ifrån dessa krav eller när den förenklade dimensionering inte är lämplig. Faktorer som gör att en analytisk

dimensionering krävs beror på byggnadens utformning och funktionskrav, till exempel när det finns flera våningar i samma brandcell (Brandteknik, 2005).

De grundkrav som finns enligt BBR är att det skall finnas två av varandra oberoende utrymningsvägar från lokaler där personer vistas mer än tillfälligt. Dörrar till utrymningsvägar skall vara lättidentifierbara och bör vara lättöppnade, avvika i färg och form från övrig inredning samt vara olåsta. Det sistnämnda innebär att dörren skall vara försedd med ett lättmanövrerat trycke (Boverket, 2008). I samlingslokaler, som Varuhuset Femman, bör dörrarna vara försedda med panikreglar.

4.2.1 Kritiska förhållanden

Kravet att utrymning skall ske på ett tillfredställande sätt medför vid analytisk dimensionering att utrymningen skall vara avslutad innan kritiska förhållanden uppstått i lokalen. Parametrar som definierar kritiska förhållanden, och som bör tas i beaktande är temperatur, strålning, brandgaslagrets höjd, sikt och toxicitet. Vidare skall gångavstånden till en utrymningsväg inom en brandcell inte vara längre än att det går att utrymma innan kritiska förhållanden uppstår (Brandteknik, 2005).

Nedan återges de gränsvärden som enligt *Brandskyddshandboken* (Brandteknik, 2005) definierar kritiska förhållanden.

- **Temperatur:** Personer som utrymmer bör inte utsättas för en temperatur på över 80° C.
- **Strålning:** Maximal strålningsintensitet på 2,5 kW/m², vilket är den intensitet som personer kan uthärda under cirka tio minuter. Alternativt används att personer under utrymning maximalt bör utsättas för en strålningsenergi på 60 kJ/m² utöver energin från strålning på 1 kW/m².
- **Brandgaslagrets höjd:** Får som lägst vara 1,6 + 0,1·H meter över golvet, där H är rumshöjden. Detta för att personer skall kunna orientera sig och inte hindras eller påverkas av brandgaserna under utrymningsförloppet.
- **Sikt:** Siktsträcka på minst 10 meter i okänd miljö, såsom varuhus, och minst 5 meter i brandrummet. Gränserna är satta för att personer under utrymning skall ha fullgod orienteringsförmåga under hela förloppet.
- **Toxicitet:** Personer skall inte utsättas för skadliga doser av giftiga gaser eller för låg syrehalt vid utrymning. Det anses tillräckligt att beakta gaserna kolmonoxid, koldioxid och syrgas. Utrymning kan ske säkert då koncentrationerna är:

CO < 0,2 volymprocent

CO₂ < 5 volymprocent

O₂ > 15 volymprocent

Även innan dessa halter uppnås kan gaserna påverka individens utrymningstid negativt (Brandteknik, 2005).

Det bör tilläggas att utrymning möjligen kan fortgå trots att kriteriet för brandgaslagrets höjd uppnåtts, förutsatt att kriterierna för de övriga parametrarna inte uppnåtts (Brandteknik, 2005).

4.2.2 Tid för utrymning

För att kunna dra några slutsatser om utrymningssäkerheten utifrån analytisk dimensionering jämförs tiden till kritiska förhållanden uppstår med den tid utrymningen tar. Utrymningstiden består av tre komponenter som beskriver personers agerande vid en utrymningsituation: varseblivnings-, förberedelse- och förflyttningstid (Brandteknik, 2005).

Varseblivningstiden är den tid det tar för en person att uppfatta att någonting inträffat. Tiden styrs av huruvida personen ser branden eller inte, men också om det finns ett automatiskt brandlarm. Om automatiskt brandlarm finns kan detektionstiden användas som varseblivningstid. När det, som på Varuhuset Femman, används larmlagring för att fördröja utrymningslarmet bör fördröjningstiden tas med i beräkningarna (Brandteknik, 2005).

Den tid det tar från att personer blivit varse branden tills de bestämmer sig för att utrymma benämns förberedelsetid. Förberedelsetiden är oftast längst och svårast att bestämma. Den innefattar bland annat att lyssna på utrymningslarmet, hjälpa andra samt att försöka bekämpa branden. Det har visat sig att ett talat meddelande sänker förberedelsetiden då det hjälper personer att snabbare fatta ett beslut om utrymning (Frantzich, 2001). Det särskiljs mellan enkelt talat meddelande och informativt talat meddelande, där det senare är att betrakta som mer effektivt. Den huvudsakliga skillnaden mellan informativa och enkla meddelanden är mängden information angående händelsen samt utrymningsanvisningar som den utrymmande individen erhåller (Brandteknik, 2005). Andra faktorer som kan påverka förberedelsetiden är hur lättorienterad lokalen är med avseende på placering av utrymnings skyltar, belysning och placering av dörrar till utrymningsvägar. Något som kan sänka förberedelsetiden är att personalen på plats är utbildad och därmed hjälper till vid utrymning. Detta ställer dock krav på att personalen skall ha återkommande utbildning och övning (Brandteknik, 2005).

Förflyttningstiden är den tid det tar för personer att ta sig ut ur lokalen. Tiden påverkas till exempel av faktorer såsom personernas fördelning i lokalen, deras förmåga att förflytta sig och eventuella hjälpbehov. Det finns även flera faktorer som påverkar gånghastigheten hos personerna, bland annat belysning, persontäthet och andra hjälpmedel såsom utrymnings skyltar (Brandteknik, 2005).

Tidsmarginalen som finns tillgänglig för utrymning kan då beräknas enligt ekvation 1.

$$Tidsmarginal = t_{kritisk} - t_{varseblivning} - t_{förberedelse} - t_{förflyttning} \quad \text{Ekvation 1}$$

4.2.3 Människors beteende vid brand

Utrymning till följd av en brand är något som är okänt för de flesta och förloppet genomförs under en ökande grad av stress. Det går att dela in faktorerna som påverkar utrymningsförloppet i tre delar; byggnaden, personerna i byggnaden och brandens påverkan (Brandteknik, 2005).

Antalet personer, deras placering i byggnaden och deras rörelseförmåga påverkar såklart utrymningstiden, men det finns även andra faktorer som kan vara viktiga att ta hänsyn till. Sociala relationer, roll- och ansvarsfördelning, motivation att utrymma och kännedom om byggnaden är exempel på sådana faktorer. Utrymning sker vanligtvis i grupp, framförallt om personerna känner varandra i förväg. Grupp beteende kan i vissa fall leda till snabbare beslutsfattande, men inte alltid. I lokaler där det vistas människor utan social koppling till varandra kan förberedelsetiden förlängas då individen känner tveksamhet att själv inleda utrymning (Brandteknik, 2005).

Om personal, till exempel i ett varuhus, har utbildning och förmåga att fatta beslut om utrymning upplevs de av besökarna som formella ledare och utrymningstiden förkortas. Personer som får tydliga signaler om utrymning kan vara obenäpna att avsluta aktiviteter såsom att stå i kön till kassan, gå ifrån sin mat på restaurang eller andra aktiviteter där tid och pengar investerats. Vid val av utrymningsväg är det av betydelse hur väl personen känner till byggnaden. I en okänd lokal tenderar valet av utrymningsväg att vara samma väg som personen kom in igenom. Personen som innehar den ledande rollen i gruppen har stora möjligheter att styra gruppen mot närmsta utrymningsväg. Om personal i till exempel varuhus öppnar upp dörrar till utrymningsvägar kan personer i högre grad använda okända vägar ut från lokalen (Brandteknik, 2005).

Komplexa och svåröverskådliga byggnader där utgångar inte är direkt synliga kan göra att det tar längre tid till beslut om utrymning. Vägledande markeringar är av stor vikt för att minska missförstånd vid utrymning. Skyltar bör placeras där de är synliga från flera olika platser och inte försvinner i övrigt informationsflöde. Belysta och på annat sätt markerade skyltar är att föredra då de är enklare att upptäcka på håll (Brandteknik, 2005).

5 Datormodeller

För att analytiskt kunna utreda om säker utrymning kan ske används ett antal olika datormodeller. De datormodeller som används i denna rapport är Detact QS, FDS, CFAST, Simulex samt @RISK. I detta avsnitt redogörs för den bakomliggande teorin.

5.1 Detact QS

Sprinkler- och detektoraktiveringstid beräknas med mjukvaran Detact QS. Begränsningar i programmet är att det inte tar hänsyn till en uppbyggnad av brandgaslager och att detektorn är placerad på ett plant horisontellt tak utan hinder för takströmmen. Vidare antas att takströmmens hastighet och temperatur är som högst vid detektorns placering. Mjukvaran tar heller ingen hänsyn till gasernas transporttid och eventuell ventilation (Martínez de Aragón, Rey, & Chica, u.d.). Brandens effektkurva, avståndet i höjdlängd mellan detektor och bränsle samt det radiella avståndet mellan plymen och detektorn matas in i programmet. Ett RTI-värde för detektorn anges också för att ta hänsyn till detektorns termiska tröghet. Resultat som fås är gastemperatur vid taket och detektorns temperatur, båda som funktion av tiden, samt tid till aktivering (NIST, 2006).

5.2 FDS

För att beräkna spridning av brandgaser, toxiska ämnen samt värmeöverföring vid brand i Varuhuset Femman, används *Fire Dynamics Simulator* (FDS). FDS är ett icke-kommersiellt program utvecklat av *National Institute of Standards and Technology* (NIST). Programmet utnyttjar Navier-Stokes ekvationer för massa, energi, kemisk sammansättning och rörelsemängd. Ett utrymme delas in i celler fördelat på en eller flera *mesher*, sedan beräknas transporten mellan cellerna simultant (Floyd, Hostikka, McDermott, & McGrattan, 2010).

Många kommersiella motsvarigheter till FDS har möjlighet att använda *mesher* med icke-vinkelräta celler, medan FDS enbart använder vinkelräta celler. Detta är en nackdel då valet av cellstorlek kan bli komplicerat för att tillfredsställande kunna representera icke-vinkelräta geometrier. Antalet celler avgör hur exakt en geometri framställs, samt med vilken precision resultatet erhålls. Fler celler innebär ökad noggrannhet. Val av cellstorlek och därmed även antal är mycket viktigt vid en FDS-simulering, då simuleringstiden ökar vid ett ökat antal celler. På grund av detta bör en analys utföras för att se hur *meshen* skall väljas för att få noggranna resultat på ett så tidseffektivt sätt som möjligt. Förhållandet mellan den dimensionslösa diametern, D^* , som beräknas enligt ekvation 2, och den nominella cellstorleken, δx , bör ligga i intervallet 4 till 16 för att erhålla goda resultat (Floyd, Hostikka, McDermott, & McGrattan, 2010).

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

$$4 \leq \frac{D^*}{\delta x} \leq 16$$

Det är viktigt att inse att även om ett utrymme är fritt från föremål måste cellerna vara tillräckligt små för att resultaten skall bli korrekta. Det är alltså inte enbart vid väggar och andra föremål som *meshen* måste väljas omsorgsfullt.

En viktig aspekt i samband med FDS-simuleringar är att de bygger på förenklade modeller av verkligheten, och resultat får aldrig misstas för en sann bild av verkligheten. Modellen innehåller förenklingar och ibland direkta fel men en väldigt avgörande faktor är hur programmet används.

Användaren måste göra en stor mängd aktiva val och beroende på dem kommer resultatet bli mer eller mindre sanningsenligt.

Ytterligare en begränsning är att den sikt som FDS räknar ut gäller i en specifik punkt³. Sikten i en punkt kan anges som över 10 meter, när det exempelvis 1 meter längre bort kan finnas så pass mörk och tjock rök att sikten i praktiken endast är 1 meter. Detta gör att vid bedömning av sikten bör man använda så kallade *slice files*, som presenterar sikten grafiskt i ett givet plan. Detta medför osäkerheter och ställer stora krav på användarens analytiska färdigheter för att korrekt information skall utläsas.

5.3 CFAST

Programvaran CFAST används för att validera och kontrollera de resultat som fås från FDS-simuleringarna. Detta kan endast göras mot brandrummen i de olika scenarierna på grund av programmets begränsningar.

CFAST använder en tvåzonsmodell som bygger på energins och massans bevarande samt ideala gaslagen. Programmet används bland annat för att beräkna temperaturen i brandgaslagret, samt brandgaslagrets höjd. Tvåzonsmodellen är främst giltigt för kubiska geometrier (Martínez de Aragón, Rey, & Chica, u.d.). Temperaturen i brandgaslagret överskattas ofta i beräkningarna, vilket måste tas hänsyn till vid jämförelser mellan de olika modellerna (Brandteknik, 2005). Precis som i FDS är CFAST resultaten beroende av vilket bränsle som används. Resultaten beror på mängden frigjord energi och förhållandet mellan produkterna som bildas vid förbränningen (Peacock & al, 2008).

5.4 Simulex

För att beräkna förflyttningstiden vid brand används datorprogrammet Simulex, vilket simulerar utrymningen och anger den totala tiden det tar tills alla personer är ute ur byggnaden. Programmet visar utrymningsprocessen grafiskt på de CAD-ritningar över objektet som användaren lagt in. Programmet beräknar avståndet till varje dörr, från alla punkter i rummet, så kallade avståndskartor. Personerna rör sig enligt dessa avståndskartor och går mot närmaste utgång om inget annat definieras. Det går att använda flera avståndskartor per simulering, vilket ger användaren möjlighet att definiera vilka dörrar som skall vara tillgängliga för olika personer beroende på var i byggnaden den tänkta branden är placerad.

För att få simuleringen så lik verkligheten som möjligt kan användaren välja vilken typ av grupp personerna skall tillhöra och gruppen tilldelas då personegenskaper så som gånghastighet, personstorlek och så vidare. Exempelvis finns grupper som beskriver egenskaperna för varuhusbesökare, kontorspersonal och personer i skolmiljö. Användaren har även möjlighet att definiera egna grupper genom att modifiera gånghastighet, personstorlek och förberedelsestid. Gånghastighet beror på avstånd till framförvarande person och maximal gånghastighet, när avståndet till framförvarande person minskar så sänks gånghastigheten. Gånghastigheten går att definiera av användaren, men görs inte detta kommer hastigheten slumpmässigt att väljas i ett grupp-specifikt intervall. För att beakta trappor där gånghastigheten är lägre används en given andel av gånghastigheten på plan mark. När personer går ner för trappor används 0,5 och när de går upp för trappor används 0,35 av gånghastigheten på plan mark.

Det finns en del negativa sidor i Simulex och dessa bör användaren vara medveten om när resultatet studeras och används. Programmet tar inte hänsyn till lös inredning och byggnadsdelar om de inte är definierade i CAD ritningarna, vilket kan ge en betydligt kortare utrymningstid än i verkligheten.

³ Dr. Philip A. Rubini, Lunds tekniska högskola, föreläsning, 2011-03-18

Vidare tas ingen hänsyn till hur människor påverkar varandra i pressade situationer. Personerna går alltid vinkelrätt mot avståndskartorna, det vill säga närmaste vägen till en dörr. Detta kan leda till att kö bildas när hörn skall rundas eftersom personerna inte går ut i bredd och går förbi varandra. Ett sätt att förhindra detta är att sätta ut tunna väggar med lagom mellanrum vid hörnen så att personerna kan välja att gå mellan dessa (Frantzich, 1998).

5.5 @RISK

@RISK är ett tillägsprogram för Excel, som hjälper användaren att skatta risken för en händelse genom att beräkna sannolikheter och göra känslighetsanalyser. Genom att definiera en funktion där variablerna tilldelas fördelningar, blir även resultatet olika typer av fördelningar med standardavvikelse och korrelationskoefficienter (Palisade Corporation, 2010).

6 Brandscenarier

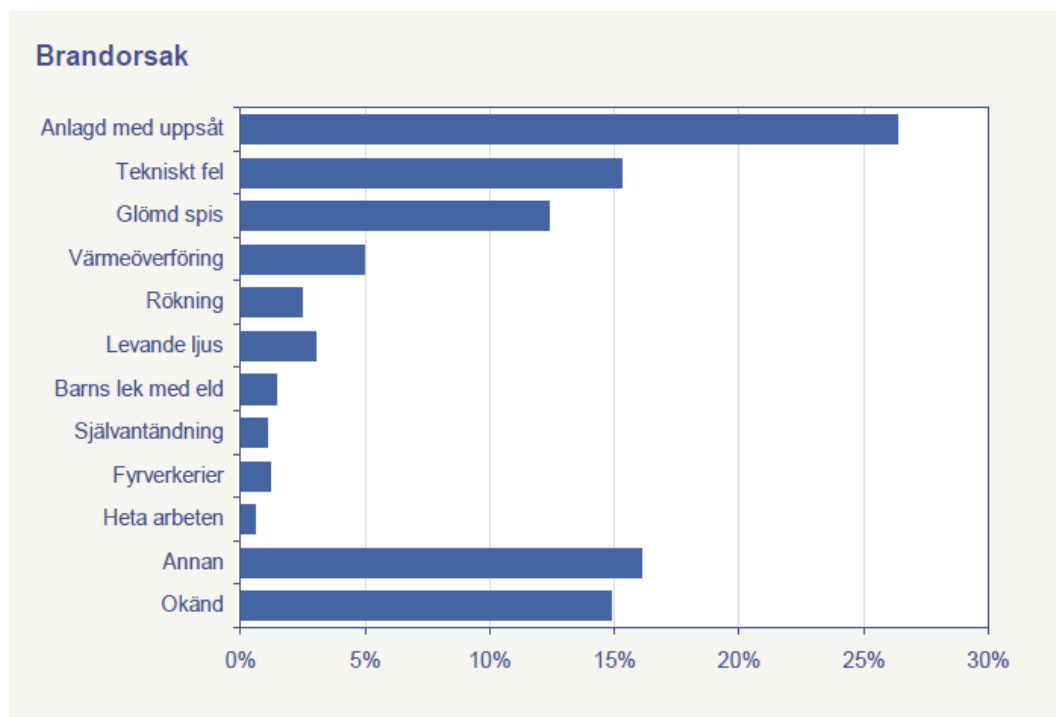
Det finns en stor mängd olika tänkbara brandscenarier i Varuhuset Femman. För att identifiera, kategorisera och värdera dem kan olika tillvägagångssätt användas. Projektgruppen har valt att inledningsvis arbeta med en så kallad grovanalys, för att ta fram representativa brandscenarier för objektet. Utifrån diskussion kring givna förutsättningar tas ett antal tänkbara scenarier fram. För att sedan kunna arbeta vidare med de värsta troliga scenarierna skattas sannolikhet och konsekvens för respektive scenario.

Inledningsvis definieras större övergripande scenarier, eftersom brandscenarierna i många butiker skulle bli likvärdiga. Inom respektive övergripande scenario tas förslag fram på butiker eller platser vilka förväntas ge det värsta troliga scenariot och samtidigt är representativt för gruppen. De parametrar som huvudsakligen tas i beaktande vid val av brandscenario och skattning av risk är brandbelastning, brand- och brandgasspridning, antändningsmöjligheter, lättantändlighet, placering samt antal berörda personer.

För respektive scenario skattas sannolikhet och konsekvens på en inbördes skala från 1 till 5, där 1 innebär liten sannolikhet respektive konsekvens och 5 innebär stor sannolikhet respektive konsekvens. Sannolikheten anger hur troligt det är att en brand skall starta för respektive scenario.

Konsekvensskalan är kopplad till hur utrymningen påverkas av en brand. En hög skattning av konsekvens kan antingen innebära att utrymningsmöjligheten för ett stort antal individer påverkas eller att en större påverkan drabbar ett litet antal individer.

Skattningen av sannolikhet är framtagen dels genom diskussion inom gruppen och dels utifrån tillgänglig statistik. Under 2009 har Sveriges räddningstjänster rapporterat 2200 bränder i allmänna byggnader. Den största andelen av dessa bränder, är anlagda med uppsåt, näst störst andel beror på tekniskt fel medan den tredje största enskilda brandorsaken är glömd spis, se figur 5 (MSB, 2009).



Figur 5. Fördelningen för utvalda brandorsaker gällande bränder i allmänna byggnader under 2009 (MSB, 2009).

Konsekvensen är framförallt skattad utifrån resonemang, dock tas hänsyn till statistik som berör besökares fördelning inom ett köpcentrum. Detta anses vara en viktig parameter eftersom persontäthet kan ha stor påverkan på konsekvensen. Antal besökare i varuhus tenderar att vara enskilt störst i restauranger och caféer, tätt följt av damavdelningar, skobutiker och underklädesbutiker. Fördelningen presenteras i tabell 1 och det höga antalet på damavdelningarna kan förklaras med att skillnaden i könsfördelning i ett köpcenter kan vara så stor som 86 procent kvinnor mot 14 procent män (Shields & Boyce, 2000).

Tabell 1. Fördelningar över personers val av butik i varuhus (Shields & Boyce, 2000).

Avdelning	Fördelning av personer [%]
Restauranger och caféer	30 - 50
Damavdelningar	20 - 30
Underklädesbutiker	5 - 12
Skobutiker	4 - 11
Samtliga övriga butiker	<15

6.1 Tänkbara brandscenarier

Nedan följer en kvalitativ beskrivning av några tänkbara brandscenarier.

A. Brand i butik på plan 1

En brand startar i någon av butikerna på plan 1. En brand här kan få stora konsekvenser eftersom brandgaserna med stor sannolikhet sprids till samtliga plan. Brandgasspridningen underlättas då butikerna på plan 1 har en öppning mellan taket och de väggar som vetter ut mot rulltrapporna. När brandgaserna sprider sig ut mot atriet påverkas först rulltrapporna i mitten, som kan bli obrukbara, varpå övriga plan kommer att påverkas. De mest intressanta butikerna på plan 1 anses vara Femman Sport, Lekia och Expert. Femman sport är intressant eftersom butiken är väldigt stor och har hög brandbelastning i form av kläder samt annan utrustning i tyg- och trämaterial. Lekia anses intressant då de har en stor mängd artiklar på liten yta. Expert bedöms ha relativt låg brandbelastning, men bör beaktas då en större mängd tändkällor kan identifieras.

B. Brand i butik på plan 2

En brand startar i någon av butikerna på plan 2. En brand på plan 2 påverkar framförallt eget plan, plan 3 och rulltrappan däremellan. Intressanta butiker på det här planet kan vara Polarn & Pyret, H&M, Kappahl och Carlings. De stora klädesbutikerna H&M, Kappahl och Carlings har alla stor brandbelastning vilket skulle kunna leda till en potentiellt hög effektutveckling och brandgasproduktion. Även butiken Polarn & Pyret har relativt stor brandbelastning, och ligger dessutom i anslutning till två större utrymningsgångar vilket kan medföra större konsekvenser.

C. Brand i butik på plan 3

En brand i någon av butikerna på plan 3 medför konsekvenser främst för det egna planet. Relativt låg takhöjd i kombination med avsaknad av vertikal bortförsl av brandgaser kan leda till försvårad utrymning. Intressanta butiker är även här butiker med stor brandbelastning såsom Gina Tricot, Kappahl eller JC. Butiken Gina Tricot angränsar till flera av planets utrymningsvägar, som därmed kan bli obrukbara vid brand.

D. Brand som blockerar större utrymningsväg

En brand i direkt anslutning till en större utrymningsgång på något av planen kan leda till att denna blir obrukbar. Detta scenario kan tänkas uppstå om en brand startar inne i en butik, och brandgasspridning sker till utrymningsgången. Brand i någon form av monter eller inredning i själva utrymningsgången kan vara en annan orsak till detta scenario. I hörnan ut mot Nordstadstorget/Postgatan på plan 2 finns en monter där butikerna kan ställa ut reklamobjekt. Vid besöket var montern fylld med en stor mängd kuddar.

E. Brand i öppning till butik med smal bakre utrymningsväg

En brand vid huvudingången till en butik medför att merparten av personerna i butiken måste utrymma genom en bakre utrymningsväg. I en del fall är de bakre utrymningsvägarna svåra att identifiera, vilket kan medföra stora konsekvenser vid snabb brandtillväxt. Ett exempel på en sådan butik är Expert, där den bakre utrymningsvägen är 82 cm bred.

F. Brand i lager bakom butik

I de flesta fall är det mycket folk i omlopp på köpcentret vilket innebär att en brand kan upptäckas i ett tidigt skede. Ett undantag från detta skulle kunna vara då en brand startar i ett bakomliggande lager där det endast tillfälligt vistas människor. Detta medför en ökad risk för obehindrad brandtillväxt med efterföljande brand- och brandgasspridning. Ett exempel på detta är Femman sport som har lager med stor brandbelastning, i direkt anslutning till butiken.

G. Brand i restaurang i centrum av Varuhuset Femman

På plan 2 ligger caféet Le Croissant med serveringsdel på torget i anslutning till atriet. Ett tänkbart scenario är en brand som startar i köksavdelningen och sprids ut till serveringen. Enligt statistik är brand på grund av glömd spis en vanlig brandorsak. Le Croissant är i första hand ett café där tillagning av mat inte sker i samma omfattning som på andra restauranger. Sannolikheten att brand uppstår anses därför vara lägre. Konsekvensen anses vara måttlig då kökspersonal antas vara närvarande och medvetna om de brandrisker som finns i ett kök. Vidare anses brandbelastningen vara något lägre i ett kök, där en stor del utrustning och inredning består av obrännbara material.

H. Brand i restaurang eller butik med entré mot Nordstadstorget/Postgatan

En del av butikerna och restaurangerna i Varuhuset Femman har endast entré ut mot Nordstadstorget eller Postgatan. Enligt projektets avgränsningar betraktas Nordstadstorget och Postgatan som att vara i det fria, vilket innebär att en brand i butikerna och restaurangerna endast påverkar den egna lokalen. Ut mot Nordstadstorget finns restauranger/barer där brand i köket är ett tänkbart scenario. Restaurangerna anses vara representativa även för butikslokaler med motsvarande placering, då sannolikheten för brand antas vara högre. Konsekvensen av en brand i en lokal med denna placering anses vara lägre än i övriga delar av varuhuset Femman, då endast den berörda lokalen påverkas samt att utrymning sker direkt till det fria.

I. Brand i butik som renoveras

En del butiker renoveras och byggs om vilket gör att de får en tillfälligt förhöjd brandrisk till följd av exempelvis heta arbeten, potentiella tekniska fel och liknande. Att en brand startar vid ombyggnation anses mer sannolikt än när butiken är i normal drift. I de butiker som byggs om är dock persontätheten relativt låg, vilket leder till en lägre konsekvens. En butik som renoverades vid besöket var Yves Rocher.

J. Brand i rulltrappa

En brand startar på grund av ett elektriskt fel i en rulltrappa. Om detta sker i en av de stora trapporna i atriet får det konsekvenser som påverkar flera plan. Brandbelastningen anses vara liten och tändkällorna få, vilket leder till lågt skattad konsekvens och sannolikhet.

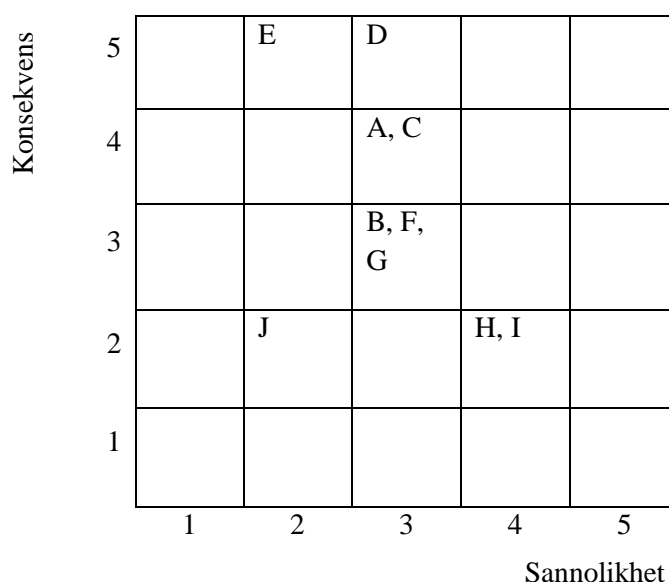
Sannolikheten och konsekvensen för de olika scenarierna presenteras i tabell 2.

Tabell 2. Brandscenarier med skattade sannolikheter och konsekvenser.

Brandscenario	Konsekvens	Sannolikhet	Produkt
A: Brand i butik på plan 1	4	3	12
B: Brand i butik på plan 2	3	3	9
C: Brand i butik på plan 3	4	3	12
D: Brand som blockerar större utrymningsväg	5	3	15
E: Brand i öppning till butik med smal bakre	5	2	10
F: Brand i lager bakom butik	3	3	9
G: Brand i restaurang i centrum av Varuhuset Femman	3	3	9
H: Brand i restaurang, angränsande Nordstadstorget/Postgatan	2	4	8
I: Brand i butik som byggs om	2	4	8
J: Brand i rulltrappa	2	2	4

6.2 Dimensionerande brandscenarier

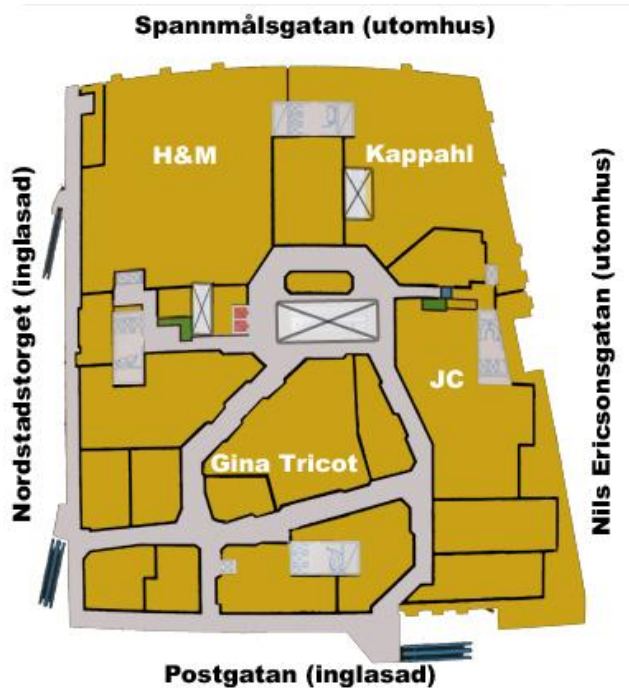
De värsta brandscenarierna kombineras för att ta fram ett mindre antal, men mer specifika, dimensionerande brandscenarier. Figur 6 är en riskmatris ur vilken det går att utläsa att brandscenario A, C, D och E är de som, utifrån bedömningen, anses ge värsta troliga påverkan på säker utrymning.



Figur 6. Riskmatris för de olika brandscenarierna.

6.2.1 Dimensionerande brandscenario I

Dimensionerande brandscenario I är en kombination av brandscenario C och D. Branden startar i damkonfektionsbutiken Gina Tricot på plan 3, där en brand har potential att sätta flera utrymningsvägar ur funktion. Figur 7 visar en översiktsbild på plan 3 och figur 8 visar hur det ser ut inne i butiken.



Figur 7. Översiktsbild plan 3.



Figur 8. Inne i butiken Gina Tricot.

Butiken förväntas ha hög persontäthet i jämförelse med många andra butiker i Varuhuset Femman, baserat på statistik enligt Shields & Boyce (2000), samt iakttagelser vid objektsbesöket. Ett argument till att välja en brand på plan 3 före plan 2, är att brandgaserna inte har samma förutsättningar att transporteras bort från plan 3 som från plan 2. Detta i kombination med den lägre takhöjden på plan 3 gör att kritiska förhållanden antas uppstå snabbare.

Då bränslekonzentrationen i butiken är hög, samt då bränslet – textilier, trä och plast – har ett högt energiinnehåll, blir brandbelastningen hög. Branden antas starta i centrum av butiken, till exempel vid kassan, där ett tekniskt fel kan vara starthändelse. Andra tänkbara starthändelser är anlagd brand eller en spotlight som är placerad tillräckligt nära antändbara material för att orsaka antändning.

I detta brandscenario antas att sprinklersystemet fungerar tillfredsställande. Branden kommer därför att begränsas vid sprinkleraktivering.

6.2.2 Dimensionerande brandscenario II

Dimensionerande brandscenario II innefattar brandscenario A samt brandscenario E. Branden startar i leksaksbutiken Lekia på plan 1, en butik som har en smal bakre utrymningsväg, med bredden 92cm. Figur 9 visar den bakre utrymningsvägen på Lekia och figur 10 visar miljön inne i butiken.



Figur 9. Den 92cm smala utrymningsvägen, blockerad av stegar, längst bak i Lekia på plan 1.



Figur 10. Inne i butiken Lekia.

En brand i butiken Lekia är intressant då det förväntas medföra brandgasspridning till överliggande butiksplan. Spridningen sker via det öppna atriet med rulltrappor till plan 2 och 3, men även via den stora utrymningsgången som leder till plan 2. Vidare är den bakre utrymningsväg som finns inne i Lekia så smal att utrymning från butiken skulle kunna försvåras. Figur 11 visar Lekia utifrån och figur 12 visar atriet och rulltrapporna upp från plan 1.



Figur 11. Lekia till vänster på bilden, är öppet upptill, vilket gör att brandgaser kan transporteras ut från butiken snabbare. I bakgrunden skymtar även en utrymningsväg.



Figur 12. Rulltrapporna i atriet i köpcentrets mitt, där brandgaser kan spridas upp till plan 2 och 3. Lekia är beläget precis till höger utanför bild.

I lokalen finns en stor mängd brännbara plast- och pappartiklar tränredning på en begränsad yta, vilket ger hög brandbelastning. Startpunkt för branden är nära utgången, antingen i kassan eller precis i utgången. Möjliga antändningskällor är även här tekniska fel eller anlagd brand.

Dimensionerande brandscenario II delas in i två delscenarier; i IIA fungerar sprinklersystemet och i IIB fungerar det inte. I det fallet då sprinklersystemet ej fungerar, kommer branden att växa till maximal effekt.

6.2.3 Diskussion

De utvalda dimensionerande brandscenarierna anses till stor del vara representativa för övriga presenterade scenarier. Branden på plan 1 i butiken Lekia kan även anses täcka in scenarierna: brand i lager och brand i rulltrappa. Eftersom sprinklersystemet täcker in hela byggnaden anses inte brand i bakomliggande lager utgöra en större fara än brand i butik, då brandbelastningen anses likvärdig och färre personer vistas där. Vid brand på plan 1 kommer brandgaserna troligtvis att spridas upp längs atriet med rulltrappor och förhindra utrymning via dessa. Scenariot kan inte anses täcka in brand på plan 2 fullständigt, men bedöms ha större inverkan på personsäkerheten vid utrymning. Detta eftersom utrymningsmöjligheterna från plan 2 anses vara de bästa i byggnaden medan de på plan 1 anses vara begränsade. Det antas också att plan 3 inte påverkas nämnvärt mer av en brand på plan 2 än på plan 1, vilket gör att brandgasspridningen till övriga plan täcks in bäst vid en brand på plan 1. En brand på plan 2 antas även få en mindre påverkan på de utrymnande personerna än en brand på plan 1 då detta scenario i första hand bara antas påverka plan 2 och 3. Personerna på plan 1 skulle i så fall kunna utrymma genom de bakre utrymningsvägarna utan påverkan från brandgaser. Att en brand på plan 1 väljs motiveras därmed med att samtliga utrymnande personer kan komma att påverkas av brandgaser i detta scenario.

Butiken Gina Tricot är utformad så att flera större utrymningsvägar potentiellt kan komma att sättas ur funktion, den innehåller en stor mängd brännbart material och antas ha en hög persontäthet. Dessa tre faktorer ligger till grund för bedömningen att detta scenario är värsta troliga gällande plan 3. Endast butiksbränder behandlas då brandbelastningen i de allmänna utrymnena anses vara så låg att dessa scenarier inte utgör någon större fara. Utifrån detta resonemang kan det konstateras att om säker utrymning kan ske i de utvalda dimensionerande brandscenarierna så gäller detta även för de övriga fallen.

7 Scenario I

I scenario I startar en brand i klädfaffären Gina Tricot, som är centralt belägen på plan 3 och är anslutet till flera stora utrymningsgångar, se figur 4. Butikens area är 440 m² stor med fyra öppningar som tillsammans är nio meter breda och ungefär tre meter höga. Genom dessa öppningar kan varma brandgaser och kall friskluft transporteras ut och in. Branden startar i en klädställning placerad centralt i butiken där ett tekniskt fel, en närliggande spotlight eller en anlagd brand kan vara starthändelse. Brandbelastningen i butiken är hög då klädställningarna står tätt och bränslet huvudsakligen består av textilier men även inredning i form av trä och plast.

I det här scenariot antas sprinklersystemet fungera tillfredställande och begränsa effektutvecklingen. Att studera felfungerande sprinkler genomförs endast i scenario II. Att endast genomföra detta i ett av scenarierna anses acceptabelt, då scenario II väntas ge störst inverkan på utrymningsförloppet. Anledningen till detta är att alla planen berörs, vilket innebär att fler personer och fler utrymningsvägar påverkas.

7.1 Dimensionerande brand

Den dimensionerande branden i scenariot utgörs av brand i klädställning. Bränslet består av textilier (bomull, ull och syntetmaterial) med förbränningsentalpi som ligger mellan 16 och 30 MJ/kg (DiNunno, 1995), dock bedöms tyngdpunkten ligga runt 20 MJ/kg (Bwalya A. C., 2005).

Brandbelastningen i Gina Tricot ansätts till 660 MJ/m² utifrån Bwalya (2005). Detta värde anses vara representativt för butiken, och stämmer relativt väl överens med värden från andra källor som anger medelvärde på 600 MJ/m² och 80:e percentil på 730 MJ/m² (Nystedt, 2011).

Brandens tillväxt antas följa en αt^2 -kurva med tillväxthastighet *fast* (0,047 kW/s²) och antas kunna uppnå maximal effekt på 10 MW baserat på rekommenderat värde för köpcenter (shopping centre) och samlingslokaler (public assembly) utan sprinkler (Staffansson, 2010). I bilaga C redovisas hur alfavärden beräknats utifrån data från försök i *Design Fires for Commercial Premises – Results of Phase I* (Bwalya A. C., 2005) och *Design Fires for Commercial Premises – Results of Phase 2* (Bwalya, Zalok, & Hadjisophocleous, 2007). Dessa beräknade resultat har relativt stor spridning, och jämförs därför med föreslagna värden från andra rapporter. Även rapporten *Verifying Fire Safety Design in Sprinklered Buildings* föreslår i tabell 7.1 alfavärdet *fast* för butiker (Nystedt, 2011).

För att se hur branden begränsas vid sprinkleraktivering beräknas en aktiveringstid med hjälp av datorprogrammet Detact QS. Höjd till tak sätts till 3,4 meter, radiellt avstånd till sprinkler till 2,5 meter och RTI till 50 m^{0,5}s^{0,5} med aktiveringstemperatur 68 °C. Valet av RTI-värdet 50 m^{0,5}s^{0,5} grundas på observationer vid platsbesöket och information från brandskyddsbeskrivningen. Utförlig beskrivning av indata och metod redovisas i bilaga D. Simulering i Detact QS gav aktiveringstiden 133 sekunder.

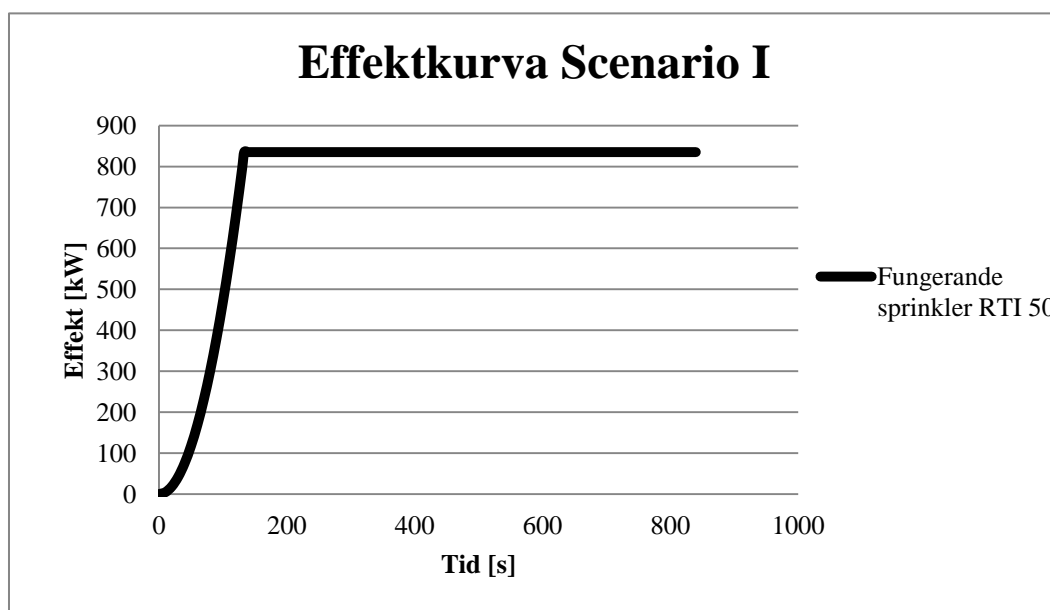
Teoretiskt skulle branden kunna spridas till andra klädställningar på grund av strålning, vilket visas i bilaga B. I beräkningen visas att brandspridning kan ske till föremål som befinner sig inom 1,5 meter från brandkällan. Men då sprinklersystemet aktiveras, görs antagandet att brandens tillväxt avstannar och en konstant effekt erhålls (Fleming, 2008). Det finns forskning som visar att brandens effekt sjunker runt 60-70 procent efter sprinkleraktivering (Nystedt, 2011), men att låta effekten vara konstant är konservativt. Eftersom effekten begränsas och övrigt bränsle kyls av sprinklervatten kommer ingen brandspridning ske och brandens area förblir konstant.

En maximal effekt efter sprinkleraktivering beräknas utifrån tiden till aktivering och ansatt alfavärde med hjälp av ekvation 3. Figur 13 visar effektkurvan.

$$\dot{Q}_{max} = \alpha \cdot t^2 \quad \text{Ekvation 3}$$

$$\dot{Q}_{max} = 835 \text{ kW}$$

Den totala tiden för brandförloppet sätts till 14 minuter eftersom det är den tid som anses vara intressant. Detta bedöms med marginal vara den maximala tid som krävs innan räddningstjänsten påbörjat en insats och vid denna tidpunkt anses hela varuhuset vara utrymt. En inledande simulering i Simulex genomförs för att få en uppfattning om hur långt tidsförloppet blir. Resultatet visar då att den totala förflyttningstiden blir kring 7 minuter och tillsammans med varseblivnings- och förberedelse tid bedöms valet 14 minuter vara rimligt.



Figur 13. Effektkurva för Scenario I

Den totala energin som frigörs under brandförloppet beräknas enligt ekvation 4 för att se om den överensstämmer med tillgänglig energi. Fullständig beräkning återfinns i bilaga E.

$$Q_{tot} = \int \dot{Q} dt \quad \text{Ekvation 4}$$

$$Q_{tot} = 627 \text{ MJ}$$

Det visar sig att den totala energin som frigörs under tillväxtfasen och den stationära fasen blir 627 MJ. Denna energimängd kan sedan jämföras med angiven brandbelastning på 660 MJ/m². Det betyder att det finns tillräckligt med energi, även om några få kvadratmeter med klädställningar är involverade i branden.

För att utreda huruvida branden blir ventilationskontrollerad genomförs en handberäkning, vilken redovisas i bilaga F. Det visar sig att den totala energimängden som kan förbrännas med avseende på syretillgången är 2781 MJ. Eftersom den totala energiåtgången under brandförloppet är 627 MJ kommer branden aldrig att bli ventilationskontrollerad. Detta är dessutom framtaget med endast

luftmassan inne på Gina Tricot, utan någon hänsyn till de stora öppningarna som bidrar med ytterligare syretillförsel.

7.2 Brandförloppet

För att utvärdera tiden till kritiska förhållanden, måste beräkningar på brandförloppet genomföras. Detta görs dels i FDS, dels med handberäkningar.

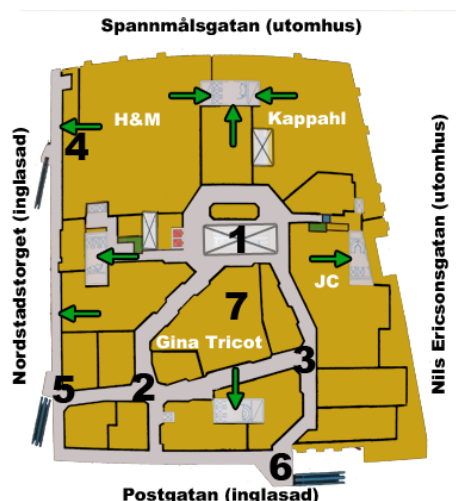
7.2.1 Tid till kritiska förhållanden

Målet med FDS-simuleringarna är att se hur lång tid det tar innan kritiska förhållanden uppstår. Detta genomförs genom att mäta temperatur, sikt, brandgaslagrets höjd, volymprocent koldioxid, volymprocent syre och volymprocent kolmonoxid. Vidare placeras även värmedetektorer, med egenskaper som motsvarar sprinklernas RTI och aktiveringstemperatur, ut i brandrummet för att kunna jämföra aktiveringstider med de som beräknats med Detact QS. För att förkorta beräkningstiden i FDS stängs strålningsberäkningar av och istället genomförs handberäkningar för att se hur hög strålningsintensiteten från brandgaslagret blir. Utförlig beskrivning av beräkningsgången för strålning från brandgaslagret kan ses i bilaga H. Den totala simuleringstiden sätts till 14 minuter. Samtliga väggar, golv och tak får inerta materialegenskaper, vilket ej bedöms påverka resultatet i någon större utsträckning. Dörrar som leder till bakre utrymningsvägar har helt blockerats i simuleringen, då det råder stor osäkerhet kring hur stora läckage som kan uppkomma vid dessa. Detta medför försämrade förhållanden för varuhusdelen, vilket är konservativt. Tilluft till planet sker via ventilationsöppningar som skall motsvara atriets, rulltrapporna inne i Kappahl och H&M, samt de större öppningarna vid Postgatan/Nordstadstorget.

Bränslet approximeras med cellulosa eftersom huvuddelen av textilierna bedöms bestå av bomull och inredningen anses huvudsakligen vara av trä. Bränsleytans area sätts till 0.8 meter gånger 1 meter och den maximala effekten per kvadratmeter blir då 1044 kW/m^2 för att få effekten 835 kW.

Mer detaljerad beskrivning av ingående variabler och inställningar i FDS finns i bilaga G.

I detta brandscenario kommer enbart plan 3 att påverkas av branden. Då objektet är av ansevärd storlek kan kritiska förhållanden uppstå på olika platser vid olika tidpunkter. För att kunna kontrollera om säker utrymning kan ske jämförs data från FDS-simuleringar med utrymningstid i strategiskt utvalda punkter. De punkter som väljs ut är av stort intresse vid utrymning, antingen för att ett stort antal personer antas passera punkten eller för att köbildning vid till exempel en trappa är att vänta. Figur 14 visar vilka punkter som studeras på plan 3.



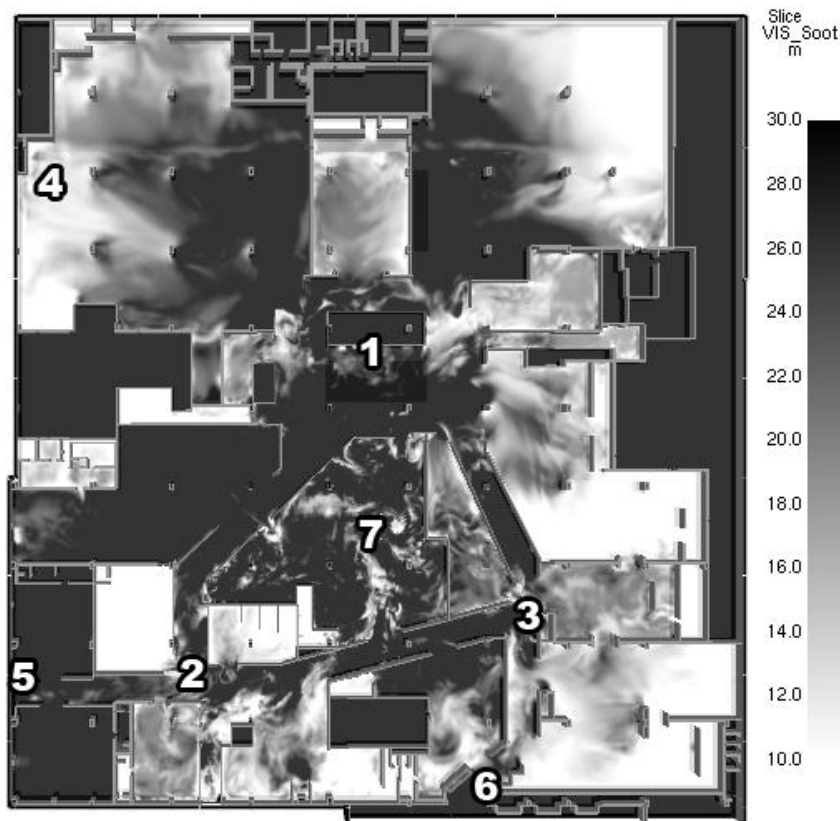
Figur 14. Utvalda punkter som är intressanta ur utrymningssynpunkt.

När FDS-resultaten studeras kan det konstateras att endast parametern sikt ger kritiska förhållanden. Strålningsberäkningarna i bilaga H visar att det krävs en temperatur på 185 °C i brandgaslagret för att en människa skall utsättas för kritiska strålningsnivåer. Så höga temperaturer uppstår aldrig annat än i direkt anslutning till branden och därför är strålningen ingen begränsande parameter. I bilaga I redovisas uppmätta värden på toxiciteten och temperatur i huvudhöjd, det observeras att kritiska nivåer aldrig uppnås. Sikten definieras som kritisk i brandrummet då den understiger 5 meter, i övriga utrymmen då den understiger 10 meter. Med hjälp av i FDS insatta *slice files* studeras tiden till kritiska förhållanden på de olika planen. Sikten studeras på höjden 1,6 meter över golvet då detta antas vara en genomsnittlig ögonhöjd för besökarna. Hänsyn tas till de begränsningar gällande sikt i FDS som beskrivits i avsnitt 5.2. Tabell 3 redovisar resultatet.

Tabell 3. Scenario I tid till kritiska förhållanden gällande sikt

Plan 1	
Punkt	Tid till kritisk sikt [s]
1	800
2	780
3	-
4	500
5	-
6	760
7	-

I figur 15 visas sikten på plan 3 efter 780 sekunder, vilken är den ungefärliga tidpunkt då flera av punkterna blir kritiska.



Figur 15. Sikten efter 780 sekunder på plan 3. Vita fält indikerar sikt under 10 meter.

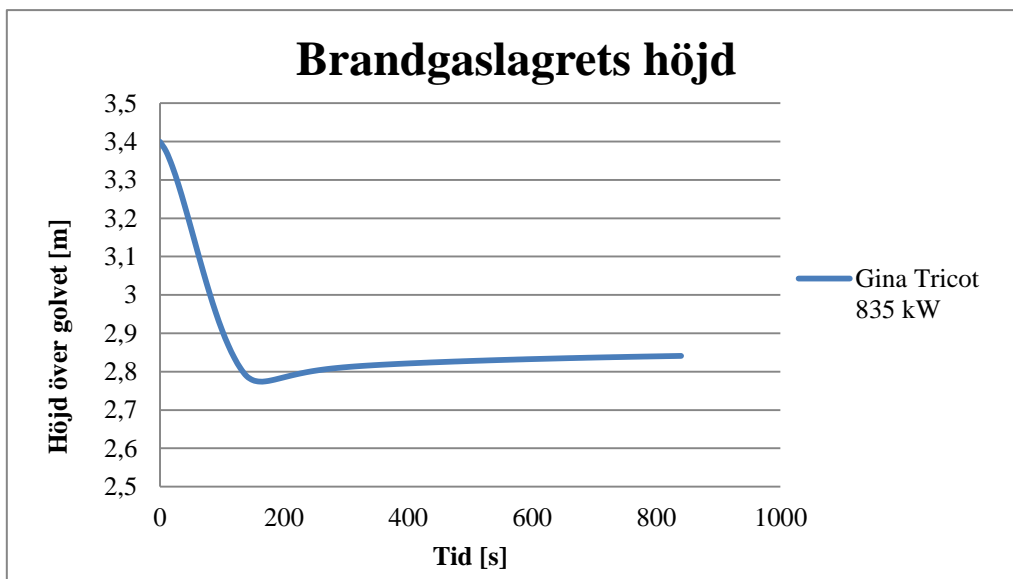
7.2.2 Validering

Tiden till sprinkleraktivering valideras med termoelement i FDS. Termoelementen placeras så att transporttiden för brandgaser blir längsta möjliga. Vidare får termoelementen RTI-värdet $50 \text{ m}^{0,5} \text{ s}^{0,5}$ med aktiveringstemperatur $68 \text{ }^\circ\text{C}$, det vill säga samma värden som i Detact QS. Enligt Detact QS är aktiveringstiden 133 sekunder, medan den i FDS varierar mellan 106 och 109 sekunder. Dessa resultat anses stämma relativt väl överens, och därför anses de även vara trovärdiga.

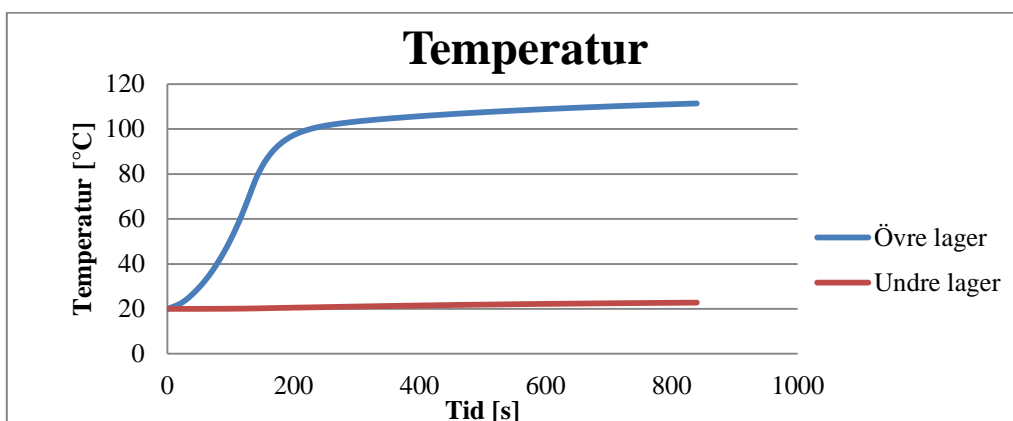
För att validera resultaten från FDS simuleras brandrummet i CFAST. Resultaten från de två datormodellerna gällande brandgaslagrets höjd, temperatur och tid till stationära förhållanden jämförs. Ligger dessa i samma storleksordning anses resultaten trovärdiga. Då resultaten från CFAST endast anses vara giltiga i brandrummet är det endast där jämförelser kan göras. För att kunna jämföra förhållandena längre bort från brandrummet behövs ett annat lika kraftfullt verktyg som FDS, vilket med hänsyn till tidsramen för rapporten ej är genomförbart.

Eftersom endast enklare geometrier kan simuleras i CFAST, förenklas Gina Tricots till ett rektangulärt rum med måtten $16 \times 28 \times 3,4$ meter vilket motsvarar butikens verkliga volym. I utrymmet placeras fyra öppningar vilka motsvarar de befintliga ingångarna. Effekttutvecklingen anges som en at^2 -kurva med tillväxthastigheten *fast* och en maximal effekt på 835 kW. Den totala beräkningstiden sätts till 840 sekunder. Som bränsle väljs ett cellulosa-baserat material för att ge likartade egenskaper som bränslet i FDS. En mer detaljerad beskrivning av indata för simuleringen finns i bilaga J.

Resultatet från CFAST visas i figur 16 samt 17 och jämförs sedan med temperaturprofilen i brandrummet från FDS-simuleringen vilken visas i figur 18, där brandgaslagrets höjd definieras som den höjd där temperaturgradienten är som störst⁴.

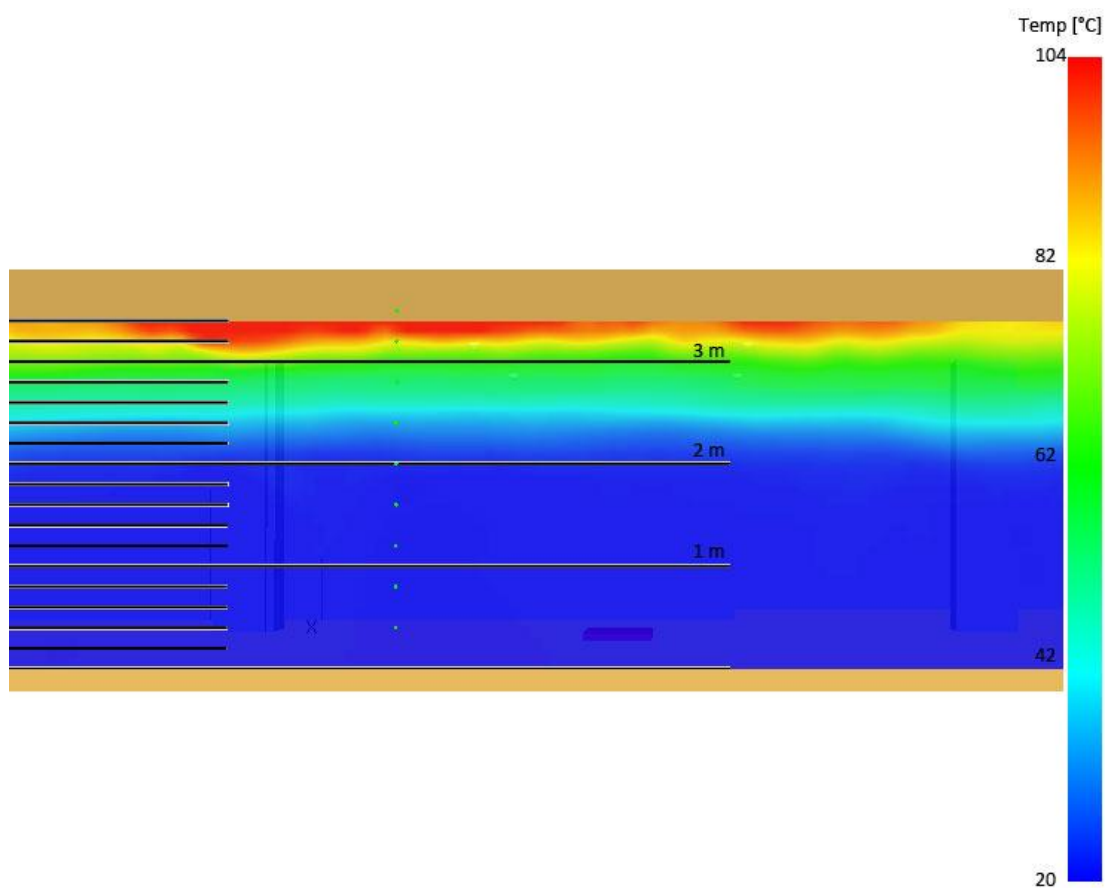


Figur 16. Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden för scenario I simulerat i CFAST.



Figur 17. Temperaturen i det övre och undre lagret för scenario I simulerat i CFAST.

⁴ Universitetslektor Daniel Nilsson, Lunds tekniska högskola, Personligt samtal 2011-03-25



Figur 18. Temperaturprofil genom brandrummet för scenario I från FDS-simuleringen.

Resultaten från CFAST ger att brandgaslagret lägger sig på cirka 2,8 meter från golvet och har en temperatur på ungefär 110 °C. Detta jämförs med de visuellt utlästa värdena från figur 18 som ger brandgaslagrets höjd på cirka 3 meter från golvet med en maximal temperatur på ungefär 105 °C. Resultaten, som jämförs i tabell 4, anses stämma väl överens med hänsyn till de begränsningar som är förknippade med en tvåzonsmodell och de förenklingar som gjorts med geometrin i CFAST. I CFAST definieras golv- och väggmaterial med egenskaper som motsvarar betong. Dessa väggar och golv kommer under simuleringen att värmas upp och återstråla mot brandgaslagret, vilket kommer leda till en högre temperatur än vad simuleringarna i FDS visar. I FDS är väggar och golv definierade så att de kommer att leda bort värme från brandgaslagret, men inte själva värmas upp, vilket kan förklara den temperaturskillnad som uppkommer.

För att konstatera vid vilken tid stationära förhållanden uppnås i brandrummet i CFAST-simuleringen, studeras tiden till att temperatur och brandgaslagrets höjd stabiliseras. Tiden som anges i tabell 4 är en bedömning som grundas på båda ovanstående parametrar. Detta värde jämförs med tiden till stationära förhållanden som utläses visuellt ur *slice files* från FDS gällande temperatur.

Tabell 4. Jämförelse mellan CFAST och FDS.

	CFAST	FDS
Brandgaslagrets höjd [m]	2,8	3
Temperatur [°C]	110	105
Tid till stationära förhållanden [s]	200	190

Resultaten visar att de två simuleringarna stämmer väldigt väl överens. Med detta som utgångspunkt kan FDS-simuleringarnas tillförlitlighet anses vara god.

7.3 Utrymning

Utrymningstiden är uppdelad i tre olika delar vilka är varseblivningstid, förberedelsestid samt förflyttningstid. I detta kapitel redogörs för resultaten och hur dessa beräknats. Tidsmarginalen simuleras i @RISK med Monte Carlo-metoden och med 10 000 iterationer.

7.3.1 Varseblivningstid

Varseblivningstiden bedöms vara olika beroende på var i köpcentret personer befinner sig. Tiden antas vara lägre om man ser brand eller brandgaser än om man inte gör det. För att kunna ta hänsyn till spridning och osäkerheter angående de uppskattade tiderna används datorprogrammet @RISK.

För plan 1 och 2 där branden inte är belägen sätts varseblivningstiden till den tid det tar innan utrymningslarmet aktiveras. Varseblivningstiden består av tiden till detektion samt den tid vaktpersonalen uppskattar att det tar innan utrymningslarmet aktiveras. Detektionstiden tas fram med Detact QS och ligger i ett intervall mellan 45 och 90 sekunder. Den lägre tiden gäller då detektorerna aktiveras vid en temperaturökning på 5 °C, den högre tiden gäller vid en temperaturökning på 13 °C, för utförlig beskrivning se bilaga L. Vaktpersonalen uppskattar att utrymningslarmet i bästa fall kan sättas igång efter 120 sekunder och i sämsta fall efter 240 sekunder.

Personer i brandrummet antas ha en varseblivningstid från noll, när branden startar, till 45 sekunder, som är den kortaste detektionstiden. Att den övre gränsen väljs till den kortaste detektionstiden grundas på att om en rökdetektor utanför brandrummet kan detektera branden, så borde personer i brandrummet ha upptäckt branden.

Övriga personer på plan 3 kommer upptäcka branden vid väldigt olika tider beroende på om de befinner sig i anslutning till brandrummet eller långt in i någon av de övriga butikerna. Personer som befinner sig i närheten kommer tidigt se branden eller brandgaser och därmed få en låg varseblivningstid. Den nedre tiden sätts därför till 45 sekunder då detektion sker, vilket betyder att rök kan observeras i atriet. Däremot kommer det att ta lång tid för personer som befinner sig långt in i någon annan butik. Det går inte att garantera att personer kommer att reagera även om brandgaser börjar synas i öppningen eller strömma in i lokalen⁵. Därför sätts den maximala tiden för varseblivning till när utrymningslarmet senast ljuder, vilket är efter 330 sekunder.

Samtliga intervall antas ha uniforma fördelningar på grund av kunskapsosäkerheter i rapportunderlaget där det inte går att uppskatta ett troligaste värde. Tabell 5 visar de använda värdena för varseblivningstiden i @RISK simuleringen.

Tabell 5. Medelvärde och intervall för varseblivningstiden.

Position	Medelvärde [s]	Intervall [s]
Brandrummet	22,5	0-45
På övriga delar av planet	187,5	45-330
På något av de övriga planen	247,5	165-330

⁵ Universitetslektor Daniel Nilsson, Lunds tekniska högskola, Föreläsning 2011-02-11

7.3.2 Förberedelse- och Förflyttningstid

För att beräkna den totala förberedelse- och förflyttningstiden för utrymning av Varuhuset Femman simuleras en utrymning med hjälp av datorprogrammet Simulex. Förberedelsetiden, det vill säga den tid det tar innan personen i fråga beslutar sig för att utrymma och börjar röra sig, varierar mycket. Faktorer som påverkar denna tid är typ av utrymningslarm samt om personen ser branden eller inte. I Varuhuset Femman finns ett talat meddelande och tre olika förberedelsetider används vid simulering. Vilken förberedelsetid som ansätts beror på om personen befinner sig i brandrummet, på samma våningsplan som branden eller på något av de övriga våningsplanen. Anledningen till att personer på övriga plan tas med i simuleringen är att de kan orsaka köbildning och trängsel och därmed försvåra utrymning för personer på plan 3. I Simulex ansätts en uniformt fördelad förberedelsetid med värden enligt tabell 6. För att bestämma förberedelsetiden görs en uppskattning inom vilket tidsintervall rörelse påbörjas. Medelvärdet för detta tidsintervall sätts in i Simulex med intervallets min- och maxvärde som gör att hela intervallet täcks in. Tiderna uppskattas med utgångspunkt från de tider som föreslås i *Brandskyddshandboken* (Brandteknik, 2005) och i rapporten *Tid för utrymning vid brand* (Frantzich, 2001). För en mer utförlig beskrivning se bilaga K.

Tabell 6. Medelvärden och intervallets storlek för den uniformt fördelade förberedelsetiden i Simulex.

Position	Medelvärde [s]	Intervall [s]
Brandrummet	45	30-60
På samma plan som branden	75	60-90
På något av de övriga planen	105	90-120

Antalet personer som befinner sig i Varuhuset Femman är avgörande för hur lång förflyttningstiden blir. För att bestämma antalet personer per våningsplan används persontätheten, vilken sätts till 0,4 personer/m² för plan 1 och 3, medan det på plan 2 sätts till 0,5 personer/m². Detta förhöjda värde beror på att plan 2 är entréplan och spontanbesök på detta plan anses troligare än på övriga plan. Valen grundar sig på brandskyddsbeskrivningen och de rekommenderade värdena i *Persontäthet vid utrymningsberäkningar - köpcentrums persontätheter* (Erdsjö & Lindberg, 2008). Personantalen blir då 705 personer på plan 1, 1607 personer på plan 2 och 1456 personer på plan 3. Vid simuleringen har merparten av personerna styrts till de naturliga in- och utgångarna. I det här scenariot använder 74 procent de naturliga utrymningsvägarna och resterande 26 de bakre. Denna styrning görs dels för att människor oftast utrymmer genom den väg de känner till, men också för att en del av de bakre utrymningsvägarna är otydligt markerade. För fullständig beskrivning till val av indata för simuleringen se bilaga K.

Målet med simuleringen är att utreda tiden det tar att utrymma förbi de strategiskt utvalda punkterna. Anledningen till att dessa punkter valts är att det vid dessa antingen förväntas bli köbildning, eller att personen i fråga inte längre riskerar att utsättas för kritiska förhållanden när den har passerat punkten. Figur 19 visar de utvalda punkterna och geometrin för simuleringarna.



Figur 19. Uppställningen för Simulex simuleringen med de utvalda punkterna på plan 3.

Tabell 7 redovisar de i simuleringen erhållna tiderna för personerna att passera de givna punkterna.

Tabell 7. Förberedelse- och förflyttningstiden till de olika punkterna för plan 3.

Plan 3	
Punkt	Förberedelse- och förflyttningstid [s]
1	130
2	170
3	155
4	190
5	360
6	365
7	80

7.4 Känslighetsanalys

För att bedöma de erhållna resultatens känslighet för variation av indatavariabler, genomförs känslighetsanalyser. En del av variablerna går att kontrollera kvalitativt, medan det i en del fall endast förs en diskussion. Utifrån detta kan sedan en bedömning göras angående resultatens tillförlitlighet.

7.4.1 Tid till kritiska förhållanden

Förändring av indata i FDS kan göras för att kontrollera hur mycket resultaten påverkas. Då mängden av påverkbara indatavariabler är stor, görs en bedömning av vilka som är av störst vikt för slutresultatet. De variabler som kan anses ha stor betydelse är *soot yield*, val av bränsle samt ytmaterialens egenskaper. *Soot yield*-värdet påverkar siktförhållandena för de utrymmande individerna, då det styr mängden sot som branden producerar. Vid simulering sattes *soot yield* värdet till 0,06 vilket är betydligt högre än det rekommenderade värdet för flambrand i cellulosa-baserade material på 0.01-0.025 (Staffansson, 2010). Eftersom säker utrymning kan garanteras i detta scenario och det ansatta värdet redan anses vara konservativt med avseende på typen av bränsle så utförs ingen vidare kontroll.

Val av bränsle, det vill säga definiering av den kemiska sammansättningen, påverkar brandens syreförbrukning. Enligt bilaga F blir branden, med god marginal, aldrig ventilationskontrollerad och därmed anses det inte nödvändigt att studera denna variabel ytterligare.

De erhållna resultaten visar att temperaturen generellt är betydligt lägre än de 80 °C som definieras som kritiska. Att verkliga väggmaterial som värms upp skulle medföra att brandgasernas temperatur steg till kritisk anses orimligt. Valet att approximera alla material i väggarna som inert anses därför vara godtagbart.

7.4.2 Varseblivningstid

Varseblivningstiden består till största del av den tid som förflyter från detektion till dess att vaktpersonal aktiverar utrymningslarmet. Denna tid bygger endast på uppskattningar av den vid besöket tjänstgörande vakten. Vakten uppskattade handlingstiden till 2-4 minuter och det bedöms vara ett smalt intervall. Om det som bäst tar två minuter borde den övre gränsen kunna ligga betydligt högre om problem uppstår. För att kunna studera osäkerheten som denna bedömning medför, genomförs en analys av hur tidsmarginalen påverkas då den maximala handlingstiden förlängs med två minuter. I tabell 8 redovisas skillnaden och det går att utläsa att en förändring i vakttid får stort utslag på totala varseblivningstiden. Därför kommer detta att beaktas vid den slutgiltiga jämförelsen angående säker utrymning.

Tabell 8. En jämförelse av varseblivningstider med och utan förlängd vakttid.

Position	Varseblivningstid grundutförande		Varseblivningstid med förlängd vakttid	
	Medelvärde [s]	Intervall [s]	Medelvärde [s]	Intervall [s]
Brandrummet	22,5	0-45	22,5	0-45
På samma plan som branden	187,5	45-330	247,5	45-450

7.4.3 Förberedelsetid

Osäkerheterna gällande besökarnas förberedelsetid hanteras i Simulex med uniform fördelning. Dock har det visats att en lognormal fördelning stämmer väl överens med verkligheten gällande denna variabel (British standards institution, 2004). För att kunna studera skillnaden i resultatet som en ändrad fördelning medför krävs att förberedelsetiden hanteras separerat från förflyttningstiden. Detta skulle resultera i att endast förflyttningstiden hanteras i Simulex och att samtliga individer påbörjar sin utrymning simultant. Detta kan resultera i mer köbildning på vissa platser under utrymningsförloppet i simuleringen. Köbildningen som uppstår om förberedelsetiden behandlas separat anses inte spegla verkligheten och med anledning av detta anses det mer korrekt att beakta förberedelsetiden i Simulex.

7.4.4 Förflyttningstid

Känslighetsanalys på förflyttningstiden genomförs i tre olika steg, dels med sänkt respektive ökat personantal i hela byggnaden och dels med mindre andel utrymmande från de överliggande kontorsplanen.

Det ansatta personantalet är framtaget med en hög persontäthet och motsvarar byggnadens maximala troliga dimensionerande kapacitet. Antalet personer förväntas ha stor inverkan på förflyttningstiden och för att studera hur ansatt personantal påverkar utrymningssäkerheten, genomförs en känslighetsanalys som beaktar detta. För att täcka in både ett mer troligt antal besökare och extremvärden, exempelvis vid julhandel, utförs simuleringar med 20 procent mindre respektive högre antal personer.

Försöken gällande personantal i varuhusdelen genomförs i Simulex med antal personer enligt tabell 9. Övrig indata är oförändrad och redovisas i bilaga K. Resultatet från denna känslighetsanalys antas vara generaliserbart för övriga scenarier då simuleringen täcker in köbildningsproblematiken som uppstår i dessa, samt att individernas rörelsemönster är relativt lika oavsett simulering.

Tabell 9. Antal personer före och efter en minskning respektive ökning med 20 procent för de olika planen.

Plan	Antal från början	Antal efter minskning	Antal efter ökning
4	350	280	350
3	1428	1140	1710
2	1585	1270	1900
1	707	570	850

Resultatet från känslighetsanalysen redovisas i tabell 10 till 12 där det går att utläsa att förberedelse- och förflyttningstiderna påverkas av både sänkning och ökning av personantalet. Dock kan det konstateras att resultaten är beroende av vilken punkt som studeras. I vissa punkter är skillnaden stor medan det i andra är mycket liten skillnad. De punkter som uppvisar störst förändring är där köer uppstår i Simulex och de som inte påverkats i större utsträckning är där flödet är obehindrat. I de punkter där tiden till kritiska förhållanden är kortast blir skillnaden i tid inte stor. Undantaget är punkt 1 (atriet) på plan 1, här bör dock beaktas att orimligt stor köbildning uppstår då få av de bakre utrymningsvägarna används. Om fler av de bakre utrymningsvägarna användes skulle köbildningen bli betydligt mindre och det förändrade personantalet skulle påverka resultatet mindre. Utifrån resultaten kan det konstateras att personantalet troligtvis inte kommer påverka slutresultatet i någon större utsträckning. Med anledning av detta kommer det ansatta personantalet att användas när utrymnings säkerheten studeras.

Tabell 10. Förberedelse- och förflyttningstiden med ansatt personantal och en minskning respektive ökning med 20 procent för plan 1.

Plan 1			
Punkt	Förberedelse- och förflyttningstid grundutförande [s]	Förberedelse- och förflyttningstid 20% lägre personantal [s]	Förberedelse- och förflyttningstid 20% högre personantal [s]
1	280	240 (-40)	295 (+15)
2	125	115 (-10)	125 (0)
3	77	71 (-6)	85 (+8)
4	125	130 (+5)	170 (+45)

Tabell 11. Förberedelse- och förflyttningstiden med ansatt personantal och en minskning respektive ökning med 20 procent för plan 2.

Plan 2			
Punkt	Förberedelse- och förflyttningstid [s] grundutförande	Förberedelse- och förflyttningstid 20% lägre personantal [s]	Förberedelse- och förflyttningstid 20% högre personantal [s]
1	315	275 (-40)	320 (+5)
2	335	295 (-40)	240 (+5)
3	180	160 (-20)	190 (+10)
4	205	201 (-4)	230 (+25)

Tabell 12. Förberedelse- och förflyttningstiden med ansatt personal och en minskning respektive ökning med 20 procent för plan 3.

Plan 3			
Punkt	Förberedelse- och förflyttningstid [s] grundutförande	Förberedelse- och förflyttningstid 20% lägre personal [s]	Förberedelse- och förflyttningstid 20% högre personal [s]
1	130	120 (-10)	130 (0)
2	170	160 (-10)	180 (+10)
3	155	150 (-5)	160 (+5)
4	190	160 (-30)	260 (+70)
5	360	310 (-50)	410 (+50)
6	365	285 (+20)	405 (+40)
7	80	75 (-5)	90 (+10)

Då osäkerhet råder angående den faktiska andelen av kontorspersonal som utrymmer genom trapphus vid en utrymning, är dessa värden högt ansatta. En känslighetsanalys, som innebär sänkning av antal personer på kontorsplan, genomförs för att konstatera hur detta konservativa antagande kommer att påverka resultatet.

I de genomförda simuleringarna antas 350 personer från kontorsplanen utrymma genom trapphusen. Detta antal minskas i känslighetsanalysen till 100 personer. Känslighetsanalysen genomförs på scenario I och resultatet antas gälla för samtliga scenarier. I tabell 13 till 15 redovisas förberedelse- och förflyttningstid för de ansatta punkterna på respektive plan.

Tabell 13. Förberedelse- och förflyttningstid på plan 1, vid högt respektive lågt användande av trapphus som utrymningsväg för kontorspersonal.

Plan 1		
Punkt	Förberedelse- och förflyttningstid grundutförande [s]	Förberedelse- och förflyttningstid låg användning av trapphus [s]
1	280	283
2	125	125
3	77	77
4	125	125

Tabell 14. Förberedelse- och förflyttningstid på plan 2, vid högt respektive lågt användande av trapphus som utrymningsväg för kontorspersonal.

Plan 2		
Punkt	Förberedelse- och förflyttningstid grundutförande [s]	Förberedelse- och förflyttningstid låg användning av trapphus [s]
1	315	318
2	335	337
3	180	180
4	205	208

Tabell 15. Förberedelse- och förflyttningstid på plan 3, vid högt respektive lågt användande av trapphus som utrymningsväg för kontorspersonal.

Plan 3		
Punkt	Förberedelse- och förflyttningstid grundutförande [s]	Förberedelse- och förflyttningstid låg användning av trapphus [s]
1	130	130
2	170	175
3	155	158
4	190	188
5	360	360
6	365	363
7	80	80

Resultatet från känslighetsanalysen visar att det minskade antalet personer som utrymmer genom trapphusen ej påverkar resultatet nämnvärt. Det ursprungliga antalet används därmed när åtgärdsförslag värderas. Den variation som påvisas kan antas bero på hur programmet fördelar förberedelse- och förflyttningstiderna.

7.5 Jämförelse mellan tid till kritiska förhållanden och utrymningstid

För att konstatera om säker utrymning kan ske jämförs resultaten från FDS som ger tiden till kritiska förhållanden med den totala utrymningstiden som består av varseblivningstid, förberedelse- och förflyttningstid. När tidsmarginalen simuleras i @RISK summeras först fördelningarna för varseblivningstiden med förberedelse- och förflyttningstiden. Tidsmarginalen erhålls genom att subtrahera den totala utrymningstiden från tiden till kritiska förhållanden. De resultat som presenteras är medelvärden för de olika tiderna samt hur stor andel av tidsmarginalen som blir negativ. När tidsmarginalen blir negativ så betyder det att en eller flera personer kommer att utrymma under kritiska förhållanden för siktbarhet. För att kunna dra några slutsatser om säker utrymning i de punkter som anses intressanta får tidsmarginalen understiga noll i maximalt 10 procent av utfallen från simuleringen. Om procentsatsen istället satts till noll hade resultaten blivit överkonservativa och bedömning svår att genomföra. Tabell 16 visar resultat gällande säker utrymning på plan 3. Simuleringen genomförs med Monte Carlo-metoden och med 10 000 iterationer.

Tabell 16. Resultat gällande säker utrymning plan 3.

Plan 3					
Punkt	Total tid Utrymning [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]	Tidsmarginal [s]	Andel understigande [%]	Säker utrymning
1	317,5	800	482,5	0	Ja
2	357,5	780	442,5	0	Ja
3	342,5	-	-	0	Ja
4	377,5	500	122,5	1,8	Ja
5	547,5	-	-	0	Ja
6	552,5	760	207,5	0	Ja
7	102,5	-	-	0	Ja

Enligt resultaten i tabell 16 kommer säker utrymning kunna ske för hela planet. Den enda punkten som är i närheten av att bli kritisk är punkt 4. Där det konstateras att 1,8 procent av fallen blir kritiska, vilket är acceptabelt eftersom nivån är satt till 10 procent.

Eftersom känslighetsanalysen visade att vakttiden har stor inverkan på varseblivningstiden studeras vilken inverkan den har på den totala utrymningstiden och därmed slutresultatet. Som kan utläsas i tabell 17 kommer tidsmarginalen i punkt 4 understiga 0 i 32 procent av fallen. Detta skall jämföras med det ursprungliga resultatet, då endast 1,8 procent blir negativa. Det visar sig också att i punkt sex understiger 8,8 procent 0 vilket fortfarande anses acceptabelt men anmärkningsvärt. Om vaktpersonalens uppskattning av tid till utrymningslarm ljuder är optimistisk finns det risk för att utrymningssäkerheten inte kan säkerställas.

Tabell 17. Resultat gällande säker utrymning plan 3 vid ökad vakttid samt jämförelse med ansatt tid.

Plan 3 känslighetsanalys					
Punkt	Total tid Utrymning [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]	Tidsmarginal [s]	Andel understigande ökad vakttid [%]	Andel understigande grundutförande [%]
1	377,5	800	422,5	0	0
2	417,5	780	362,5	0	0
3	402,5	-	-	0	0
4	437,5	500	62,5	32	1,8
5	607,5	-	-	0	0
6	612,5	760	147,5	8,8	0
7	102,5	-	-	0	0

Det visar sig att det endast är i punkt 4 som det finns risk för att säker utrymning inte kan garanteras. Det skall dock tilläggas att det i denna punkt uppstår kritiska förhållanden under en kort period när brandgaserna slår i den bakre väggen där utrymningsvägen är placerad för att sedan bli bättre igen. Kritiska förhållanden råder i ett fåtal sekunder för att sedan bli acceptabla fram tills tiden 730 sekunder, då det åter blir kritiskt. Även om känslighetsanalysen visar att denna punkt till viss del påverkas av den förlängda vakttiden, bedöms säker utrymning kunna ske med hänvisning till att förhållandena tillfälligt är kritiska. Det anses således ej vara nödvändigt att genomföra några åtgärder utifrån erhållna resultat i scenario I.

8 Scenario II

Scenario II innebär en brand i leksaksbutiken Lekia som är beläget på plan 1. Lekias golvyta på cirka 360 m² är till stor del täckt av brännbart material i form av hyllor fyllda med plast- och pappartiklar. Butikens läge på plan 1, i nära anslutning till två vertikala öppningar till övriga plan, gör att brandgasspridningen kan få stor påverkan på hela Varuhuset Femman. Lekia har två dörröppningar som tillsammans är 7 meter breda. Figur 20 visar hur väggarna som vetter ut mot atriet dessutom har en öppning upp till. Genom dörröppningarna tillsammans med de öppningar som finns mellan väggar och tak kan brandgaser och kall luft transporteras. Branden startar nära utgången i ett leksaksstallage på grund av ett tekniskt fel eller en anlagd brand.



Figur 20. Entrén till Lekia där väggarna som vetter ut mot atriet är öppna 40cm upp till.

Det här scenariot delas in i två delscenarier som benämns IIA och IIB. Delscenario IIA innebär att sprinklersystem fungerar tillfredställande och därmed begränsar effektutvecklingen vid aktivering. I delscenario IIB fungerar inte sprinklersystemet och branden kommer stiga till maximal effekt. Enligt rapporten *Verifying Fire Safety Design in Sprinklered Buildings* fungerar ett sprinklersystem, i allmänna utrymmen, tillfredställande i 94 procent av fallen (Nystedt, 2011). Trots att sannolikheten för att sprinklersystemet inte skall fungera är väldigt låg bedöms det ändå vara intressant att studera ett fall då detta inträffar. Detta för att undersöka vad ett värsta scenario skulle få för konsekvenser.

8.1 Dimensionerande brand

Det inledande brandförloppet definieras som en brand i hylla med leksaker. Bränslet består av plast och papp med förbränningsentalpi mellan 10 och 45 MJ/kg (DiNunno, 1995), dock bedöms tyngdpunkten ligga runt 20 MJ/kg, baserat på värden för den vanliga plasten PVC samt cellulosebaserade material som båda ligger runt 20 MJ/kg (Bwalya A. C., 2005).

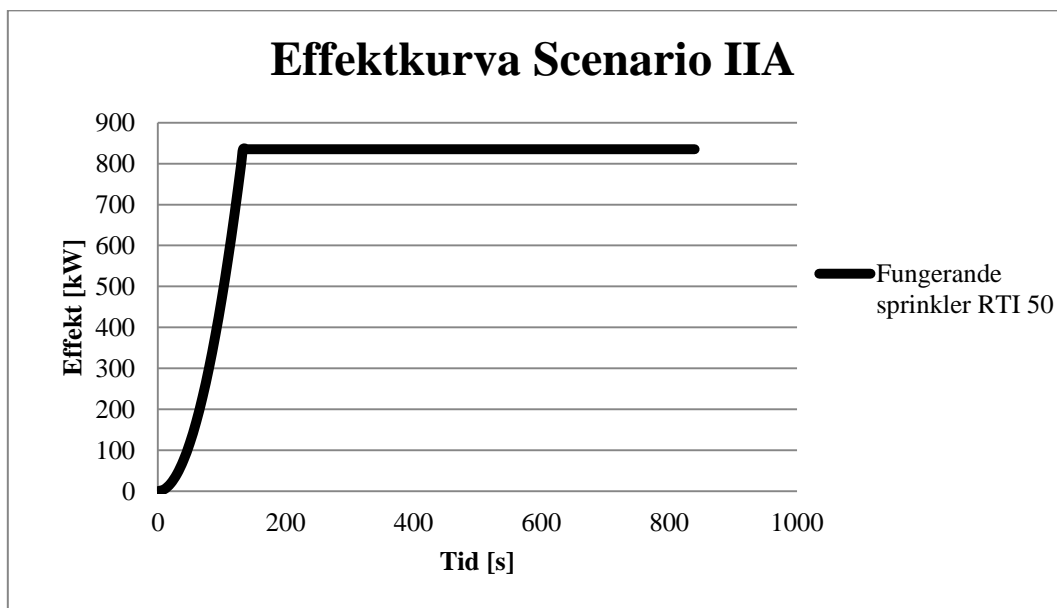
Brandbelastningen ansätts till 1223 MJ/m² baserat på data från *Design Fires for Commercial Premises – Results of Phase 2* (Bwalya, Zalok, & Hadjisophocleous, 2007).

Den totala tiden för brandförloppet sätts till 14 minuter baserat på resonemanget i kapitel 7.1.

För icke begränsad brand i motsvarande verksamhet rekommenderar Nystedt (2011) att en maximal effekt på 10 MW ansätts. Brandens tillväxt antas följa en at^2 -kurva med tillväxthastighet *fast*. I rapporten *Design Fires for Commercial Premises – Results of Phase 2* (Bwalya, Zalok, & Hadjisophocleous, 2007) har två försök genomförts och när alfavärdet beräknas utifrån dessa erhålls värden nära *medium*. Med anledning av det begränsade antalet försök väljs alfavärdet *fast* då denna tillväxthastighet föreslås för allmänna utrymmen och butiker i *Selecting design fires* (Staffansson, 2010) och *Verifying Fire Safety Design in Sprinklered Buildings* (Nystedt, 2011). Med hänsyn till de föreslagna riktlinjerna anses det riskabelt att välja det icke-konservativa värdet *medium* utifrån data från endast ett experiment.

8.1.1 Scenario IIA

I det här scenariot fungerar sprinklersystemet tillfredställande. Brandens tillväxt kommer därför avstanna och effekten bli konstant vid aktivering. Den dimensionerande branden blir i detta fall densamma som i scenario I, se kapitel 7.1. Effektkurvans utseende redovisas i figur 21.



Figur 21. Effektkurva Scenario IIA

Den totala energin som frigörs under brandförloppet beräknas enligt ekvation 4 för att se om den överensstämmer med tillgänglig energi. Fullständig beräkning återfinns i bilaga E.

$$Q_{tot} = \int \dot{Q} dt \quad \text{Ekvation 4}$$

$$Q_{tot} = 627 \text{ MJ}$$

Det visar sig att den totala energin som frigörs under tillväxtfasen och den stationära fasen blir 627 MJ. Denna energimängd kan sedan jämföras med angiven brandbelastning på 1223 MJ/m². Det betyder att det finns tillräckligt med energi, även om några få kvadratmeter med bränsle är involverat i branden.

För att utreda huruvida branden blir ventilationskontrollerad genomförs en handberäkning vilket redovisas i bilaga F. Det visar sig att den totala energimängden som kan förbrännas med avseende på syretillgången är 2410 MJ. Eftersom den totala energiåtgången under brandförloppet är 627 MJ kommer branden aldrig att bli ventilationskontrollerad. Detta är dessutom framtaget med endast luftmassan inne på Lekia, utan någon hänsyn till de stora öppningarna som bidrar med ytterligare syretillförsel.

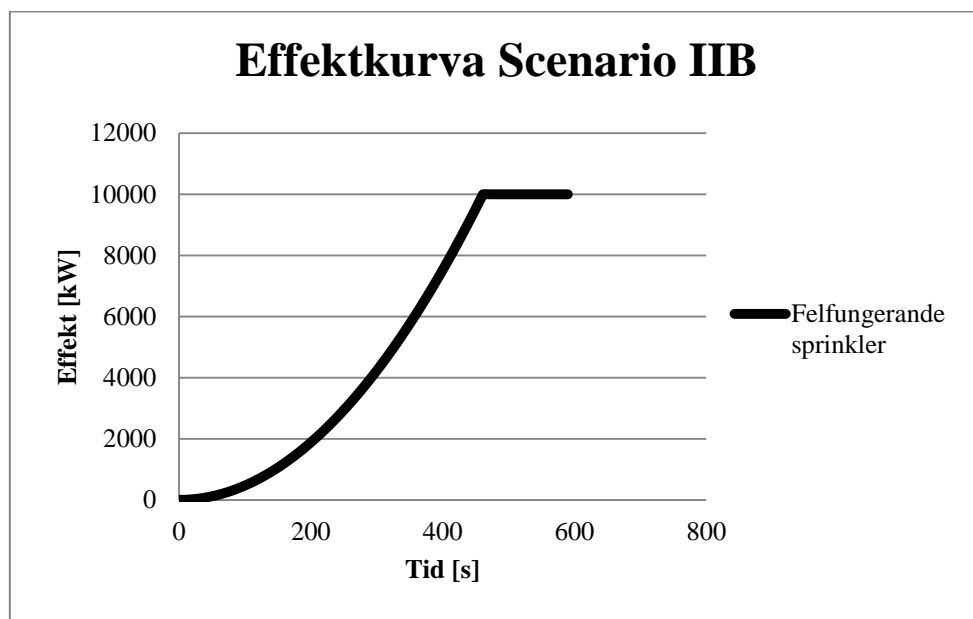
8.1.2 Scenario IIB

I det här scenariot fungerar inte sprinklersystemet och branden kommer att fortsätta att tillväxa till sin maximala effekt. Effekten beräknas enligt ekvation 3.

En förutsättning för att effekten skall kunna växa till sitt maximum är att branden sprider sig och involverar fler stallage i rummet. En strålningsberäkning utförs för att undersöka om brandspridning mellan stallagen på Lekia är möjlig. Det visar sig att avståndet mellan brand och oförbrukat bränsle skall vara mindre än 1,5 meter för att brandspridning till följd av strålning skall ske, se bilaga B. Då stallagen står tätare än 1,5 meter på majoriteten av ytan i Lekia kommer därför branden att kunna spridas. Efter att branden spridits till ett nytt stallage kommer effekten att stegra och brandspridningen underlättas. Figur 22 visar effektkurvan.

$$\dot{Q}_{max} = \alpha \cdot t^2 \quad \text{Ekvation 3}$$

$$\dot{Q}_{max} = 10\,000 \text{ kW}$$



Figur 22. Effektkurva Scenario IIB

Den totala energin som frigörs under brandförloppet beräknas med hjälp av ekvation 4 för att se om den överensstämmer med tillgänglig energi. Fullständig beräkning återfinns i bilaga E.

$$Q_{tot} = \int \dot{Q} dt \quad \text{Ekvation 4}$$

$$Q_{tot} = 5\,325 \text{ MJ}$$

Det visar sig att den totala energin som frigörs under tillväxtfasen och den stationära fasen blir 5 325 MJ. Denna energimängd kan sedan jämföras med angiven brandbelastning på 1223 MJ/m². Det

innebär i grova drag att en genomsnittlig bränsleyta om cirka 5 m² är tillräcklig för att frigöra denna mängd energi.

För att utreda huruvida branden blir ventilationskontrollerad genomförs en handberäkning, vilken redovisas i bilaga F. Det visar sig att den totala energimängden som kan förbrännas med avseende på syretillgången är 2410 MJ. Eftersom den totala energiåtgången under brandförloppet är 5325 MJ skulle branden bli ventilationskontrollerad om Lekias öppningar var så små att nytt syre inte kunde tillföras i tillräckligt stor mängd. Detta förväntas dock ej ske på grund av de stora öppningarna till Lekia, både i väggars överkant som underlättar utförelse av varma brandgaser, samt två breda öppningar som tillåter en stor mängd kall luft att tillföras. Därför genomförs en ytterligare kontroll som tar hänsyn till tilluftsöppningarna och det visar sig då att en maximal effekt på 72 MW är möjlig i utrymmet, se bilaga F. Följaktligen bedöms inte branden bli ventilationskontrollerad, och vidare används därför den maximala effekten.

8.2 Brandförloppet

För att utvärdera tiden till kritiska förhållanden, måste beräkningar på brandförloppet genomföras. Detta görs dels i FDS, dels med handberäkningar.

8.2.1 Tid till kritiska förhållanden

Målet med FDS-simuleringarna är att se hur lång tid det tar innan kritiska förhållanden uppstår. Detta genomförs genom att mäta temperatur, sikt, brandgaslagrets höjd, volymprocent koldioxid, volymprocent syre och volymprocent kolmonoxid. Vidare placeras även värmedetektorer, med egenskaper som motsvarar sprinklernas RTI och aktiveringstemperatur, ut i brandrummet för att kunna jämföra aktiveringstider med det som beräknats med Detact QS. För att förkorta beräkningstiden i FDS stängs strålningsberäkningar av och istället genomförs handberäkningar för att se hur stor strålningsintensiteten från brandgaslagret blir. För fullständig beskrivning av strålningsberäkningarna se bilaga H. Den totala simuleringstiden sätts till 14 minuter. Samtliga väggar, golv och tak får inerta materialegenskaper, vilket ej bedöms påverka resultatet i någon större utsträckning. Dörrar som leder till bakre utrymningsvägar har helt blockerats i simuleringen, då det råder stor osäkerhet kring hur stora läckage som kan uppkomma vid dessa. Detta medför försämrade förhållanden i varuhusdelen, vilket är konservativt. Tilluft till köpcentret sker via befintliga öppningar där meshgränserna har öppnats.

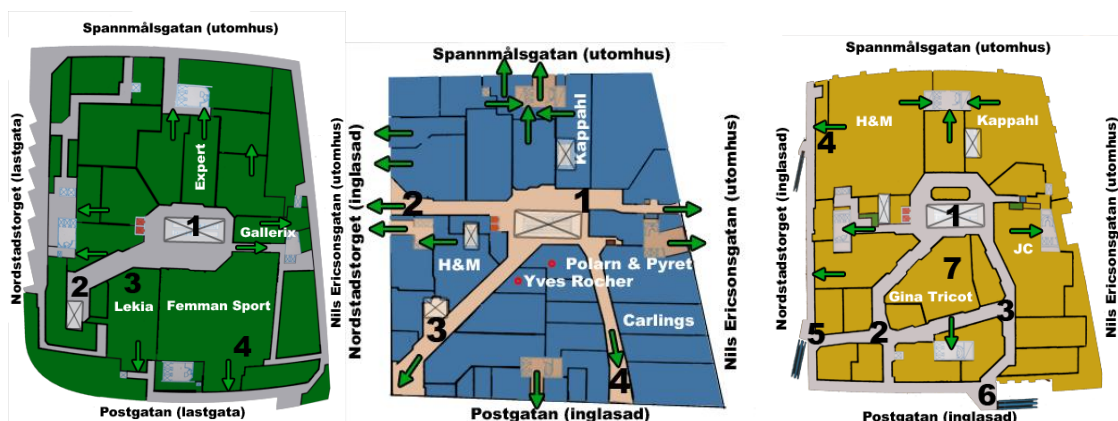
Bränslet approximeras som cellulosa utifrån rapporten *Fire for Commercial Premises - Results of Phase I* (Bwalya A. C., 2005) där det framgår att materialet i en leksaksbutik till 82 procent består av trä, papper och textilier. Trä, papper och textilier är i sin tur uppbyggt av cellulosa och därför bedöms detta vara ett rimligt antagande.

I scenario IIA används en brandarea om 0.8 meter gånger 1 meter med en total effekt per kvadratmeter om 1044 kW/m², och i scenario IIB en area om 3 meter gånger 3 meter med en total effekt per kvadratmeter om 1111 kW/m².

Mer detaljerad beskrivning av ingående variabler och inställningar i FDS finns i bilaga G.

I detta brandscenario kommer alla de tre butiksplanen att påverkas av branden. Då rapporten behandlar ett väldigt stort objekt med flera våningsplan kommer de kritiska förhållandena att uppstå vid olika tidpunkter på olika platser. För att kunna studera utdata som genereras i FDS-simuleringen och kunna jämföra dessa data med utrymningstiden och därigenom kontrollera om säker utrymning kan ske, väljs strategiskt ett mindre antal punkter ut. De punkter som väljs ut är av stort intresse vid utrymning, antingen för att ett stort antal personer antas passera punkten eller för att köbildning vid till exempel

en trappa är att vänta. Figur 23 ger en översiktlig bild över de punkter som kommer att studeras på de olika planen.



Figur 23. De utvalda punkterna på de olika planen. Från vänster plan 1, plan 2 och plan 3.

När tiden till kritiska förhållanden studeras i FDS-resultaten, kan det konstateras att sikt är den parameter som kommer att skapa problem vid utrymning. Strålningsberäkningarna visar att det krävs en temperatur på 185 °C i brandgaslagret för att en människa skall utsättas för kritiska strålningsnivåer. För fullständig beskrivning av resultatet se bilaga H. Uppmätta värden på temperatur och toxicitet i huvudhöjd redovisas i bilaga I, det observeras att kritiska nivåer ej uppnås annat än i direkt anslutning till branden. Med anledning av detta är det tiden till då parametern sikt blir kritisk som studeras i de utvalda punkterna. Sikten definieras som kritisk i brandrummet då den understiger 5 meter, i övriga utrymmen då den understiger 10 meter. Med hjälp av i FDS insatta *slice files* studeras tiden till kritiska förhållanden på de olika planen. Sikten studeras på höjden 1,6 meter över golvet då detta antas vara en genomsnittlig ögonhöjd för besökarna. Hänsyn tas till de begränsningar gällande sikt i FDS som beskrivits i avsnitt 5.2.

Tabell 18 till 20 redovisar tid till kritiska förhållanden för de olika våningsplanen gällande scenario IIA. Underlag till bedömning redovisas i bilaga I.

Tabell 18. Scenario IIA tid till kritiska förhållanden gällande sikt på plan 1.

Plan 1	
Punkt	Tid till kritisk sikt [s]
1	210
2	180
3	130
4	500

Tabell 19. Scenario IIA tid till kritiska förhållanden gällande sikt på plan 2.

Plan 2	
Punkt	Tid till kritisk sikt [s]
1	-
2	-
3	240
4	-

Tabell 20. Scenario IIA tid till kritiska förhållanden gällande sikt på plan 3.

Plan 3	
Punkt	Tid till kritisk sikt [s]
1	280
2	660
3	-
4	-
5	-
6	-

I tabell 21 till 23 visas tiderna till kritiska förhållanden i de utvalda punkterna för scenario IIB.

Tabell 21. Scenario IIB tiden till kritiska förhållanden för de olika punkterna på plan 1.

Plan 1	
Punkt	Tid till kritisk sikt [s]
1	190
2	170
3	90
4	350

Tabell 22. Scenario IIB tiden till kritiska förhållanden för de olika punkterna på plan 2.

Plan 2	
Punkt	Tid till kritisk sikt [s]
1	600
2	440
3	235
4	-

Tabell 23. Scenario IIB tiden till kritiska förhållanden för de olika punkterna på plan 3.

Plan 3	
Punkt	Tid till kritisk sikt [s]
1	230
2	390
3	500
4	560
5	700
6	650

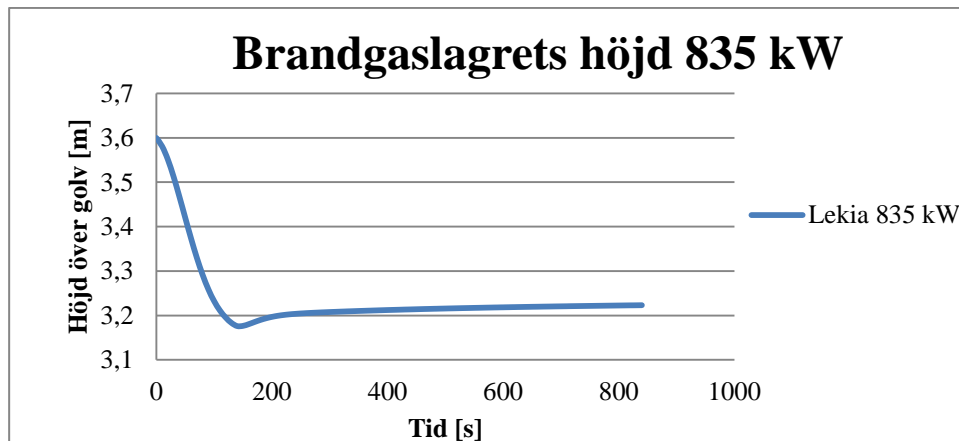
8.2.2 Validering

Tiden till sprinkleraktivering, som beräknats med Detact QS, valideras med termoelement i FDS. Termoelementen placeras på samma sätt som sprinklerna är placerade i Detact QS, så att transporttiden för brandgaser blir längsta möjliga. Vidare får termoelementen RTI-värdet $50 \text{ m}^{0.5} \text{ s}^{0.5}$ med aktiveringstemperatur $68 \text{ }^\circ\text{C}$, det vill säga samma värden som i Detact QS. Enligt Detact QS är aktiveringstiden 133 sekunder, medan den i FDS varierar mellan 111 och 115 sekunder. Dessa resultat anses stämma relativt väl överens, och därför anses de även vara trovärdiga.

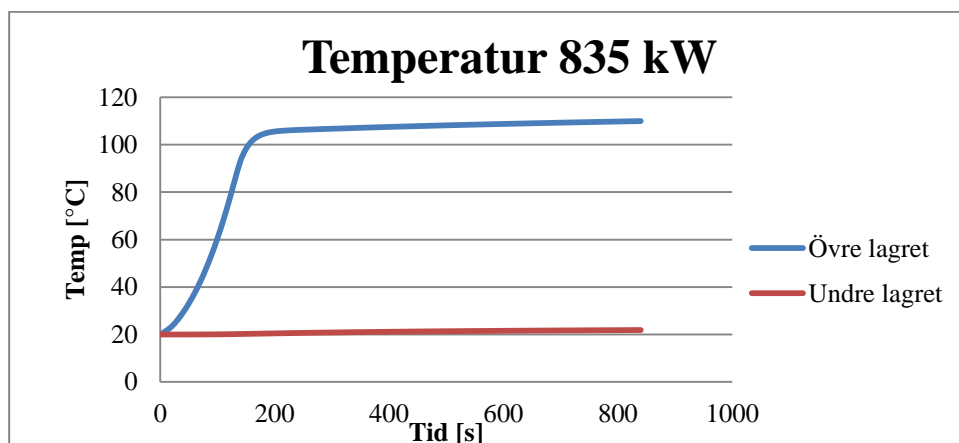
För att validera FDS simuleringen genomförs en motsvarande simulering av brandrummet i CFAST. Resultaten från de två datormodellerna gällande brandgaslagrets höjd, temperatur och tid till stationära förhållanden jämförs. Ligger dessa i samma storleksordning anses resultaten trovärdiga. Då resultaten från CFAST endast anses vara giltiga i brandrummet är det endast där jämförelser kan göras. För att kunna jämföra förhållandena längre bort från brandrummet behövs ett annat lika kraftfullt verktyg som FDS, vilket med hänsyn till tidsramen för rapporten ej är genomförbart.

Eftersom endast enklare geometrier kan simuleras i CFAST, förenklas Lekias geometri genom att väggen ut mot atriet görs rak och rummet får då måtten 15×24×3,6 meter vilket motsvarar butikens verkliga volym. Väggen ut mot atriet sänks så att en öppning på 0,4 meter skapas och en öppning med mått motsvarande ingångens placeras ut centralt på väggen. För både scenario IIA och IIB matas effektutvecklingen in i form av en at^2 -kurva med *fast* tillväxt och den maximala effekten sätts till 835 kW respektive 10 MW. Den totala beräkningstiden sätts till 840 sekunder. Som bränsle väljs ett cellulosa-baserat material för att ge likartade egenskaper som bränslet i FDS. En mer detaljerad beskrivning av indata för simuleringen finns i bilaga J.

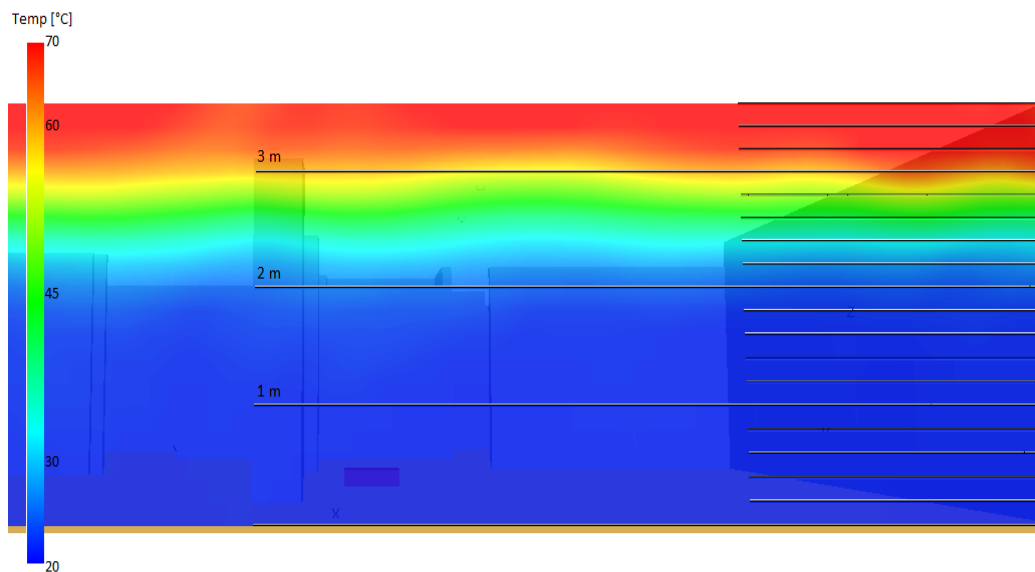
Resultatet från CFAST för scenario IIA och IIB visas i figur 24, 25, 27 samt 28 och jämförs sedan med temperaturprofilen i brandrummet från FDS-simuleringen som visas i figur 26 och 29.



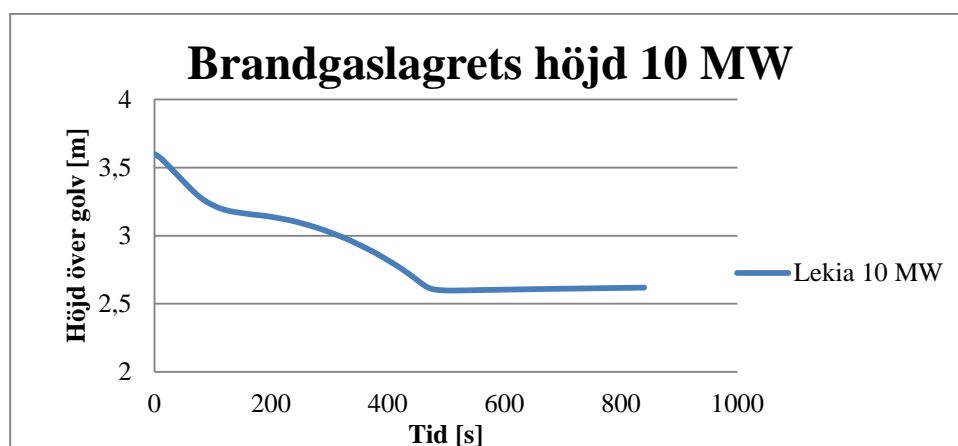
Figur 24. Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden för scenario IIA simulerat i CFAST.



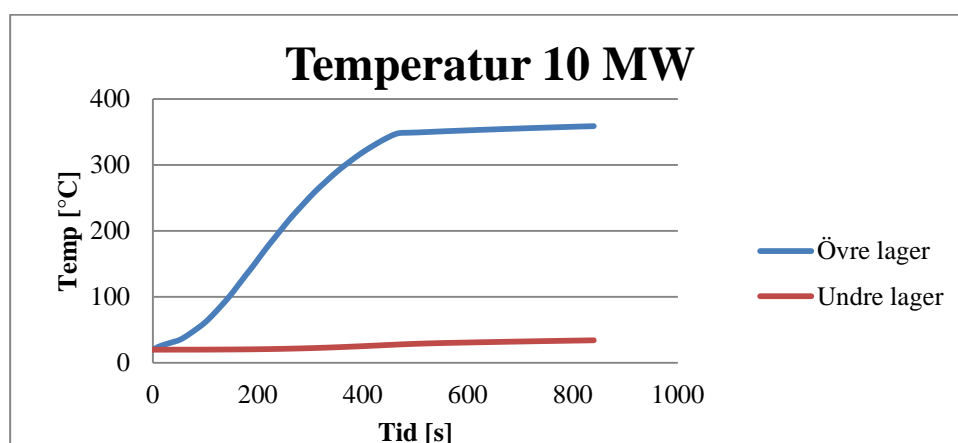
Figur 25. Temperaturen i det övre och undre lagret för scenario IIA simulerat i CFAST.



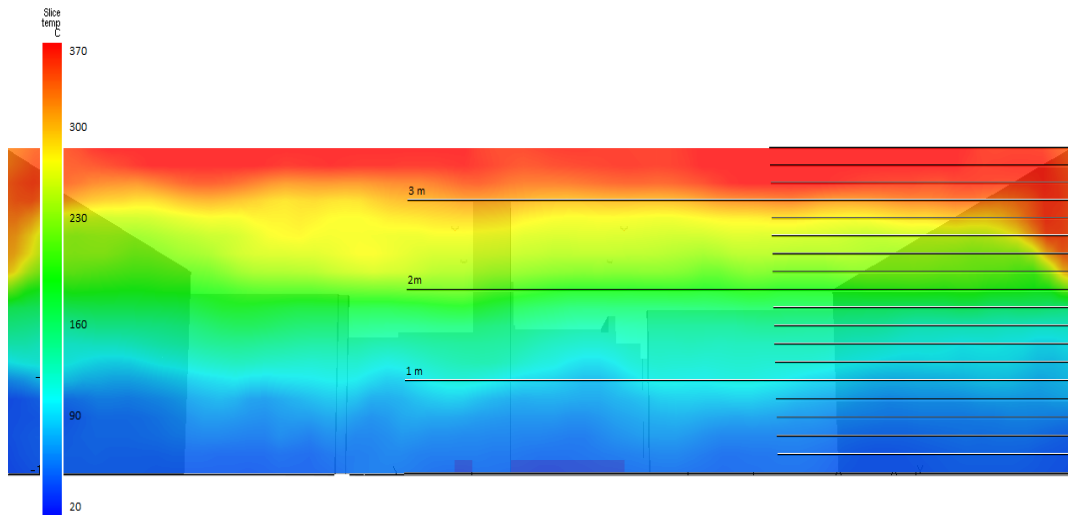
Figur 26. Temperaturprofil genom brandrummet för scenario IIA från FDS-simuleringen vid stationära förhållanden.



Figur 27. Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden för scenario IIB simulerat i CFAST.



Figur 28. Temperaturen i det övre och undre lagret i scenario IIB simulerat i CFAST.



Figur 29. Temperaturprofil genom brandrummet för scenario IIB från FDS-simuleringen vid stationära förhållanden.

Resultaten från CFAST ger att brandgaslagret stabiliseras på cirka 3,2 meter från golvet och har en temperatur på ungefär 110 °C i scenario IIA. Detta jämförs med de visuellt utlästa värdena från figur 26 som ger brandgaslagrets höjd på cirka 2,8 meter från golvet med en maximal temperatur på ungefär 70 °C. För scenario IIB ger CFAST ett brandgaslager på 2,5 meter över golvet med en medeltemperatur på 350 °C. De visuellt utlästa värdena från figur 29 är ett brandgaslager ungefär 2 meter över golvet med en temperatur på maximalt 370 °C. Resultaten redovisas i tabell 24 och anses stämma väl överens med hänsyn till de begränsningar som är förknippade med en tvåzonsmodell och de förenklingar som gjorts med geometrin i CFAST. I CFAST definieras golv- och väggmaterial med egenskaper motsvarande betong. Under simuleringarna kommer dessa att värmas upp och återstråla mot brandgaslagret, vilket kommer leda till en högre temperatur än vad simuleringarna i FDS visar. I FDS är väggar och golv definierade så att de kommer att leda bort värme från brandgaslagret, men inte själva värmas upp, vilket kan förklara den temperaturskillnad som uppkommer.

För att konstatera vid vilken tid stationära förhållanden uppnås i brandrummet i CFAST-simuleringen, studeras tiden till dess att temperatur och brandgaslagrets höjd stabiliseras. Tiden som anges i tabell 24 är en bedömning som grundas på båda ovanstående parametrar. Detta resultat jämförs med tiden till stationära förhållanden som utläses visuellt ur *slice files* från FDS gällande temperatur.

Tabell 24. Jämförelse mellan CFAST och FDS.

	CFAST	FDS
Scenario IIA		
Brandgaslagrets höjd [m]	3,2	2,8
Temperatur[°C]	110	70
Tid till stationära förhållanden [s]	210	220
Scenario IIB		
Brandgaslagrets höjd [m]	2,5	2
Temperatur[°C]	350	370
Tid till stationära förhållanden [s]	470	450

Resultaten visar att de olika simuleringarna stämmer väldigt väl överens och med detta som utgångspunkt kan FDS-simuleringarnas tillförlitlighet anses vara god.

8.3 Utrymning

Utrymningstiden är uppdelad i tre olika delar vilka är varseblivningstid, förberedelsetid samt förflyttningstid. I detta kapitel redogörs för resultaten och hur dessa beräknats. Tidsmarginalen simuleras i @RISK med Monte Carlo-metoden och med 10 000 iterationer.

8.3.1 Varseblivningstid

Varseblivningstiden bedöms vara olika beroende på var i köpcentret personer befinner sig. Tiden antas vara lägre om man ser brand eller brandgaser än om man inte gör det. För att kunna ta hänsyn till spridning och osäkerheter angående de uppskattade tiderna används datorprogrammet @RISK.

För plan 2 och 3 där branden inte är belägen sätts varseblivningstiden till den tid det tar innan utrymningslarmet aktiveras. Varseblivningstiden består av tiden till detektion tillsammans med den tid vaktpersonalen uppskattar att det tar innan utrymningslarmet aktiveras. Detektionstiden tas fram med Detact QS och ligger i ett intervall mellan 45 och 90 sekunder, för utförlig beskrivning se bilaga L. Vaktpersonalen uppskattar att utrymningslarmet i bästa fall kan sättas igång efter 120 sekunder och i sämsta fall efter 240 sekunder.

För både scenario IIA och IIB antas personer i brandrummet ha en varseblivningstid från noll, när branden startar, till 45 sekunder, som är den kortaste detektionstiden. Att den övre gränsen väljs till den kortaste detektionstiden grundas på att om en rökdetektor utanför brandrummet kan detektera branden, så borde personer i brandrummet ha upptäckt branden.

Övriga personer på plan 1 kommer upptäcka branden vid väldigt olika tider beroende på om de befinner sig i anslutning till brandrummet eller långt in i någon av de övriga butikerna. Personer som befinner sig i närheten kommer tidigt se branden eller brandgaser och därmed få en kortare varseblivningstid. Den nedre tiden sätts därför till 45 sekunder då detektion sker, vilket betyder att rök kan observeras i atriet. Enligt tidigare resonemang i kapitel 8.3.1 kan det ta lång tid för personer som kan se rök men inte ser branden att uppmärksamma faran. Därför sätts den maximala tiden för varseblivning till när utrymningslarmet senast ljuder, vilket är efter 330 sekunder.

Samtliga intervall antas ha uniforma fördelningar på grund av kunskapsosäkerheter i rapportunderlaget där det inte går att uppskatta ett troligaste värde. Tabell 25 visar de använda värdena för varseblivningstiden i @RISK simuleringen.

Tabell 25. Medelvärde och intervall för varseblivningstiden.

Position	Medelvärde [s]	Intervall [s]
Brandrummet	22,5	0-45
På samma plan som branden	187,5	45-330
På något av de övriga planen	247,5	165-330

8.3.2 Förberedelse- och förflyttningstid

För att beräkna den totala förberedelse- och förflyttningstiden för utrymning av Varuhuset Femman simuleras en utrymning med hjälp av datorprogrammet Simulex. En uniformt fördelad reaktionstid sätts in med värden enligt tabell 26. För att bestämma förberedelsetiden uppskattas inom vilket tidsintervall rörelse påbörjas. Medelvärdet för detta tidsintervall sätts in i Simulex med intervallets min- och maxvärde som gör att hela intervallet täcks in. Tiderna uppskattas med utgångspunkt från de tider som föreslås i *Brandskyddshandboken* (Brandteknik, 2005) och i rapporten *Tid för utrymning vid brand* (Frantzich, 2001). För en mer utförlig beskrivning se bilaga K.

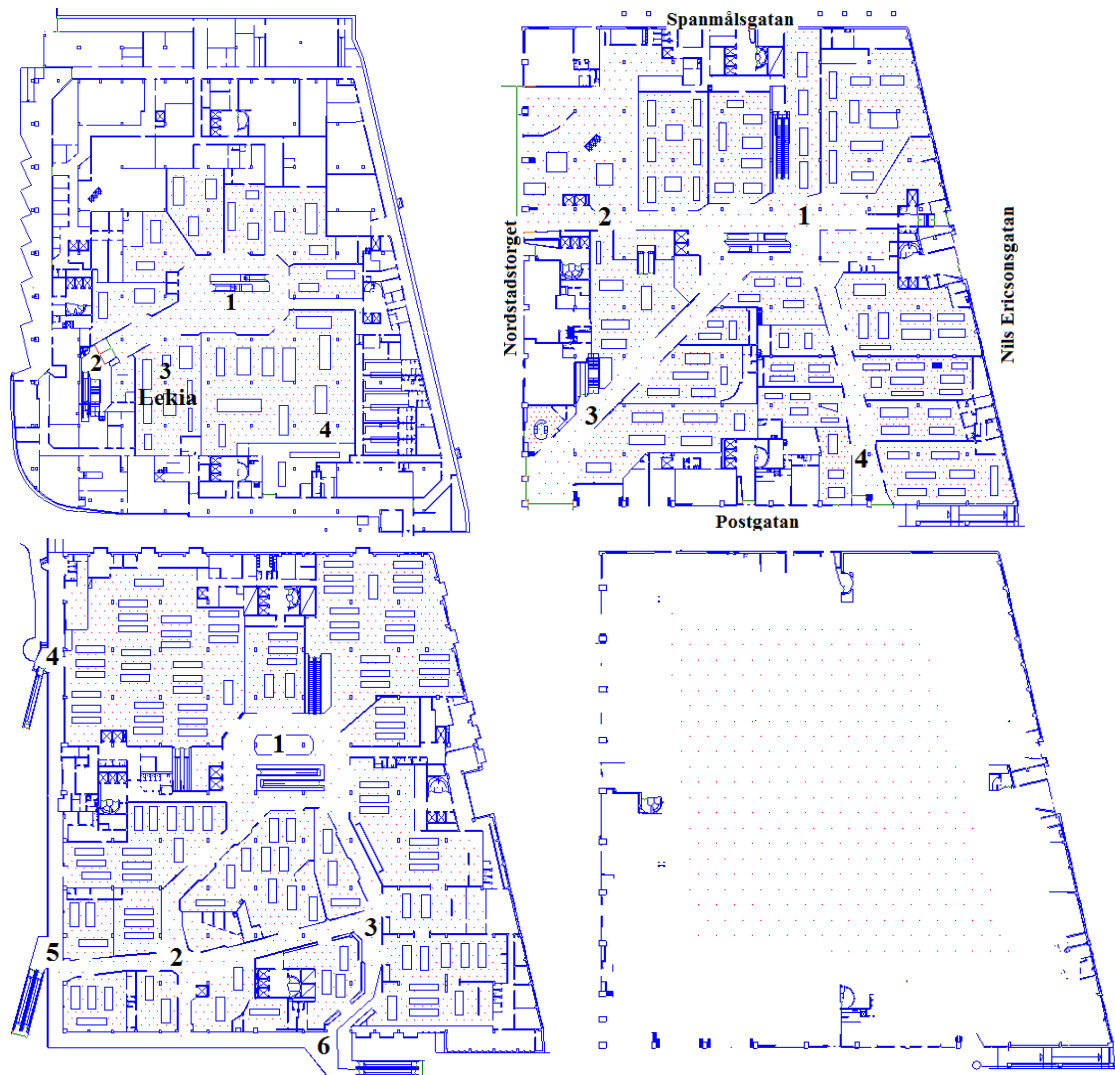
Tabell 26. Medelvärden och intervall för den uniformt fördelade förberedelse tiden i Simulex.

Position	Medelvärde [s]	Intervall [s]
Brandrummet	45	30-60
På samma plan som branden	75	60-90
På något av de övriga planen	105	90-120

Antalet personer som befinner sig i Varuhuset Femman är avgörande för hur lång förflyttningstiden blir. För att bestämma antalet personer per våningsplan används persontätheten, vilken sätts till 0,4 personer/m² för plan 1 och 3, medan det på plan 2 sätts till 0,5 personer/m². Detta förhöjda värde beror på att plan 2 är entréplan och spontanbesök på detta plan anses troligare än på övriga plan. Personantalen blir då 705 personer på plan 1, 1607 personer på plan 2 och 1456 personer på plan 3.

Personerna har till viss del styrts, istället för att som förinställt gå till närmaste utgång, detta eftersom utrymningen skall bli mer realistisk. På plan 1 är en stor del av de bakre utrymningsvägarna dåligt markerade och därför har fler personer styrts till de naturliga in- och utgångarna. Utrymningsväg 141B, på plan 1 mellan Femman sport och Gallerix används inte alls eftersom den är försedd med kodlås som måste öppnas av personal. Det bedöms inte säkert att låta en utrymningsväg vara beroende av ett manuellt ingripande. Andelen som använder de naturliga utrymningsvägarna är satt till 77 procent och de resterande 23 använder de bakre. Fullständig beskrivning till val av indata för simuleringen finns i bilaga K.

Eftersom brandgaserna i detta scenario kommer att påverka alla affärsplanen och kritiska förhållanden kan uppstå, kommer samtliga plan att simuleras. Dock kommer inte kritiska förhållanden att inställa sig överallt, utan väldigt varierande förhållanden kommer uppstå på olika platser. Målet med simuleringen är att utreda tiden det tar innan utrymningen är avslutad i de strategiskt utvalda punkterna. Anledningen till att dessa punkter valts är att det vid dessa antingen förväntas bli köbildning, eller att personen i fråga inte längre riskerar att utsättas för kritiska förhållanden när den har passerat punkten. Figur 30 nedan visar de utvalda punkterna och geometrin för simuleringarna. Till Plan 4 kommer brandgaserna aldrig att nå, då de övre kontorsplanen är en egen brandcell. Planet finns med eftersom det kommer att påverka den totala utrymningstiden då det kan bli köbildning i trapphusen.



Figur 30. Uppställningen för Simulex simuleringen med de utvalda punkterna. Uppe från vänster plan 1, plan 2, plan 3 och sist plan 4.

Tabell 27 till 29 redovisar de i simuleringen erhållna tiderna till dess att samtliga personer passerat de givna punkterna.

Tabell 27. Förberedelse- och förflyttningstiden till de olika punkterna för plan 1.

Plan 1	
Punkt	Förberedelse- och förflyttningstid [s]
1	285
2	130
3	80
4	125

Tabell 28. Förberedelse- och förflyttningstiden till de olika punkterna för plan 2.

Plan 2	
Punkt	Förberedelse- och förflyttningstid [s]
1	315
2	335
3	185
4	200

Tabell 29. Förberedelse- och förflyttningstiden till de olika punkterna för plan 3.

Plan 3	
Punkt	Förberedelse- och förflyttningstid [s]
1	140
2	200
3	180
4	275
5	380
6	455

8.4 Känslighetsanalys

För att bedöma de erhållna resultatens känslighet för variation av indatavariabler, genomförs känslighetsanalyser. Utifrån detta kan sedan en bedömning göras angående resultatens tillförlitlighet.

Inverkan av ett sänkt personantal på resultatet studerades för scenario I, och inga större tidsskillnader kunde observeras. Då utrymningsförloppet för de två scenarierna är snarlika anses den redan genomförda känslighetsanalysen även gälla scenario II.

8.4.1 Tid till kritiska förhållanden

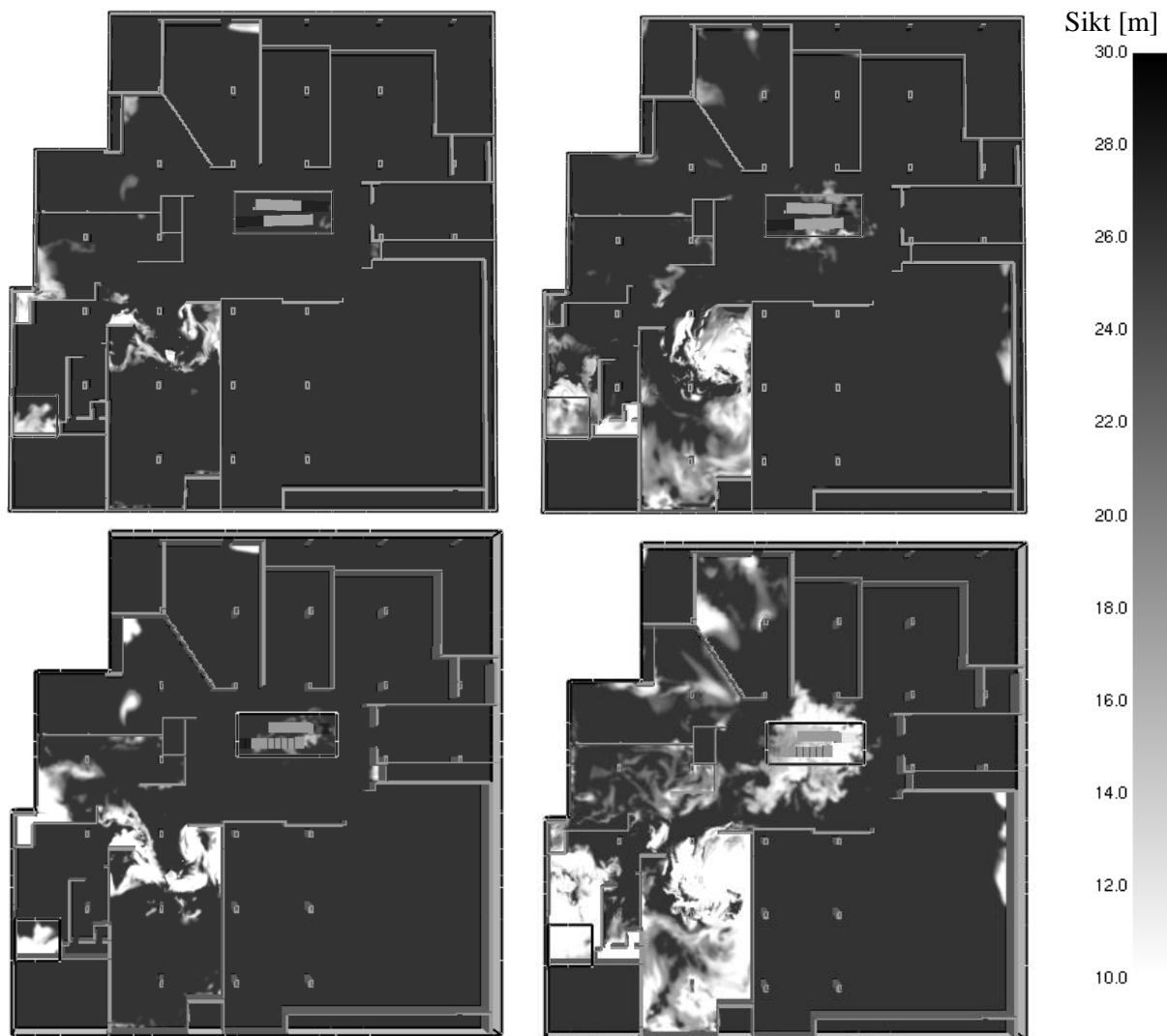
Val av bränsle, det vill säga definiering av den kemiska sammansättningen, påverkar brandens syreförbrukning. Enligt bilaga F blir branden, med god marginal, aldrig ventilationskontrollerad och därmed anses det ej nödvändigt att studera denna variabel ytterligare.

De erhållna resultaten visar att temperaturen generellt är betydligt lägre än de 80 °C som definieras som kritiska. Att verkliga väggmaterial som värms upp skulle medföra att brandgasernas temperatur steg till kritisk anses högst otroligt. Valet att approximera alla material i väggarna som inert anses därför vara godtagbart.

Eftersom sikten har visat sig vara den mest kritiska faktorn genomförs en känslighetsanalys på valet av *soot yield*. Den ursprungliga *soot yielden* bygger på förslag för köpcentra och är satt till 0,06 kg/kg (Staffansson, 2010). Eftersom bränslet på Lekia antas innehålla 19 procent plast (Bwalya A. C., 2005) kan det medföra en högre *soot yield*. I rapporten *Selecting design fires* föreslås ett värde på 0.01-0.17 kg/kg för flambrand i plastmaterial (Staffansson, 2010). Med detta som grund kommer en fördubblad *soot yield*, det vill säga 0,12 kg/kg, att testas i det här scenariot.

Det visar sig att en fördubblad *soot yield* inte påverkar förhållandena i någon större utsträckning. Utbredningen av brandgaser beter sig på liknande sätt men ett större område innefattas av kritiska förhållanden vid en bestämd tidpunkt. Under de första 200 sekunderna skiljer sig tiden till kritiska förhållanden i känslighetsanalysen med maximalt 20 sekunder från den ursprungliga simuleringen. Eftersom det är i det här tidsintervallet som det blir kritiskt vid de flesta punkterna på plan 1 är denna tid särskilt relevant. Om en del av en korridor bedöms som kritisk är utgångspunkten att hela den korridoren är obrukbar. Det innebär att det är irrelevant ifall ett större område blir kritiskt, då det sker vid samma tidpunkt som ett mindre område vid lägre *soot yield*. Detta går att utläsa i figur 31 där bilderna till vänster visar sikten efter 200 sekunder och det syns tydligt att det är samma områden som är påverkade, men i den nedre bilden är förhållandena i det området sämre. Längre in i brandförloppet blir utbredningen av kritiska förhållanden ännu tydligare. Bilderna till höger i figur 31 visar sikten efter 300 sekunder men efter denna tid är kritiska förhållanden redan uppmätta i de större utrymningsvägarna med en lägre *soot yield*. Liknande observationer görs på övriga plan. Slutsatsen blir att det handlar mycket om hur kritiska förhållanden avläses. Med rapportgruppens mer

konserverna synsätt, att kritiska förhållanden uppstår då sikten i en punkt understiger 10 meter, påverkar inte en fördubblad *soot yield* resultaten i någon större utsträckning.



Figur 31. *Slice files* som åskådliggör sikten efter 200 sekunder till vänster respektive 300 sekunder till höger. De övre bilderna med *soot yield* 0,06 kg/kg och de nedre 0,12 kg/kg. Skalan till höger visar sikt i antal meter. I de vita fälten är sikten mindre än 10 meter.

Vid validering av sprinkleraktivering i kapitel 8.2.2 visade det sig att aktiveringstiden erhållen från FDS var något lägre än den beräknade i Detact QS, därför anses det intressant att studera vad den effektsänkning som en tidigare aktivering medför. Om sprinklern aktiverar vid den kortare tiden kommer den maximala effekten vara lägre, vilket bör medföra längre tid till dess att kritiska förhållanden uppnås, vilket ökar tidsmarginalen för utrymning. Tiden till sprinkleraktivering beräknades med hjälp av FDS till mellan 111 och 115 sekunder. Vid känslighetsanalyssimuleringen används 115 sekunder och den maximala effekten blir då 621 kW. I övrigt är indata till simuleringarna oförändrade och redovisas i bilaga G. Resultatet redovisas i tabell 30 till 32.

Tabell 30. Jämförelse av tid till kritiska förhållanden på plan 1 med effekterna 835 kW respektive 621 kW.

Plan 1		
Punkt	Tid till kritisk sikt grundutförande[s]	Tid till kritisk sikt 621 kW[s]
1	210	250
2	180	200
3	130	400
4	500	700

Tabell 31. Jämförelse av tid till kritiska förhållanden på plan 2 med effekterna 835 kW respektive 621 kW.

Plan 2		
Punkt	Tid till kritisk sikt grundutförande[s]	Tid till kritisk sikt 621 kW[s]
1	-	-
2	-	-
3	240	250
4	-	-

Tabell 32. Jämförelse av tid till kritiska förhållanden på plan 3 med effekterna 835 kW respektive 621 kW.

Plan 3		
Punkt	Tid till kritisk sikt grundutförande[s]	Tid till kritisk sikt 621 kW[s]
1	230	320
2	390	-
3	500	-
4	560	-
5	700	-
6	650	-

Som väntat blir tiderna till kritiska förhållanden längre vid en minskad effekt. Skillnaderna är dock varierande och det skiljer relativt lite på en del platser medan det i andra sker stora förändringar. Punkten i brandrummet uppvisar en ökning på 270 sekunder men utifrån tidigare resultat kan säker utrymning redan ske, varför ökningen är irrelevant. De tre punkterna, ett och två på plan 1 samt tre på plan 2, är de som förväntas vara kritiska. Det erhålls dock små skillnader vid dessa punkter. Tiderna förlängs endast med mellan 10 och 40 sekunder, vilket förklaras med att det är hit brandgaserna transporteras först och ansamlas. Eftersom skillnaden i de punkter som är mest intressanta blir liten anses inte valet av maximal effekt vara alldeles för konservativt och det ansatta värdet kommer därför att användas.

8.4.2 Varseblivningstid

Varseblivningstiden består till största del av den tid som förflyter från detektion till dess att vaktpersonal aktiverar utrymningslarmet. Denna tid bygger endast på uppskattningar av den vid besöket tjänstgörande vakten. Vakten uppskattade handlings tiden till 2-4 minuter och det bedöms vara ett smalt intervall. Om det som bäst tar två minuter borde den övre gränsen kunna bli betydligt högre om problem uppstår. För att kunna studera osäkerheten som denna bedömning medför, genomförs en analys av hur tidsmarginalen påverkas då den maximala handlings tiden förlängs med två minuter. I

tabell 33 redovisas skillnaden och det går att utläsa att en förändring i vaktid får stort utslag på totala varseblivningstiden. Därför kommer detta att beaktas vid den slutgiltiga jämförelsen angående säker utrymning.

Tabell 33. Jämförelse av varseblivningstider med och utan förlängd vaktid.

Position	Varseblivningstid grundutförande		Varseblivningstid med förlängd vaktid	
	Medelvärde [s]	Intervall [s]	Medelvärde [s]	Intervall [s]
Brandrummet	45	30-60	22,5	0-45
På samma plan som branden	75	60-90	247,5	45-450

8.4.3 Förberedelsetid

Osäkerheterna gällande besökarnas förberedelsetid hanteras i Simulex med uniform fördelning. Dock har det visats att en lognormal fördelning stämmer väl överens med verkligheten gällande denna variabel (British standards institution, 2004). För att kunna studera skillnaden i resultatet som en ändrad fördelning medför krävs att förberedelsetiden hanteras separerat från förflyttningstiden. Detta skulle resultera i att endast förflyttningstiden hanteras i Simulex och att samtliga individer påbörjar sin utrymning simultant. Detta kan resultera i mer köbildning på vissa platser under utrymningsförloppet i simuleringen. Köbildningen som uppstår om förberedelsetiden behandlas separat anses inte spegla verkligheten och med anledning av detta anses det mer korrekt att beakta förberedelsetiden i Simulex.

8.5 Jämförelse mellan tid till kritiska förhållanden och utrymningstid

För att konstatera om säker utrymning kan ske jämförs resultaten från FDS som ger tiden till kritiska förhållanden med den totala utrymningstiden som består av varseblivningstid, förberedelsetid och förflyttningstid. När tidsmarginalen simuleras i @RISK summeras först fördelningarna för varseblivningstiden med förberedelse- och förflyttningstiden. Tidsmarginalen erhålls genom att subtrahera den totala utrymningstiden från tiden till kritiska förhållanden. De resultat som presenteras är medelvärden för de olika tiderna samt hur stor andel av tidsmarginalen som blir negativ. När tidsmarginalen blir negativ så betyder det att en eller flera personer kommer att utrymma under kritiska förhållanden för siktbarhet. För att kunna dra några slutsatser om säker utrymning i de punkter som anses intressanta får tidsmarginalen understiga noll i maximalt 10 procent av utfallen från simuleringen. Om procentsatsen istället satts till noll hade resultaten blivit överkonservativa och en bedömning svår att göra. Simuleringen genomförs med Monte Carlo-metoden och med 10 000 iterationer.

8.5.1 Scenario IIA

Tabell 34 till 36 visar resultat gällande säker utrymning på plan 1 till plan 3.

Tabell 34. Resultat gällande säker utrymning plan 1.

Punkt	Plan 1				
	Total tid Utrymning [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]	Tidsmarginal [s]	Andel understigande [%]	Säker utrymning
1	472,5	250	-222,5	100	Nej
2	317,5	200	-117,5	97,2	Nej
3	102,5	300	197,5	0	Ja
4	312,5	500	187,5	0	Ja

Tabell 35. Resultat gällande säker utrymning plan 2.

Plan 2					
Punkt	Total tid Utrymning [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]	Tidsmarginal [s]	Andel understigande [%]	Säker utrymning
1	562,5	-	-	0	Ja
2	582,5	-	-	0	Ja
3	432,5	240	-192,5	100	Nej
4	447,5	-	-	0	Ja

Tabell 36. Resultat gällande säker utrymning plan 3.

Plan 3					
Punkt	Total tid Utrymning [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]	Tidsmarginal [s]	Andel understigande [%]	Säker utrymning
1	387,5	280	-107,5	100	Nej
2	447,5	660	212,5	0	Ja
3	427,5	-	-	0	Ja
4	522,5	-	-	0	Ja
5	627,5	-	-	0	Ja
6	702,5	-	-	0	Ja

Resultaten visar att det framförallt är på plan 1 som säker utrymning inte kommer kunna genomföras. Detta kan förklaras med planets mindre area, vilket gör att det fortare ansamlas brandgaser. Situationen förvärras av att de flesta besökarna förväntas använda de stora huvudentréerna genom vilka man naturligt kommer till och från plan 1. Antagandet görs eftersom dessa vägar är kända för besökarna, dessutom är de bakre utrymningsvägarna i butikerna i många fall dåligt skyltade. På plan 2 och 3 uppstår kritiska förhållanden i direkt anslutning till de öppningar som kommer från plan 1 där brandgaserna kan slå i taket och ansamlas. Anledningen till att atriet inte blir kritiskt på plan 2 är det inte finns något tak som stoppar och ansamlar brandgaserna.

Eftersom känslighetsanalysen visade att vakttiden har stor inverkan på varseblivningstiden studeras vilken inverkan den har på den totala utrymningstiden och därmed slutresultatet. Det visar sig att det enda planet som påverkas i sådan utsträckning att säker utrymning hotas är plan 1. Resultatet från detta plan redovisas därför i tabell 37 och det går att utläsa att punkt 4 blivit kritisk.

Tabell 37. Resultat gällande säker utrymning plan 1 vid ökad vakttid samt jämförelse med ansatt tid.

Plan 1 känslighetsanalys						
Punkt	Total tid Utrymning [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]	Tidsmarginal [s]	Andel understigande ökad vakttid [%]	Andel understigande grundutförande [%]	
1	532,5	250	-282,5	100	100	
2	377,5	200	-177,5	97,8	97,2	
3	102,5	350	247,5	0	0	
4	372,5	500	127,5	14,7	0	

Den första analysen påvisade ett behov av åtgärder för att säker utrymning skall kunna ske. Resultatet från känslighetsanalysen stärker denna slutsats.

8.5.2 Scenario IIB

Tabell 38 till 40 visar resultat gällande säker utrymning på plan 1 till plan 3.

Tabell 38. Resultat gällande säker utrymning plan 1.

Plan 1					
Punkt	Total tid Utrymning [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]	Tidsmarginal [s]	Andel understigande [%]	Säker utrymning
1	472,5	190	-282,5	100	Nej
2	317,5	170	-147,5	100	Nej
3	102,5	105	2,5	45,1	Nej
4	312,5	350	37,5	34,4	Nej

Tabell 39. Resultat gällande säker utrymning plan 2.

Plan 2					
Punkt	Total tid Utrymning [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]	Tidsmarginal [s]	Andel understigande [%]	Säker utrymning
1	562,5	600	37,5	18,4	Nej
2	582,5	440	-142,5	100	Nej
3	432,5	235	-197,5	100	Nej
4	447,5	-	-	0	Ja

Tabell 40. Resultat gällande säker utrymning plan 3.

Plan 3					
Punkt	Total tid utrymning	Tid till kritiska förhållanden	Tidsmarginal	Andel understigande [%]	Säker utrymning
1	387,5	230	-157,5	100	Nej
2	447,5	390	-57,5	94,5	Nej
3	427,5	500	72,5	0,8	Ja
4	522,5	560	37,5	18,6	Nej
5	627,5	700	72,5	0,8	Ja
6	702,5	650	-52,5	92	Nej

Den korta tiden tills kritiska förhållanden uppstår i detta scenario gör att det i de flesta punkterna inte går att garantera säker utrymning. Det kan konstateras att ett fungerande sprinklersystem är en förutsättning för att säker utrymning av varuhuset skall kunna ske.

9 Åtgärdsförslag

I detta kapitel redovisas och valideras de åtgärdsförslag som tagits fram för Varuhuset Femman. Många fler åtgärdsförslag än de som presenteras här har diskuterats inom projektgruppen. Dessa är dock de som anses vara relativt enkla att implementera samt påverka utrymnings säkerheten i större utsträckning. Inledningsvis presenteras alla åtgärdsförslag utan inbördes ordning, dessa kontrolleras sedan genom nya beräkningar och simuleringar varpå utrymnings säkerheten återigen bedöms. Slutligen presenteras de åtgärdsförslag som rapportgruppen anser skall åtgärdas, för att skydds målet skall uppfyllas, samt bör åtgärdas, för att öka säkerhets marginalen. Redan när resultaten från scenario IIB studerades kunde det konstateras att ett fungerande sprinklersystem är en förutsättning för att säker utrymning av varuhuset skall kunna ske. Vidare konstaterades det att scenario I inte kräver några åtgärdsförslag utöver de som krävs för scenario IIA. Därför kommer valideringen av åtgärdsförslagen endast testas mot scenario IIA.

Byt till informativt talat utrymningsmeddelande

I dagsläget finns ett talat utrymningsmeddelande, vilket anses ha brister och bedöms därför jämförbart med ett enkelt talat utrymningsmeddelande. Med hjälp av ett informativt talat meddelande kan förberedelse tiden för utrymmande person sänkas till cirka en minut (Frantzich, 2001). Önskvärt är att meddelandet informerar specifikt om brand i byggnaden. Att information om brand utelämnas från talade meddelanden beror ofta på en rädsla för att folk skall gripas av panik. Studier har dock visat att så icke är fallet och information om vad som ligger till grund för utrymningen kan minska tiden det tar för en individ att fatta beslut om utrymning⁶. I dagsläget ges ingen information alls om orsak, vilket kan förklaras med att Varuhuset Femman använder samma meddelande till andra typer av hot som inte innefattar brand. Även då brand inte är orsaken till att utrymning skall påbörjas, är en kort utrymningstid önskvärd. Det anses därför inte vara fel att använda ett meddelande där brand nämns vid all sorts utrymning. Detta förslag bedöms enkelt att utföra och medför inga stora kostnader då all utrustning finns och redan används. Ett exempel på utformning av ett informativt talat meddelande ges i rapporten *Utrymningsdimensionering* (Boverket, 2006).

1. Signalen "Omedelbar fara" enligt SS 03 17 11 ljuder i 5 sekunder.
2. "Viktigt meddelande. Vi har fått ett brandtillbud i byggnaden. Vi får be samtliga att omedelbart lämna lokalerna genom närmaste utgång. Följ personalens anvisningar. Fortsätt ut i det fria och var vänliga att inte blockera utgångarna."
3. Signalen "Omedelbar fara" enligt SS 03 17 11 ljuder i 5 sekunder.
4. "Important message. There is a fire situation in the building. Please leave the building through the nearest exit. Follow the instructions given by the management and proceed to the outside. Don't block the exits."
5. Signalen "Omedelbar fara" enligt SS 03 17 11 ljuder i 5 sekunder.
6. Meddelandet upprepas från punkt 2.

Kontroll av personalens utbildningsnivå gällande brandskydd

I dagsläget genomgår endast butikschefen en extern brandskyddsutbildning och utbildar sedan sin personal. Utifrån enkätsvaren framgår det att personalen önskar utökad och kontinuerlig brandskyddsutbildning. Vid ett korrekt agerande från personalen kan förberedelse tider, val av rätt utrymningsvägar och en tidig släckinsats förbättras vilket leder till att den totala utrymningstiden minskas. Fastighetsägaren Hufvudstaden bör genomföra kontroller av hur butikscheferna vidarebefordrar sin kunskap till personal.

⁶ Universitetslektor Daniel Nilsson, Lunds tekniska högskola, Föreläsning 2011-02-22

Nedan följer en rad konkreta förslag på vad utbildningen bör innefatta.

- Skall ha kunskap för att leda besökare till närmaste utrymningsväg
- Känna till var släckutrustning finns samt känna sig trygg med användandet av den
- Veta hur brandlarmet startas manuellt

Tidigt kodat larm till personal

Varuhuset har idag ett kodat förlarm, men hur och i vilken omfattning det används är oklart. Ur erhållna kommentarer i de insamlade enkäterna framgår att samtlig personal inte känner till förlarmets betydelse. Ett förlarm som startas samtidigt som brandlarmet i kombination med tillräcklig utbildning skulle ge personalen god tid till att förbereda en effektiv utrymning.

Ytterligare knappar för manuell aktivering av brandlarmet

Tryckknappar för manuell aktivering av brandlarmet finns placerade på flera platser i Varuhuset Femman. Dock känns de ostrategiskt utplacerade och inte i tillräcklig omfattning. Endast ett fåtal butiker är utrustade med larmknapp och enkätsvaren visar att en väldigt stor andel av de anställda inte har kännedom om hur brandlarm aktiveras manuellt. Ett korrekt användande av dessa kan resultera i kortare varseblivningstider än om en detektor skall aktivera. Tryckknappar bör därför placeras i samtliga butiker, och personalen informeras om dess funktion. Råder oro angående avsiktliga falsklarm i samband med dessa knappar kan de placeras vid kassorna eller så att främst de anställda har tillgång till dem. En sådan placering skulle även ge en bättre tillförlitlighet för larmen, samt att vaktens handlings tid kan förkortas genom att ringa till berörd butik där personal bekräftar brandlarm.

Tydligare skyltning och utformning av utrymningsvägar

Resultaten visar att utrymning via rulltrapporna i atriet inte är möjligt under hela utrymningsförloppet. Effektivt utnyttjande av bakre utrymningsvägar i butikerna är således nödvändigt för att garantera en säker utrymning. I dagsläget observeras tveksam skyltning till, och utformning av, utrymningsdörrar på vissa platser i Varuhuset Femman, främst på plan 1. Exempel på otydlig utrymningsväg finns i Femman Sport på plan 1 där utrymningsdörren är integrerad i en väggmålning. Genomgång av samtliga gemensamma utrymmen och butiker bör göras för att garantera att utrymningsvägar lätt kan identifieras. Utrymningsdörrar bör tydligt signalera sin funktion, varför meddelanden såsom ”endast personal” och dylikt i största möjliga utsträckning bör undvikas. Vidare skall alla dörrar i utrymningsvägar vara utåtgående i utrymningsriktningen (Boverket, 2008).

Skytningen på plan 3 anses vara bra, exempel på detta kan ses i figur 32 och 33. Utrymningsvägarna på plan 1 borde skyltas på likvärdigt sätt med tydlig markering från allmänna utrymmen in i butikerna, i kombination med en tydligt markerad utrymningsdörr. I de butiker där utrymningsdörren inte är synlig från ingången bör kompletterande efterlysande skyltar placeras ut som vägledning. Det rekommenderas att de nya skyltar som placeras ovanför utrymningsdörrar är genomlysta då detta medför att de är lättare att identifiera, vilket kan medföra en förkortad utrymningstid⁷.

⁷ Universitetslektor Daniel Nilsson, Lunds tekniska högskola, Föreläsning 2011-02-22



Figur 32. Utrymningsskyltar från atriet in i butik på plan 3.



Figur 33. Tydlig utrymningsskylt, inringat med grönt, som syns från ingången till butik.

Utrymningsvägar genom lager skall hållas fria och bör även markeras med vägledande markering i golvet, eller tydlig skyltning. Då skyltningen ute vid lastkajerna på lastgatan upplevs som förvirrande bör det ske en genomgång av dessa. Då dessa platser är en okänd miljö för utrymnande individer vore det önskvärt med en tydligare anvisning till en huvudsaklig utrymningsväg istället för att, som i dagsläget, skylta mot alla.

Bättre och enklare lås på utrymningsdörrar

Vid platsbesök observerades på vissa platser, främst på plan 1, tveksamma låsanordningar på dörrar avsedda för utrymning. Främst var det dörrar som leder ut genom den bakre delen av butikerna som observerades ha vanliga låsvred samt trycken, vilka kan vara svårhanterliga vid en utrymningsituation.

Utrymningsdörrar bör förses med enkla låsanordningar såsom brythandtag eller panikreglar. Detta för att ett enkelt öppnande i kombination med ett mer inbjudande utseende skulle få fler personer att använda dem. Detta blir extra viktigt eftersom de bakre utrymningsvägarna är en förutsättning för att säker utrymning skall kunna ske.

Gör utrymningsväg på plan 1, dörr 141B, oberoende av personal

I dagsläget krävs att personal öppnar utrymningsvägen, som benämns 141B, mellan Femman Sport och Gallerix på plan 1. Figur 34 visar att denna utrymningsväg inte är inbjudande och endast kan öppnas av personal eller vakt med kod till låset. Denna dörr kommer ej att öppnas förrän aktivering av utrymningslarm har skett i brandlarmscentralen vilket uppskattas ta mellan två till fyra minuter från det att branden detekteras.



Figur 34. Låst och dåligt markerad utrymningsväg mellan Femman sport och Gallerix på plan 1.

För att kunna minska utrymningstiden av plan 1 och garantera utrymnings säkerheten bör denna dörr fungera som ordinarie utrymningsväg och vara försedd med panikregel eller brythandtag samt vara bättre skyltad.

Ett problem med denna lösning kan vara att obehöriga personer enklare kan ta sig in till personal och lagerutrymmen, vilket inte är önskvärt. Dock leder denna dörr via en kort korridor till ett trapphus som personer på ovanliggande plan redan använder vid utrymning, samt en dörr till utrymmen för anställda. En lösning vore att sätta kodlåset på denna dörr och endast låta dörren till trapphuset vara öppningsbar. Ett komplement till detta kan vara att dörren i atriet förses med larm som förhindrar bruk i annat fall än vid utrymning. Att förlita sig på att personalen vid ett brandtillbud skall kunna genomföra sina åtaganden vid den egna butiken och samtidigt se till att utrymningsvägen hålls öppen är inte realistiskt.

Blockera öppningar mellan väggar och tak från butiker ut mot allmänna utrymmen

Resultaten har visat att tiderna till kritiska förhållanden på plan 1 är korta och därmed en avgörande parameter för säker utrymning. Detta förslag bygger därför på att fördröja tiden tills kritiska förhållanden uppstår och öka möjligheten för personer att hinna utrymma.

I dagsläget går inte väggarna på plan 1 hela vägen upp till taket, vilket tillåter brandgaser att fritt spridas utmed taket. Om man istället låter väggarna gå hela vägen upp skulle brandgasspridningen till övriga planet fördröjas. Detta kan medföra att tiden till kritiska förhållanden i utrymningsvägarna förlängs.

Nackdelarna med detta förslag är dels att tiden till kritiska förhållanden inne på den brandutsatta butiken förkortas och tid till detektion kan öka eftersom rökdetektorer i dagsläget endast är placerade i atriets. Dock har resultaten visat att utrymning av Lekia sker med god marginal innan kritiska förhållanden uppstår och denna marginal förväntas räcka för en säker utrymning. En eventuell ökning av detektionstiden diskuteras vidare i följande åtgärdsförslag.

Rökdetektorer placeras i samtliga utrymmen

I dagsläget finns rökdetektorer endast placerade i atriets på respektive plan. I händelse av brand i butiker som inte befinner sig i direkt närhet till atriets kan detektionstiden antas bli oacceptabelt lång. Rökdetektorerna är framförallt bra vid mindre bränder och i det tidiga brandförloppet då inte så mycket värme utan endast rök utvecklas. I de här situationerna kan de detektera bränder som sprinklern inte reagerar på och därför bör rökdetektorer placeras i samtliga utrymmen. Detta blir framförallt viktigt om åtgärdsförslaget där öppningen mellan vägg och tak täcks igen eftersom det då tar längre tid för brandgaserna att transporteras till detektorerna.

Automatisk aktivering av utrymningslarm vid sprinkleraktivering

I dagsläget har varseblivningstiden stor inverkan på den totala utrymningstiden eftersom vakten tar minst två till fyra minuter i anspråk för verifiering och aktivering av utrymningslarmet efter detektion. Vaktens handlingstid skulle kunna elimineras genom att utrymningslarmet aktiveras vid sprinkleraktivering. En felaktig utrymning kan antas vara mycket kostsam för både fastighetsägare och butiksägare, varför felaktig utlösning av sprinkler inte får förekomma. Då den lägsta takhöjden i byggnaden är 3,4 meter anses risken med fysisk åverkan på sprinklerhuvudena vara låg. Likaså borde aktivering med hjälp av tändare eller dylikt kunna bortses från, även detta med hänsyn till takhöjden.

Vid aktivering av sprinkler tillförs lokalen stora mängder vatten, 60 l/min per aktiverat sprinklerhuvud, varför normal verksamhet i stora delar av varuhuset ej bedöms kunna fortgå efter aktivering. En utrymning skulle således, åtminstone i utsatta delar, ändå vara nödvändig även om brand inte uppstått i byggnaden.

Fortsatt kontinuerligt underhåll och regelbundna kontroller av sprinklersystem

Ett felfungerande sprinklersystem innebär korta tider till kritiska förhållanden uppstår. Det är således av största vikt att förhindra eventuella fel i detta system. Enligt uppgifter från fastighetsägaren kontrolleras sprinklersystemet varje månad, vilket utifrån resultaten i denna rapport anses vara en nödvändighet för att garantera utrymnings säkerhet.

Brandsläckare i samtliga butiker

En släckinsats med handbrandsläckare i ett tidigt skede är av stor vikt för brandförloppets karaktär. I brandritningarna framgår det att brandsläckare inte finns placerade i alla butiker, och dessutom visar enkätsvaren på att många anställda inte känner sig bekväma med hantering av utrustningen. För att höja säkerhetsnivån i byggnaden bör samtliga butiker förses med handbrandsläckare och personalen bör få den utbildning som krävs för att garantera effektiv användning av dessa.

Automatisk avstängning av musik vid utrymningslarm

I samtliga butiker som har egna musiksystem och spelar musik kan tiden det tar att uppfatta utrymningslarmet förlängas. För att undvika att personer inte uppfattar utrymningslarmet bör alla butikers musiksystem vara kopplade så att de stängs av då utrymningslarmet ljuder.

9.1 Validering av tid till kritiska förhållanden

Det är endast åtgärdsförslaget där väggarna på plan 1 höjs upp till taket som kommer att påverka tiden till kritiska förhållanden och kan valideras. För att kontrollera åtgärden utförs en ny simulering i FDS. De enda ändringarna av indata vid simuleringen är att väggarna höjts upp till taket och att överkant på öppningarna in till butikerna sänkts till 2,20 meter. Denna förändring gäller samtliga butiker på plan 1. Öppningarnas höjd bygger på en uppskattning av måttet upp till nedkant på Lekias skylt belägen i öppningen in till butiken. All övrig indata är oförändrad sedan tidigare simuleringar och redovisas utförligt i bilaga G. Resultaten från simuleringen redovisas i tabell 41 till 43 nedan.

Tabell 41. Tid till kritiska förhållanden på plan 1, brandscenaria IIA med åtgärdsförslag.

Plan 1		
Punkt	Utan åtgärder	Med åtgärder
	Tid till kritisk sikt [s]	Tid till kritisk sikt [s]
1	210	310
2	180	290
3	130	160
4	500	-

Tabell 42. Tid till kritiska förhållanden på plan 2, brandscenaria IIA med åtgärdsförslag.

Plan 2		
Punkt	Utan åtgärder	Med åtgärder
	Tid till kritisk sikt [s]	Tid till kritisk sikt [s]
1	-	-
2	-	-
3	240	370
4	-	-

Tabell 43. Tid till kritiska förhållanden på plan 3, brandscenaria IIA med åtgärdsförslag.

Plan 3		
Punkt	Utan åtgärder	Med åtgärder
	Tid till kritisk sikt [s]	Tid till kritisk sikt [s]
1	280	400
2	660	700
3	-	-
4	-	-
5	-	-
6	-	-

9.2 Validering av tid för utrymning

Flera av de föreslagna åtgärderna får inverkan på utrymningstiden, dock går inte alla att validera och flera av dem samverkar för att påverka en specifik del av den totala utrymningstiden. Alla åtgärdsförslag som innebär en mänsklig handling är svåra att validera eftersom man aldrig kan

garantera att dessa utförs. Ett exempel på detta är förslaget gällande installation av manuella larmknappar. Detektionstiden kan då sänkas men utrymningssäkerheten skall inte vara beroende av ett mänskligt ingripande. Dock ökar sannolikheten för en tidigare detektion som innebär mer tid för utrymning. I detta kapitel följer ett nytt utrymningsförlopp med de åtgärder som är möjliga att validera.

9.2.1 Varseblivningstid

Åtgärdsförslaget att utrymningslarmet aktiveras automatiskt vid sprinkleraktivering påverkar varseblivningstiden. Tidigare var tiden beroende av detektionstiden samt vaktens handlingstid. Rökdetektorerna aktiverar tidigare än sprinklersystemet, men på grund av lång handlingstid från vaktens medför denna lösning förkortad varseblivningstid.

Varseblivningstiden för de som befinner sig i brandrummet är oberoende av larmtiden och förblir oförändrad då denna tid bygger på en uppskattning om när alla i rummet uppfattat att det brinner. För övriga på plan 1 behålls den kortaste tiden eftersom detta är en uppskattad tid för de som befinner sig i nära anslutning till brandrummet och uppfattar att det brinner innan larmet ljuder. Varseblivningstiden för alla utanför brandrummet blir som längst aktiveringstiden för den sämst placerade sprinklern. Den nedre gränsen för de icke brandutsatta planen sätts till kortast möjliga tid till sprinkleraktivering, vilket sker då sprinklerhuvudet är placerat rakt ovanför branden. Sprinkleraktiveringstiderna beräknas med Detact QS, för fullständig beskrivning av indata se bilaga D. I tabell 44 redovisas resultaten där varseblivningstiden har förkortats avsevärt med åtgärdsförslaget.

Tabell 44. Varseblivningstiden för olika positioner före och efter åtgärder

Position	Utan åtgärder		Med åtgärder	
	Medelvärde [s]	Intervall [s]	Medelvärde [s]	Intervall [s]
Brandrummet	22,5	0-45	22,5	0-45
På samma plan som branden	187,5	45-330	97,5	45-135
På något av de övriga planen	247,5	165-330	102,5	70-135

Nackdelen med förslaget är att sprinkler endast aktiveras vid större bränder eftersom sprinklerhuvudet måste värmas till 68°C. Som komplement till detta är åtgärdsförslaget med att placera rökdetektorer i samtliga utrymmen framtaget. Rökdetektorer detekterar tidigare än sprinkler och kan även detektera glödbränder och bränder i den tidiga tillväxtfasen. För denna rapport dimensionerande bränder med snabb tillväxt och hög effektutveckling kommer sprinkleraktiveringen att bli mer tidssparande på grund av att vaktens handlingstid skulle elimineras. Därför kommer rökdetektorernas detektionstid inte behandlas vid jämförelsen mellan tid till kritiska förhållanden och utrymningstid. Dock blir installation av rökdetektorer i samtliga utrymmen extra viktigt om åtgärdsförslaget med att höja väggarna på plan 1 genomförs. Detta eftersom det skulle ta längre tid för brandgaserna att transporteras till atriet, då det först måste bildas ett brandgaslager i taket som kan tränga ut genom dörröppningen. Noterbart är att denna utformning i dagsläget råder på plan 2 och 3.

Med hjälp av Detact QS beräknas den längsta tiden till detektion med åtgärdsförslaget och resultatet redovisas nedan i tabell 45. Anledningen till att punktskattning ansätts är att de nya rökdetektorerna kan antas detektera vid en temperaturökning på 5 °C (Nilsson & Holmstedt, 2008). Ifall åtgärdsförslaget utförs kan det garanteras att samtliga rökdetektorer som installeras är av nyare modell och de äldre som vid beräkningar approximeras detektera vid en temperaturökning på 13 °C kan uteslutas. När resultatet studeras bör man även tänka på att tiden till detektion utan åtgärder är

framtagen för brandscenario II och skulle kunna vara längre om branden uppstått i en lokal placerad längre från atriets.

Tabell 45. Tid till detektion för rökdetektorer före och efter åtgärder

	Utan åtgärder [s]	Med åtgärder [s]
Tid till detektion	45 – 90	30

9.2.2 Förberedelse- och förflyttningstid

De flesta åtgärdsförslag som tagits fram påverkar förberedelse- och förflyttningstiden, dock är det svårt att testa alla förslagen kvantitativt. Alla kommer mer eller mindre att beaktas vid en ny utrymningssimulering i Simulex.

I dagsläget anses utrymningslarmet vara ett enkelt talat meddelande. Att utforma utrymningsmeddelandet som ett informativt talat meddelande kan förkorta förberedelsestiden till runt en minut för alla utrymnen utanför brandrummet (Frantzich, 2001). Vid simuleringen används en uniform fördelning för förberedelsestiden och de insatta värdena redovisas i tabell 46. För fullständig beskrivning av indata se bilaga K.

Tabell 46. Förberedelsestiden för olika positioner före och efter åtgärder

Position	Utan åtgärder		Med åtgärder	
	Medelvärde [s]	Intervall [s]	Medelvärde [s]	Intervall [s]
Brandrummet	45	30-60	45	30-60
På samma plan som branden	75	60-90	60	45-75
På något av de övriga planen	105	90-120	60	45-75

En bättre skyltning av de bakre utrymningsvägarna samt mer användarvänliga lås och trycken på dörrarna skulle medföra att fler personer använde dessa. Detta i kombination med att utbildad personal kan styra personer mot närmsta utrymningsväg skulle göra att förflyttningstiden kan förkortas. Det är i de allmänna utrymna, som till exempel atriets, som kritiska förhållanden uppstår fort. Utan åtgärdsförslag antas majoriteten av besökarna använda de stora trappor som leder genom atriets, vilket orsakar köbildning. Att besökare väljer många olika utrymningsvägar kan minska denna köbildning.

Det går inte att säkerställa exakt vilken inverkan personalens agerande får på förflyttningstiden och det går heller inte att garantera att de handlar som tänkt. Dock ökar sannolikheten att personal agerar korrekt om de har utbildning. Detta i samverkan med mer inbjudande bakre utrymningsvägar skulle ge ökad användandefrekvens. Vid simuleringen styrs fler personer till de bakre utrymningsvägarna och utrymningsvägen mellan Femman sport och Gallerix öppnas upp. Vid simulering av åtgärdsförslagen höjs andelen personer som använder de bakre utrymningsvägarna från 23 till 29 procent. Det är främst på plan 1 som förändring sker och den procentuella fördelningen på detta plan blir enligt tabell 47. I övrigt är samtliga inställningar vid simuleringen oförändrade och beskrivs i bilaga K.

Tabell 47. Procentuell fördelning över användandet av naturliga respektive bakre utrymningsvägar för plan 1 med och utan åtgärdsförslag.

	Plan 1	
	Utan åtgärder [%]	Med åtgärder [%]
Naturliga utrymningsvägar	83	25
Bakre utrymningsvägar	17	75

Resultatet från simuleringarna redovisas i tabell 48 till 50.

Tabell 48. Förberedelse- och förflyttningstid för plan 1 före och efter åtgärder.

Plan 1		
Punkt	Utan åtgärder [s]	Med åtgärder [s]
1	285	125
2	130	120
3	80	75
4	125	205

Tabell 49. Förberedelse- och förflyttningstid för plan 2 före och efter åtgärder.

Plan 2		
Punkt	Utan åtgärder [s]	Med åtgärder [s]
1	315	185
2	335	220
3	185	165
4	200	200

Tabell 50. Förberedelse- och förflyttningstid för plan 3 före och efter åtgärder.

Plan 3		
Punkt	Utan åtgärder [s]	Med åtgärder [s]
1	140	130
2	200	150
3	180	160
4	275	255
5	380	345
6	455	420

9.3 Resultat med åtgärdsförslag

För att fastställa att säker utrymning kan ske efter föreslagna åtgärder, jämförs de nya tiderna till kritiska förhållanden med totala utrymningstiderna. En tidsmarginal tas fram genom att subtrahera den totala utrymningstiden från tiden till kritiska förhållanden. I tabell 51, 52 och 53 presenteras resultaten som medelvärden samt hur stor andel av tidsmarginalen som blir negativ. När tidsmarginalen blir negativ så betyder det att en eller flera personer kommer att utrymma under kritiska förhållanden för siktbarhet. För att kunna dra några slutsatser om säker utrymning i de punkter som anses intressanta får tidsmarginalen understiga noll i maximalt 10 procent av utfallen från simuleringen.

Tabell 51. Resultat gällande säker utrymning plan 1 efter åtgärder.

Plan 1					
Punkt	Total tid utrymning [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]	Tidsmarginal [s]	Andel understigande [%]	Säker utrymning
1	215	310	95	0	Ja
2	210	290	80	0	Ja
3	98	120	22,5	0	Ja
4	295	-	-	0	Ja

Tabell 52. Resultat gällande säker utrymning plan 2 efter åtgärder.

Plan 2					
Punkt	Total tid utrymning [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]	Tidsmarginal [s]	Andel understigande [%]	Säker utrymning
1	288	-	-	0	Ja
2	323	-	-	0	Ja
3	268	370	102,5	0	Ja
4	303	-	-	0	Ja

Tabell 53. Resultat gällande säker utrymning plan 3 efter åtgärder.

Plan 3					
Punkt	Total tid utrymning [s]	Tid till kritiska förhållanden [s]	Tidsmarginal [s]	Andel understigande [%]	Säker utrymning
1	233	400	167,5	0	Ja
2	253	700	447,5	0	Ja
3	263	-	-	0	Ja
4	358	-	-	0	Ja
5	448	-	-	0	Ja
6	523	-	-	0	Ja

Åtgärdsförslagen har inneburit en sänkning av utrymningstiden och en förlängning av tiden till kritiska förhållanden. Tack vare detta kan det konstateras att en säker utrymning kan genomföras efter att åtgärdsförslagen implementerats.

10 Diskussion

En stor del av diskussionen har förts löpande under respektive kapitel genomgående i rapporten. Det som behandlas i detta kapitel kommer istället att vara de större antagande och felkällor som funnits.

Antalet brandscenarier som valts begränsades till största del av projektets tidsram. De scenarier som valts ut ansågs kunna representera de värsta troliga fallen relativt väl. Att inget brandscenario studerades på plan 2 motiveras med att utrymningsmöjligheterna bedöms som goda i relation till övriga plan. Vidare ansågs det mer relevant att studera ett scenario som involverar samtliga plan i byggnaden. Då urvalet av brandscenarier till stor del bygger på subjektiva bedömningar finns risken att något scenario har förbisetts.

Vid val av dimensionerande bränder har många antaganden gjorts och de innehåller osäkerheter. De dimensionerande brändernas tillväxthastighet har i alla scenarier valts till *fast*. Enligt beräkningar som gjorts på experimentell data skulle tillväxthastigheten istället kunnat väljas till *medium*. Det högre värdet valdes dels med hänsyn till den begränsade indata som fanns tillgänglig för beräkningar och dels med hänsyn till de rekommendationer som fanns att tillgå. Valet av *soot yield* är en parameter som till stor del påverkar siktförhållandena i FDS-simuleringarna, vilket gör valet av denna oerhört viktigt. I rapporten gjordes valet att följa ett rekommenderat värde gällande *soot yield* utifrån typ av verksamhet istället för typ av bränsle. Värdet som använts är rekommenderat vid analytisk dimensionering för köpcentrum och är 0,06 kg/kg. Hade värdet för brand i cellulosa använts skulle *soot yield* kunna minskats med en faktor tre till 0,02 kg/kg, vilket är det högsta värdet vid en flambrand. Det anses dock vara direkt felaktigt att ansätta det lägre värdet då det råder stor osäkerhet angående vilka typer av material som deltar i förbränningen. I de scenarier som undersökts förväntas det finnas en hel del plast närvarande, varför det ansatta värdet om 0,06 kg/kg anses vara rimligt. Valet av cellulosa som bränsle gjordes främst för att på ett så korrekt sätt som möjligt kunna beskriva brandens syreatgång. Att valet av tillväxthastigheten och *soot yield* båda var konservativa anses inte påverkat resultaten så pass mycket att de blivit snedvridna. Det är istället andra faktorer, såsom uppskattade tider och förenklingar, som fått störst genomslag i resultaten.

Följden av en sprinkleraktivering har i detta projekt antagits vara ett avstannande av brandens tillväxt. Nya studier menar dock att den begränsande effekt som erhålls från sprinkler är större än så. För bränder som understiger 5 MW vid sprinkleraktivering har det observerats en effektsänkning på upp till 70 procent. Med det som grund ges ett förslag till dimensionering som innebär att branden först skall hållas konstant på effekten vid aktivering i en minut för att sedan sänkas till en tredjedel. Detta tillvägagångssätt är inget som testats i rapporten, istället genomfördes en känslighetsanalys med en tidigare sprinkleraktivering som medför en lägre maximal effekt. Resultatet visade en varierande skillnad i tid till kritiska förhållanden för olika platser i varuhuset. Dock kunde det konstateras att det i de mest intressanta punkterna bara skiljde 10 till 40 sekunder. Rapportgruppen är medveten om att den valda maximala effekten är konservativ, men den anses inte orimlig.

Vid en aktivering av sprinklersystemet kommer inte bara branden utan även brandgaserna att bli påverkade. Sprinklervattnets inverkan på brandgaserna beror dels på en kylande och dels på en omblandande effekt. Att brandgaserna kyls medför att de förlorar stigkraft och ges därmed möjlighet att spridas till en lägre nivå i rummet. Den omblandande effekten kan medföra en sikt försämring i närheten av de aktiverade sprinklerna till följd av bland annat turbulens. Dock kan kylningen och utspädningen innebära att brandgaserna blir mindre giftiga och får lägre temperatur. De negativa aspekterna av en sprinkleraktivering bedöms endast påverka utrymningen i brandens närhet där aktiveringen sker. Den efterföljande försämringen av siktförhållanden kan antas medföra en försvårad

utrymning från brandrummet. Det är väldigt svårt att beakta detta vid simulering av brandgasspridningen med FDS. Då utrymningen från brandrummet inte bedöms vara en avgörande faktor för det totala utrymningsförloppet, på grund av de korta gångavstånden, görs ingen vidare analys av följderna av denna effekt.

De största förenklingar som gjorts i FDS-simuleringarna är ändringar av geometrin och ansatta tillufts- och läckageytor. En förändring i geometrin är anpassningen av sneda väggar till räta. Förändringen kommer till viss del att påverka turbulensen kring väggarna, som får ett sågtandat utseende, och således spridningen av brandgaserna. För att få ett mer verklighetstroget flöde användes kommandot *sawtooth=false* som minskar denna effekt och därför anses förenklingen inte påverka resultaten i en så stor utsträckning att de skulle bli missvisande. Gemensamt för alla simuleringar är att samtliga dörrar till utrymningsvägar hålls stängda och att det inte förekommer läckage mellan några utrymmen. Detta gör att de enda tilluftsytorna som finns i simuleringarna är de utgångar som vetter mot Postgatan respektive Nordstadstorget. För scenario II har stora delar av de bakre lagerutrymmena approximerats bort med motiveringen att det inte sker någon brandgasspridning in till dessa. Beräkningar har visat att den luft som finns tillgänglig är tillräcklig för att underhålla bränderna. Det dessa antaganden påverkar är istället brandgasspridningen. Då det inte finns några läckage mellan butiker och övriga utrymmen kommer brandgaserna i större utsträckning få möjlighet att ansamlas, vilket ger snabbare tider till kritiska förhållanden i vissa punkter. Samma sak gäller antagandet att dörrar förblir stängda under hela förloppet. Dessa antaganden gör då att simuleringarna blir konservativa i det avseendet att brandgaserna hålls kvar i de utrymmen där merparten av personerna befinner sig, men ickekonservativa då trapphus och bakre utrymningsvägar inte påverkas av brandgaser.

Uppbyggnaden av geometrin i FDS och Simulex bygger på det erhållna ritningsunderlaget, vilket i några avseenden inte stämde överens med observationer vid besöket. Som exempel kan det nämnas att Femman Sport och Gina Tricot var ombyggda med en del geometriska förändringar som följd. Dessa förändringar och andra observationer har i största möjliga mån beaktats vid uppbyggnaden av geometrierna till simuleringarna. Det fanns också skillnader mellan brand- och planritningarna som utretts med hjälp av fotografier från besöket. Mätning av takhöjd genomfördes vid besöket med avståndsmätare, vilken får anses som tillförlitlig. De skillnader mellan verklighet och simuleringar som kvarstår anses därmed så pass små att de inte inverkar på resultatet. Då det i dagsläget genomförs en stor om- och tillbyggnad av Varuhuset Femman har det i analysen inte funnits möjlighet att ta hänsyn till det nya ventilationssystemets uppbyggnad. Som det ser ut i dagsläget och på de ventilationsritningar som varit tillgängliga kan slutsatsen dras att brandgasspridning genom ventilationen inte kommer att påverka utrymningen.

Simuleringarna i FDS är väldigt avgörande för projektets slutsatser. Som nämnts tidigare finns det en rad felkällor vid användandet av detta program. FDS bygger på en modell som försöker återskapa verkliga förhållanden, men den innehåller brister. Dessa brister är dock kända och kan i vissa fall kompenseras för, men ännu viktigare för resultatet är handhavandet. Först skall alla val och antaganden göras vid skapandet av indatafilen och i slutändan skall en stor mängd data sorteras och tolkas. I rapporten har det noggrant redogjorts och diskuterats kring val av indata på grund av dess inverkan på slutresultatet. Det är dock viktigt att belysa vikten av osäkerheterna kring att tolka alla de parametrar som erhålls i utdata. För att kunna bedöma utrymnings säkerheten i byggnaden definierades ett antal punkter, vid vilka jämförelse mellan utrymningstid och tid till kritiska förhållanden gjordes. Punktsystemet är en förenkling av verkligheten, men ansågs nödvändig för att erhålla en hanterbar mängd data. Alternativt hade varit att studera varje utrymnande individ separat eller hela plan. Att studera varje individ hade dels varit oerhört tidsödande och dels onödigt specifikt om man ser till alla övriga förenklingar som gjorts. Att studera ett helt plan hade varit direkt fel eftersom en generalisering

av kritiska förhållanden över den stora arean då skulle behöva göras. Kritiska förhållanden på en plats skulle jämföras med att hela planet var kritiskt. Då det främst var siktförhållanden som undersöktes anses inte punktmätningar i form av utdata från *devices* ge fullständig information för en bedömning. Tiderna till kritiska förhållanden med avseende på sikt studerades istället i *slice files* för att ta hänsyn till hela det omkringliggande området vid punkten som skall mätas. Detta blir extra viktigt vid beaktande av FDS:s begränsning gällande sikt, vilken innebär att sikten redovisas i en specifik punkt och inte för till exempel en intressant sträcka till en utrymningsväg. Denna typ av resultatinhämtning bygger på visuell avläsning i kombination med en personlig bedömning, vilket medför osäkerheter. Alla val av indata kan redovisas tydligt men den mänskliga tolkningen av resultaten är i slutändan avgörande och svårare att kontrollera. Detta medför att det blir avläsarens kunskap och noggrannhet som till slut bestämmer resultatet.

Tiden det tar för tjänstgörande vakt att aktivera utrymningslarmet efter detektion utgör den största delen av varseblivningstiden. Den ansatta fördelningen som representerar denna tid bygger på en uppskattning från endast en person, vilket medför stora osäkerheter. Då ingen ytterligare information fanns tillgänglig, samt att det finns en risk att den tillfrågade vakten överskattade sin förmåga, genomfördes en känslighetsanalys där maximal tid till aktivering av utrymningslarm förlängdes med 120 sekunder. Resultaten visade att en eventuell felbedömning av denna tid kan ha inverkan på bedömningen angående utrymningsssäkerhet i scenario I och IIA. Vakttiden bedömdes ha för stor inverkan på slutresultatet och åtgärdsförslaget med automatisk aktivering av utrymningslarmet vid sprinklerutlösning har därför tagits fram. Känslighetsanalysen påvisar hur stor inverkan parametern har på resultatet och motiverar införandet av åtgärdsförslaget ytterligare.

Vikten av tidigt larm underbyggs ytterligare av det faktum att personer som står i provrum i klädesbutiker kan få förlängd varseblivningstid och förberedelsestid. Varseblivningstiden kan bli längre än för övriga personer i den brandutsatta butiken, då det är svårare att visuellt upptäcka branden från ett provrum. Dessa personer kan ej förväntas bli varse branden innan utrymningslarmet går och vidare får de en förlängd förberedelsestid ifall de exempelvis provar kläder.

Det ansatta värdet för antalet personer som vistas i byggnaden bygger dels på rekommenderade värden för denna typ av verksamhet, dels på det i brandskyddsbeskrivningen ansatta värdet. Vid bedömning av utrymningsssäkerhet ska det värsta tänkbara scenariot betraktas, men eventuellt är det värde som används högre än vad som kan anses vara ett rimligt värde. I studier genomförda på flera köpcentra i Sverige har det visat sig att persontätheten endast i 0,3 procent av fallen överstiger ett värde på 0,5 personer/m², vilket var det värde som användes som dimensionerande på plan 2. På övriga två plan användes värdet 0,4 personer/m² med hänsyn till att de är något mindre lättillgängliga, varför även detta värde kan anses vara högt. Dock kan det vid exempelvis julhandel uppstå situationer då personantalet faktiskt uppnår extremvärden. För att studera påverkan från denna variabel genomfördes en känslighetsanalys där personantalet både reducerats och ökats med 20 procent. Skillnad i resultat observerades, men då främst gällande de punkter där stor köbildning uppstår. I de punkter där kritiska förhållanden snabbt uppstår var skillnaden dock liten och trots att tiden ändrades så var det inte tillräckligt för att påverka bedömningen angående utrymningsssäkerhet. Med åtgärdsförslagen kunde säker utrymning fastställas då det ansatta personantalet användes, det lägre personantalet hade inte påverkat rekommendationerna gällande åtgärder, det högre bidrog inte heller till någon nämnvärt försämrad utrymning. Projektgruppen är medveten om att valet av persontäthet är konservativt och att effekten av konservativa antaganden adderas, men med diskussionen ovan som underlag bedöms det ansatta personantalet vara rimligt vid dimensioneringen. I simuleringarna har även personal från kontorsplanen inkluderats i utrymningsförloppet för att återskapa en mer realistisk köbildning i trapphus. I ett verkligt scenario kan det anses vara mer troligt att kontorsplanen i större utsträckning

utrymmer till innergården på plan 4, då denna dels är närmre och dels fungerar som ingång för merparten av kontorspersonalen. Den känslighetsanalys som genomfördes på denna parameter visade att förflyttningstiden ej påverkades nämnvärt.

Simulex använder avståndskartor för att styra utrymmande individer. Rörelsemönstret är alltid vinkelrätt mot linjerna i avståndskartan, varför problematik kan uppstå då flera individer skall runda ett hörn samtidigt. För att reducera detta problem har fiktiva väggar lagts till i ritningarna på vissa platser. Trots att detta tillvägagångssätt innebär felaktigt återskapande av byggnadens geometri, anses slutresultatet bli mer realistiskt med hänsyn till programmets begränsningar. Vidare har det i butikerna placerats hinder som skall motsvara lös inredning. Placering av, och storlek på dessa bygger endast på uppskattningar och observationer, vilket innebär att en helt korrekt bild av verkligheten inte har använts. Att inte ta hänsyn till lös inredning vore mer felaktigt då denna påverkar utrymningsförloppet.

Individernas val av utgång i Simulex är avhängigt de avståndskartor de är tilldelade. Kartorna beskriver vilka utgångar som är synliga, med en grundinställning som innebär att samtliga är synliga och att den närmaste kommer att väljas. Denna inställning representerar inte verkligheten speciellt väl, varför egendefinierade avståndskartor skapades. Varje individ har då ett begränsat antal utgångar till sitt förfogande och valet av dessa grundar sig på en subjektiv bedömning från programmets användare, vilket medför osäkerheter. I simuleringarna utan åtgärder har en övervägande del av personerna styrts till de stora utgångarna, vilket möjligtvis undervärderar användandet av övriga utgångar.

Som avgränsning har utrymning till Nordstadstorget och Postgatan ansetts vara likställt med utrymning till det fria. Ingen hänsyn har då tagits till Nordstans övriga besökare, som potentiellt kan fördröja utrymningen från Varuhuset Femman genom sitt bidrag till trängsel. Detta gäller främst för de utgångar från Varuhuset Femman som är placerade i nära anslutning till Nordstans stora entréer genom vilka många skall utrymma. Om utrymningslarmet har gått i hela Nordstan kan dessa köer vara stora och det kan därför vara svårt att ta sig ut från Varuhuset Femman till Nordstadstorget/Postgatan. För att ta hänsyn till detta krävs en riskvärdering som beaktar utrymning av hela Nordstan.

Ingen hänsyn har i detta projekt tagits till de svårigheter som utrymning av personer med funktionsnedsättning kan innebära. Eventuella dörrar som leder till hissar är förvisso tröskelfria, men bedömning av utrymnings säkerheten kan dock ej göras gällande personer med funktionsnedsättningar då hissarnas funktion vid brand är okänd.

Utifrån de erhållna resultaten konstaterades att säker utrymning kan ske i scenario I och en känslighetsanalys genomfördes på personantal samt varseblivningstid. Resultaten från Simulex anses vara representativa även för övriga scenarier eftersom köbildning och rörelsemönster är snarlikt. En något överilad slutsats angående säker utrymning i scenario I kan tyckas föreligga, varför ytterligare känslighetsanalys gällande till exempel ökning av effekt är av intresse. Möjlighet att genomföra en sådan förhindrades dock av tidsbrist då insikten kom i ett sent skede av arbetsprocessen. Det erhållna resultatet kan trots detta anses vara giltigt med hänsyn till de många konservativa antaganden som gjorts. Exempel på sådana är *soot yield*, sprinklerbegränsning samt personers val av utgångar.

De enkäter som delades ut till butikspersonal vid platsbesök ligger till grund för bedömning av samtlig personals kunskapsnivå. Det begränsade stickprovet medför osäkerheter angående generaliserbarhet. De erhållna enkätsvaren tyder dock på ett utbildningsbehov, samt behov av uppföljning från fastighetsägarens sida. Då misstanke fanns att den mest erfarne individen i personalen svarade på undersökningen, inkluderades frågorna om typ av anställning och arbetsuppgifter. På detta vis kunde potentiellt snedvridna resultat identifieras. Generellt sett gavs inga kommentarer av de tillfrågade som svarar nekande på frågorna, vilket innebär att intressant problematik kan tänkas bortfalla.

11 Slutsats

Det har konstaterats att Varuhuset Femman i dagsläget har brister gällande brandskyddet. Genomförd brandteknisk riskvärdering visade att säker utrymning inte kan fastställas. Till följd av detta konstaterande togs en rad åtgärdsförslag fram, utifrån vilka utrymningssäkerheten återigen kontrollerades. Resultaten visade att åtgärdsförslagen förbättrade utrymningsförhållandena betydligt och säker utrymning erhöles. En del av de föreslagna åtgärderna är direkta krav för att uppnå fullgod utrymningssäkerhet, medan andra förslags inverkan är svåra att kvalitativt bedöma och blir därför rekommendationer.

11.1 Skall åtgärdas

Följande åtgärder är nödvändiga för att fullgod utrymningssäkerhet skall kunna garanteras.

- **Blockera öppningar mellan väggar och tak från butiker ut mot allmänna utrymmen**
- **Automatisk aktivering av utrymningslarm vid sprinkleraktivering**
- **Byta till informativt talat utrymningsmeddelande**
- **Gör utrymningsväg, dörr 141B, på plan 1 oberoende av personal**
- **Tydligare skyltning och utformning av utrymningsvägar**
- **Bättre och enklare lås på utrymningsdörrar**
- **Fortsatt kontinuerligt underhåll och regelbundna kontroller av sprinklersystem**
- **Kontroll av personalens utbildningsnivå gällande brandskydd**

11.2 Bör åtgärdas

För att ytterligare höja säkerhetsnivån i byggnaden rekommenderas att även följande åtgärdsförslag implementeras.

- **Rökdetektorer placeras i samtliga utrymmen**
- **Tidigt kodat larm till personal**
- **Ytterligare knappar för manuell aktivering av brandlarmet**
- **Automatisk avstängning av musik vid utrymningslarm**
- **Brandsläckare i samtliga butiker**

12 Litteraturförteckning

- Boverket. (2006). *Utrymningsdimensionering*. Huskvarna: NRS Tryckeri.
- Boverket. (2008). *Handbok om Brandbelastning* (1:a uppl.). Karlskrona: Boverket.
- Boverket. (2008). *Regelsamling för byggande, BBR 2008*. Karlskrona: Edita Västra Aros AB.
- Brandteknik. (2005). *Brandskyddshandboken*. Lund: Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- British standards institution. (2004). Part 6: Human factors: Life safety strategies - Occupant evacuation, behaviour and condition (sub-system 6). i B. s. institution, *The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings*. London: British standards institution.
- Bwalya, A. C. (2005). *Design Fire for Commercial Premises - Results of Phase I*. Canada: National Research Council Canada.
- Bwalya, A. C., Zalok, E., & Hadjisophocleous, G. (2007). *Design Fires for Commercial Premises – Results of Phase 2*. Canada: National Research Council Canada.
- DiNenno, P. J. (1995). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Quincy, Ma: NFPA.
- Drysdale, D. (1998). *An Introduction to Fire Dynamics*. Chichester: Wiley.
- Erdsjö, T., & Lindberg, C. (2008). *Persontäthet vid utrymningsberäkningar - köpcentrums persontätheter*. Lund: Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet.
- Fleming, R. P. (2008). Principals of Automatic Sprinkler System Performance. i NFPA, *Fire Protection Handbook* (20:e uppl., Vol. 1 & 2, ss. 16:7-16:8). Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- Floyd, J., Hostikka, S., McDermott, R., & McGrattan, K. (2010). *Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide*. Washington: NIST, National Institute of Standards and Technology.
- Frantzich, H. (1998). *Användarmanual till SIMULEX ver 1.2*. Lund: Institutionen för brandteknik Lunds universitet.
- Frantzich, H. (2001). *Tid för utrymning vid brand*. Karlstad: Räddningsverket.
- Hufvudstaden. (u.d.). *Köpmannavaruhuset Femman*. Hämtat från Hufvudstaden: http://www.hufvudstaden.se/Lediga_lokaler/fastigheter/fastigheter_goteborg/ den 15 02 2011
- Jensen, L. (2002). *Dimensionering av sprinklersystem*. Lund: Lunds tekniska högskola avdelningen för installationsteknik.
- Karlsson, B., & Quintiere, J. G. (2000). *Enclosure fire dynamics*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Martínez de Aragón, J., Rey, F., & Chica, J. (u.d.). *DIFISEK-programvara för branddimensionering*. Bilbao, Spain: LABIEN, teknologiskt centrum.
- MSB. (2009). *Statistik och analys - Räddningstjänst i siffror*. Karlstad: MSB.

- Nationalencyklopedin. (u.d.). *Cellulosa*. Hämtat från Nationalencyklopedin:
<http://www.ne.se/cellulosa> den 17 03 2011
- Nilsson, D., & Holmstedt, G. (2008). *Kompendium i Aktiva system - Detektion*. Lund: Brandteknik och riskhantering, Lunds universitet.
- NIST. (den 22 augusti 2006). *Fire Research Division*. Hämtat från Fire Modeling Programs:
<http://www.bfrl.nist.gov/866/fmabbs.html#DETECTQS> den 21 februari 2011
- Nordstans Marknadsledning. (2010). *Nordstan i Göteborg*. Hämtat från Information Nordstan:
<http://www.nordstan.se> den 15 02 2011
- Nystedt, F. (2011). *Verifying Fire Safety Design in Sprinklered Buildings*. Lund: Brandteknik och Riskhantering, Lunds univeristet.
- Palisade Corporation. (2010). *Guide to Using @RISK*. Ithaca: Palisade Corporation.
- Peacock, R. D., & al, e. (2008). *CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version &) User`s Guide*. USA: NIST.
- Shields, T., & Boyce, K. (2000). *A study of evacuation from large retail stores*. Carrickfergus: Elsevier Science Ltd.
- Staffansson, L. (2010). *Selecting design fires*. Lund: Brandteknik och Riskhantering, Lunds universitet.
- Svenska Brandförsvärsföreningen. (2001). Regler för automatisk BRANDLARM ANLÄGGNING. *SBF 110:6*.
- Wallin, A. (2001). *5:an Nordstans köpcentrum Brandskyddsbeskrivning Projekteringsunderlag*. Stockholm: Svenska Brandförsvärsföreningen.

Bilaga A Enkät

A.1 Enkätens utformning

Vi studerar på brandingenjörsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola och utför i studiesyfte en brandteknisk riskvärdering på femman-huset. För att få en uppfattning om personalens kunskaper gällande brand- och utrymnings säkerhet ber vi dig fylla i denna enkät. Det tar endast ett par minuter. Enkäterna kommer vi att samla in under dagen.

Tack på förhand!

Linus Ahlman, Erik Carlsson, Sebastian Du Rietz, Anders Nilsson, Johan Sjölin

Vilket företag arbetar du för och vilka är dina arbetsuppgifter?

Vilken typ av anställning har du?

Fast Vikariat Timanställning Provanställning

Har du, genom ditt företag, deltagit i någon form av brandskyddsutbildning?

Ja Nej

Om ja, vad ingick? _____

Finns det fasta rutiner för personalen vid brandlarm?

Ja Nej

Om ja, kan du beskriva din uppgift? _____

Genomförs det utrymningsövningar regelbundet?

Ja Nej Vet ej

Om ja, hur ofta? _____

Vet du var dina närmsta utrymningsvägar finns?

Ja Nej

Känner du till var släckutrustning finns (t.ex. brandsläckare, brandfilt, mm)?

Ja Nej

Känner du dig bekväm med hantering av släckutrustning?

Ja Nej

Vet du hur brandlarmet startas manuellt?

Ja Nej

Övriga kommentarer, t.ex. önskas mer utbildning, klarare direktiv, mm?

A.2 Resultat

Vid sammanställandet av resultatet slogs anställningsformerna timanställning, vikariat och provanställning ihop till en grupp som benämns icke fast anställda.

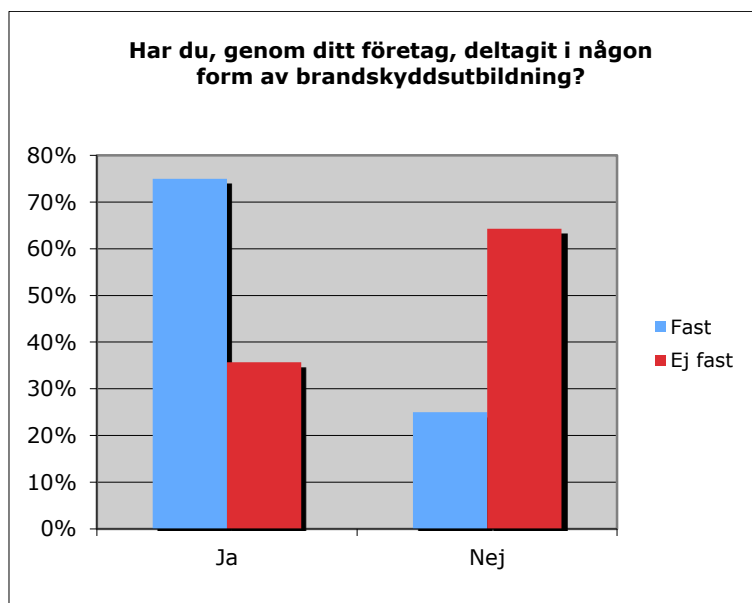
Svarande:

Fast anställd: 32 personer (varav 12 butikschefen)

Icke fast anställd: 14 personer (varav 10 timanställda, 4 vikariat och 0 provanställda)

Totalt: 46 personer

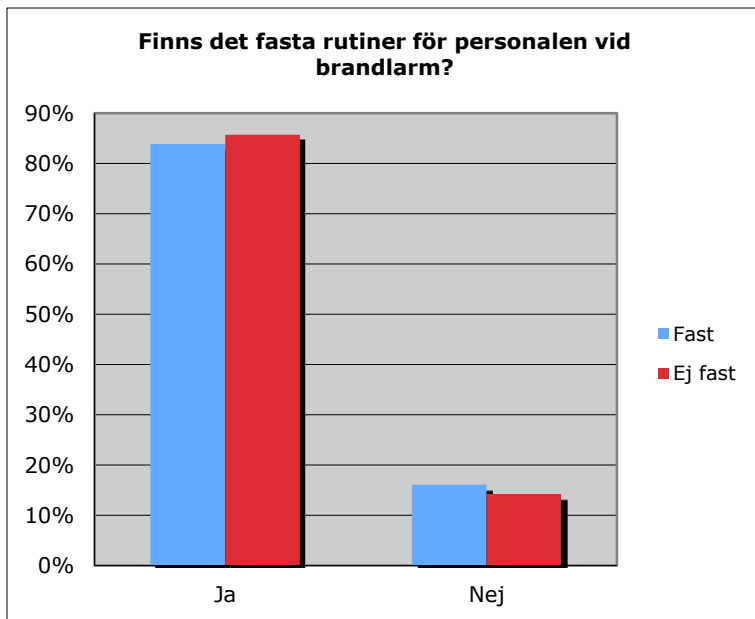
Enligt fastighetsägaren Hufvudstaden genomgår butikschefen i varje butik en teoretisk och praktisk brandskyddsutbildning. Övriga anställda utbildas av butikschefen. Andelen som har genomgått någon form av brandskyddsutbildning skiljer sig markant mellan den fasta personalen och den icke fasta personalen. Som kan avläsas i figur 35 så har endast 36 procent av den icke fasta personalen fått utbildning jämfört med 75 procent för den fasta personalen.



Figur 35. Fördelning av svaren på frågan, Har du, genom ditt företag, deltagit i någon form av brandskyddsutbildning?

Utifrån kommentarer kan det utläsas att nivån på erhållen brandskyddsutbildning skiljer sig väsentligt mellan de tillfrågade, vilket kan bero på anställningsform och arbetsgivare. Somliga har endast erhållit utbildning i form av egeninläsning medan andra har deltagit i såväl teoretiska som praktiska brand- och sjukvårdsövningar.

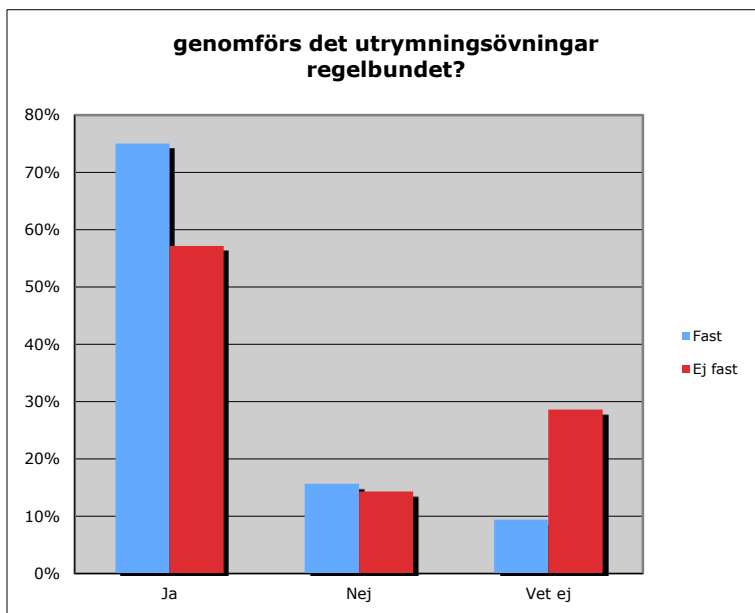
Säkerhetspärm med instruktioner för respektive butik vid händelse av brand skall finnas enligt vaktpersonal. Enkätsvaren bekräftar att de flesta känner till rutinerna men inte alla och detta kan ses i figur 36.



Figur 36. Fördelning av svaren på frågan, Finns det fasta rutiner för personalen vid brandlarm?

Kommentarer innefattar främst beskrivning av uppgifter vid larm, såsom att vägleda kunder ut, räkna in personal vid samlingsplats, stänga butik osv.

I figur 37 visas svarsfördelningen på frågan, genomförs det utrymningsövningar regelbundet?.



Figur 37. Fördelning av svare på frågan, genomförs det utrymningsövningar regelbundet?

Av kommentarerna kan utläsas att det råder olika uppfattning om frekvensen på utrymningsövningar i femmanhuset. Svaren varierar mellan 1-4 gånger per år.

Enligt fastighetsägaren genomförs utrymningsövning i byggnaden 1 gång per år.

De nekande och osäkra svaren skulle, främst vad gäller icke fast anställda, kunna förklaras av kort anställningstid alternativt att personen ej arbetat vid tidpunkt för utrymningsövning.

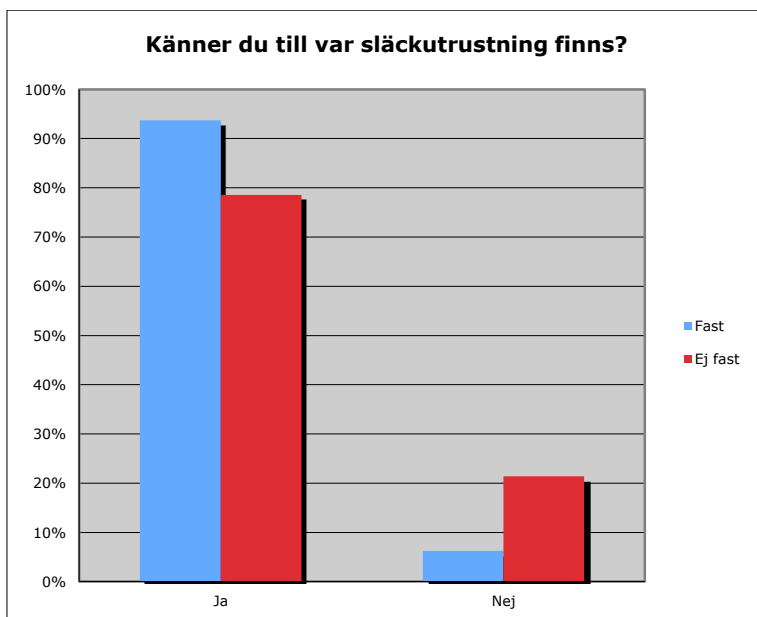
Figur 38 visar att samtliga tillfrågade anger att de känner till var deras närmaste utrymningsvägar finns.



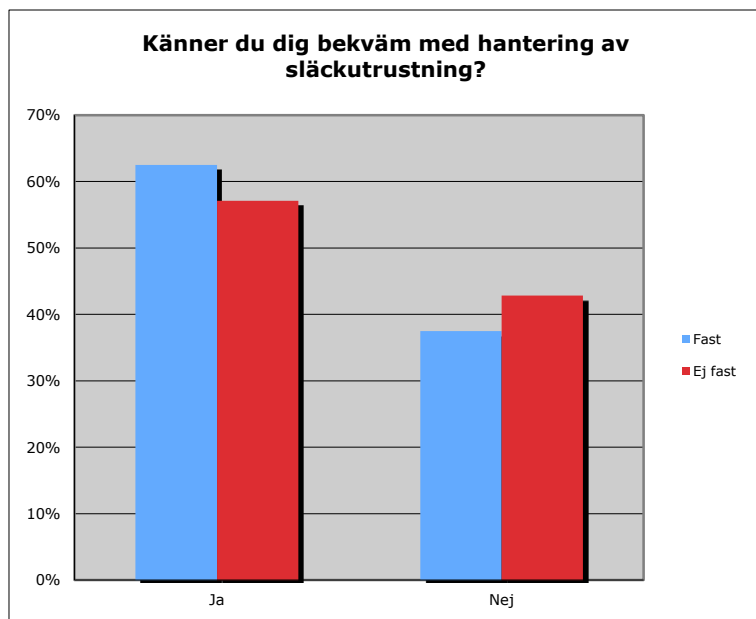
Figur 38. Fördelning av svaren på frågan, vet du var dina närmsta utrymningsvägar finns?

Kommentarer angående rutiner visar att personalen har i uppgift att vägleda kunder till utrymningsvägar, vilket kan förklara den höga andelen. Vidare framgick det vid platsbesöket att vaktpersonal genomförde en rundvisning av nyanställd personal gällande bland annat utrymningsvägar.

I figur 39 och 40 visas resultatet på frågor angående släckutrustning och resultaten visar att en stor del av de tillfrågade känner till var släckutrustning finns placerad, dock känner sig cirka 40 procent inte bekväma med hanteringen av denna.

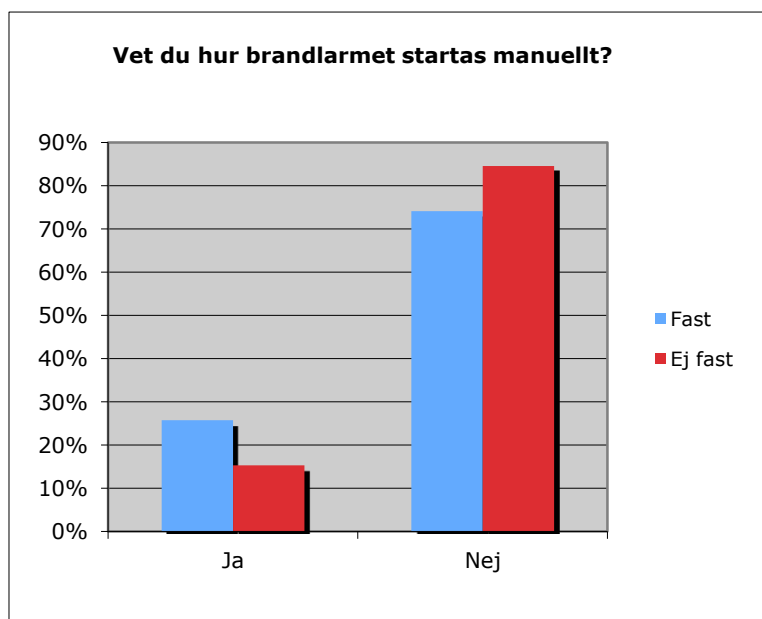


Figur 39. Fördelning av svaren på frågan, känner du till var släckutrustning finns?



Figur 40. Fördelning av svaren på frågan, Känner du dig bekväm med hantering av släckutrustning?

Det mest anmärkningsvärda resultatet från enkätundersökningen redovisas i figur 41. I detta diagram visas att en väldigt liten del av personalen har kännedom om hur brandlarmet aktiveras manuellt (15 procent icke fasta, 26 procent fasta).



Figur 41. Fördelning av svaren på frågan, vet du hur brandlarmet startas manuellt?

Den låga andelen kan till viss del förklaras med att larmknappar inte finns placerade i alla butiker.

Övriga kommentarer

Ett flertal önskemål från de tillfrågade berör behovet av brandskyddsutbildning, både grund- och kontinuerlig utbildning. En tillfrågad menar att personalens kunskaper inom brand och utrymning bör färskas upp regelbundet eftersom personalomsättningen är hög. Samtliga anställda har inte blivit informerade om förlarmets innebörd.

Osäkerheter/felkällor

Då misstanke finns att den mest erfarne individen i personalen svarar på undersökningen, inkluderas frågorna om typ av anställning och arbetsuppgift i företaget. På detta vis kan potentiellt snedvridna resultat identifieras.

Få tillfrågade innebär att variationer mellan butiker inte kan studeras, vilket hade varit intressant då butikerna till viss del själva utbildar sin personal gällande brandskydd.

Generellt sett ges inga kommentarer av de tillfrågade som svarar nekande på frågorna, vilket innebär att intressant problematik bortfaller.

Bilaga B Spridning på grund av strålning

För att konstatera om en brand, vilken uppstår i en ställning med leksaker eller kläder, orsakar spridning till närliggande ställningar beräknas avståndet vid vilket den infallande strålningen är 20 kW/m^2 . Att avståndet till just 20 kW/m^2 beräknas beror på att de flesta material väntas antända då denna strålningsnivå uppnås (Nystedt, 2011).

Ett antal antaganden behöver göras för att kunna genomföra beräkningarna. Bränsleytan antas vara cirkulär med en area av 1 m^2 och flamman antas vara rektangulär med medelflamhöjden som höjd. Flamtemperaturen ligger i intervallet $1073 - 1473 \text{ K}$ och vid beräkningar används temperaturen 1073 K (Drysdale, 1998), eftersom om spridning sker vid denna temperatur, kommer den att göra det även vid en högre.

Flamhöjden beräknas med Heskestads flammhöjdsekvation enligt ekvation 5 (Karlsson & Quintiere, 2000).

$$L_1 = 0,235 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1,02 \cdot D \quad \text{Ekvation 5}$$

$$L_1 = 2,3 \text{ m}$$

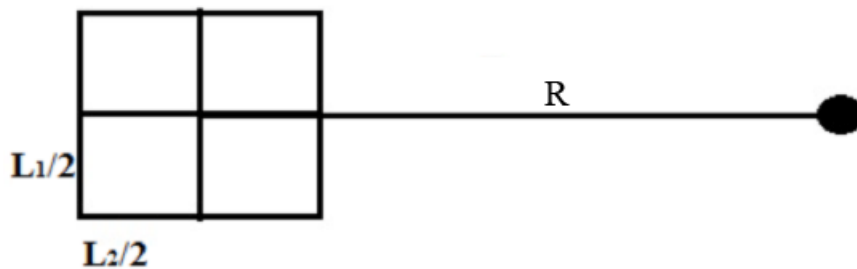
Där \dot{Q} sätts till 835 kW vilket är den lägsta effekt vid vilken sprinklern utlöser och D är brandens diameter $1,13 \text{ meter}$.

För att räkna ut avståndet R till vilken brandspridning är möjlig, se figur 42, sätts den infallande strålningen till 20 kW/m^2 , sedan bryts synfaktorn Φ ut ur ekvation 6 och beräknas. Med hjälp av detta värde kan R sedan beräknas (Drysdale, 1998).

$$\dot{q}'' = \phi \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad \text{Ekvation 6}$$

$$\Phi_{tot} = \frac{\dot{q}''}{\varepsilon \sigma T^4} = 0,266$$

Där Φ_{tot} är synfaktorn för hela flamman, infallande strålningen $\dot{q}'' = 20 \text{ kW/m}^2$, flammans emissivitet $\varepsilon = 1$ och $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$. Flamtemperaturen T sätts till 1073 K .



Figur 42. Uppställning för synfaktorberäkning, avståndet D söks.

Synfaktorn för en del är en fjärdedel så stor som den totala d.v.s. $0,266/4 = 0,0665$.

$$S = \frac{L_2/2}{L_1/2} \quad \text{Ekvation 7}$$

Där $L_1=2,3$ och $L_2=1,13$.

$$S = 0,49$$

Med hjälp av den beräknade synfaktorn från ekvation 7 för en del, S och tabell 2.7 i *An Introduction to Fire Dynamics* (Drysdale, 1998) läses α av till 0,3 och R beräknas enligt ekvation 8.

$$\alpha = \frac{L_1/2 \times L_2/2}{R^2}$$

Ekvation 8

$$R = 1,5 \text{ m}$$

Det kan konstateras att brandspridning kommer att kunna ske till föremål som är upp till 1,5 meter bort från ställningen som börjar brinna. Detta avstånd är framtaget för den lägre flamtemperaturen och effekten, vilket innebär att avståndet till möjlig spridning troligen är längre. Avståndet mellan ställningarna i butikerna är i många fall mindre än 1,5 meter och detta innebär att spridning kommer att kunna ske.

Bilaga C Alfavärde

National Research Council Canada (NCR) har utfört ett antal olika försök i forskningssyfte, där de undersökte mindre bränder i klädbutiker. Resultaten har dokumenterats i de två rapporterna *Design Fires for Commercial Premises – Results of Phase I* (Bwalya A. C., 2005) och *Design Fires for Commercial Premises – Results of Phase 2* (Bwalya, Zalok, & Hadjisophocleous, 2007). I resultaten redovisas effektkurvor för varje försök. För att uppskatta vilket alfavärde en brand i klädesbutik kan uppnå används den maximala effekten, samt tiden det tar att uppnå denna effekt. Genom att anpassa dessa tider och den maximala effekten till ekvation 3 kan en grov uppskattning av alfavärdet tas fram.

$$\dot{Q}_{max} = \alpha \cdot t^2 \quad \text{Ekvation 3}$$

C. 1 Scenario I

Värden från försök 3 i *Design Fires for Commercial Premises – Results of Phase I* (Bwalya A. C., 2005):

$$1200 = \alpha \cdot 200^2$$
$$\alpha = 0,0192$$

Värden från försök 1 & 2 i *Design Fires for Commercial Premises – Results of Phase I* (Bwalya A. C., 2005) som är nästan identiska:

$$700 = \alpha \cdot 250^2$$
$$\alpha = 0,0112$$

Värden från försök 3 i *Design Fires for Commercial Premises – Results of Phase 2* (Bwalya, Zalok, & Hadjisophocleous, 2007):

$$2700 = \alpha \cdot 150^2$$
$$\alpha = 0,12$$

Framräknade värden uppvisar stor variation och för att få uppskattning om ett generellt värde tas medelvärdet fram till 0,05. Detta ligger mycket nära värdet för *fast* tillväxt som är 0,047.

C.2 Scenario II

Värden från försök 6 i *Design Fires for Commercial Premises – Results of Phase I* (Bwalya A. C., 2005):

$$900 = \alpha \cdot 300^2$$
$$\alpha = 0,01$$

Värden från försök 4 i *Design Fires for Commercial Premises – Results of Phase 2* (Bwalya, Zalok, & Hadjisophocleous, 2007):

$$2600 = \alpha \cdot 382^2$$
$$\alpha = 0,018$$

Dessa framräknade alfavärden ligger i storleksordningen *medium* tillväxthastighet som är 0,012. Dock anges tillväxthastigheten *fast* i tabell 7.1 i *Verifying Fire Safety Design in Sprinklered Buildings* (Nystedt, 2011) och även i tabell 10.2 i *Selecting design fires* (Staffansson, 2010).

Bilaga D Sprinkleraktivering

Beräkningar i Detact QS genomförs för att se hur lång tid det tar till sprinkleraktivering. Höjden från bränsle till tak sätts till uppmätta 3,4 meter. Det radiella avståndet från brandens centrum till en sprinkler utgår från att respektive sprinkler täcker en area av 12 m^2 vilket är standard för riskklass normal (Jensen, 2002). Utifrån det beräknas hypotenusan i den räta triangeln, med sidorna 2 respektive 1.5 meter, till 2.5 meter för den sämst placerade sprinklern. Ytterligare en beräkning genomförs för att få fram tiden för den bäst placerade sprinklern. Här sätts det radiella avståndet till 0 det vill säga att sprinklerhuvudet är placerat rakt ovanför branden. Sprinklerhuvudena i butikerna bedöms ha ett RTI-värde på $50 \text{ m}^{0,5} \text{ s}^{0,5}$ med en aktiveringstemperatur på $68 \text{ }^\circ\text{C}$, enligt observationer vid besöket. Effekten förs in med tio sekunders intervall från effektkurvan för brandscenario I och IIA.

Indata sämsta sprinklern:

$$H = 3,4 \text{ m}$$

$$R = 2,5 \text{ m}$$

$$RTI = 50 \text{ m}^{0,5} \text{ s}^{0,5}$$

$$T_{aktivering} = 68 \text{ }^\circ\text{C}$$

Detact QS beräknar utifrån givna indata tiden till aktivering, $t_{aktivering} = 133 \text{ s}$.

Indata bästa sprinklern:

$$H = 3,4 \text{ m}$$

$$R = 0 \text{ m}$$

$$RTI = 50 \text{ m}^{0,5} \text{ s}^{0,5}$$

$$T_{aktivering} = 68 \text{ }^\circ\text{C}$$

Detact QS beräknar utifrån givna indata tiden till aktivering, $t_{aktivering} = 71 \text{ s}$.

Bilaga E Energi

E.1 Scenario I & IIA

Tillväxtfasen sker under de första 133 sekunderna, då sprinkleraktivering sker, och energin som krävs fås genom att kombinera ekvation 3 och 4.

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \quad \text{Ekvation 3}$$

$$Q_{tot} = \int \dot{Q} dt \quad \text{Ekvation 4}$$

$$Q_{tillväxt} = \int_{t_{start}}^{t_{tillväxt}} \dot{Q} dt = \int_0^{133,3} \alpha t^2 dt = \frac{0,047 \cdot 133,3^3}{3} = 36858 \text{ kJ}$$

Där $Q_{tillväxt}$ är energin utvecklad under tillväxten, \dot{Q} är effektutvecklingen, tillväxthastigheten sätts till $\alpha=0,047$ och tiden till maximal effekt $t_{tillväxt}=133$ sekunder.

Energien som krävs från det att maximal effekt uppnåtts tills försöket avslutas beräknas med ekvation 4.

$$Q_{konstant} = \int_{t_{tillväxt}}^{t_{slut}} \dot{Q} dt = \int_{133,3}^{840} \dot{Q} dt = 835 \cdot (840 - 133,3) = 590345 \text{ kJ}$$

Där $Q_{konstant}$ är energin utvecklad efter att konstant effektutveckling uppnåtts, \dot{Q} är effektutvecklingen, tiden till försöket avslutas t_{slut} är 840 sekunder och tiden för tillväxt $t_{tillväxt}$ är 133 sekunder.

Den totala energin under hela förloppet blir således:

$$Q_{tot} = Q_{tillväxt} + Q_{konstant} = 627203 \text{ kJ} = 627 \text{ MJ}$$

E.2 Scenario IIB

Tillväxtfasen sker under de första 461 sekunderna, som är tiden till 10 MW enligt ekvation 3, och energin som krävs under den tiden beräknas genom att kombinera ekvation 3 och 4.

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \quad \text{Ekvation 3}$$

$$Q_{tot} = \int \dot{Q} dt \quad \text{Ekvation 4}$$

$$Q_{tillväxt} = \int_{t_{tillväxt}}^{t_{slut}} \dot{Q} dt = \int_0^{461} \alpha t^2 dt = \frac{0,047 \cdot 461^3}{3} = 1\,534\,898 \text{ kJ}$$

Där $Q_{tillväxt}$ är energin utvecklad under tillväxten, \dot{Q} är effektutvecklingen, tillväxthastigheten sätts till $\alpha=0,047$ och tiden till maximal effekt $t_{tillväxt}=461$ sekunder.

Energien som krävs från det att maximal effekt uppnåtts tills försöket avslutas beräknas med ekvation 4.

$$Q_{konstant} = \int_{t_{tillväxt}}^{t_{slut}} \dot{Q} dt = \int_{461}^{840} \dot{Q} dt = 10000 \cdot (840 - 461) = 3\,790\,000 \text{ kJ}$$

Där $Q_{konstant}$ är energin utvecklad efter att konstant effektutveckling uppnåtts, \dot{Q} är effektutvecklingen, tiden till försöket avslutas t_{slut} är 840 sekunder och tiden för tillväxt $t_{tillväxt}$ är 461 sekunder.

Den totala energin under hela förloppet blir således:

$$Q_{tot} = Q_{tillväxt} + Q_{konstant} = 5\,324\,898\text{kJ} = 5\,325\text{ MJ}$$

Bilaga F Ventilationskontroll

F.1 Scenario I

För att kontrollera om branden på Gina Tricot blir ventilationskontrollerad utnyttjas att förbränning av ett kilogram syre frigör 13,1 MJ (Drysdale, 1998).

Först beräknas Gina Tricots volym enligt ekvation 9.

$$V_{luft} = A \cdot H \quad \text{Ekvation 9}$$

$$V_{luft} = 1496 \text{ m}^3$$

Där arean, A, är uppmätt till 440 m² och höjden, H, är 3,4 m.

Massan syre i rummet beräknas med ekvation 10.

$$m_{syre} = V_{rum} \cdot \rho_{luft} \cdot (\chi_{\infty} - \chi_{undre \text{ gräns}}) \quad \text{Ekvation 10}$$

$$m_{syre} = 212 \text{ kg}$$

m_{syre} är massan syre, rummets volym, V_{rum} , har beräknats till 1496 m³ och luftens densitet, ρ_{luft} , är 1,29 kg/m³. Massfraktionen syre i luften, χ_{∞} , är 0,23 och massfraktionen för undre gränsen syre i luft då förbränning kan ske, $\chi_{undre \text{ gräns}}$, är 0,12 (Drysdale, 1998).

Den totala energin som kan förbrännas med avseende på mängden syre i rummet beräknas sedan med ekvation 11.

$$Q_{max.vent} = m_{syre} \cdot \Delta H_{c,syre} \quad \text{Ekvation 11}$$

$$Q_{max.vent} = 2781 \text{ MJ}$$

Där $Q_{max.vent}$ är den maximala energin som fås ut vid given mängd syre, massan syre m_{syre} är 212 kg och förbränningsentalpin för luft ΔH_c är 13,1 MJ/kg.

F.2 Scenario II

Först beräknas Lekias volym med hjälp av ekvation 9.

$$V_{luft} = A \cdot H \quad \text{Ekvation 9}$$

$$V_{luft} = 1296 \text{ m}^3$$

Där arean, A, är uppmätt till 360 m² och höjden, H, är 3,6 m.

Massan syre i rummet beräknas med ekvation 10.

$$m_{syre} = V_{rum} \cdot \rho_{luft} \cdot (\chi_{\infty} - \chi_{undre \text{ gräns}}) \quad \text{Ekvation 10}$$

$$m_{syre} = 184 \text{ kg}$$

m_{syre} är massan syre, rummets volym, V_{rum} , har beräknats till 1296 m³ och luftens densitet, ρ_{luft} , är 1,29 kg/m³. Massfraktionen syre i luften, χ_{∞} , är 0,23 och massfraktionen för undre gränsen syre i luft då förbränning kan ske, $\chi_{undre \text{ gräns}}$, är 0,12 (Drysdale, 1998).

Den totala energin som kan förbrännas med avseende på mängden syre i rummet beräknas med hjälp av ekvation 11.

$$Q_{max.vent} = m_{syre} \cdot \Delta H_{c,syre} \quad \text{Ekvation 11}$$

$$Q_{max.vent} = 2410 \text{ MJ}$$

Där $Q_{max.vent}$ är den maximala energin som fås ut vid given mängd syre, massan syre m_{syre} är 184 kg och förbränningsentalpin för luft ΔH_c är 13,1 MJ/kg.

Med enbart syret som finns i rummet kommer branden att bli ventilationskontrollerad eftersom det i bilaga E.2 har beräknats att den energi som krävs för scenario IIB är 5325 MJ. Eftersom det i ekvationerna ovan inte tas någon hänsyn till öppningarna kontrolleras det om de är tillräckligt stora för att förse branden med syre. Massflödet luft in genom öppningarna, \dot{m}_a , beräknas enligt ekvation 12.

$$\dot{m}_a = 0,5 \cdot A \sqrt{H_0} \quad \text{Ekvation 12}$$

$$\dot{m}_a = 23,9 \text{ kg/s}$$

Där A är öppningsarean 25,2 m² och H_0 är öppningens höjd 3,6 meter. Därefter beräknas med ekvation 13 den maximala effekt som kan uppnås vid ventilationskontrollerad brand.

$$\dot{Q} = \chi_\infty \cdot \Delta H_{c,syre} \cdot \dot{m}_a \quad \text{Ekvation 13}$$

$$\dot{Q} = 72,0 \text{ MW}$$

Där massfraktionen syre i luft är 0,23 och varje kilo syre som deltar i reaktionen frigör 13,1 MJ.

Bilaga G Indata FDS

För att resultaten från FDS skall vara verklighetstroga krävs korrekt indata och därför läggs stor vikt vid att uppskatta denna. I denna bilaga motiveras de val som ligger till grund för FDS-simuleringen. I de fall då ingen motivering ges har förinställda data i FDS använts. Inledningsvis redovisas allmänna val vilka gäller för samtliga simuleringar och därefter följer de val som är specifika för de olika scenarierna.

Tiden för simulering väljs till 14 minuter, då detta förväntas motsvara den maximala tid det tar för räddningstjänsten att påbörja en insats, samt den längsta förväntade tiden för utrymningen.

För att förkorta beräkningstiden stängs strålningsberäkningar av i FDS. Handberäkningar gällande strålningens inverkan utförs istället.

Samtliga väggar, golv och tak sätts till att ha inerta materialegenskaper, som gör att det är en icke-reagerande solid yta med en fast temperatur på 20 °C. Materialet kan leda bort värme men värms inte upp, vilket leder till att värmeförlusterna blir större i simuleringen än i verkligheten. Detta bör dock inte påverka resultatet i någon större utsträckning, då de utrymmen som är mest intressanta förväntas ha relativt låga temperaturer även i brandgaslagret. Detta val görs även med hänsyn till osäkerhet gällande befintligt material i innerväggar och tak.

Byggnaden har i FDS skapats genom att importera befintliga ritningar i vilka vissa förenklingar av geometrierna har genomförts. Framst har irrelevanta konstruktioner tagits bort och vissa sneda konstruktionselement har omvandlats till räta för bättre anpassning till *mesher*. Ingen hänsyn tas till inredningen i någon av simuleringarna, på grund av att denna inte förväntas påverka brandgasspridningen.

Dörrar till bakre utrymmen såsom lager, trapphus, kontor och personalutrymmen är stängda under simulering. Därmed har stora delar av plan 1 utelämnats helt från simuleringen. Det är genomförbart eftersom de inte innehåller intressanta delar för utrymningen och med en mindre totalvolym anses valet konservativt. Som visats i Bilaga E kommer branden inte bli ventilationskontrollerad och därför är den mindre volymen acceptabel för simuleringen. Detta bidrar även till ett mindre antal celler vilket i sin tur leder till kortare simuleringstid.

För fullständig indatafil, kontakta universitetslektor Robert Jönsson, Brandteknik och riskhantering, LTH. Nedan följer förklaring till indatafilerna där siffran anger filnamn.

1. Scenario I
2. Scenario IIA
3. Scenario IIB
4. Scenario IIA med åtgärdsförslaget:
Blockera öppningar mellan väggar och tak från butiker ut mot allmänna utrymmen
5. Scenario IIA med känslighetsanalysen:
Sänkt effekt till 621 kW
6. Scenario IIB med känslighetsanalysen:
Fördubblad soot yield 0,12 kg/kg

G.1 Scenario I

I det här fallet simuleras endast plan 3. Plan 1 och 2 utelämnas eftersom branden är på översta planet och ingen brandgasspridning förväntas till övriga plan. Tilluft kommer från öppningar som gjorts med kommandot &VENT i FDS och motsvarar ariet, rulltrapporna inne i H&M och Kappahl samt de större öppningarna mot Postgatan/Nordstadstorget.

G.1.1 Branden

Bränslet som består av huvudsakligen textilier och trä, approximeras med den kemiska sammansättningen för cellulosa, det vill säga $C_6H_{10}O_5$ (DiNenno, 1995). Detta motiveras med att kläderna på Gina Tricot antas bestå av huvudsakligen bomull, som är den renaste naturligt förekommande formen av cellulosa (Nationalencyklopedin, u.d.). Inredningen som är brännbar antas bestå av trä och även detta består av cellulosa.

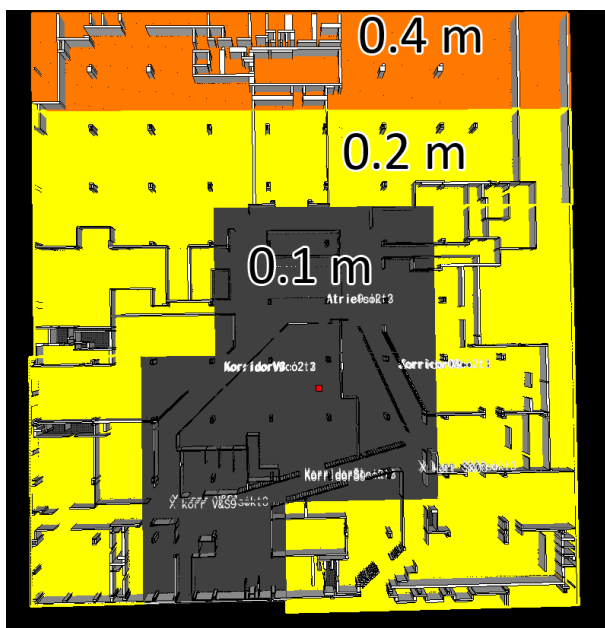
Data till rökproduktion hämtas för köpcentrum från *Selecting design fires*, som ger förslag på *soot yield* 0,06 kg/kg och *CO yield* 0,02 kg/kg (Staffansson, 2010).

För att få en representativ brand används en area som baseras på data från *Design Fire for Commercial Premises - Results of Phase I* (Bwalya A. C., 2005). I deras försök med leksaksbutik uppnås en maxeffekt om 900 kW och branden är en kvadratmeter stor. Utifrån det väljs en maximal effekt per kvadratmeter till omkring 1000 kW/m². Den maximala effekten i den här simuleringen är 835 kW vilket med mått anpassade till *meshen* ger en area för brännaren på 0,8 m² och därmed 1043,75 kW/m².

G.1.2 MESH-storlek

Cellstorleken för *meshen* väljs genom att utnyttja den dimensionslösa branddiametern som föreslås i *Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide* (Floyd, Hostikka, McDermott, & McGrattan, 2010). Cellstorleken bör enligt detta tillvägagångssätt vara som störst 0,22 meter och som minst 0,056 meter, för att kombinera ett bra resultat med en acceptabel beräkningstid. För att förkorta beräkningstiden delas hela volymen in i ett antal mindre *mesher*, med som mest ungefär 500 000 celler i varje. Olika cellstorlekar används i de olika *mesherna*, beroende på hur nära branden de är, samt hur viktiga områdena anses vara ur utrymningssynpunkt.

Cellstorleken väljs utifrån detta till 0,1 meter i de delar som är mest relevanta för utrymningssäkerheten, samt där det bedöms ske störst brandgasspridning. I de delar där brandgaserna förväntas få mindre spridning samt mindre inverkan på utrymning, väljs cellstorleken till 0,2 meter. Ett område som inte innehåller några viktiga utrymningsvägar och där risken för brandgasspridningen bedöms liten tilldelas ytterligare grövre celler, med storleken 0,4 meter. Totalt används 23 stycken *mesher* med totalt 10 823 400 stycken celler. Figur 43 visar cellstorlekarna på planet.



Figur 43. Cellstorlekarna för olika delar av plan 3.

G.1.3 Mätningar

För att få användbar utdata placeras en stor mängd mätpunkter, i form av *devices* och *slices*, på relevanta positioner. De variabler som är intressanta anses vara temperatur, sikt, brandgaslagrets höjd, volymprocent koldioxid, volymprocent syre och volymprocent kolmonoxid.

Värmedetektorer placeras ut i brandrummet för att beräkna sprinkleraktiveringstider. Detta för att kunna få en jämförelse med de i Detact QS beräknade tiderna. Fyra stycken värmedetektorer placeras så att de täcker in 12 m² med ett avstånd från taket på 0,05 meter. De placeras sedan med branden i centrum så att det längsta tänkbara radiella avståndet används.

Slice files som visar en vertikal genomskärning har använts i viktiga utrymningsvägar och i brandrummet. På samtliga plan har även horisontella *slice files* som visar sikt, koldioxid, kolmonoxid samt syre placerats. De är placerade så att temperaturen visas på 1,8 meter (huvudhöjd) och övriga mäts på 1,6 meter (ögonhöjd).

G.2 Scenario II

Vid brand på Lekia simuleras samtliga tre plan. Detta för att beakta brandgasspridningen mellan planen. Tilluft och frånluft kommer via befintliga utgångar.

G.2.1 Branden

Bränslet approximeras som cellulosa eftersom rapporten *Fire for Commercial Premises - Results of Phase I* (Bwalya A. C., 2005) skriver att materialet i en leksaksbutik till 82 procent består av trä, papper och textilier. Trä, papper och textilier är i sin tur uppbyggt av cellulosa och därför bedöms detta vara ett rimligt antagande.

Även här används data för *soot yield* från *Selecting design fires* (Staffansson, 2010) och sätts till *soot yield* 0,06 kg/kg och *CO yield* 0,02 kg/kg.

I scenario IIA används samma brännare som i scenario I det vill säga 0,8 m² och en effekt per kvadratmeter på 1043,75 kW/m².

Enligt tidigare resonemang används en brännare som skall ge cirka 1000 kW/m². Arean på brännaren i scenario IIB sätts därför till 9 m² vilket i kombination med en maxeffekt på 10 MW leder till en effekt per kvadratmeter på 1111,11 kW/m².

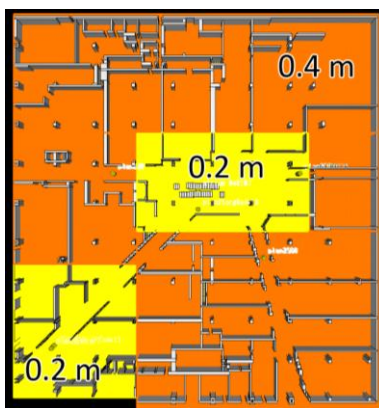
G.2.2 MESH-storlek

Enligt tillvägagångssättet som beskrivs i FDS-manualen bör cellstorleken för scenario IIA vara som störst 0,25 meter och som minst 0,056 meter, samt för scenario IIB vara som störst 0,6 meter och som minst 0,15 meter (Floyd, Hostikka, McDermott, & McGrattan, 2010).

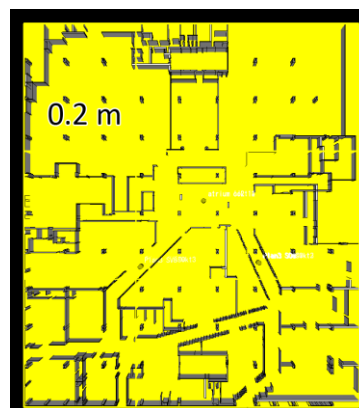
För scenario IIA väljs cellstorleken till 0,1 meter i de mest intressanta delarna. I övriga delar väljs cellstorleken till 0,2 eller 0,4 meter. Totalt används 27 stycken *mesher* med totalt 7 987 802 stycken celler. Figur 44 till 46 visar cellstorlekarna på de olika planen.



Figur 44. Cellstorlekar på plan 1



Figur 45. Cellstorlekar på plan 2

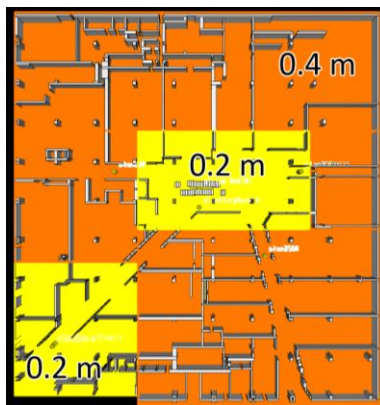


Figur 46. Cellstorlekar på plan 3

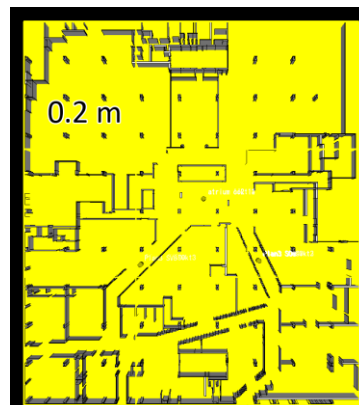
För scenario IIB väljs cellstorleken till 0,2 meter i de mest intressanta delarna. I övriga delar väljs cellstorleken till 0,4 meter. Totalt används 24 stycken *mesher* med totalt 6 693 872 stycken celler. Figur 47 till 49 visar cellstorlekarna på de olika planen.



Figur 47. Cellstorlekar på plan 1



Figur 48. Cellstorlekar på plan 2



Figur 49. Cellstorlekar på plan 3

G.2.3 Mätningar

Även vid simuleringarna med brand på Lekia används *devices* och *slice files* som mäter temperatur, sikt, brandgaslagrets höjd, volymprocent koldioxid, volymprocent syre och volymprocent kolmonoxid.

Värmedetektorer för att jämföra sprinkleraktivering placeras ut på samma sätt som i Scenario I.

I de här simuleringarna har liknade vertikala genomskärningar använts i viktiga utrymningsvägar och i brandrummet, skillnaden är dock att även atriet och trapphusen täcks in. Horisontella *slice files*, med samma storheter och höjder som i tidigare simulering, har använts.

Bilaga H Strålning från brandgaslagret

Vid beräkning av strålning mot utrymmande individ från brandgaslager, görs antagandet att emissiviteten, ε är 1, dvs brandgaserna strålar som en perfekt svartkropp. Vidare sätts synfaktorn, ϕ till 1 för att erhålla ett konservativt värde på den infallande strålningen. Strålningsberäkningarna genomförs med hjälp av ekvation 6.

$$\dot{q}'' = \phi \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad \text{Ekvation 6}$$

Där \dot{q}'' är infallande strålning, σ är Stefan Boltzmanns konstant $5,67 \cdot 10^{-8}$, T är temperatur, ε är emmissivitet och ϕ är synfaktorn.

I enlighet med *Brandskyddshandboken* (Brandteknik, 2005) ansätts kritisk strålningsnivå mot individ till $2,5 \text{ kW/m}^2$. Utifrån detta värde beräknas den temperatur som krävs för att kriteriet ej skall uppfyllas.

$$T = \sqrt[4]{\frac{\dot{q}''}{\phi \cdot \varepsilon \cdot \sigma}} = 458 \text{ K} = 185^\circ \text{ C}$$

Brandgaslagrets högsta temperaturer enligt simuleringarna i FDS redovisas i tabell 54 till 56. När brandgaserna i scenario II tagit sig upp till plan 3 är de så pass svala från inblandning av kall friskluft att resultat från plan 3 ej redovisas.

Scenario I

Tabell 54. Maximala temperaturer vid olika platser för Scenario I.

Plats	Punkt 7	Punkt 1	Punkt 6	Punkt 5
Temperatur / °C	100	80	21	21

Scenario IIA

Tabell 55. Maximala temperaturer vid olika platser för Scenario IIA.

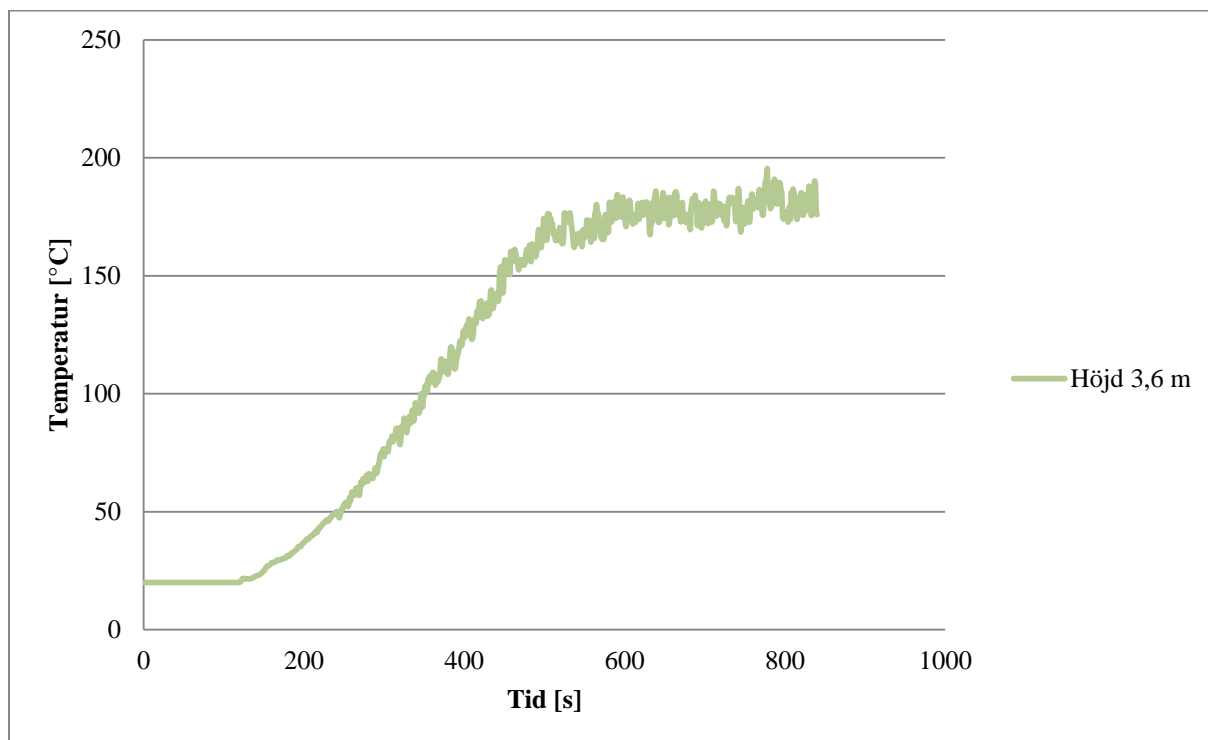
Punkt	1, plan 1	2, plan 1	1, plan 2	3, plan 2	1, plan 3
Temperatur / °C	38	45	26	28	26

Scenario IIB

Tabell 56. Maximala temperaturer vid olika platser för Scenario IIB.

Punkt	1, plan 1	2, plan 1	1, plan 2	3, plan 2	1, plan 3
Temperatur / °C	110	185	45	80	65

Figur 50 visar temperaturutvecklingen vid punkt 2, plan 1, då branden ej begränsas av sprinkler.



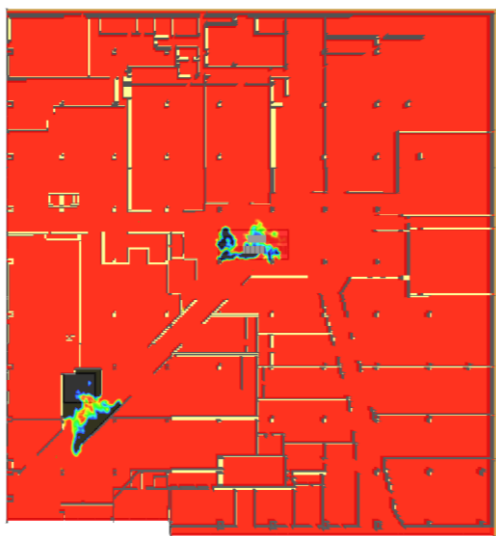
Figur 50. Temperaturen i taknivå som funktion av tiden vid punkt 2, plan 1.

Då strålningsberäkningen ovan är väldigt konservativ, eftersom synfaktorn kommer vara väsentligt lägre än 1, uppnås aldrig strålningsnivån $2,5 \text{ kW/m}^2$ trots att temperaturen på en plats uppgår till 185 °C . Inga ytterligare kontroller genomförs.

Bilaga I Resultat FDS

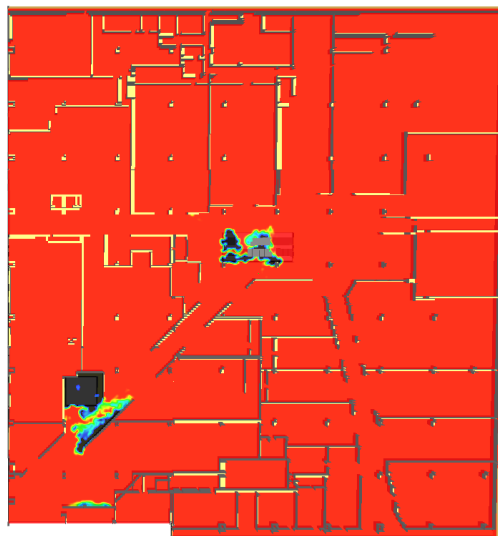
I figur 51 till 54 presenteras först resultat gällande sikt då första tecken på kritiska förhållanden visar sig, med tillhörande skala i figur 55. Efter det redovisas i figur 56 till 77 resultat vid 840 sekunder för övriga parametrar som är av vikt för bedömning av kritiska förhållanden vid utrymning. Då resultaten är extraherade vid maximal simuleringstid kan värsta möjliga förhållanden förväntas. Det framgår att inga värden på dessa övriga parametrar når nivåer som påverkar en säker utrymning.

Sikt Scenario IIA

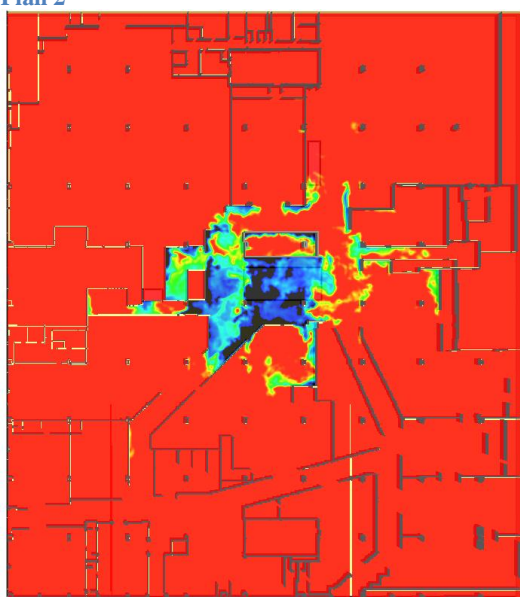


Figur 51. Sikt efter 240 sekunder i Scenario IIA, Plan 2

Sikt Scenario IIB



Figur 53. Sikt efter 234 sekunder i Scenario IIB, Plan 2



Figur 52. Sikt efter 280 sekunder i Scenario IIA, Plan 3



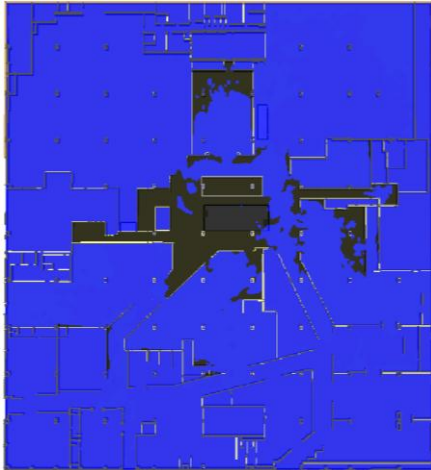
Figur 54. Sikt efter 230 sekunder i Scenario IIB, Plan 3

Slice
VIS_Soot
m

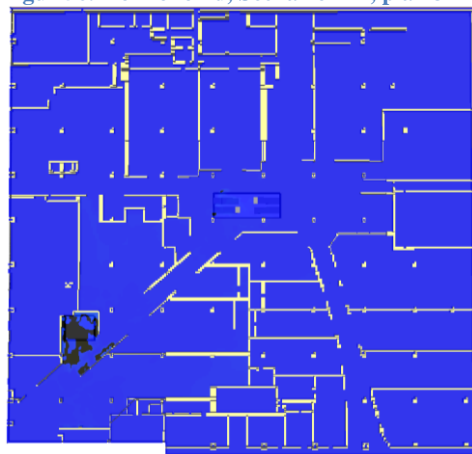


Figur 55.
Skala
för sikt

Kolmonoxid Scenario IIA



Figur 56. Kolmonoxid, Scenario IIA, plan 3

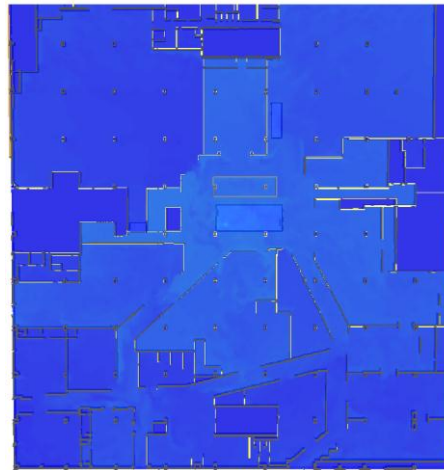


Figur 57. Kolmonoxid, Scenario IIA, plan 2

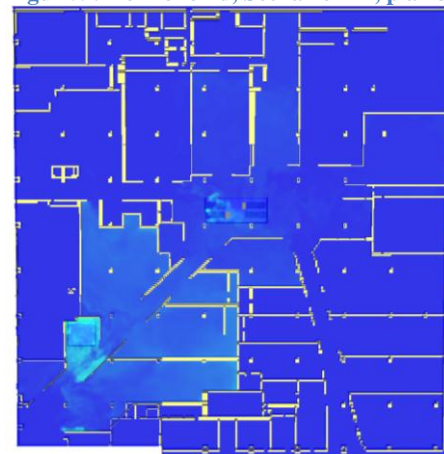


Figur 58. Kolmonoxid, Scenario IIA, plan 1

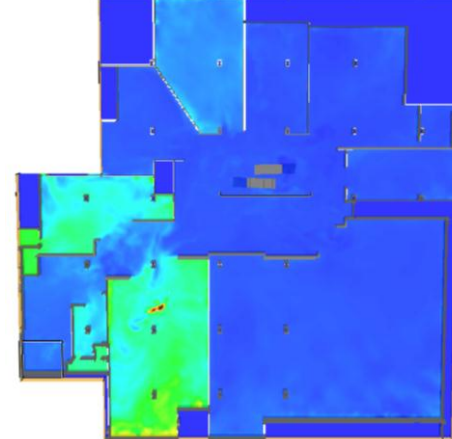
Kolmonoxid Scenario IIB



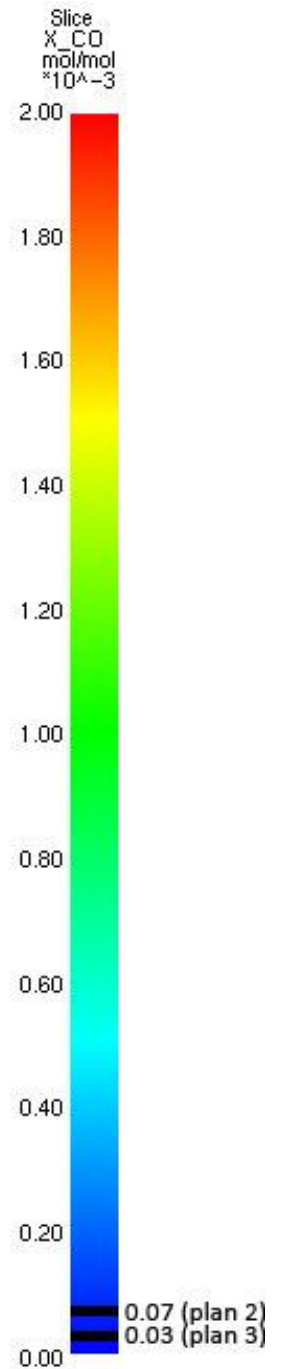
Figur 59. Kolmonoxid, Scenario IIB, plan 3



Figur 60. Kolmonoxid, Scenario IIB, plan 2

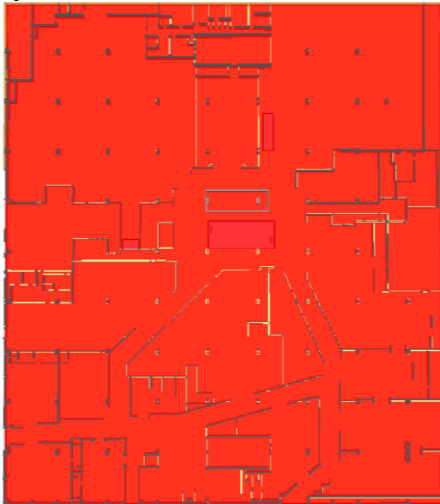


Figur 61. Kolmonoxid, Scenario IIB, plan 1

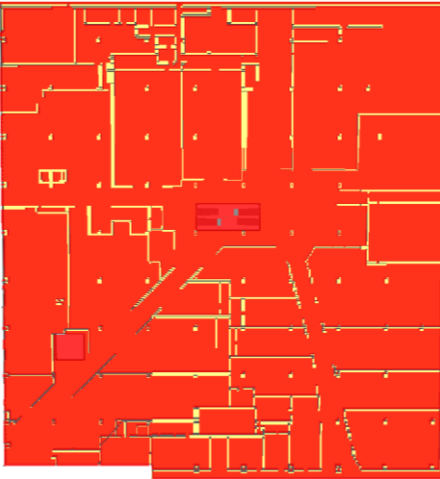


Figur 62. Skala för kolmonoxidhalten

Syre Scenario IIA



Figur 63. Syre, Scenario IIA, plan 3

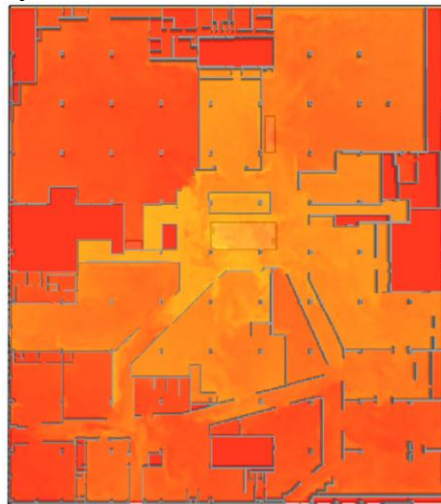


Figur 64. Syre, Scenario IIA, plan 2

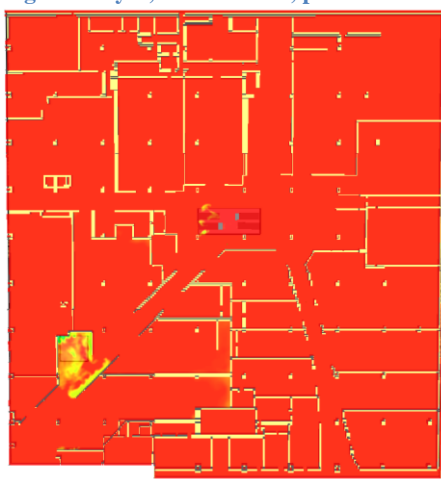


Figur 65. Syre, Scenario IIA, plan 1

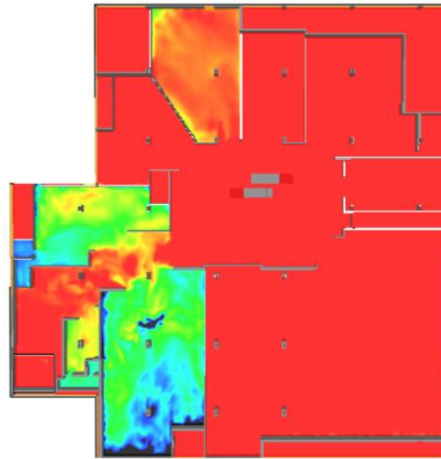
Syre Scenario IIB



Figur 66. Syre, Scenario IIB, plan 3



Figur 67. Syre, Scenario IIB, plan 2



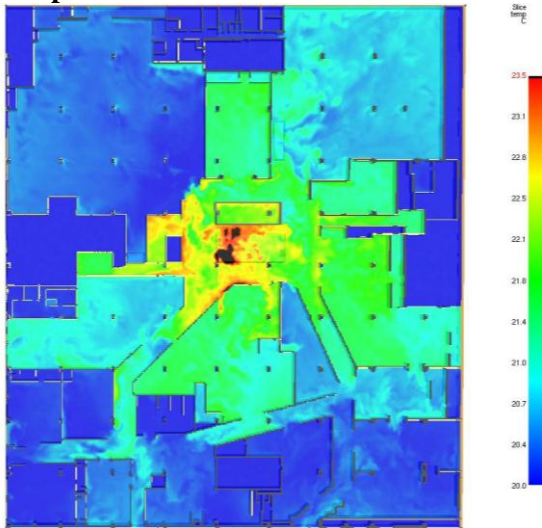
Figur 68. Syre, Scenario IIB, plan 1

Slice
X_O2
mol/mol



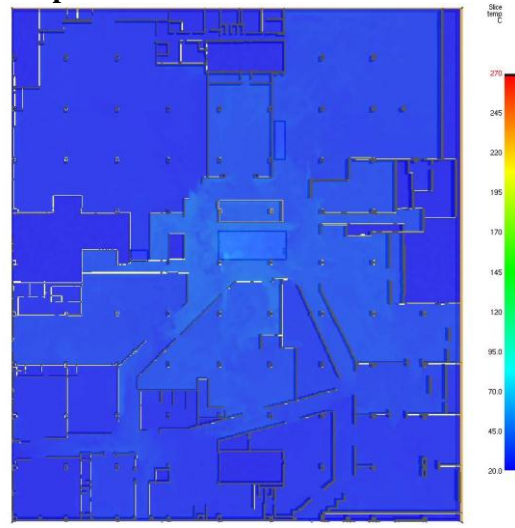
Figur 69. Skala för syrehalten

Temperatur Scenario IIA

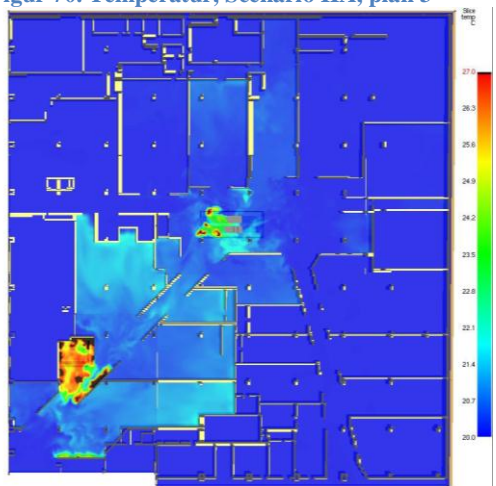


Figur 70. Temperatur, Scenario IIA, plan 3

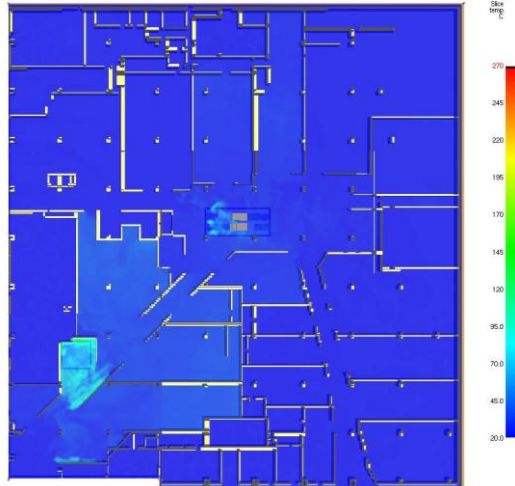
Temperatur Scenario IIB



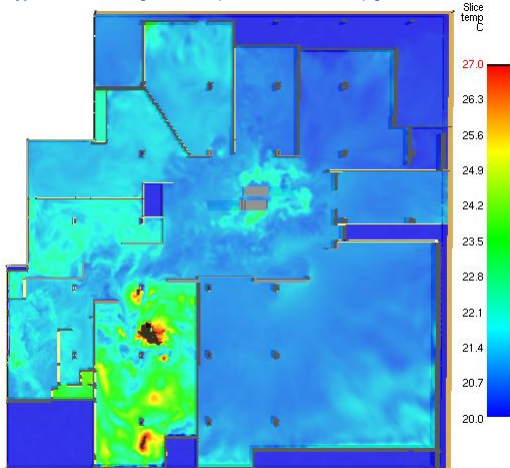
Figur 73. Temperatur, Scenario IIB, plan 3



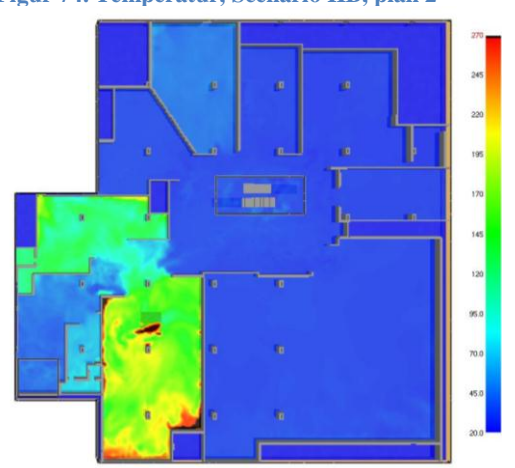
Figur 71. Temperatur, Scenario IIA, plan 2



Figur 74. Temperatur, Scenario IIB, plan 2

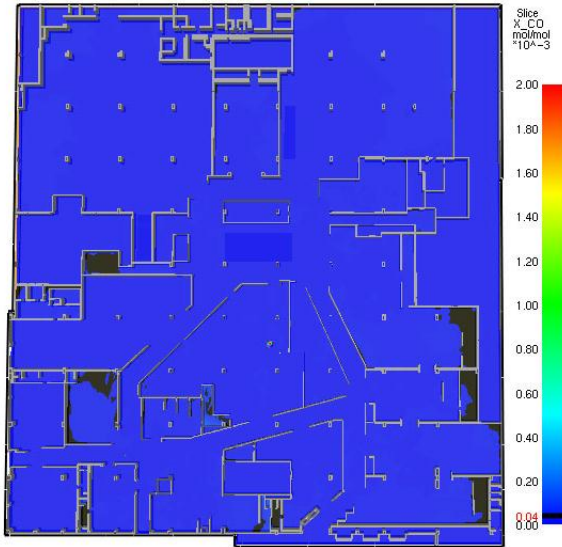


Figur 72. Temperatur, Scenario IIA, plan 1

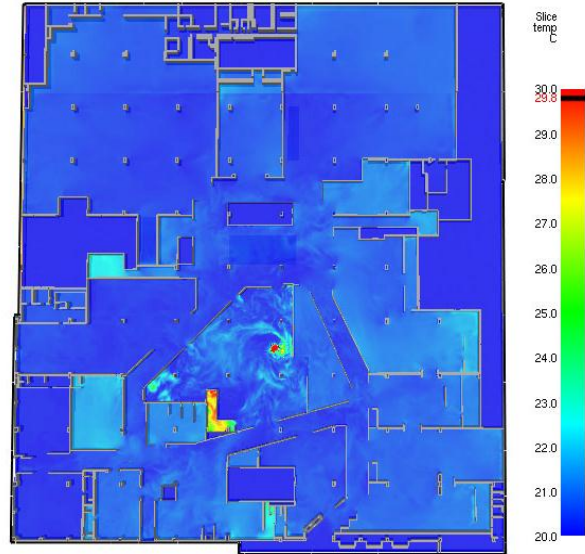


Figur 75. Temperatur, Scenario IIB, plan 1

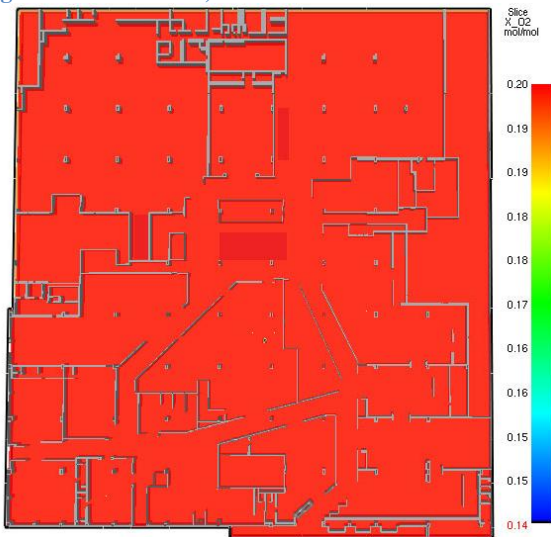
Scenario I



Figur 76. Kolmonoxid, Scenario I



Figur 78. Temperatur, Scenario I



Figur 77. Syre, Scenario I

Bilaga J Indata CFAST

För att göra bränderna i CFAST och FDS så lika som möjligt används även här ett cellulosebaserat bränsle. Det cellulosebaserade bränslet trä (red oak) används vid simulering och i CFAST anges olika egenskaper för bränslet och kvoter mellan de produkter som bildas vid pyrolys, dessa redovisas nedan.

$$\frac{m_{CO}}{m_{CO_2}} = 0,00315$$

Där mängden bildad kolmonoxid, CO och koldioxid, CO₂ är 0,004 respektive 1,27 gram enligt tabell 3-4.14 i *SFPE handboken* (DiNenno, 1995).

$$\frac{m_H}{m_C} = 0,140$$

Där det bildas 10 stycken väteatomer med vikten 1,008 g/mol och 6 stycken kolatomer med vikten 12,01 g/mol.

$$\frac{m_C}{m_{CO_2}} = 0,0118$$

Där mängden bildat kol vid pyrolys är 0,015 gram och mängden koldioxid är 1,27 gram.

$$M = 6M_C + 10M_H + 5M_O = 0,162 \text{ g/mol}$$

Där $M_C=12,01$ g/mol, $M_H=1,008$ g/mol och $M_O=16,0$ g/mol.

Förbränningsentalpin sätts till 17100 J/g enligt tabell 3-4.14 i *SFPE handboken* (DiNenno, 1995) och förångningsentalpin sätts till standardvärdet 0 (Peacock & al, 2008).

J.1 Scenario I

Eftersom CFAST endast kan hantera enkla geometrier förenklas Gina Tricot till ett rektangulärt rum med måtten 16×28×3,4 meter. Vilket ger en volym som motsvarar butikens verkliga, detta för att göra simuleringen så lik verkligheten som möjligt trots förenklingen. Fyra öppningar med samma bredder som de verkliga ingångarna placeras ut på motsvarande plats. Effektutvecklingen matas in som en α^2 kurva med tillväxthastigheten *fast* och en maximal effekt på 835 kW. Den totala beräkningstiden sätts till 840 sekunder.

J.2 Scenario II

Lekias geometri förenklas genom att väggen ut mot atriet görs rak och rummet får då måtten 15×24×3,6 meter vilket motsvara butikens verkliga volym. Väggen ut mot atriet sänks så att en öppning på 0,4 meter skapas och en öppning med mått motsvarande ingångens placeras ut centralt på väggen. För både scenario IIA och B matas effektutvecklingen in i form av en α^2 kurva med *fast* tillväxt och maximala effekten sätts till 835 kW respektive 10 MW. Den totala beräkningstiden sätts till 840 sekunder.

Bilaga K Indata Simulex

Denna bilaga beskriver och motiverar de val som ligger till grund för Simulex-simuleringen.

Som utgångspunkt används de befintliga CAD-ritningarna för de tre affärsplanen. Ritningarna anpassas för att bli kompatibla med Simulex. Även ett fjärde helt öppet plan skapas där personer placeras ut för att representera samtliga överliggande plan. Detta eftersom delar av personalen på de här planerna kommer att utrymma i samma trapphus som personer från affärsplanerna. Våningsplanen binds samman genom länkar vid befintliga trappor och utrymningsvägar placeras ut i form av utgångar. Totalt används 25 trappor och 26 utgångar. Med hjälp av 15 olika avståndskartor styrs vilka personer som skall se respektive utgång. Denna fördelning bygger på ett resonemang kring hur många som använder respektive utgång i verkligheten. Majoriteten av besökarna använder de naturliga in- och utgångarna på varje plan som utrymningsvägar, istället för att använda de mindre och sämre markerade bakre utrymningsvägarna. Fördelningen mellan hur många som använder de bakre utrymningsvägarna respektive de naturliga in och utgångarna vid utrymning redovisas i tabell 57. I största möjliga mån har utrymning i direkt närhet till branden undvikits då kritiska förhållanden snabbt uppstår på dessa platser.

Tabell 57. Procentuell fördelning för användandet av naturliga respektive bakre utrymningsvägar gällande scenario I och II

	Naturliga utrymningsvägar [%]	Bakre utrymningsvägar [%]
Scenario I	74	26
Scenario II	77	23

Samtliga personer på affärsplanerna får, de i Simulex förinställda, personegenskaperna för varuhusbesökare (Shoppers) medan de på kontorsplanerna ansätts till kontorspersonal (Office staff).

Utrymningstiden för Varuhuset Femman är beroende av antalet personer som befinner sig i varuhuset och antalet varierar mycket beroende på till exempel dag och tidpunkt. När utrymningstiden beräknas i denna rapport eftersträvas ett värsta troliga scenario och antalet personer antas därför vara bland de högsta möjliga. Persontätheten förväntas vara högst på markplan, plan 2, då besökare till övriga delar av Nordstan kan gena genom eller spontant gå in i Varuhuset Femman. Plan 1 och 3 förväntas ha något lägre persontäthet än plan 2, då besökare på dessa två plan inte går in spontant i samma utsträckning, istället söker de troligtvis en specifik butik. I BBR rekommenderas en persontäthet på 0,5 personer/m² nettoarea för varuhus och andra anläggningar med detaljhandel (Boverket, 2008). Nettoarean tas fram genom att alla butikens publika ytor och alla allmänna utrymningsarealer mäts. Därefter multipliceras denna area med 0,65 som är projektgruppens uppskattning av butikernas fria ytor, vilket innebär att 35 procent av butikernas golvytor är täckta med inredning.

Det finns inga rekommendationer för persontäthet gällande hela köpcentrum, men i rapporten *Persontäthet vid utrymningsberäkningar* har detta studerats närmre. Rapportens resultat visar att persontätheten i köpcentrum är beroende av dess geografiska placering. Är det placerat centralt är persontätheten högre och man kan komma upp i persontätheter nära det rekommenderade för varuhus på 0,5 personer/m². I rapporten studerades sju köpcentrum belägna både centralt och utanför stadskärnan, 41 322 stycken mätvärden registrerades och i endast 0,3 procent av fallen överstegs persontätheten 0,5 personer/m² (Erdsjö & Lindberg, 2008). Med detta som grund används persontätheten 0,5 personer/m² på plan 2 och på plan 1 och 3 används 0,4 personer/m². Personantalen

blir då 705 personer på plan 1, 1607 personer på plan 2 och 1456 personer på plan 3. Dessa persontätheter ger ett personantal som stämmer relativt väl överens med de i brandskyddsbeskrivningen angivna antalen - 1001, 1938 samt 1447 personer. På kontorsplanen vistas maximalt 150 personer per plan (Wallin, 2001). Med tre kontorsplan blir det 450 personer men av dessa kommer inte alla påverka affärsplanen eftersom en del utrymmer på annat håll. Ett antagande görs därför att 350 personer kommer utrymma genom trapphusen ner till plan 2 och därifrån vidare ut till säkerhet.

När simuleringen utförs fås den totala tiden för de två parametrarna förberedelse- och förflyttningstid gällande utrymning av Varuhuset Femman. För att ta hänsyn till förberedelsetiden, det vill säga den tid det tar innan personen i fråga beslutar sig för att utrymma och börjar röra sig, måste denna uppskattas och anges. Denna tid varierar mycket och några faktorer som påverkar den är typ av utrymningslarm samt om personen ser branden eller inte. I Varuhuset Femman finns ett talat meddelande, dock är det svårt att avgöra om det kan klassas som ett ”enkelt talat meddelande” eller som ett ”informativt talat meddelande”. Utifrån meddelandets utformning anses vara mer likt ett enkelt talat meddelande. I *Brandskyddshandboken* (Brandteknik, 2005) och rapporten *Tid för utrymning vid brand* (Frantzich, 2001) anges rekommenderade förberedelsetider beroende på typ av miljö, typ av larm samt om personen i fråga ser branden. De rekommenderade tiderna redovisas i tabellerna 58 och 59.

Tabell 58. Förslag på förberedelsetider från *Brandskyddshandboken* (Brandteknik, 2005)

Verksamhet	Person ser branden	Förberedelsetid [minut]
Offentlig miljö, skola, kontor, varuhus, butik	Ja	1
Varuhus, inget larm	Nej	4
Varuhus, ringklocka	Nej	3,5
Varuhus, enkelt talat meddelande	Nej	2
Varuhus, informativt talat meddelande	Nej	1

Tabell 59. Förslag på förberedelsetider från *Tid för Utrymning* (Frantzich, *Tid för utrymning vid brand*, 2001).

Typ av utrymningslarm	Beslut och reaktionstid, [Minut:sekund]
Inget utrymningslarm	4:00
Ringklocka	3:30
Enkelt talat meddelande	2:00
Informativt talat meddelande	1:00

Vid simulering används tre olika reaktionstider och vilken tid personen i fråga tilldelas beror på om den befinner sig i brandrummet, på samma våningsplan som branden eller på något av de övriga våningsplanen. Med utgångspunkt från de rekommenderade förberedelsetiderna uppskattas inom vilket tidsintervall rörelse påbörjas. I Simulex sätts förberedelsetiden in som en uniform fördelning för det uppskattade tidsintervallet. En uniform fördelning väljs eftersom intervallen endast är uppskattade och alla tider i intervallet är lika troliga. De uppskattade intervallen samt värdena som anges i Simulex anges i tabell 60.

Tabell 60. Intervall och medelvärde för förberedelsestider till Simulex-simuleringar

Position	Uppskattat tidsintervall [s]	Medelvärde [s]
Brandrummet	30 – 60	45
På samma plan som branden	60 – 90	75
På något av de övriga planen	90 - 120	105

Bilaga L Detektionstid rökdetektor

För att beräkna detektionstider för rökdetektorerna används datorprogrammet Detact QS. Det bygger på en vanlig metod där temperaturökningen i brandgaserna används istället för att beräkna partikeltäthet, som egentligen styr. Denna approximation är möjlig eftersom det finns en korrelation mellan temperaturen och partikelfördelningen. Det finns förslag på att använda en temperaturökning på 13 °C som bygger på genomförda experiment. Experimenten som är idag mycket gamla och det har visat sig att för nya detektorer är en temperaturökning på 4 till 5 °C mer lämplig. Utifrån detta beräknas aktiveringstider med de båda temperaturerna för att se hur stor spridningen blir.

Temperaturerna adderas till omgivningens temperatur för att få en aktiveringstemperatur. Ett lågt RTI-värde på $0,5 \text{ m}^{0,5} \text{ s}^{0,5}$ väljs sedan eftersom känselementets temperatur då blir nästan samma som de omgivande brandgasernas temperatur (Nilsson & Holmstedt, 2008). Det finns inga rökdetektorer inne i butikerna utan istället är de placerade i anslutning till atriet. Ett avstånd från branden till närmast belägna rökdetektor uppmätts i ritningarna. Det visar sig då att det både i scenario I och II handlar om cirka 15 meter. Takhöjden är i båda fallen 3,4 meter.

5 °C temperaturökning:

$$H = 3,4 \text{ m}$$

$$R = 15 \text{ m}$$

$$RTI = 0,5 \text{ m}^{0,5} \text{ s}^{0,5}$$

$$T_{aktivering} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

13 °C temperaturökning:

$$H = 3,4 \text{ m}$$

$$R = 15 \text{ m}$$

$$RTI = 0,5 \text{ m}^{0,5} \text{ s}^{0,5}$$

$$T_{aktivering} = 33 \text{ }^\circ\text{C}$$

Utifrån detta och given effektutveckling beräknas med Detact QS en aktiveringstid. Det visar sig att med en temperaturökning på 13 °C blir tiden 90 sekunder och när 5 °C används blir tiden 45 sekunder.

Ytterligare en beräkning genomförs för att se hur åtgärdsförslaget med heltäckande rökdetektorer påverkar detektionstiden. Detektorerna är av den nyare typen, beskrivet ovan och den ända skillnaden mot tidigare beräkningar är det radiella avståndet från branden till sämst placerad detektor. Antalet rökdetektorer för ett utrymme skall beräknas så att den övervakade ytan per detektor inte överstiger 100 m^2 (Svenska Brandförsvarsföreningen, 2001). Det maximala radiella avståndet blir då, med hjälp av Pytagoras sats, 7 meter.

5 °C temperaturökning:

$$H = 3,4 \text{ m}$$

$$R = 7 \text{ m}$$

$$RTI = 0,5 \text{ m}^{0,5} \text{ s}^{0,5}$$

$$T_{aktivering} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

Detact QS beräknar aktiveringstiden till 31 sekunder.