

Brandteknisk riskvärdering av

Galleria Domino

Helene Degerman

Carin Nero

Henrik Nilsson

Johan Szymanski



**Brandteknik och Riskhantering
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet**

Rapport 9325, Lund 2007



Brandteknisk riskvärdering Galleria Domino, Norrköping

Helene Degerman

Carin Nero

Henrik Nilsson

Johan Szymanski

Lund 2007

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

Titel/Title:

Brandteknisk riskvärdering av Galleria Domino, Norrköping
Fire Safety Evaluation of Norrköping shopping mall Galleria Domino

Av/By:

Helene Degerman, Carin Nero, Henrik Nilsson, Johan Szymanski

Rapport/Report: 9325

© Copyright Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2007.

Abstract:

This report is a fire safety evaluation of Norrköping shopping mall Domino and the report focus on evacuation and human safety. During a visit in Norrköping three different scenarios were found based on an analysis of consequences. The scenarios have been evaluated and simulated in for example CFast, Simulex and DetactT2. Different parameters as for example smoke filling and temperature rise have been analyzed in the three scenarios. Suggestions for improvement of Domino fire safety are for example education of employees, smoke detectors in all spaces, keep fire exits clean from combustible materials and sprinkler placement according to concrete beams in the ceiling should be assessed. The main conclusion of this report is that evacuation can be completed with satisfaction even though there are critical conditions in some compartments. If the suggested improvements are followed the time of total evacuation of Domino can be shortened by about two minutes.

Keywords:

CFast, Simulex, evacuation, critical conditions, smoke filling, shopping mall, DetactT2, fire safety evaluation.

Sökord:

CFast, Simulex, utrymning, kritiska förhållanden, brandgas, galleria, DetactT2, brandteknisk riskvärdering.

Språk/Language:

Svenska/Swedish

Brandteknik och Riskhantering
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet
Box 118
221 00 Lund

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>

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

Department of Fire Safety Engineering and
Systems Safety
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>

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

Förord

Ett stort tack riktas till följande personer, som på ett eller annat sätt hjälpt oss studenter i rätt riktning under arbetets gång.

Håkan Frantzich, universitetslektor vid avdelningen för brandteknik och riskhantering vid Lunds Tekniska Högskola, för handledning och stöd vid rapportskrivningen.

Jonas Røjås, brandingenjör vid Fire AB i Västerås, för ett gott bemötande vid vårt platsbesök i Norrköping och för värdefulla kommentarer.

Maria Cucas, brandingenjör vid Norrköpings Brandförsvär, som kört oss kors och tvärs genom Norrköping och alltid ställt upp om vi haft frågor.

Daniel Nilsson, doktorand vid avdelningen för brandteknik och riskhantering vid Lunds Tekniska Högskola, som trots att han var mitt uppe i laborationshandledning stöttat oss med ingenjörsmässiga resonemang.

Lars Jensen, professor vid institutionen för installationsteknik vid Lunds Tekniska Högskola, för givande föreläsningar rörande ventilation.

Peter Skinnar, ansvarig för digitala tekniska arkivet vid Norrköpings Kommun, för trevligt bemötande och för hjälp med ritningar rörande Galleria Domino.

Dessutom stort tack till Er andra som vi har varit i kontakt med under arbetets gång.

Sammanfattning

Denna rapport är en brandteknisk riskvärdering av Galleria Domino i Norrköping. Rapporten syftar till att utvärdera personsäkerheten i händelse av brand.

Galleria Domino är ett köpcenter som byggdes 1962 som ett Domus-varuhus och har senare byggts om till just ett köpcenter i två plan. Fastigheten, som ägs av Boulton Norrköping Property AB, består av fem våningsplan där handel bedrivs på de två nedre. De övriga våningsplanen fungerar som kontor och parkeringsdäck. Ett platsbesök genomfördes i september 2007 i Norrköping där gruppen bildade sig en uppfattning om objektets utformning och risker. Utifrån denna information samt en riskidentifiering togs tre möjliga brandscenarier fram:

- Scenario 1 - Brand i Sy & Sticka
- Scenario 2 - Brand utanför Klippet och Intersport
- Scenario 3 - Brand i Klippet

Dessa scenarier har sedan modellerats och simulerats i datorprogram som CFAST, Simulex samt DetactT2. Utdata från simuleringar har analyserats och dessutom kontrollerats med hjälp av handberäkningar för att få en uppfattning om rimligheten i resultaten.

Analyserna visar att brandgasspridning sker till vitala delar av köpcentret och försvårar utrymning via gallerians tre huvudentréer. Det har därmed konstaterats att det är av stor vikt att både personal och besökare känner till vilka alternativa utrymningsvägar som finns i gallerian och säker utrymning kan då ske trots att någon av köpcentrets huvudentréer är blockerade.

Vid platsbesöket konstaterades dock vissa brister i brandskyddet och vi vill med rapporten som grund föreslå följande åtgärder för att öka personsäkerheten vid händelse av brand.

Följande bör vara föremål för *omedelbar* åtgärd

- En organisation för rutiner, övningar samt utbildning av personal skall tillsättas.
- Brandcellsgränser och genomföringar i dessa skall ses över.
- Utrymningsvägar skall hållas fria och branddörrar skall fungera tillfredställande och får ej blockeras.
- Skyltning till utrymningsvägar skall ses över.

Följande bör vara föremål för åtgärd *inom kommande investeringsår*

- Sprinklerhuvudenas placeringar bör ses över.
- Installation av rökdetektorer i samtliga utrymmen bör genomföras.
- Placering av brännbart material i gångstråken bör ses över.
- Organisationen kring det systematiska brandskyddsarbetet, SBA, bör ses över.

Det vore dessutom önskvärt att installera larmtryckknappar i butikerna.

Validering av dessa åtgärder visar att tiden för utrymning kan förkortas och personsäkerheten i Galleria Domino därmed kan anses vara tillfredställande.

Innehållsförteckning

1	Inledning	13
1.1	Syfte	13
1.2	Metod	13
1.3	Avgränsningar	13
2	Objektsbeskrivning	15
2.1	Historik	15
2.2	Ägare	15
2.3	Verksamhetsbeskrivning	15
2.4	Byggnaden	16
2.4.1	Byggnadsteknik	17
2.4.2	Ventilation	17
2.5	Tillbudshistorik	17
3	Befintligt brandskydd	18
3.1	Byggnadsklass	18
3.2	Brandcellsindelning	18
3.3	Brand- och utrymningslarm	18
3.4	Brandgasventilation	18
3.5	Släckutrustning	18
3.5.1	Manuell släckutrustning	18
3.5.2	Automatisk vattensprinkleranläggning	18
3.6	Utrymningsrutiner	19
3.7	Utrymningsvägar	19
3.8	Nödbelysning	19
3.9	Räddningstjänstens insats	20
3.10	Organisatoriskt brandskydd	20
4	Brandscenarier	21
4.1	Analysmetod vid val av brandscenarier	21
4.1.1	Frågeställningar	22
4.2	Riskidentifiering	23
4.3	Val av brandscenarier	23
4.3.1	Statistik	26
5	Teori om brandförlopp	29
5.1	Brand	29
5.1.1	Förbrinntid	30
5.1.2	Tillväxt	30
5.1.3	Övertändning	30
5.1.4	Fullt utvecklade brand	30
5.1.5	Avsvalning	31
5.2	Effektkurvor	31
5.2.1	α^2 -brand	31
5.2.2	Designbrand	31
6	Utrymning	33
6.1	Människans beteende vid brand	33
6.2	Kritiska förhållanden	34
6.2.1	Brandgaslagrets höjd	34
6.2.2	Temperatur	34
6.2.3	Strålning	34
6.2.4	Sikt	34
6.2.5	Toxicitet	34
6.3	Tid för utrymning	34

6.3.1	Varseblivning	35
6.3.2	Beslut och reaktion.....	35
6.3.3	Förflyttning	35
6.4	Passagemått i utrymningsväg.....	35
6.5	Vägledande markeringar	35
7	Scenario 1 – Brand i Sy & Sticka	37
7.1	Lokalbeskrivning.....	37
7.1.1	Detektion	38
7.1.2	Utrymning.....	38
7.1.3	Ventilationssystem	38
7.2	Brandförlopp	38
7.3	Tid till kritiska förhållanden.....	40
7.4	Aktivering av brand- och utrymningslarm.....	40
7.5	Utrymning.....	40
7.6	Sammanställning av brandscenario 1.....	42
8	Scenario 2 – Brand utanför Klippet och Intersport	43
8.1	Lokalbeskrivning.....	43
8.1.1	Detektion	43
8.1.2	Utrymning.....	44
8.1.3	Ventilationssystem	44
8.2	Brandförlopp	44
8.3	Tid till kritiska förhållanden.....	45
8.4	Aktivering av brand- och utrymningslarm.....	46
8.5	Utrymning.....	46
8.6	Sammanställning av brandscenario 2.....	47
9	Scenario 3 – Brand i butiken Klippet	49
9.1	Lokalbeskrivning.....	49
9.1.1	Utrymning.....	50
9.1.2	Detektion	50
9.1.3	Ventilationssystem	50
9.2	Brandförlopp	50
9.3	Tid till kritiska förhållanden.....	51
9.4	Aktivering av brand- och utrymningslarm.....	52
9.5	Utrymning.....	52
9.6	Sammanställning av brandscenario 3.....	54
10	Känslighetsanalys.....	55
10.1	Brandtillväxt	55
10.1.1	Scenario 1 – Brand i Sy & Sticka	55
10.1.2	Scenario 2 – Brand utanför Klippet och Intersport	55
10.1.3	Scenario 3 – Brand i Klippet.....	56
10.2	Rökdetektorer	56
10.2.1	Scenario 1 – Brand i Sy & Sticka	56
10.2.2	Scenario 2 – Brand utanför Klippet och Intersport	57
10.2.3	Scenario 3 – Brand i Klippet.....	57
10.3	Sprinkler	57
10.3.1	Scenario 1 – Brand i Sy & Sticka	57
10.3.2	Scenario 2 – Brand utanför Klippet och Intersport	59
10.3.3	Scenario 3 – Brand i Klippet.....	59
10.4	Siktförhållanden	60
10.4.1	Siktförhållanden – rökpotentialens betydelse	60
10.4.2	Siktförhållanden – Förbränningsenergin betydelse.....	61
10.4.3	Siktförhållanden – Rumsvolymens betydelse	61

10.5	Persontäthet.....	62
10.6	Rutiner i händelse av brand	62
11	Slutsats och utvärdering	64
11.1	Larm och detektorer.....	64
11.2	Automatisk vattensprinkleranläggning	64
11.3	Utrymning.....	64
11.4	Organisatoriskt brandskydd	65
11.5	Känslighetsanalys	66
11.6	Simuleringsprogram	66
12	Förslag till åtgärder	68
13	Validering	69
13.1	Organisation för rutiner, övningar samt utbildning av personal.....	69
13.2	Brandcellsgränser och genomföringar	69
13.3	Utrymningsvägar skall hållas fria och branddörrar skall fungera tillfredställande	69
13.4	Skyltning till utrymningsväg	69
13.5	Sprinklerhuvudenas placering.....	70
13.6	Installation av rökdetektorer i samtliga utrymmen	70
13.7	Placering av brännbart material i gångstråk	70
13.8	Organisation kring det systematiska brandskyddsarbetet.....	70
13.9	Larmtryckknappar	70
14	Referenser	71
14.1	Litteratur.....	71
14.2	Internet.....	71
14.3	Muntliga källor	72
Bilaga A	- Nomenklatur	73
Bilaga B	- Effektkonstruktion Sy & Sticka.....	74
B.1	α -värdet.....	74
B.2	Maximal effektutveckling.....	74
B.3	Konstruktion av effektkurva.....	75
B.4	Effektkurva	75
B.5	Tid till sprinkleraktivering.....	76
B.6	Tid till detektoraktivering.....	77
B.7	Simulering i CFast.....	77
B.8	Siktberäkningar	78
Bilaga C	- Effektkonstruktion för brand utanför Klippet och Intersport	80
C.1	Strålningsberäkning	80
C.2	α -värdet.....	80
C.3	Flamhöjd	81
C.4	Synfaktor	81
C.5	Strålningsintensitet	81
C.6	Konstruktion av effektkurva.....	82
C.7	Effektkurva	83
C.8	Tid till detektoraktivering.....	84
C.9	Simulering i CFast.....	84
Bilaga D	- Effektkonstruktion Klippet	85
D.1	Konstruktion av effektkurva	85
D.2	Tid till sprinkleraktivering	86
D.3	Simulering i CFast.....	86
D.4	Siktberäkningar	87

Bilaga E – Simuleringsprogram	89
E.1 CFast	89
E.1.1 Begränsningar	89
E.1.2 ISO/ WD 13390, 1995.....	90
E.1.3 Validering av CFast med handberäkning	92
E.1.4 Simulering av sikt i CFast.....	95
E.1.5 Indatafil för CFast, Scenario 1 – Brand i Sy & Sticka	95
E.1.6 Indatafil för CFast, Scenario 2 – Brand utanför Klippet och Intersport	96
E.1.7 Indatafil för CFast, Scenario 3 – Brand i Klippet	96
E.2 Simulex	97
E.2.1 Begränsningar	97
E.2.2 Simulering av Galleria Domino	97
E.3 DetactT2	100
E.3.1 Begränsningar	101
Bilaga F – Sammanställning av enkätundersökning	102
Bilaga G – Utdelad enkät.....	104
Bilaga H – Ritning källarplan	105
Bilaga I – Ritning entréplan.....	106

1 Inledning

Detta projektarbete ingår i kursen VBR 054 Brandteknisk riskvärdering som ges tredje året för brandingenjörsstudenter vid Lunds Tekniska Högskola.

1.1 Syfte

Syftet med projektarbetet är att knyta ihop kunskaper från denna kurs och från tidigare kurser vid brandingenjörsutbildningen för att sedan kunna tillämpa dessa för att värdera personsäkerheten i händelse av brand i ett byggnadsverk. Syftet är också att öka förmågan att kunna bygga och analysera modeller samt genom en helhetssyn se till problem och deras lösningar och på så sätt värdera och prioritera förslag till åtgärder.

1.2 Metod

Kursens inledande del bestod av undervisningstimmar om utrymning, brandscenarier, ventilation samt simuleringsprogram. Detta för att få en bra grund att arbeta vidare på när den brandtekniska riskvärderingen genomfördes vid Galleria Domino i Norrköping.

Några veckor in i kursen gjordes ett objektsbesök. Det är främst information som inhämtades vid detta besök som ligger till grund för rapporten då byggnadens förmåga att stå emot en kraftig brandpåverkan undersöks. Objektsbesöket, den 14 september 2007, gjordes tillsammans med handledare från Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, brandingenjör från Brandförsvaret i Norrköping samt handledare från FIRE AB i Västerås. Vid objektsbesöket studerades det befintliga brandskyddet, utrymningsmöjligheterna samt ritningar framtagna av stadsarkivet. Dessutom gjordes en enkätundersökning hos personalen i butikerna för att få en uppfattning om deras rutiner vid händelse av brand.

I samråd med handledare diskuterades sedan troliga brandscenarier som kan få konsekvenser vid utrymning och som kan riskera personsäkerheten. Tre brandscenarier valdes då dessa ansågs representera troliga bränder som medför stora konsekvenser vid utrymningsförfarandet. Framförallt lades stor vikt vid att brandgaserna i dessa scenarier blockerar västra respektive östra uppgången.

För att göra slutgiltiga bedömningar simulerades scenarierna i CFast för brandgasspridning och temperaturförhållanden, Simulex för utrymningsförfarande och DetactT2 för detektoraktivering. Dessutom gjordes handberäkningar för att undersöka rimligheten i simuleringsresultaten. Slutligen analyserades resultaten och diskussion fördes kring förslag på åtgärder. Resultaten och förslagen på åtgärder presenteras i rapportform och vid en muntlig framställning vid Lunds Tekniska Högskola i december 2007.

1.3 Avgränsningar

Byggnadens huvudsakliga konstruktionsmaterial är betong och bedömning har gjorts att byggnadens konstruktion och bärighet inte äventyrar personsäkerheten under utrymningsförfarandet.

Vissa delar av Galleria Domino är under ombyggnad. Detta innebär att källarplanet butiksytan utökas med 1500 kvadratmeter och butikslokaler slås samman till större enheter. På entréplan ska butiksytan så småningom utökas med 350 kvadratmeter och gränserna mellan butikerna ändras vilket medför att personalutrymmena blir färre. Materialet i rapporten baseras på hur gallerian såg ut vid platsbesök den 14 september 2007. De delar som berörs av ombyggnaden ingår inte i analysen.

Rapporten begränsas till byggnadens två nedre plan där handel bedrivs.

Endast första delen av brandförloppet har behandlats i denna rapport då rapportens syfte är att studera personsäkerheten och Galleria Domino bedöms vara utrymd inom 10 minuter. Dessutom påbörjas räddningstjänstens insats inom denna tid.

Vid beräkningar och simuleringar tas ingen hänsyn till ventilation. Dock har ventilationen utvärderats för varje scenario.

Det tas ingen hänsyn till toxicitet i rapporten. Kriteriet för toxicitet sammanfaller ofta med kriteriet för brandgaslagrets höjd.

2 Objektsbeskrivning

Galleria Domino, som ligger i centrala Norrköping är en av flera gallerior längs stadens shoppingstråk. Gallerians öppettider är 10.00-19.00 vardagar, 10.00-16.00 lördagar och 12.00-16.00 söndagar. I följande avsnitt beskrivs objektet, dess verksamhet, befintligt brandskydd, ventilationssystem samt tillbudshistorik.

2.1 Historik

Norrköping, beläget i norra delarna av Östergötland, är en av Sveriges tio största städer med cirka 85.000 invånare. I staden fanns stora industrilandskap där man tidigare tillverkade tyger. De tidigare industribyggnaderna är nu ombyggda till förmån för universitet och kontor, se figur 2.1. Genom staden rinner Motala ström, som under lång tid använts som kraftkälla för industrier och kvarnar. Norrköping karakteriseras också av sina gula spårvagnar som är ett återkommande inslag i stadsbilden, se figur 2.2.

1962 uppfördes Domino som ett Domus-varuhus men byggdes 1993 om till en galleria. Man har under åren kontinuerligt byggt om gallerian och nu har den nya ägaren valt att göra omfattande renoveringar för att öka konkurrenskraften gentemot andra gallerior i Norrköping.



Figur 2.1. Strykjärnet i Norrköping.



Figur 2.2. Spårvagn i Norrköping.

2.2 Ägare

Gallerian Domino ägs av Boulton Norrköping Property AB.

2.3 Verksamhetsbeskrivning

Idag bedrivs handel i byggnadens källardel och på entréplan. På källarplan finns butiker, lager, förråd, personalutrymmen, soprum samt lastkaj. På entréplan finns butiker, lager, förråd, café och restaurang som har tillstånd att servera alkohol samt plats för mer än 50 personer i samma lokal. På de övre planen finns kontor, fläktrum, hissmaskinrum samt parkeringsplatser.

Varje dag passerar 15000 - 20000 personer genom gallerian. Vanligtvis sitter det en anordning vid entrédörrarna som räknar antalet kunder per dag. Vid besökstillfället var denna ur funktion på grund



Figur 2.5. Figuren visar Galleria Dominos placering i förhållande till de omgivande gatorna.

2.4.1 Byggnadsteknik

Grunden är delvis platta på mark delvis pålad grundläggning. Stommen och bjälklag är av betong. Fasadbeklädnaden är puts, stenskivor samt glas. Taket är uppstolpat trätak med falsad bandplåt av koppar i högdelen. I lågdelen är yttertaket av takpapp. Fönsterstomme är av aluminium och trä.

Invändiga väggar är gipsvägg medan taket i allmänna ytor är plåtkassetter. Inne i butikerna är det täta gipstak eller ljudabsorberande plattor. Golven i allmänna ytor är i stenmaterial, i övriga ytor trä, plast eller linoleum.

2.4.2 Ventilation

Ventilationen är ett från- tilluftssystem (FT-system).

2.5 Tillbudshistorik

De senaste åren har inte Norrköpings Brandförsvaret fått något larm från gallerian Domino. Det senaste larmet inkom den 31 juli 2004 och gällde en hissöppning, ej nödläge.

3 Befintligt brandskydd

Avsnittet beskriver Galleria Dominos befintliga brandskydd med avseende på byggnadstekniskt brandskydd, detektion, släckutrustning och rutiner vid utrymning.

3.1 Byggnadsklass

Byggnaden är uppförd i Br1, eftersom byggnaden har fler än tre våningsplan. (BBR 5:21, Boverket, 2005)

3.2 Brandcellsindelning

I princip är källarplanet och entréplanet i samma brandcell. Dock är utrymningsvägar och trapphus avskilda i egen brandcell i brandteknisk klass REI-60.

3.3 Brand- och utrymningslarm

Fastigheten är utrustad med automatisk brandlarmsanläggning och brandlarmet erhålls via rökdetektorer och är anslutet till SOS Alarm AB. Allmänna utrymnen är utrustade med rökdetektorer dock finns ingen detektion i form av rök- eller värmedetektorer inne i butikerna. Brand- och utrymningslarmet i byggnaden aktiveras även då sprinklerna löser ut.

3.4 Brandgasventilation

I källarplan finns brandgasventilation utmed fasaden längs Skolgatan. Luckorna ska öppnas manuellt, men sannolikheten att luckorna används i ett operativt läge är så gott som obefintlig. Luckorna är tunga, otympliga och svåra att manövrera (Cucas 2007). På entréplan, i lanterninen vid västra nedgången, finns värdringsluckor som är till för att evakuera varm luft från torget. Luckorna öppnas manuellt via omkoppling i elskåp. Även ventilationssystemet kan användas i form av brandgasevakuering. Detta kan göras i manuellt läge eller per automatik om en detektor utlöser inom den aktuella frånluftsfläktens betjäningsområde. Då startar fläkten för brandgasevakuering. Huvudentréerna fungerar som tilluftsöppningar.

3.5 Släckutrustning

I Galleria Domino finns manuell respektive automatisk släckutrustning.

3.5.1 Manuell släckutrustning

Varje butik är utrustad med handbrandsläckare och för några år sedan fick köpcentrets personal utbildning på Norrköpings Brandförsvars övningsområde i hur dessa ska hanteras. Personal som varit anställd kortare tid än två år har ej fått motsvarande utbildning. I Galleria Domino finns även inomhusbrandposter.

3.5.2 Automatisk vattensprinkleranläggning

Köpcentret är utrustat med automatisk vattensprinkleranläggning. Alla allmänna utrymnen är utrustade med sprinkler dock är vissa mindre personalutrymnen samt utrymningsvägar ej sprinklade. Sprinklerna är installerade vid olika tidpunkter och kan därför ha olika RTI-värden. Enligt den sprinklerfirma som installerat sprinklerna, CE Sprinkler i Nyköping har de flesta sprinklerna i Galleria Domino ett RTI-värde på 50 (ms)^{0.5}. Då sprinklerna aktiverar larmas Norrköpings Brandförsvär via brandlarmscentralen som också utlöser utrymningslarmet i gallerian. Dessutom ljuder en lokal larmklocka utanför sprinklercentralen.

3.6 Utrymningsrutiner

Vid utrymning har butikerna fått information om hur de ska agera. Nya hyresgäster får en så kallad hyresgästhandbok vid inflyttning. I den finns de officiella rutinerna vid brand och utrymning beskrivna. Vid utrymning ska butikspersonalen se till så att alla kunder börjar utrymma och siste man som lämnar butiken drar ned butiksgallret för att hindra nytt inflöde av människor. Dock skall brandförsvarets personal kunna ta sig in utan problem. Butikerna som ligger vid entréerna har blivit tilldelade västar och ficklampor att använda vid utrymningsförfarandet. De ska stå vid utgångarna och dirigera kunderna rätt.

Vartannat år sker utbildning av personalen som arbetar i Galleria Domino samt utrymningsövningar. Utrymningsövningar och utbildning sker under ordinarie öppettider. Stora butiker skickar då 2-3 representanter, mindre butiker skickar färre. Enligt Centrumledningen utbildades personalen för två år sedan vid Norrköping Brandförsvars övningsområde i hantering av handbrandsläckare.

3.7 Utrymningsvägar

Byggnadens galleriadel har tre huvudingångar, en i söder, en i väster och en i norr. Utöver dessa finns två utgångar i österläge som går via utrymningsväg från källarplan samt entréplan. Alla butiker har mer än en ingång, men alla används inte som officiella utrymningsvägar. I norr, utmed Repslagargatan, finns ytterligare en utgång som mynnar från trapphus som når husets alla våningar. Vissa butiker har ingång via gatan men har trots det en ingång in till gallerian. Dörrbredder i utrymningsväg är minst 1,2 meter. Rörelsehindrade och rullstolsbundna som befinner sig på källarplan, utrymmer med fördel via varuintaget på källarplan. När utrymningslarmet aktiverar åker hissarna i gallerian ned till källarplan och förblir stående med öppna dörrar för att förhindra användning av hissarna. Vid platsbesök var vissa utrymningsvägar delvis blockerade och branddörrar uppställda. För exempel på detta se figur 3.1 samt 3.2 nedan.



Figur 3.1 och 3.2. Brännbart material i utrymningsväg samt uppkilad branddörr.

3.8 Nödbelysning

I byggnaden finns ett reservkraftaggregat som vid eventuellt strömbortfall betjänar nödvändig elförsörjning och nödbelysning. Viss elförsörjning kan också ske genom batterier.

3.9 Räddningstjänstens insats

Räddningstjänstens insats påbörjas inom tio minuter.

3.10 Organisatoriskt brandskydd

Gallerian Domino och dess hyresgäster lyder under Lagen om Skydd mot Olyckor, LSO, som i sin helhet trädde i kraft 1 januari 2004 (SFS 2003:778). Lagen innebär att den som bedriver verksamhet själv är ansvarig för hur brandskyddet fungerar. Verksamheter som har särskilda krav på brandskydd har skyldighet att lämna in en skriftlig redogörelse till, i detta fall, Norrköpings Kommun. Dominos hyresgäster är skyldiga att rapportera information, som de anser nödvändig för att brandskyddet ska fungera tillfredställande, till gallerians centrumledning. Butikerna får svara på frågor angående brandskyddsarbetet och dessa sammanställs sedan.

Tillsyn genomförs årligen av representant från Norrköpings Brandförsvär. Senaste tillsynsbesök genomfördes 2006-12-15. Det man då anmärkte på var att utrymningsvägen i butiken Clas Ohlson inte hade tillfredställande bredd då korgar med varor placerades i gångarna i butiken. Det var dessutom krav på dokumentation av utbildning av personal i Galleria Domino samt att butiken Cervera skulle organisera och dokumentera sitt systematiska brandskyddsarbete. Vid tillsynsbesök året tidigare, 2005-12-13, anmärkte man även då på bredd på utrymningsväg i butiken Clas Ohlson. Man anmärkte dessutom på att butikerna generellt inte bör placera varor utanför själva butiken då detta kan försvåra vid en utrymningssituation. För övrigt hade man synpunkter på att vissa utrymningsvägar var blockerade och man tryckte på vikten av fria utrymningsvägar. Dessutom skulle Intersport förse med uppställningsanordning med automatisk dörrstängare vid den dörr som skiljer lager från utrymningskorridor.

Vid objektsbesöket observerades dock att många av de ovan nämnda punkterna fortfarande behöver ses över. Ett exempel på detta visar figur 3.2 som visar dörren mellan Intersports lager och utrymningskorridor.

4 Brandscenarier

Följande avsnitt beskriver valet av brandscenarier, med avseende på personsäkerheten, samt presenterar de scenarier rapporten bygger på. Personsäkerheten för varje scenario värderas genom att jämföra konsekvensen av brandscenarier med utrymningsscenarier.

4.1 Analysmetod vid val av brandscenarier

Utgångspunkten vid valet av brandscenarier har varit att se till utrymningssäkerheten för gallerian som helhet. Hur det ser ut i den lokala butiken är i sammanhanget inte lika intressant, utan snarare hur den lokala butiken påverkar det totala utrymningsförfarandet. Under platsbesöket i Norrköping gjordes bedömningar utifrån två perspektiv. Dels hur den lokala butikens riskbild ser ut gällande brandbelastning, utrymningsmöjligheter, detektion och rutiner, och dels utifrån hur den totala utrymningsprocessen påverkas av var branden uppstår. Det kan röra sig om möjligheten till brandgasspridning mellan våningsplan men också hur stora utrymningsstråk påverkas av branden. Utifrån dessa två parametrar har sedan valet av brandscenarier gjorts. Tanken bakom scenariovalet bygger på att utrymning inte i för hög grad ska kopplas till det *specifika* brandscenariot. Detta då butiker kan byta lokaler och med detta ändras också brandförloppet. Bedömningarna har sammanställts i ett graderingssystem som redovisas nedan.

Poängsystemet har tagits fram utifrån att personsäkerheten är den viktigaste parametern och därför ges högst poäng till variabler som påverkar gallerians totala utrymningsförfarande i störst utsträckning. Vissa parametrar är bedömda med större poängsteg, detta på grund av att parametern inte bara påverkar den lokala butiken utan även butiker i andra delar av gallerian.

Persontäthet

Persontätheten har bedömts efter låg (2p), medel (3p), hög (4p) och mycket hög (5p).

Brandbelastningen

Brandbelastningen har bedömts efter låg (2p), medel (3p), hög (4p) och mycket hög (5p).

Utrymning

En fullgod och markerad extra utrymningsväg finns (0p).

Extra utrymningsväg finns men är omarkerad eller delvis blockerad (2p).

Extra utrymningsväg saknas eller är blockerad (3p).

Sprinklersystem och detektion

Lokaler som har sprinkler eller rökdetektorer (0p).

Lokaler som saknar sprinkler och rökdetektorer (4p).

Utbildning

Butiken har fungerande rutiner för brand (0p).

Butiken saknar fungerande rutiner (2p).

Påverkan i stort

Risk för brandgasspridning på flera plan (5p)

Risk för brandgasspridning på ett plan (0p)

4.1.1 Frågeställningar

- Vad är representativ brand för detta scenario?
- Om och när aktiverar detektionen (rökdetektorer, sprinkler)?
- Kommer kritiska förhållanden att uppstå och i så fall när?
- Vad blir konsekvenserna vid utrymning för detta scenario?
- Lämpliga förslag på förbättringar och åtgärder.

4.2 Riskidentifiering

I tabell 4.1 kan resultat från den riskidentifiering som utfördes under platsbesöket 2007-09-14 utläsas. De butiker som fått högst poäng har gråmarkerats.

Tabell 4.1. Riskidentifiering

Lokal	Persontäthet	Brandbelastning	Utrymning	Påverkan i stort	Totalt
Akademibokhandeln	3	4	0	0	7
Albrekts Guld	2	2	2	0	6
BR Leksaker	3	5	2	0	10
Cervera	2	3	0	0	5
Clas Ohlson	4	3	0	5	12
Elapparaten	3	2	2	5	12
Greencha	3	4	2	5	14
Hälsokraft	2	2	2	5	11
Indiska	3	3	2	0	8
Interflora	2	2	2	0	6
Intersport	4	3	0	5	12
Joy	2	2	1	0	5
Kick's	2	3	2	0	7
Kjell & Co	3	3	0	0	6
Klippet	3	4	0	5	12
Make up Store	2	2	2	0	6
Life	2	2	1	0	5
OnOff	3	3	0	0	6
Ooups	2	2	2	0	6
Pepper	3	4	0	0	7
Phonehouse	3	2	2	0	7
Pressbyrån	2	2	2	0	6
Pyssla Färg & Hobby	3	4	2	5	14
Restaurang 4 kök	3	2	0	0	5
Sy & Sticka	4	5	2	5	16
Te & Kaffe companiet	2	2	2	0	6
Telia	3	2	2	0	7
Tre	2	2	0	0	4
Vila	3	3	2	0	8

4.3 Val av brandscenarier

Riskidentifieringen ovan ger en fingervisning om vilka lokaler som ger störst följder vid en brand och efterföljande utrymning. Utifrån detta har val av scenarier gjorts. Många av butikerna med högt poängtal kan likställas och därför har enbart ett representativt scenario valts i rapporten, brand i Sy & Sticka. Det gäller bland annat butikerna på källarplan, där Sy & Sticka får representera närliggande butiker som ger liknande följder för utrymningsförfarandet i gallerian. Dessutom ligger Sy & Sticka nära västra uppgången, hädanefter benämnd Västra Torget, och på så sätt kommer en snabb brandgasspridning ske till entréplanet. Butiker vars konsekvenser vid brand kan liknas vid Sy & Stickas har valts bort. Dessa butiker är Greencha, Elapparaten samt Pyssla Färg & Hobby. För vy över Västra

Torget se figur 4.1 nedan. Med avseende på de simuleringsprogram som används i rapporten ger simulering i den aktuella butiken giltiga värden utifrån programmets begränsningar, se Bilaga E.



Figur 4.1. Västra Torget. Vy från entréplan. Sy & Sticka skymtas nere till vänster.

I scenario 1 sprids brandgaserna i västra delen av gallerian. För att även finna ett representativt scenario där brandgaserna sprids i östra delen, väljs ett scenario på källarplan vid Östra Torget. Enligt riskidentifieringen har butikerna Klippet och Intersport fått höga poäng. Vid besökstillfället noterades ett antal klädställ utanför de båda butikerna. Ett intressant möjligt scenario som skulle kunna inträffa är att dessa ställ börjar brinna. Vidare kan det vara troligt att vid juletid placera en julgran på Östra Torget. Därför väljs detta som ett tänkbart scenario med stora konsekvenser för utrymning och det valda scenariot benämns Scenario 2. Enligt riskidentifieringen är bränder som kan ge brandgasspridning till båda våningsplanen prioriterade och erhåller då högt poängtal. För att undersöka om branden ger liknande konsekvenser vid en placering i en av butikerna simuleras även detta, och då som scenario 3 – Brand i butiken Klippet. För vy över Östra Torget, se figur 4.2 nedan.



Figur 4.2. Vy över Östra Torget från källarplan.

På entréplan i östra delen av gallerian ligger Cervera, en butik som i riskidentifieringen fick låga poäng. Vid besökstillfället noterades dock att Cerveras lager hade relativt hög brandbelastning i form av sex stycken förpackade soffor, se figur 4.4. En soffa liknande de på Cerveras lager kan ge en maximal effektutveckling kring tre MW. (NIST, 2007) Dessutom fanns mer brännbart material i utrymmet bestående av kartonger i pallställ. Lagret är i direkt anslutning till butiken och enbart avskärmat med en vägg som lämnar ett öppet utrymme vid innertaket, se figur 4.3. Därför kan en brand i Cerveras lager vara värd att beakta. Dock anses brandbelastningen i resten av butiken vara låg samt stora utrymningsstråk kommer inte påverkas nämnvärt av branden. Brandgasspridning till resterande delen av gallerian kommer att försenas på grund av takets utformning samt den stora butiksytan.



Figur 4.3. Cervera. Öppning i taknivå mellan lager och butik.



Figur 4.4. Kartonger och inpackade soffor på Cerveras lager.

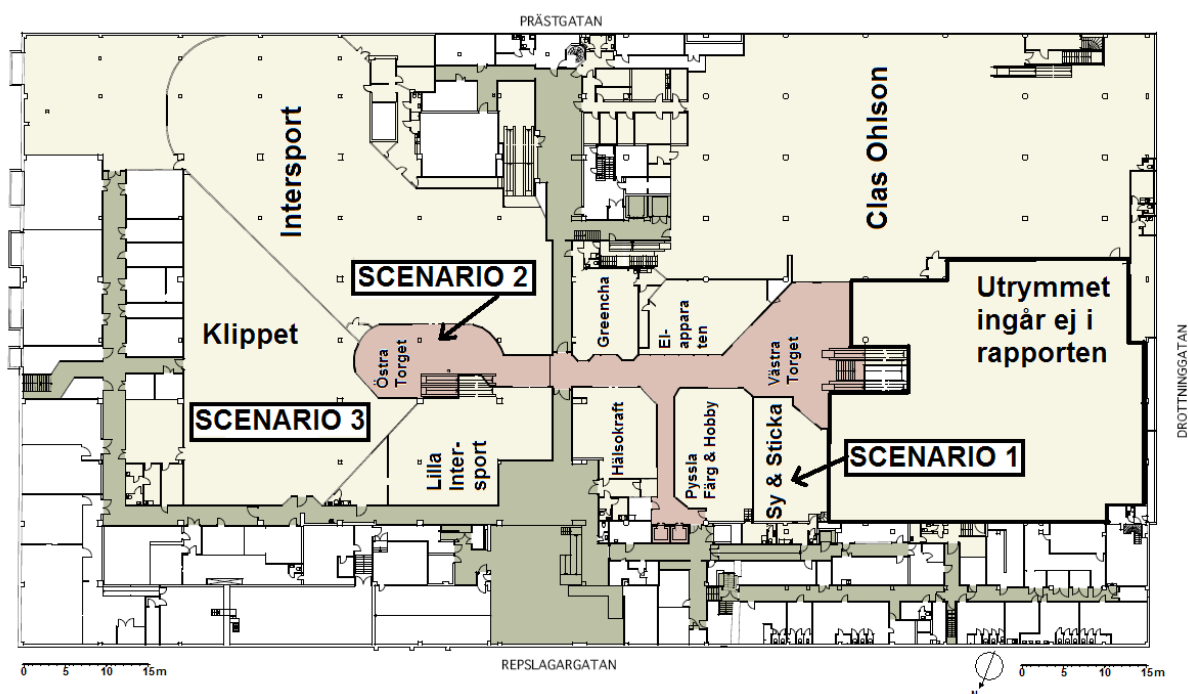
En liknande situation återfinns i Intersports lager. Där är brandbelastningen mycket hög i form av till taket staplade varor. Dessutom var en av dörrarna till lagret uppkilad vid platsbesöket (se figur 3.2)

och detta skulle kunna leda till brandgasspridning till anslutande utrymmen och blockering av utrymningsvägar.

I riskidentifieringen ser man att BR Leksaker uppnått relativt högt poängtal. Värt att notera är att om butiken skulle placeras på källarplan, skulle ett än högre poängantal uppnås och ett brandscenario i butiken hade varit av stort intresse att studera. Dagens placering av butiken gör att brandgasspridning troligtvis enbart sker på ett plan och påverkar på så sätt inte utrymningsförfarandet i lika hög grad som om placeringen hade varit på källarplan.

Butiken Clas Ohlson har valts bort som scenario då butikens geometri inte överensstämmer med de giltighetskrav som CFast innehar, se avsnitt 19.1. Dessutom är brandbelastningen något lägre i butiken än i de valda scenarierna. Dock skall man ha i åtanke att Clas Ohlsons placering skulle medföra brandgasspridning på två plan och i båda delarna av gallerian.

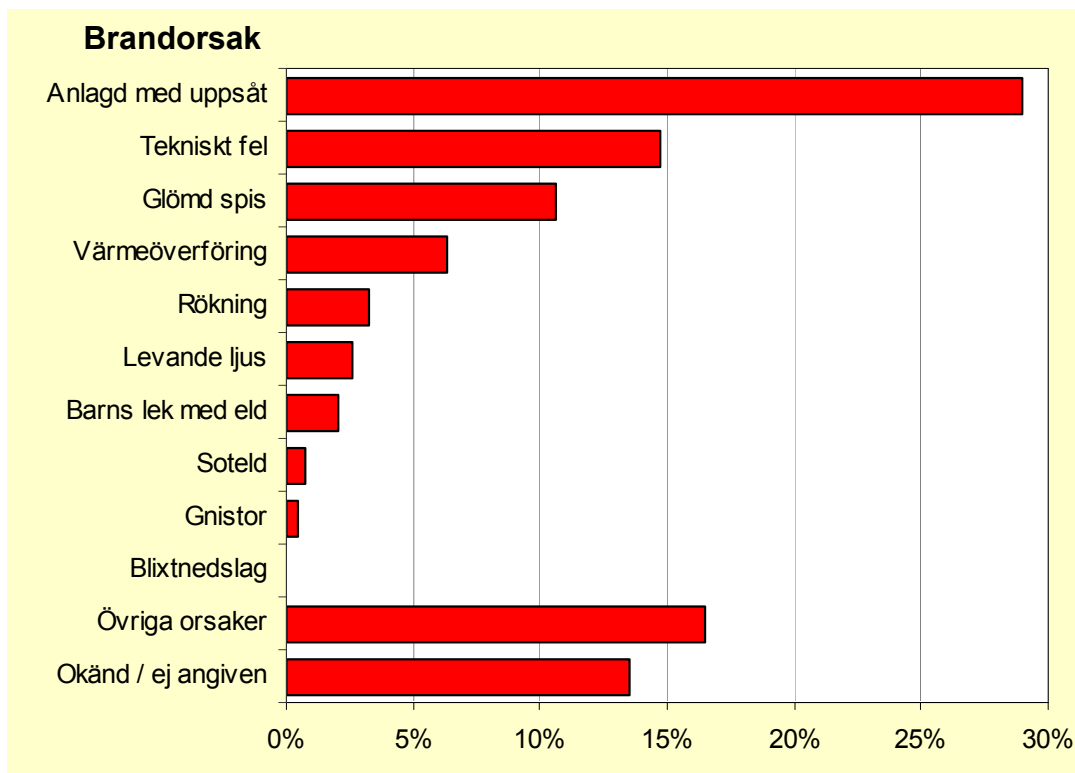
I figur 4.5 nedan kan planskiss skådas med valda scenarier utplacerade.



Figur 4.5. Planskiss och placering av valda scenarier, källarplan.

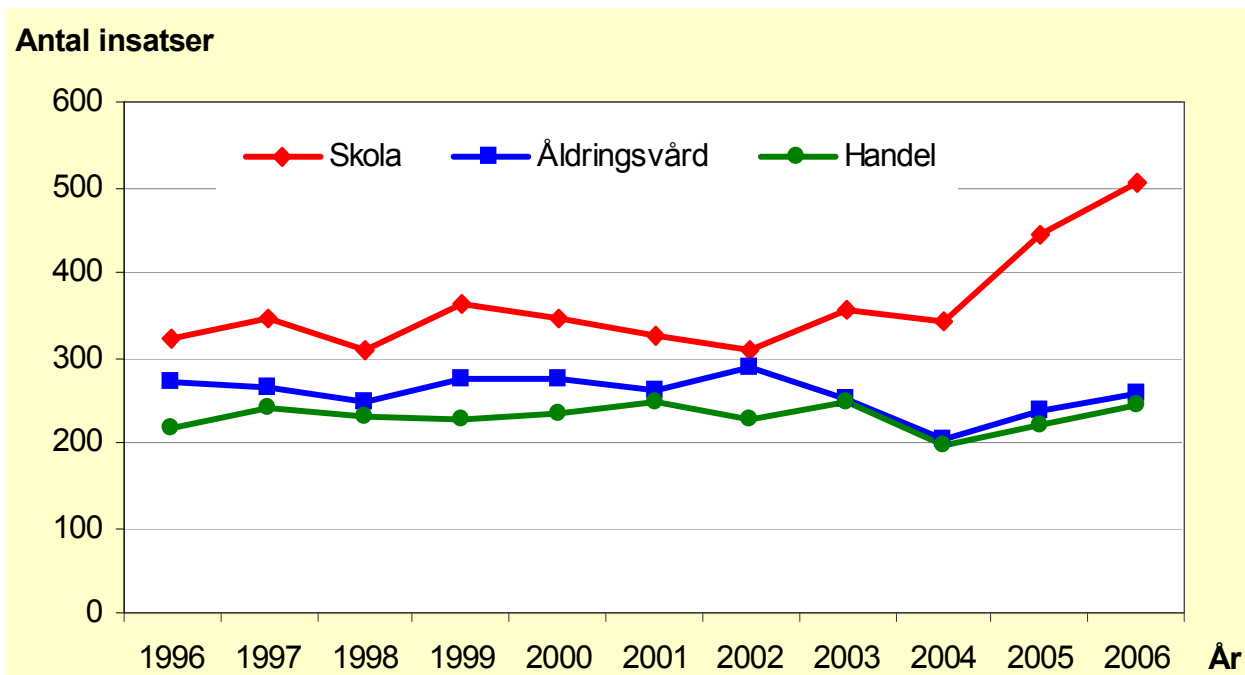
4.3.1 Statistik

För att få en uppfattning om tänkbara brandorsaker vid analysen kan statistik från räddningsverket utnyttjas. Sedan Lagen om Skydd mot Olyckor trädde i kraft 2004 finns krav på räddningstjänsterna att alla olyckor skall utredas, vilket innebär att det finns ett relativt stort underlag med fakta om vanliga orsaker till brand. (SFS 2003:778) Till allmän byggnad, dit bland annat handel, åldringsvård och skola hör är den klart dominerande brandorsaken anlagd brand, se figur 4.6. Därefter kommer tekniska fel, glömd spis och olika typer av värmeöverföring. Värt att notera kring dessa brandorsaker är att skolor innefattas av allmän byggnad, där det under de senaste åren förekommit en stor ökning av antalet anlagda bränder. Om man gräver något djupare i statistiken kan man konstatera att anlagd brand inte är representativt för handeln, enligt Nationellt centrum för lärande från olyckor (2007) kan det konstateras att tekniskt fel är den vanligaste förekommande brandorsaken. Så mycket som vart fjärde brandtillbud i handeln 2006 orsakades av ett tekniskt fel.



Figur 4.6. Brand i allmän byggnad efter brandorsak. (Nationellt centrum för lärande från olyckor 2007)

Vidare kan man konstatera att antalet insatser som räddningstjänsten gjort 2006 mot allmänna byggnader är i storleksordningen 20 % av de totala insatserna som gjorts mot byggnader. Av totalt 10.502 insatser 2006 gjordes 2201 stycken mot allmänna byggnader varav 243 av dessa inträffade i handeln. Sett ur ett tioårsperspektiv ser inträffade bränder i handeln ut att ha planat ut kring cirka 250 per år, se figur 4.7. (Nationellt centrum för lärande från olyckor, 2007)



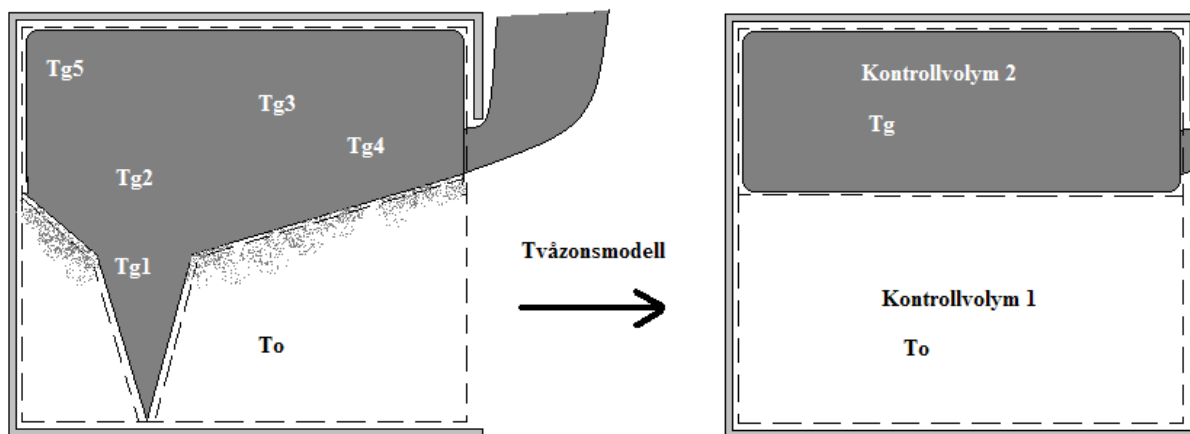
Figur 4.7. Antalet insatser mot skola, åldringsvård och handel. (Nationellt centrum för lärande från olyckor, 2007)

Ser man till lokal statistik för insatser gjorda av Norrköpings brandförsvär kan man konstatera att det 2006 gjorts totalt 21 insatser mot brand i allmän byggnad (Nationellt centrum för lärande från olyckor, 2007). Med bakgrund av resonemanget i stycket ovan, där handeln står för elva procent av bränderna i allmän byggnad, kan man konstatera att det således bör ha inträffat cirka två bränder i handeln. Sett ur ett perspektiv där man tar hänsyn till samtliga butiker i Norrköping är således sannolikheten för brand på just Galleria Domino väldigt liten.

5 Teori om brandförlopp

Brandförloppet är en komplicerad process som består av flera olika stadier. Följande avsnitt syftar främst till förtydliga de grundläggande kunskaperna inom brandområdet. Enligt Bengtson et al (2002) är de styrande parametrarna för brandförloppet rummets totala omslutningsarea, öppningarnas totala area och höjd, materialegenskaper hos omslutande ytor samt effektutveckling.

Vid samtliga beräkningar och simuleringar i denna rapport modelleras branden som en tvåzonsmodell. Denna princip bygger på att ett brandrum delas in i två zoner (kontrollvolym), en zon med heta brandgaser och en zon med kall (rumstempererad) luft, däremellan en klar och tydlig gräns, se figur 5.1. Man säger att brandgaserna skiktas. Principen bygger också på att de två zonerna är homogena, det vill säga att till exempel temperaturen i det övre varma brandgaslagret är konstant och att brandgaserna är fullständigt omblandade, vilket inte till fullo stämmer överens med verkligheten där man exempelvis skulle ha en högre temperatur rakt ovanför i branden och en lägre temperatur en bit bort från branden. (Bengtson et al. 2002)



Figur 5.1. Tvåzonsmodellen bygger på två homogena zoner, med en tydlig skiktning där T_g är brandgasernas temperatur och T_o är omgivningens temperatur.

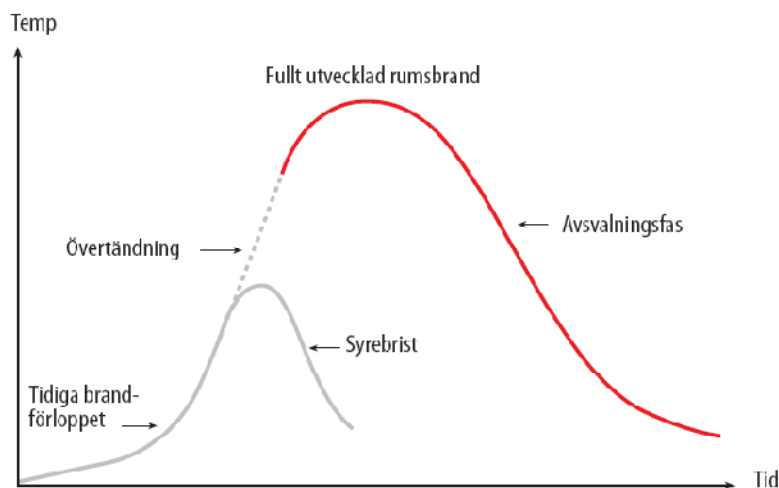
Genom att lösa kontinuitetsekvationerna per tidsenhet för massa och energi i dessa två zoner fås en uppfattning om hur fysikaliska storheter som till exempel temperaturen varierar med tiden. Det antas att ett övre varmt brandgaslager bildas momentant i det ögonblick som branden startar, vilket gör att ingen hänsyn tas till transporttider mellan de två zonerna som sker via brandplymen. (Karlsson & Quintiere, 2000)

5.1 Brand

Brandförloppet kan enligt Bengtsson (2001) delas in i fem olika delar:

- Förbrinntid
- Tillväxt
- Övertändning
- Fullt utvecklade brand
- Avsvalning

I dimensionerande sammanhang där personsäkerheten och utrymning är det väsentliga, är man främst intresserad av brandförloppets första faser, innan övertändning skett, även kallat det tidiga brandförloppet. I Figur 5.2 nedan kan brandgasernas temperatur vid de olika faserna avläsas.



Figur 5.2. Brandgastemperaturen under brandförloppets olika faser. (Bengtsson 2001)

5.1.1 Förbrinntid

För att en brand skall uppstå måste en antändning ske på ett eller annat sätt, man talar om brandstiftare. Det kan vara anlagd brand, elektriskt fel eller kanske en varm lampa som ramlar ner på brännbart material. Förbrinntiden är den tid det tar från att antändning sker, det vill säga att materialet börjar avge brännbara gaser (pyrolyseras) till dess att branden börjar tillväxa. Förbrinntiden kan variera beroende på bränsle och brandstiftare. Även om effektutvecklingen under förbrinntiden är väldigt liten kan det bildas tillräckligt med brandgaser för att detektera branden. (Karlsson & Quintiere, 2000)

5.1.2 Tillväxt

Hur snabbt en brand tillväxer beror dels av bränslet, dels av rummets geometri och tillgången till syre. Beroende på i vilket aggregationstillstånd bränslet befinner sig i, sker förbränningen olika snabbt. Rummets geometri påverkar branden på olika sätt, är rummet förhållandevis litet kommer ett varmt brandgaslager byggas upp på grund av den höga återstrålningen som påskyndar och bidrar till ökad förbränning. En stor geometri kan istället ha motsatt effekt, där den konvektiva avkylningen kan bli mycket stor vilket kan få till följd att branden självslocknar. (Bengtsson, 2001)

Tillgången till syre påverkas av öppningar till rummet. Om den totala öppningsarean är liten, kommer branden att bli ventilationskontrollerad. Motsatsen till detta är bränslekontrollerad brand, vilket innebär att bränsletillgången styr brandförloppet. (Bengtson et al. 2002)

5.1.3 Övertändning

Övertändning är övergången från det tidiga brandförloppet till den fullt utvecklade branden. Detta skede i brandförloppet definieras normalt som då temperaturen i det övre brandgaslagret når 500-600 °C, strålningsintensiteten mot golvet är 15-20 kW/m² samt att lågor slår ut genom öppningar i rummet då branden ej har tillräckligt med syre i brandrummet. Det finns ingen möjlighet för människor att vistas i ett övertänt utrymme. (Bengtson et al, 2002)

5.1.4 Fullt utvecklad brand

Den fullt utvecklade branden inträffar efter övertändningen. Beroende på om det finns mycket eller lite bränsle kan denna fas bli lång eller kort. I allmänhet brukar den fullt utvecklade branden fortgå tills dess att 80 procent av bränslet har förbränts. Medeltemperaturen i brandrummet under denna fas uppgår normalt till 700-1200 °C. (Bengtsson, 2001)

5.1.5 Avsvalning

Avsvalningsfasen påbörjas normalt då 20 procent av bränslet återstår och kan pågå under en lång tid. Det är mycket vanligt att branden blir bränslekontrollerad under avsvalningsfasen och ofta uppstår glödbränder. Eftersom avsvalningen inträffar långt in i brandförloppet bortses från denna fas i rapporten, då syftet är att studera personsäkerheten och utrymning vid brand i ett tidigt stadium. (Bengtsson, 2001)

5.2 Effektkurvor

Brandens effektutveckling beskriver brandens kapacitet att skada människor, miljö och egendom. En brand karaktäriseras ofta av en kurva som beskriver brandens effektutveckling som funktion av tiden.

5.2.1 α^2 -brand

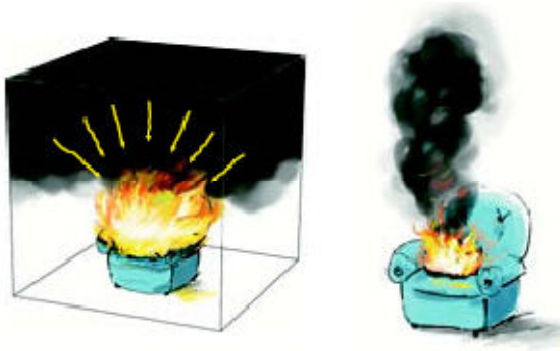
National Fire Protection Association (NFPA) har tagit fram standardiserade kurvor där effekten ökar kvadratisk med tiden, så kallade α^2 -kurvor där α är en tillväxtfaktor och t är tiden i sekunder. Detta är en grov förenkling av verkligheten men kan ge en god bild av effektutvecklingen om den används korrekt. (Karlsson & Quintiere, 2000) Många bränslen brinner med en effektutvecklingskurva likt α^2 -kurvan. α^2 -kurvan är framtagen för att beräkna aktiveringstiden för detektorer. Eftersom detektorer aktiverar tidigt i brandförloppet då effektutvecklingen fortfarande är relativt låg, bör α^2 -kurvan användas med detta i åtanke. Forskning kring hur väl α^2 -kurvor överensstämmer med verkliga bränder då effektutvecklingen överstiger 500 kW är fortfarande ringa. (Bengtson et al. 2002) I tabell 5.1 nedan kan de olika standardtillväxthastigheterna utläsas.

Tabell 5.1. Brandtillväxt enligt α^2 -principen, (Karlsson & Quintiere, 2000).

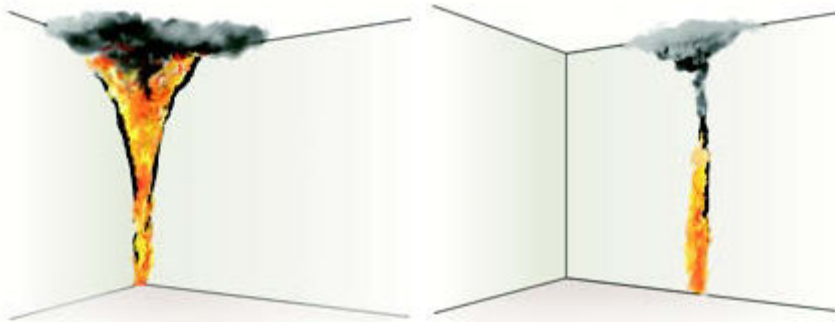
Tillväxt	α [kW/s ²]
Ultrafast	0,19
Fast	0,047
Medium	0,012
Slow	0,003

5.2.2 Designbrand

En mer realistisk effektkurva kan konstrueras om information från verkliga försök finns att tillgå för de aktuella bränslena. Genom att utnyttja befintliga effektkurvor, kan man om flera olika bränslen är inblandade i branden, till exempel genom strålningsberäkningar bedöma om och i så fall när branden kommer att sprida sig till närliggande bränslepaket. Om så är fallet, kan sedan befintliga effektkurvor addera ihop utifrån strålnings- och tidsberäkningarna och på så vis få ett mer realistiskt brandförlopp. Hänsyn måste tas till hur försöken varit uppställda jämfört med det fallet man vill applicera dem på. Det kan till exempel vara rummets geometri, som påverkar återstrålning och syretillgång, se figur 5.3. Även bränslemängden och dess placering påverkar hur långt brandförloppet varar respektive hur branden sprider sig, se figur 5.4 (Bengtsson, 2001).



Figur 5.3. Återstrålningen påverkar brandförloppet. Brand i ett rum samlar brandgaser som återstrålar mot branden och ger en högre effekt, vid brand i det fria bildas inget brandgaslager (Bengtsson, 2001).



Figur 5.4. Brandens placering har stor betydelse för brandförloppet (Bengtsson, 2001).

6 Utrymning

Enligt Boverkets byggregler (BBR), skall byggnader utformas så att tillfredställande utrymning kan ske vid brand. Det innebär antingen en fullständig utrymning av samtliga personer som befinner sig i en byggnad eller en förflyttning till en säker flyktplats inom byggnaden för de personer, som befinner sig inom den del som direkt berörs av branden (BBR 5:31, Boverket, 2005)

I denna rapport avses med utrymning att samtliga personer som befinner sig i Galleria Domino i händelse av brand, ska kunna lämna byggnaden utan att utsättas för kritiska förhållanden.

6.1 Människans beteende vid brand

Utrymning är för de flesta människor en ovanlig företeelse som skall genomföras under ökande grad av fara och stress. Hur personer upplever situationen och hur de agerar påverkar starkt utrymningsförloppet. En persons beteendemönster vid en nödsituation kan delas in i tre delar (Boverket, 2006):

- Förståelse och tolkning av situationen
- Förberedelse
- Genomförande

Det tidiga skedet av utrymningen karakteriseras ofta av osäkerhet, missförstånd och ineffektivitet. Vanligtvis vill människor informera sig om vad som hänt och därefter besluta sig för att agera på något sätt. Det kan bland annat innebära att utrymma, söka ytterligare information, försöka släcka branden, hjälpa och varna andra, rädda materiella saker eller ringa räddningstjänsten. (Boverket, 2006)

En allmän uppfattning är att panik lätt skulle uppstå i samband med brand. Det finns dock studier som visar att panik är väldigt sällsynt i samband med utrymning. Den situation då panik skulle kunna uppträda, är då personer i byggnaden som utrymmer upplever att deras möjlighet att ta sig ut snabbt minskar samtidigt som hotet från branden kraftigt ökar (Frantzich, 2000). Detta är dock en sällsynt situation. (Wickström, 2007)

En annan vanligt förekommande företeelse i sammanhanget är att personer i hög grad hjälper varandra. Ofta bildas små grupper av människor, som inte nödvändigtvis känner varandra sedan tidigare, som utrymmer tillsammans. Vid gruppbildning föregås ofta utrymningsförfarandet av viss fördröjning, vilket beror av att personer tvekar att ta första steget med risk för att göra bort sig inför de andra. (Frantzich, 2000)

De normala roller, eller personers auktoritet i vardagen kan i hög grad påverka utrymningen. Med detta menas att personer förväntar sig att auktoriteterna skall ta något sorts beslut, exempelvis att utrymma. Pondera en grupp studenter under en föreläsning när utrymningslarmet ljuder. Föreläsaren fungerar då som auktoritet och studenterna förväntar sig att föreläsaren tar rätt beslut. Problem kan därmed uppstå om den formelle ledaren, auktoriteten, inte är förmögen att ta initiativet till utrymning. Vid försök gjorda vid ett engelskt universitet avbröt föreläsaren inte föreläsningen trots att utrymningsklockan ringde. Detta medförde att eleverna satt kvar och utrymningen startade inte förrän föreläsaren slutat tala och uppmanade studenterna att utrymma (Frantzich, 2000). En butik skulle kunna likställas vid samma situation, där butiksbiträdet fungerar som auktoritet och kunderna förväntar sig att denna handlar därefter.

6.2 Kritiska förhållanden

Kritiska förhållanden i samband med brand innebär att utrymning inte längre kan ske under acceptabla förhållanden. Tiden till kritiska förhållanden jämförs sedan med tiden det tar att utrymma byggnaden. Observera att det inte omedelbart innebär att personer skadas eller förolyckas om kritiska förhållanden uppstår (Boverket, 2006). Följande parametrar beaktas:

- Brandgaslagrets höjd
- Temperatur
- Strålning
- Sikt
- Toxicitet

6.2.1 Brandgaslagrets höjd

Vid brand måste personer kunna orientera sig under hela utrymningsförloppet vilket innebär att brandgaslagret inte får understiga den vedertagna kritiska höjden $1,6 + 0,1 \cdot H$ meter, där H är rummets höjd. Utrymning kan trots detta fortgå även efter det att en kritisk nivå på brandgaslagrets höjd har uppnåtts, förutsatt att kriterierna för temperatur, sikt, och toxicitet inte har det. (Bengtson et al. 2002)

6.2.2 Temperatur

Den maximala temperaturen som personer får utsättas för vid utrymning är 80 °C. (Bengtson et al. 2002)

6.2.3 Strålning

Enligt råden i Boverkets byggregler är gränsvärdena för maximal strålningsintensitet 2,5 kW/m² i tio minuter eller en kortvarig (fåtal sekunder) strålningsintensitet på 10 kW/m². Samt en maximal strålningsenergi på 60 kJ/m² utöver energin från en strålning på 1 kW/m². (Boverket, 2005)

6.2.4 Sikt

Kraven på siktbarheten vid utrymning är minst fem meter i brandrummet och minst 10 meter i utrymningsvägarna. (Bengtson et al. 2002)

6.2.5 Toxicitet

Vid utrymningsförfarandet är det viktigt att personer inte utsätts för skadliga doser av giftiga gaser eller för låg syrehalt. Det räcker normalt med att betrakta halterna av CO, CO₂ och O₂. Kriteriet för toxicitet sammanfaller ofta med kriteriet för brandgaslagrets höjd. (Bengtson et al. 2002)

6.3 Tid för utrymning

För att avgöra om utrymning kan ske innan kritiska förhållanden uppstår, används en modell som bygger på att utrymningstiden kan delas upp i tre faser (Boverket, 2006):

- Varseblivning
- Beslut och reaktion
- Förflyttning

Denna modell anses vara fullt acceptabel för att beskriva utrymningsförloppet trots svårigheter att bestämma besluts- och reaktionstiden. För de övriga två komponenterna i utrymningstiden finns såväl forskning som tillämpningsmodeller att tillgå. Summan av tiderna för varseblivning, beslut och reaktion och förflyttning ska, i de delar av byggnaden som omfattas av beräkningen, vara mindre än tiden för när kritiska förhållanden inträffar. Detta beskrivs normalt med uttrycket:

$$t_{kritisk} > t_{varseblivning} + t_{beslut \& \ reaktion} + t_{förflyttning} \quad (\text{Boverket, 2006})$$

6.3.1 Varseblivning

Varseblivning innebär den tid som förflyter från det att branden startar fram till att personen upptäcker att något inte är som det ska, denna tid beror på om personen ifråga ser branden eller inte. Personen måste alltså upptäcka rök, flammor eller informeras på annat sätt. Tiden kan till exempel påverkas av om det finns ett utrymningslarm installerat och beroende av hur det aktiveras kan tiden till varseblivning beräknas. Detta kan göras genom att, förutsatt att brandtillväxten är känd, räkna fram när en viss detektor i ett automatiskt brandlarmssystem aktiveras. I vissa brandlarmssystem används larmlagring, sådana faktorer måste tas hänsyn till vid bestämning av tiden till varseblivning. (Boverket, 2006)

I de fall då ett automatiskt brandlarm med tillhörande utrymningslarm saknas, är det svårare att uppskatta tiden till varseblivning. Faktorer som då påverkar tiden är exempelvis byggnadens överblickbarhet, vilka personer som vistas i byggnaden, hur personer står i relation till varandra och om personerna är mottagliga för den indikation som branden genererar. (Boverket, 2006)

6.3.2 Beslut och reaktion

När personen väl uppfattat att något onormalt inträffat i byggnaden, påbörjas nästa tidsperiod – besluts- och reaktionstiden. Denna period innefattar alla de olika aktiviteter som personen kan vidta innan själva förflyttningen påbörjas, exempelvis förstå att det brinner, lyssna på utrymningslarm, hjälpa andra att utrymma, försöka bekämpa branden med mera. (Boverket, 2006)

Ett sätt att minska besluts- och reaktionstiden är att påverka personen ifråga att fatta rätt beslut. Detta kan till exempel vara ett talat utrymningsmeddelande som tydligt påpekar att en brand uppstått och att personen snabbt skall utrymma till närmsta utgång. Andra faktorer kan röra orienterbarheten i byggnaden, såsom att utrymningsskyltarna är väl synliga och belysta. Ytterligare ett sätt att förbättra utrymningen är att utbilda personalen så att den kan hjälpa till vid utrymning vilket har visat sig ha mycket god effekt på besluts- och reaktionstiden. (Boverket, 2006)

6.3.3 Förflyttning

Den sista av de tre faktorerna som påverkar utrymningen är själva förflyttningstiden. Tiden det tar att utrymma en lokal beror exempelvis på hur personerna är fördelade i lokalen, vilka personer det är fråga om, hjälpbehovet och deras förmåga att förflytta sig. Yttre faktorer som belysningsnivå och utrymningsskyltar påverkar också förflyttningstiden. Tiden för förflyttningen kan beräknas antingen för hand eller med hjälp av datorprogram, exempelvis Simulex. (Boverket, 2006)

6.4 Passagemått i utrymningsväg

Passagemått i utrymningsväg beror av personantalet som vistas i den aktuella lokalen. I brandceller som förväntas inrymma fler än 150 personer, kallat samlingslokaler, bör det fria passagemåttet inte understiga 1,2 meter. Varje brandcell måste dessutom minst ha två av varandra oberoende utrymningsvägar. (Boverket, 2005)

6.5 Vägledande markeringar

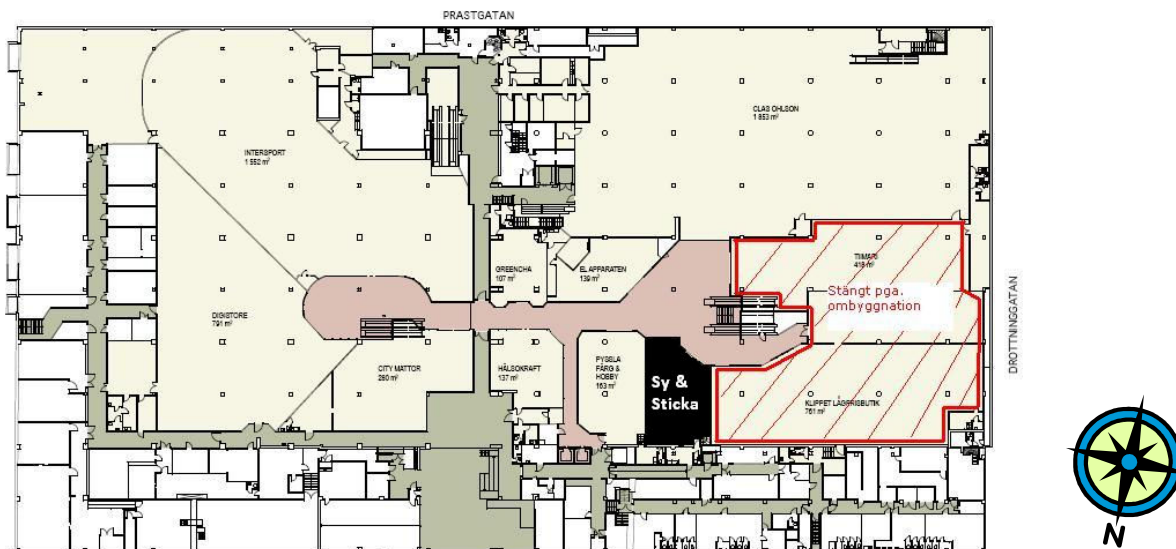
Vägledande markeringar (utrymningsskyltar) skall finnas i lokaler där utrymningsvägarna inte kan förväntas vara kända och skall normalt vara försedda med nödbelysning. (Boverket 2006) Exempel på vägledande markeringar kan ses i figur 6.1 nedan.



Figur 6.1. Exempel på vilseledande markeringar i utrymningsväg.

7 Scenario 1 – Brand i Sy & Sticka

Avsnittet beskriver förutsättningar för brandscenario i butiken Sy & Sticka, som ligger på källarplan i västra delen av Galleria Domino. I figur 7.1 nedan visas en planskiss med Sy & Stickas placering i gallerian.



Figur 7.1. Bilden visar Sy & Stickas placering på källarplanet i gallerian.

7.1 Lokalbeskrivning

Butiken Sy & Sticka är placerad på källarplanet i den nordvästra delen av köpcentret och ligger i anslutning till den västra rulltrappan. Den har en yta av 146 m² och en takhöjd på tre meter. Bredvid butiken ligger en hobby- och färgaffär och mittemot butiken ligger en elaffär. Vid besökstillfället var butikerna väster om Sy & Sticka stängda på grund av ombyggnad.

I butiken förvaras sytillbehör, garn och textilier av varierande material. Även utanför butiken finns ställ med garn. Persontätheten är förhållandevis hög om man ser till den fria ytan. Kundklientelet är av varierande typ. Figur 7.2 samt 7.3 visar vy över butiken Sy & Sticka.



Figur 7.2. Sy & Sticka, vy från entrén



Figur 7.3. Sy & Sticka, vy från butiken

Butiken Sy & Sticka väljs ut som tänkbart scenario främst av två orsaker. Dels kommer brandförloppet att bli snabbt då det finns mycket brännbart material i butiken. En annan anledning är att en brand i Sy & Sticka kommer att försvåra utrymningen för butikerna placerade i den västra delen av köpcentret. Brandgaserna kommer även att spridas till entréplan.

7.1.1 Detektion

Butikslokalen är försedd med sprinkler med aktiveringstemperatur 68 °C. Lokalen är inte detekterad med avseende på rökdetektion men ett par meter utanför entrén finns en detektor. Detta kan leda till att detektion av brand inte kommer ske förrän sprinklerna löser ut.

7.1.2 Utrymning

Utrymning sker via entrén. I butikens bakkant finns en dörr som leder till ett personalutrymme, men denna dörr är inte skyltad som officiell nödutgång. Om den ändå skulle användas som nödutgång kan man ta sig ut via personalutrymmet till en brandtekniskt avskild utrymningsväg som till slut leder ut till det fria.

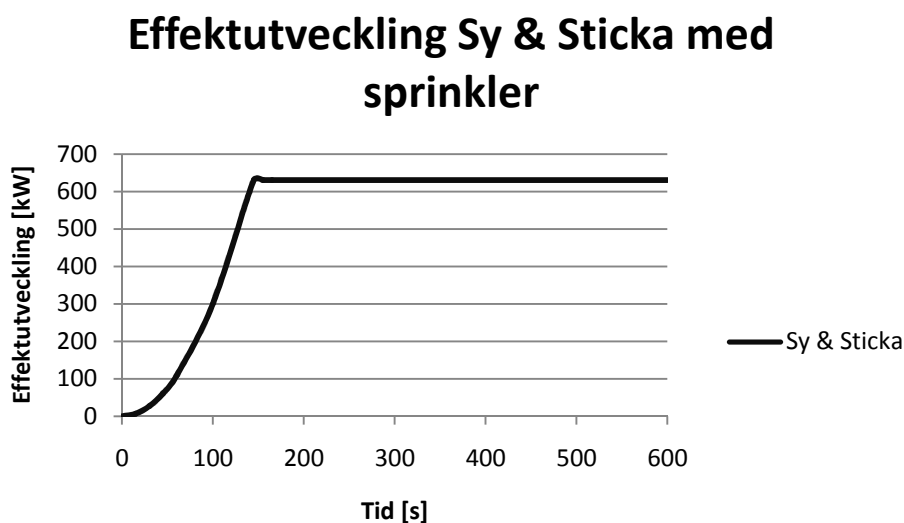
7.1.3 Ventilationssystem

Sy & Sticka ventileras av en tilluftsfläkt och ett frånluftsdon som är placerat strax utanför butiken. Frånluftsfläkten som betjänar Sy & Sticka kan styras antingen manuellt eller per automatik. I manuellt läge körs fläkten för brandgasevakuering. I autoläge styrs fläkten via förinställd data. Om en branddetektor utlöser stoppas frånluftsfläkten via brandlarmscentralen. Om en detektor aktiverar inom frånluftsfläktens betjäningsområde, vilket inkluderar Sy & Sticka och ett antal fler butiker på källarplanet, startar fläkten för brandgasevakuering.

Då en större tryckuppbyggnad inte kan ske i Galleria Dominos öppna ytor görs ingen vidare analys av brandgasspridning via ventilationen.

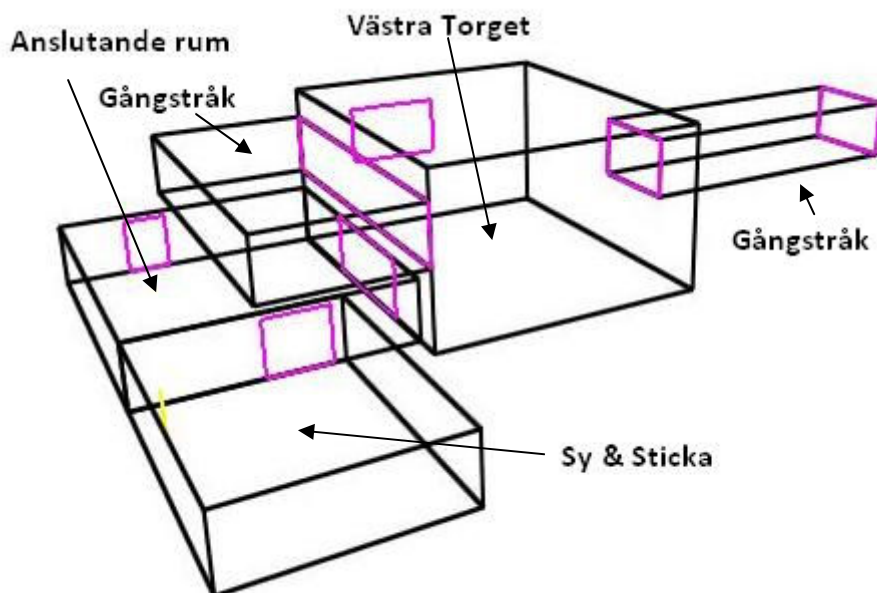
7.2 Brandförlopp

I det valda scenariot startar branden i mitten av butiken i ett ställ med garn. En trolig orsak är anlagd brand, se avsnitt 4.3.1. Butikspersonalen upptäcker branden först efter ett tag då butiken är oöverskådlig, och kommer troligtvis inte kunna påverka brandförloppet. Branden sprider sig till närliggande ställ med garn och tyger och människor påbörjar utrymningen ur butiken. Brandgaserna kommer att bilda ett övre skikt och då de når ner till entréns öppning, 30 centimeter under taket, kommer brandgaserna att strömma ut till de allmänna utrymmena och strömma upp till entréplan via den västra uppgången och försvåra utrymning även där. Då temperaturen i butikstaket når aktiveringstemperaturen för sprinklerna utlöser dessa och utrymningslarmet aktiverar och ljuder i hela köpcentret. För aktuell effektutvecklingskurva, se figur 7.5 nedan. För resonemang vid konstruktion av effektkurva, se Bilaga B.



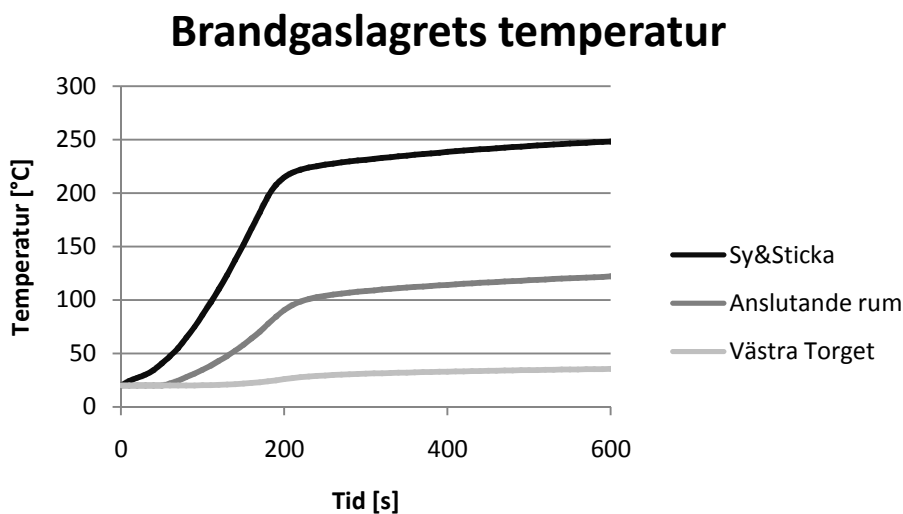
Figur 7.5. Figuren visar effektutveckling som funktion av tiden i butiken Sy & Sticka.

Vid simulering i CFast (se Bilaga E) undersöktes främst temperaturen i brandrummet samt omgivande utrymmen. I figur 7.6 nedan kan geometrin uppbyggd i CFast skådas samt hänvisning till de ingående rummen, butiken, anslutande rum samt Västra Torget. Observera att Västra Torget sträcker sig över två våningsplan. För situationsplan, se Bilaga H samt Bilaga I.



Figur 7.6. Figuren visar geometri uppbyggd i CFast.

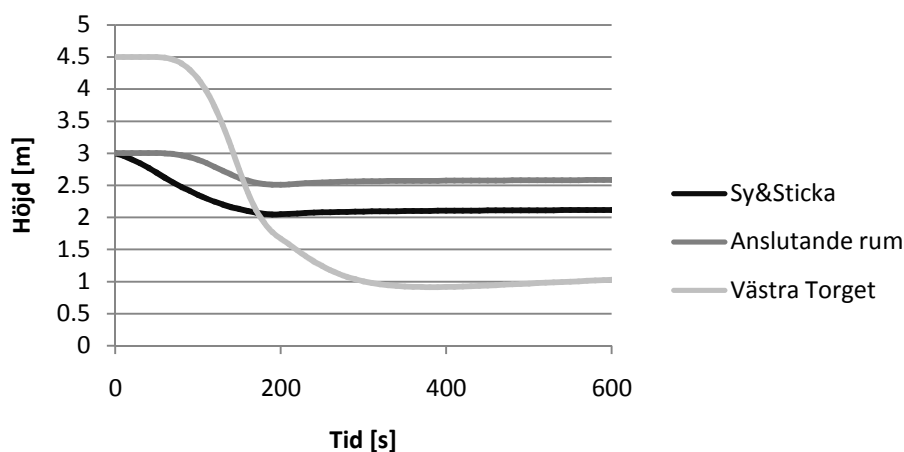
Det kan konstateras att på grund av temperaturdifferensen sker en tvåzonsskiktning i Sy & Sticka och i det allmänna utrymmet utanför, kallat anslutande rum i figur 7.7. På entréplan är temperaturen i brandgaserna så låg att det är tveksamt om skiktning sker eftersom en marginell temperaturökning sker först efter cirka fem minuter vilket skulle innebära att brandgaserna omblandats relativt väl innan denna påstådda skiktning skulle ske. Detta medför att siktberäkningar är av intresse (se Bilaga B).



Figur 7.7. Brandgaslagrets temperatur som funktion av tiden.

Även brandgaslagrets höjd över golvet undersöktes vid simuleringen. Enligt avsnitt 6.2.1 kan den kritiska höjden tecknas som $1,6 + 0,1H$, där H är rummets höjd i meter vilket ger en kritisk höjd på 1,9 meter i Sy & Sticka och två meter i Västra Torget på entréplan. Enligt figur 7.8 nedan kan det konstateras att brandgaslagrets höjd över golvet är strax över två meter i butiken Sy & Sticka. I Västra Torget sker med hänvisning till stycket ovan ingen tvåzonsskiktning, i alla fall i den första delen av förloppet, vilket innebär att resultatet i figur 7.8 nedan bör användas med försiktighet. Observera att måttet 4,5 meter syftar till höjden över golvet på entréplan, alltså ej i förhållande till källarplanets golvnivå.

Brandgaslagrets höjd över golvet



Figur 7.8. Brandgaslagrets höjd över golvet som funktion av tiden.

7.3 Tid till kritiska förhållanden

För att bedöma tiden till kritiska förhållanden i butiken Sy & Sticka krävs en undersökning av temperatur och brandgaslagrets höjd. Det kan konstateras att temperaturen i brandgaslagret uppgår till cirka 200 °C efter tre minuter, detta är dock temperaturen i det övre brandgaslagret. Vid denna tid befinner sig brandgaslagret på en höjd av cirka två meter, vilket är väldigt nära den kritiska höjden som beräknats till 1,9 meter. Med bakgrund till de antaganden och därmed noggrannheten i simuleringarna, bedöms kritiska förhållanden ha uppstått i butiken. Dock kan sprinkleraktivering medföra att brandgaslagret kyls och delvis blandas om.

Med avseende på brandgaslagrets höjd och temperatur i *anslutande rum* kan det konstateras att kritiska förhållanden ej uppstår.

För *Västra Torget* är temperaturen relativt låg och överstiger aldrig den kritiska. Att det blir en skiktning är inte troligt eftersom temperaturen är relativt låg, istället bör man gå efter beräkningar för sikt för ett omblandat fall, vilket ger en tid till kritiska förhållanden på 4 minuter 30 sekunder eller sikt simuleringar i CFast som ger en kritisk tid på cirka tre minuter (för beräkning av sikt se Bilaga B.8).

7.4 Aktivering av brand- och utrymningslarm

Brand- och utrymningslarmet utlöser med hjälp av sprinkleraktivering efter cirka 2 minuter 30 sekunder. Det finns en rökdetektor utanför butiken, men detektorns aktiveringstid uppgår till knappt fyra minuter enligt beräkning i DetactT2 (se Bilaga B).

7.5 Utrymning

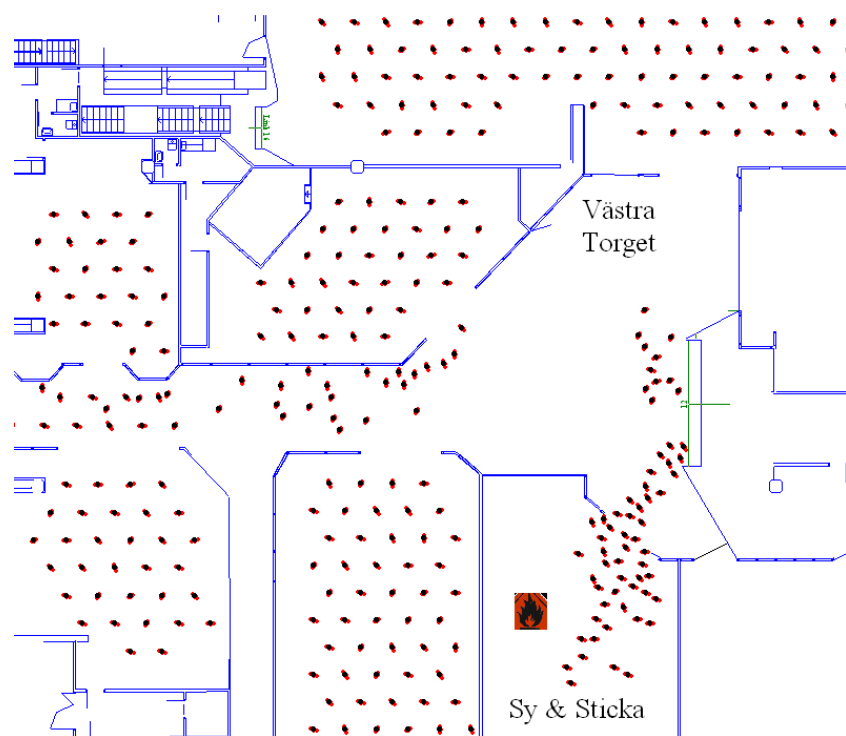
Vid simulering i Simulex användes ett personantal på 2700 som grundar sig på värdet 0,5 personer per kvadratmeter enligt Boverket (2006). Värdet har modifierats för att passa Galleria Domino. I

allmänna utrymnen är personantalet något lägre medan personantalet i butikerna följer det rekommenderade värdet (Frantzich, 2007). Vid simuleringen antas att uppgången utanför Sy & Sticka är blockerad av brandgaser och tvingar personer i närliggande butiker att utrymma genom den östra delen av byggnaden. Dock antas personerna som befinner sig i Sy & Sticka respektive i centrumgången närmast den västra uppgången hinna utrymma genom denna uppgång eftersom de antas påbörja sin utrymning redan efter 30 sekunder. Vid brandscenariot i Sy & Sticka aktiveras utrymningslarmet efter 2 minuter 30 sekunder. Tabell 7.1 nedan visar händelseförloppet i simuleringen och tiden till utrymning. För tydligare beskrivning av simulering av Galleria Domino i Simulex se Bilaga E.2.

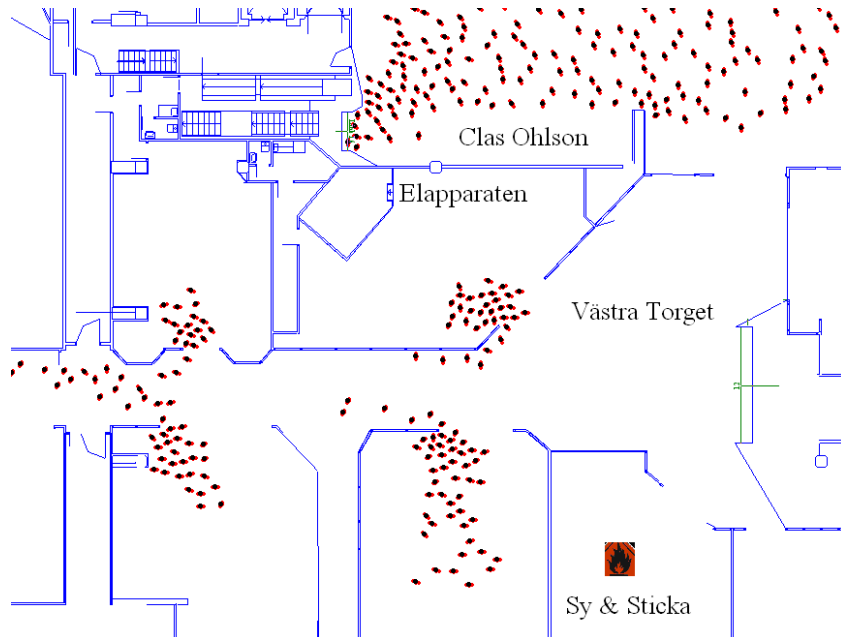
Tabell 7.1. Sammanställning av utrymningsförfarande från simulering i Simulex.

Tid [min:s]	Händelse
0:00	Branden startar
0:30	Personerna i Sy & Sticka påbörjar utrymning
2:30	Utrymningslarmet aktiveras
3:15 - 3:30	Övriga personer påbörjar utrymning
8:00	Hela gallerian utrymd

I figur 7.9 samt 7.10 kan utrymningssimulering i Simulex skådas vid olika tidpunkter.



Figur 7.9. Utrymningssimulering i Simulex vid tiden 1 minut 10 sekunder.



Figur 7.10. Utrymningssimulering i Simulex vid tiden 4 minuter 5 sekunder.

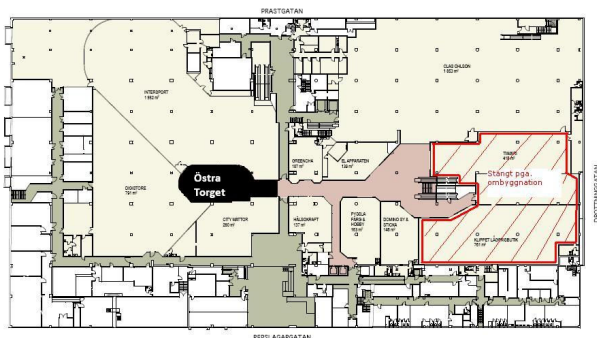
7.6 Sammanställning av brandscenario 1

Personer inne i butiken Sy & Sticka kommer påbörja sin utrymning redan efter 30 sekunder och då butiken är relativt liten kommer den att vara utrymd innan kritiska förhållanden har uppstått. Utrymningslarmet aktiveras först efter cirka 2 minuter 30 sekunder då sprinkleraktivering skett, vilket innebär att övriga personer i gallerian påbörjar sin utrymning. I praktiken har människor som inte ser branden ungefär en minuts besluts- och reaktionstid. (Frantzich, 2000) Sprinkleraktiveringen kan medföra att brandgaslagret kyls och att det delvis blir omblandade förhållanden inne i butiken. Dock kommer inte detta påverka utrymningen från butiken då butiken är utrymd innan aktivering av sprinkler sker.

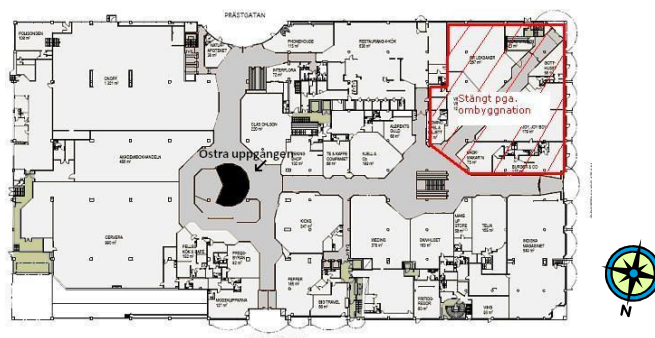
Utrymmena utanför butiken Sy & Sticka kommer att blockeras av brandgaser, vilket innebär att personer som befinner sig i exempelvis Clas Ohlson, som ligger mitt emot Sy & Sticka, inte kan utrymma via den västra uppgången. På entréplan på Västra Torget uppstår kritiska förhållanden med avseende på sikt efter cirka 4 minuter 30 sekunder. Då uppfylls inte Boverkets krav på siktbarhet på 10 meter i brandgaserna och personer i butiker runt Västra Torget måste välja alternativa utrymningsvägar. Trots detta är gallerian helt utrymd efter 8 minuter vilket innebär att räddningstjänsten kan fokusera på brandbekämpning då de kommer till brandplatsen. Det kan alltså konstateras att byggnaden uppfyller kraven för säker utrymning vid detta brandscenario.

8 Scenario 2 – Brand utanför Klippet och Intersport

Avsnittet beskriver förutsättningar för ett brandscenario utanför butikerna Klippet och Intersport, som ligger på källarplan i östra delen av Galleria Domino. Lokalen där scenariot utspelar sig benämns hädanefter Östra Torget. Östra Torget är sammanbundet med entréplan genom en cirkulär öppning där det även finns en uppgång. För planskisser med Östra Torgets placering markerad se figur 8.1 samt figur 8.2.



Figur 8.1. Bilden visar Östra Torget på källarplan.



Figur 8.2. Bilden visar östra uppgången på entréplan.

8.1 Lokalbeskrivning

Klippet är beläget i den östra delen av gallerians källarplan bredvid butiken Intersport. I direkt anslutning till butiken finns den östra nedgången till källarplanet med rulltrappor där det är öppet i taket till entréplanet. Utanför butikerna finns ett flertal klädställningar i syfte att locka kunder till butikerna. I scenariot antas att en julgran placeras i anslutning till dessa klädställ under julhandeln. Se figur 8.3 och 8.4 nedan.



Figur 8.3. Klädställningar utanför Intersport.



Figur 8.4. Vy mot Klippet

Detta scenarion har gjorts eftersom konsekvenserna av branden troligen blir relativt allvarliga med avseende på det totala utrymningsförloppet. Dessutom görs bedömningen att det finns lättantändligt material i det valda utrymmet vilka kommer utveckla stora mängder brandgaser. Brandgaserna kan spridas via öppningen i taket och blockera den östra uppgången samt skapa problem i utrymningen på entréplanet. Takhöjden i öppningen mot entréplanet är 7,9 meter och i övrigt i källarplanets gångstråk är takhöjden tre meter.

8.1.1 Detektion

Större delen av gallerian är försedd med automatisk vattensprinkleranläggning, sprinklerdetektering saknas dock i direkt anslutning till öppningen mot entréplanet på Östra Torget. Rökdetektorer finns dels i korridoren mot västra delen av gallerian och dels på entréplan vid Östra Torget.

8.1.2 Utrymning

Från Klippet sker utrymning i bakkant av butiken direkt ut i en utrymningsväg som leder till Skolgatan. Utrymning från Intersport sker via lagret som ligger i den sydöstra delen av gallerian och sedan via befintlig utrymningsväg ut i det fria till Skolgatan. (Se figur E.5 i Bilaga E). Persontätheten sätts till värdet 0,5 personer per kvadratmeter enligt Boverket (2006).

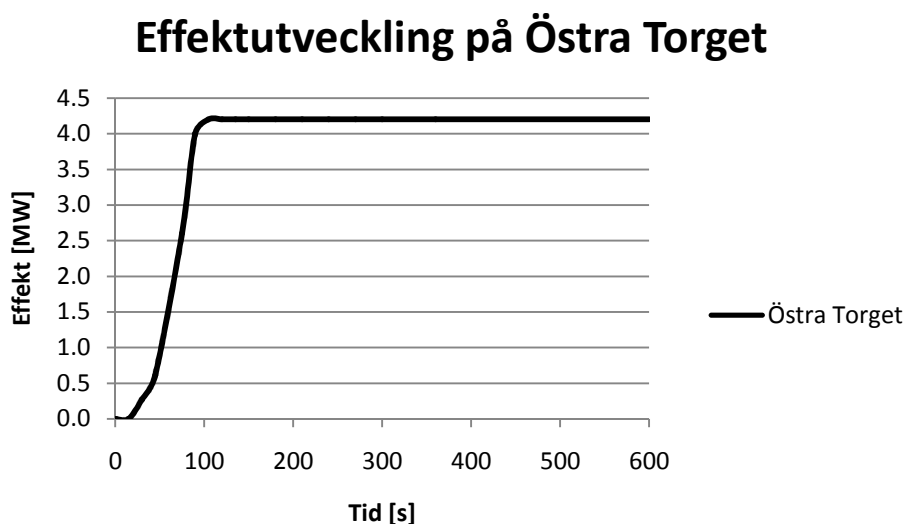
8.1.3 Ventilationssystem

Luftbehandlingsaggregatet som betjänar Klippet och torget utanför, kan styras antingen manuellt eller per automatik. I manuellt läge körs både till- och frånluft kontinuerligt. I autoläge styrs fläktarna via förinställd data. I systemet finns det en röktermostat som kan stoppa ventilationen vid eventuell brand. Då stänger även ett spjäll som hindrar brandgasspridning. Om branddetektor utlöser stoppas till- och frånluft via brandlarmscentralen. Om branddetektorn utlöser inom frånluftsfläktens betjäningssområde vilket inkluderar Klippet, Östra Torget och ett antal fler butiker på källarplan, startar frånluftsfläkten för brandgasevakuering.

Då en större tryckkuppbyggnad inte kan ske i Galleria Dominos öppna ytor görs ingen vidare analys av brandgasspridning via ventilationen.

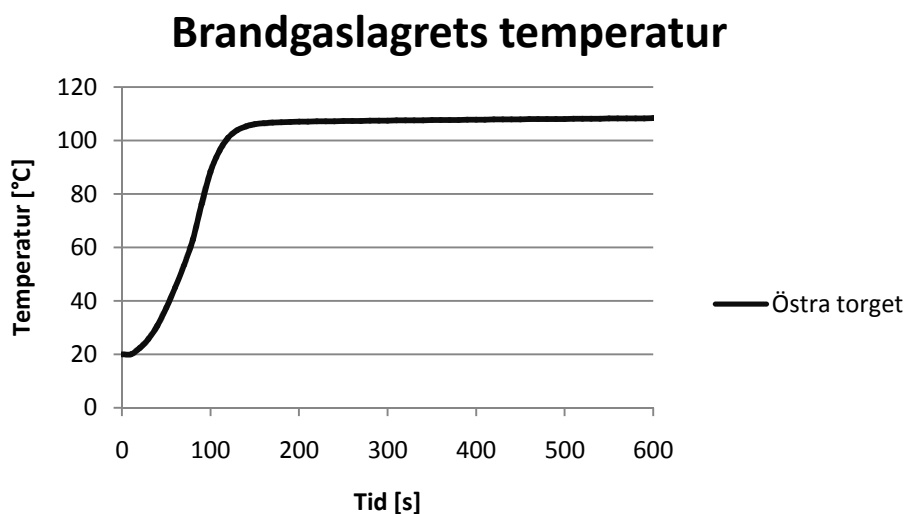
8.2 Brandförlopp

Branden antas starta under mellandagsrean i en drygt 2 meter hög torr julgran som är placerad intill klädställ utanför Intersport. Ett rimligt antal klädställ antas till tre stycken, vardera innehållande 50 vinterjackor. En tänkbar tändkälla är att det inträffar ett elektriskt fel i julgransbelysningen vilket initierar branden. Detta styrks av statistik från Räddningsverket (Nationellt centrum för lärande från olyckor, 2007). Branden tillväxer snabbt och antänder jackorna i klädställen genom strålning. De varma brandgaserna sprids genom öppningen i taket på källarplan och når taket på entréplan. Detektion av branden försenas på grund av att det inte finns några rökdetektorer direkt ovanför branden. För aktuell effektutvecklingskurva se figur 8.7 nedan. För resonemang vid konstruktion av effektkurva, se Bilaga C.



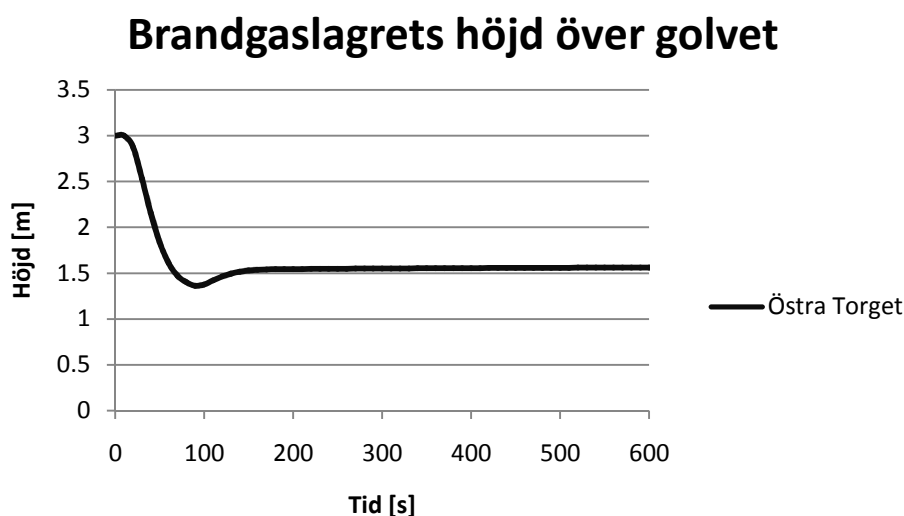
Figur 8.7. Figuren visar effektutveckling som funktion av tiden på Östra Torget.

Vid simulering i CFast (se Bilaga E) undersöktes bland annat temperaturen på Östra Torget. Det kan konstateras att en tvåzonsskiktning sker i brandrummet enligt figur 8.8. Den kritiska temperaturen är satt till 80 °C i det övre brandgaslagret enligt avsnitt 6.2.2 och det kan konstateras att denna temperatur överstiges i Östra Torget, notera dock att detta avser temperaturen på entréplanet.



Figur 8.8. Brandgaslagrets temperatur på Östra Torget som funktion av tiden.

Även brandgaslagrets höjd över golvet undersöktes vid simuleringen. Enligt avsnitt 6.2.1 kan den kritiska höjden tecknas $1,6 + 0,1H$, där H är rummets höjd i meter vilket ger en kritisk höjd på 1,9 meter på entréplanet. Enligt figur 8.9 nedan kan det konstateras att brandgaserna sjunker under 1,9 meter och kritiska förhållanden således uppstår. Observera att måttet tre meter syftar till höjden över golvet på entréplan, alltså ej i förhållande till källarplanets golvnivå.



Figur 8.9. Östra Torget. Brandgaslagrets höjd över golvet som funktion av tiden.

8.3 Tid till kritiska förhållanden

För att bedöma tiden till kritiska förhållanden i Östra Torget krävs en undersökning av temperatur och brandgaslagrets höjd. Temperaturen i brandgaslagret uppgår till cirka 110 °C efter cirka två minuter, vilket är temperaturen i det övre brandgaslagret på entréplan. Vid denna tid befinner sig brandgaslagret på en höjd av cirka 1,4 meter vilket är under den tillåtna höjden på 1,9 meter. Redan efter cirka en minut blir förhållandena kritiska med avseende på brandgaslagrets höjd, värt att notera är dock att tvåzonsmodeller inte tar hänsyn till transporttider, vilket innebär att brandgasspridningen i simuleringen troligtvis sker snabbare än vad den skulle gjort i ett verkligt scenario. Med tanke på begränsningar i simuleringsprogrammet CFast valdes att inte simulera brandgasspridning in i

butikerna på entréplan. Kritiska förhållanden bedöms dock inte uppstå i butikerna inom tidsramen för utrymningen. Sprids brandgaser till butikerna kommer temperaturen att vara låg och ett delvis omblandat fall kommer att uppstå. Brandgasernas påverkan på människan bedöms inte vara så stor och om det blir ett omblandat fall kan siktberäkningar inte ge ett sanningsenligt resultat med avseende på begränsningarna. Att anta att brandgaserna stannar på Östra Torget bedöms vara ett konservativt antagande. För vidare läsning se Bilaga E, CFast.

8.4 Aktivering av brand- och utrymningslarm

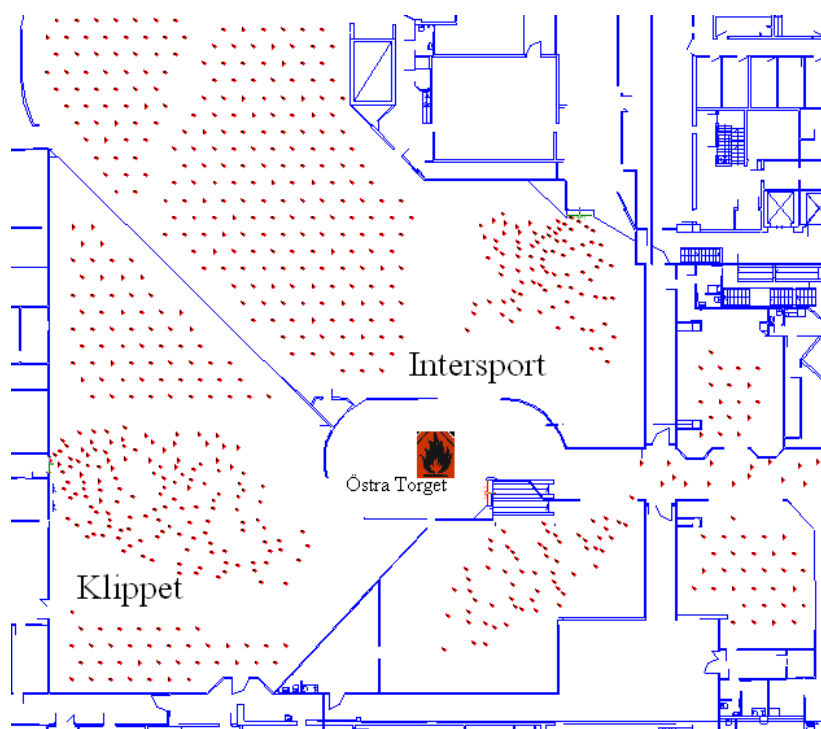
Brand- och utrymningslarmet utlöser med hjälp av rökdetektoraktivering efter cirka 1 minut 20 sekunder då ingen hänsyn tas till förbrinntiden (för beräkning i DetactT2 se Bilaga C).

8.5 Utrymning

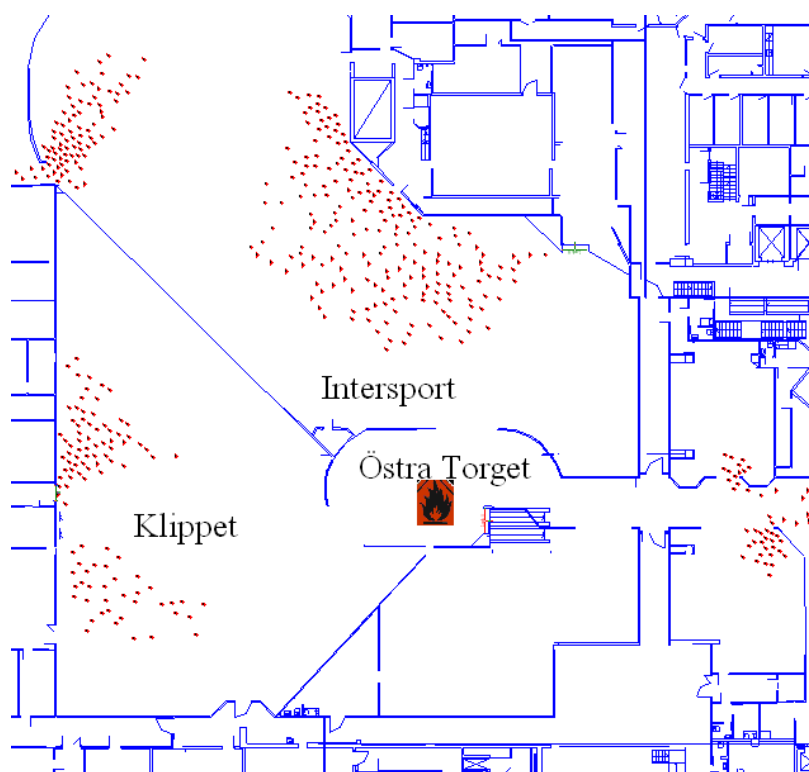
Vid simulering i Simulex användes ett personantal på 2700 som grundar sig på värdet 0,5 personer per kvadratmeter enligt Boverket (2006). Värdet har modifierats för att passa Galleria Domino. I allmänna utrymnen är personantalet något lägre medan personantalet i butikerna följer det rekommenderade värdet (Frantzich, 2007). I detta scenario kan ingen utrymning ske genom Östra Torget på grund av att kritiska förhållanden antas uppstå. Personerna i Klippet samt Intersport tvingas därför använda sig av butikernas bakre nödutgångar. De börjar tillsammans med personer som befinner sig i centrumgången att utrymma efter uppskattningsvis 30 sekunder då de ser branden. Tabell 8.1 nedan visar händelseförloppet i simuleringen och tiden till utrymning. I figur 8.10 och 8.11 nedan kan utrymningssimulering i Simulex skådas vid olika tidpunkter. För tydligare beskrivning av simulering av Galleria Domino i Simulex se Bilaga E.2.

Tabell 8.1. Sammanställning av utrymningsförfarande från simulering i Simulex.

Tid [min:s]	Händelse
0:00	Branden startar
0:30	Personerna i Klippet, Intersport samt centrumgången i källaren påbörjar utrymning
1:15	Utrymningslarmet aktiveras
2:00-2:15	Övriga personer påbörjar utrymning
3:00	Klippet utrymt
3:30	Intersport utrymt
7:30	Hela gallerian utrymd



Figur 8.10. Utrymningssimulering i Simulex vid tiden en minut.



Figur 8.11. Utrymningssimulering i Simulex vid tiden 2 minuter 30 sekunder.

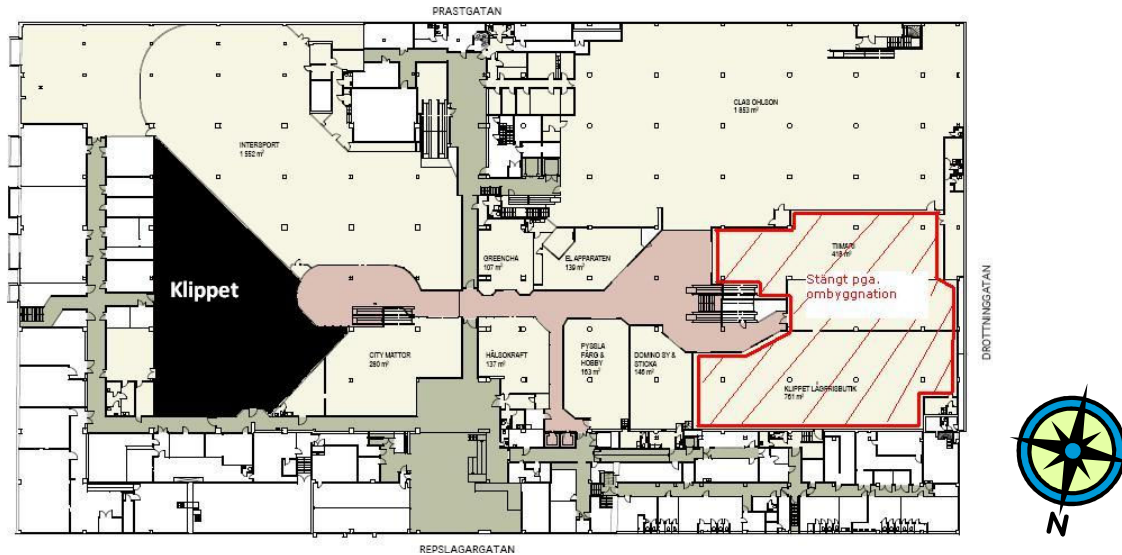
8.6 Sammanställning av brandscenario 2

Personer i Östra Torgets direkta närhet kommer att påbörja utrymning så fort de upptäcker branden och känner sig hotade. Utrymningslarmet aktiveras efter cirka 1 minut 15 sekunder vilket innebär att övriga personer i gallerian, inberäknat besluts- och reaktionstid, påbörjar utrymningsförfarandet cirka en minut senare. Kritiska förhållanden med avseende på brandgaslagrets höjd uppstår efter cirka en minut, vilket innebär att Östra Torget inte kan användas som utrymningsväg utan alternativa vägar måste väljas. Hela gallerian är utrymd efter cirka 7 minuter 30 sekunder. Värt att notera är att

denna tid beror på långa köbildningar i butiken Clas Ohlson på källarplan. Utrymningstiden för butikerna på entréplan var cirka två minuter snabbare. Det kan alltså konstateras att byggnaden uppfyller kraven för säker utrymning vid detta brandscenario.

9 Scenario 3 – Brand i butiken Klippet

Avsnittet beskriver förutsättningar för brandscenario i butiken Klippet, som ligger på källarplan i östra delen av Galleria Domino. I figur 9.1 nedan är butiken Klippets placering i gallerian utmärkt.



Figur 9.1 Bilden visar butiken Klippets placering på källarplan.

9.1 Lokalbeskrivning

Klippet är en butik som säljer flera olika typer av varor, allt från prydnadsdetaljer till kläder. Butiken är 791 m² och har en takhöjd på 3,9 meter. Entréöppningen har arean 10,3 m². För vy över butiken Klippet se figur 9.2 nedan.



Figur 9.2. Vy över butiken Klippet från Östra Torget.

9.1.1 Utrymning

Utrymning från butiken sker primärt till utrymmet vid de östra rulltrapporna där vidare utrymning normalt sker via entréplanet. Utrymning kan även ske genom butikens bakre nödutgång som är placerad mot Skolgatan. Persontätheten antas vara 0,5 personer per kvadratmeter enligt Boverket (2006).

9.1.2 Detektion

Lokalen saknar rökdetektorer och detektionen i butiken sker med hjälp av den automatiska vattensprinkleranläggningen.

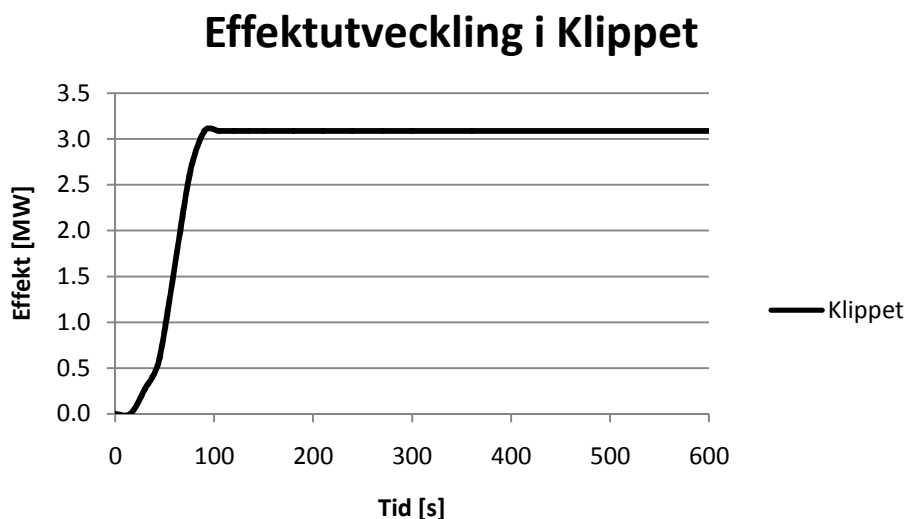
9.1.3 Ventilationssystem

Luftbehandlingsaggregatet som betjänar Klippet och torget utanför, kan styras antingen manuellt eller per automatik. I manuellt läge körs både till- och frånluft kontinuerligt. I autoläge styrs fläktarna via förinställd data. I systemet finns det en röktermostat som kan stoppa ventilationen vid eventuell brand. Då stänger även ett spjäll som hindrar brandgasspridning. Om en branddetektor löser stoppas till- och frånluft via brandlarmscentralen. Om en branddetektor löser inom frånluftsfläktens betjäningsområde vilket inkluderar Klippet, torget utanför och ett antal fler butiker på källarplan, startar frånluftsfläkten för brandgasevakuering.

Då en större tryckupbyggnad inte kan ske i Galleria Dominos öppna ytor görs ingen vidare analys av brandgasspridning via ventilationen.

9.2 Brandförlopp

Eftersom det antingen är butiken Klippet eller Intersport som placerat klädställningar i allmänutrymmet (Östra Torget) utanför butikerna i scenario 2, antas nu att man istället flyttat in julgran och klädställning in i butiken Klippet. Detta innebär att samma brandförlopp kan användas för vidare beräkningar i syfte att kunna jämföra om brandens placering är av stor betydelse för personsäkerheten vid utrymning. För aktuell effektutvecklingskurva se figur 9.4 nedan. För resonemang vid konstruktion av effektkurva, se Bilaga D.

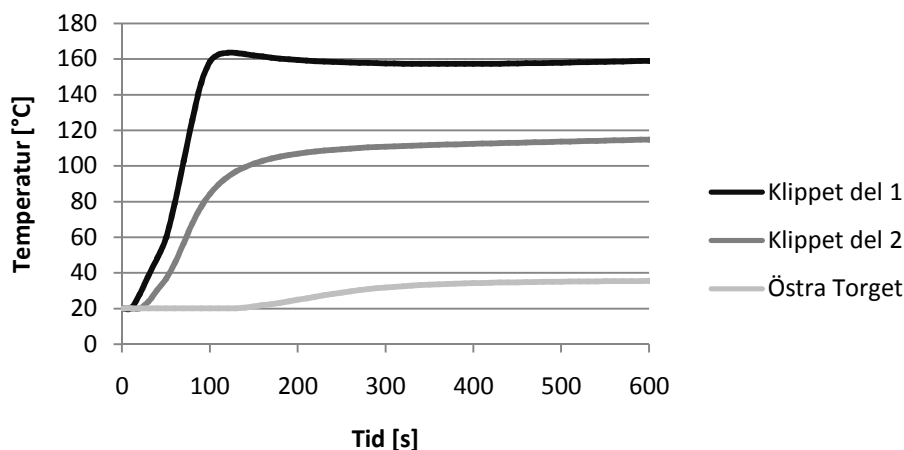


Figur 9.4. Figuren visar effektutveckling som funktion av tiden i butiken Klippet.

Vid simulering i CFast (se Bilaga E) undersöktes temperaturen i både butiken Klippet och Östra Torget (entréplan). Det kan med hänvisning till figur 9.5 nedan konstateras att temperaturen i brandrummet överstiger 80 °C som enligt avsnitt 6.2.2 motsvarar den kritiska temperaturen. I Östra Torget uppgår

temperaturen till cirka 35 °C vilket skulle innebära en tvåzonsskiktning, som kan uppstå vid en temperaturdifferens om 10 °C mellan brandgaser och omgivningens temperatur (Gojkovic, 2007). Beakta dock att det är tveksamt om det blir en tydlig skiktning på grund av den konvektiva avkylningen som förekommer. Därför kan beräkningar avseende sikt vara av intresse. För förklaring av del 1 och del 2 i Klippet se Bilaga E.

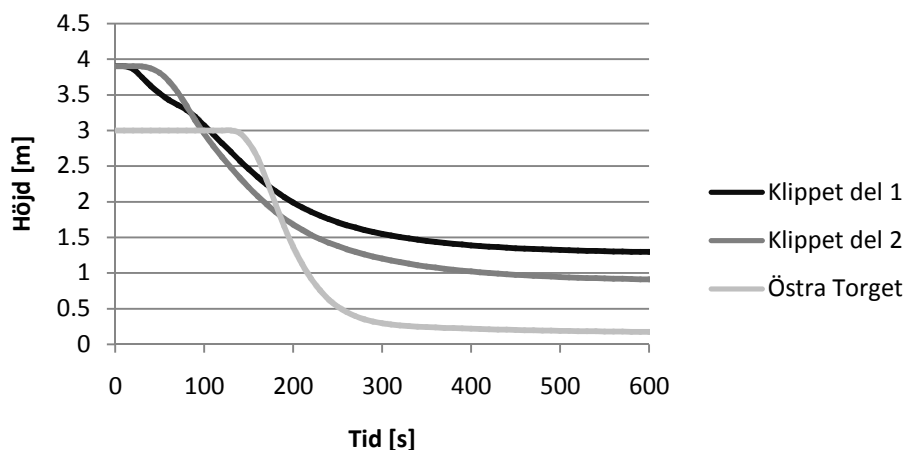
Brandgaslagrets temperatur



Figur 9.5. Brandgaslagrets temperatur som funktion av tiden.

Även brandgaslagrets höjd över golvet studerades vid simuleringen. Enligt avsnitt 6.2.1 kan den kritiska höjden tecknas $1,6 + 0,1H$, där H är rummets höjd i meter vilket ger en kritisk höjd på 1,9 meter i Östra Torget på entréplanet och två meter i butiken Klippet. Enligt figur 9.6 nedan är det tydligt att kritiska förhållanden uppstår på både Östra Torget och i butiken.

Brandgaslagrets höjd över golvet



Figur 9.6. Brandgaslagrets höjd över golvet som funktion av tiden.

9.3 Tid till kritiska förhållanden

För att bedöma tiden till kritiska förhållanden i Klippet krävs en undersökning av temperatur och brandgaslagrets höjd. Temperaturen i det övre brandgaslagret överstiger 80 °C redan efter cirka en minut, dock tar det ungefär tre minuter innan brandgaslagret når den kritiska höjden på två meter, vilket ska uppfattas som den tid då kritiska förhållanden uppstår.

På Östra Torget uppnås endast en temperaturökning på cirka 10-20 °C vilket innebär att det är tveksamt om tvåzonsskiktning sker, därför har siktberäkningar genomförts. Tiden till att sikten understiger tio meter är cirka två minuter enligt handberäkningen. Vid simuleringen i CFast beräknades motsvarande tid till cirka tre minuter, se Bilaga E.

9.4 Aktivering av brand- och utrymningslarm

Brand- och utrymningslarmet utlöser med hjälp av sprinkleraktivering efter cirka 1 minut 15 sekunder då förbrinntiden inte tagits hänsyn till (se Bilaga D för ingående värden).

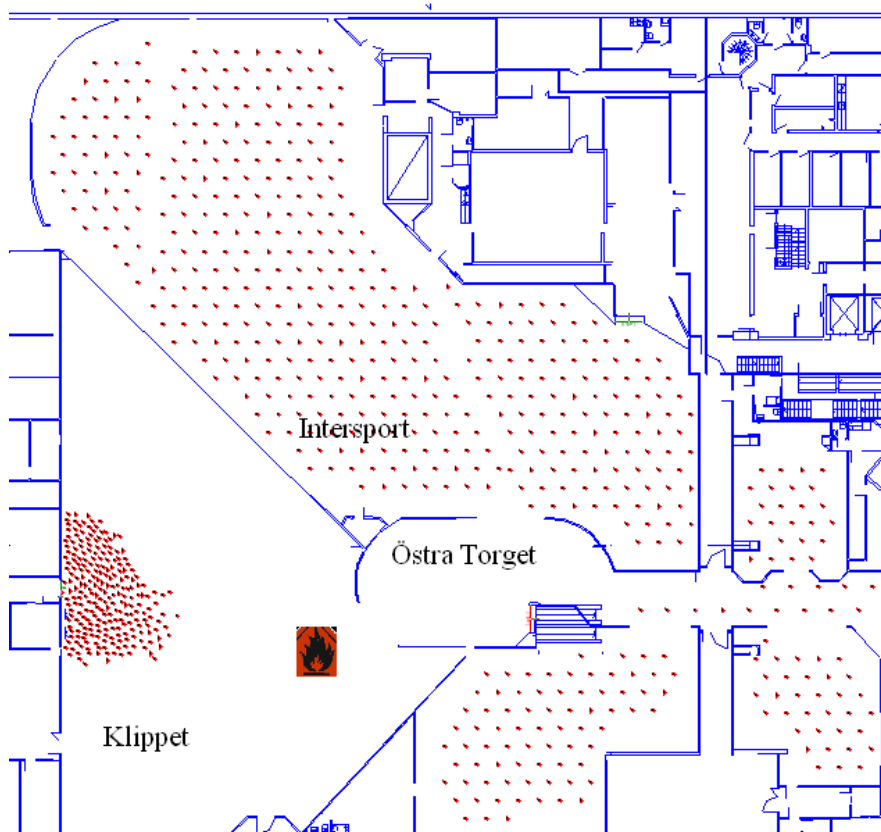
9.5 Utrymning

Vid simulering i Simulex användes ett personantal på 2700 som grundar sig på värdet 0,5 personer per kvadratmeter enligt Boverket (2006). Värdet har modifierats för att passa Galleria Domino. I allmänna utrymnen är personantalet något lägre medan personantalet i butikerna följer det rekommenderade värdet (Frantzich, 2007). Personerna som befinner sig i Klippet använder sig av den bakre nödutgången eftersom branden blockerar huvudingången. Dessutom blockeras Östra Torgets uppgång av brandgaser vilket gör att personer som befinner sig i Intersport måste välja en annan väg att utrymma. Personerna i Klippet uppskattas påbörja sin utrymning efter cirka 30 sekunder då de ser branden. Tabell 9.1 nedan visar händelseförloppet i simuleringen och tiden till utrymning. I figur 9.7 kan utrymning skådas vid tiden 100 sekunder. En tydlig köbildning sker inne i butiken Klippet. För tydligare beskrivning av simulering av Galleria Domino i Simulex se Bilaga E.2.

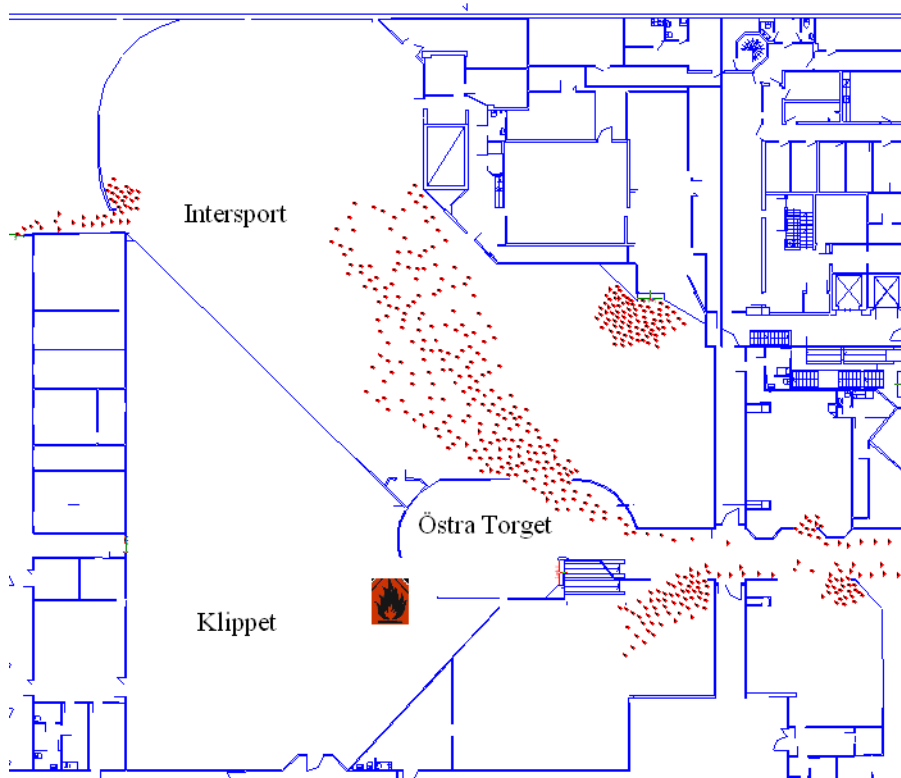
Tabell 9.1. Sammanställning av utrymningsförfarande från simulering i Simulex.

Tid [min:s]	Händelse
0:00	Branden startar
0:30	Personerna i Klippet påbörjar utrymning
1:15	Utrymningslarmet aktiveras
2:00-2:15	Övriga personer i gallerian påbörjar utrymning
2:30	Klippet utrymt
3:45	Intersport utrymt
7:15	Hela gallerian utrymd

I figur 9.7 samt 9.8 kan utrymningssimulering i Simulex skådas vid olika tidpunkter.



Figur 9.7 Utrymningssimulering i Simulex vid tiden 1 minut 15 sekunder.



Figur 9.8. Utrymningssimulering i Simulex vid tiden 2 minuter 50 sekunder.

9.6 Sammanställning av brandscenario 3

Personer som befinner sig i Klippet kommer påbörja sin utrymning när de upptäcker branden och känner sig hotade. Utrymningslarmet aktiveras efter 1 minut 15 sekunder vilket innebär att övriga personer i gallerian, inberäknat besluts- och reaktionstid, påbörjar utrymningsförfarandet cirka en minut senare. I Östra Torget är det tveksamt om tvåzonsskiktning sker och därför har siktberäkningar genomförts. Tiden till att sikten understiger tio meter är cirka två till tre minuter. Detta innebär att personerna som befinner sig i butikerna runt Östra Torget, måste använda sig av alternativa utrymningsvägar. Hela gallerian är utrymd efter 7 minuter 15 sekunder. Det kan konstateras att byggnaden uppfyller kraven för säker utrymning vid detta brandscenario.

10 Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen behandlar de faktorer som påverkar brandförloppet samt utrymningstiden vid valda scenarier. Analysen görs för att kontrollera resultaten i rapporten och se vad som sker då de ingående parametrarna varieras. Resultaten från känslighetsanalysen kan sedan användas för att få en uppfattning om hur slutresultatet påverkas.

Följande parametrar har studerats närmare:

- Brandtillväxt
- Rökdetektorer
- Sprinkler
- Siktförhållanden
- Persontätheten
- Rutiner i händelse av brand
- Val av utrymningsvägar

10.1 Brandtillväxt

Den hastighet som branden tillväxer med kommer att få stor betydelse för hur snabbt kritiska förhållanden uppstår. Även aktiveringstiderna för byggnadens aktiva system kommer påverkas.

10.1.1 Scenario 1 – Brand i Sy & Sticka

Det α -värde som användes vid konstruktion av effektkurvan var $0,03 \text{ kW/s}^2$ vilket motsvarar en tillväxthastighet mellan *medium* ($0,012 \text{ kW/s}^2$) och *fast* ($0,047 \text{ kW/s}^2$). Därför valdes även att studera effektkurvor med *medium* och *fast* som grund. Dessutom har en simulering med en tillväxthastighet på *ultrafast* ($0,19 \text{ kW/s}^2$) utförts. Detta scenario är intressant att studera då det är tänkbart att nya ägare kan inhysas i lokalen, till exempel en leksaksaffär med väldigt snabbt brandförlopp. En jämförelse mellan de olika tillväxthastigheterna visas i tabell 10.1 nedan där värdet för sprinkleraktivering är avrundat till närmsta halvminut.

Tabell 10.1. Tabellen visar jämförelse mellan olika tillväxthastigheter.

Tillväxthastighet	α - värde [kW/s^2]	Maximal effektutveckling [MW]	Tid till sprinkleraktivering [min:s]
Medium	0,012	0,5	3:30
Framtaget värde	0,03	0,6	2:30
Fast	0,047	0,7	2:00
Ultrafast	0,19	1,2	1:30

Ur tabellen utläses att en snabbare tillväxthastighet ger en ökad maximal effektutveckling vilket i sin tur medför att aktiveringstiden för sprinklerna minskar. Sannolikheten att sprinklerna klarar av att begränsa eller släcka branden är större om den tillväxer med *medium* än om den har en högre tillväxthastighet, detta på grund av att den inte uppnår samma höga effektutveckling.

10.1.2 Scenario 2 – Brand utanför Klippet och Intersport

I detta scenario användes ett α -värde på $0,38 \text{ kW/s}^2$ för att konstruera effektkurvan. Då detta värde är extremt högt och ligger en bra bit över *ultrafast* görs enbart jämförelse med lägre tillväxthastigheter då det inte är troligt med ett snabbare brandförlopp. En jämförelse mellan de olika tillväxthastigheterna visas i tabell 10.2 nedan där värdet för sprinkleraktivering är avrundat till närmsta halvminut.

Tabell 10.2. Tabellen visar jämförelse mellan olika tillväxthastigheter.

Tillväxthastighet	α - värde [kW/s^2]	Tid till detektor aktivering [min:s]
Fast	0,047	3:00
Ultrafast	0,19	1:30
Framtaget värde	0,38	1:30

Ur tabellen kan utläsas att tiden till detektoraktivering ökar med minskande tillväxthastighet. Det kan också konstateras att det framtagna värdet inte skiljer sig nämnvärt från en *ultrafast*-brand med avseende på detektoraktivering.

10.1.3 Scenario 3 – Brand i Klippet

För att undersöka betydelsen av klädställningarnas placering utanför butikerna vid Östra Torget var det intressant att titta på samma brand som i scenario 2 inuti en butik och hur denna påverkar brandgasspridningen till Östra Torget. I scenariot användes ett α -värde på $0,38 \text{ kW/s}^2$ för att konstruera effektkurvan. Då detta värde är extremt högt och ligger en bra bit över *ultrafast* görs även här enbart jämförelse med lägre tillväxthastigheter då det inte är troligt med ett snabbare brandförlopp. För resultat för olika tillväxthastigheter, se tabell 10.3 nedan.

Tabell 10.3. Tabellen visar jämförelse mellan olika tillväxthastigheter.

Tillväxthastighet	α - värde [kW/s^2]	Maximal effekt- utveckling [MW]	Tid till sprinkler aktivering [min:s]
Fast	0,047	0,9	2:30
Ultrafast	0,19	1,5	1:30
Framtaget värde	0,38	1,9	1:00

Det är tydligt att tiden till sprinkleraktivering ökar med minskande tillväxthastighet. Mellan det framtagna värdet och *ultrafast* skiljer det cirka en halv minut, medan det skiljer drygt en minut mellan *fast* och *ultrafast*.

10.2 Rökdetektorer

Både i Sy & Sticka samt Klippet saknas rökdetektorer. Det är därför intressant att undersöka hur utrymningslarmets aktiveringstid påverkas om rökdetektorer skulle installeras. Hur pass avgörande avståndet mellan branden och detektorerna är kontrollerades i simuleringsprogrammet DetactT2.

10.2.1 Scenario 1 – Brand i Sy & Sticka

Då rökdetektorer saknas är utrymningslarmet istället kopplat till sprinklerna. Den närmsta sprinklern utlöstes efter cirka 2 minuter 30 sekunder. I tabell 10.4 nedan redovisas resultaten som erhöles vid beräkningar i DetactT2 för rökdetektorer i butiken. De erhållna värdena är avrundade på 15 sekunder när.

Tabell 10.4. Aktiveringstid vid olika avstånd mellan branden och detektorn.

Avstånd [m]	Tid [min:s]
3	1:30
10	2:15

Då butiken är relativt liten är det rimligt att närmsta detektor befinner sig inom tre meter från initialbranden. Detta skulle innebära att tiden till detektion förkortas med cirka en minut från fallet då enbart sprinklerna fungerar som detektion.

10.2.2 Scenario 2 – Brand utanför Klippet och Intersport

I Scenario 2 uppskattades det horisontella avståndet från branden till detektorn vara fem meter. Försök utfördes i DetactT2 där avståndet till detektorerna varierades. Resultaten presenteras i tabell 10.5 nedan, värdena är avrundade på 15 sekunder när.

Tabell 10.5. Aktiveringstid vid olika avstånd mellan branden och detektorn.

Avstånd [m]	Tid [min:s]
0 (placerad ovan branden)	0:45
3	1:00
5	1:15
10	2:00
20	3:15

Man kan konstatera att tiden till detektion kan, med en rökdetektor utplacerad i utrymmet ovanför Östra Torget, förkortas upp till 40 sekunder.

10.2.3 Scenario 3 – Brand i Klippet

Rökdetektorer saknas i butiken Klippet och utrymningslarmet är kopplat till sprinklerna och den närmsta sprinklern utlöser efter cirka 80 sekunder. I tabell 10.6 nedan redovisas resultaten som erhöles då avståndet till närmsta detektor från branden varierades i DetactT2. Värdena är avrundade på 15 sekunder när.

Tabell 10.6. Aktiveringstid vid olika avstånd mellan branden och detektorn.

Avstånd [m]	Tid [min:s]
3	0:45
5	1:00
10	1:45

Tiden till detektion kan förkortas cirka 35 sekunder om avståndet mellan detektorerna är sex meter det vill säga då avståndet mellan branden och detektorn är tre meter i DetactT2.

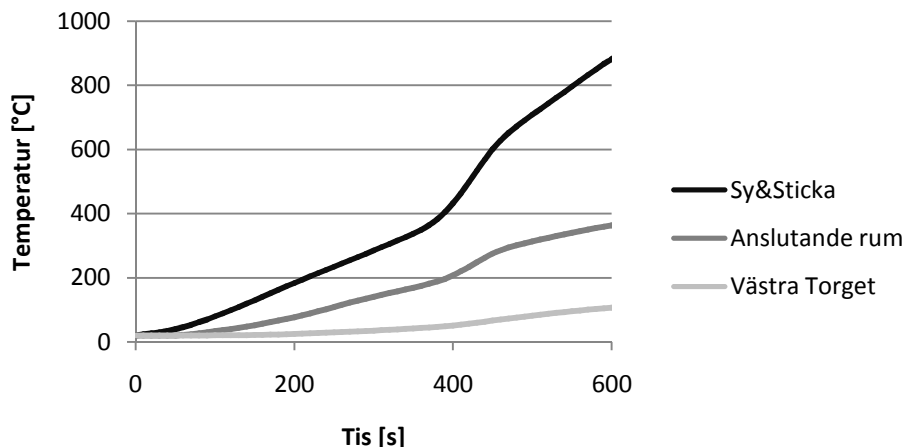
10.3 Sprinkler

Om utrymmet där branden startar är sprinklat eller ej har avgörande betydelse för hur brandförloppet kommer att utvecklas. En korrekt dimensionerad sprinkleranläggning kan snabbt begränsa eller släcka branden, vilket medför att personerna som vistas i byggnaden hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår. En av faktorerna som påverkar tiden till sprinkleraktivering är sprinklernas RTI-värde. RTI-värdet är ett mått på sprinklerbulbens termiska tröghet vilket innebär att sprinklerbulben inte momentant antar de omgivande brandgasernas temperatur.

10.3.1 Scenario 1 – Brand i Sy & Sticka

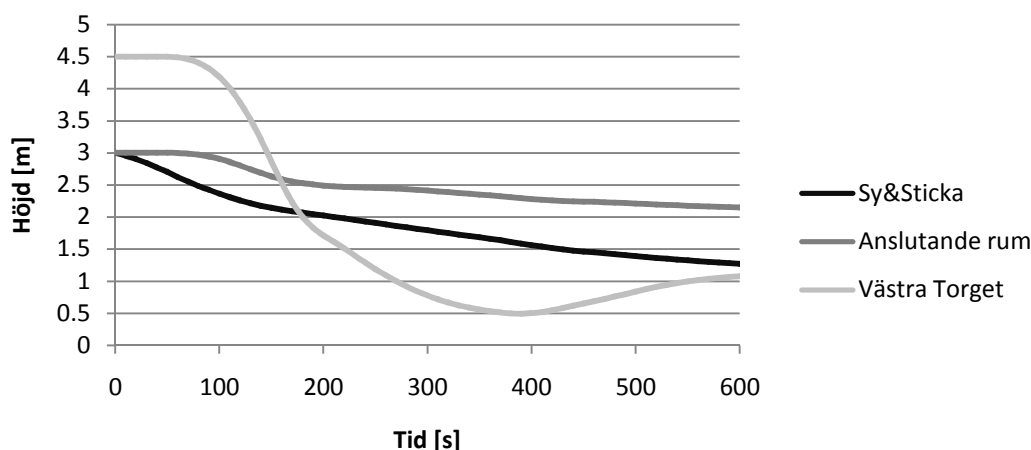
I butiken Sy & Sticka finns sprinkler installerade. Dessa löser ut med en säkerhet på cirka 95 % enligt Andersson och Wadensten, (2002). För att undersöka hur brandförloppet skulle utvecklats utan sprinkleraktivering har simuleringar för detta scenario utförts. Om inte sprinklerna löser ut kommer effektutvecklingen fortsätta att öka enligt Bilaga B, figur B.1. Nedan i figur 10.1 samt 10.2 kan utläsas brandgaslagrets höjd samt temperatur som funktion av tiden i fallet då sprinkler ej aktiverar. Observera att brandgaslagrets höjd i Västa Torget avser höjd över golvnivå på entréplan.

Brandgaslagrets temperatur



Figur 10.1. Brandgaslagrets temperatur som funktion av tiden då sprinkler ej utlöser.

Brandgaslagrets höjd över golvet



Figur 10.2. Brandgaslagrets höjd över golvet som funktion av tiden då sprinkler ej utlöser.

De första 2 minuterna 30 sekunderna av brandförloppet är likadant som i fallet *med* sprinkleraktivering. Tid till kritiska förhållanden med avseende på temperatur inträffar i detta fall efter 1 minut 30 sekunder i butiken, efter 3 minuter och 25 sekunder i gångstråket utanför samt efter drygt åtta minuter på entréplan. Ha då i åtanke att vid denna tid bör det ha skett en övertändning inne i butiken eftersom temperaturen uppnått 500-600 °C. Kritiska förhållanden med avseende på brandgaslagrets höjd inträffar efter 4 minuter och 10 sekunder i butiken, efter 3 minuter på entréplan på Västra Torget. I gångstråket utanför butiken uppstår aldrig kritiska förhållanden med avseende på brandgaslagrets höjd. Den största skillnaden mellan de två scenarierna är brandgaslagrets höjd då kritiska förhållanden med avseende på denna parameter aldrig uppstår i det sprinklade fallet. Sprinklerna bidrar till att dämpa branden och på så sätt fördröja tiden till kritisk förhållanden.

RTI-värdena för sprinklerna i byggnaden ligger i de flesta fall på $50 \text{ (ms)}^{0.5}$, dock kan det finnas någon enstaka sprinkler med högre RTI-värde enligt installationsteknikern på CE Sprinkler AB. I beräkningar har $50 \text{ (ms)}^{0.5}$ använts eftersom det antas vara representativt för byggnaden. En känslighetsanalys gjordes för att undersöka RTI-värdets betydelse. Analysen genomfördes i DetactT2 genom att

undersöka skillnaden i aktiveringstid mellan sprinkler med högre respektive lägre RTI-värde än det antagna värdet. För resultat se tabell 10.7 nedan där värdena är avrundade på 15 sekunder när.

Tabell 10.7. Tabellen visar jämförelse mellan olika RTI-värden och aktiveringstid.

RTI-värde [(ms) ^{0,5}]	Aktiveringstid [s]
25	130
50	145
75	157
100	167

Slutsatser som kan dras av känslighetsanalysen är att det skiljer 22 sekunder från den framräknade tiden med ett RTI-värde på 50 (ms)^{0,5} och det högst undersökta RTI-värdet. Denna tid, 22 sekunder, bedöms inte göra så stor skillnad med tanke på beräkningsprogrammets begränsningar (se Bilaga E). Resultat från programmet ger enbart en fingervisning om när sprinklerna utlöser och 22 sekunder bedöms ligga inom tillåtet spann för aktiveringstid om man ser till felkällor och beräkningsmetod.

För att undersöka betydelsen av sprinkleraktiveringen ytterligare undersöktes hur mycket energi som utvecklas i de båda fallen, då sprinklerna utlösts och när de ännu inte utlösts. Jämförelsen görs mellan RTI-värdet 50 (ms)^{0,5} och RTI-värdet 100 (ms)^{0,5}.

Den utvecklade energin utan sprinkleraktivering i tidsintervallet 145 till 167 sekunder är:

$$\int Q = \int at^2 = \int 0,03t^2 = \left[0,03 \frac{t^3}{3}\right]_{145}^{167} = 0,03 \cdot \frac{167^3}{3} - 0,03 \cdot \frac{145^3}{3} \approx 16000kJ$$

Förutsatt att sprinkleraktivering sker vid tiden 145 sekunder utvecklas i tidsintervallet 145 till 167 sekunder följande energi då det antas att effektutvecklingen lägger sig på konstant nivå efter sprinkleraktivering:

$$Q = \Delta t \cdot \alpha \cdot t_{aktivering} = (167 - 145) \cdot 0,03 \cdot 145^2 \approx 13900kJ$$

Skillnad i utvecklad energi är:

$$16000kJ - 13900kJ = 2100kJ$$

Skillnaden i utvecklad energi som de olika RTI-värdena ger upphov till, bedöms inte vara särskilt stor med avseende på det totala brandförloppet utvecklade energi.

10.3.2 Scenario 2 – Brand utanför Klippet och Intersport

Östra Torget saknar sprinkler på den plats där branden antas uppstå. Att installera konventionella sprinkler, liksom de som finns i butikerna, är här ingen bra lösning på grund av den stora takhöjden. Ett bättre alternativ vore att installera så kallade ESFR-sprinkler (Early Suppression Fast Response) eller liknande stordroppsprinkler.

10.3.3 Scenario 3 – Brand i Klippet

RTI-värdena för sprinklerna i byggnaden ligger i de flesta fall på 50 (ms)^{0,5}, dock kan det finnas någon enstaka sprinkler med högre RTI-värde enligt installationsteknikern på CE Sprinkler AB. I beräkningar har 50 (ms)^{0,5} använts eftersom det antas vara representativt för byggnaden. En känslighetsanalys gjordes för att undersöka RTI-värdets betydelse. Analysen genomfördes i DetactT2 genom att undersöka skillnaden i aktiveringstid mellan sprinkler med högre respektive lägre RTI-värde än det antagna värdet. För resultat se tabell 10.8 nedan.

Tabell 10.8. Aktiveringstid vid olika RTI-värden

RTI-värde [(ms) ^{0,5}]	Aktiveringstid [s]
25	62
50	71
75	77
100	83

Ur tabell 10.8 ovan kan man utläsa att det endast skiljer tolv sekunder mellan den framräknade tiden för ett RTI-värde på 50 (ms)^{0,5} och det högst undersökta RTI-värdet. Denna tid är liten i förhållande till den totala tiden för utrymning och har således liten betydelse.

10.4 Siktförhållanden

Beräkningar på siktförhållanden har genomförts för de scenarier där det är tveksamt om tvåzonsskiktning uppstår med avseende på temperatur. Dessa handberäkningar bör endast ses som vägledande då exempelvis värden för rökpotential och förbränningsenergi inte är specificerade för det aktuella bränslet i varje scenario. Dessutom har volymen på angränsande utrymmen uppskattats som en enda stor volym. Nedan följer beräkningar för att kontrollera hur stor betydelse de ingående parametrarna har.

10.4.1 Siktförhållanden – rökpotentialens betydelse

För att undersöka rökpotentialens betydelse gjordes två beräkningar, en med lägre värde för rökpotentialen och en med högre än det antagna värdet i scenariot. För beräkningarna har Scenario 1 – Brand i Sy & Sticka använts.

Massan förbränt bränsle beräknas enligt:

$$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m_f} = \frac{\ln 10}{L} \cdot \frac{V}{m_f} \Rightarrow m_f = \frac{D_L \cdot V}{D_0} = \frac{\left(\frac{\ln 10}{L}\right) \cdot V}{D_0}$$

$$D_{0_{plywood}} = 0,039 \text{ m}^2/\text{g} \Rightarrow m_{f_{plywood}} \approx 14,6 \text{ kg}$$

$$D_{0_{PVC}} = 0,39 \text{ m}^2/\text{g} \Rightarrow m_{f_{PVC}} \approx 1,5 \text{ kg}$$

där L sätts till 10 meter enligt kravet, V sätts till 2472 m³ som är en uppskattad volym av Västra Torget och angränsande utrymmen som medtagits i simuleringen i CFAST. Rökpotentialerna är hämtade från Nilsson, D. Holmstedt, G. 2007. För att få fram en kritisk tid då denna siktnedsättning infaller, beräknas tiden till att den framräknade mängden bränsle är förbränd.

$$m_f = \int_{t_0}^t \dot{m}_f dt = \int_{t_0}^t \frac{\alpha \cdot t^2}{\Delta H_c \cdot \chi} dt = \alpha \cdot \frac{(t^3 - t_0^3)}{\Delta H_c \cdot \chi \cdot 3} \Rightarrow t = \sqrt[3]{\frac{m_f \cdot \Delta H_c \cdot \chi \cdot 3}{\alpha}}$$

$$t_{plywood} \approx 5 \text{ minuter}$$

$$t_{PVC} \approx 2,3 \text{ minuter}$$

där ΔH_c sätts till 26000 kJ/kg som är ett medelvärde enligt avsnitt (bilaga B), χ sätts till 0,7 som är ett vedertaget värde för förbränningseffektiviteten för en sotande flamma och α sätts till 0,03 kW/s² och m_f sätts till respektive framräknat värde.

Det framräknade värdet för Scenario 1 är 4 minuter 30 sekunder. Det kan konstateras att rökpotentialen har stor betydelse för tiden till kritiska förhållanden med avseende på sikt, eftersom det skiljer cirka tre minuter mellan tiden till kritiska förhållanden mellan plywood och PVC.

10.4.2 Siktförhållanden – Förbränningsenergens betydelse

Massan förbränt bränsle beräknas enligt:

$$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m_f} = \frac{\ln 10}{L} \cdot \frac{V}{m_f} \Rightarrow m_f = \frac{D_L \cdot V}{D_0} = \frac{\left(\frac{\ln 10}{L}\right) \cdot V}{D_0} \approx 11 \text{ kg}$$

där L sätts till 10 meter enligt kravet, V sätts till 2472 m³ som är en uppskattad volym av Västra Torget och angränsande utrymmen som medtagits i simuleringen i CFast. D_0 sätts till 0,051 m²/g enligt Nilsson, D. Holmstedt, G. 2007, som är ett värde för rökpotentialen hos α -cellulosa vid flambrand. För att få fram en kritisk tid då denna siktnedsättning infaller, beräknas tiden till att den framräknade mängden bränsle är förbränd.

$$m_f = \int_{t_0}^t \dot{m}_f dt = \int_{t_0}^t \frac{\alpha \cdot t^2}{\Delta H_c \cdot \chi} dt = \alpha \cdot \frac{(t^3 - t_0^3)}{\Delta H_c \cdot \chi \cdot 3} \Rightarrow t = \sqrt[3]{\frac{m_f \cdot \Delta H_c \cdot \chi \cdot 3}{\alpha}}$$

$$\Delta H_{c_{polyetylen}} = 46000 \text{ kJ/kg} \Rightarrow t \approx 5,5 \text{ minuter}$$

$$\Delta H_{c_{trä}} = 15000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow t \approx 3,8 \text{ minuter}$$

där ΔH_c -värdena är hämtade från Abrahamsson, 1998. χ sätts till 0,7 som är ett vedertaget värde för förbränningseffektiviteten för en sotande flamma och α sätts till 0,03 kW/s² och m_f sätts till 11 kg.

Det framräknade värdet för Scenario 1 är 4 minuter 30 sekunder. Vid varierande ΔH_c -värden kan det konstateras att tiden fortfarande ligger inom en minuts intervall från den framräknade tiden.

10.4.3 Siktförhållanden – Rumsvolymens betydelse

Rumsvolymens betydelse undersöktes då volymen på Västra Torget i stor grad uppskattats då geometrin anpassats till simulering i CFast. En jämförelse med en större volym än den som användes i scenariot genomfördes. En volym 1000 m³ större valdes till jämförelsen, 3472 m³.

Massan förbränt bränsle beräknas enligt:

$$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m_f} = \frac{\ln 10}{L} \cdot \frac{V}{m_f} \Rightarrow m_f = \frac{D_L \cdot V}{D_0} = \frac{\left(\frac{\ln 10}{L}\right) \cdot V}{D_0} \approx 16 \text{ kg}$$

där L sätts till 10 meter enligt kravet, V sätts till 3472 m³ som är en uppskattad volym av Västra Torget och angränsande utrymmen som medtagits i simuleringen i CFast. D_0 sätts till 0,051 m²/g enligt Nilsson, D. Holmstedt, G. 2007, som är ett värde för rökpotentialen hos α -cellulosa vid

flambrand. För att få fram en kritisk tid då denna sikttnedsättning infaller, beräknas tiden till att den framräknade mängden bränsle är förbränd.

$$m_f = \int_{t_0}^t \dot{m}_f dt = \int_{t_0}^t \frac{\alpha \cdot t^2}{\Delta H_c \cdot \chi} dt = \alpha \cdot \frac{(t^3 - t_0^3)}{\Delta H_c \cdot \chi \cdot 3} \Rightarrow t = \sqrt[3]{\frac{m_f \cdot \Delta H_c \cdot \chi \cdot 3}{\alpha}}$$

$t \approx 5$ minuter

där ΔH_c -värdena är hämtade från Abrahamsson, 1998. χ sätts till 0,7 som är ett vedertaget värde för förbränningseffektiviteten för en sotande flamma och α sätts till 0,03 kW/s² och m_f sätts till 16 kg.

Det framräknade värdet för Scenario 1 är 4 minuter 30 sekunder. Vid jämförelse med det aktuella värdet på fem minuter kan det konstateras att volymens betydelse är relativt liten då en ökning av volymen på 1000 m³ anses i sammanhanget vara en stor ökning.

10.5 Persontäthet

Antalet personer som befinner sig i byggnaden är av stor betydelse vid händelse av brand. För att få fram ett troligt personantal har information om besökare per dag bearbetats. Enligt centrumledningen för Galleria Domino uppgår antalet besökare per dag under normala dagar till 15000-20000 personer. Besöksantalet dubblas vid rea- och lönehelger. Ett vedertaget värde för persontätheten i gallerior är 0,5 personer/m² (Boverket, 2006). Utifrån detta värde har simuleringarna i Simulex utförts. I centrumgången har det antagits lägre persontäthet än i butikerna och värdet 0,25 personer/m² har använts.

Det totala antalet personer i simuleringsförsöken uppgick till cirka 2700. Då detta anses vara en konservativ bedömning, det vill säga att antalet personer är extra tilltaget i förhållande till personantalet vid platsbesöket 2007-09-14, har endast en jämförelse med ett lägre personantal genomförts. I detta jämförelsefall uppgick det totala personantalet till 1500 som antas vara ett lämpligt jämförelsevärde. Minskningen av antalet personer bidrog till att gallerian utrymdes 2,5 minuter snabbare vid denna simulering. Detta visar på att det går snabbare att utrymma då personantalet är lågt. Dock skall det hållas i åtanke att vid ett högre personantal är sannolikheten större att någon person upptäcker branden i ett tidigt skede.

10.6 Rutiner i händelse av brand

Då utrymningslarmet aktiveras får personalen genast en betydelsefull roll för hur snabbt utrymningen sker. En välutbildad och kunnig personal kan i ett initialt skede av branden vidta lämpliga åtgärder, till exempel släcka mindre bränder med hjälp av befintlig släckutrustning, dock är deras huvudsakliga uppgift att underlätta utrymningen genom att till exempel meddela kunderna att de ska utrymma byggnaden snarast via närmast lämpliga utrymningsväg. Genom denna handling kan kundernas besluts- och reaktionstider förkortas, eftersom personalen då iträder sig rollen som ledare (se avsnitt 6 – Utrymning). Det kan konstateras att tiderna till det att gallerian är helt utrymd i rapportens tre huvudscenarier kan förkortas upp till en minut om personalen tar en mer aktiv roll i utrymningsförfarandet. Detta grundar sig på en optimal situation där personalen i samma sekund som utrymningslarmet ljuder beordrar kunderna att påbörja sin förflyttning mot utgångarna. På så sätt reduceras besluts- och reaktionstiden för människorna i gallerian då utrymningslarmet aktiverats.

Undersökningar har visat att människor föredrar att utrymma via samma väg som de kom in då en nödsituation uppstår, vilket i detta fall innebär de stora huvudentréerna på entréplan (Frantzich, 2000). För att istället få människor att använda de brandtekniskt avskilda utrymningsvägarna som

finns på både entré- och källarplan kan personalen även där fylla en viktig funktion. En simulering i Simulex där samtliga utrymningsvägar används optimalt visar att en tidsvinst på upp till 2 minuter 30 sekunder kan uppnås.

11 Slutsats och utvärdering

Efter analys av simuleringar och handberäkningar och med beaktande av de begränsningar och antaganden som gjorts dras slutsatsen att Galleria Domino kan utrymmas utan allvarligare konsekvenser för personsäkerheten.

Följande avsnitt utvärderar larm och detektorer, automatisk vattensprinkleranläggning, utrymning, organisatoriskt brandskydd, känslighetsanalys och simuleringsprogram.

11.1 Larm och detektorer

Galleria Domino är försedd med ett informativt talat utrymningsmeddelande vilket är positivt ur utrymningssynpunkt. Undersökningar visar nämligen att ett talat meddelande, till skillnad från en traditionell ringklocka, kan förkorta besluts- och reaktionstiden vid en nödsituation. (Frantzich, 2000)

Hela Galleria Domino är inte försedd med detektion i form av rökdetektorer, utan man har prioriterat allmänutrymmen som gångstråk och entréer. Önskvärt vore att även samtliga butiker förses med rökdetektorer, då dessa aktiverar utrymningslarmet ibland minuter före sprinkleranläggningen aktiverar. Att brandlarmet sänds direkt till räddningstjänsten vid larm är positivt, eftersom larmlagring hade varit svårt utifrån två perspektiv, dels att gallerian är väldigt stor till ytan, dels att det idag inte finns någon självklar funktion som skulle kunna sköta denna typ av uppdrag. Dessutom har inte Galleria Domino någon historia av onödiga larm, vilket egentligen är huvudsyftet att förhindra med larmlagring. Om fler detektorer installeras enligt stycket ovan, kan det leda till att så kallade onödiga larm uppstår. För att i sådana fall råda bot på detta, kan larmlagringsfunktion övervägas.

En annan möjlighet för att aktivera utrymningslarmet tidigare, är att varje butik förses med larmtryckknappar, som personalen själva kan utlösa. Detta kräver dock att personalen är utbildad, läs mer om detta i avsnitt 11.4 nedan. Om larmtryckknappen ger larm, ska detta omedelbart vidarebefordras till räddningstjänsten utan larmlagring. Detta kan ses som ett alternativ till rökdetektion i varje butik, då personalen alltid är närvarande vid gallerians öppethållande, nattetid finns inget omedelbart behov av snabb detektering med avseende på personsäkerheten.

11.2 Automatisk vattensprinkleranläggning

Att Galleria Domino är utrustad med automatisk vattensprinkleranläggning är positivt, både ur ett personsäkerhetsperspektiv och ur egendomsskyddsperspektiv. Problemet är dock att detektionen och därmed utrymningslarmets aktivering till stor del beror av sprinkleraktivering vilket i många fall kan försena utrymningsförfarandet. En del sprinklerhuvuden har olämplig placering i förhållande till balkarna i taket som många gånger kan försämma sprinklernas strålbild avsevärt och i värsta fall medföra att vattendropparna inte når fram till branden.

Sprinklerbulberna som dominerar i gallerian har RTI-värde på $50 \text{ (ms)}^{0,5}$, vilket innebär att aktiveringstiden är kortare i förhållande till äldre sprinklermodeller med högre RTI-värde.

11.3 Utrymning

Att utrymma Galleria Domino är vid mindre allvarliga brandtillbud inga problem, därmed inte sagt att det inte kan bli bättre. Det är inte säkert att utrymningsvägar används i den utsträckning som de hade kunnat användas vid nödsituationer, skyltningen var i vissa fall inte helt enligt normkrav och dessutom förekom mycket brännbart material i utrymningsvägarna vid platsbesöket. Skyltningen till utrymningsvägarna ska vara inbjudande och det skall dessutom vara lätt att förstå var utrymningsvägen leder (Boverket, 2006). Ett bra och kostnadseffektivt alternativ är efterlysande

markeringar i form av linjer på golvet som med pilar visar utrymningsriktningen i utrymningsvägen. Vid platsbesöket kunde det konstateras att skyltningen i utrymningsvägar i vissa fall var ottydlig.

Det är av största vikt, att personalen är införstådd med varför utrymningsvägarna finns och hjälper till att hålla dem fria från brännbart material samt är noga med att hålla branddörrar stängda. Att branddörrar exempelvis kilas upp kan innebära livsfara i och med att utrymningsvägen blockeras på grund av brandgaser. Det är av stor betydelse att utrymnet utanför hissarna på källarplan hålls fritt då hissarna vid brandlarm åker till denna våning och förblir stående med öppna dörrar. Denna funktion bör ses över då den inte är den mest ultimata. En idé är att hissen vid brandlarm, förutsatt att den är i rörelse, återgår till den våning där personerna i fråga steg på.

En annan viktig del för att underlätta och möjliggöra utrymning är att vara noga med att brandcellsgränserna i byggnaden bibehålls och att genomföringar och installationer inte tillåts bidra till brandgasspridning till exempelvis utrymningsväg.

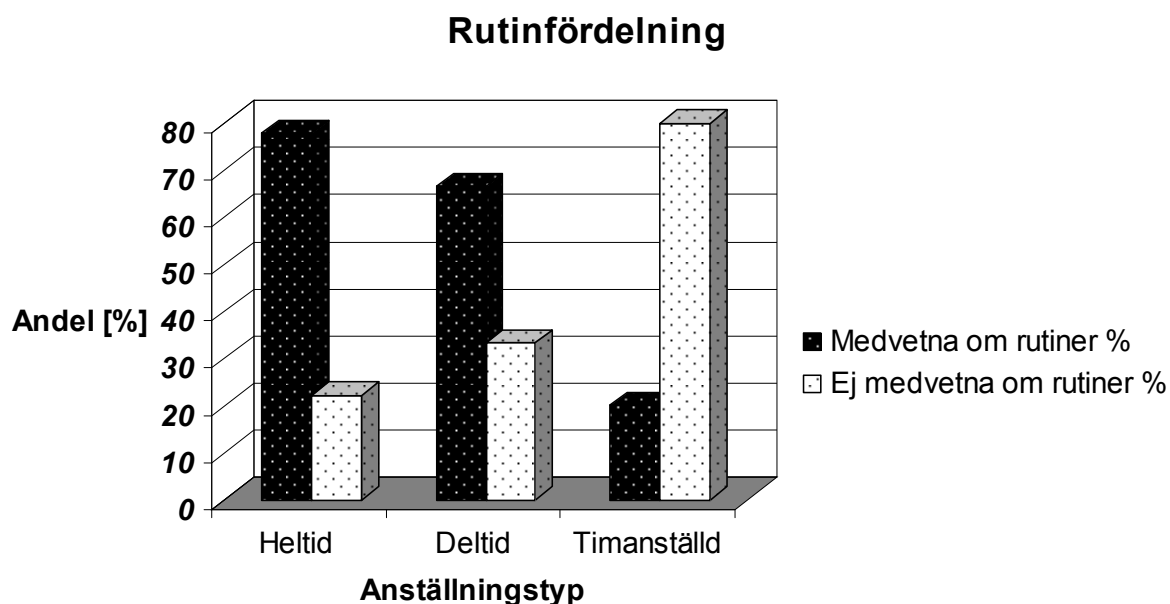
Rörelsehindrade som befinner sig på källarplan kan ha problem med att utrymma. Den enda utrymningsvägen de kan använda utan hjälp är via varuintaget där en rullstolsramp finns, i övrigt är det trappor i alla alternativa utrymningsvägar. Man bör därför tänka över hur detta skall förtydligas för kunderna.

Utrymningsövningar bör genomföras minst en gång per år och det är önskvärt att samtlig personal, heltid- som deltidsanställd medverkar så ofta det är möjligt, åtminstone som observatörer.

11.4 Organisatoriskt brandskydd

Vid enkätundersökning bland personal i köpcentrets butiker kunde det konstateras att kunskaperna kring rutiner vid brand är varierande. Viss personal i butikerna vid entréerna var ej medvetna om att det fanns specifika rutiner som de skall följa vid eventuell utrymning.

I figur 11.1 visas rutinfördelningen hos de anställda beroende på anställningsform. Man kan se att det är en markant skillnad i rutinmedvetenhet hos de timanställda gentemot de andra anställningsformerna.



Figur 11.1. Rutinfördelning hos de olika anställningstyperna i Dominos butiker.

Utifrån enkätundersökningens sammanställning stod det klart att kunskaperna kring rutinerna vid brand var varierande. Det är önskvärt att ledningen för Galleria Domino utarbetar riktlinjer för hur dessa rutiner skall nå ut till samtlig personal i de olika butikerna och för hur man skall göra personalen medveten och intresserad av riskerna som förekommer brand. En idé för att öka denna kunskap, då det är förståeligt att små butiker med begränsad budget prioriterar bort säkerhetsfrågorna, är att från ledningen genomföra stickprov där man undersöker om butikerna informerar sina anställda kring gällande rutiner.

Personalens utbildning har stor betydelse för snabb och säker utrymning. Personalen ska agera som auktoriteter och förväntas också göra det i en nödsituation. En utbildad personal är i närmast att likställas med kunder i det avseendet att man inte kan ge någon vägledning som förkortar besluts- och reaktionstiden. I samband med den årliga utrymningsövningen kan personalen utbildas i allmän brandkunskap samt vid behov få prova att släcka med handbrandsläckare. Brandförsvaret i Norrköping tillhandahåller dessa typer av utbildningar.

En viktig del av brandskyddet är att hindra inströmning av nya kunder vid en nödsituation dels genom entréerna och dels genom parkeringsgaraget. I nuläget stoppas inte trafiken vid larm men är en åtgärd man bör överväga. Butikerna närmast de olika entréerna har som uppgift att leda folk ut och hindra återinströmning och har därför blivit tilldelade gula västar och ficklampor. Det kan dock konstateras att flera av de berörda butikerna inte är medvetna om dessa rutiner. För att ytterligare påskynda och effektivisera utrymningsförfarandet kan butiker närmast andra utrymningsvägar än huvudentréerna också bli tilldelade liknande uppgifter, detta för att göra människor medvetna om vilken väg ut som är snabbast.

11.5 Känslighetsanalys

Persontätheten är den parameter som får mest avgörande betydelse för den totala utrymningstiden. Då personantalet minskades med 1200 personer till 1500 personer vilket kan tänkas vara representativt för en vanlig vardag, sjönk den totala utrymningstiden med hela 2 minuter 30 sekunder enligt simulering i Simulex.

När de brandtekniskt avskiljda utrymningsvägarna användes på ett optimalt sett i simuleringarna, förkortas även då den totala utrymningstiden med 2 minuter 30 sekunder. Slutsatsen av detta är att tillfredställande skyltning av utrymningsvägarna samt en välutbildad personal som hänvisar till dessa, förkortar utrymningstiden lika mycket som om det skulle ha befunnit sig 1200 personer färre i gallerian.

Det bör poängteras att de tider som presenteras i rapporten skall användas med försiktighet annat än vid jämförelser dem emellan. Om man ser till simuleringsprogrammets begränsningar och de antaganden som gjorts är tiderna endast att ses som riktmärken.

11.6 Simuleringsprogram

En stor del av arbetet utgörs av simuleringar i diverse datorprogram. Det skall dock påpekas att dessa simuleringar bör granskas med kritiska ögon, eftersom programmen är lättillgängliga och kan förefalla lätthanterliga av användaren. I princip kan vem som helst få programmen att fungera och få ut någon sorts resultat, men här krävs specialkunskaper för att möjliggöra en korrekt användning av programmen. Exempelvis måste geometrin förhålla sig på ett visst sätt i CFAST, antalet rum som kan simuleras är begränsat och dessutom följer åtskilliga antaganden med programmet som användaren måste känna till. När väl detta är känt kan programmen användas som kraftfulla verktyg vid en brandteknisk riskvärdering.

Det kan konstateras att väldigt många simuleringar har genomförts för varje scenario och att alla dessa tillsammans utgör grunden för slutsatserna i rapporten tillsammans med de kontrollerande handberäkningarna. Eftersom dessa stämmer relativt väl överens och ingående parametrar har kontrollerats i känslighetsanalysen, vill vi påstå att resultaten är trovärdiga.

12 Förslag till åtgärder

Efter att resultaten från rapporten har bearbetats, har diskussion förts kring vilka åtgärder som kan bidra till förbättring av personsäkerheten vid händelse av brand i Galleria Domino. Förslag på åtgärder presenteras nedan.

Följande bör vara föremål för *omedelbar* åtgärd

- En organisation för rutiner, övningar samt utbildning av personal skall tillsättas.
- Brandcellsgränser och genomföringar i dessa skall ses över.
- Utrymningsvägar skall hållas fria och branddörrar skall fungera tillfredställande och får ej blockeras.
- Skyltning till utrymningsvägar skall ses över.

Följande bör vara föremål för åtgärd *inom kommande investeringsår*

- Sprinklerhuvudernas placeringar bör ses över.
- Installation av rökdetektorer i samtliga utrymmen bör genomföras.
- Placering av brännbart material i gångstråken bör ses över.
- Organisationen kring det systematiska brandskyddsarbetet, SBA, bör ses över.

Det vore dessutom önskvärt att installera larmtryckknappar i butikerna.

Det skall poängteras att vissa av de åtgärdsförslag som tagits upp är en del i ett bra och fungerande systematiskt brandskyddsarbete. Förslagen har trots detta presenterats som enskilda punkter för att tydligare påvisa brister och förslag till förbättringar.

13 Validering

Följande avsnitt validerar de åtgärder som presenteras i avsnitt 12.

13.1 Organisation för rutiner, övningar samt utbildning av personal

En väl fungerande organisation som sköter utbildning av personalen och övningar ses som ett viktigt steg i rätt riktning. Det är av största vikt att samtlig personal vet vilka gällande rutiner är och kan handla därefter. Med rapporten som grund, förutsatt att personalen har rutiner för att snabbt slussa människor i gallerian till rätt utrymningsväg vid larm, kan vi konstatera att en motsvarande tidsvinst som om personantalet i gallerian närmast halverats kan uppnås. För att upprätthålla denna beredskap *skall* utrymningsövningar hållas minst en gång per år.

Även utgången av en brand beror, vågar vi påstå, till stor del av personalens utbildning. Om personalen tränats i att släcka brand med exempelvis handbrandsläckare eller med hjälp av fasta brandposter, är sannolikheten stor att så även kommer att ske vid ett verkligt brandtillbud. Om branden släcks i ett tidigt skede, kommer således kritiska förhållande ej att uppstå och personsäkerheten är säkerställd. Detta medför i sin tur att stora ekonomiska värden räddas för både nyttjanderättsinnehavare och fastighetsägare.

13.2 Brandcellsgränser och genomföringar

Att se över befintliga brandcellsgränser och genomföringar är ett måste för att utrymning skall kunna ske på ett säkert sätt med hjälp av Galleria Dominos alla utrymningsvägar. Den tidsvinst om två till tre minuter som uppnås enligt punkten ovan, blir snarare en försening om det visar sig att de brandtekniskt avskiljda utrymningsvägarna är rökfyllda och i praktiken omöjliggör en säker utrymning. Därför skall samtliga brandcellsgränser och genomföringar i form av exempelvis rör- och kabeldragningar ses över. Särskilt viktigt är detta på källarplan, där rörelsehindre utrymmer via utrymningsväg till lastkaj. Rutiner för hur detta skall ses över *skall* tas fram.

13.3 Utrymningsvägar skall hållas fria och branddörrar skall fungera tillfredställande

Att placera brännbart material i utrymningsvägar är ej tillåtet. Detta eftersom utrymningsvägarna då kan blockeras av brand och brandgaser. Branddörrar får ej ställas upp med kilar eller liknande, då detta i händelse av brand kan medföra brandgasspridning till utrymningsväg och på så sätt hindra att säker utrymning kan ske. Dock är det tillåtet att ha magnetuppställda branddörrar som automatiskt stängs vid brandlarmsaktivering. Rutiner för hur detta ska ses över *skall* tas fram.

13.4 Skyltning till utrymningsväg

Att skyltningen till utrymningsvägar är tydlig är viktigt för att möjliggöra en snabb utrymning av Galleria Domino. Ett mycket kostnadseffektivt alternativ är en efterlysande linje på golvet, som med pilar visar utrymningsriktningen och på så sätt förtydligar utrymningsstrategin. På strategiska platser, exempelvis vid entréer och gångstråk, bör utrymningsplaner monteras och utrymningsstrategin förklaras. Det *skall* exempelvis förtydligast att rörelsehindre, som befinner sig på källarplan, med fördel utrymmer via varuintaget.

Att på ett tydligt sätt förmedla var utrymningsvägarna finns, blir särskilt viktigt i Galleria Domino då exempelvis Östra eller Västra Torget blockeras av brandrök. Detta eftersom människor då inte kan använda alla de normala in- och utgångarna utan tvingas välja en för dem okänd utrymningsväg. Butiker som är placerade nära utrymningsvägar i gångstråken, kan spela en viktig roll under utrymningsförloppet. Om dessa utrustas med liknande varselplagg som butikerna kring

huvudentréerna, kan man på ett enkelt och snabbt sätt slussa människor rätt. Dessutom blir det tydligt för personerna som vistas i gallerian vem som är auktoritet.

13.5 Sprinklerhuvudenas placering

Hur sprinklerhuvud placerats i Galleria Domino *bör* ses över vartefter gallerian renoveras. Detta eftersom många tak har komplicerade balkar som leder till att brandgaser dels ansamlas och dels kyls kraftigt. Hur stor effekt detta får för sprinkleraktiveringen har inte utretts vidare i denna rapport, men generellt gäller att balkar försenar sprinklerutlösning och därmed tiden till att utrymningslarmet aktiveras.

13.6 Installation av rökdetektorer i samtliga utrymmen

För att ytterligare minska tiden till att utrymningslarmet aktiverar och på så sätt påskynda utrymningen, *bör* rökdetektorer installeras i samtliga utrymmen. Att installera rökdetektorer direkt ovanför Östra Torget och i butiken Klippet medför en tidsvinst till att utrymningslarmet aktiverar på cirka en halv minut. En tidig upptäckt brand medför också att sannolikheten för att personalen med hjälp av exempelvis handbrandsläckare skall kunna släcka branden ökar och därmed säkerställs utrymningsförfarandet för personerna i Galleria Domino.

13.7 Placering av brännbart material i gångstråk

Med utgångspunkt från brandscenariot utanför Klippet och Intersport (scenario 2) kunde det i rapporten konstateras att kritiska förhållanden uppstod på Östra Torget. Däremot, när branden placerades inuti en butik (scenario 3) uppstod kritiska förhållanden på Östra Torget efter längre tid och då enbart med avseende på siktberäkningar som är mycket osäkra. Detta medför att man ej *bör* placera brännbart material i gångstråken som kan medföra att utrymningsförfarandet försvåras. Klädställningar och andra typer av lockvaror *bör* alltså placeras i butikerna.

13.8 Organisation kring det systematiska brandskyddsarbetet

Eftersom Galleria Domino består av många olika butiker *bör* organisationen kring det systematiska brandskyddsarbetet ses över. Detta för att Centrumledningen lättare ska ha möjlighet att sammanställa den befintliga nivån på brandskyddet i gallerian. Exempelvis kan man anordna möten en gång per halvår där samtliga butikschefer deltar och tillsammans med Centrumledningen gå igenom det systematiska brandskyddsarbetet. På så vis får Centrumledningen en naturlig kommunikationsväg ut till de olika butikerna och förståelsen för brandskyddet som helhet ökar bland personalen. En bra form för detta är att arbeta med delmål, där man exempelvis bestämmer sig för att kommande sex månader särskilt arbeta för att utrymningsvägarna hålls fria från brännbart material.

13.9 Larmtryckknappar

Anledningen till att vi valt att föreslå larmtryckknappar som ett önskvärt alternativ är främst ur ett ekonomiskt perspektiv. Tidigare har det föreslagits att rökdetektorer *bör* placeras i samtliga utrymmen, men då detta är ett förhållandevis dyrt alternativ kan man istället välja att installera larmtryckknappar i varje butik, förutsatt att personalen har adekvat brandutbildning. Med utbildning menar vi att man skall vara så pass förberedd på en nödsituation att man som personal utan att tveka larmar räddningstjänsten via denna larmtryckknapp. Rökdetektorer är dock ett bättre och säkrare alternativ.

14 Referenser

14.1 Litteratur

- Abrahamson, M. (1998), *Scenariotänkande vid brandsyn – utrymning av samlingslokaler*, Räddningsverket, Karlstad
- Andersson, M. Wadensten, K. (2002), *Brandteknisk Riskanalys – Indata, metodik och osäkerhetsanalys*, Rapport 5080, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund
- Bengtsson, L-G. (2001), *Inomhusbrand*, Räddningsverket, Karlstad
- Bengtson et al. (2002), *Brandskyddshanboken*, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund
- Boverket (2006), *Utrymningsdimensionering*, Boverket, Karlskrona
- Boverket (2005), *BBR, Boverkets byggregler, BFS 1993:57 med ändringar till och med 2005:17*, Boverket, Karlskrona
- Drysdale, D. (1998), *An Introduction to Fire Dynamics*, 2nd edition, John Wiley and Sons, Chichester
- Frantzich, H. (2000), *Tid för utrymning vid brand*, Räddningsverket, Karlstad
- Hultquist, H. (2000), *Simulating Visibility in HAZARD 1/CFast*, Rapport 7010, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund
- Johansson, B. (2004), *Analys av utrymningssäkerheten vid brand hos nattklubben Underbar i Skellefteå*, Rapport 5135, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund
- Jones, W et al. (2005), *Technical Reference Guide*, NIST - National Institute of Standards and Technology, Washington
- Karlsson, B. Quintiere, J.G. (2000), *Enclosure Fire Dynamics*, CRC Press, Boca Raton
- Nationellt centrum för lärande från olyckor (2007), *Räddningstjänst i siffror*, Räddningsverket, Karlstad
- Nilsson, D. Holmstedt, G. (2007), *Kompendium i aktiva system*, Lunds Tekniska Högskola, Lund
- Särdqvist, S. (1993), *Initial Fires. RHR, Smoke Production and CO Generation from Single Items and Room Fire Tests*, Rapport 3070, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund
- ISO/WD 13390. (1995), International Organization for Standardization

14.2 Internet

- NIST, *National Institute of Standards and Technology*, <http://www.fire.nist.gov>, [hämtad 2007-10-02]
- SFS 2003:778, Notisum, <http://www.notisum.se/rnp/sls/lag/20030778.htm> [hämtad 2007-11-13]

14.3 Muntliga källor

Cucas, M. Brandingenjör, Norrköpings Brandförsvär, september 2007

Frantzich, H. Universitetslektor, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2007

Gojkovic, D. Universitetsadjunkt, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2007

Holmstedt, G. Professor, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, oktober 2007

Nilsson, D. Doktorand, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, september 2007

Røjås, J. Brandingenjör, Fire AB, september 2007

Wickström, U. Avdelningschef vid Brandteknik vid SP, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, oktober 2007.

Bilaga A - Nomenklatur

A	Area [m ²]
A _f	Flammans area [m ²]
A ₀	Total öppningsarea [m ²]
C _p	Specifika värmnet vid konstant tryck [kJ/kgK]
D	Brandens bottendiameter [m]
D ₀	Rökpotential [m ² /g]
D _L	Optisk densitet per meter [m ⁻¹]
g	Gravitationskonstant [m/s ²]
H	Höjd [m]
H ₀	Öppningshöjd [m]
L	Längd [m]
L _f	Flamhöjd [m]
m	Massa [kg]
\dot{m}_a	Massflöde omgivande luft [kg/s]
m _f	Massa förbränt bränsle [kg]
\dot{m}_p	Massflöde i plymen [kg/s]
\dot{q}''	Strålningsintensitet [kW/m ²]
Q	Energi [kJ]
\dot{Q}	Effekt [kW]
RTI	Response time index [ms] ^{1/2}
T _a	Luftens temperatur [K]
V	Volym [m ³]
W	Bredd [m]
z	Brandgaslagrets höjd över golvet [m]
α	Tillväxtkonstant [kW/s ²]
ΔH _c	Förbränningsenergi [kJ/kg]
ρ _a	Luftens densitet [kg/m ³]
χ	Förbränningseffektivitet [-]
φ	Synfaktor [-]

Bilaga B - Effektkonstruktion Sy & Sticka

I scenario 1 har en α^2 -kurva använts för att beskriva brandförloppet. I följande avsnitt beskrivs resonemang kring konstruktion av effektkurvan i Scenario 1 – Brand i Sy & Sticka.

B.1 α -värdet

I Sy & Sticka finns mycket textilier och garn. Detta kan approximeras som brand i kläder av varierande material. Vid studier av effektutvecklingskurvor för olika textilmaterial konstaterades det att brand i dessa har en snabb tillväxthastighet. Kurvans utformning tyder på att branden tillväxer enligt en α^2 -kurva. Enligt tabellvärdena nedan varierar tillväxthastigheten mellan *medium* och *ultrafast*. För att ta hänsyn till textiliernas olika material väljs tillväxthastigheten till ett medelvärde, *fast*. I butiken ligger garn i hyllor och kan lätt spridas till nästa hyllfack. I tabell 16.1 nedan redovisas ΔH_c -värden och tillväxthastigheter för olika material.

Tabell B.1. Tabellen visar ΔH_c -värden samt tillväxthastighet för olika textilier. (Abrahamsson, 1998)

Material	ΔH_c (MJ/kg)	Tillväxthastighet
Bomull	15-20	F, UF
Polyester	22-30	F, UF
Rayon	14-20	F, UF
Akryl	30	F, UF
Nylon	30-32	M, F
Ylle	20-27	M, F
Träinredning	15-20	M, F
Polypropen	46	M

För att även ta hänsyn till övriga material i butiken så som trä, plast och stål anpassas värdet ytterligare. Enligt Abrahamsson har trä en tillväxthastighet på *medium* till *fast*, plast ligger närmare *medium*. Tillväxthastigheten i scenariet ansätts därför till ett värde mellan *medium* och *fast*, **0.03 kW/s²**. ΔH_c -värdet ansätts till ett medel mellan de material som antagits delta i branden i Sy & Sticka. Värdet blir då **26 MJ/kg**.

B.2 Maximal effektutveckling

α^2 -kurvan tillväxer i all oändlighet, men i butiken Sy & Sticka erhålls en maximal effektutveckling beroende på ventilationsöppningar. Det undersöktes om branden blev ventilationskontrollerad. Detta beror på öppningsarean och i förenklade formler tar man hänsyn till just öppningsarean, höjden på öppningen, andelen syre i luft samt hur stor effektutveckling ett kilogram syre tillåter.

Butiken:

Bredd: 9 m

Längd: 13 m

Höjd, H_0 : 3 m

Area: 117 m²

Volym: 351 m³

Öppningsarean, A_0 , är $2,96\text{m} \cdot 2,7\text{m} (b \cdot h) = 7,992\text{m}^2$

Flödet av luft in i lokalen beräknas med hjälp av öppningens geometri.

$$\dot{m}_a = A_0 \cdot \sqrt{H_0} \cdot 0,5 \text{ (kg/s)}$$

Andelen syre av inflödet luft beräknas.

$$\dot{m}_{O_2} = 0.23 \cdot \dot{m}_a \text{ (kg/s)}$$

Syret i luftflödet in genom öppningsarean bestämmer hur stor effektutvecklingen kan bli i rummet. Då ett kilogram syre förbränns bildas 13,1 MJ

$$\dot{Q} = \dot{m}_{O_2} \text{ kg/s} \cdot 13,1 \text{ MJ/kg (MW)}$$

I fallet Sy & Sticka tillåter öppningsarean in till butiken en effektutveckling på 19,8 MW. Denna effektutveckling nås under stökiometriska förhållanden vilket sällan inträffar i verkligheten. Man ska ta i beaktning att den verkliga effektutvecklingen är betydligt lägre än den framräknade.

Nedanstående uttryck beskriver tid till maximal effektutveckling.

$$t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{19,8 \cdot 10^3}{0,03}} = 812 \text{ s} \approx 14 \text{ min}$$

Beräkning av den energi som frigjorts under ovanstående tid görs genom integrering.

$$\int \dot{Q} dt = \int_0^{812} \alpha \cdot t^2 dt \rightarrow Q = \left[\frac{\alpha \cdot t^3}{3} \right]_0^{812} = \frac{0,03 \cdot 812^3}{3} = 5354 \text{ MJ}$$

ΔH_c -värdet antas vara ett medel av värdena för materialen bomull, ylle, polyester samt nylon samt de övriga materialen trä och plast. Värdet är 26 MJ/kg. Nu kan mängden material beräknas som behövs för att utveckla den maximala effektutvecklingen. Förbränningseffektiviteten, χ , ansätts till 0,7. Beräkningen görs med hjälp av nedanstående uttryck.

$$Q = \Delta H_c \cdot m \cdot \chi \rightarrow m = \frac{5354}{26 \cdot 0,7} = 294 \text{ kg}$$

Mängden 294 kg bränsle antas finnas i butiken. Den maximala möjliga effektutvecklingen i butiken sätts därför till 19,8 MW. Att beakta är att detta enbart är intressant för den rent tekniska utformningen av en effektkurva. Vid tiden då denna effektutveckling uppnåtts har räddningstjänsten redan påbörjat sin insats.

Dock är butiken Sy & Sticka försedd med automatisk vattensprinkleranläggning som efter aktivering begränsar brandens effektutveckling till en konstant nivå. Sprinklerna löser ut efter 145 sekunder (för beräkning se avsnitt B.5) och efter denna tidpunkt är effekten från branden följande:

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 = 0,03 \text{ kW/s}^2 \cdot 145^2 \text{ s}^2 = 0,6 \text{ MW}$$

B.3 Konstruktion av effektkurva

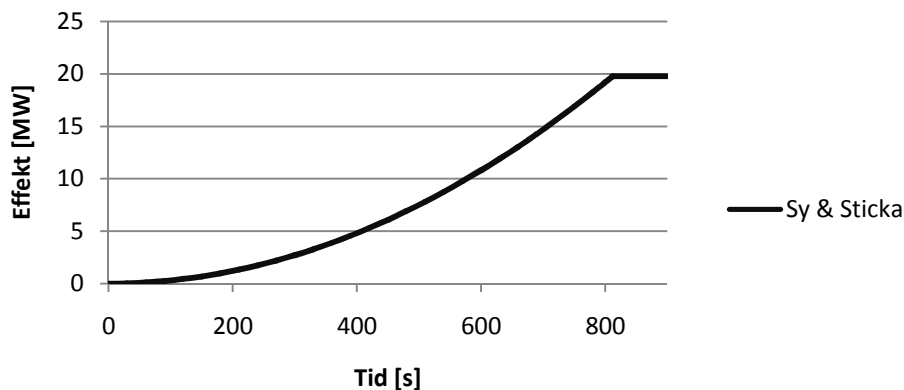
Effektutvecklingskurvan har utformats utifrån det framräknade α -värdet, som är ett medel mellan de olika ingående materialens α -värden. Maximal effekt sattes till 19,8 MW, det högsta tillåtna värdet om man ser till ventilationsöppningar i butiken. Vid sprinkleraktivering var maximal effekt 0,6 MW. För tid till sprinkleraktivering, se avsnitt B.5 nedan.

B.4 Effektkurva

I figur B.1 visas den framtagna effektkurvan för scenariobranden i Sy & Sticka då sprinklerna ej utlöser. I figur B.2 visas den framtagna effektkurvan för scenariobrand i Sy & Sticka då sprinkler

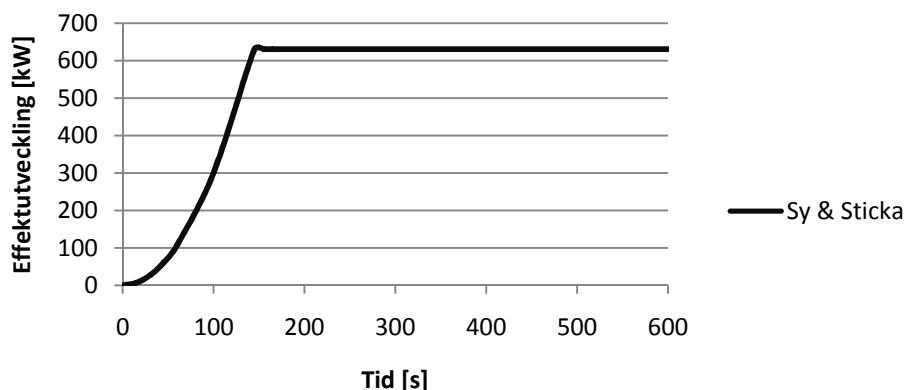
utlöser. Då sprinklerna utlöser antas effektutvecklingen lägga sig på en konstant nivå. För beräkning av tid till sprinkleraktivering, se avsnitt B.5.

Effektutveckling Sy & Sticka utan sprinkler



Figur B.1. Diagrammet visar effektutveckling i butiken Sy & Sticka som funktion av tiden då sprinklerna ej utlöser

Effektutveckling Sy & Sticka med sprinkler



Figur B.2. Diagrammet visar effektutveckling i butiken Sy & Sticka som funktion av tiden vid sprinkleraktivering.

B.5 Tid till sprinkleraktivering

I Galleria Domino är sprinklerna installerade vid olika tidpunkter och har därför olika RTI-värden. Enligt den firma som installerat sprinklerna, CE Sprinkler i Nyköping, har merparten av sprinklerna ett RTI på $50 \text{ (ms)}^{0,5}$. Tiden till sprinkleraktivering har beräknats i programmet DetactT2 (för information om programmet se Bilaga E, avsnitt E.3). Ingående data:

Begynnelsetemperatur	20 °C
RTI-värde	$50 \text{ (ms)}^{0,5}$
Aktiveringstemperatur	68 °C
Takhöjd	3 m
Sprinkleravstånd	3 m
Brandtillväxt	0.03 kW/s^2
Aktiveringstid	145 s

Det har inte tagits hänsyn till någon förbrinntid eftersom en αt^2 -kurva används till att ta fram en effektkurva.

Tiden till sprinkleraktivering ligger på 145 sekunder, och i praktiken innebär detta att aktiveringstiden ligger någonstans runt 2,5 - 3 minuter.

B.6 Tid till detektoraktivering

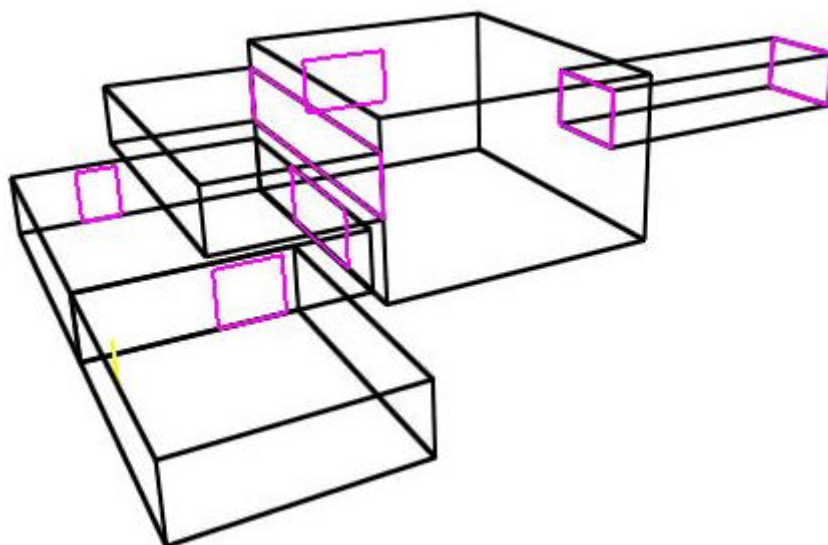
Utanför butiken Sy & Sticka finns en rökdetektor. Aktiveringstiden beräknades med DetactT2 med följande indata:

Begynnelsestemperatur	20 °C
RTI-värde	0,1 (ms) ^{0,5}
Aktiveringstemperatur	33 °C
Takhöjd	3 m
Avstånd	20 m
Brandtillväxt	0.03 kW/s ²
Aktiveringstid	229 s

RTI-värdet sätts till 0,1 (ms)^{0,5} eftersom den termiska trögheten hos en rökdetektor i praktiken är försumbar i jämförelse med exempelvis en sprinklerbulb. Att aktiveringstemperaturen sätts till 33 °C grundar sig på diskussionen i kapitel 18 i Brandskyddshandboken (Bengtson et al. 2002), där en 13-gradig temperaturökning relativt omgivningens temperatur skulle motsvara en modell för hur en rökdetektor aktiverar. Det finns också nyare forskning som visar på att det vore lämpligt att sätta aktiveringstemperaturen till en temperaturökning på 4-5 °C, men det 13-gradiga antagandet är i detta fall konservativt (Nilsson, D. Holmstedt, G. 2007). Avståndet 20 meter innebär att det längsta avståndet till en detektor är 10 meter, det vill säga att DetactT2 förutsätter en brand på den sämsta platsen relativt detektorerna.

B.7 Simulering i CFast

Vid simulering i CFast byggdes följande geometri upp för att efterlikna brandförlopp i butiken Sy & Sticka. För indatafil, se avsnitt E.1.5.



Figur B.3. Figuren visar geometrin som byggdes upp för att simulera Sy & Sticka i CFast. Sy & Sticka är lokalen närmast i bild.

B.8 Siktberäkningar

Vid simulering i CFast konstaterades att tvåzonsskiktning ej kommer att inträffa i Västra Torget då brand i Sy & Sticka föreligger. Enligt avsnitt 6.2.4 är kraven på siktbarheten vid utrymning minst fem meter i brandrummet och minst tio meter i utrymningsvägarna. Eftersom kritiska förhållanden uppstår med avseende på temperatur kommer fem-meterskravet i butiken ej att tas hänsyn till.

Sikten i ett brandrum med omblandade förhållanden kan enligt Nilsson, D. Holmstedt, G. 2007, beräknas med:

$$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m_f} = \frac{\ln 10}{L} \cdot \frac{V}{m_f} \quad [m^2/g]$$

vilket antar att brandgaserna är väl omblandade i hela rummets volym. Eftersom brandgaserna sprids i alla riktningar kommer koncentrationen brandgaser att minska med ökande avstånd från brandrummet. Vid beräkningarna antas att brandgaserna momentant omblandas och så förblir under beräkningens gång. Samtliga förbränningsprodukter, m_f , antas bidra till siktbedrägningen utan förluster i brandrummet.

$$\dot{Q} = \dot{m}_f \cdot \Delta H_c \cdot \chi = \alpha \cdot t^2 \Rightarrow \dot{m}_f = \frac{\alpha \cdot t^2}{\Delta H_c \cdot \chi} \quad [g/s]$$

För att beräkna massan förbränt bränsle integreras från brandstart, t_0 , till den aktuella tiden t :

$$m_f = \int_{t_0}^t \dot{m}_f dt = \int_{t_0}^t \frac{\alpha \cdot t^2}{\Delta H_c \cdot \chi} dt = \alpha \cdot \frac{(t^3 - t_0^3)}{\Delta H_c \cdot \chi \cdot 3} \quad [g]$$

För att beräkna tiden till kritiska förhållanden uppstår, löses massan ut ur den första ekvationen:

$$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m_f} = \frac{\ln 10}{L} \cdot \frac{V}{m_f} \Rightarrow m_f = \frac{D_L \cdot V}{D_0} = \frac{\left(\frac{\ln 10}{L}\right) \cdot V}{D_0} = 11161 \text{ g} \approx 11 \text{ kg}$$

där L sätts till 10 meter enligt kravet, V sätts till 2472 m³ som är en uppskattad volym av Västra Torget och angränsande utrymmen som medtagits i simuleringen i CFast. D_0 sätts till 0,051 m²/g enligt Nilsson, D. Holmstedt, G. 2007, som är ett värde för rökpotentialen hos α -cellulosa vid flambrand. För att få fram en kritisk tid då denna siktnefsättning infaller, beräknas tiden till att den framräknade mängden bränsle är förbränd.

$$m_f = \int_{t_0}^t \dot{m}_f dt = \int_{t_0}^t \frac{\alpha \cdot t^2}{\Delta H_c \cdot \chi} dt = \alpha \cdot \frac{(t^3 - t_0^3)}{\Delta H_c \cdot \chi \cdot 3} \Rightarrow t = \sqrt[3]{\frac{m_f \cdot \Delta H_c \cdot \chi \cdot 3}{\alpha}} = 272 \text{ s} \approx 4,5 \text{ min}$$

där m_f sätts till 11 kg, ΔH_c sätts till 26000 kJ/kg som är ett medelvärde enligt avsnitt (se avsnitt B.1), χ sätts till 0,7 som är ett vedertaget värde för förbränningseffektiviteten för en sotande flamma och α sätts till 0,03 kW/s².

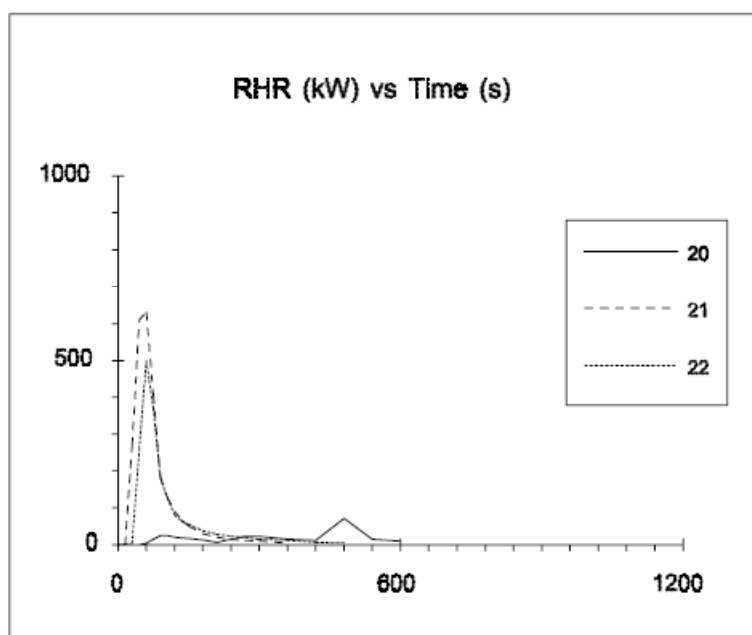
Enligt beräkningen ovan uppstår kritiska förhållanden, med avseende på sikt, efter cirka 4 minuter 30 sekunder. Vid simulering i CFast med polyester som bränsle blir motsvarande tid cirka tre minuter, för mer information om detta se avsnitt E.1, CFast. Man bör dock notera att värdet från CFast avser sikten i det övre brandgaslagret vid simuleringen, vilket torde innebära att den handberäknade tiden som innefattar hela volymen och simuleringen stämmer relativt väl överens eftersom det var tveksamt om en tvåzonsskiktning bildades eller ej. I CFast inträffar kritiska förhållanden tidigare än vid handberäkning. Detta förklaras med att handberäkningarna är utförda med en mycket större volym.

Bilaga C – Effektkonstruktion för brand utanför Klippet och Intersport

I scenario 2 startar branden i en 2,4 meter hög torr julgran och sprids vidare till klädställningar. Avsnittet innehåller resonemang kring konstruktion av effektkurvan för branden i scenario 2.

C.1 Strålningsberäkning

För att beräkna tiden det tar innan klädställningarna antänder beräknas strålningsintensiteten från julgranen mot klädställningarna. Med data från Särdaqvist (1993) konstateras att julgranen tillväxer enligt en så kallad αt^2 -brand (se figur C.1 kurva 21).



Figur C.1. Effektkonstruktion för experiment med olika julgranar representerade av kurva 20, 21 samt 22, Särdaqvist (1993)

Avläsning i figuren ovan visar att den maximala effekten uppgår till 630 kW efter 60 sekunder.

C.2 α -värdet

Alfavärdet, α beräknas enligt sambandet

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad [kW] \quad \text{Karlsson \& Quintiere (2000)}$$

där \dot{Q} = effektkonstruktion [kW]
 α = tillväxtfaktor [kW/s²]
 t = tid [s]

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \Rightarrow \alpha = \frac{\dot{Q}}{t^2} = \frac{630}{60^2} \Rightarrow \alpha = 0,175 \text{ kW} / \text{s}^2$$

Ur tabell C.1 nedan kan man avläsa att α -värdet motsvarar en tillväxt mellan fast och ultra fast.

Tabell C.1. α -värden för olika tillväxt enligt Karlsson & Quintiere (2000).

Tillväxt	α [kW/s ²]
Ultrafast	0,19
Fast	0,047
Medium	0,012
Slow	0,003

C.3 Flamhöjd

Eftersom brandtillväxten hos julgranen sker mycket snabbt antar vi att granen når sin maximala effekt då brandspridning till närliggande klädställningar med jackor sker. Flamhöjden beräknas enligt

$$L_f = 0,235 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1,02 \cdot D \quad \text{Karlsson \& Quintiere (2000)}$$

där L_f = flamhöjd [m]
 \dot{Q} = effektutveckling [kW]
 D = brandens bottendiameter [m]

$$L_f = 0,235 \cdot 630^{2/5} - 1,02 \cdot 1,2 \Rightarrow L_f = 1,87 \text{ m}$$

Observera att värdet för brandens diameter, D valts som julgranens nedre och därmed största diameter. Den verkliga flammans kommer dock bli högre, men den beräknade antas kunna utgöra en bra approximation då den är bredare än det verkliga fallet.

C.4 Synfaktor

Avståndet mellan julgran och klädställningar antas vara en meter. Flammans delas in i fyra identiska kvadrater enligt figur C.2, där c är det horisontella avståndet mellan flammans och klädställningarna. Beräkningar för synfaktorn, förenklad som fallet för platta till punkt, blir

$$S = \frac{a}{b} = \frac{0,6}{0,935} = 0,64$$

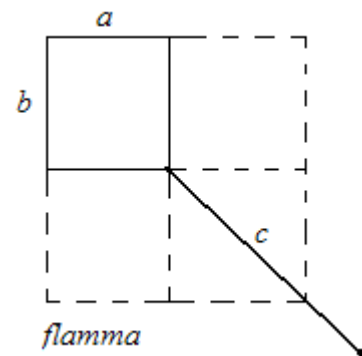
$$\alpha_{syn} = \frac{a \cdot b}{c^2} = \frac{0,935 \cdot 0,6}{1^2} = 0,561$$

Med hjälp av S och α_{syn} kan synfaktorn, Φ avläsas i tabell 2.7 i Drysdale (1998). Synfaktorn måste sedan multipliceras med en faktor fyra för att få med hela flammans area.

$$\Rightarrow \Phi_{1/4} = 0,1 \Rightarrow \Phi = 4 \cdot \Phi_{1/4} = 4 \cdot 0,1 \Rightarrow \Phi = 0,4$$

C.5 Strålningsintensitet

Enligt Bengtson et al. (2002) spontanantänder bomull efter fem sekunder vid en strålningsintensitet på ca 42 kW/m². Eftersom branden tillväxter exponentiellt enligt at^2 -principen kommer denna



Figur C.2. Modell för beräkning av synfaktor

strålningsintensitet uppnås efter cirka 25 sekunder (se beräkningar nedan) och klädställningarna, som alla antas stå på en meters avstånd från julgranen, antänder då efter ca 30 sekunder.

Strålningsintensiteten beräknas med hjälp av

$$\dot{q}'' = \frac{\dot{Q}}{A_f} \cdot \Phi \text{ [kW/m}^2\text{]} \quad \text{Drysdale (1998)}$$

där \dot{q}'' = strålningsintensitet [kW/m²]
 \dot{Q} = effektutveckling [kW]
 A_f = flammans area [m²]
 Φ = synfaktor

$$42 \times 2^* = \frac{\dot{Q}}{1,2 \cdot 1,87} \cdot 0,4 \Rightarrow \dot{Q} = 471 \text{ kW}$$

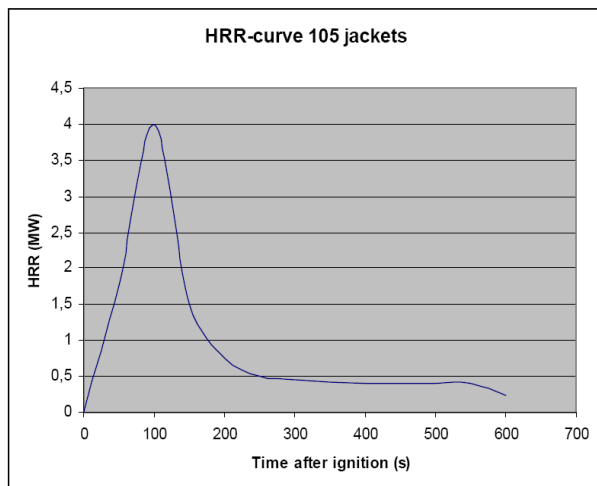
* Då flamman approximeras som en tunn platta som strålar i två riktningar halveras strålningsintensiteten. Det vill säga den totala strålningsintensiteten från granen måste uppgå till 84 kW/m² för att den infallande strålningsintensiteten mot jackorna skall bli 42 kW/m².

Ur figur C.1 ovan kan utläsas att denna effekt uppnås efter cirka 25 sekunder. Värt att notera är att ingen hänsyn tas till förbrinntiden.

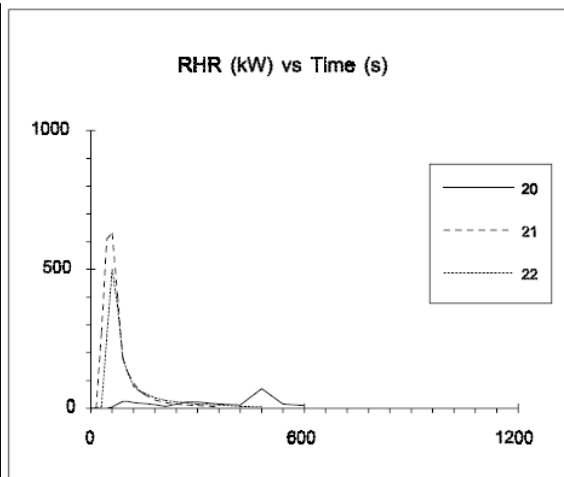
C.6 Konstruktion av effektkurva

Vid konstruktion av brandförloppet har effektkurvorna för julgranen och klädställningarna lagts ihop och hänsyn har tagits till, genom strålningsberäkningarna ovan, att klädställningarna antänds cirka 30 sekunder efter julgranen. Effektkurvan konstrueras dels med hjälp av värden från Särdaqvist (1993) och dels från Johansson (2004). Effektkurvan från Johanssons försök med 105 stycken jackor har korrigerats både med hänsyn till antal jackor och att scenariot antas sakna återstrålning från ett brandgaslager. Scenariobranden har antagits innehålla 150 jackor vilket medför en korrigeringsfaktor 1.5 samt korrektion för brand i det fria som dämpar effekten med en faktor 1/3 (Karlsson & Quintiere, 2000).

Hänsyn har inte tagits till avsvalningsfasen enligt Särdaqvist och Johansson, utan det har antagits att flamspridning till entréplan och omgivande ytor sker vilket medför att branden inte avtar. Bedömning har gjorts att branden kommer att förbli konstant då den uppnått sin maximala effekt, se figur C.5. Att effektutvecklingen förblir konstant efter uppnådd maximal effekt bedöms vara en konservativ uppskattning eftersom detta medför ur utrymningsynpunkt att värre förhållanden uppstår. Antagandet påverkar dock inte tiden till detektion, eftersom denna sker under brandens tillväxtfas.



Figur C.3. Effektkurva för 105 jackor, (Johansson, 2004)

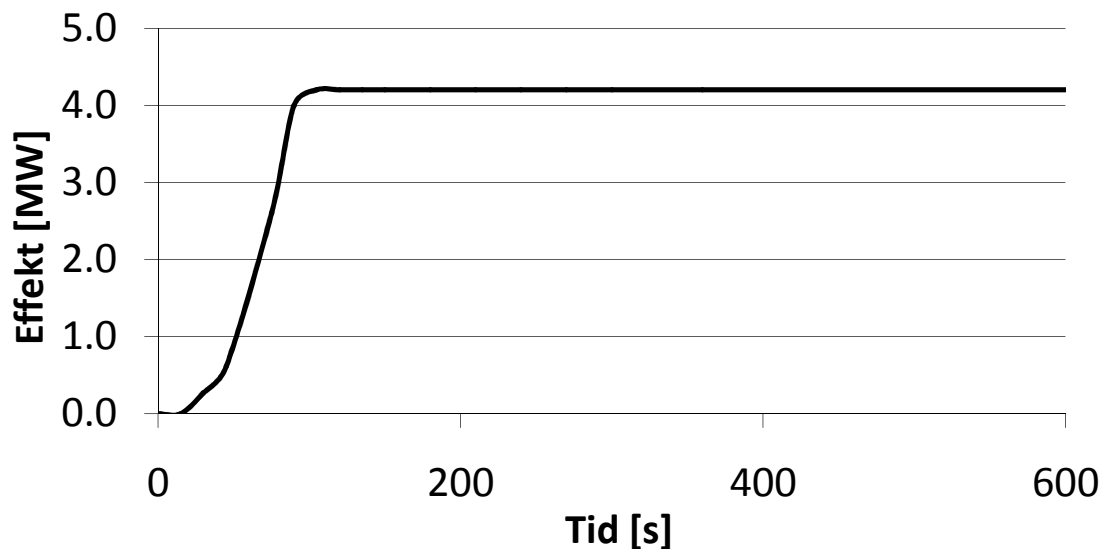


Figur C.4. Effektkurva för olika typer av julgranar, (Särdqvist, 1993)

C.7 Effektkurva

Effektkurvan konstruerades med hjälp av befintliga data och brandtillväxten bestämdes till 0.38 kW/s^2 enligt figur C.5 nedan.

Effektutveckling som funktion av tiden på Östra torget



Figur C.5. Effekten som funktion av tiden.

Tabell C.2. Värden för konstruktion av effektutvecklingskurvan.

t [s]	Q(t) [MW]	Julgran [MW]	Klädställ [MW]
0	0,0	0	0
15	0,0	0,00	0
30	0,3	0,27	0
45	0,6	0,61	0
60	1,8	0,63	1,2
75	2,6	0,41	2,2
90	4,2	0,18	4

I tabell C.2 ovan kan värden för effektutvecklingen vid olika tidpunkter utläsas.

C.8 Tid till detektoraktivering

Tiden till detektoraktivering har beräknats i programmet DetactT2 (för information om programmet se avsnitt E.3). Ingående data:

Begynnelsestemperatur	20 °C
RTI-värde	0,1 (ms) ^{0,5}
Aktiveringstemperatur	33 °C
Takhöjd	7,9 m
Avstånd	10 m
Brandtillväxt	0.38 kW/s ²
Aktiveringstid	78 s

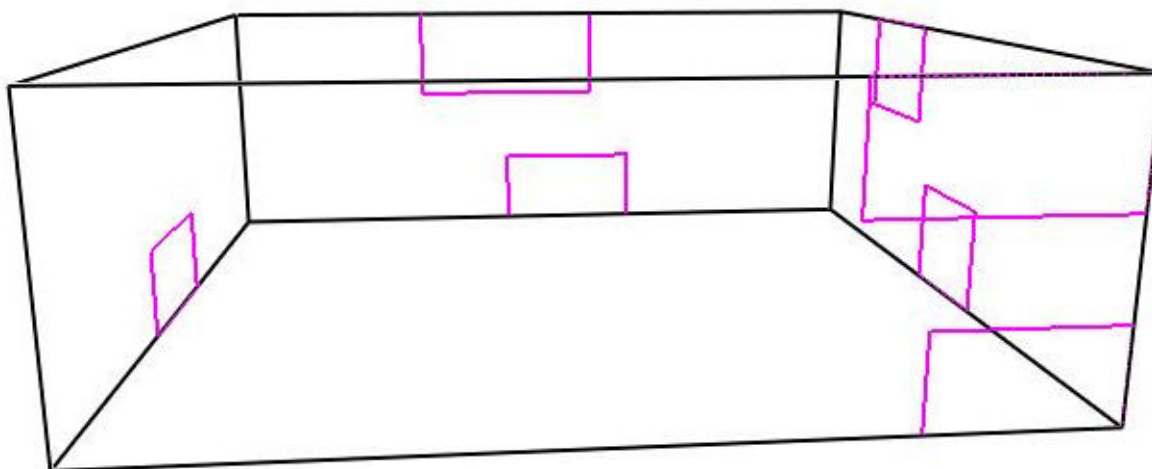
RTI-värdet sätts till 0,1 (ms)^{0,5} eftersom den termiska trögheten hos en rökdetektor i praktiken är försumbar i jämförelse med exempelvis en sprinklerbulb. Att aktiveringstemperaturen sätts till 33 °C grundar sig på diskussionen i kapitel 7 i Nilsson, D. Holmstedt, G. (2007), där en 13-gradig temperaturökning relativt omgivningen skulle motsvara en modell för hur en rökdetektor aktiverar. Det finns också nyare forskning som visar på att det vore lämpligt att sätta aktiveringstemperaturen till en temperaturökning på 4-5 °C, men det 13-gradiga antagandet är i detta fall konservativt. Avståndet tio meter innebär att det längsta avståndet till en detektor är fem meter, det vill säga att DetactT2 förutsätter en brand på den sämsta platsen relativt detektorerna.

DetactT2 tar inte hänsyn till någon förbrinntid, som i detta fall motsvarar scenariobrandens första 20 sekunderna. Den totala tiden till sprinkleraktivering blir således:

$$t_{aktivering} = t_{förbrinntid} + t_{aktivering} = 20 \text{ s} + 78 \text{ s} = 98 \text{ s}$$

C.9 Simulering i CFast

Vid simulering i CFast byggdes följande geometri upp för att representera brand på Östra Torget, se figur C.6 nedan. För indatafil se avsnitt E.1.6.



Figur C.6. Östra Torget vid simulering i CFast.

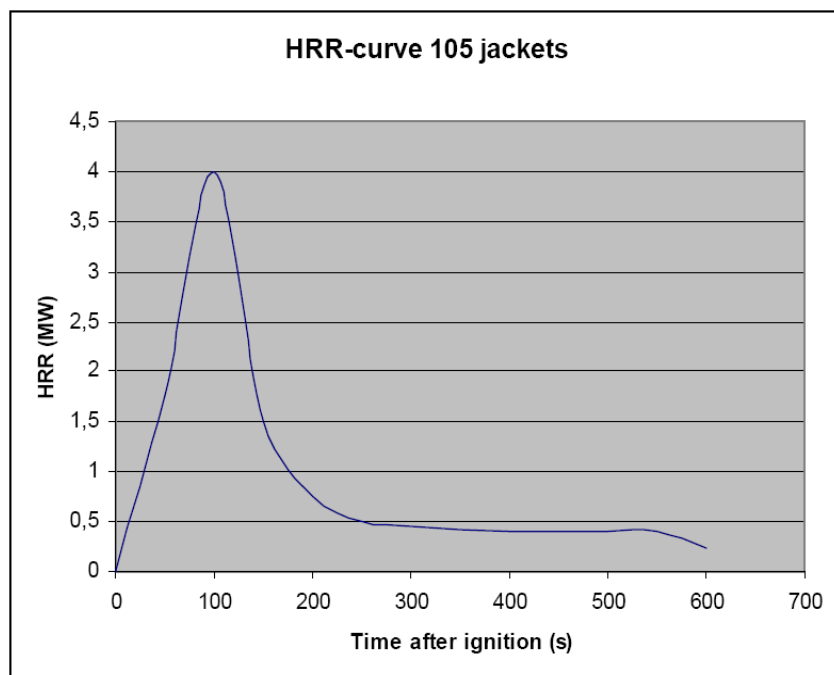
Bilaga D - Effektkonstruktion Klippet

Avsnittet beskriver resonemang kring konstruktion av effektkurva för brandscenario 3.

D.1 Konstruktion av effektkurva

Då det antagits att samma scenariobrand som i scenario 2 inträffar inne i butiken Klippet, används data från scenario 2 (för strålningsberäkning, se avsnitt C.4). Lokalen är utrustad med automatisk vattensprinkleranläggning och enligt Bengtson et al (2002) är det normalt att effektutvecklingen förblir konstant från den tidpunkt då sprinklern aktiverat. Detta medför att sprinkleranläggningen kontrollerar branden och för släckning krävs insats av räddningstjänsten. För beräkning av sprinkleraktivering, se avsnitt D.2.

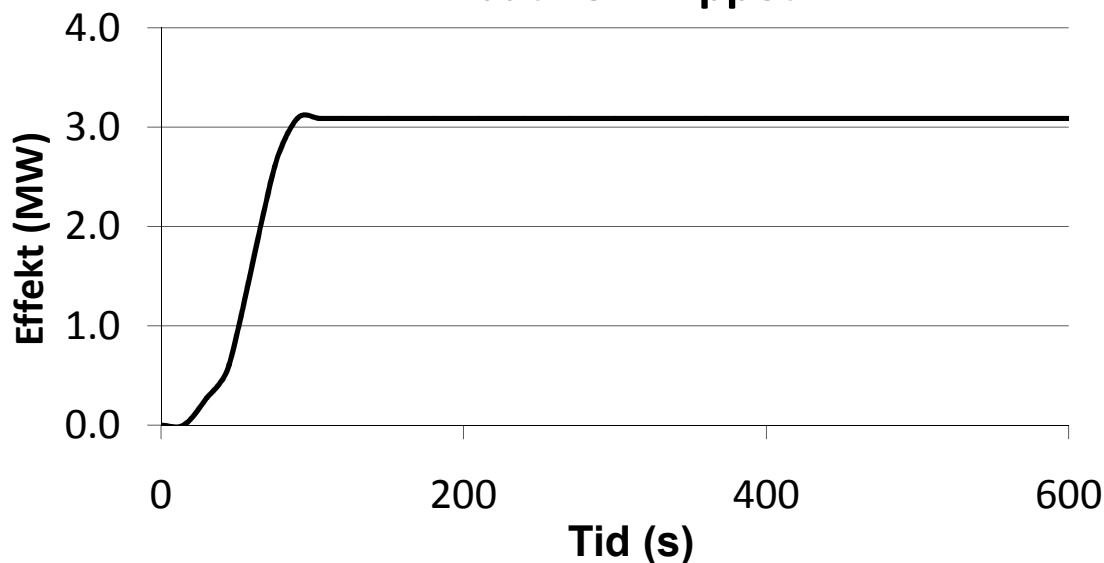
Eftersom scenariobranden placerats i ett utrymme som inte är att betrakta som brand i det fria, måste hänsyn tas till viss återstrålning från brandgaslagret. Med utgång från Johanssons försök (se figur D.1) med 105 jackor tillverkas en effektkurva motsvarande 150 jackor. Detta antagande medför dock att effektutvecklingen överskattas något med tanke på den begränsade takhöjden i Johanssons försök gentemot den i butiken Klippet.



Figur D.1. Effektkurva för 105 jackor, (Johansson 2004)

Den effektutvecklingskurva scenario 3 bygger på visas i figur D.2 nedan.

Effektutveckling som funktion av tiden i butiken Klippet



Figur D.2. Effektutveckling som funktion av tiden i butiken Klippet.

D.2 Tid till sprinkleraktivering

Tiden till sprinkleraktivering har beräknats i programmet DetactT2 (för information om programmet se avsnitt E.3). Ingående data:

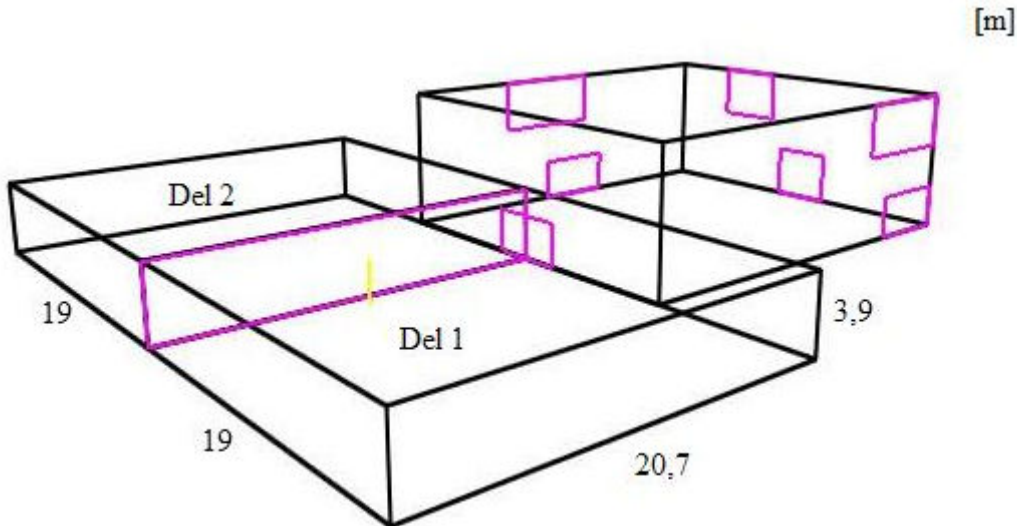
Omgivningstemperatur:	20 °C
Takhöjd:	3,9 m
Avstånd mellan sprinkler:	3,0 m
Spinkler RTI-värde:	50 (ms) ^{0,5}
Tillväxtfaktor, α :	0,38 kW/s ²
Aktiveringstemperatur:	68 °C
Beräknad aktiveringstid:	1,18 minuter = 71 sekunder

DetactT2 tar inte hänsyn till någon förbrinntid, som i detta fall motsvarar scenariobrandens första 20 sekunderna. Den totala tiden till sprinkleraktivering blir således:

$$t_{aktivering} = t_{förbrinntid} + t_{aktivering} = 20 \text{ s} + 71 \text{ s} = 91 \text{ s}$$

D.3 Simulering i CFast

Vid simulering i CFast byggdes följande geometri upp för att representera brand i Klippet, se figur D.3 nedan. För indatafil se avsnitt E.1.7.



Figur D.3. Geometri för simulering av brand i Klippet i CFast.

D.4 Siktberäkningar

Vid simulering i CFast konstaterades att tvåzonsskiktning kan komma att inträffa på Östra Torget då brand i Klippet föreligger, dock är temperaturskillnaden relativt liten vilket medför att siktförhållandena bör beaktas i fallet då brandgaserna blir omblandade. Enligt avsnitt 6.2.4 är kraven på siktbarheten vid utrymning minst fem meter i brandrummet och minst tio meter i utrymningsvägarna. Eftersom kritiska förhållanden uppstår med avseende på temperatur kommer fem-meterskravet i butiken ej att tas hänsyn till.

Sikten i ett brandrum med omblandade förhållanden kan enligt Nilsson, D. Holmstedt, G. 2007, beräknas med:

$$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m_f} = \frac{\ln 10}{L} \cdot \frac{V}{m_f} \quad [m^2/g]$$

vilket antar att brandgaserna är väl omblandade i hela rummets volym. Eftersom brandgaserna sprids i alla riktningar kommer koncentrationen brandgaser att minska med ökande avstånd från brandrummet. Vid beräkningarna antas att brandgaserna momentant omblandas och så förblir under beräkningens gång. Samtliga förbränningsprodukter, m_f , antas bidra till siktbedrägningen utan förluster i brandrummet.

$$\dot{Q} = \dot{m}_f \cdot \Delta H_c \cdot \chi = \alpha \cdot t^2 \Rightarrow \dot{m}_f = \frac{\alpha \cdot t^2}{\Delta H_c \cdot \chi} \quad [g/s]$$

För att beräkna massan förbränt bränsle integreras från brandstart, t_0 , till den aktuella tiden t :

$$m_f = \int_{t_0}^t \dot{m}_f dt = \int_{t_0}^t \frac{\alpha \cdot t^2}{\Delta H_c \cdot \chi} dt = \alpha \cdot \frac{(t^3 - t_0^3)}{\Delta H_c \cdot \chi \cdot 3} \quad [g]$$

För att beräkna tiden till kritiska förhållanden uppstår, löses massan ut ur den första ekvationen:

$$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m_f} = \frac{\ln 10}{L} \cdot \frac{V}{m_f} \Rightarrow m_f = \frac{D_L \cdot V}{D_0} = \frac{\left(\frac{\ln 10}{L}\right) \cdot V}{D_0} = 16407 \text{ g} \approx 16 \text{ kg}$$

där L sätts till 10 meter enligt kravet, V sätts till 3634 m^3 som är en uppskattad volym av Östra Torget från simuleringen i CFast. D_0 sätts till $0,051 \text{ m}^2/\text{g}$ enligt Nilsson, D. Holmstedt, G. 2007, som är ett värde för rökpotentialen hos α -cellulosa vid flambrand, som bedöms vara representativt för både brand i julgranen och kläderna. För att få fram en kritisk tid då denna siktnedsättning infaller, beräknas tiden till att den framräknade mängden bränsle är förbränd.

$$m_f = \int_{t_0}^t \dot{m}_f dt = \int_{t_0}^t \frac{\alpha \cdot t^2}{\Delta H_c \cdot \chi} dt = \alpha \cdot \frac{(t^3 - t_0^3)}{\Delta H_c \cdot \chi \cdot 3} \Rightarrow t = \sqrt[3]{\frac{m_f \cdot \Delta H_c \cdot \chi \cdot 3}{\alpha}} = 123 \text{ s} \approx 2 \text{ min}$$

där m_f sätts till 16 kg, ΔH_c sätts till 21000 kJ/kg som är ett medelvärde för dels trä med ΔH_c -värde 16000 kJ/kg och ett medelvärde för bomull, polyester, nylon samt akryl som är 26.000 kJ/kg (se tabell B.1 i Bilaga B). χ sätts till 0,7 som är ett vedertaget värde för förbränningseffektiviteten för en sotande flamma och α sätts till $0,38 \text{ kW/s}^2$ som är det framtagna värdet enligt Avsnitt C.7.

Enligt beräkningen ovan uppstår kritiska förhållanden, med avseende på sikt, efter cirka två minuter. Vid simulering i CFast med polyester som bränsle blir motsvarande tid cirka tre minuter, för mer information om detta se Bilaga E.1, CFast. Man bör dock notera att värdet från CFast avser sikten i det övre brandgaslagret vid simuleringen, vilket torde innebära att den handberäknade tiden som innefattar hela volymen borde vara längre än den simulerade. En anledning till att resultaten divergerar kan vara antagandet om bränsle, vid handberäkningarna har det antagits att cellulosa är bränslebas, medan det vid simuleringen antagits att polyester fungerar som bränslebas. Hur detta påverkar resultatet är svårt att sja om, därmed bör de framräknade värdena användas med stor försiktighet.

Bilaga E – Simuleringsprogram

Följande avsnitt beskriver de simuleringsprogram som använts, programmens begränsningar samt beräkningar för att undersöka tvåzonsmodellens giltighet i de tre beräknade scenarierna.

E.1 CFAST

CFAST, Consolidate model of Fire growth And Smoke Transport, är ett simuleringsprogram som bygger på en tvåzonsmodell. Detta innebär en förenkling av brandrummet där det delas in i en övre och en undre zon. I den övre zonen finns brandgaserna och i den undre är luften i stort sett opåverkad av branden. Gränsen mellan zonerna är skarp. Man antar att brandgaserna i den övre zonen är homogent blandade och överallt är förhållandena likadana. Vid en verklig brand kan brandgaserna bete sig på liknande sätt men gränsen mellan zonerna är inte lika skarp och brandgaslagret kan ha olika sammansättning. Programmet är utvecklat av National Institute of Standards and Technology, NIST, och är en del i programpaketet HAZARD. CFAST använder sig av McCaffreys plymmodell där 30% av energin åtgår till strålning. Branden hanteras som en virtuell punktkälla. (*Gojkovic, 2007*)

Modellen bygger på termodynamikens första lag, massans och energin bevarande samt ideala gaslagen, densitetsberäkningar och beräkningar kring inre energi. Som indata anges brandens egenskaper, rummets geometri och öppningar i rummet. Utdata fås i form av till exempel brandgaslagret höjd över golvet, effektutveckling vid olika tidpunkter och temperatur i övre och undre brandgaslagret, energi- och massflöden, värmetransport samt koncentrationer av gas och partiklar. Modellen utvecklades för att simulera bränder i bostäder och har därför bäst giltighet vid liknande geometrier. I tvåzonsmodellen sker transport av massa och energi momentant vilket innebär att man bortser från brandgasernas transporttider från plymen till taket. (*Jones, W et al. 2005*)

CFAST är ett användarvänligt och lättöverskådligt program med korta simuleringstider. Modellen fungerar mycket väl om man befinner sig inom giltighetsområdet.

E.1.1 Begränsningar

Programmet har samma begränsningar som tvåzonsmodeller i allmänhet. Modellen passar bäst för rum med rektangulär form och förhållandet mellan rummets bredd, längd och höjd bör inte överstiga tre. Ibland kan det vara svårt att återge komplicerande geometrier. Det viktigaste är dock att brandens storlek är anpassad till rummets geometri. Om branden inte är tillräckligt stor i förhållande till rummet kan det bidra till att brandgasernas stigningskraft inte blir tillräckligt stor och vi får istället ett omblandat fall. Brandgaserna kan även kylas mot väggar och tak. Samma omblandade fall kan uppstå om branden är för stor i förhållande till rummet. Det blir turbulens och omblandning sker. Dessutom kan brandens flammor nå taket och då gäller inte längre tvåzonsmodellen eftersom ingen förbränning får ske i övre lagret. Inte heller vid sprinkleraktivering är tvåzonsmodellen giltig. Detta på grund av kylning och omrörning av brandgaserna i rummet. Viktigt att komma ihåg är att det är effekten av branden som modelleras, inte själva branden. Beräkningar sker med avseende på brandgasspridning och inte brandspridning. Det är upp till användaren att ta fram en för scenariot dimensionerande brand. (*Gojkovic, 2007*)

Andra förenklingar att ta i beaktande är att McCaffreys plymmodell bygger på försök med en metangasbrännare där effektutvecklingen inte översteg 58 kW och flamhöjden inte översteg en meter. Det finns få korrelationer för stora utrymmen och ingen hänsyn tas till bränslets geometri. Programmet tenderar också att ge en kortare tid för brandgasspridning än vad som är rimligt i ett verkligt fall då programmet ej tar hänsyn till transporttider. (*Gojkovic, 2007*)

E.1.2 ISO/ WD 13390, 1995

För att göra en bedömning av tvåzonsmodellens rimlighet, finns det generellt framtagna riktlinjer enligt ISO/WD13390, 1995 som modellen har verifierats för. Generellt begränsas tvåzonsmodellerna av byggnadens geometri och förhållandet effektutveckling kontra geometri.

$$\dot{Q} \geq 5 \cdot A \cdot H^{0,5} \text{ [kW]} \quad \text{där} \quad A = L \cdot W \text{ [m}^2\text{]}$$

L = rummet längd [m]
H = rummets höjd [m]
W = rummets bredd [m]

Tabell E.1. Riktlinjer enligt ISO-standard.

Acceptabelt	Speciella överväganden krävs
L/W < 3	3 < L/W < 5
L/H < 3	3 < L/H < 6
W/H > 0,4	0.2 < W/H < 0,4
$\dot{Q} \geq 5 \cdot A \cdot H^{0,5}$	

Tabell E.2. Kontroll av byggnadens geometri kontra effektutveckling enligt ISO-standard.

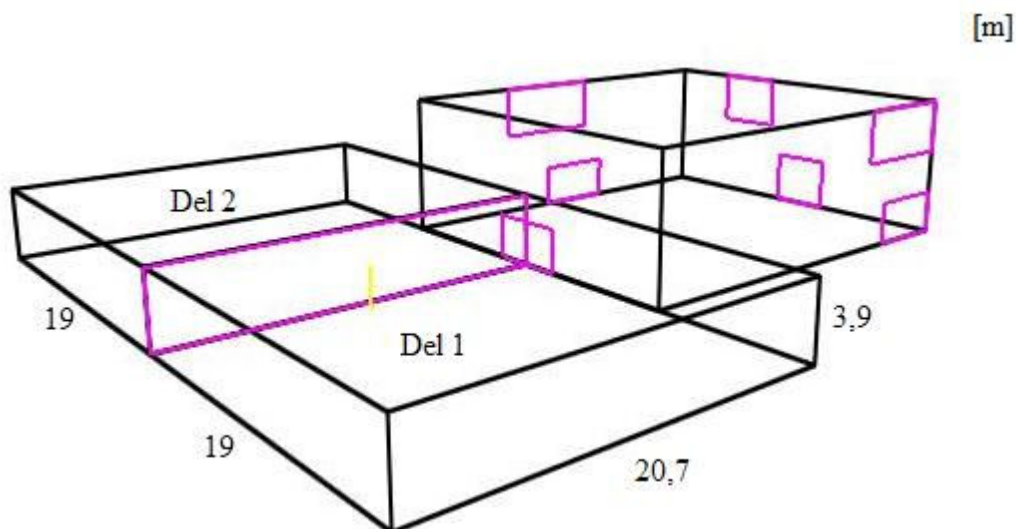
Lokal	L · W [m ²]	H [m]	5 · A · H ^{0,5} [kW]	Brandförlopp maxeffekt [kW]	Slutsats
Sy & Sticka	13 · 9	3,0	1013	20000	Giltig
Klipplet	38 · 20,7	3,9	7767	3086	Ej giltig
Östra torget (entré+källare)	23 · 20	7,9	6464	4200	Ej giltig

I tabell E.2 kan utläsas att endast brandscenariot i butiken Sy & Sticka fullt ut uppfyller ISO-standardens krav på utvecklade effekt med hänsyn till geometrin. Det är dock möjligt att trots detta använda sig av modellerna vid simuleringarna, om det vid användande av utdata tas hänsyn till dessa begränsningar.

Tabell E.3. Kontroll av byggnadens geometri enligt ISO-standard.

Lokal	L/W	L/H	W/H	Slutsats
Sy & Sticka	1,444...	4,333...	3	Giltig
Klipplet	1,836	9,744	5,31	Ej giltig
Östra torget (entré+källare)	1,15	2,911	2,53	Giltig

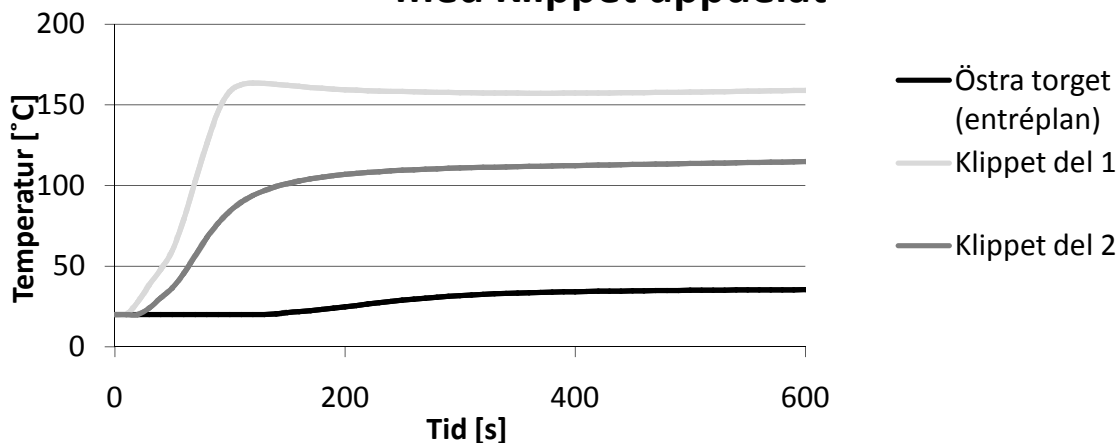
I tabellen E.3 kan utläsas att både brandscenariot i Sy & Sticka samt i Östra Torget uppfyller ISO-standardens krav på geometri. Butiken Klippet uppfyller dock inte detta krav med hänsyn till förhållandet mellan längd och höjd. Ett vedertaget förfarande är då att dela upp den aktuella geometrin i flera mindre delar, som var för sig uppfyller kraven. I simuleringarna har det valts att dela upp butiken Klippet i två mindre delar där en stor öppning sammanfogar de två geometrierna, se figur E.1.



Figur E.1. Butiken Klippet uppdelad i två lika geometrier, med en öppning emellan.

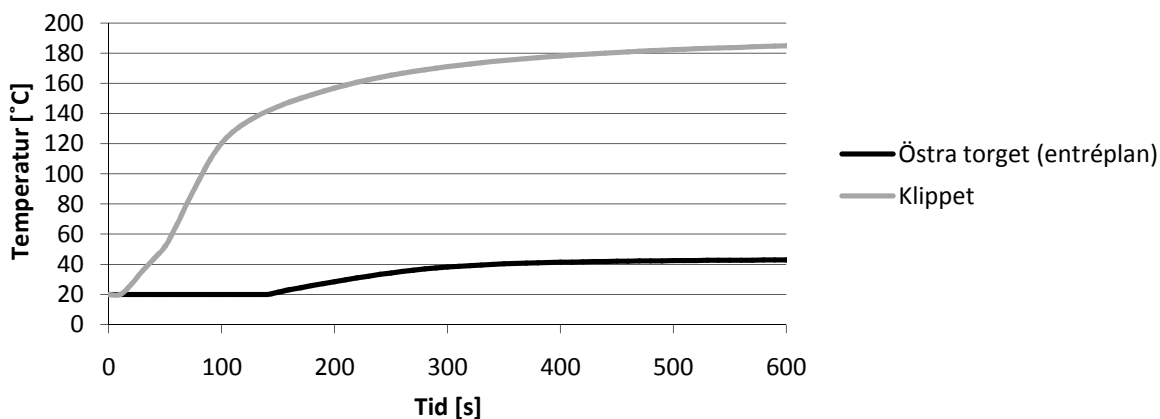
Vid en jämförelse mellan dessa två tänkbara upplägg i tvåzonsmodelleringen, det vill säga en modell där Klippet delats upp i två mindre geometrier och en modell där Klippet består i endast en stor geometri, kan konstateras att medeltemperaturen i brandgaserna sammanfaller initialt och är cirka 140 °C efter två minuter men där modellen med enbart en geometri tenderar att överskatta temperaturen något därefter, se figur E.2 och figur E.3. Däremot är det tydligt att brandgastemperaturen i Östra torget bedöms väldigt lika av de två modellerna, vilket medför en 20-gradig temperaturökning efter cirka sex minuter.

Brandgastemperatur som funktion av tiden med Klippet uppdelat



Figur E.2. Brandgastemperaturen som funktion av tiden då Klippet delats upp i mindre geometrier.

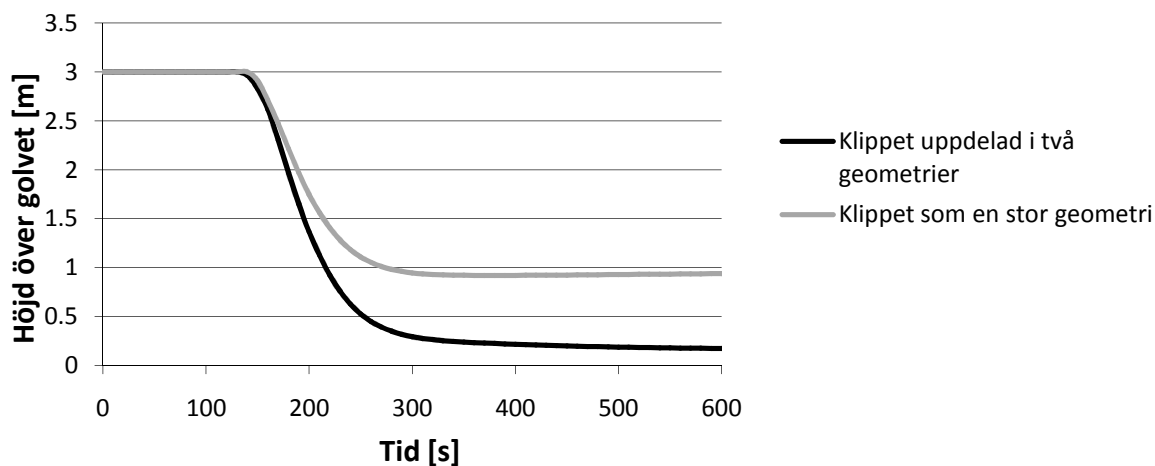
Brandgastemperatur som funktion av tiden med Klippet som en geometri



Figur E.3. Brandgastemperaturen som funktion av tiden.

En jämförelse där hänsyn tas till brandgaslagrets höjd över golvet i Östra torget (entréplan) kan en skillnad på cirka en halv meter skönjas då brandgaslagret väl börjar sjunka. Då Klippet endast modelleras som en enda stor geometri leder detta till ett brandgaslager som efter cirka sex minuter har en höjd av en meter, medan motsvarande höjd är 0,3 meter då Klippet modelleras som två geometrier, se figur E.4.

Brandgaslagrets höjd på Östra Torget



Figur E.4. Brandgaslagrets höjd över golvet som funktion av tiden på Östra Torget.

E.1.3 Validering av CFast med handberäkning

För att uppskatta rimligheten i CFast kan en del jämförelser med handberäkningsmetoder genomföras. Beräkningsgång och ekvationer är hämtade ur Karlsson & Quintiere (2000).

Zukoski's plymmodell:

$$\dot{m}_p = 0,21 \cdot \left(\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3} \cdot \dot{Q}^{1/3} \cdot z^{5/3} \text{ [kg/s]} \quad \text{där}$$

\dot{m}_p = massflödet i plymen [kg/s]

ρ_a = luftens densitet [kg/m³]

g = gravitationskonstanten [m/s²]

c_p = specifika värmekapaciteten vid konstant tryck [kJ/kgK]

T_a = luftens temperatur [K]

\dot{Q} = effektutveckling [kW]

z = brandgaslagrets höjd över golvet [m]

Beräkningsgång

1. Gissa ett värde på z .
2. Beräkna med vald plymmodell \dot{m}_p .
3. Beräkna $\Delta P_l = \frac{\dot{m}_p^2}{2\rho_a (C_d A_D)^2}$ [Pa], där ΔP_l är tryckskillnaden i den nedre tilluftsöppningen [Pa], C_d är flödeskoefficienten och A_D är totala öppningsarean på tilluften [m²]. Om A_D är väldigt stor kan ΔP_l sättas till noll.
4. Beräkna $T_g = T_a + \frac{\dot{Q}}{c_p \dot{m}_e + h A_w}$ [K], där T_g är temperaturen i brandgaserna [K], h är värmeövergångstalet för omgivande material [kW/m²K] och A_w är ytor i kontakt med brandgaserna (beror av brandgaslagrets höjd) [m²].
5. Beräkna $\rho_g = \frac{353}{T_g}$ [kg/m³], där ρ_g är brandgasernas densitet [kg/m³].
6. Beräkna $\dot{m}_e = C_d A_E \cdot \sqrt{2\rho_g (-\Delta P_l + (\rho_a - \rho_g) \cdot g \cdot (H_E - z))}$ [kg/s], där A_E är totala arean på frånluften (i kontakt med brandgaser) [m²] och H_E är takhöjden [m].
7. Kontrollera om $\dot{m}_p = \dot{m}_e$ vilket medför att beräkningen är klar. Om $\dot{m}_p \neq \dot{m}_e$, återgå till steg 1 och gissa ett nytt värde på z .

Ingående värden för brand på Östra Torget

Vid beräkningarna förutsätts att stationära förhållanden råder, den initiala transienta brandtillväxten tas således ej hänsyn till. För ingångsvärden se tabell E.4 nedan.

Tabell E.4. Ingående värden för Östra Torget

Parameter	Ingångsvärde
H_E	7,9
A_w	589
A_E	24,8
A_D	43
ρ_a	1,2
c_p	1,0
C_d	0,6
\dot{Q}	4200
T_a	293
h	0,033
g	9,81

Beräkning

- z sätts till 6,4 m som härstammar från simulering i CFAST.
- $$\dot{m}_p = 0,21 \cdot \left(\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3} \cdot \dot{Q}^{1/3} \cdot z^{5/3} = 27,2 \text{ kg/s}$$
- $$\Delta P_l = \frac{\dot{m}_p^2}{2\rho_a (C_d A_D)^2} = 0,46 \text{ Pa}$$
- $$T_g = T_a + \frac{\dot{Q}}{c_p \dot{m}_e + h A_w} = 383 \text{ K}$$
- $$\rho_g = \frac{353}{T_g} = 0,92 \text{ kg/m}^3$$
- $$\dot{m}_e = C_d A_E \cdot \sqrt{2\rho_g (-\Delta P_l + (\rho_a - \rho_g) \cdot g \cdot (H_E - z))} = 38,6 \text{ kg/s}$$
- $\dot{m}_p \neq \dot{m}_e$. Återgå till steg 1.

Ny iterering

- z sätts till 6,6 m.
- $$\dot{m}_p = 0,21 \cdot \left(\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3} \cdot \dot{Q}^{1/3} \cdot z^{5/3} = 29 \text{ kg/s}$$
- $$\Delta P_l = \frac{\dot{m}_p^2}{2\rho_a (C_d A_D)^2} = 0,5 \text{ Pa}$$
- $$T_g = T_a + \frac{\dot{Q}}{c_p \dot{m}_e + h A_w} = 381 \text{ K}$$
- $$\rho_g = \frac{353}{T_g} = 0,93 \text{ kg/m}^3$$

$$6. \quad \dot{m}_e = C_d A_E \cdot \sqrt{2\rho_g (-\Delta P_l + (\rho_a - \rho_g) \cdot g \cdot (H_E - z))} = 30 \text{ kg / s}$$

$$7. \quad \dot{m}_p \approx \dot{m}_e$$

Jämförelse

Tabell E.5. Jämförelse mellan CFAST och handberäkning

	Brandgaslagrets tjocklek [m]	Temperatur i brandgaserna [°C]
CFAST	1,5	108
Handberäkning	1,3	108

Kommentar

Vid kontroll av simulering i CFast med hjälp av handberäkning kan det konstateras att resultaten överensstämmer väl, se tabell E.5. Detta medför att rimligheten i resultaten från CFAST kan anses reliabla. Värt att notera är att kontrollen endast skett med Zukoski's plymmodell. Andra plymmodeller existerar men för detta hänvisas läsaren till litteraturen, till exempel Karlsson & Quintiere (2000).

E.1.4 Simulering av sikt i CFast

Vid två av simuleringarna, brand i Sy & Sticka samt brand i Klippet var det med avseende på temperatur svårt att bedöma huruvida en tvåzonsskiktning skulle uppstå eller ej. För ett fall där omblandade förhållanden råder, krävs istället siktberäkningar som kan ligga till grund för bedömningen om kritiska förhållanden uppstår eller ej. Dels undersöktes detta genom handberäkningar, dels genom simuleringar i CFast.

För att genomföra siktsimuleringen, angavs indata till CFast som massförhållandet mellan väte och kol i bränslet (H/C) och mellan kol och koldioxid (C/CO₂) i förbränningsprodukterna. Värden för dessa massförhållanden har hämtats i Hultquist (2000) och utgår från polyester som bränsle, vilket antas vara ett representativt bränsle för kläder av de tre bränslen (polyester, propan och trä) som presenterades i rapporten. Det bör noteras att polyester är ett plastmaterial som utvecklar stora mängder brandgaser, vilket anses som konservativt ur utrymningssynpunkt. Värdet för massförhållandet H/C sattes till 0,1175 och massförhållandet C/CO₂ till 0.08.

E.1.5 Indatafil för CFast, Scenario 1 – Brand i Sy & Sticka

VERSN,6,Sy och Sticka

!!

!!Environmental Keywords

!!

TIMES,900,-30,0,10,10

EAMB,293.15,101300,0

TAMB,293.15,101300,0,50

CJET,WALLS

CHEMI,10,393.15

WIND,0,10,0,16

!!

!!Compartment keywords

!!

COMP,Butikslokal,9,13,3,0,0,0,GYPSUM,OFF,GYPSUM

COMP,Gångstråk,12.5,15.4,3,0,13,0,STAIN304,CONCRETE,GYPSUM

COMP,Ovanvåning,14,16.9,8.5,12.5,11.5,0,STAIN304,CONCRETE,GYPSUM

COMP,Korridor DG,15.2,4.8,3,26.5,14.5,4,GYPSUM,OFF,GYPSUM

COMP,Ovanvåning BR,7.6,16.9,3,4.9,11.5,4,GYPSUM,OFF,GYPSUM

!!
 !!vent keywords
 !!
 HVENT,1,2,1,2.96,2.7,0,1,5.5,0,3,1
 HVENT,2,3,1,7.1,3,0,1,2.8,0,2,1
 HVENT,3,4,1,4.8,7,4,1,3,0,2,1
 HVENT,3,5,1,16.9,7,4,1,0,0,4,1
 HVENT,4,6,1,4.8,3,0,1,0,0,2,1
 HVENT,3,6,1,4.8,7,4,1,3,0,3,1
 HVENT,2,6,1,2,2.7,0,1,3,0,3,1
 !!
 !!fire keywords
 !!
 OBJECT,garnsprinkler,1,0.5,8,1,1,1,0,0,1

E.1.6 Indatafil för CFast, Scenario 2 – Brand utanför Klippet och Intersport

VERSN,6,Rulltrappan1
 !!
 !!Environmental Keywords
 !!
 TIMES,900,-50,0,10,10
 EAMB,293.15,101300,0
 TAMB,293.15,101300,0,50
 CJET,WALLS
 CHEMI,10,393.15
 WIND,0,10,0,16
 !!
 !!Compartment keywords
 !!
 COMPA,Compartment 1,23,20,7.9,0,0,0,CONCRETE,CONCRETE,CONCRETE
 !!
 !!vent keywords
 !!
 HVENT,1,2,1,4.6,2.4,0,1,18.4,0,1,1
 HVENT,1,2,2,3.46,3,0,1,7.7,0,2,1
 HVENT,1,2,3,4.66,2.4,0,1,10,0,3,1
 HVENT,1,2,4,4.3,2.4,0,1,7.7,0,4,1
 HVENT,1,2,5,6.23,7.9,4.9,1,16.77,0,1,1
 HVENT,1,2,6,3.9,7.9,4.9,1,12,0,2,1
 HVENT,1,2,7,6.4,7.9,4.9,1,6.8,0,3,1
 !!
 !!fire keywords
 !!
 OBJECT,Rulltrapp,1,-1,-1,-1,1,1,0,0,1

E.1.7 Indatafil för CFast, Scenario 3 – Brand i Klippet

VERSN,6,Klippet
 !!
 !!Environmental Keywords
 !!
 TIMES,900,-50,0,10,10

EAMB,293.15,101300,0
TAMB,293.15,101300,0,50
CJET,WALLS
CHEMI,10,393.15
WIND,0,10,0.16
!!
!!Compartment keywords
!!
COMPA,Rulltrapp,23,20,7.9,20.7,9,0,CONCRETE,CONCRETE,CONCRETE
COMPA,Klippet,20.7,19,3.9,0,0,0,CONCRETE,CONCRETE,CONCRETE
COMPA,Klippet2,20.7,19,3.9,0,19,0,CONCRETE,CONCRETE,CONCRETE
!!
!!vent keywords
!!
HVENT,1,4,1,4.6,2.4,0,1,18.4,0,1,1
HVENT,1,4,2,3.46,3,0,1,7.7,0,2,1
HVENT,1,4,3,4.66,2.4,0,1,10,0,3,1
HVENT,2,1,1,2.15,2.4,0,1,7.8,0,4,1
HVENT,1,4,4,6.23,7.9,4.9,1,16.77,0,1,1
HVENT,1,4,5,3.9,7.9,4.9,1,12,0,2,1
HVENT,1,4,6,6.4,7.9,4.9,1,6.8,0,3,1
HVENT,3,2,1,20.7,3.85,0,1,0,0,3,1
HVENT,3,1,1,2.15,2.4,0,1,10,0,4,1
!!
!!fire keywords
!!
OBJECT,klippetRTI50ULTRA,2,10.35,18,0,1,1,0,0,0,1

E.2 Simulex

Simulex är ett datorprogram som simulerar möjlighet till utrymning samt utrymningstider och är utvecklat genom samarbete mellan Lunds Universitet och University of Edinburgh i Skottland. I programmet importerar ritningar från CAD (Computer Aided Design) som bearbetas för att passa formatet i Simulex. Utgångar läggs till och våningsplan binds samman med trappor. Sedan kan olika typer av människor väljas och dessa placeras i byggnaden. Man kan välja utifrån storlek, reaktionstid, gångavstånd och aktivitet hos personerna. Det finns också färdiga grupper att välja bland. Exempel på dessa är barn, skolbarn, kvinnor och män i olika åldrar, rörelsehindrade samt till exempel kontorspersonal och *shoppers*. Programmet beräknar avstånd till utgångar och människorna väljer den närmaste utgången ifall man inte angett annat. Programmet bygger på verkliga experiment. Simuleringen går snabbt och efteråt kan man titta på utrymningen i realtid för att analysera och dra slutsatser utifrån denna och då finna var utrymningen inte fungerar optimalt. (Abrahamsson, 1998)

E.2.1 Begränsningar

Viktigt att ta hänsyn till när programmet används är att människor i programmet inte tänker själva. Det är viktigt att analysera utrymningen och få den så lik verkliga förhållanden som möjligt genom att ge människorna olika egenskaper och noga studera det resultat en första simulering ger. Personers beteende som inte verkar naturligt kan då justeras och simuleringen körs ännu en gång tills ett tillfredställande resultat uppnåtts. (Abrahamsson, 1998)

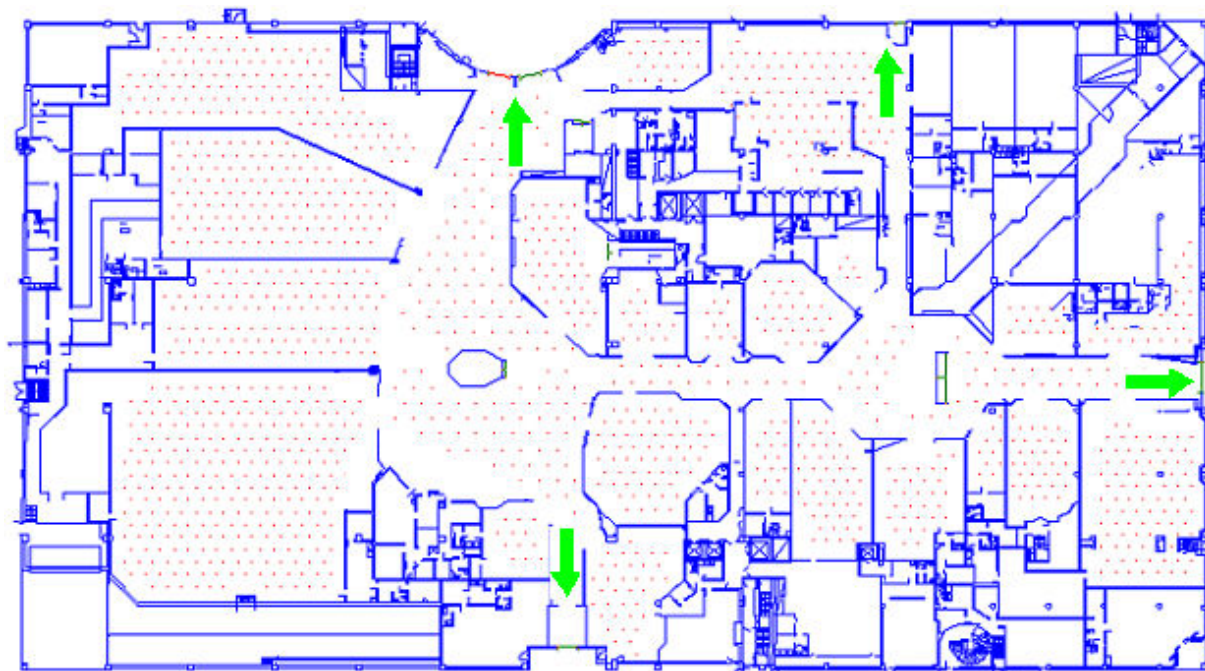
E.2.2 Simulering av Galleria Domino

Alla simuleringar som utfördes i SIMULEX omfattade 2700 individer, se figur E.5 och E.6. Detta värde antas vara representativt för en dag då persontätheten är som störst, till exempel under rea- och

lönehelger. Detta motsvarar ett värde på 0,5 personer/m² i butiker samt 0,25 personer/m² i gångstråk. Den karaktär som användes på försökspersonerna var *shoppers*. Förutsättningarna för denna kategori är att:

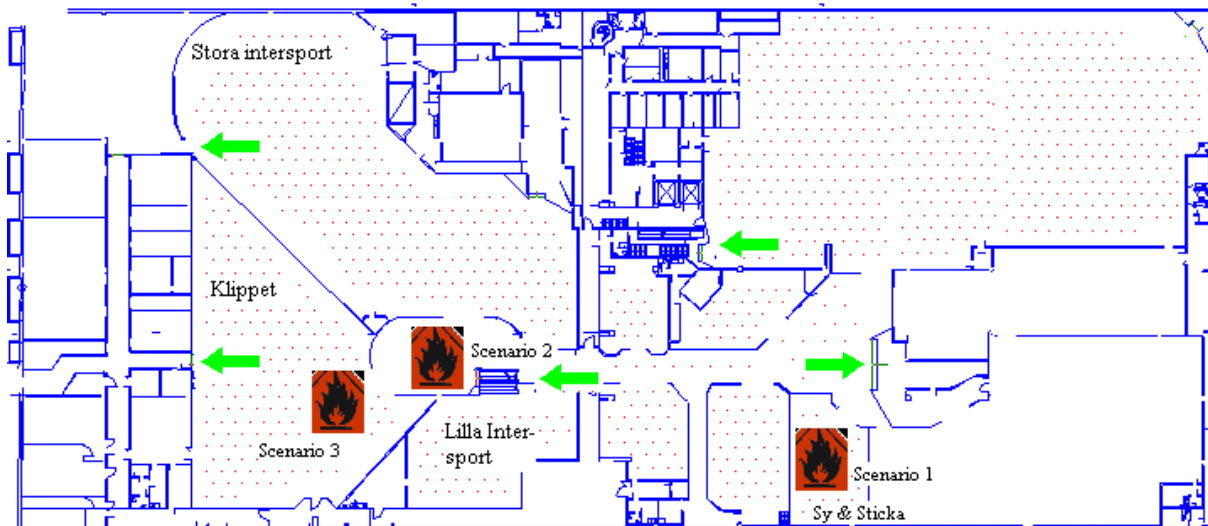
- 35% är vuxna män med gånghastigheten 1,35 +/- 0,2 m/s
- 40% är vuxna kvinnor med gånghastigheten 1,15 +/- 0,2 m/s
- 15% är barn med gånghastigheten 0,9 +/- 0,3 m/s
- 10% är äldre med gånghastigheten 0,8 +/- 0,3 m/s

Besluts- och reaktionstiden efter att utrymningslarmet aktiverat sattes till 60 sekunder med undantag för de personer som kunde se brandgaserna där besluts- och reaktionstiden istället antas vara 45 sekunder. (Abrahamson, 1998) För de personer som var direkt utsatta för branden valdes tiden 30 sekunder, vilket i de aktuella fallen innebär att de påbörjar utrymningen innan larmet aktiverat. Detta för att dessa personer snabbare kommer inse situationens allvar. I verkligheten förekommer avvikelser i responstider beroende på personerna i frågas karaktär. Men då simuleringarna genomfördes togs ingen hänsyn till detta då det bedömdes endast marginellt påverka den totala utrymningstiden i Simulex. Detta på grund av att det antas vara ett konstant personflöde genom utgångarna. Att människor köar vid utgången eller står kvar och funderar på åtgärd antas vara likvärdigt för utrymningsförfarandet i Simulex. I simuleringen bestämdes vilken utgång personerna skulle använda för att utrymningen skulle bli så verklighetstrogen som möjligt. Det visade sig alltid bildas en kö vid utgångarna oavsett de ingående personernas besluts- och reaktionstid. Majoriteten av personerna i gallerian antas använda sig av huvudingångarna eftersom tidigare undersökningar av utrymning i köpcentrum indikerar detta. (Frantzich, 2000)



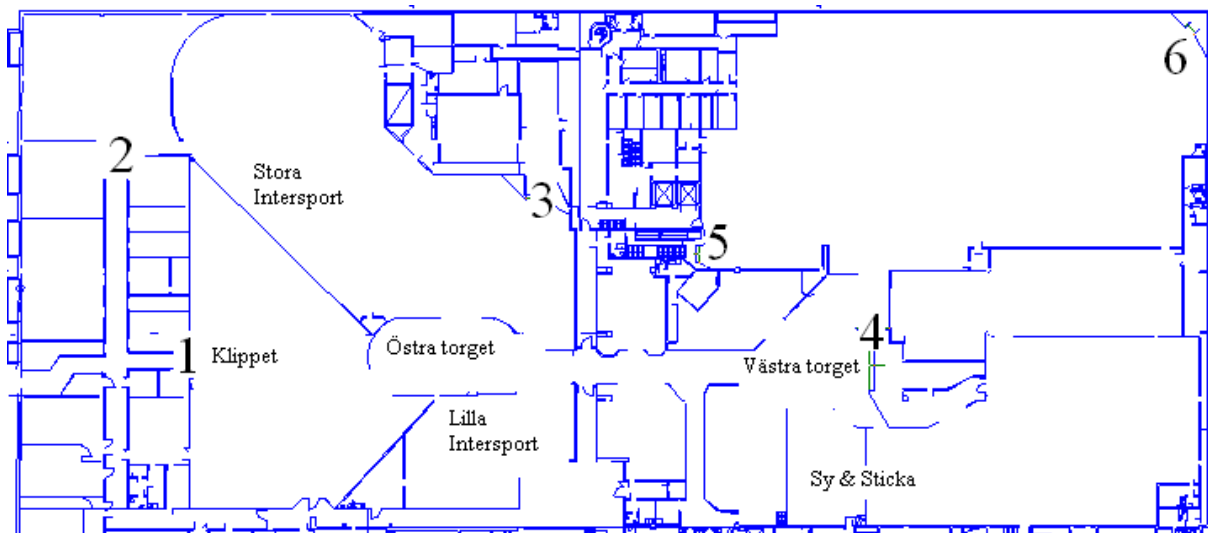
Figur E.5. Bilden visar hur personer är utplacerade på entréplan i simuleringsprogrammet Simulex. Pilar marier utrymningväg.





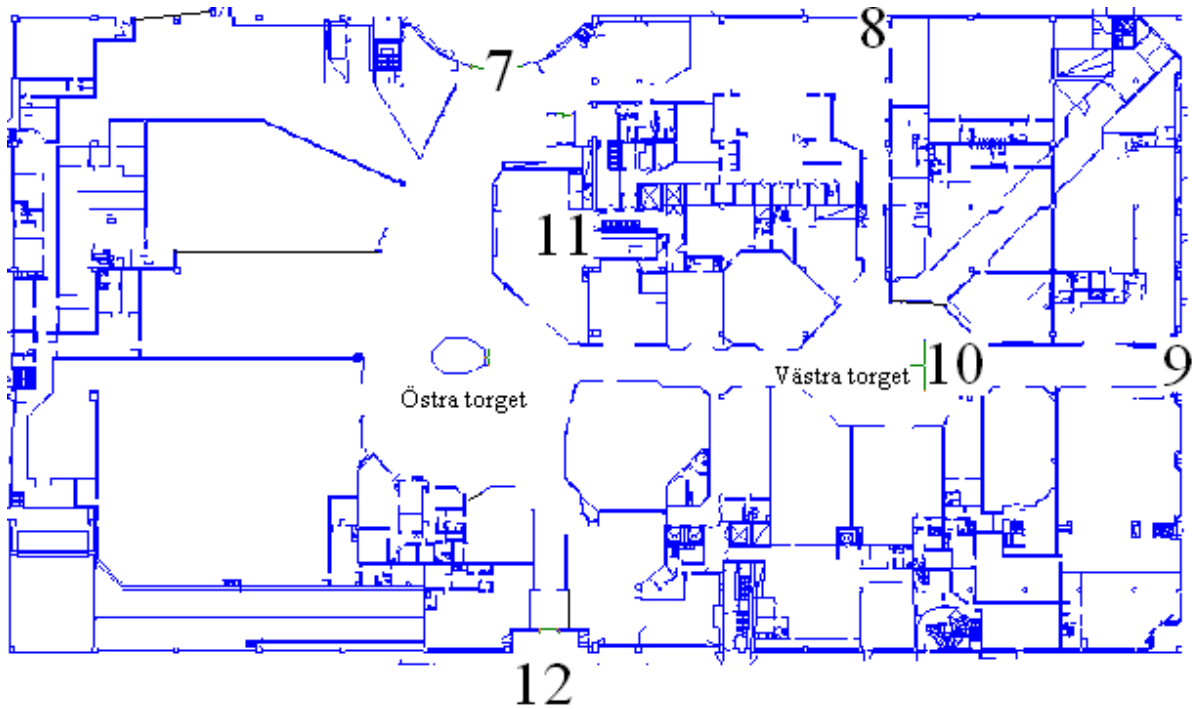
Figur E.6. Bilden visar hur personer är utplacerade på källarplan i simuleringsprogrammet Simulex.

Dörr- och trappbredder som användes i Simulex:



Figur E.7. Figuren visar källarplan med dörrar och trappor utsatta.

1. Nödutgång från Klippet, 1.20 meter bred.
2. Nödutgång från Intersport, 1.20 meter bred.
3. Rulltrappa upp/ned från Intersport, eftersom dessa stannar när larmet går har de båda rulltrapporna approximerats som en 10 meter lång trappa med bredden två meter.
4. Uppgång från Västra torget, bestod av två stycken rulltrappor samt en cirka fyra meter bred trappa, detta approximerades som en 10 meter lång trappa med bredden sex meter.
5. Två stycken rulltrappor, approximeras som en trappa, 10 lång och två meter bred.
6. Nödutgång, 1.40 meter bred.



Figur E.8. Figuren visar överskådlig bild över entréplanet med dörrar och trappor och dörrar utsatta.

7. Huvudentré, 5 meter bred.
8. Utgång från restaurangen, 1.20 meter bred.
9. Huvudentré, 3.60 meter bred.
10. Länk mellan entréplanet och källarplanet, approximerades som en 10 meter lång och 6 meter bred trappa.
11. Rulltrappor, approximerades som en 10 meter lång och 2 meter bred trappa.
12. Huvudentré, 2.40 meter bred.

Personerna antogs fördela sig jämnt till de olika butikernas utgångar. Nödutgångar användes endast i Clas Ohlson i Scenario 1 – Brand i Sy & Sticka, detta på grund av att entrén på källarplan blockerades. Dessutom användes nödutgångar i butiken Klippet och Intersport i Scenario 2 – Brand på Östra Torget, samt i butiken Klippet i Scenario 3 – Brand i Klippet.

I den simulering där alla nödutgångar användes på ett så optimalt sätt som möjligt lades dörrar till i alla större butiker samt där nödutgångarna från centrumgångarna befinner sig, dörrbredden 1.20 meter användes.

E.3 DetactT2

DetactT2 är ett DOS-program där aktiveringstid för sprinkler och detektorer kan beräknas. Indata är omgivningen temperatur, sprinklernas RTI-värde, takhöjd och avståndet mellan sprinklerna. DetactT2 bygger på en αt^2 -brand och man anger tillväxthastigheten, från slow till ultrafast eller ett eget värde. Programmet räknar nu ut tiden till aktivering som fås i minuter.

E.3.1 Begränsningar

Programmet bygger på αt^2 -brand. Begränsningarna ligger i att detta är en förenkling jämfört med en verklig brand, vars förlopp kan skilja sig från modellen. Programmet ger dock en fingervisning om när en detektor eller sprinkler kan aktivera.

Bilaga F – Sammanställning av enkätundersökning

Vid besökstillfället delades enkäter ut till gallerians personal.

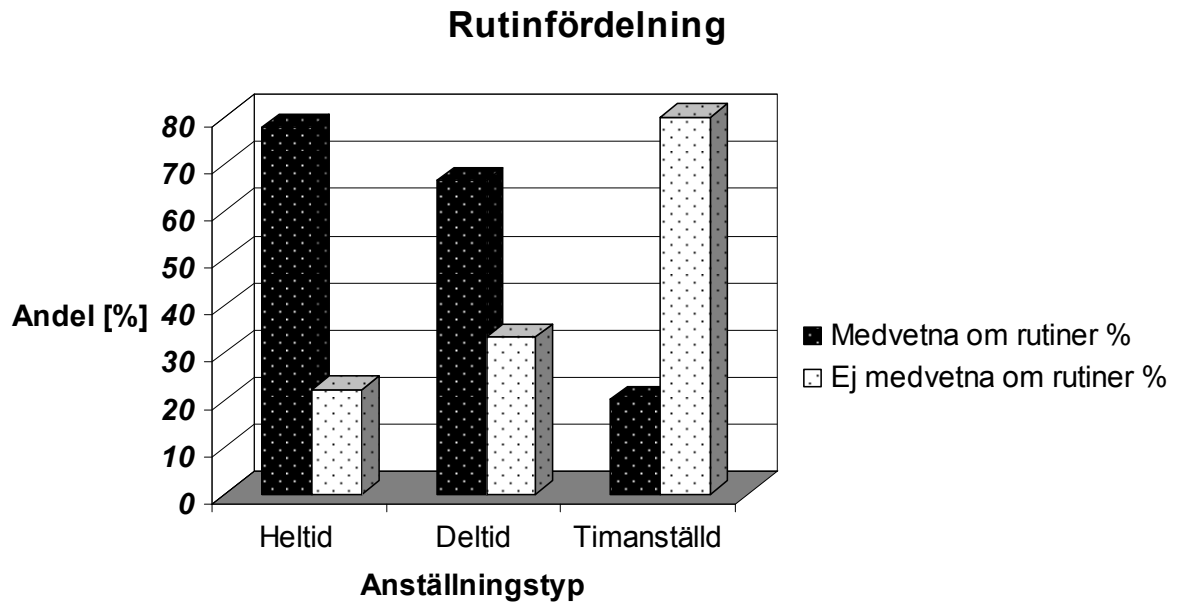
Vid besökstillfället inkom 23 enkätsvar. Nedan följer en sammanställning av enkätundersökningen i tabellerna F.1, där inkomna svar är sorterade efter anställningstid samt år av anställning, tabell F.2, där inkomna enkätsvar är sorterade efter anställningstyp, år av anställning samt kunskap om gällande rutiner vid brand samt figur F.1. Utdelad enkät återfinns i Bilaga G.

Tabell F.1. Tabellen redovisar de inkomna enkätsvaren där värdena anger antal år av anställning.

	Heltidsanställd	Deltidsanställd	Timanställd
	6	1	0.06
	2	0.2	0.4
	10	0.5	8
	3.5	1	1.5
	11	3	0.3
	5	0.6	
	1.5	1.7	
	27	16	
	8	3	
Summa anställningsår	74	27	10.26
Antal svarande	9	9	5
Medel anställningsår	8.2	3	2.05

Tabell F.2. Tabellen redovisar enkätsvar med avseende på anställningsform, anställningstid samt kunskap om rådande rutiner vid brand.

	Heltidsanställd	Deltidsanställd	Timanställd	Totalt %
Anställningsår	8.2	3	2.05	
Rutiner	7	6	1	60
Inga rutiner	2	3	4	40
Totalt	9	9	5	
Rutiner %	78	67	20	
Ej rutin %	22	33	80	



Figur F.1. Diagrammet visar fördelning av anställdas kunskaper om rutiner vid brand med avseende på anställningstyp.

Bilaga G – Utdelad enkät

2007-09-14

Informationen från denna enkät behandlas på sådant vis att den inte kan knytas till någon enskild person. Syftet är att få en generell beskrivning av utbildningsnivå och rutiner vid brand.

Enkätundersökning Brandsäkerhet gallerian Domino, Norrköping

1. Vilken affär arbetar Ni i _____

2. Vilken är Er typ av anställning: Heltid Deltid Timanställd

Annan: _____

3. Hur länge har Ni varit anställd: _____

3. Vad har Er butik för rutiner när utrymningslarmet ljuder?

4. Vilken information fick Ni om brand och utrymning när ni anställdes?

5. a) Finns det släckutrustning (t.ex. handbrandsläckare, brandfilt, slang i brandskåp) i närheten av Er butik?

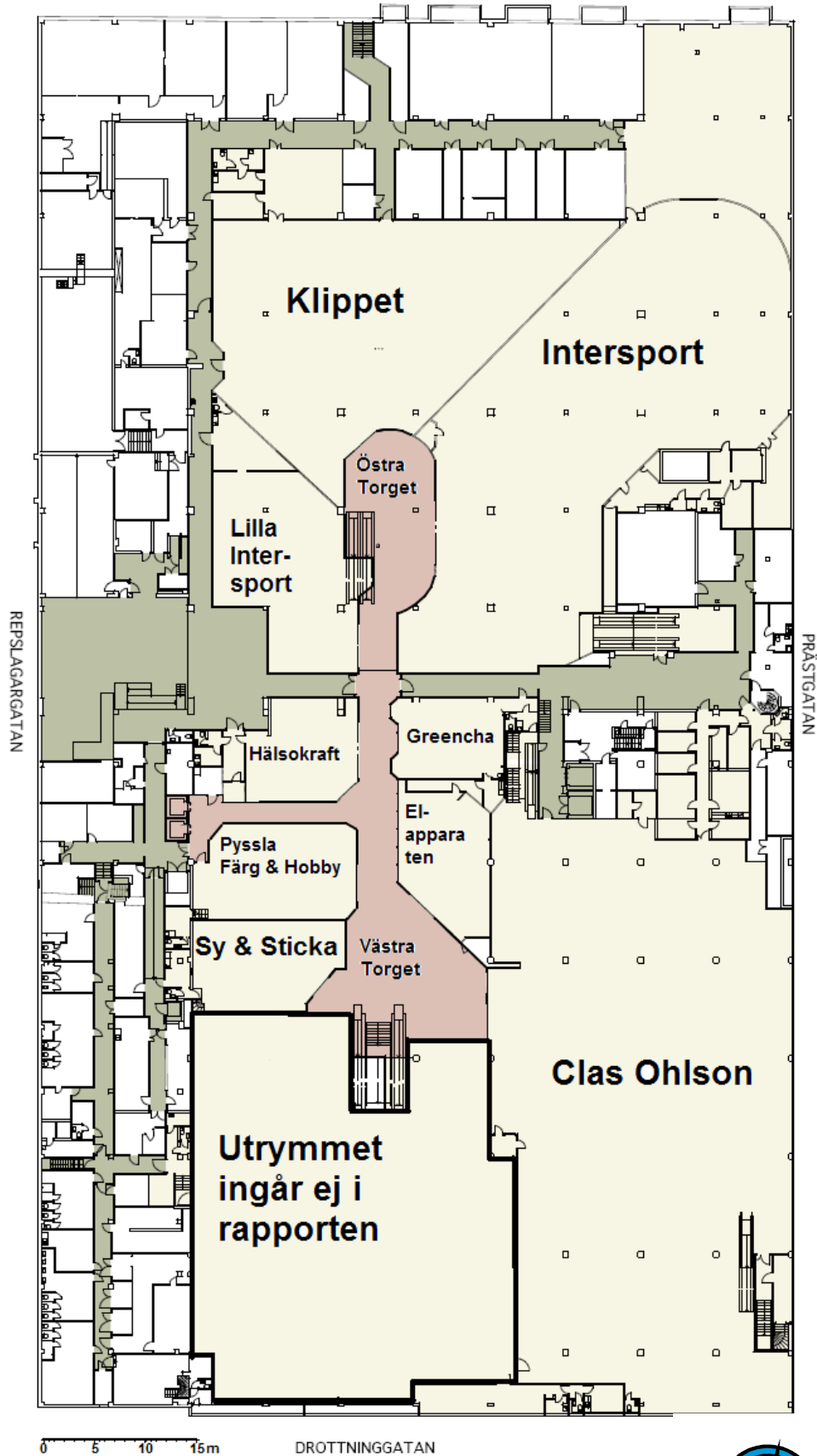
b) Har Ni fått utbildning i att hantera den?

Ja – vad bestod utbildningen av? _____

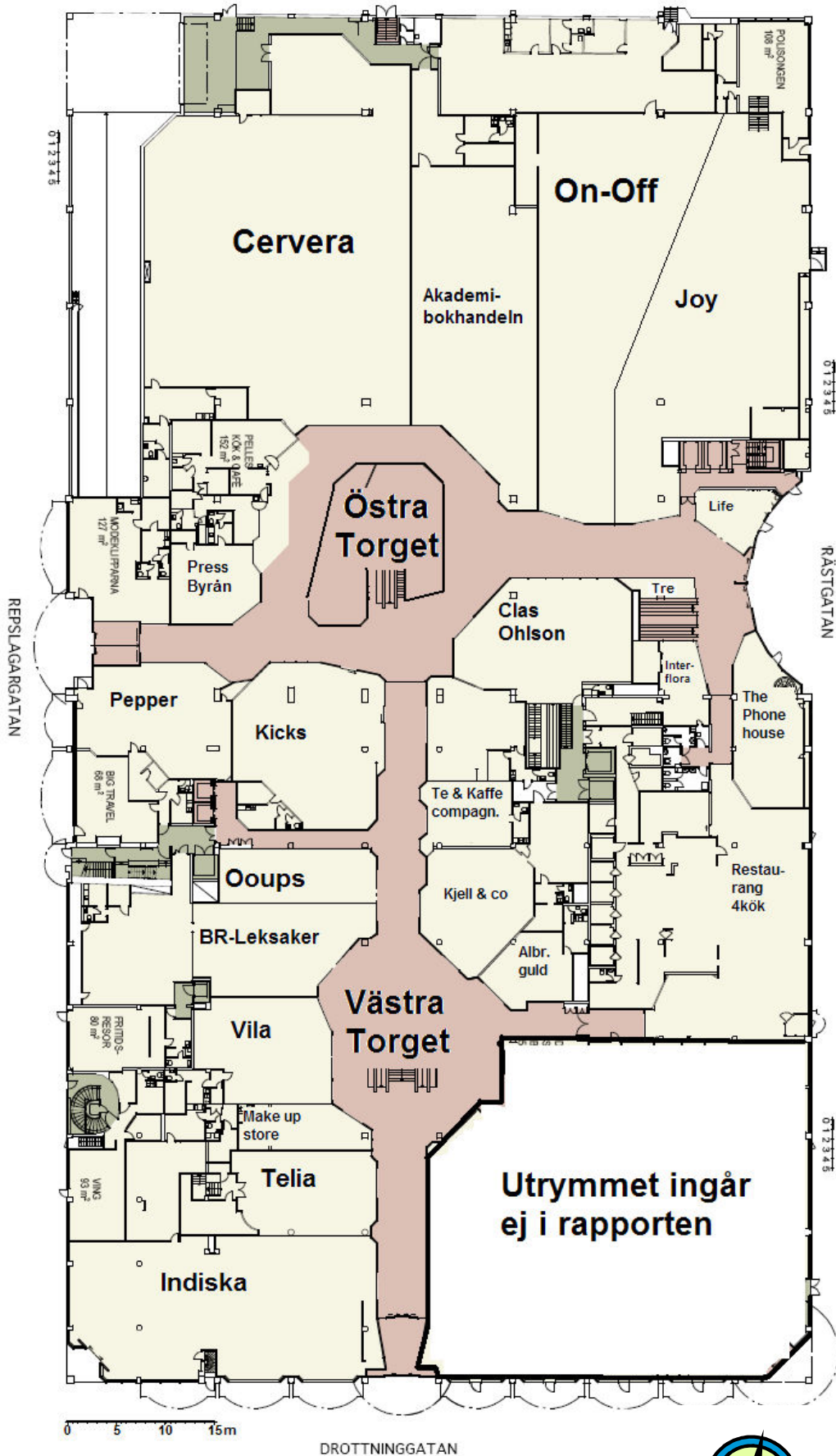
Nej

Tack för din medverkan!

Bilaga H – Ritning källarplan



Bilaga I – Ritning entréplan





LUNDS UNIVERSITET