

# Brandteknisk riskvärdering av Jakobsbergs centrum



VBR045, Brandteknisk Riskvärdering, Lund 2011

Brandteknik, LTH

Sofia Frindberg, Emelie Lantz, Kristina Lidell, Kristoffer Mattsson

Bi08, Grupp 9

Handledare: Håkan Frantzich



**LUNDS**  
**UNIVERSITET**  
Lunds Tekniska Högskola



# Brandteknisk riskvärdering

## Jakobsbergs centrum

Sofia Frindberg

Emelie Lantz

Kristina Lidell

Kristoffer Mattson

Lund 2011-05-26

---

*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 Jakobsbergs Centrum  
Fire Safety Evaluation of Jakobsbergs Shopping Center

**Författare/Authors**

Sofia Frindberg, Emelie Lantz, Kristina Lidell, Kristoffer Mattsson

**Rapport/Report**

9395 © Copyright Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola

**Nyckelord**

Brandteknisk riskvärdering, Jakobsbergs Centrum, riskanalys, utrymning, kritiska förhållanden, CFAST, Simulex

**Keywords**

Fire Safety Evaluation, Jakobsbergs Shopping center, risk assessment, evacuation, critical conditions, CFAST, Simulex

**Språk/Language**

Svenska/Swedish

**Abstract**

This report is a fire evaluation of Jakobsbergs Shopping Center. The aim is to analyze and evaluate person safety and evacuation in regard of fire in the stores mainly at ground level of the building. Jakobsbergs Centrum consists mainly of a shopping center and apartments. However this report is limited to the area with the shopping center that consists of about fifty stores. During a visit, likelihood and consequence was estimated for different fire scenarios at the center. Three scenarios were chosen and became the objects for a more detailed analyze. Time to critical conditions for these scenarios was estimated with the computer program CFAST and calculations by hand. The evacuation time was estimated with the computer program Simulex. The time to critical conditions was compared with the evacuation time to assess if the evacuation is acceptable. The conclusion of the evaluation is that a satisfactory evacuation cannot be guaranteed today and therefore some suggestions have been made how to improve the safety.

**Avdelningen för Brandteknik  
och Riskhantering**

Lunds Tekniska Högskola  
Box 118 221 00 Lund  
Telefon: 046-222 73 00  
Hemsida: [www.brand.lth.se](http://www.brand.lth.se)  
E-postadress: brand@brand.lth.se

**Department of Fire Safety  
Engineering and System Safety**

Lund Institute of Technology  
Box 118 221 00 Lund, Sweden  
Telephone: +46 (46) 222 73 00  
Website: [www.brand.lth.se](http://www.brand.lth.se)  
E-mail: brand@brand.lth.se

## **Förord**

Författarna vill tacka ett antal personer som har varit till stor hjälp vid skapandet av denna rapport:

**Håkan Frantzich.** Brandingenjör/Universitetslektor Brandteknik LTH. Håkan har varit vår handledare och hjälpt till vid frågor och oklarheter.

**Axel Jönsson.** Hjälpte oss att ta fram material om objektet.

**Robert Jönsson.** Avdelningschef för Brandteknik och Riskhantering Lunds Tekniska Högskola.

**Rickard Westning.** Brandkåren Attunda. Rickard har varit vår kontaktperson på brandkåren i Järfälla och har hjälpt till vid objektbesök och frågor.

Lund, 2011

## Sammanfattning

Denna rapport är en brandteknisk riskvärdering av Jakobsbergs Centrum. Syftet med rapporten är att analysera och värdera personsäkerheten med avseende på utrymning vid händelse av brand. Den del av byggnaden som berörs av analysen är shoppinggallerian med dess butiker.

Jakobsbergs Centrum är en shoppinggalleria med ett femtiotal butiker. Alla butiker har sprinkler men rökdetektorer och brandgasventilation finns enbart i gångstråken. Under öppningstiderna finns det patrullerande väktare som vid händelse av brand sköter utrymningsmeddelande manuellt via megafoner. Det yttersta ansvaret för brandskyddet ligger på fastighetsägaren enligt lagen om skydd mot olyckor.

Genom ett platsbesök uppskattades sannolikhet och konsekvens för olika brandscenarier i gallerian. Tre av dessa valdes ut och användes sedan som underlag för en djupare analys. Scenarierna som valdes ut var brand i hylla på BR Leksaker, köksbrand på restaurang Pergola och brand i chipshylla på matvarubutiken Hemköp. Med hjälp av datorprogrammet CFAST och handberäkningar har tid till kritiska förhållanden erhållits för varje scenario. Kritiska förhållanden definieras som en sikt på mindre än 5 meter i brandrummet, ett för lågt brandgaslager, strålning på mer än  $2,5 \text{ kW/m}^2$  samt en lufttemperatur på över  $80^\circ\text{C}$ . Med hjälp av simuleringsprogrammet Simulex kunde utrymningstid från brandrummet för de olika butikerna uppskattas. Tiden till kritiska förhållanden och tiden för utrymningen jämfördes för att värdera om en tillfredställande utrymning kunde ske.

På BR Leksaker uppfylldes kraven för säker utrymning då utrymningstiden var kortare än tiden tills kritiska förhållanden. En känslighetsanalys visar dock att utan sprinkleraktivering kan säker utrymning inte ske om personantalet överstiger 100 i både BR Leksakers och Team Sportias affärer. I nuläget finns det dock ett sprinklersystem på BR Leksaker som vid aktivering kan säkerställa en godtagbar utrymning.

På Hemköp uppstod kritiska förhållanden efter att utrymningen var slutförd. Om sprinklerna inte skulle aktivera kan 250 personer vistas i lokalen utan att någon hinner utsättas för kritiska förhållanden vid utrymning.

Köksbranden på restaurang Pergola resulterade inte i några kritiska förhållanden. En känslighetsanalys för restaurang Pergola visar dock att om branden är placerad så att nödöppningsknappen för en av utgångarna blir otillgänglig kan inte säkra utrymningsförhållanden garanteras.

En stor brist i dagsläget anses vara avsaknaden av branddetektion och ordentligt utrymningslarm. Eftersom beräkningarna bygger på många antaganden och osäkerheter anses inte en säker utrymning kunna ske från Jakobsbergs Centrum i dagsläget. Nedan syns punkter som ska genomföras för att en säker utrymning ska kunna ske och punkter som bör genomföras för att förenkla utrymning ytterligare.

#### **Åtgärder som ska genomföras:**

- Förbättra det systematiska brandskyddsarbetet.  
Med detta menas bättre kontroll och uppföljning av de befintliga brandskyddens funktion, till exempel att utrymningsskyltar syns tydligt, utrymningsvägar ej blockeras, sprinklersystemet/brandgasventilationen underhålls, ökat samarbete mellan butiksinnehavarna och mer brandskyddsutbildning för personalen.
- Införa branddetektion i alla butiker.
- Införa talat utrymningsmeddelande.

#### **Åtgärder som bör genomföras:**

- Stänga av rulltrapporna vid händelse av brand för att möjliggöra utrymning i båda trapporna.
- Se till att gallret i trappan vid restaurang Pergola kan öppnas av gästerna under kvällstid för att förenkla utrymning vid händelse av brand.
- Som ett långsiktigt mål installera sprinkler med lägre RTI.





## Nomenklatur

---

$A_T$  = Rummets totala omslutningsarea [ $m^2$ ]

$A_v$  = Öppningens area [ $m^2$ ]

$B$  = Dörrens bredd [m]

$c_p$  = Specifik värmekapacitet [ $J/(kg \cdot K)$ ].

$D_0$  = Rökpotential [ob. $m^3/g$ ]

$D_{10}$  = Optisk densitet [dB]

$f$  = Dimensionerade personflödet genom dörr [person/sm]

$H$  = Rumshöjd [m]

$h_k$  = Effektivt värmeövergångstal till omgivande konstruktioner [ $kW/m^2C$ ]

$h_v$  = Öppningens höjd [m]

$k\rho c$  = Omslutningsytornas värmeöverföringsförmåga [ $kW^2s/m^4K^2$ ]

$L$  = Siktsträcka [m]

$L_g$  = Avstånd till utgång [m]

$M$  = Molmassa [g/mol]

$m$  = Massan av materialet som har förbränts [kg]

$N$  = Antalet personer som ska passera en dörr [-]

$n$  = Substansmängd [Mol]

$p$  = Tryck [Pa]

$\dot{Q}$  = Strålning från brandkälla [kW]

$\dot{Q}$  = Effektutveckling per tidsenhet [kW]

$q''_r$  = Infallande strålning mot exponerad yta [ $kW/m^2$ ]

$R$  = Avstånd mellan brandkälla och det strålningsutsatta föremålet [m]

$R_*$  = Allmänna gaskonstanten [ $8,31 J(mol K)^{-1}$ ]

$S$  = Golvarea [ $m^2$ ]

$T$  = Temperatur [K]

$t$  = Tid [s]

$t_g$  = Tid för effektutvecklingen att nå 1000 kW [s]

$y$  = Yield [g/g]

$V$  = Rummets volym [ $m^3$ ]

$v$  = Personens aktuella gånghastighet [m/s]

$Z$  = Kritisk höjd för brandgaslager [m]

$\alpha$  = Tillväxthastighet [ $kW/s^2$ ]

$\delta$  = Tjocklek på material [m]

$\varepsilon$  = Emissiviteten [-]

$\rho_g$  = Brandgasernas densitet [ $kg/m^3$ ]

$\sigma$  = Stefan-Boltzmanns konstant =  $5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

$\Phi$  = Synfaktorn [-]

$\varphi$  = Termisk diffusivitet [ $m^2/s$ ]

$X$  = Procentandel [-]

$\chi_r$  = Andel av brandkällan som är strålning [-]

## Innehåll

1 Inledning .....	- 1 -
1.1 Syfte .....	- 1 -
1.2 Mål .....	- 1 -
1.3 Målgrupp .....	- 1 -
1.4 Upplägg .....	- 1 -
1.5 Metod .....	- 2 -
1.6 Avgränsningar .....	- 3 -
2 Objektbeskrivning .....	- 5 -
2.1 Byggnaden och verksamhetsbeskrivning .....	- 9 -
2.2 Befintligt brandskydd .....	- 9 -
2.2.1 Brandcellsindelning .....	- 10 -
2.2.2 Sprinklersystem .....	- 11 -
2.2.3 Automatiskt brand- och utrymningslarm .....	- 12 -
2.2.4 Brandgasventilation .....	- 12 -
2.2.5 Manuell släckutrustning .....	- 13 -
2.2.6 Räddningstjänstens insats .....	- 13 -
2.2.7 Utrymningsvägar .....	- 14 -
2.2.10 Byggnadstekniskt krav .....	- 15 -
2.3 Systematisk brandskyddssarbete .....	- 15 -
2.4 Ventilationssystem .....	- 16 -
3 Utrymningsteori .....	- 17 -
3.1 Människans beteende vid utrymning .....	- 17 -
3.2 Utrymnings säkerhet ur ett analytiskt perspektiv .....	- 18 -
3.2.1 Utrymningstid .....	- 18 -
3.2.2 Kritiska förhållanden .....	- 20 -
4 Riskidentifiering .....	- 21 -
4.1 Analysmetod .....	- 21 -
4.2 Statistik .....	- 22 -
4.3 Identifiering av risker .....	- 23 -
4.4 Övriga risker .....	- 28 -

4.5 Riskmatris.....	- 28 -
4.6 Utvalda brandscenarier.....	- 29 -
5 Chipsbrand på Hemköp.....	- 31 -
5.1 Scenariobeskrivning .....	- 31 -
5.2 Effektutveckling .....	- 33 -
5.3 Utrymningstid .....	- 35 -
5.3.1 Varseblivnings- och förberedelsetid .....	- 35 -
5.3.2 Total utrymningstid.....	- 36 -
5.4 Kritiska förhållanden.....	- 37 -
5.4.1 Brandgaslagrets höjd .....	- 37 -
5.4.2 Sikt.....	- 37 -
5.4.3 Strålning .....	- 37 -
5.4.4 Toxicitet.....	- 38 -
5.4.5 Temperatur .....	- 38 -
5.5 Resultat .....	- 38 -
5.6 Känslighetsanalys .....	- 39 -
5.6.1 Kritiska förhållanden .....	- 39 -
5.6.2 Utrymningstid .....	- 40 -
5.7 Diskussion Hemköp.....	- 42 -
5.8 Slutsats angående utrymning från Hemköp .....	- 44 -
6 Köksbrand på restaurang Pergola.....	- 45 -
6.1 Scenariobeskrivning .....	- 45 -
6.2 Effektutveckling .....	- 46 -
6.3 Utrymningstid .....	- 48 -
6.3.1 Varseblivnings- och förberedelsetid .....	- 48 -
6.3.2 Total utrymningstid.....	- 48 -
6.4 Kritiska förhållanden.....	- 49 -
6.4.1 Brandgaslagrets höjd .....	- 50 -
6.4.2 Sikt.....	- 50 -
6.4.3 Strålning från brandgaslager.....	- 50 -
6.4.4 Toxicitet.....	- 50 -

6.4.5 Temperatur .....	50 -
6.5 Resultat .....	50 -
6.6 Känslighetsanalys .....	51 -
6.7 Diskussion restaurang Pergola .....	52 -
6.8 Slutsats angående utrymning från restaurang Pergola .....	53 -
7 Brand på BR Leksaker .....	55 -
7.1 Scenariobeskrivning .....	55 -
7.2 Effektutveckling .....	57 -
7.3 Utrymningstid .....	59 -
7.3.1 Varseblivnings- och förberedelsetid .....	60 -
7.3.2 Total utrymningstid .....	61 -
7.4 Tid till kritiska förhållanden .....	62 -
7.4.1 Brandgaslagrets höjd .....	62 -
7.4.2 Sikt .....	63 -
7.4.3 Strålning .....	63 -
7.4.4 Toxicitet .....	63 -
7.4.5 Temperatur .....	63 -
7.5 Resultat .....	64 -
7.6 Känslighetsanalys .....	65 -
7.7 Diskussion BR Leksaker .....	67 -
7.8 Slutsats angående utrymning från BR Leksaker .....	68 -
8 Observationer och brister på Jakobsberg Centrum .....	71 -
8.1 Sammanfattning av brister .....	74 -
9 Åtgärdsförslag .....	75 -
9.1 Branddetektion och automatiskt utrymningsmeddelande .....	75 -
9.2 Utrymningsväg på Pergola .....	76 -
9.3 Automatiskt avstängning av rulltrappor .....	77 -
9.4 Förbättra det systematiska brandskyddsarbetet .....	77 -
9.5 Installera sprinkler med lägre RTI .....	78 -
9.6 Sammanfattning av åtgärdsförslag .....	78 -
10 Validering av åtgärdsförslag .....	79 -

10.1 Branddetektion och automatiskt utrymningsmeddelande .....	- 79 -
10.2 Utrymningsväg på Pergola .....	- 80 -
10.3 Automatiskt avstängning av rulltrappor .....	- 81 -
11 Diskussion .....	- 83 -
12 Slutsats .....	- 85 -
13 Litteraturförteckning.....	- 87 -
Bilaga A Teori .....	- 89 -
Bilaga B Effektutveckling för brandscenarier.....	- 100 -
Bilaga C Handberäkningar kritiska förhållanden.....	- 108 -
Bilaga D Känslighetsanalys handberäkningar .....	- 118 -
Bilaga E CFAST .....	- 121 -
Bilaga F Handberäkningar av utrymningstid.....	- 144 -
Bilaga G Detact QS .....	- 147 -

## **1 Inledning**

Denna rapport ingår i kursen *Brandteknisk Riskvärdering, VBR054*, som ges vid Lunds Tekniska Högskola vårterminen 2011. Arbetet resulterar i en brandteknisk värdering av ett objekt som valts ut av institutionen för brandteknik. Det tilldelade objektet var i detta fall Jakobsberg Centrum. Byggnaden som är belägen i Järfälla kommun består av en shoppinggalleria, biograf, kontor och bostäder. Rapporten presenteras även muntligt vid ett offentligt seminarium.

### **1.1 Syfte**

Syftet med rapporten är att tillämpa erhållna kunskaper från tidigare kurser för att analysera och värdera personsäkerheten med avseende på utrymning vid händelse av brand i Jakobsbergs Centrum.

### **1.2 Mål**

Målet med arbetet är att utvärdera personsäkerheten med avseende på utrymning och ge förslag på förbättringar om säkerheten är bristfälligt. Dessa lösningar bör vara ekonomiskt försvarbara med hänsyn till objektets förutsättningar och de konsekvenser en brand kan leda till.

### **1.3 Målgrupp**

Rapporten vänder sig till fastighetsägaren och enskilda butiksägare vid Jakobsbergs Centrum, studenter vid brandingenjörsprogrammet samt den lokala räddningstjänsten.

### **1.4 Upplägg**

Ett besök på Jakobsbergs Centrum görs för undersökning av befintligt brandskydd och brandrisker. Utifrån detta besök görs en riskidentifiering där konsekvens och sannolikhet för olika brandscenarier vägs samman. De tre scenarier som anses medföra störst risk väljs ut för en djupare analys. Lagkrav på brandskydd tas i beaktande och tid till kritiska förhållanden uppstår beräknas för de utvalda scenarierna. Utrymningstiden simuleras i ett datorprogram och jämförs med tid till kritiska förhållanden. Hänsyn tas även till hur brandens utveckling kan påverka utrymningstiden. Därefter görs en riskbedömning och visar det sig att befintligt brandskydd är otillräckligt ges förslag på åtgärder. Därefter beräknas tid till kritiska förhållanden med

åtgärdsförslagen och en ny riskbedömning görs. Uppfylls inte kraven på brandskydd förslås nya åtgärder och proceduren upprepas till brandskyddet anses tillfredsställande.

Det finns osäkerheter i analysen gällande indatan. Exempel på detta är brandens tillväxthastighet och antal personer som vistas i lokalen. De finns även begränsningar i de matematiska modeller och program som används då dessa är förenklingar av verkligheten. Ytterligare osäkerheter finns i de antaganden och beslut som görs. För att hantera dessa osäkerheter görs genomgående konservativa antaganden och i samband med riskbedömningen görs även känslighetsanalyser där vissa parametrar ändras för att se hur utrymningen påverkas. Rapporten ska även granskas av utomstående för att kontrollera att rimliga antaganden har gjorts.

I arbetet finns begränsningar som utgörs av exempelvis bristande information om takhöjder och att utrymningsplaner samt ritningar inte riktigt stämmer överens med de uppgifter som noterades under platsbesöket. För att hantera detta har en diskussion förts kring vilka data som stämmer bäst överens med verkligheten utifrån det som noterades från platsbesöket.

## 1.5 Metod

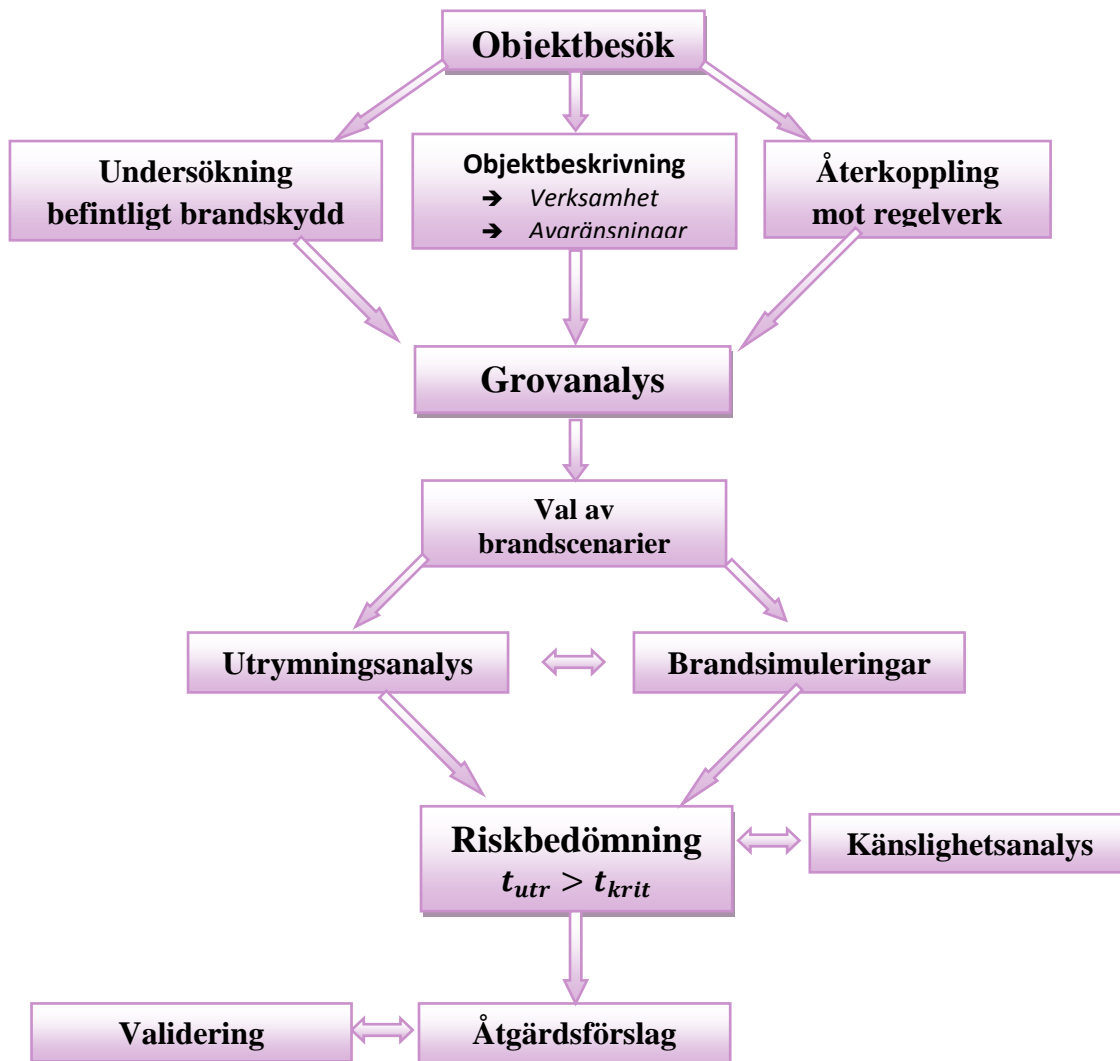
För att tydliggöra tillvägagångssättet skapas först en disposition över arbetsgången, se figur 1.1. Arbetet inleds med att upprätta kontakt med den handledare som utsetts vid LTH samt med en kontaktperson från Brandkåren Attunda. Genom att studera ritningar över centrumet samt ha en dialog med ovan nämnda handledare kan en primär avgränsning göras och en checklista med väsentliga frågor tas fram inför besöket. Denna checklista fungerar som ett stöd vid besöket för att studera till exempel brandskydd, särskilda risker och utrymningsvägar. Platsbesöket genomförs den 4 februari 2011 och förutom en genomgående kontroll av byggnaden och dess brandskydd görs även ett flertal intervjuer med slumpvis valda butiksägare. Detta görs för att åskådliggöra till exempel ansvarsfördelning och personalens brandskyddsutbildning. Utifrån det som noteras från platsbesöket tas ett antal brandscenarier fram med hjälp av riskidentifiering och några av de värsta troliga scenarierna väljs ut för djupare analys. Med hjälp av simuleringsprogram och handberäkningar kan tid till kritiska förhållanden samt utrymningstiden bestämmas. Utrymningstiden jämförs sedan med tid till kritiska förhållanden för att undersöka om utrymningen är acceptabel, det vill säga om  $t_{utr} < t_{krit}$ . Denna riskbedömning genomgår en känslighetsanalys för att kontrollera hur olika parametrar påverkar resultatet. Om utrymningen ej



är tillfredställande tas ett antal åtgärdsförslag fram och dessa valideras med en ny känslighetsanalys.

### 1.6 Avgränsningar

Jakobsbergs Centrum består av olika verksamhetsdelar såsom köpcentrum, bibliotek, kontor, biograf och bostäder. De tre sistnämnda är egna brandceller och påverkar inte övriga delar av centrumet då ingen förbindelse med gallerian finns. Då byggnaden är komplex behandlas endast själva shoppinggallerian med dess butiker. Biblioteket tas inte med på grund av osäkerhet kring dess brandcellsindelning. Shoppinggallerian är belägen på markplan, dock kan en del butiker bestå av flera våningar vilket gör att även delar av källarplanet och första våningsplanet beaktas i vissa fall. Endast personsäkerhet med avseende på utrymning vid brand beaktas i analysen, således ej ekonomiska skador och konsekvenser på egendom och miljö.

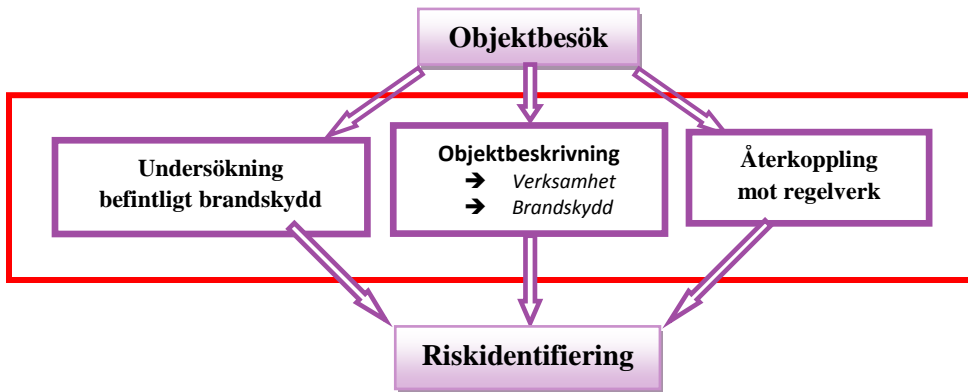


Figur 1.1 Disposition över arbetsgången.



## 2 Objektbeskrivning

I detta kapitel görs en allmän beskrivning av objektet. Det befintliga brandskyddet beskrivs och återkopplingar görs mot regelverk utifrån Boverkets byggregler (BBR) och lag om skydd mot olyckor (2003:778). Aktuell del i arbetsgången ses i figur 2.1.



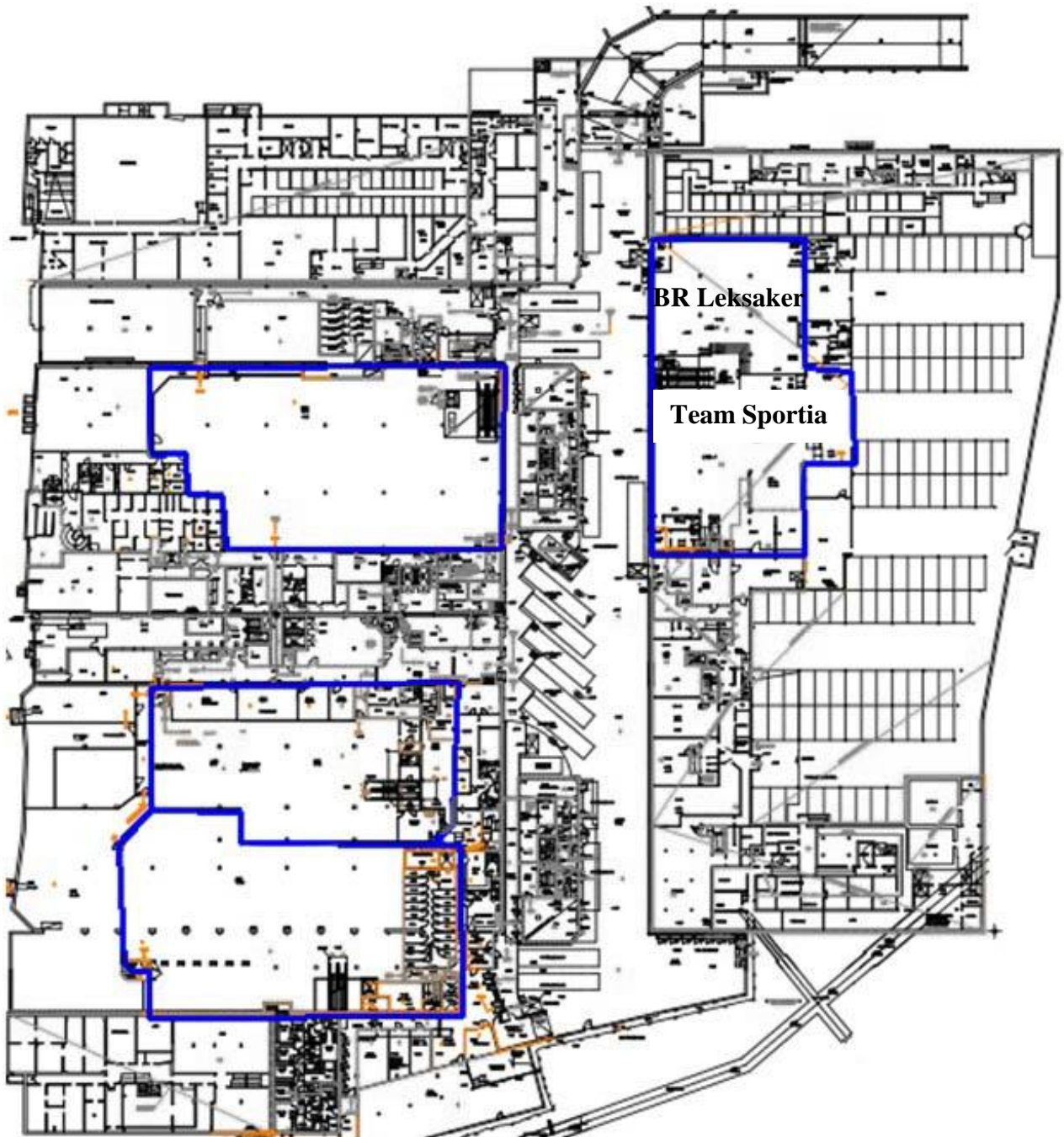
Figur 2.1 Figuren illustrerar den aktuella delen i arbetsprocessen.

Jakobsbergs Centrum är ett shoppingkomplex som består av flera byggnader beläget centralt i stadsdelen Jakobsberg i Järfälla kommun, se figur 2.2 -2.5. Centrumet stod färdigt 1994. Detta innebär att det började byggas innan de nya byggreglerna från Boverket gavs ut.

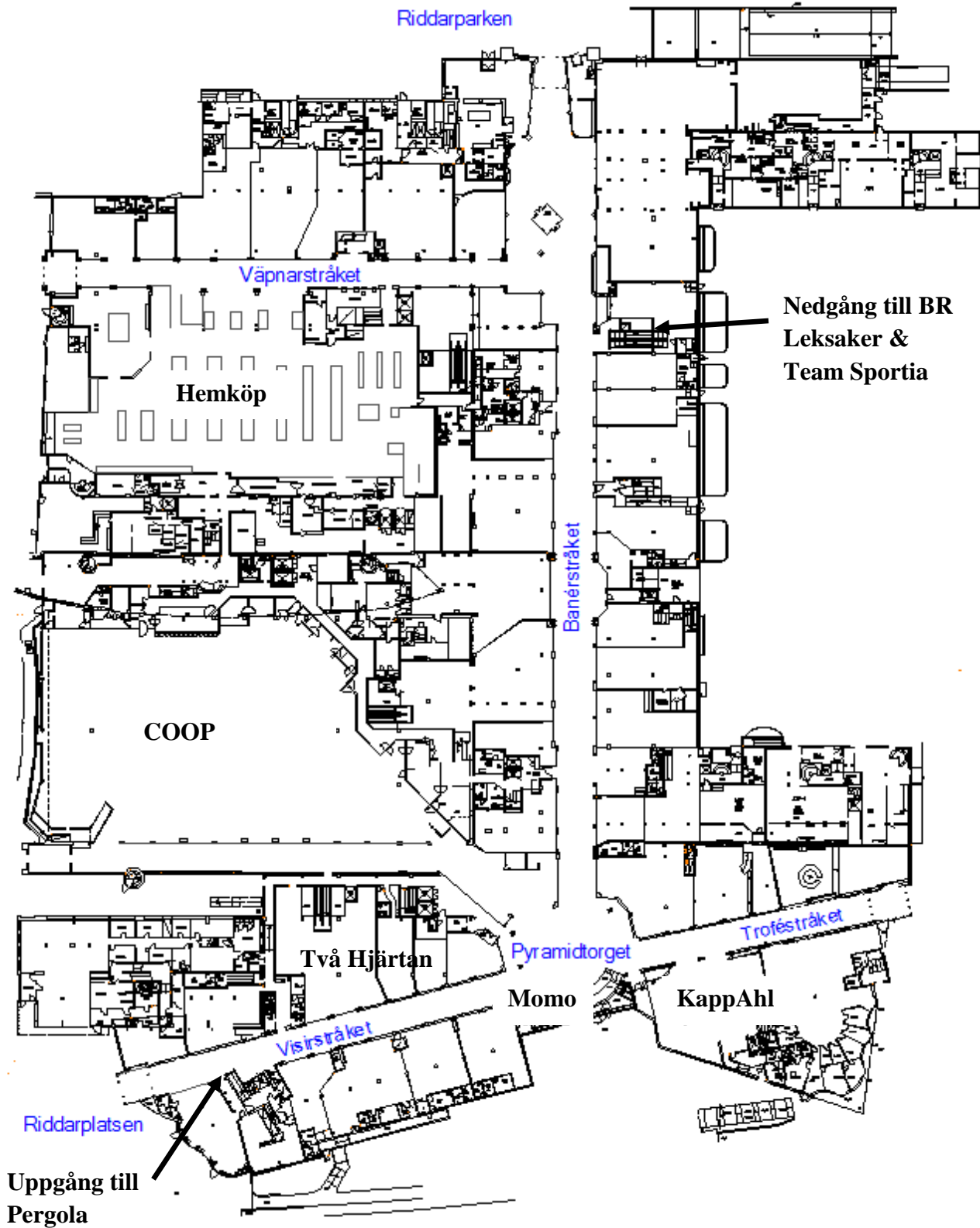
Huvudbyggnaden består dels av en galleria med flera shoppingstråk men i byggnaden finns även biograf, bibliotek, kontor och bostäder. Butikerna har en gemensamt en yta på 25000 m<sup>2</sup> (Jakobsbergs Centrum). Enligt Boverket (2006) rekommenderas en persontäthet på 0,5 personer/m<sup>2</sup> vilket skulle motsvara att 12500 personer kan vistas i gallerians lokaler. Enligt boverket räknas en samlingslokal som ett eller en grupp av utrymmen som rymmer mer än 150 personer. Gallerian klassas således som samlingslokal.



Figur 2.2 Jakobsbergs Centrum (Jakobsbergs Centrum, 2011).

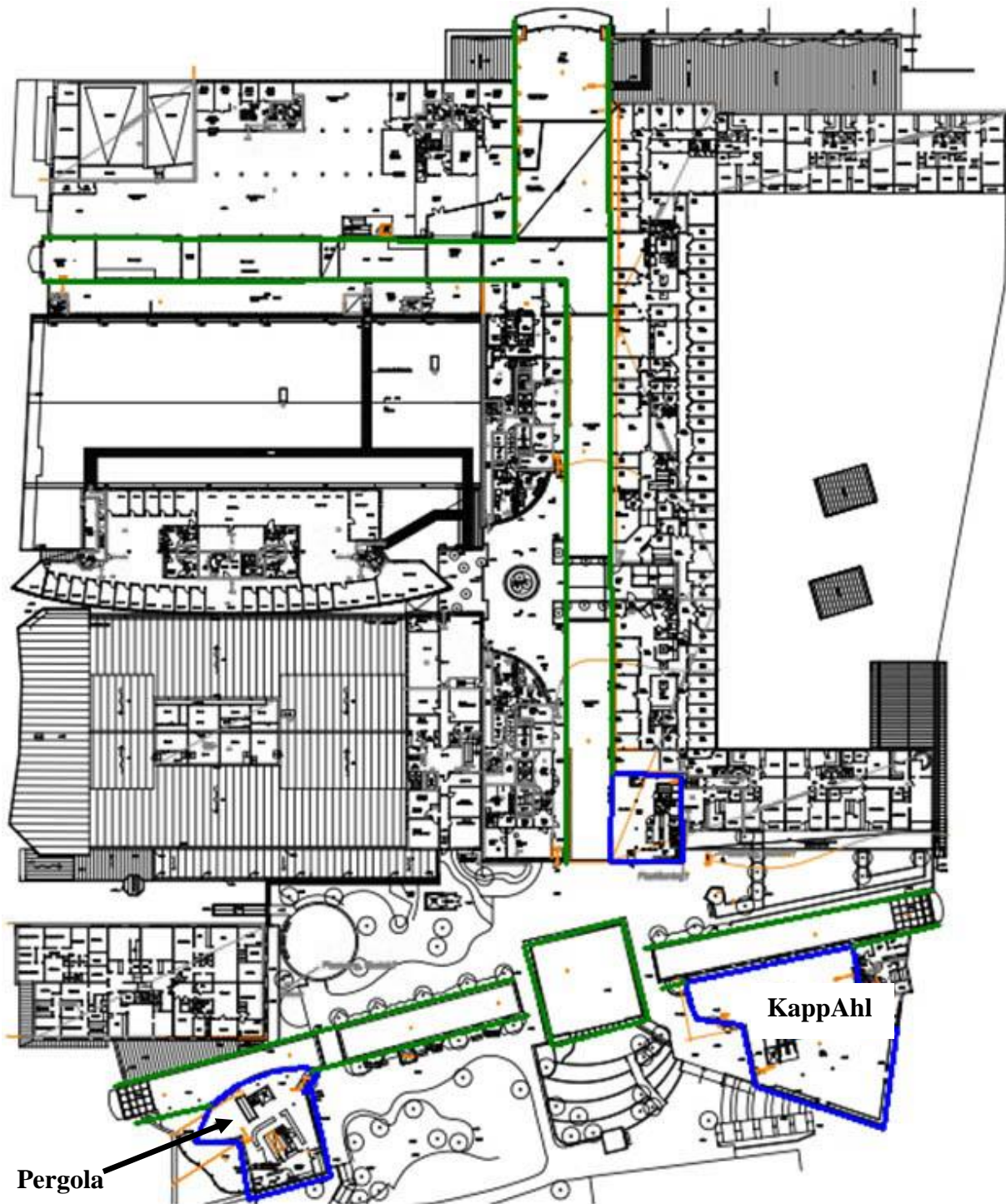


Figur 2.3 Ritningen visar källarplan. De blå markeringarna visar områden där butiker är belägna.



Figur 2.4 Jakobsbergs köpcentrum, markplan. Affärerna ligger längs med stråken. Stråken är således en gemensam yta som binder samman alla butiker.





Figur 2.5 Här visas plan 1. De blå linjerna visar områden med butiker medan de gröna visar gångstråken och atriet vid pyramidtorget.

## 2.1 Byggnaden och verksamhetsbeskrivning

Centrumet består av flera våningar där källarplan, första våningsplanet och framför allt markplan är de som innehåller butiker. Det finns ett drygt femtiotal olika verksamheter som till exempel klädbutiker, caféer, restauranger och elektronikbutiker. Det finns även två stora matbutiker samt Systembolaget. Själva shoppinggallerian ligger på markplan och den består av ett flertal stråk med sneda glastak, se figur 2.6. Stråken har egna ingångar från utsidan och sammanbinds med varandra i byggnaden, se figur 2.7. Det finns två platser där det finns atrium, ett lite större vid Pyramidtorget och ett mindre där Väpnarstråket och Banerstråket möts, se figur 2.4. I anslutning till stråken finns olika butiker. Butikerna varierar i storlek från 30 m<sup>2</sup> till omkring 1000 m<sup>2</sup> där matbutiker är de som har störst yta. Ett fåtal butiker har sin verksamhet på källarplanet där det även sker godsmottagningar. Förbindelsen mellan gångstråken på markplan och de butiker som finns på källarplan eller plan 1 sker med trappa/rulltrappa och hiss, se figur 2.7.



Figur 2.6 Till vänster syns ett av stråken med dess sneda glastak.



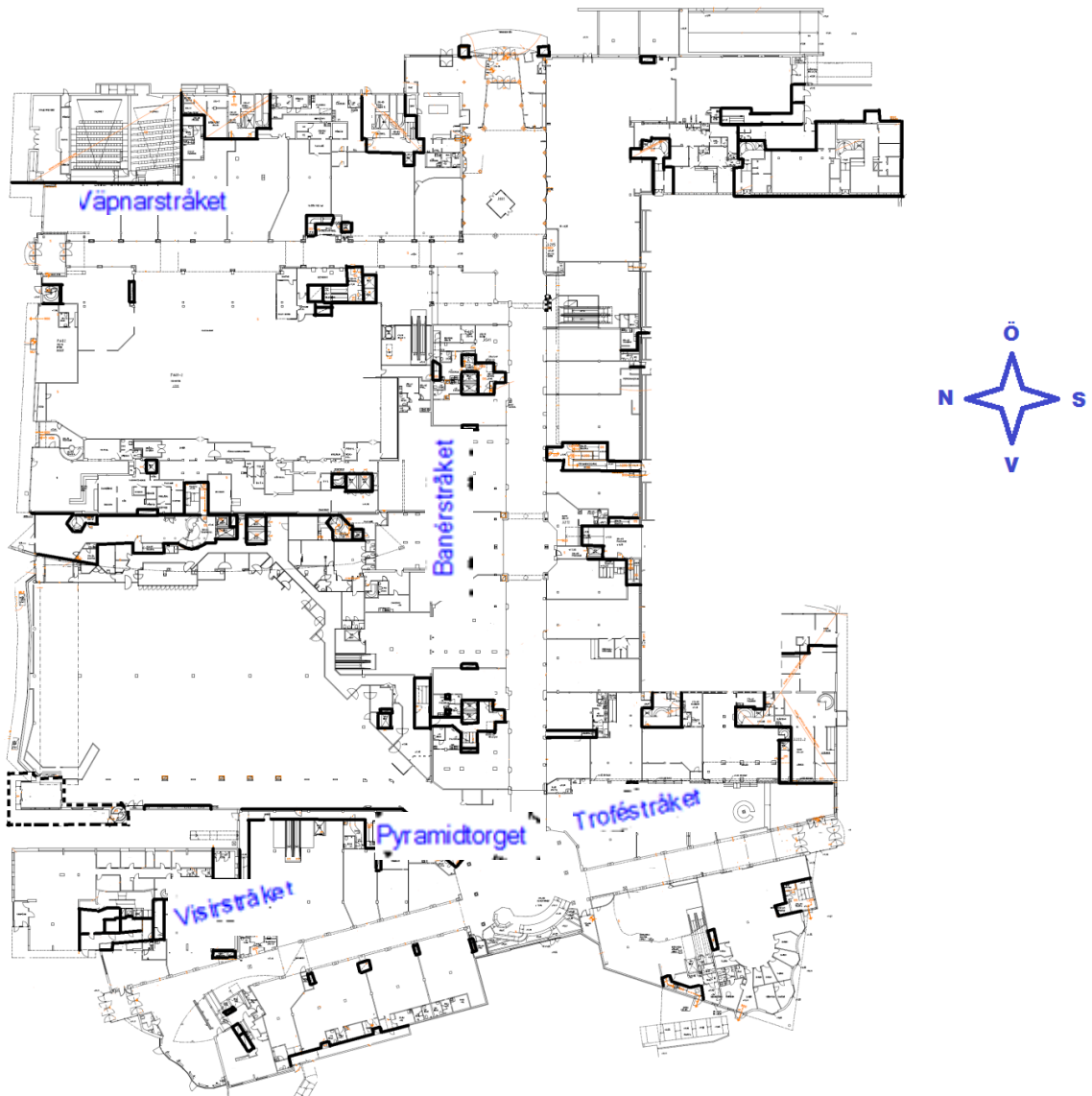
Figur 2.7 Bilden visar en förbindelse mellan två plan i form av rulltrappa och hiss.

## 2.2 Befintligt brandskydd

Butiksstråken i shoppinggallerian har fasta brandskyddsinstallationer så som automatiska vattensprinkler, nödbelysning, brandgasventilation och automatiskt brandlarm. De flesta butiker har endast sprinklersystem. Trots att centrumet påbörjades innan de nya byggreglerna från Boverket gavs ut kommer dessa tas upp i viss mån för att ta hänsyn till dagens krav.

### 2.2.1 Brandcellsindelning

Det finns några få brandceller i gallerian som har klass EI 60 och EI 30, se figur 2.8 . Större delen av gallerian på markplan är dock en egen brandcell. Butikerna ingår i denna brandcell eftersom deras entréer är öppna ut mot gångstråken, se figur 2.9. Trappan upp från gångstråket till biblioteket på plan 1 och biblioteket självt ska enligt ritningarna vara egna brandceller. Under besöket uppstod dock tvivel om detta stämmer då det bland annat var vanliga glas i de fönster som vette mot gångstråket.



Figur 2.8 Brandceller med klass EI60 är markerade med tjocka svarta linjer. Brandceller med klass EI30 är markerade med streckade tjocka linjer.





Figur 2.9 Öppning från butik ut till gångstråket.

### 2.2.2 Sprinklersystem

I princip hela verksamheten har sprinklersystem av typen våtrörsystem. I gångstråken där takhöjden är hög och taket delvis sluttande finns uppåtriktade sprinkler. I övriga butiker där takhöjden är lägre och taken är horisontella är sprinklerna nedåtriktade. Alla glasbulbssprinkler är av färgen röd, vilket motsvarar en aktiveringstemperatur på 68 °C (Särdqvist, 2006).

Glasbulberna var tjocka och tros ha ett högt RTI på cirka  $100 \sqrt{m.s}$ . I en butik påträffades dock smältbleckssprinkler. I sprinklercentralen undersöktes kontrolljournalen och senaste årliga servicen ägde rum 30/11 – 2010. Sprinklercentralen har ej någon tryckhöjande pump utan drivs endast av det kommunala nätet som har ett tillräckligt bra vattentryck och omsättning (Westning, 2011).

Enligt Boverkets byggregler (2008) står det att om en automatisk sprinkleranläggning är en förutsättning för att brandskyddet ska kunna upprätthållas ska den utformas på ett sådant vis att den ska kunna släcka eller kontrollera branden under avsedd tid. Anvisningar hur sprinkler bör vara placerade för att detta ska kunna upprätthållas finns i standarden SS-EN 12845. Enligt dessa anvisningar ska avståndet mellan sprinklerhuvudet och överkanten på det lagrade godset vara en meter (Hjort, 2007).

### 2.2.3 Automatiskt brand- och utrymningslarm

Enligt Boverket (2008) ska automatiskt brandlarm installeras, i nybyggnationer eller om det sker ändringar i redan befintlig byggnad, där krav på tidig upptäckt av brand ställs. Dock kan automatiskt brandlarm betraktas som ett krav utifrån intentionerna i lagen om skydd mot olyckor angående skäligt brandskydd. Detektering ska, i den mån det är möjligt, ske med hjälp av rökdetektorer. Då personer befinner sig i byggnaden ska systemet ge signal till en bemannad plats. Gallerian har ett tyst automatiskt brandlarm i gångstråken med koppling till Räddningstjänsten och även till byggnadens två väktare. Väktarna är alltid stationerade i lokalerna under köpcentrals öppettider. Detektion sker genom rökdetektorer och vid aktivering får väktarna i byggnaden ett larm på sina sökare. Då ska de genast undersöka sektionen där detektorn aktiverat och vid händelse av brand hämta megafoner och manuellt informera att besökarna ska utrymma byggnaden. Underhåll och service av dessa sköts av ett externt företag. En branddetektor belägen i gångstråket visas i figur 2.10.

Det finns inget gemensamt utrymningslarm men några få affärer, som till exempel KappAhl, har ett eget utrymningslarm som personalen själva aktiverar med en knapp vid kassan. Detta sker alltså om personalen själva upptäcker brand och larmet ljuder bara i den enskilda butiken.

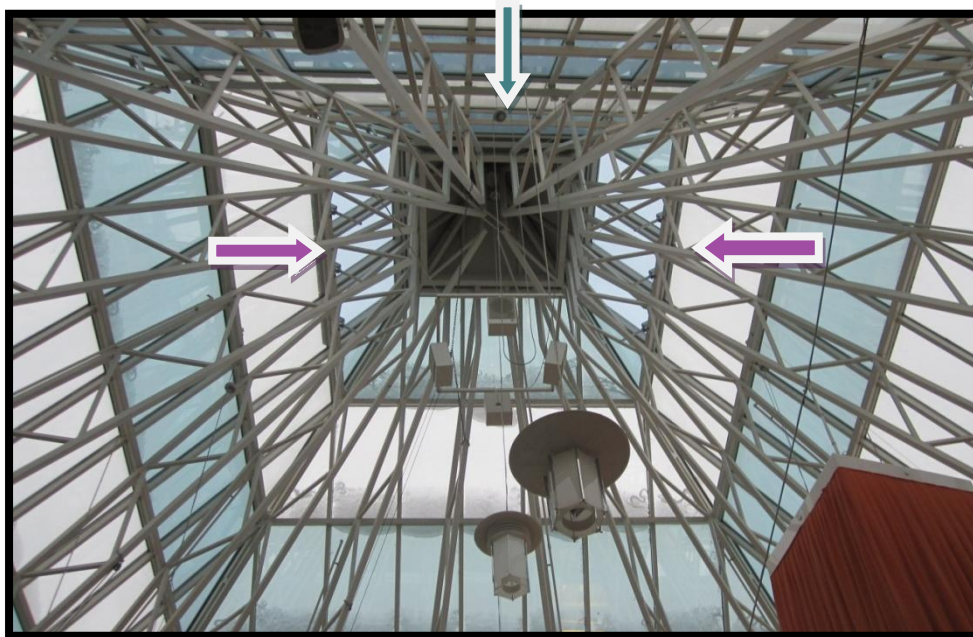


*Figur 2.10 Bilden visar en av gångstråkens hängande rökdetektorer.*

### 2.2.4 Brandgasventilation

I atrierna finns brandgasventilation placerad i taket. Toppen av taket är formad som en pyramid och på två sidor finns vardera tre luckor installerade, se figur 2.11. Dessa luckor öppnas

automatiskt när två rökdetektor aktiverar. I gångstråken påträffas även horisontella rökluckor, som fungerar på samma sätt som ovan. För att brandgaserna ska ledas till gångstråken där brandgasventilationen finns och inte samlas i butikerna har alla butiker ett dimensionerat övertryck. Det finns också tilluftsluckor ovanför alla huvudingångar som öppnas vid automatiskt branddetektion. Detta för att garantera tilluft och därmed rökluckornas funktion.



*Figur 2.11 Bilden visar det pyramidformade taket i atriet. De lila pilarna pekar mot de tre brandgasluckorna på vardera sidan och den blå pekar mot rökdetektorn.*

### **2.2.5 Manuell släckutrustning**

I gångstråken och i butiker finns handbrandsläckare av olika typer, främst skum. Dessa är generellt tydligt märkta och lättillgängliga. Ett externt företag sköter underhåll och service på handbrandsläckare. I källarplanet finns ett flertal inomhus-brandposter för manuell bruk.

### **2.2.6 Räddningstjänstens insats**

Närmsta brandstation är Järfälla som har en anspänningstid på 90 sekunder och en körtid på ca 4 minuter. Styrkan består av 1 + 5 man och de har tillgång till släckbil och stegbil. Skulle de vara ute på annat uppdrag kan stationer från närliggande kommuner vara på plats inom 30 minuter. Angreppspunkt är östra entrén vid Riddarparken, se figur 2.4.

### 2.2.7 Utrymningsvägar

Huvudentréerna till gallerian har svängdörrar, det vill säga de går att öppna både inåt och utåt. Dessa är tydligt märkta med genomlysta utrymningsskyltar och utgången är tilltalande och ljus. Dörrarna är dessutom gjorda av glas så man kan se ut, vilket underlättar utrymning (Frantzich, 2000). Huvudentréerna består av en sluss som måste passeras för att komma ut, det vill säga två dörrar måste öppnas. Dörrbredden är 1,2 m och det finns 4 dörrar vid varje entré. Det finns inga trösklar som hindrar utrymningen, se figur 2.12. Nödutgångar från källarplanet har panikbeslag och är således enbart utåtgående. Till ett antal butiker finns hiss för rörelsehindrade personer vilka stannar på bottenvåningen vid händelse av brand.

Trots att butikerna inte är egna brandceller och därmed inte har krav på sig att ha två av varandra oberoende utrymningsvägar (Boverket, 2006) så finns det. Förutom utgången mot stråket har nästan alla butiker en märkt nödutgång i bakre delen av butiken som leder ut via källarplanet. Detta gör att det finns många tillgängliga nödutgångar i gallerian. I gångstråken finns utrymningsplaner som visar dessa utgångar. Planerna sitter synligt och lättillgängligt.



*Figur 2.12 Bilden illustrerar en av huvudentréernas utrymningsdörrar. Skyltarna syns tydligt och utgången är tilltalande och ljus.*

### **2.2.8 Vägledande markeringar och nödbelysning**

Enligt Boverket (2008) ska vägledande markeringar finnas i lokaler där folk kan förväntas ha dålig lokalkännedom samt i lokaler där det är svårt att orientera sig eller som inte släpper in dagsljus. I källarplanet där miljön är okänd för utrymmande personer finns det vägledande markeringar på golvet. Detta finns inte i gångstråken där dagsljus släpps in via taket som består av glas. I stråken finns däremot nödbelysning i form av strålkastare som underlättar utrymning. Utrymningsskyltar finns i alla utrymmen.

### **2.2.10 Byggnadstekniskt krav**

Enligt Boverkets byggregler ska byggnader utföras i olika brandklasser. Klassindelningen består av Br1, Br2 eller Br3, där Br1 är den högsta och har således de största kraven. Vid klassindelningen av byggnader ska hänsyn tas till utrymningsmöjligheter och risken för personskador om byggnaden skulle störta samman. Hänsyn ska också tas till byggnadens volym, antal personer som beräknas befinna sig där samt till den verksamhet som ska bedrivas i byggnaden. Enligt Boverkets Byggregler bör byggnader med tre eller fler våningar, likt Jakobsbergs Centrum, utföras som Br1 (Boverket, 2008).

Centrumets grundkonstruktion på väggar, tak och golv är av målad betong. Dock finns det gipsskivor uppsatta i taken hos en del butiker, klass A2-s1,d0 (klass I). Enligt Br1 ska takets och väggarnas ytskikt i utrymningsvägar vara som lägst klass B-s1,d0 (klass I). Detta gäller även för taket i övriga utrymmen, dock ska väggarna i övriga utrymmen vara lägst av klass C-s2,d0 (klass II) (Boverket, 2008).

## **2.3 Systematisk brandskyddsarbete**

Enligt lagen om skydd mot olyckor (SFS 2003:778) skall ägare eller nyttjanderättshavare till byggnader eller andra anläggningar i skälig omfattning hålla utrustning för livräddning och släckning av brand. De ska även vidta de åtgärder som behövs för att förebygga, hindra samt begränsa skador till följd av brand. För att uppfylla dessa krav på åtgärder bör ett systematiskt brandskyddsarbete (SBA) bedrivas under hela byggnadens användningstid. Brandskyddet bör dessutom dokumenteras.



Enligt Statens Räddningsverks allmänna råd och kommentarer om systematiskt brandskyddsarbete (SRVFS 2004:3) bör SBA bedrivas med avseende på förebyggande åtgärder samt på de åtgärder som planeras att vidtas vid händelse av brand. Detta innebär att ägare och nyttjanderättshavare kontinuerligt bör vidta de åtgärder som krävs för att minska riskerna för brand. Enligt de allmänna råden bör det finnas en tillräckligt omfattande dokumentation av brandskyddet för att garantera att nödvändiga brandskyddsåtgärder vidtas och att dessa dessutom fungerar. Det bör också finnas en brandskyddsansvarig med särskilt ansvar för dokumentationen.

För att få en god översikt över hela byggnadens brandskydd är det viktigt att ägare och nyttjanderättshavare har insikt om hur vidtagna brandskyddsåtgärder samverkar med varandra samt hur åtgärderna bidrar till att minska riskerna. Enstaka kontroller av brandskyddsåtgärder ger inte svar på om hur brandskyddet fungerar mellan dessa kontroller. Ett bra brandskyddsarbete behöver därför bedrivas systematiskt och kontinuerligt.

## **2.4 Ventilationssystem**

Det befintliga ventilationssystemet på Jakobsbergs Centrum är ett till- frånluftssystem. Systemet är dimensionerat så att butikerna har ett övertryck och luftflödet går ut mot stråken.

Dimensionerna på övertrycket och luftflödet är under utredning och det kommer inte vara klart innan denna rapport är klar. Vid händelse av brand stängs inte ventilationen av.

Brandgasspridning via ventilationssystemet kommer inte att behandlas djupare då största delen av shoppinggallerian är en enda brandcell och brandgaser främst kommer att spridas via butikernas stora öppningar och inte via ventilationen. Det utrymme som möjligen skulle kunna få en så pass stor tryckuppbyggnad så att brandgaserna kan spridas via ventilationen är köket på restaurang Pergola, se vidare kapitel 8.

### 3 Utrymningsteori

I detta avsnitt behandlas bakomliggande teori kring begreppet utrymning. Övrig brandteori, se bilaga A.

En utrymningsväg är en väg från en brandcell ut till det fria eller till en annan säker plats. Med en säker plats menas ett väl avskilt utrymme som ska motstå ett fullständigt brandförlopp (Boverket, 2006). Gångavståndet, inom en brandcell, till närmaste utrymningsväg ska inte vara längre än att utrymning kan ske innan kritiska förhållanden uppstår (Boverket, 2008). Vid en utrymningsanalys är detta således grundkravet för en godtagbar utrymning.

#### 3.1 Människans beteende vid utrymning

Det finns en mängd olika faktorer som påverkar utrymningsförloppet vid en brand. Människors beteende vid brand är givetvis en viktig faktor men även social relation mellan personerna, byggnadens utformning och brandförlopp är element som påverkar utrymningen. Nedan presenteras ett antal olika faktorer som har stor betydelse för utrymningstiden (Frantzich, 2000):

En faktor som påverkar utrymningstiden avsevärt är **antalet personer** i byggnaden och hur de är fördelade. Gånghastigheten som personerna förflyttar sig med avtar med ökad persontäthet. Hög persontäthet kan även leda till köbildning vid utgångar. Gånghastigheten beror inte bara på persontäthet utan även på människornas rörelseförmåga och ålder. Personer som rör sig långsammare kan även påverka evakueringshastigheten hos andra personer om dessa hindras att ta sig förbi. Synnedläggning och hörselnedläggning kan också påverka förmågan att snabbt utrymma byggnaden.

Den **sociala relationen** inom gruppen av människor som befinner sig i byggnaden påverkar det inledande skeendet vid en utrymning. Auktoriteter eller ledarfigurer förväntas ta beslut och agera vid händelse av brand och har således en positiv inverkan på förberedelsestiden om dessa tar det inledande beslutet. Å andra sidan kan utrymningstiden ta längre tid om det inledande beslutet kommer från en person utan auktorisk ställning. Personal med kunskap om hur en utrymning ska genomföras kan således minska den inledande informationssökningsfasen genom att agera beslutsamt och korrekt i det inledande stadiet.

**Motivationen** till att utrymma spelar en stor roll för utrymningstiden. Står personer till exempel i kö i en butik eller sitter på en restaurang och äter kan motivationen att avbryta denna pågående aktivitet vara väldigt låg. Detta kan gälla även om branden är påtaglig i form av flammor eller brandgas. En låg motivation är dock vanligast i de utrymningsfall där informativt talat meddelande saknas.

**Orienterbarhet** är en annan viktig faktor. Svårigheter att se andra personer eller andra utgångar kan öka förberedelsestiden. Därför är det viktigt med tydliga utrymningsskyltar och andra markeringar. Utgångar bör vara tilltalande och även färgavvikande från omgivningen så att de är lätta att urskilja.

Personer som har **kännedom om byggnaden** har lättare att hitta vägen ut vid en brand. Vet personerna var utrymningsvägarna finns minskar osäkerheten vid val av väg ut och utrymningstiden minskas. Personer i okända miljöer väljer vanligen att gå ut samma väg de kom in igenom, även om den inte är den närmsta vägen.

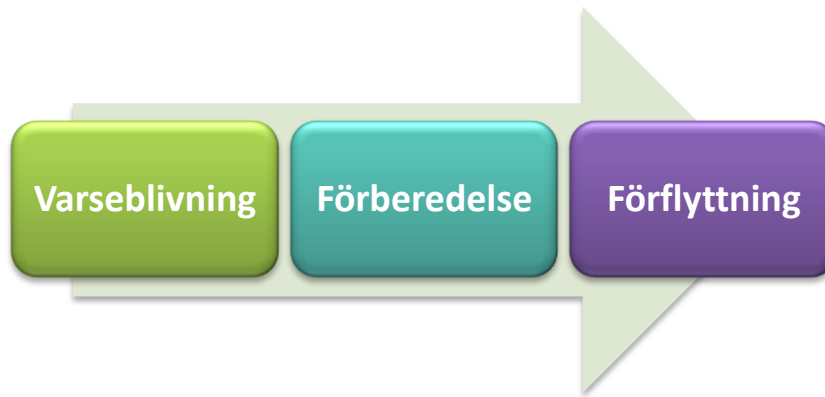
### **3.2 Utrymningssäkerhet ur ett analytiskt perspektiv**

Enligt Boverkets Byggregler, BBR, ska en byggnad utformas så att tillfredställande utrymning kan ske vid brand. Med detta menas antingen en fullständig utrymning av samtliga personer i byggnaden eller en förflyttning till en säker flyktplats inom byggnaden. Utrymningssäkerheten bör anpassas till verksamheten samt till antalet personer som kommer att befinna sig i byggnaden (Boverket, 2008). Men utrymningen kan i många fall även vara beroende av en fungerande organisation och den mänskliga faktorn.

#### **3.2.1 Utrymningstid**

Den totala utrymningstiden kan delas upp i tre faser enligt figur 3.1 nedan.





Figur 3.1 Bilden illustrerar utrymningsförloppet för en scenarioanalys (Boverket, 2006).

**Varseblivning:** Detta är den tid det tar för personen att upptäcka att något onormalt sker.

Varseblivningstiden beror på vilka typer av detektorer och larm som används. Denna tid kan vara svår att uppskatta om automatiskt brandlarm inte finns. Andra faktorer som påverkar är bland annat vilken relation personerna i byggnaden har till varandra, hur överblickbarheten i lokalen är samt hur mottagliga personerna är (Boverket, 2006).

**Förberedelsetid:** Detta är tiden som går åt för att personen ska förstå att det brinner, hjälpa andra och förbereda sig. Denna tid beror på typen av larm och om branden är synlig eller dold. Andra faktorer är synliga utgångar och utrymningsskyltar. Talat meddelande som utrymningslarm ger en snabbare initiering av utrymningen från byggnaden (Boverket, 2006).

**Förflyttningstid:** Detta är tiden det tar för personen att förflytta sig ut ur byggnaden. Tiden beror på antalet personer i byggnaden och hur de är fördelade. Unga och friska personer rör sig snabbare än äldre och personer med hjälpbehov. Även faktorer som belysning och utrymningsskyltar spelar stor roll (Boverket, 2006). Förflyttningstiden kan beräknas i simuleringsprogram, till exempel Simulex, eller för hand.

Om tiden till kritiska förhållanden ( $t_{krit}$ ) är längre än den totala utrymningstiden ( $t_{varse} + t_{förberedelse} + t_{förflyttning}$ ) anses brandskyddet acceptabelt. För att kontrollera denna marginal kan följande formel enligt Boverket (2006) användas:

$$t_{marginal} = t_{krit} - (t_{varse} + t_{förberedelse} + t_{förflyttning})$$

För en godtagbar utrymning ska  $t_{marginal}$  alltså vara positiv.

### 3.2.2 Kritiska förhållanden

Vid en brand i en byggnad ska de personer som vistas i byggnaden kunna utrymma utan att utsättas för kritiska förhållanden. Vid bedömning av dessa kritiska förhållanden tas hänsyn till att gränsvärden för värmestrålning, siktbarhet, temperatur och giftiga gaser inte överskrids under den tid det tar att utrymma byggnaden. Nedan presenteras kriterierna på kritiska förhållanden (Boverket, 2006).

**Värmestrålning:** Gränsvärdet för värmestrålning är för maximal strålningsintensitet  $2,5 \text{ kW/ m}^2$  alternativt  $10 \text{ kW/ m}^2$  för en kortvarig strålningsintensitet. Den totala maximala strålningsenergin är  $60 \text{ kJ/ m}^2$  utöver energin från en strålning på  $1 \text{ kW/ m}^2$ .

**Siktbarhet och brandgaslagrets höjd:** Gränsvärdet för sikten vid utrymning tillåter en brandgasnivå på lägst  $1,6 + (0,1 \times H)$  meter eller en siktsträcka på minst 5 m i brandrummet (Bengtson, o.a., 2005).

**Temperatur:** Lufttemperaturen får högst vara  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Giftiga gaser:** Vid en brand produceras en mängd giftiga gaser som är direkt skadliga för människor. Livsfara kan också uppstå om syrehalten i byggnaden blir för låg. Gränsvärdena för toxiska gaser vid en brand återges oftast med hjälp av kriterium för kolmonoxid, syre och koldioxid. Se tabell 3.1 för definition av gränsvärden för halterna av några giftiga gaser.

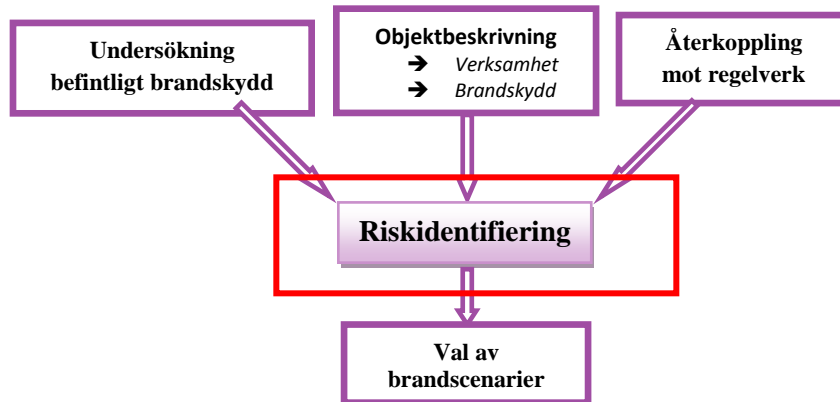
Tabell 3.1 Halterna avser gränsvärden för säker utrymning (Bengtson, o.a., 2005).

Gas	Halt
Kolmonoxid	<200 ppm
Syre	<15 %
Koldioxid	>5%

## 4 Riskidentifiering

Begreppet risk är ett brett begrepp och kan tolkas på många olika sätt. Risk definieras i denna rapport som en uppsättning av svar på frågorna:

*Vad kan hända? Hur sannolikt är det att det inträffar? Vad är konsekvensen om det inträffar?* (Kaplan, 1997). I figur 4.1 ses aktuell del i arbetsprocessen.



Figur 4.1 Aktuell del i arbetsprocessen.

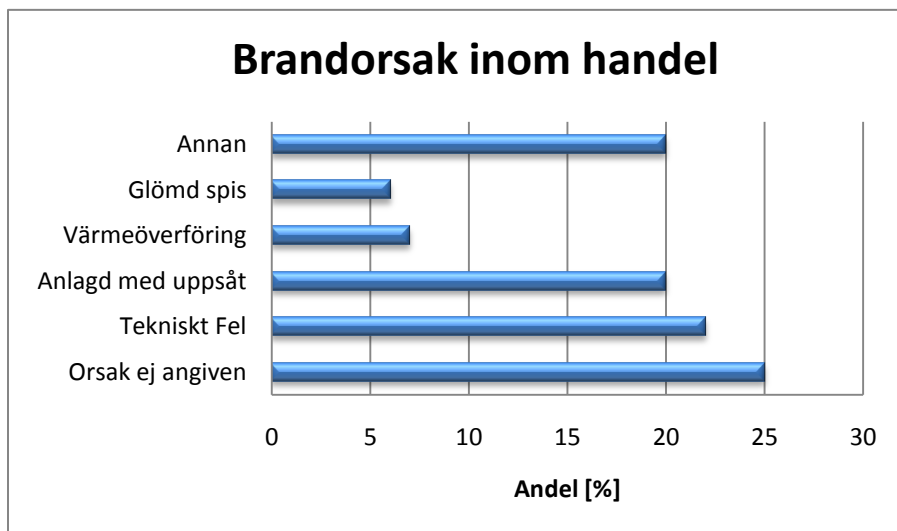
Med utgång från ovanstående frågeställning av Kaplan (1997) presenterar detta avsnitt olika typer av brandscenarier som kan tänkas uppstå i Jakobsbergs Centrum. Med hjälp av befintlig statistik kan sannolikheter för olika scenarier tas fram och konsekvenserna uppskattas. De placeras därefter i en riskmatris där de värsta troliga scenarierna väljs ut utifrån både konsekvens och sannolikhet. De valda scenarierna analyseras djupare med avseende på utrymning vid händelse av brand.

### 4.1 Analysmetod

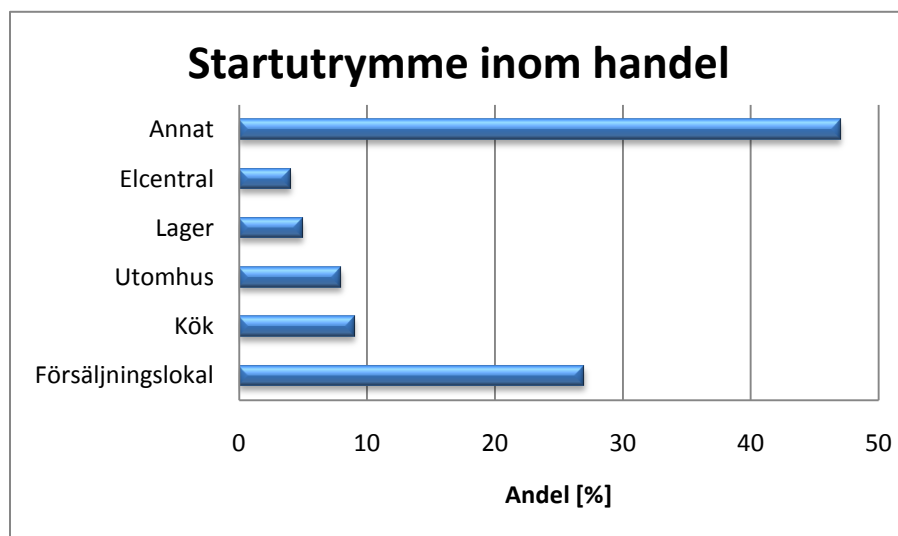
För riskidentifieringen väljs grovanalys som analysmetod. En grovanalys är en riskanalysmetod som används vid en översiktlig och förberedande granskning av en redan befintlig verksamhet. Målet med metoden är att granska verksamheten i stort och på så sätt identifiera riskkällor och potentiella skadescenarier. Riskkällornas konsekvenser och scenariernas sannolikheter uppskattas och värderas i en riskmatris för att lätt kunna överskådas (Davidsson, 2003).

## 4.2 Statistik

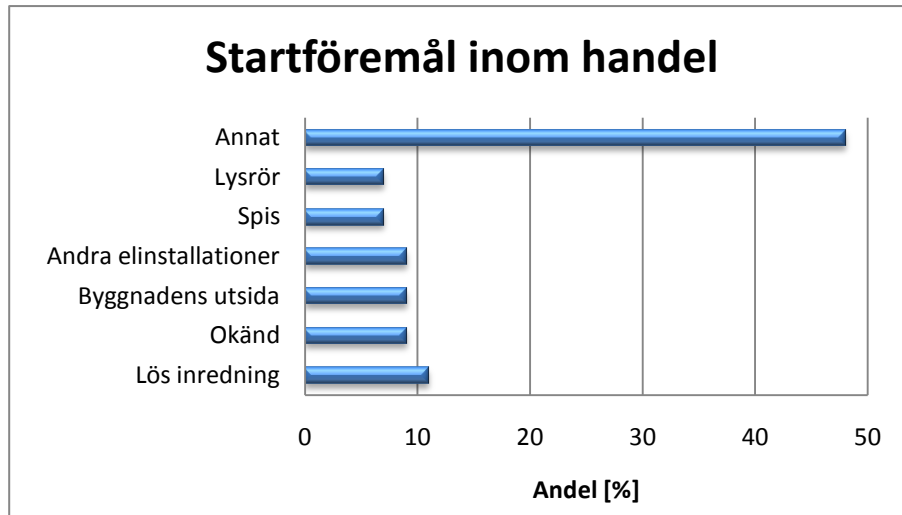
För att uppskatta sannolikheter har eget resonerande kombinerat med befintlig statistik använts. I en rapport från Hansson (2007) inhämtas statistik från MSB (tidigare Räddningsverket) mellan åren 1998 och 2004. I figurerna 4.2–4.4 nedan redovisas ett utdrag från denna statistik som behandlar brandorsak, startutrymme och startföremål. Alla värden gäller inom handel.



Figur 4.2 Vanligaste brandorsak inom handel.



Figur 4.3 Vanligaste startutrymmet för en brand inom handel.



Figur 4.4 Vanligaste startföremålet för en brand inom handel.

De slutsatser som kan dras från befintlig statistik är att tekniskt fel och anlagd brand hör till de vanligaste brandorsakerna inom handeln utöver okänd anledning. Var femte brand inom handeln är anlagd brand med uppsåt. De utrymmen där det är störst sannolikhet att en brand startar i, förutom kategorin ”annat”, är försäljningslokaler följt av kök. Det är förmodligen mest troligt att en anlagd brand sker just i en försäljningslokal då ett stort antal människor vistas där. Elcentral, lager och kök är utrymmen där få personer vistas. Tekniskt fel och elcentral går också hand i hand. I en avskild del av byggnaden, som till exempel i en elcentral, kan en brand pågå länge innan någon upptäcker den. I de fall startföremålet har varit möjligt att fastställa är lös inredning vanligast tätt följt av byggnadens utsida, andra elinstallationer, spis och lysrör. I kategorierna annan och annat ingår många alternativ som har slagits samman på grund av deras försumbara bidrag, exempelvis skräp i container, brandfarlig vätska, kyl/frys m.m.

### 4.3 Identifiering av risker

Nedan beskrivs ett antal tänkbara scenarier som kan uppstå i gallerians lokaler. Scenarierna kategoriseras efter sannolikhet och konsekvens enligt tabell 4.1 och 4.2 nedan

Tabell 4.1 Sannolikhet, (S)

1	Osannolikt
2	Liten sannolikhet
3	Sannolikt
4	Stor sannolikhet
5	Mycket stor sannolikhet

Tabell 4.2 Konsekvens, (K)

1	Små
2	Lindriga
3	Medel
4	Stora
5	Mycket stora

Tabell 4.2 avser konsekvenserna utifrån ett personsäkerhetsperspektiv. Små konsekvenser innebär inga skador/obetydliga skador på människorna i byggnaden. Lindriga konsekvenser innebär att ett fåtal personer skadas något vid händelse av brand i byggnaden. Skalan medel innebär att flera människor skadas lindrigt vid utrymning ur byggnaden. Stora konsekvenser innebär att flertalet personer skadas allvarligt till följd av brand. Mycket stora konsekvenser innebär att flera personer dör eller skadas allvarligt.

### Brandscenario 1. Brand i chipshyllan på Hemköp.

Vid chipshyllan på Hemköp är takhöjden väldigt låg och ljusarmaturen är nästan i direktkontakt med påsarna, se figur 4.5. Skulle den bli överhettad kan kartongerna chipsen står i antändas och branden är ett faktum. Ett värre scenario är en anlagd brand vid botten av chipshyllan.

Chipshyllorna kan då liknas vid ett höglager och rökutvecklingen kan bli kraftig.

Sprinkler finns i taket ovanför men verkningsytan i detta fall blir begränsad med tanke på att vattnet endast når det översta lagret av chips. Då inga branddetektorer finns i lokalen kan branden fortgå tills någon upptäcker den, alternativt till sprinklersystemet aktiverar. Skulle detta inträffa en veckodag när butiken har ett mindre antal kunder ökar sannolikheten att branden sprider sig då färre personer befinner sig i lokalen.



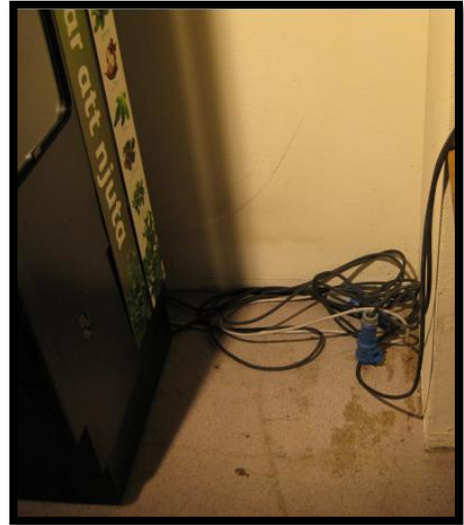
Figur 4.5 Chipshyllan på Hemköp.

**S=2; K= 4**

### **Brandscenario 2. Brand i kyldisk på fruktavdelningen vid Hemköp**

På Hemköps fruktavdelning finns kyldiskar för exempelvis sallad. Bakom kyldiskarna ligger en mängd större kablar ostrukturerat, se figur 4.6. Då det är ostädad bakom kyldisken kan det antas att något brännbart finns bakom disken och antänds av till exempel en gnista från någon av kablarnas kontakter. Branden kan sedan antända kyldisken eller dess armatur och på så sätt sprida branden vidare. Då det troligen är plast som brinner kan rökutvecklingen bli kraftig.

**S=2; K= 2**



*Figur 4.6 Kablar bakom kyldisk.*

### **Brandscenario 3. Köksbrand på Pergola**

Pergola är en restaurang som ligger på andra våningen med ingång från gallerians gångstråk samt genom en egen ingång utifrån. För tillfället används ej bordsdukar eller levande ljus. Väggar och golv är av ej brännbart material så största brandrisken anses vara köket, vilket även stämmer väl in med den framtagna statistiken, se figur 4.3. En brand i köket skulle skapa rökutveckling och om restaurangen är fullsatt är det många som ska utrymma. Konsekvenserna i samband med utrymning på restaurangen kan bli stora på grund av flera orsaker. Faktorer som kan påverka utrymningen negativt är till exempel att de nattetid stänger av en nödutgång med ett galler som endast kan öppnas av personalen via en knapp. Dessutom serverar de alkohol vilket kan påverka kundernas reaktionsförmåga.

**S=4; K= 3**

### **Brandscenario 4. Brand vid svetsning på Guldsmeden Två Hjärtan**

Guldsmeden Två Hjärtan har en 6 kilos acetylenflaska belägen bakom disken som används vid svetsning. Personalen är medveten om risken och har rutiner för hantering av flaskan. Vid stängning placeras acetylenflaska lättillgängligt vid affärens entré, detta så att räddningstjänsten snabbt kan avlägsna den vid behov. Risken att acetylenflaskan ska börja brinna anses små. Skulle det dock inträffa sker det förmodligen i samband med felhantering under svetsningen. Om detta



skulle ske skulle flaskan med stor sannolikhet explodera och skadorna skulle bli omfattande. Sabotage av flaskan är osannolikt då den förvaras bakom disken där kunderna inte har tillgång.

**S=1; K= 4**

### **Brandscenario 5. Brand BR Leksaker vid utrymningsväg**

Vid en av BR Leksakers utrymningsväg finns leksaker i närheten, se figur 4.7. I direktkontakt med dörren finns en hel vägg med mjukisdjur. Dessa kan ta eld på grund av värmeöverföring från närliggande lampa, ett elfel vid samma lampa eller en anlagd brand. Alla dessa brandorsaker är vanliga inom handel, se figur 4.2.

Dock väljs anlagd brand vid golvnivå, vilket ökar brandförloppet och konsekvenserna avsevärt. För det första är en utrymningsväg inte längre tillgänglig, för det andra är affären fylld med brännbart material som är tätt placerade.

Brandförloppet skulle med stor sannolikhet ske snabbt.

Brandgasutvecklingen blir troligen stor och sikten skulle försämrats fort då det finns en del plast i affären som brinner med låg förbränningseffektivitet. Detta skapar ytterligare ett problem eftersom affären ligger på bottenvåningen och det finns risk för brandgasspridning ut från lokalen via ingången vilket försvårar utrymning. Platsen där branden startar är skyddad från kassan vilket försvårar upptäckt. I butiken finns två stycken 6 liters skumsläckare.

**S=2; K= 4**

### **Brandscenario 6. Brand i klädställ nedanför rulltrappa**

För att komma till BR Leksaker och Team Sportia måste man gå ned för en rulltrappa. Denna rulltrappa fungerar som en in- och utgång för båda affärerna. Nedanför rulltrappan står en ställning med kläder upphängda på galgar, se figur 4.8. Anlagd



Figur 4.7 Utrymningsväg med leksaker.



Figur 4.8 Klädställ nedanför rulltrappa.



brand är orsaken till cirka 20 % av alla bränder inom handel, se figur 4.2, och detta skulle kunna vara en orsak till varför en brand skulle starta i kläderna. Konsekvenserna kan bli ganska stora eftersom rulltrappan då inte längre kan användas som utrymningsväg och det är främst den här utrymningsvägen folk kommer söka sig till eftersom den är känd för dem. Brandbelastningen är relativt liten och det finns inte något i den direkta omgivningen som branden kan sprida sig till. Sannolikheten för att brand ska uppstå anses liten eftersom både personal från BR Leksaker och Team Sportia ser denna plats från respektive kassa och skulle då förmodligen upptäcka den begynnande branden. Båda affärerna har tillgång till skumsläckare.

**S=1; K= 3**

### **Brandscenario 7. Brand på Team Sportia**

Tygmaterial på Team Sportias avdelning för ryggsäckar och baddräkter kan ta eld på grund av varm belysningsarmatur. Branden är dold för kassadisen och är belägen vid en utrymningsväg vilket gör att denna inte kan användas vid utrymning. Då mycket brännbart material finns i närheten kan brandspridning ske och leda till en omfattande brandgasproduktion. Personalen består i regel av 3-4 personer. Det innebär att det sannolikt vistas personal i olika delar av butiken vilket ökar chansen för upptäckt. Konsekvenserna bedöms inte lika allvarliga som brand på grannaffären BR då föremålen är placerade med mer mellanrum och brandbelastningen är mindre.

**S=2; K= 3**

### **Brandscenario 8. Brand på restaurang Momo på pyramidtorget**

Det finns gott om brandkällor i ett kök och kök är ett av de vanligaste utrymmena där brand startar, se figur 4.3. Om brand skulle uppstå är restaurang Momo belägen vid pyramidtorget som förbinder gångstråken med varandra och det kan antas att mycket personer vistas här samtidigt. I glastaket ovanför restaurangen finns det rökluckor och brandvarnare.



*Figur 4.9 Atriet med restaurangen till vänster.*

Brandgaserna kan sprida sig i gångstråken men då utrymmet är väldigt stort bör konsekvenserna

bli lindriga. Branden bör rimligtvis blockera högst två utgångar vilket fortfarande lämnar flera utgångar tillgängliga. Dessa utgörs av gångstråken och är naturliga utvägar för personer som vistas där.

**S=4; K= 2**

#### **Brandscenario 9. Brand i lager på Team Sportia**

Lagret till Team Sportia ligger i precis anslutning till själva försäljningslokalen. En hög brandbelastning finns i detta utrymme då det förekommer mycket tyg och kartong. Om en brand startar här under en period då ingen personal rör sig i detta utrymme kan den pågå under en lång tid och växa sig kraftig. Eftersom branddetektorer endast finns i gångstråken kommer inte branden detekteras innan sprinkler löser ut. Således läggs mycket stor tillförlitlighet till att sprinklerna fungerar, speciellt i icke publika lokaler som denna. I ett slutet utrymme som detta kan det tänkas att branden blir syrekontrollerad i ett tidigt stadium. En fara med detta kan vara om personal öppnar dörren till lagerlokalen och ger branden ett syretillskott. Då oförbrända brandgaser blandas med luften kan en närmast explosionsartad tillväxt av branden ske. Eftersom allmänheten inte har tillgång till lagerutrymmen anses varken sannolikheten eller konsekvensen ur utrymningssynpunkt vara särskilt hög i detta scenario. Svagheten syns dock tydligt med att inte ha någon branddetektion i denna typ av dolda utrymmen. Det ska också tilläggas att de materiella skadorna kan bli mycket omfattande i en liknande brand.

**S=1; K= 2**

#### **4.4 Övriga risker**

Det finns säkerligen fler scenarier än de som nämnts ovan som kan uppstå i gallerian. Dock valdes de scenarier som kan tänkas ha störst betydelse på personsäkerheten. Givetvis finns det scenarier som kan ha mindre betydelse för personsäkerheten men desto större för gallerians ekonomiska förluster. Dessa behandlas dock inte här.

#### **4.5 Riskmatris**

Tabell 4.3 visar en sammanvägning av konsekvens och sannolikhet för de olika scenarierna. Utifrån matrisen väljs brandscenario 1, 3 och 5 för en djupare analys då de både har störst sannolikhet och störst konsekvens. Dessa är brand i chipshylla på Hemköp, brand i köket på

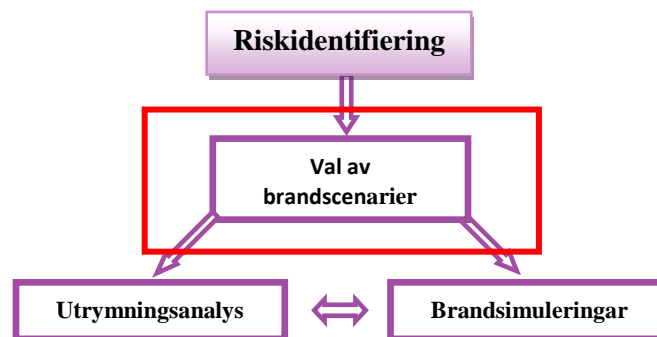
restaurang Pergola samt brand i hylla på BR Leksaker. Övriga scenarier bedöms ej vara lika allvarliga och utreds därför inte närmare.

Tabell 4.3 Sammanvägning av konsekvens och sannolikhet för de olika scenarierna.

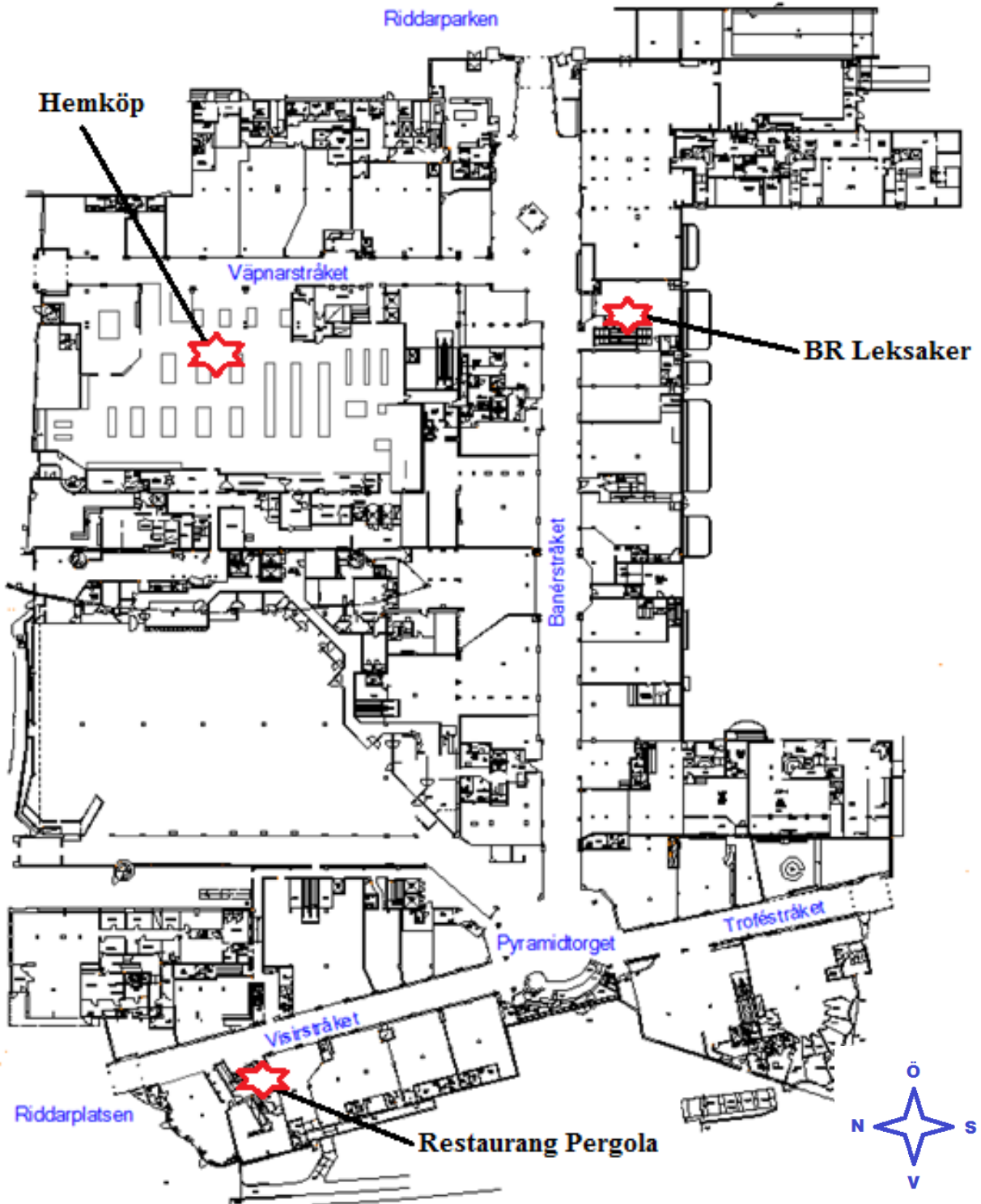
Konsekvens \ Sannolikhet	1	2	3	4	5
5					
4		<b>Brand-scenario 8</b>	<b>Brand-scenario 3</b>		
3					
2		<b>Brand-scenario 2 &amp; 7</b>		<b>Brand-scenario 1 &amp; 5</b>	
1		<b>Brand-scenario 9</b>	<b>Brand-scenario 6</b>	<b>Brand-scenario 4</b>	

#### 4.6 Utvalda brandscenarier

I figur 4.10 ses aktuell del i arbetsprocessen. De tre brandscenarier som valts ut kommer nedan analyseras djupare. Effektkurvor för de olika scenariorna tas fram och simuleringar i datorprogrammet CFAST genomförs. Utrymningen simuleras i programmet Simulex och en diskussion förs slutligen kring resultatet. I figur 4.11 nedan visas de olika brandscenariernas placering i objektet.



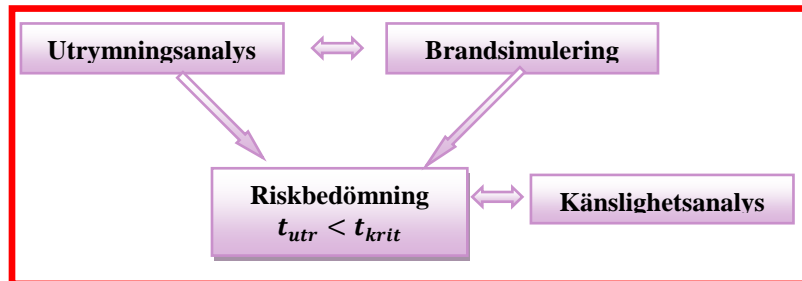
Figur 4.10 Aktuell del i arbetsprocessen.



Figur 4.11 Bilden visar de valda brändernas placering vid objektet.

## 5 Chipsbrand på Hemköp

I detta kapitel analyseras det valda brandscenariot på Hemköp utifrån brandförlopp, strålning och utrymningstid samt sannolikhet och konsekvens. Aktuell del i arbetsprocessen ses i figur 5.1.



Figur 5.1 Aktuell del i arbetsprocessen.

### 5.1 Scenariobeskrivning

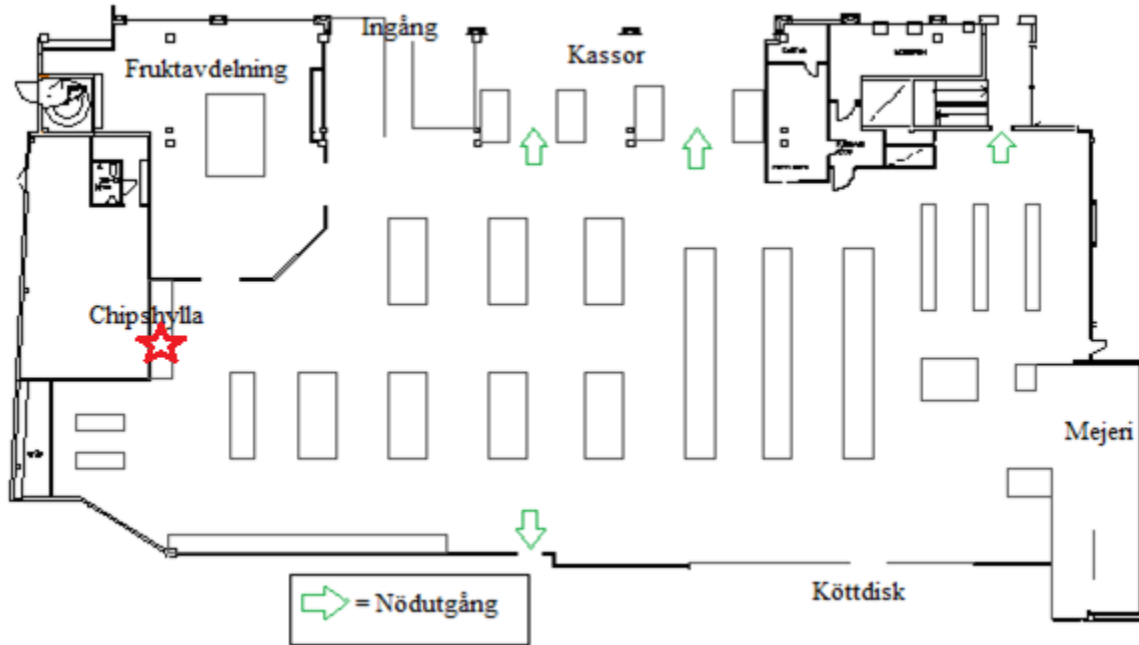
En anlagd brand initierar ett brandförlopp i ett par chipshyllor på matvarubutiken Hemköp. Branden anläggs i en bit brännbar kartong vid golvnivå vilket leder till en snabb flamspridning. Uppställningen liknar ett höglager där brandspridning vertikalt sker mycket snabbt. Chipspåsarna på hyllorna är väldigt tätt packade och det är trångt mellan hyllornas ovankant och tak, se figur 5.3. Det finns sprinkler i taket, se figur 5.2, men dess verkningsyta är begränsad då vattnet endast når översta lagret av chips. Branden kommer först sprida sig vertikalt och sedan horisontellt åt sidorna. I figur 5.4 illustreras butikens planlösning översiktligt. Figuren visar chipshyllornas placering i lokalen samt befintliga nödutgångar. Sannolikheten för detta scenario bedöms som liten och konsekvenserna bedöms som stora då brandgasproduktionen kommer bli stor och därmed påverka många människor i lokalen.



Figur 5.2 Sprinkler ovanför chipshyllor på Hemköp.

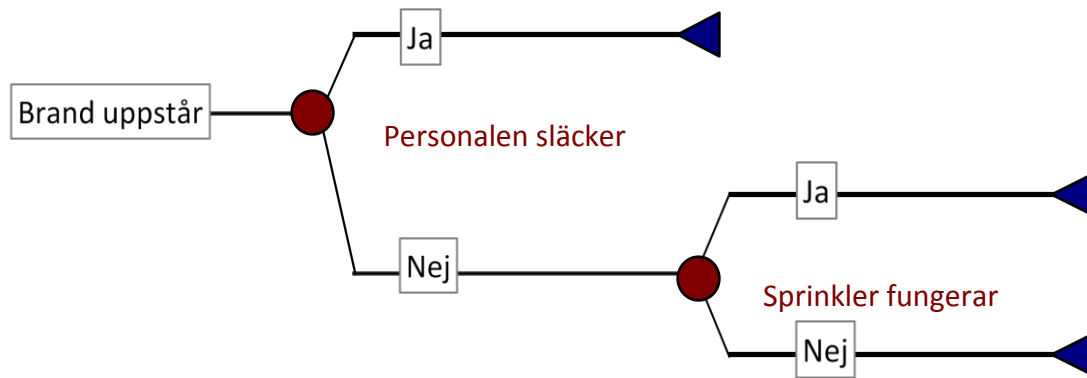


Figur 5.3 Chipshyllor på Hemköp.



Figur 5.4 Översiktlig bild över Hemköp. Den modellerade branden är markerad med en röd stjärna.

När en brand uppstår i lokalen finns olika scenarier på vad som kan inträffa därefter. I bästa fall upptäcker personalen branden i ett tidigt skede och släcker den för hand varpå händelsekedjan bryts. Skulle personalen inte upptäcka branden kommer antingen sprinklersystemet aktivera eller så kommer en aktivering att utebli. Sannolikheten för att sprinklersystemet inte fungerar uppskattas till 10 % (Johansson, 1999). En analys genomförs för ett scenario där sprinklersystemet antas felfunkera och brandeffekten således blir så stor som möjligt. En analys görs även då sprinklersystemet aktiverar. Händelseträdet över brand i Hemköp visas nedan i figur 5.5. Lokalen är rymlig och ljus och inga speciella objekt kan tänkas försvåra utrymningen. Utrymningsskyltar finns utplacerade och väl synliga. Dock antas kunderna i butiken utrymma genom kassorna ut mot stråket i gallerian. Människor har en tendens att gå mot utgångar som de känner till eller kom in ifrån (Frantzich, 2000).



Figur 5.5. Händelsetråd över brand i chipshylla på Hemköp. De olika sluthändelserna beror på om personalen släcker branden och om sprinklersystemet fungerar.

## 5.2 Effektutveckling

Nedan presenteras en sammanfattad beräkningsgång över effektutvecklingen, den fullständiga beräkningen finns i bilaga B. För att få fram en effektkurva används ett test som gjordes 2003 av SP och som går att läsa om i Räddningsverkets tidning "Brandposten" (Arvidson, 2005). I försöket placerades 52 kartonger med chips och ostbågar på hyllor i ett rum som var 7x3 m med en takhöjd på 3,6 m. Detta gav en total vikt på 275 kg varav 75 kg utgjordes av fett. I försöket antändes en påse chips vid golvnivå och effekt och temperatur mättes därefter. Den maximala effektutveckling uppnåddes efter 5 min och var då 6 MW. I försöket fanns inget närliggande brännbart material som branden kunde sprida sig vidare till. Om detta hade funnits menas det att spridning skulle skett efter 3-3,5 min. Effektutvecklingen började sjunka efter 8 min och branden släcktes efter 40 min.

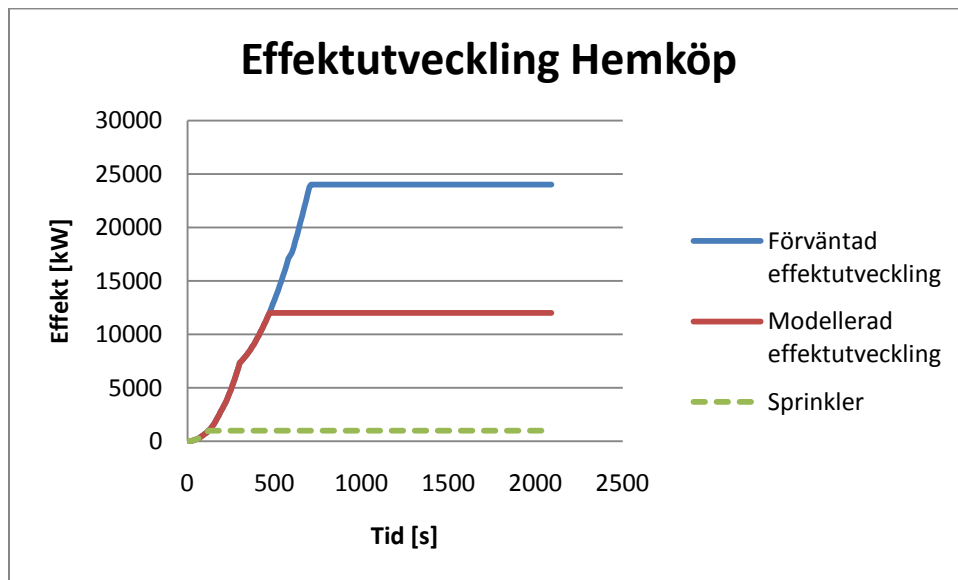
Takhöjden på Hemköp är i snitt fyra meter, antal kartonger chips uppskattas vara i samma storleksordning som i SP:s försök och brandkällans placering är densamma. Därför anses SP:s försök lämpligt att använda för branden på Hemköp. Eftersom det inte går att veta den exakta effektutveckling som branden utvecklar vid given tidpunkt ansätts en  $\alpha t^2$ -kurva. Detta ger en mer generell bild av branden.

Branden kommer sprida sig snabbt. Efter cirka 2 min kommer branden att sprida sig via strålning. Branden har då nått en effekt på 1 MW. Antagandet att branden fortsätter att sprida sig med samma tillväxthastighet och att maximalt fyra chipshyllor brinner på maximal effekt



samtidigt görs. Branden får då en maximal effektutveckling på 24 MW. Efter denna effektutveckling uppnåttas antas branden bli konstant. Att dimensionera ett utrymme för att klara en sådan hög effekt som 24 MW är inte rimligt. Därför ansätts istället en maximal effekt på 12 MW. Detta är i samma storleksordning som Staffansson (2010) föreslår för en brand i samlingslokaler och affärer. De slutgiltiga effektkurvorna ses i figur 5.6 där tillväxthastigheten i medeltal är  $0,054 \text{ kW/s}^2$ .

Resultatet vid simulering av aktiveringstid hos sprinklersystemet i programmet Detact QS visar att tiden till att sprinklersystemet aktiverar uppgår till 125 sekunder, alltså efter 2 min. Vid denna tid är effektutveckling ungefär 970 kW. Enligt Nystedt (2010) kan en brand som har en effektutveckling under 5 MW när sprinklern aktiverar antas vara konstant i en minut för att sedan avta linjärt till en tredjedel av effekten, i detta fall 320 kW. På grund av begränsningar i simuleringprogram som CFAST kommer dock effektutvecklingen antas vara konstant efter sprinkleraktiveringen, se figur 5.6. Detta ger mer konservativa resultat men är ett möjligt tillvägagångssätt (Staffansson, 2010). Indata för Detact QS ses i bilaga G tabell G.1.



Figur 5.6 Effektutveckling i Hemköp med chipshylla som brandkälla.

1. Tid = 0 s: Branden startar i en chipshylla.
2. Tid = 2 min: Branden sprider sig via strålning till ytterligare en chipshylla.



3. Tid= 2 min 10 s: Sprinkler aktiverar och effekten blir konstant på 970 kW.
4. Tid = 3 min: Effekten är nu 2,7 MW. Branden sprider sig med snabb tillväxthastighet upp till maxeffekten 24 MW.
5. Tid = 7 min 50 s: Den modellerade branden når maxeffekt på 12 MW och branden blir konstant.
6. Tid =8 min 50 s: Den maximala förväntade effektutvecklingen 24 MW är nådd och branden blir konstant.

### 5.3 Utrymningstid

Utrymningstiden simuleras i programmet Simulex. Tiden det tar för personerna att utrymma brandrummet jämförs med tiderna till kritiska förhållanden för att undersöka om utrymningen kan anses vara acceptabel.

#### 5.3.1 Varseblivnings- och förberedelsetid

Varseblivningstiden för detta scenario är svår att uppskatta då det inte finns några rökdetektorer eller larm i lokalen som kan uppmärksamma kunderna. För att få en fingervisning om varseblivningstiden simulerades aktiveringstiden för en tänkt rökdetektor i Detact QS, se bilaga G tabell G.2. För denna simulering ansätts ett lågt RTI på  $0,5 \text{ (ms)}^{(1/2)}$  som då representerar en försumbar värmeledning i känselement hos rökdetektorn (Nilsson & Holmstedt, 2008). För detta scenario fås en aktiveringstid på cirka 20 s. Då människor kan förväntas notera branden något senare än en detektor sätts varseblivningstiden till 1 min.

Tiden det tar för personerna att förbereda sig och ta beslutet att utrymma lokalen är också svår att uppskatta. Eftersom lokalen är stor med många skymmande hyllor kommer personerna ha svårt att se varandra i lokalen vilket kan betyda att förberedelsetiden förlängs. Från utrymningsförsök kan den förväntade förberedelsetiden för en person som ser branden uppgå till omkring 1 minut beroende på larmtyp (Frantzich, 2000). I detta fall finns inget larm och endast de personer närmast branden förväntas se den. Detta får stå till grund för en uppskattad förberedelsetid på omkring 1 min 20 s.

Den sammanlagda varseblivnings- och förberedelsetid sätts till 2 min 20 s med en slumpmässig standaravvikelse på 10 - 35 s beroende på personens placering i lokalen. Personerna längst bort

från branden kommer ha en något längre varseblivningstid och således också förberedelsetid eftersom lokalen är stor. Det tar längre tid för personerna längst bort att inse att något är fel och påbörja utrymning. Endast personal antas använda nödutgångar utöver utgångarna vid kassorna.

### 5.3.2 Total utrymningstid

Enligt Boverket rekommenderas att ansätta 0,5 personer/m<sup>2</sup> om antalet personer i verksamheten ej är känt (Boverket, 2006). Detta skulle betyda ca 500 personer i Hemköps lokal om nettoyta används. Att 500 personer skulle vistas i Hemköps lokal med den befintliga lösa inredningen anses dock orimligt då de knappt skulle kunna röra sig. Om man ansätter 0,5 personer/m<sup>2</sup> på den yta som anses vara fri från inredningen, och således är den yta man kan vistas på, uppskattas det kunna befinna sig 250 personer i lokalen. I detta fall utgås från detta mer ”normala” personantal. Personerna antas vara slumpmässigt fördelade i lokalen. Den utrymningstid som undersöks är tiden ut ur brandrummet till gallerians gångstråk. Där anses förhållanden vara bra och det är högt i tak och ljus miljö. Dessutom finns brandgasventilation i gångstråken som aktiverar då två detektorer detekterar.

Varseblivnings- och förberedelsetiden lades in i Simulex och tiden ut ur brandrummet simulerades då till 3 min 30 s. Problem i samband med utrymning är en viss köbildning vid kassorna då personer kan vara omotiverade att lämna sin matvagn till en början. Dock finns ett flertal kassor och några större utrymningsproblem borde inte inträffa. Lokalen är dessutom rymlig och personerna kommer med största sannolikhet att kunna ta sig till utgångarna utan större problem.

*Tabell 5.1 Tabellen visar fördelningen hos de 250 personer som förväntas befinna sig i Hemköps lokaler.*

<b>Fördelning (Hemköp)</b>	<b>Andel (%)</b>	<b>Antal</b>
Personal	14,8	37
Män	20	50
Kvinnor	35,2	88
Barn	10	25
Gamla	20	50
Totalt: 250 personer		

## 5.4 Kritiska förhållanden

I detta avsnitt presenteras resultaten från simuleringen av tid till kritiska förhållanden i CFAST samt handberäkningar utifrån de fall där det är möjligt, se bilaga C. Hela Hemköps lokal är för stor för att en tvåzonsmodell ska vara giltig, se bilaga A. Detta löses dock genom att i CFAST dela in lokalen i olika mindre rum, se bilaga E.

### 5.4.1 Brandgaslagrets höjd

Handberäkningar på brandgaslagrets höjd utförs med Yamana-Tanakas modell för transient rökfyllnad (Karlsson & Quintiere, 2000), för teori se bilaga A och för beräkningar se bilaga C. Den framräknade tiden tills den kritiska höjden 2 m från golvet uppnås är 4 min 50 s. I handberäkningarna antas rummet vara slutet utan någon ventilation, vilket är mycket konservativt. Den simulerade tiden i CFAST tar hänsyn till öppningar i butiken och tiden tills ett kritiskt brandgaslager bildas blir 4 min 20 s. Då sprinklern aktiveras kommer brandgaslaget inte nå en kritisk nivå. Det är dock tveksamt om ett brandgaslager faktiskt kommer att bildas i detta utrymme då volymen är stor.

### 5.4.2 Sikt

Då det finns risk för att det inte bildas ett brandgaslager beräknas tiden tills sikten blir oacceptabel. Tiden tills den kritiska sikten uppnås, definierad som 5 m är 4 min 50 s enligt handberäkningarna, för teori se bilaga A och för beräkningar se bilaga C. Detta bygger på att det är en homogen omblandning i hela lokalen vilket inte är fallet. Det är troligare att sikten varierar beroende på placering i butiken. Beräkningarna ger dock en uppskattning på hur lång tid det tar innan sikten blir dålig. Med sprinkleraktivering tar det 8 min 50 s innan sikten blir oacceptabel.

### 5.4.3 Strålning

Kritisk strålning från brandgaslaget, definierad som  $2,5 \text{ kW/m}^2$ , uppnås efter 31 min 40 s enligt handberäkningar, se bilaga C. I simulering i CFAST fås kritisk strålning från brandgaslaget efter 6 min 20 s i Hemköp. Anledningen till denna skillnad beror troligen på att i CFAST har brandrummet delats in i olika rum för att kunna uppfylla förutsättningarna för en tvåzonsmodell. I den del av lokalen där branden är belägen uppnås den kritiska strålningen efter 4 min 10 s. I handberäkningarna däremot tas hela volymen i beaktande direkt och det tar därför längre tid. För

simulering med antagandet att sprinklern dämpar branden kommer strålningen inte att bli kritisk i lokalen.

#### **5.4.4 Toxicitet**

Då det inte är givet att det bildas ett brandgaslager på Hemköp beräknas hur mycket som måste brinna för att nå kritiska toxiska nivåer. Om antagandet att det som brinner är cellulosa material kommer en farlig koncentration för koldioxid uppnås då 275 kg har brunnit upp. Kritiska nivåer för kolmonoxid uppnås då 1865 kg chips brunnit upp. Beräkningar visar att det tar 10 min 50 s innan 275 kg har förbränts och det är således inte ett problem ur utrymningssynpunkt, se bilaga C. Det ska tilläggas att detta gäller för ett slutet utrymme, det tas alltså inte någon hänsyn till ventilation eller öppningar. Det är alltså mycket konservativt.

#### **5.4.5 Temperatur**

Tiden tills kritisk temperatur uppnås antas sammanfalla med tiden tills kritisk höjd på brandgaslagret inträffar. Detta på grund av att beräkningarna utgår från en tvåzonsmodell som gör en bestämd avgränsning mellan brandgaslagret och den nedre delen av rummet. Den nedre delen antas därför ha rumstemperatur och att en temperaturhöjning endast sker i brandgaslagret.

### **5.5 Resultat**

Nedan redovisas tiderna tills kritiska förhållanden uppnås, se tabell 5.2. Resultatet visar att strålningen från brandgaslagret är den parameter som först uppnår en kritisk nivå. Detta sker enligt CFAST efter 4 min 10 s. Detta är längre tid än vad själva utrymningen uppskattas ta. Utrymning ut ur brandrummet simuleras till 3 min 30 s. Tidsmarginalen beräknas enligt formeln nedan, se kapitel 3.2.

$$t_{\text{marginal}} = 4 \text{ min } 10 \text{ s} - 3 \text{ min } 30 \text{ s} = 40 \text{ s}$$

Utrymningsmarginalen ovan gäller i det fall då sprinklersystemet ej fungerar vilket det med stor sannolikhet kommer att göra. Skulle sprinklersystemet fungera kommer kritiska förhållanden i form av kritisk sikt att uppstå efter 8 min 50 s.

Tabell 5.2 Tid tills kritiska förhållanden uppstår på Hemköp

Parameter	Handberäkning		CFAST	
	Utan sprinkler	Med sprinkler	Utan sprinkler	Med sprinkler
<b>Brandgaslagrets höjd</b>	4 min 50 s	-	4 min 20 s	Ej kritisk
<b>Sikt</b>	4 min 50 s	8 min 50 s	-	-
<b>Strålning</b>	31 min 40 s	-	4 min 10 s	Ej kritisk
<b>Toxicitet</b>	10 min 50 s	-	-	-
<b>Temperatur</b>	Sammanfaller med brandgaslagret			

## 5.6 Känslighetsanalys

Nedan följer en känslighetsanalys där förhållanden för branden ändras samt förutsättningarna för utrymningstiden. Detta görs för att behandla osäkerheter kring de antaganden som gjorts och se hur resultatet påverkas av dessa.

### 5.6.1 Kritiska förhållanden

Branden kommer inte flyttas till olika ställen i lokalen då olika placeringar av branden inte anses påverka utrymningen. Detta då det finns många olika utrymningsvägar och branden kan inte placeras så att tillräckligt många blockeras för att det ska kunna påverka resultatet. För beräkningar för känslighetsanalyserna, se bilaga D. Resultatet ses i tabell 5.3.

Gällande sikten visar det sig att val av rökpotential har stor betydelse då den i detta fall minskar tiden till kritiska förhållanden med 1 min. Att ungefärligen fördubbla tillväxthastigheten visar sig ha större effekt än att halvera kravet på siktsträckan. Att byta ut dessa parametrar gav tid till kritiska förhållanden på 4 min 10 s respektive 4 min 30 s, till skillnad mot den ursprungliga tiden på 4 min 50 s.

Trots en betydande ökning av yelden för både CO<sub>2</sub> och CO nådde inte toxiciteten ned i lika korta tider till kritiska förhållanden som för brandgaslagrets höjd och sikten. Tiden minskades från 10 min 50 s till 7 min 30 s.

Då brandgaslagrets höjd och strålning var de som blev kritiska första görs även en känslighetsanalys på dessa genom att ansätta en nästan dubbel så hög tillväxthastighet på 0,1 kW/s<sup>2</sup> i CFAST. Det visar sig att det då åter igen är strålningen från brandgaslagret som blir kritisk först och detta sker efter 2 min 50s, se bilaga E.

Tabell 5.3 Tid till kritiska förhållanden före och efter känslighetsanalysen (utan sprinkleraktivering).

	Brandgaslagrets höjd	Sikt	Strålning från brandgaslager	Toxicitet
<b>Tidigare tid</b>	4 min 20 s	4 min 50 s	4 min 10 s	10 min 50 s
<b>Känslighetsanalys handberäkningar</b>	-	3 min 50 s	-	7 min 30 s
<b>Känslighetsanalys CFAST</b>	3 min 30 s	-	2 min 50 s	-
<b>Tidsskillnad</b>	50 s	1 min	1 min 20 s	3 min 20 s

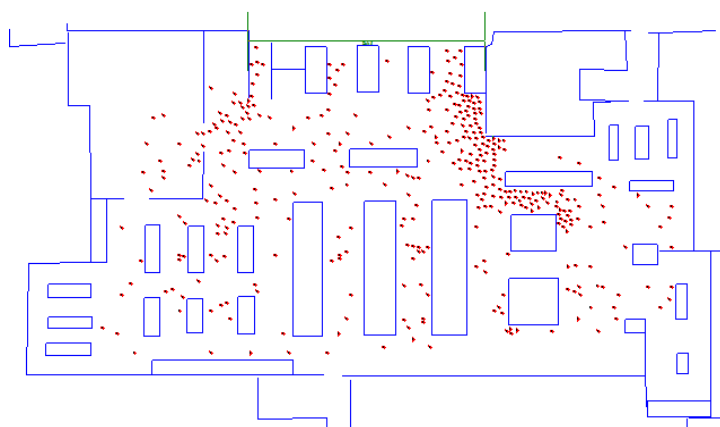
### 5.6.2 Utrymningstid

Antal personer i utrymmet kan påverka utrymningstiden och en känslighetsanalys i Simulex genomförs. För boverkets rekommendation på 500 personer görs en simulering med den ursprungliga varseblivnings- och förberedelsetiden och en då denna är kortare. Förutom för de ursprungliga 140 s används en varseblivnings- och förberedelsetid på 90-110 s. Detta på grund av att om det vistas fler personer i lokalen bör även branden noteras snabbare. Simuleringar med ett varierande antal personer genomförs, se tabell 5.4. I alla fallen antas personerna endast använda utgångarna vid kassorna, se figur 5.7.

Handberäkningar görs även för att kontrollera rimligheten i resultatet från Simulex, se tabell 5.4 och bilaga F. Dessa beräkningar ger en liknande utrymningstid som Simulex gör.

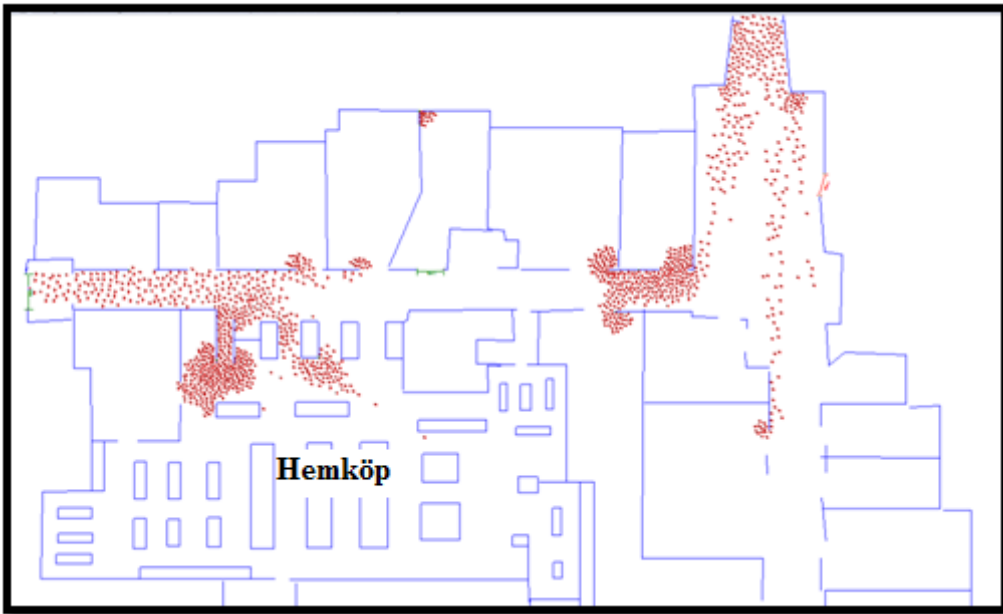
Tabell 5.4. Känslighetsanalys över antalet personer.

	Antal personer	Tid ut ur brandrum	Tid ut ur brandrum, handberäkningar
<b>Normal mängd personer</b>	250	3 min 30 s	3 min 40 s
<b>Boverkets rekommendation (kortare varseblivningstid, 90-110s)</b>	500	3 min 30 s	-
<b>Boverkets rekommendation. Max utan sprinkler.</b>	500	4 min	4 min 30 s



Figur 5.7 Bild från simulering i Simulex med 250 personer i Hemköps lokal.

För att undersöka hur utrymningen från andra butiker kan påverka den totala utrymningstiden ut till det fria, görs en simulering med hänsyn till andra butiker i närheten av Hemköp. Simulering genomförs med en persontäthet på 2 m<sup>2</sup>/pers vilket medför omkring 1000 personer i Väpnarstråket samt en del av Banérstråket, se figur 5.8. Tiden ut ur gallerian uppgick då till omkring 6 min 20 s.



Figur 5.8. Figuren illustrerar den del av gallerian som simulerats vid händelse av brand på Hemköp.

### 5.7 Diskussion Hemköp

Om en nästan dubbel så hög tillväxthastighet används visar känslighetsanalysen att tiden tills kritiska förhållanden utan sprinkleraktivering uppstår kan bli 2 min 50 s. Detta är en kortare tid än de 3 min 30 s det tar att utrymma 250 personer. Med den ursprungliga tillväxthastigheten tar det cirka 4 min att uppnå kritiska förhållanden och detta är ungefär den tid det tar att utrymma 500 personer. Eftersom det endast skiljer 30 s då 500 personer ska utrymma mot då 250 personer gör det är sprinkler en viktig brandskyddsåtgärd. Detta då resultaten bygger på flera antaganden kring exempelvis varseblivnings- och förberedelsetid. Eftersom tillväxthastigheten i känslighetsanalysen var väldigt tilltagen utgås inte enbart från denna, men den bidrar till slutsatsen att inte fler än 250 personer kan utrymma utan sprinkleraktivering. Detta bygger även på att skillnaden mellan att utrymma 500 personer mot 250 personer var så liten.

Varseblivningstiden och förberedelsetiden hade med hjälp av branddetektion och ett kompletterande talat utrymningsmeddelande kunnat minskas avsevärt. Om kunderna får information via meddelande behöver de inte söka efter den själva varvid tid sparas och utrymningen kan påbörjas snabbare.

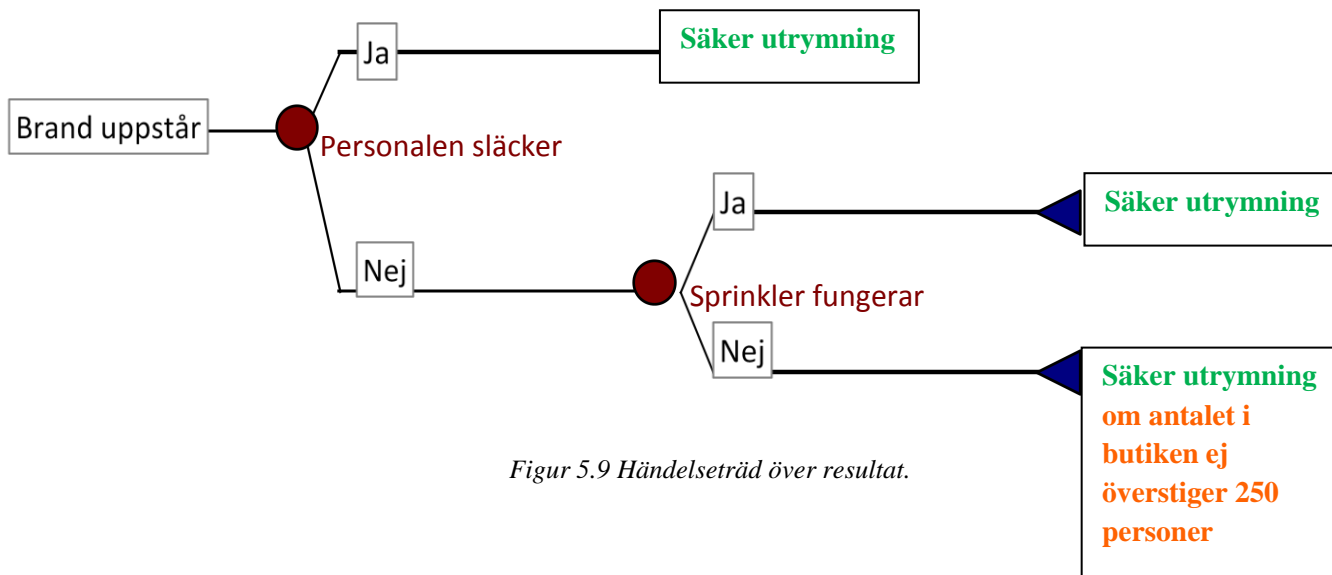


Beräkningarna som görs kring kritiska förhållanden innefattar en del begränsningar. Till exempel vid beräkning av sikten i lokalen. Denna beräkning bygger på att det är en homogen omblandning i hela lokalen vilket så inte är fallet. Vid dessa beräkningar tas ingen hänsyn till aktiveringen av sprinklersystemet. Sprinklersystemet kan i själva verket påverka sikten negativt då vattnet kyler brandgaserna som då tappar sin termiska stigkraft och en omblandning sker. Sprinklersystemet aktiverar efter 2 min 10 s och branden har då en effekt på 970 kW medan utrymningen är slutförd efter 3 min 30 s. Detta anses dock ej påverka utrymningen eftersom branden avtar i effekt alternativt blir konstant när sprinklersystemet aktiverar. Sprinkleraktiveringen kommer att ske närmast branden och eventuellt påverka sikten i dess omedelbara närhet. Personerna i lokalen bedöms dock kunna utrymma utan större problem.

När utrymningssimuleringarna har gjorts har gångstråket ansetts vara en säker plats. Det kommer troligen att komma ut en del rök dit men det är högt i tak och det finns även brandgasventilation, sprinkler och många utrymningsvägar. I känslighetsanalysen visar det sig att det tar cirka 6 min 20 s att utrymma till det fria om endast stråkens huvudingångar används. Det anses orimligt att hela gallerian ska utrymmas innan kritiska förhållanden i just Hemköps lokaler uppstår, men med sprinkleraktivering klaras även detta av.

## 5.8 Slutsats angående utrymning från Hemköp

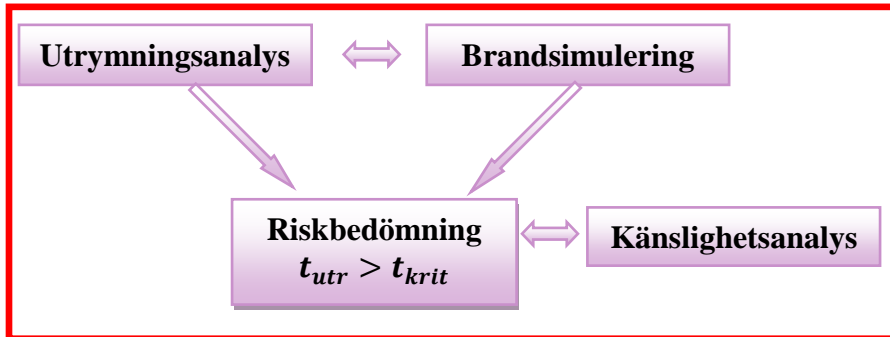
Slutsatsen är att säker utrymning kan ske ur Hemköps lokaler, se figur 5.9.



Figur 5.9 Händelseträäd över resultat.

## 6 Köksbrand på restaurang Pergola

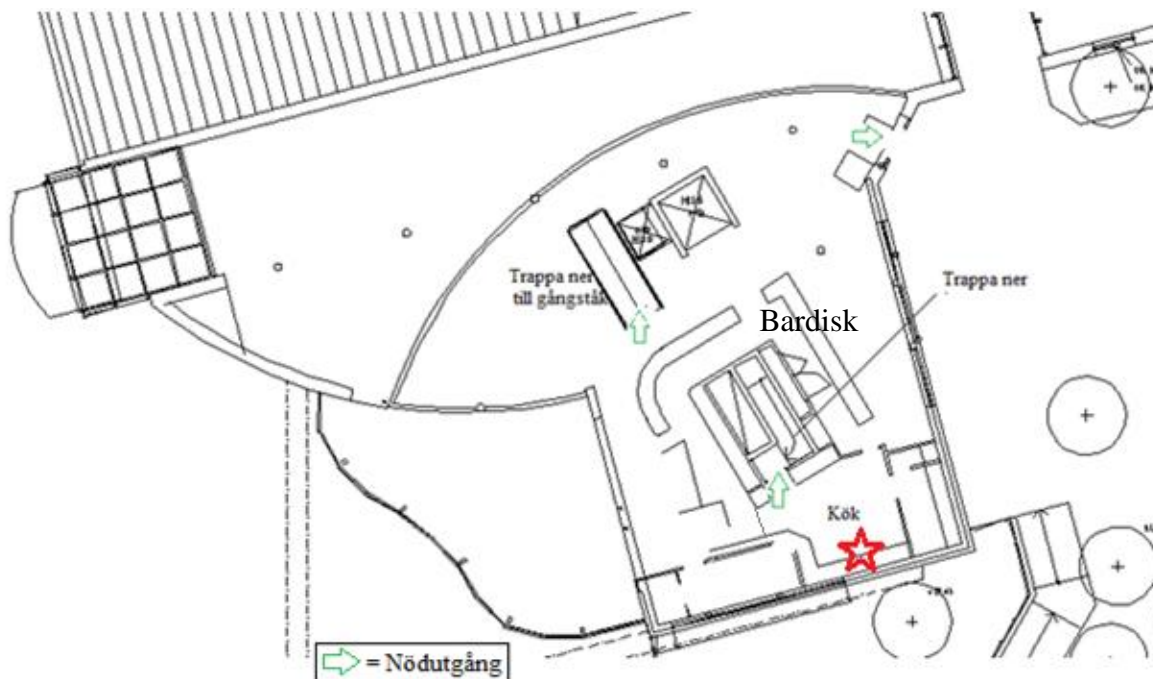
I detta kapitel analyseras det valda brandscenariot på restaurang Pergola utifrån brandförlopp och utrymningstid. Aktuell del i arbetsprocessen ses i figur 6.1.



Figur 6.1. Aktuell del i arbetsprocessen.

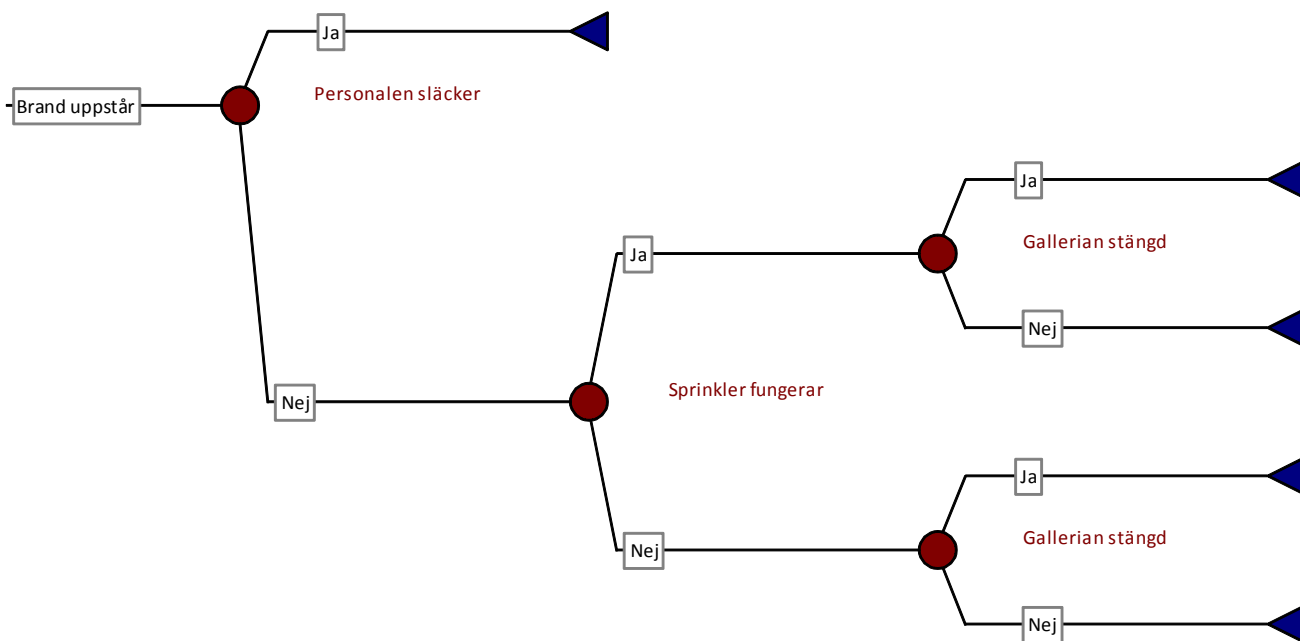
### 6.1 Scenariobeskrivning

Restaurang Pergola ligger på andra våningen i centrat. Scenariot innebär en brand som startar i köket. Restaurangen har öppet nattetid, serverar alkohol och en av nödutgångarna (den vid trappan ned till gångstråket, se figur 6.2) som leder ner till gångstråket måste låsas upp av personalen vid utrymning. Väggar och golv är ej av brännbart material. Brandgaser kan spridas ut till gångstråken då det är öppet mellan restaurangen och gångstråken.



Figur 6.2 Översiktlig beskrivning över restaurang Pergola. Den modellerade brandens placering är markerad med en röd stjärna.

Händelseträdet över olika scenarier som kan tänkas inträffa vid brand på restaurang Pergola visas i figur 6.3. De olika sluthändelserna beror på om personalen släcker branden, om sprinklersystemet fungerar och om branden sker efter shoppinggallerian har stängt. Det sistnämnda påverkar utrymningsmöjligheterna från lokalen eftersom en utgång, ner till gallerian, är avstängd under kvällstid med galler och kan bara öppnas av personal. Således kan denna utgång ej klassas som utrymningsväg. Denna kan följaktligen fungera som en förvirrande återvändsgränd vid dåligt sikt och därmed orsaka problem vid utrymningen.



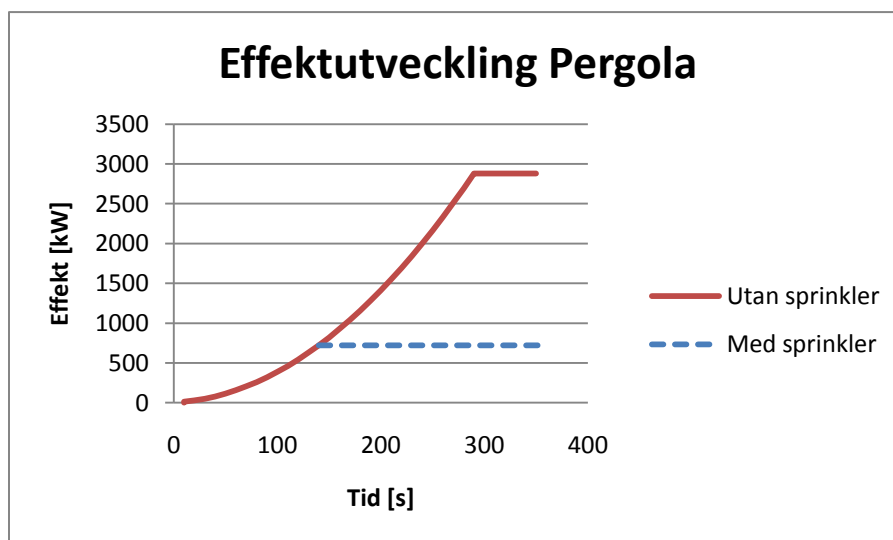
Figur 6.3 Händelseträd över brand på restaurang Pergola. Sluthändelserna beror på om personalen släcker branden, om sprinklersystemet fungerar samt om branden sker efter shoppinggallerians stängningstid.

## 6.2 Effektutveckling

Ett antagande görs att köket på Pergola liknar andra restaurangkök med avseende på brandbelastning. I en rapport av Bwalya, Zalok, & Hadjisophocleous (2007) har det gjorts medelskaliga experiment på bränder i olika utrymmen, bland annat i kök. Av rapporten framkommer det att materialet i ett kök i genomsnitt består av cirka 19 % plast, 42 % matvaror och 39 % trä och papper. Där visade det sig att ett rum på 3,6 x 2,75 x 2,4 m fick en maximal effektutveckling på 2760 kW. Denna topp i effektutvecklingen inträffade efter 4 min 50 s.

Verksamheten på restaurang Pergola antas likna den genomsnittliga restaurangens och köket på Pergola är 4,5 x 5 x 3,5 m stort. Även om detta är något större än i ovanstående försök anses det tillräckligt representativt för att kunna användas. En mer generell  $\alpha t^2$ -kurva beräknas som ses i figur 6.4 där tillväxthastigheten är 0,032 kW/s<sup>2</sup>. För beräkningar se bilaga B.

Resultatet i Detact QS visar att tiden till sprinklersystemet aktiverar uppgår till omkring 2 min 30 s. Vid denna tid är effektutveckling 720 kW. Enligt rapporten av Nystedt (2010) kan en brand med så låg effektutveckling antas vara konstant i en minut för att sedan avta linjärt till en tredjedel av effekten, det vill säga 240 kW. På grund av begränsningar i simuleringsprogram som CFAST kommer dock effektutvecklingen antas vara konstant efter sprinkleraktiveringen. För indata se tabell G.3 i bilaga G.



Figur 6.4 Effektutveckling vid brand i kök på restaurang Pergola.

1. Tid = 0 min: Branden startar i köket.
2. Tid = 2 min 30 s: Sprinkler aktiverar och branden blir konstant på 720 kW
3. Tid = 5 min: Den maximala effekten 2,7 MW uppnås och branden antas bli konstant.

### **6.3 Utrymningstid**

Utrymningstiden simuleras i programmet Simulex. Tiden jämförs med tiderna till kritiska förhållanden för att undersöka om utrymningen kan anses vara acceptabel. Simuleringen görs för det värsta tänkbara scenariot, det vill säga efter gallerians stängning.

#### **6.3.1 Varseblivnings- och förberedelsetid**

Varseblivningstiden på Pergola antas vara lång. Branden befinner sig i ett relativt skyddat utrymme i köket som är skilt från gästerna. Människorna i lokalen sitter vid borden och har förmodligen koncentrationen riktad mot maten. Har de betalt för mat och dryck kan det finnas en ovilja att lämna detta i första taget. Det kan också finnas störande moment så som hög ljudnivå och dunkelt ljus i lokalen. Dessutom kan en del av personerna vara berusade vilket sänker reaktionsförmågan. Varseblivningstiden sätts därmed till 1 min 30 s. Den sammanlagda varseblivnings- och förberedelsetiden sätts till 3 min med en slumpmässig standardavvikelse på 10 – 35 sekunder beroende på placering i lokalen. Det innebär att personerna närmast branden har en slumpmässig variation på 3 min  $\pm$  10 s och personerna längst bort 3 min  $\pm$  35 s. Alla personer, inklusive personalen, antas gå mot utgången längst till höger, se figur 6.2. Det finns en nödutgång i köket men eftersom branden är där anses den utgången mindre tilltalande. I detta scenario antas utgången ned mot gallerian vara stängd.

#### **6.3.2 Total utrymningstid**

Enligt Boverkets rekommendation på 0,5 personer/m<sup>2</sup> så får det plats 90 personer på restaurang Pergola om nettoyta används. Det finns dock endast cirka 40 sittplatser på restaurangen. Detta personantal anses mer rimligt med tanke på den lösa inredningen som finns på restaurangen. Därför väljs detta personantal som det normalt förekommande på restaurangen. Fördelningen över vilka slags personer som antas vistas på restaurangen uppskattas utifrån verksamhet och ses i tabell 6.1. En bild av simuleringen visas i figur 6.5. Den totala utrymningstiden är 3 min 50 s. Handberäkningar på utrymningstiden för 40 personer visar även de att det tar cirka 4 min, se bilaga F. Detta är ett rimligt resultat då det inte blev någon större köbildning.

Tabell 6.1 Tabellen visar fördelningen över de 40 personer som förväntas befinna sig på restaurang Pergola.

Fördelning (Pergola)	Andel (%)	Antal
Personal	5	2
Män	50	20
Kvinnor	37,5	15
Gamla	7,5	3
Totalt: 40 personer		



Figur 6.5 Figuren visar utrymningssimuleringen i programmet Simulex. I lokalerna vistas 40 personer fördelade på en användbar utgång (i högra hörnet på bilden).

#### 6.4 Kritiska förhållanden

I detta avsnitt presenteras tid till kritiska förhållanden som simulerats i CFAST.

Handberäkningar på kritiska förhållanden väljs bort i detta fall. Detta på grund av att kritiska förhållanden kommer att uppstå nästan omedelbart i köket då rummet är litet och problem att vistas där skulle ske nästan momentant då bland annat värmestrålningen från flaman skulle bli för stor. Det är dock bara ett fåtal som vistas i köket och därför läggs fokus på utrymningen från den del av restaurangen där gästerna vistas.

#### **6.4.1 Brandgaslagrets höjd**

Via simulering i CFAST blir tiden tills en oacceptabel nivå uppnås 1 min i brandrummet. Dock kommer brandgaslagret aldrig att nå en kritisk nivå i övriga utrymmen där gästerna vistas. Detta förväntades det inte heller göra då restaurangen är öppen mot gångstråken och brandgaserna kommer således vädras ut. Då sprinklersystemet aktiverar kommer det fortfarande bli kritiska förhållanden i köket och tiden tills detta sker är i stort sett densamma.

#### **6.4.2 Sikt**

Sikten kommer att vara ointressant i detta scenario eftersom brandgaserna vädras ut ur restaurangen.

#### **6.4.3 Strålning från brandgaslager**

Strålningen från brandgaslagret når inte en kritisk nivå i CFAST simuleringen utanför brandrummet, detta i samband med att brandgaslagret blir obefintligt. Strålningen från själva branden är i detta fall ointressant då branden befinner sig på ett skyddat ställe, skiljt från gästerna. Dock kommer strålningen i köket nå en kritisk nivå efter 2 min 40 s oavsett om sprinkler aktiverar eller ej.

#### **6.4.4 Toxicitet**

Beräkningar på toxicitet utanför brandrummet anses ej nödvändigt i detta fall då farliga gaser kommer att vädras ut.

#### **6.4.5 Temperatur**

Eftersom brandgaser kommer att vädras ut och en stor mängd sval, frisk luft kan komma in från gångstråket anses inte beräkningar på temperaturen i restaurangdelen nödvändigt i detta fall.

### **6.5 Resultat**

Resultatet visar att brandgaslagrets höjd är den parameter som först uppnår en kritisk nivå i brandrummet. Utanför brandrummet kommer det aldrig bli kritiska nivåer. Personerna i lokalen bedöms kunna utrymma utan problem oavsett antal. Dessutom kommer branden i köket vara relativt lätt att släcka med en handbrandsläckare om den upptäcks i tid, vilket är troligt då anställda vistas där.



## 6.6 Känslighetsanalys

Ett värre scenario kan uppstå om branden uppstår i själva utrymmet där gästerna vistas. Om branden är belägen vid bardisken, se figur 6.2, och gallerian har stängt kommer ett stort problem uppstå. När gallerian stänger på kvällen stängs trappan från Pergola med ett galler som således blockerar vägen ner till gallerian. Denna kan öppnas av personalen med hjälp av en knapp som finns vid bardisken. En brand vid bardisken gör dock denna knapp otillgänglig och galleret kommer inte att kunna öppnas. Då återstår endast en lättillgänglig utrymningsväg för kunderna. Beräkningar med CFAST visar att kritiska förhållanden varken uppstår i form av brandgaslagrets höjd eller strålning från brandgaslagret på grund av att brandgaserna vädras ut till gångstråket. Men kan gästerna passera bardisken och utrymma med avseende på strålningen från branden?

Då branden är belägen 3 meter från den tillgängliga nödutgången så kommer strålningen vid nödutgången överstiga  $2,5 \text{ kW/m}^2$  efter ca 2 min, se bilaga C. Vilken flamtemperatur som väljs påverkar resultatet mycket därför görs även beräkningen med en högre sådan. Att öka flamtemperaturen minskade tiden till kritiska förhållanden med cirka 10 s, se bilaga D. Skulle köbildning ske kan det bli problematiskt då gästerna utsätts för strålningen under en längre tid. Å andra sidan skulle gästerna snabbare upptäcka branden då den befinner sig vid bardisken, vilket leder till att varseblivningstiden minskas och utrymningen påbörjas snabbare. Utrymningstiden minskas uppskattningsvis med 1 min. En känslighetsanalys görs för olika antal personer i lokalen med 1 min kortare varseblivnings- och förberedelsetid för att studera köbildning och utrymningstid, se tabell 6.3. Tiden tills Boverkets rekommendation på 90 personer har utrymt är 4 min 20 s förutsatt att endast en nödutgång används. Efter denna tid uppgår strålningen till 8-12  $\text{kW/m}^2$  utan sprinkleraktivering. Detta kan jämföras med att en strålning på  $6,4 \text{ kW/m}^2$  orsaker smärta efter 8 s (Drysdale, 2000).

*Tabell 6.3 Känslighetsanalys över antalet personer i lokalen med en varseblivnings- och förberedelsetid på 120 s.*

Antal personer	Utrymningstid
40	3 min 50 s
60	4 min
90	4 min 20s

Analysen visar att gästerna, beroende på antal, vistas maximalt omkring 2-3 min i lokalen med en strålning över  $2,5 \text{ kW/m}^2$ . Dock aktiverar sprinklersystemet vid 2 min 30 s vilket avstannar strålningen som då är  $3-5 \text{ kW/m}^2$ .

### **6.7 Diskussion restaurang Pergola**

Antalet personer i lokalen kan variera kraftigt men då branden i detta fall inte kommer leda till kritiska förhållanden utanför brandrummet, tillika köket, bör en godtagbar utrymning ske oavsett antal gäster. I simuleringarna har det inte tagits någon hänsyn till den andra nödutgången bakom baren. I verkligheten är det möjligt att denna används om personal hänvisar folk dit.

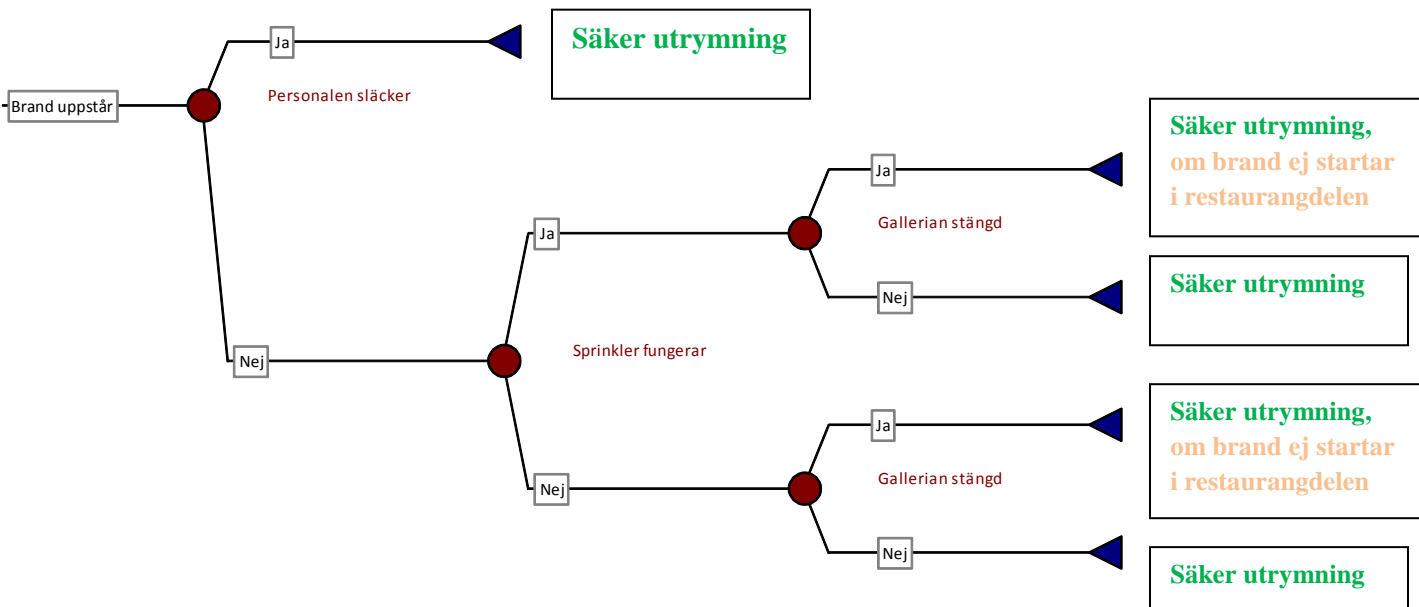
Ett problem som kan tänkas uppstå i denna lokal är om det sker en brand efter gallerians stängning. Då är nämligen utgångarna ned mot gallerian stängda med galler och kan således fungera som en förvirrande återvändsgränd. Detta kan försvåra utrymningen och i värsta fall leda till dödsfall. För att ta hänsyn till sådana problem simulerades scenariot med endast en utgång och dessutom användes en lång varseblivningstid.

Ett ytterligare problem hade varit om branden varit belägen nära den enda, för gästerna, kända utgången. Då hade den utgången varit mindre tilltalande och problem i samband med utrymningen hade uppstått. Detta borde kunna lösas på ett enkelt sätt genom att få bort gallret på den vägen ner till gallerian och se till att nödutgångarna är skyltade. Då lokalen dessutom har sprinkler bidrar det till en säkrare utrymningsmiljö.

Angående en brand i restaurangdelen så utgår strålningsberäkningarna från att personerna står mitt framför flamman, vilket troligen inte är fallet. Det anses inte troligt att en brand skulle börja vid bardisken då det inte finns mycket brännbart material och att en begynnande brand troligen kommer att upptäckas tidigt. Den låga brandbelastningen gör också att en sprinkleraktivering troligen skulle kunna släcka branden. Konsekvensen av en brand i baren anses också liten då det troligen endast medför lättare personskador. Dessa faktorer gör att det ej är rimligt att kräva någon åtgärd. Det visar dock svagheten med att ha en nödknapp som endast personalen kan använda för att öppna dörren ned mot gångstråket.

### 6.8 Slutsats angående utrymning från restaurang Pergola

Om branden startar i köket, vilket är det mest troliga, kommer personer i restaurangen kunna utrymma utan problem. Sker dock branden i själva restaurangen kan inte säker utrymning säkerställas beroende på var branden är placerad. Är branden placerad i till exempel baren är det tveksamt om säker utrymning kan ske på ett tillfredställande sätt. Risken för en brand i restaurangdelen anses dock liten då det inte finns mycket brännbart material där. Slutsatsen presenteras i figur 6.6

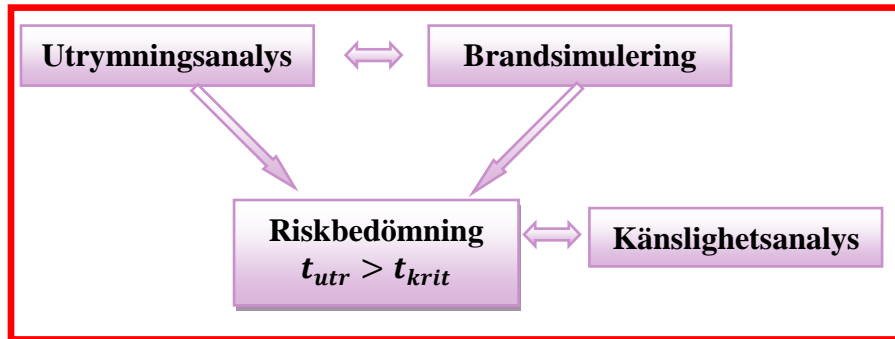


Figur 6.6 Händelseträäd över resultat.



## 7 Brand på BR Leksaker

I detta kapitel analyseras det valda brandscenariot på BR Leksaker utifrån brandförlopp, strålning och utrymningstid. Aktuell del i arbetsgången ses i figur 7.1



Figur 7.1 Aktuell del i arbetsgången.

### 7.1 Scenariobeskrivning

En anlagd brand startar vid mjukisdjuren vid utrymningsvägen, se figur 7.2 och 7.4. Det finns många leksaker runt omkring och i direktkontakt med branden vilket bidrar till en horisontell spridning, se figur 7.3. Branden startar vid golvnivå och sprider sig uppåt. När strålningsintensiteten blir tillräckligt hög kommer även spridning att ske via strålning. Brandförloppet kommer troligtvis ske snabbt med tanke på materialet som brinner. Det är mycket tygmaterial som bomull och polyester och även mycket plast och kartonger. Brandkällans placering vid golvnivå är ytterligare en faktor som kommer att bidra till ett snabbt brandförlopp då spridningen sker snabbt i vertikal riktning.



Figur 7.2 Mjukisdjur vid nödutgång.

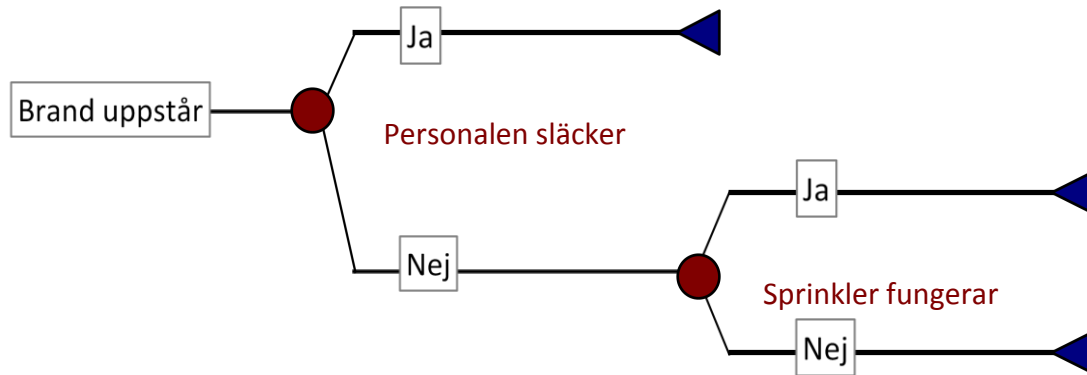


Figur 7.3 Mycket brännbart material i form av leksaker.



Figur 7.4 Översiktlig beskrivning över BR Leksaker och Team Sportia och var branden är belägen (röd stjärna). De gröna pilarna visar nödutgångarnas placering.

Händelseträdet över brand på BR Leksaker visas i figur 7.5 De olika sluthändelserna beror på om personalen släcker branden och om sprinklersystemet fungerar eller inte. Värsta scenario är om personal inte släcker branden och sprinklersystem inte fungerar.



Figur 7.5 Händelseträ över brand på BR Leksaker.

## 7.2 Effektutveckling

För att få fram en kurva över effektutvecklingen på BR Leksaker har data sökts på olika håll för att hitta det mest representativa. I en rapport skriven av Bwalya, Zalok och Hadjisophocleous (2007) har diverse brandscenarier satts upp som ska representera olika miljöer som kan tänkas

finnas i ett köpcenter så som leksakshylla, datorhörna, klädställningar med mera. Det försöket som fanns med en leksakshylla kändes dock inte representativt för BR då denna uppställning bestod av 75 % trä. Istället används ett försök från samma rapport där två större klädställ antänds, se figur 7.6. Detta experiment anses vara mer lämpligt då sammansättningen bestod av 86 % textil och just textil antas vara det dominerande materialet i detta

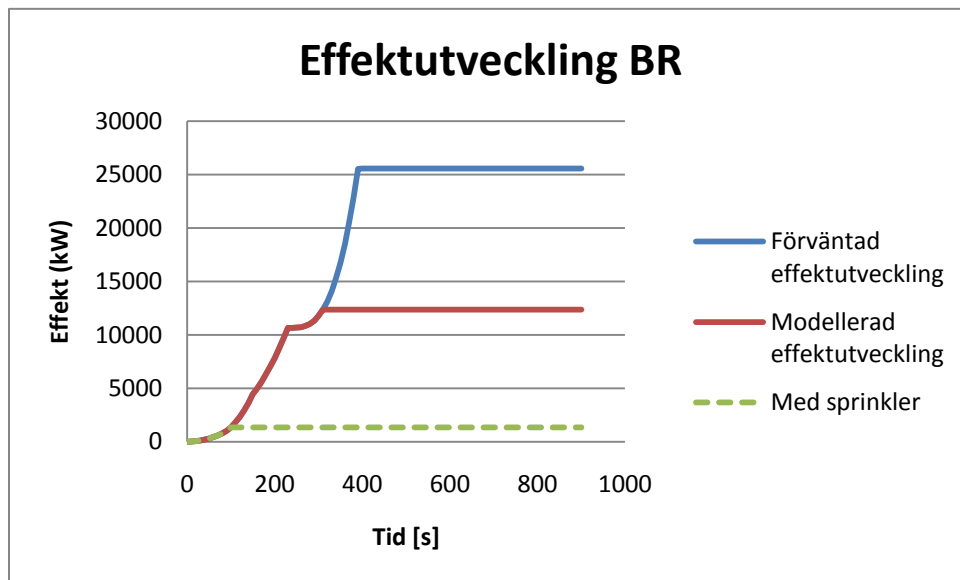


Figur 7.6 Försöksuppställningen som den dimensionerade branden på BR Leksaker utgår ifrån (Bwalya, Zalok, & Hadjisophocleous, 2007).

brandscenario. Den sammanlagda vikten av kläderna var 71 kg, vilket anses kunna motsvara mängden tyg i den dimensionerande branden på BR Leksaker. En skillnad är att mjukisdjuren är staplade på höjden, vilket kommer påskynda brandförloppet. Detta anses dock kunna vägas upp av att kläderna är förvarade mer luftigt, vilket i sin tur bidrar till snabbare effektutveckling. I deras försök uppnåddes en maximal effektutveckling på 2700 kW efter 2 min 30 s. Eftersom det fanns mycket brännbart i affären måste beräkningar på spridning till närliggande föremål utföras. Detta görs på samma sätt som i tidigare brandscenarier och den resulterande effektkurvan ses i figur 7.7. Detta ger ett ungefärligt

$\alpha$ -värde på  $0,128 \text{ kW/s}^2$  som ligger mellan fast och ultra-fast, se figur B.1 i bilaga B. Det maximala värdet på den förväntade effektutvecklingen är taget från en rapport av Bennetts, o.a. (1997) där några olika typer av verksamheter inom ett köpcenter ställdes upp. I det försöket som motsvarade en leksaksaffär uppnådes en maximal effektutveckling på 25 MW. Även om denna maximala effekt kan uppnås är det inte lämpligt att modellera för den. Därför sätts den maximala effektutvecklingen till 12 MW för den modellerande branden. För utförligare beräkningar se bilaga B.

Resultatet i Detact QS visar att tiden till sprinklersystemet aktiveras uppgår till 1 min 40 s. Vid denna tid är effektutveckling 1344 kW. Nystedt (2010) skriver i sin rapport att en brand som har en effektutveckling under 5 MW när sprinklern aktiveras kan antas vara konstant i en minut för att sedan avta linjärt till en tredjedel av effekten. Detta skulle då kunna appliceras på vårt fall och effektutvecklingen skulle då reduceras till 450 kW. Att simulera detta i exempelvis CFAST är dock svårt på grund av programmets begränsningar och därför antas effektutvecklingen vara konstant efter sprinkleraktiveringen, se figur 7.7. För indata se figur G.4 i bilaga G.



Figur 7.7 Effektutveckling vid brand i leksaker på BR leksaker.



Brandförloppet kan sammanfattas enligt följande:

1. Tid = 0 min: Branden startar i botten av leksakshyllan.
2. Tid = 1 min 20 s: Branden sprids till tre närliggande hyllor.
3. Tid = 1 min 40 s: Sprinkler aktiverar och branden blir konstant på cirka 1,3 MW
4. Tid = 3 min 10 s: Den första hyllan börjar svalna av.
5. Tid = 3 min 50 s: De tre hyllorna dit branden har spridits når maxeffekt. Branden antas härefter spridas enligt en  $\alpha^2$ -kurva med  $\alpha$ -värdet  $0,12 \text{ kW/s}^2$ .
6. Tid = 5 min 10 s: Den modellerade branden når en maxeffekt motsvarande 12 MW och hålls konstant.
7. Tid = 6 min 40 s: Den förväntade effektutvecklingen når maxeffekt motsvarande 25 MW.

### 7.3 Utrymningstid

Utrymningstiden simuleras likt tidigare i programmet Simulex. Tiden jämförs med de simulerade resultaten i CFAST samt de handberäknade tiderna tills kritiska förhållanden uppstår i lokalen för att undersöka om utrymningen kan anses vara acceptabel. Affären Team Sportia har tagits med i utrymningssimuleringen eftersom båda butikerna har en gemensam utrymningsväg, rulltrappan upp till markplan, och detta kommer således påverka utrymningstiden. Dock sker övriga beräkningar med enbart BR Leksakers lokal. Den gemensamma nettoytan för Team Sportias och BR Leksakers lokaler är cirka  $1000 \text{ m}^2$ . Med Boverkets rekommendation på  $0,5 \text{ personer/m}^2$  (Boverket, 2006) skulle detta innebära 500 personer i de båda lokalerna. I dagsläget har de båda lokalerna dock mycket lös inredning, speciellt BR Leksaker. Då det tas hänsyn till detta vid utrymningssimuleringen är det orimligt att ha så mycket folk i lokalen. Ser man till den tillgängliga ytan anses cirka 80 personer vara ett mer rimligt värde och därför används också detta som utgångspunkt vid simuleringen. Fördelningen och antalet människor i butikerna har uppskattats enligt tabellen nedan, se tabell 7.1 Andelen kvinnor och barn antas vara de största grupperna med hänsyn till affärens karaktär. Personerna har fördelats slumpmässigt i lokalerna.

Tabell 7.1 Tabellen visar fördelningen hos de 80 personer som förväntas befinna sig i de båda lokalerna BR Leksaker och Team Sportia.

Fördelning (BR och Intersport)	Andel (%)	Antal
Personal	12,5	10
Män	23,8	19
Kvinnor	30	24
Barn	26,2	21
Gamla	7,5	6
<b>Totalt: 80 personer</b>		

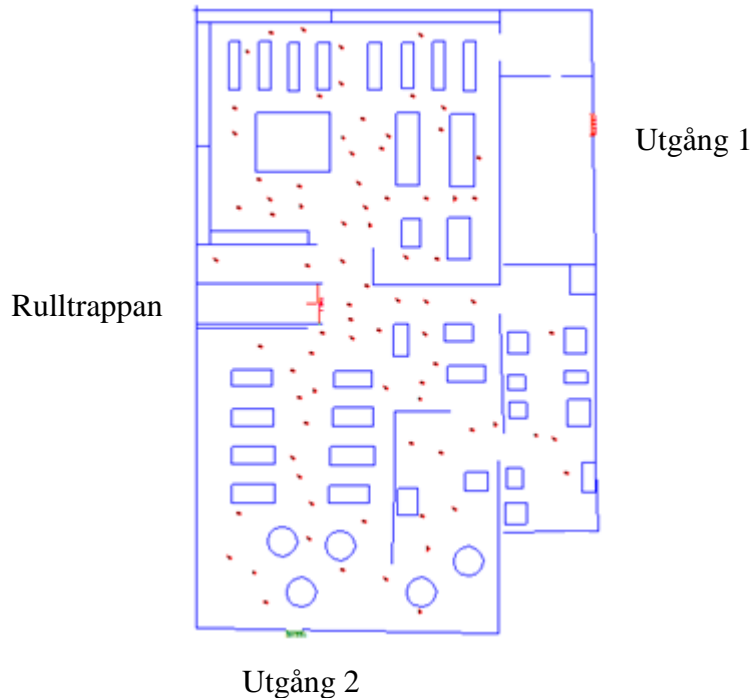
### 7.3.1 Varseblivnings- och förberedelsetid

Varseblivningstiden för detta scenario är, likt tidigare scenarier, svår att uppskatta då det inte finns några larm i lokalerna som kan påkalla kundernas uppmärksamhet. De personer som befinner sig i direkt närhet till branden förväntas bli varse mycket snabbare än personer längre bort. Dessutom finns mycket skyltar och hyllor som skymmer sikten från övriga kunder i lokalerna vilket kan bidra till längre beslutstid. För att få en rimlig varseblivningstid simulerades aktiveringstiden för rökdetektorer i Detact QS, se bilaga G figur G.5. För denna simulering ansåts ett lågt RTI på  $0,5 \text{ ms}^{(1/2)}$  som då representerar en försumbar värmeledning i känselelement hos rökdetektorn. Aktiveringstemperaturen ansåts som en temperaturökning på  $10 \text{ °C}$  i brandgaserna (Nilsson & Holmstedt, 2008). Vid denna tidpunkt har brandgaserna nått taket och personerna i lokalen bör uppmärksamma branden. Genom en simulering fås en aktiveringstid på ca 16 s. Eftersom BR Leksaker inte är en så stor affär antas människor notera branden efter ungefär denna tid. Varseblivningstiden sätts därför till omkring 20 s beroende på var i förhållande till branden personerna befinner sig. Förberedelsetiden är något längre. Vanligtvis försöker personerna informera sig om vad som har hänt och söka mer information innan de därefter beslutar sig för att vidta någon åtgärd (Frantzich, 2000). Eftersom det inte finns utrymningslarm kommer personerna således ta lång tid på sig att fatta beslutet om att utrymma. Förberedelsetiden uppskattas till omkring 1 min 10 s beroende på personernas placering i lokalen.

Den sammanlagda varseblivnings- och förberedelsetid för detta scenario sätts till 1 min 30 s med en standardavvikelse på 10-35 s beroende på personens placering i lokalen. Personerna närmast branden har en standardavvikelse på 10 s respektive 35 s för de längst bort.

### **7.3.2 Total utrymningstid**

Endast personalen antas använda nödutgångar utöver huvudingången. Detta beror på att det finns tendenser att människor endast använder utgångar som de känner till, dvs. den väg de kom in genom (Frantzich, 2000). Dessa utgångar är dessutom socialt acceptabla, vilket betyder att man inte riskerar att göra bort sig eller förvilla sig. Nödutgången närmast branden inne på BR Leksaker kommer dock ej kunna användas då branden blockerar den vägen. Den utrymningstid som anses relevant är tiden ut ur brandrummet, upp till markplan i gallerians gångstråk. Där anses förhållandena vara bra och det är högt i tak och ljus miljö. Utgångarna till det fria är väl synliga och därför antas denna del av utrymningen ej vara kritisk. Simuleringen kan ses i figur 7.8 och tiden ut ur brandrummet uppskattades med Simulex till 2 min 50 s. Den totala utrymningstiden ut till det fria är något längre, 4 min. Problem i samband med utrymning är den gemensamma rulltrappan upp till markplan. Enbart den rulltrappan som går uppåt kommer att kunna användas, då rulltrapporna ej stängs av vid händelse av brand. Detta ökar tiden avsevärt. Dessutom är trappstegen ganska höga vilket kan orsaka problem och därmed fördröjningar i utrymningen. Ramlar en person kommer trappan snabbt att blockeras. Är det dessutom en storhelg med mycket folk i butiken kommer utrymningstiden förmodligen att förlängas ytterligare.



Figur 7.8 Figuren visar förutsättningarna i programmet Simulex. I lokalerna vistas 80 personer och kunderna använder endast rulltrappan. Personalen använder även utgång 2.

## 7.4 Tid till kritiska förhållanden

I detta avsnitt presenteras resultaten från simuleringen av tid till kritiska förhållanden i CFAST samt handberäkningar. Rummets geometri och brandens storlek gör att en tvåzonsmodell är giltig. Dock kommer branden vid sprinkleraktivering bli för liten för att en tvåzonsmodell ska vara giltig. Simuleringen görs ändå för att få en uppskattning av hur den minskade effektutvecklingen påverkar förhållandena, se bilaga E. Här tas ingen hänsyn till Team Sportia. Handberäkningarna kan ses i bilaga C.

### 7.4.1 Brandgaslagrets höjd

Brandgaslagrets höjd beräknas, för teori se bilaga A och för beräkningar se bilaga C. Den framräknade tiden tills den kritiska höjden 2 m uppstår är 2 min 20 s. Via simulering i CFAST blir tiden 3 min 10 s innan avståndet från golvet till brandgaslagret når 2 m. Handberäkningarna är mycket konservativa då de antas att affären är ett slutet utrymme. I själva verket finns det breda öppningar, vilket CFAST tar hänsyn till. Simuleringen anses därför ge ett mer rimligt

resultat. Simulering med CFAST vid sprinkleraktivering är inte lämpligt då sprinklern kyler brandgaserna och något brandgaslager kommer troligen inte bildas. Med sprinkleraktiveringen blir även brandens effektutveckling så liten att en tvåzonsmodell ej är giltig, se bilaga A. Simuleringen visar att kritiska förhållanden ej kommer uppstå med sprinkler. Även om denna simulering inte är giltig ger den en indikation på att brandens konsekvenser kommer bli reducerade.

#### **7.4.2 Sikt**

Beräkningar på sikt då sprinklern inte aktiverar är överflödigt i detta scenario då det kommer bildas ett brandgaslager på grund av rummets lilla volym och brandens kraftiga effektutveckling. Kritiska förhållanden för sikt kommer alltså inte ske förrän brandgaslagret har sjunkit under den acceptabla nivån. Då sprinklern aktiverar kommer brandgaslagret att sjunka och en tvåzonsmodell är inte längre giltig. Därför görs beräkningar på sikt då sprinklern aktiverar och resultat visar att det tar cirka 2 min innan sikten blir för dålig, se bilaga C.

#### **7.4.3 Strålning**

Strålningen från brandgaslagret beräknas för hand till 4 min 30 s, se bilaga C för beräkningar och bilaga A för teori. Kritisk strålning nås enligt simulering i CFAST efter 4 min 10 s i brandrummet. Då sprinklersystemet aktiveras är inte omständigheterna korrekta för att en CFAST-simulering ska vara giltig. En simulering görs ändå som en indikation på hur strålningen påverkas och resultatet blir att kritiska förhållanden inte uppnås.

#### **7.4.4 Toxicitet**

Då det kommer att bildas ett brandgaslager i lokalen antas de giftiga gaserna ligga i detta lager medan den övriga luften är ren. Kritiska förhållanden för toxicitet kommer alltså inte uppstå förrän brandgaslagret har sjunkit under den acceptabla nivån.

#### **7.4.5 Temperatur**

Kritisk temperatur antas uppnås samtidigt som brandgaslagrets höjd når kritiska nivåer. Detta på grund av att beräkningarna utgår från en tvåzonsmodell som gör en bestämd avgränsning mellan brandgaslagret och den nedre delen av rummet. Den nedre delen antas därför ha rumstemperatur och att en temperaturhöjning endast sker i brandgaslagret.

## 7.5 Resultat

Nedan redovisas tiderna tills kritiska förhållanden uppstår, se tabell 7.2

Tabell 7.2 Tid tills kritiska förhållanden uppstår på BR Leksaker

Parameter	Handberäkning		CFAST	
	Utan sprinkler	Med sprinkler	Utan sprinkler	Med sprinkler
<b>Brandgaslagrets höjd</b>	2 min 20 s	-	3 min 10 s	Ej kritisk
<b>Sikt</b>	Sammanfaller med brandgaslagret	2 min	Sammanfaller med brandgaslagret	Sammanfaller med brandgaslagret
<b>Strålning</b>	4 min 30 s	-	4 min 10 s	Ej kritisk
<b>Toxicitet</b>	Sammanfaller med brandgaslagret			
<b>Temperatur</b>	Sammanfaller med brandgaslagret			

Resultatet visar att sikten blir kritisk efter 2 min då sprinklern aktiveras. Beräkningarna är dock mycket konservativa då det antas en jämn omblandning av brandgaser i hela rummet samt att bara BR Leksakers volym räknas med. Detta kommer troligen inte bli fallet då sprinkler kommer aktiveras främst över branden, vilket innebär att varma brandgaser i övriga delar av lokalen ej kommer kylas i samma mån och därför stiga mot taket. Det kommer även försvinna en del brandgaser i de öppningar som finns, till exempel ventilation, otätheter och ingångar. Då beräkningarna anses lite väl konservativa väljs att utgå från den parameter som blev kritisk närmast, det vill säga brandgaslagrets höjd. Resterande parametrar bedöms ej vara ett hot mot en säker utrymning då dessa uppnår kritiska nivåer efter att utrymningen ur brandrummet är genomförd. Brandgaslagrets höjd når kritiska förhållanden efter 2 min 20 s enligt handberäkningar och efter 3 min 10 s enligt CFAST. Transporttiden för brandgaserna att nå taket samt spridas ut tas inte hänsyn till i dessa beräkningar vilket är konservativt. Tiden enligt CFAST är lämplig att använda då den tar hänsyn till öppningar och den konservativa handberäknade tiden stärker rimligheten i resultatet. Enligt beräkningsformeln nedan är utrymningen acceptabel då marginaltiden är positiv.

$$t_{\text{marginal}} = 3 \text{ min } 10 \text{ s} - 2 \text{ min } 50 \text{ s} = 20 \text{ s}$$

Detta scenario gäller i det fall då sprinklersystemet ej fungerar vilket det dock med stor sannolikhet kommer att göra. Dessutom kommer den kritiska nivån ta något längre tid om Team Sportia tas med i beräkningen. Då blir rummets volym större och brandgasspridningen mindre.

Sprinklersystemet aktiverar efter 1 min 40 s och har då nått en effektutveckling på 1,3 MW medan utrymningen är slutförd efter 2 min 50 s. Eftersom effektutvecklingen blir så pass begränsad anses inte denna brand påverka utrymningen avsevärt eftersom branden ej antas tillta efter sprinkleraktiveringen utan snarare minska till cirka 430 kW. Beräkningar visar dock att det kan föreligga ett problem angående sikten även då sprinkler aktiverar. Även om dessa beräkningar anses vara mycket konservativa bör de beaktas.

## 7.6 Känslighetsanalys

Om tillväxthastigheten hos branden ändras till ”ultra-fast”, se figur B.1 i bilaga B, påverkades inte brandgaslagrets höjd nämnvärt. Tiden till kritiska förhållanden blev densamma. Vid beräkningarna angående strålning från brandgaslagret användes en konstant effekt på 6000 kW. Detta motsvarar att branden momentant skulle få denna effekt och sedan ligga konstant på denna. Antagandet anses vara mycket väl tilltaget då branden egentligen når denna effekt först efter 4 min 40 s. Därför anses det orimligt att öka denna parameter.

För att ta hänsyn till att BR Leksaker ligger i anslutning till Team Sportia simuleras det ursprungliga brandscenariot i CFAST med både BR Leksaker och Team Sportias lokaler. Resultatet blir då att brandens effekt blir för liten i förhållande till utrymnet för att en tvåzonsmodell ska vara giltig.

Då utrymning framförallt kommer ske genom rulltrappan då det är den kända in- och utgången för kunderna skulle en brand där öka utrymningstiden. Därför simuleras en brand nedanför rulltrappan för att se hur utrymningen påverkas då den enda kända utgången ej är brukbar, likt scenario 6 i kapitel 4. Resultatet blir att alla brandgaserna kommer ventileras ut via trappan och kritiska förhållanden kommer inte att uppstå i BR Leksakers eller Team Sportias lokaler. På grund av detta är det inte intressant att simulera utrymningstiden.



En annan faktor som kan påverka utrymningen är antalet personer som vistas i lokalen. Simuleringen genomfördes med det uppskattade antalet 80 personer, men detta antal kan variera. För att undersöka hur antalet personer påverkar utrymningstiden genomförs en känslighetsanalys. Enligt Boverket rekommenderas att ansätta 0,5 personer/m<sup>2</sup> om antalet personer i verksamheten ej är känt (Boverket, 2006). Detta skulle betyda ca 500 personer om båda butikernas netto yta används, dvs. 1000 m<sup>2</sup>. Varseblivnings- och förberedelsetiden är densamma som tidigare. Dock blir väldigt mycket folk i lokalerna om 500 personer ska vistas där och då bör även branden upptäckas snabbare. Därför görs även en simulering för 500 personer då varseblivning- och förberedelsetiden är 40-60 s istället för de ursprungliga 90 s. Simuleringar med ett varierande antal personer genomförs, se tabell 7.3. I alla fall utom där 500 personer vistas i lokalen antas personerna endast använda huvudingången. Detta på grund av att det inte anses rimligt att så mycket folk skulle stå och köa vid rulltrappan om de har en nödutgång precis intill sig. Handberäkningar på utrymningstiden för vissa fall görs, se bilaga F, för att kontrollera resultatet från Simulex, se tabell 7.3. Beräkningarna gav en något kortare utrymningstid än Simulex. Detta visar att resultatet från Simulex är rimligt då handberäkningarna inte tar hänsyn till köbildningen i samma grad som Simulex.

Tabell 7.3 Känslighetsanalys över antalet personer

Antal personer	Tid ut till gångstråket	Tid ut till gångstråket, handberäkningar
80	2 min 50 s	2 min 30 s
100	3 min 10 s	-
180	4 min	-
250	4 min 50 s	3 min 20 s
500	5 min 30 s	-
500 (kortare varseblivningstid)	4 min	-

En känslighetsanalys görs även för lokalen när en del av kunderna även antas använda andra nödutgångar i lokalerna, se tabell 7.4. Nödutgångarnas placering ses i figur 7.8 och simuleringen genomförs med 80 personer varav 1/3 antas använda andra utgångar än rulltrappan de kom in

igenom. Det har konstaterats att människor har en benägenhet att använda utgångar som de känner till, se utrymningsteori kapitel 4. Tiden ut ur brandrummet simulerades till en marginell skillnad, i storleksordningen 15-20 s.

Tabell 7.4. Tabellen visar utrymningstiden ut ur brandrummet för ett antal möjliga vägar

Utrymningsväg (Kunder)	Utrymningsväg (Personal)	Tid
Enbart rulltrappan	Rulltrappan och Utgång 2	2 min 50 s
Rulltrappan och Utgång 2	Rulltrappan och Utgång 2	2 min 30 s
Rulltrappan, Utg 1 och Utg 2	Rulltrappan, Utg 1 och Utg 2	2 min 30 s

### 7.7 Diskussion BR Leksaker

Det som är problematiskt är att i dagsläget är lokalen dimensionerad med ett övertryck vilket gör att brandgaserna transporteras upp vid rulltrappan mot gångstråket vilket gör att det inte är optimalt att utrymma via dessa. Eftersom detta är den väg folk känner till och de vet att det är en kort väg upp till gångstråket anses det troligt att folk kommer att utrymma genom rulltrapporna ändå. Det är alltså viktigt att utrymning påbörjas i ett så tidigt skede som möjligt. Då gallerian inte har något utrymningslarm är det också möjligt att folk i gångstråket inte noterar branden och går ned i lokalen vilket skulle störa utrymningen ytterligare. Eftersom den nedåtgående rulltrappan även fortsätter gå vid brand kan stora köer uppkomma där. Genom att stanna den vid brand möjliggörs utrymning i båda trapporna och en snabbare utrymning kan ske.

Skulle brand utbryta vid rulltrapporna finns det bara en väg ut för personer som vistas i BR Leksakers lokaler, denna är längst in i ena hörnet. Nödutgången är markerad med en skylt men det vara svårt att upptäcka utrymningsdörren på grund av alla reklamskyltar som hänger i taket, se figur 7.9. Även om inte kritiska förhållanden skulle uppstå vid en sådan brand gör detta att det ändå finns ett problem. Detta ställer då krav på att personalen är kunnig och handlingskraftig när det gäller att upplysa kunder om befintliga nödutgångar. När objektsbesöket gjordes fanns det endast ett klädställ nedanför rulltrapporna. Eftersom denna utrymningsväg är så pass central rekommenderas att det även framöver endast finns en begränsad mängd varor här.

Något som även bör nämnas är hur utrymningen från BR Leksaker fungerar för rullstolsburna. Hissarna vid rulltrapporna stängs av när larmet går i gångstråket. Då det tar ett tag för brandgasernas att transporteras dit kommer hissarna inte stängas av direkt. Det faktum att de stängs av gör ändå att de inte kan räknas som en godtagbar utrymningsväg. In till affärerna BR

Leksaker och Team Sportia finns det små trappor som båda är försedda med en ramp. Det är alltså möjligt för rullstolsburna att ta sig från BR Leksaker till Team Sportia för att använda utrymningsvägen där och vice versa. Samma sak gäller för barnvagnar. Sträckan mellan nödutgångarna är inte lång men vistas det mycket folk i lokalen kan det givetvis ta lite längre tid att korsa lokalerna. Det anses dock inte ekonomiskt försvarbart att införa en extra utrymningsväg.

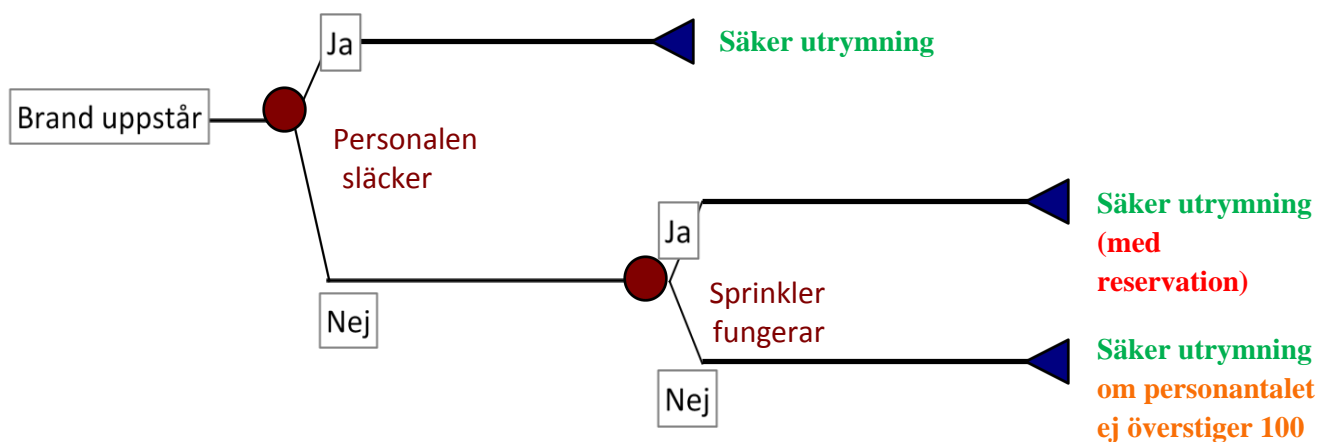
Om antalet personer i BR Leksakers och Team Sportias lokaler överstiger 100 personer tillsammans kan ej säker utrymning ske. Detta då utrymningstiden är lika lång som tiden det tar att uppnå kritiska förhållanden. Detta gäller utan sprinkleraktivering och med rulltrappan som enda utrymningsväg.



*Figur 7.9 Bild över skyltar som skymmer utrymningsdörren. Bilden är tagen från ingången till BR Leksaker.*

### **7.8 Slutsats angående utrymning från BR Leksaker**

Slutsatsen huruvida utrymning kan ske på ett tillfredsställande sätt ses i figur 7.10. Med sprinkleraktivering bör säker utrymning kunna ske men då förhållandena i rulltrappan inte har utretts på ett tillfredsställande sätt kan detta inte garanteras. Detta gäller även fallet då sprinkleraktivering inte sker. Utan sprinkleraktivering kan säker utrymning ej ske om personantalet överstiger 100 i BR Leksaker och Team Sportia.



Figur 7.10 Händelse-träd över resultat.



## 8 Observationer och brister på Jakobsberg Centrum

I gallerian finns manuell släckutrustning, så som brandposter och brandsläckare, utplacerade på lättillgängliga platser. Dock påträffades en del brister som till exempel en blockerad brandpost, se figur 8.1. I några butiker påträffades även halvt blockerade nödutgångar, exempelvis i form av klädhängare. Detta tyder på brister i det systematiska brandskyddsarbetet.



Figur 8.1 Blockerad brandpost på källarplan.

Under besöket gjordes stickprov i butikerna där frågor kring säkerheten vid brand ställdes. Personalen som tillfrågades på de olika butikerna vet utrymningsvägarnas och brandsläckarnas placering och att de ska hjälpa besökarna ut vid händelse av brand. I de flesta butiker är utrymningsskyltarna tydliga och genomlysta. Dock påträffades butiker med ett få antal skyltar, släckta skyltar eller sämre placering av skyltar. En släckt skylt kan vara svår att lägga märke till, se figur 8.2.



Figur 8.2 Bilden visar två utrymningsskyltar. En är släckt och en genomlyst.

Vid intervjun med personalen på de olika butikerna framgick det att respektive företag ansvarar för brandskyddsutbildning för sin egen personal. Butikerna ansvarar också själva för brandskyddet. Det visade sig att personalen inte visste att automatiskt utrymningslarm i köpcentrumet saknades. Under samtalen framgick också att ingen samordning mellan butikerna fanns. Enligt lagen om skydd mot olyckor ligger det yttersta ansvaret på butiksägaren (SFS 2003:778).

Brandgasspridningen anses främst ske via butikernas öppningar ut mot gångstråken och inte via ventilationen. Skulle det ske spridning någonstans via ventilationen så är det vid restaurang Pergola. Eftersom brandgasspridning sker lättast via tilluftsventilationen är det då denna som beaktas på restaurangen. I figur 8.3 syns ventilationssystemet i den del som påverkas vid en eventuell brand. Restaurang Pergola är det utrymnet på plan 3 som är markerat som restaurang. Om en brand sprids via tilluftssystemet kommer endast restaurangen under att påverkas. Efter brandgaserna passerat detta utrymme kommer de till ventilationsaggregatet. Eftersom denna är utrustat med brandspjäll ska detta stänga då brand detekteras och motverka vidare spridning. Under dagtid är restaurangen under Pergola öppen mot gångstråket och en brandgasspridning via ventilationssystemet är av mindre vikt. Under kvällstid är restaurangen däremot stängd, men eftersom det inte vistas några människor där då så är det inte intressant ur utrymningssynpunkt.



Figur 8.3 Översikt över ventilationen på delen som påverkas vid brand i restaurangen på Pergola. Röd ring är Pergola.



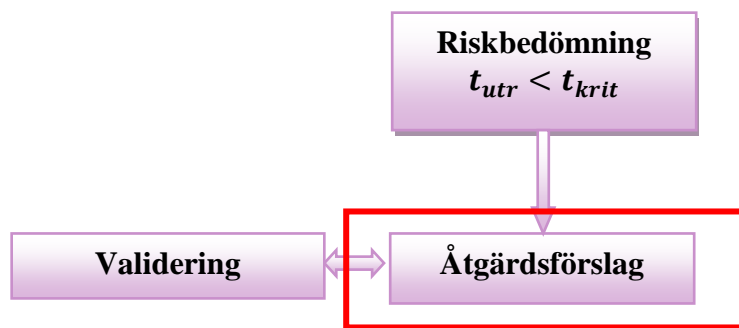
## **8.1 Sammanfattning av brister**

*Här redovisas de brister som påträffades under objektbesöket:*

- Avsaknad av automatiskt utrymningslarm.
- Inga detektorer i butikerna.
- Brist på kunskap om befintliga brandskyddet.
- Släckta utrymningsskyltar.
- Delvis blockerade utrymningsvägar.
- Dokumentationen av det systematiska brandskyddsarbetet är delvis bristfälligt.
- Blockerad brandpost.

## 9 Åtgärdsförslag

Det finns åtgärder som Jakobsbergs Centrum ska vidta för att öka säkerheten vid utrymning och åtgärder som bör göras för att öka säkerheten ytterligare. De förslag som presenteras i detta kapitel gäller för verksamheten i dagsläget och en ny riskvärdering bör göras om större förändringar sker gällande persontäthet eller andra verksamhetsförändringar. Aktuell del i arbetsprocessen ses i figur 9.1. Åtgärdsförslagen avser endast gallerian. Givetvis finns det risker i samband med brand i kontorsdelen, biblioteket och bostadsdelen. Detta beaktas ej i denna rapport men bör likafullt utvärderas.



Figur 9.1 Aktuell del i arbetsprocessen.

### 9.1 Branddetektion och automatiskt utrymningsmeddelande

I dagsläget finns det enbart branddetektion i gångstråken. En viktig åtgärd är således att installera detektorer i varje enskild butik. En brand i ett dolt utrymme kan pågå länge innan någon upptäcker den. Med branddetektion minskar tiden till upptäckt och personerna i gallerian blir varse snabbare. Om ett automatiskt utrymningsmeddelande kopplat till branddetektorer installeras i alla butiker kan utrymningsiden minskas avsevärt jämfört med i dagsläget, se kapitel 10. Osäkerheterna kring vad som sker reduceras därmed och utrymningsprocessen kan påbörjas snabbare. I dagsläget uppmanas kunderna att utrymma av väktare med manuell megafon. Detta system är inte fullt pålitligt på grund av den mänskliga faktorn samt för att tidsfördröjningen mellan branddetektion och utrymningsmeddelande kan bli väldigt stor och är därtill svår att uppskatta. Vid ett snabbt brandförlopp kan denna tidsfördröjning betyda att en säker utrymning ej kan genomföras.

Sprinklersystemet är centralt för att en säker utrymning ska kunna ske men dessa kan felfunkera. Branddetektion och utrymningsmeddelande är då av yttersta vikt för att göra utrymningen

säkrare. Att införa detektorer medför också en trygghet för butiksägaren med avseende på de materiella skador som kan undvikas med en snabbare detektion. När sprinklersystemet aktiveras är den materiella skadan redan skedd.

En anledning till att det kan finnas en ovilja mot att installera branddetektorer kan vara den ökade risken för falsklarm. I dagsläget har gallerian få larm. Under åren 2009 och 2010 utlöstes totalt sex automatlarm på Jakobsbergs Centrum (Westning, 2011). Få falsklarm är något som eftersträvas eftersom det kan medföra onödig utrymning och därmed intäktsförluster för butiksinnehavarna. För att få en tillfredsställande detektion och samtidigt hålla nere antalet falsklarm kan utrymningsmeddelandet aktivera först när minst två detektorer har detekterat brand.

## 9.2 Utrymningsväg på Pergola

På restaurang Pergola finns en utgång som ej kan användas som nödutgång på grund av att den är låst med galler kvällstid. Personalen kan öppna grinden med ett knapptryck från bardisken. Dock är detta system inte optimalt då det kan vålla problem vid utrymningen eftersom gästerna ej kan öppna den själva i en nödsituation. För att lösa detta problem bör gallret helt tas bort. För att inte gästerna ska få tillgång till övriga delar av gallerian kan en skjutbar gallervägg installeras i gångstråket nedanför, se figur 9.3. På så sätt kan kunderna alltid utrymma via trappan och sedan ut i det fria utan att ha möjligheten att ta sig vidare in i shoppinggallerian. Därmed kan utrymningstiden minskas eftersom fler utgångar kan användas. Trappan är dessutom en tilltalande utrymningsväg eftersom den är bred och ljus samt placerad mitt i lokalen. Om det dock skulle uppstå problem med gäster som vandaliserar lokalerna nedanför Pergola kan ett nödvred med larm istället installeras på den befintliga gallergrinden i trappan för att undvika onödiga missöden.



Figur 9.2 Exempel på skjutbar gallergrind.

### **9.3 Automatiskt avstängning av rulltrappor**

En enkel och effektiv lösning för att påskynda utrymning skulle vara att stänga av rulltrapporna i gallerian då detektorerna aktiverar. Detta skulle förenkla och möjliggöra utrymning i båda trapporna. Om trapporna ej stängs av kan utrymningen endast ske i den trappan som leder mot gångstråket eftersom den andra går åt motsatt håll. En rulltrappa har dessutom höga trappsteg och är ganska smal vilket kan vålla ytterligare problem i samband med utrymning. Om båda trappor istället kan användas fördubblas utrymningsvägens bredd och eventuell köbildning reduceras. Därmed förbättras utrymningstiden. För att undvika falsklarm kan aktivering ske när minst två detektorer har detekterat brand. Åtgärden bedöms som kostnadseffektiv med avseende på de problem som annars kan uppstå vid händelse av brand.

### **9.4 Förbättra det systematiska brandskyddsarbetet**

Vid samtal med butiksinnehavarna framgick det att det systematiska brandskyddsarbetet delvis var bristfälligt. Personalens utbildning varierade kraftigt och ingen samordning mellan butikerna fanns. Vid besöket påträffades utrymningsvägar som delvis var blockerade av olika föremål. Även andra brister så som släckta utrymningsskyltar och en blockerad brandpost påträffades. Med ett fungerande systematiskt brandskyddsarbete kan sådana brister upptäckas och åtgärdas. Att kontinuerligt se till att alltid hålla utrymningsvägar fria är en väldigt enkel åtgärd som inte kostar så mycket. För att kontrollera att arbetet efterlevs kan säkerhetssamordnaren göra stickprov i butikerna. Kontinuerlig utbildning och regelbundna övningar för personalen krävs också för att få ett fungerande brandskydd.

Att sprinklersystemet fungerar är av största vikt för att säker utrymning ska kunna ske i gallerian. Det är därför viktigt att kontinuerligt kontrollera sprinklersystemets funktion och åtgärda eventuella brister omedelbart. På Hemköp lagrades till exempel varor alldeles för tätt in på sprinklerhuvudet, se figur 5.2. Detta är inte godtagbart. En linje som anger högsta lagringsnivå av varor bör målas på väggen en meter nedanför sprinklerhuvudena. Detta är ett enkelt sätt att säkerställa sprinklerhuvudets funktion.

### **9.5 Installera sprinkler med lägre RTI**

I dagsläget skiljer sig sprinklersystemet åt mellan butikerna. Under besöket påträffades sprinklerhuvuden med olika tjocklek och RTI [Respons Time Index] och även sprinkler med smältbläck påträffades. Med ett lägre RTI kan sprinklersystemet aktiveras i ett tidigare skede i brandförloppet och konsekvenserna av branden minskas. Då den åtgärd är kostsam så kan det vara ett långsiktigt mål för gallerian att byta ut alla sprinklerhuvuden.

### **9.6 Sammanfattning av åtgärdsförslag**

Åtgärdsförslagen delas in i kategorierna *ska* och *bör*.

#### **Åtgärder som ska genomföras:**

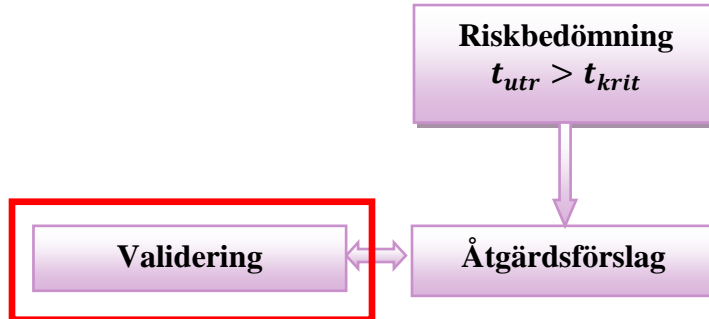
- Förbättra det systematiska brandskyddsarbetet.  
Med detta menas bättre kontroll och uppföljning av de befintliga brandskyddens funktion, till exempel att utrymningsskyltar syns tydligt, utrymningsvägar ej blockeras, sprinklersystemet/brandgasventilationen underhålls, ökat samarbete mellan butiksinnehavarna och mer brandskyddsutbildning för personalen.
- Införa branddetektion i alla butiker.
- Införa talat utrymningsmeddelande.

#### **Åtgärder som bör genomföras:**

- Stänga av rulltrapporna vid händelse av brand för att möjliggöra utrymning i båda trapporna.
- Se till att gallret i trappan vid restaurang Pergola kan öppnas av gästerna under kvällstid för att förenkla utrymning vid händelse av brand.
- Som ett långsiktigt mål installera sprinkler med lägre RTI.

## 10 Validering av åtgärdsförslag

I detta kapitel valideras föreslagna åtgärder med känslighetsanalyser och diskussioner. Se aktuell del i arbetsgången i figur 10.1.



Figur 10.1 Aktuell del i arbetsgången.

### 10.1 Branddetektion och automatiskt utrymningsmeddelande

Åtgärdsförslaget med branddetektion i alla butiker medför snabbare upptäckt av brand jämfört med dagens system. Det är svårt att uppskatta detektionstiden i dagsläget eftersom den kan variera kraftigt beroende på väktarnas placering i gallerian. Dock är den med stor sannolikhet mycket längre än om branddetektion hade använts. När en person upptäcker en brand uppstår det dessutom en tid då personen ska fatta ett beslut om hur han eller hon ska agera. Ett problem man förmodligen kan undvika med branddetektion och utrymningslarm.

I dagsläget får de patrullerande väktarna i gallerian ett larm på sina sökare om en detektor aktiverat. De ska då hämta megafoner och undersöka platsen för att bekräfta en brand. Sedan talar de manuellt i megafonerna och uppmanar kunderna att lämna byggnaden. Detta i sig leder till minskade antal falsklarm men nackdelen är att det kan uppstå en stor tidsfördröjning mellan brand och utrymningsmeddelandet. Ett automatiskt talat utrymningsmeddelande är en väldigt viktig åtgärd som medför att varseblivnings- och förberedelse tiden hos kunderna kan sänkas avsevärt. Jämfört med inget utrymningslarm kan tidsvinsten uppgå till omkring 2-3 minuter för ett varuhus (Frantzich, 2000). En känslighetsanalys gjordes i programmet Detact QS för att ta fram en tid innan utrymning kan tänkas påbörjas med denna åtgärd. Tiden till att två detektorer aktiverar undersöktes. Att två detektorer ska aktivera får representeras av ett horisontellt avstånd på 10 m mellan detektor och brandens centrum. Tiden för denna simulering uppgick till omkring 47 sekunder (effektkurvan för BR användes), se tabell 10.1. Således kan den sammanlagda

varseblivnings- och förberedelsetiden uppskattas till omkring 1 minut eftersom kunderna antas lyssna klart på hela meddelandet innan de påbörjar utrymning. Jämfört med i dagsläget där samma tid skattades till mellan 1 min och 30 sekunder respektive 3 min för de olika scenarierna kan tidsvinsten uppgå till omkring 0,5 – 2 minuter.

Tabell 10.1 Aktiveringstid för 2 detektorer

Faktor	Värde
Takhöjd ovanför bränslet [m]	4
Horisontellt avstånd från brand till sprinkler [m]	10
Initial rumstemperatur [°C]	20
Aktiveringstemperatur [°C]	30
RTI [ $\sqrt{m * s}$ ]	0,5
Resultat	
Tid till aktivering [s]	47

## 10.2 Utrymningsväg på Pergola

Om en skjutbar gallervägg i gallerians stråk installeras kan trappan vid Pergola alltid hållas öppen. Genom att möjliggöra utrymning via trapporna kan utrymningstiden minskas. I dagsläget kan personalen visserligen öppna grinden i trappan med en knapp bakom disken. Men detta arrangemang medför att trappan ej kan klassas som en utrymningsväg. Nedan verifieras åtgärdsförslaget med ytterligare utrymningssimuleringar i Simulex med samma antal gäster som tidigare men även med större antal för att se skillnaderna i tid med en respektive två utrymningsvägar. För känslighetsanalysen, se tabell 10.2 nedan. Likt tidigare antas kunderna ej använda utgången via köket då denna är mindre tilltalande och något skynd. Att införa denna åtgärd skulle medföra extra kostnader för gallerian men åtgärden får anses försvarbar utifrån den markanta minskningen av utrymningstiden som ges. Kombinerat detta med ett talat meddelande kan utrymningstiden sänkas ytterligare. Dessutom är trappan en utrymningsväg som befinner sig mitt i lokalen och är tilltalande och rymlig.

Tabell 10.2 Tabellen illustrerar tidsvinsten med ytterligare en utrymningsväg

	<b>40 Kunder</b>	<b>60 Kunder</b>	<b>90 kunder</b>	<b>150 kunder</b>
<b>1 Utrymningsväg</b>	3 min och 50 s	4 min	4 min 20 s	5 min 20 s
<b>2 Utrymningsvägar</b>	3 min och 20 s	3 min och 40 s	3 min 40 s	4 min 10 s
<b>Tidsvinst</b>	30 s	20 s	40 s	1 min 10 s

### 10.3 Automatiskt avstängning av rulltrappor

Genom att koppla rulltrapporna till detektorer kan en automatisk avstängning fås vid till exempel detektion av minst två deckare. Denna enkla åtgärd medför relativt små kostnader med tanke på den tidsvinst som kan fås. I dagsläget fortsätter trapporna att rulla vid händelse av brand. Detta medför således problem i samband med utrymning då alla kunder måste utrymma via en trappa, den som leder ut ur brandrummet. Dessa rulltrappor är dessutom ganska smala och har höga trappsteg vilket kan resultera i köbildning och fall. Om trapporna stannar kan båda trapporna användas som nödutgång. Tidsvinsten för 500 personer att utrymma blir 50 s – 1 min 30 s beroende på vilken varseblivningstid man använder, se tabell 10.3.

Tabell 10.3. Utrymningstid beroende på personantal och antal tillgängliga trappor

	<b>80 personer, 90 s varseblivningstid</b>	<b>500 personer, 90 s varseblivningstid</b>	<b>500 personer, 40-60 s varseblivningstid</b>
<b>En trappa</b>	2 min 50 s	5 min 30 s	4 min
<b>Två trappor</b>	2 min 20 s	4 min	3 min 10 s
<b>Tidsvinst</b>	30 s	1 min 30 s	50 s





## 11 Diskussion

Utrymningssäkerheten vid händelse av brand i Jakobsbergs Centrum anses vara bristfälligt. En del åtgärder ska vidtas för att underlätta och därmed säkra utrymningsprocessen. Att införa branddetektion samt automatiskt talat utrymningsmeddelande i samtliga butiker är en åtgärd som ska genomföras. I dagsläget kan det gå lång tid innan det manuella utrymningsmeddelandet genomförs och tiden är även svår att uppskatta eftersom den beror av den mänskliga faktorn. Dessa två åtgärder medför en betydande minskning av utrymningstiden och dessutom en vinst för butiksägarna i form av tidig detektion och således lägre materiella skadekostnader.

Genom validering av åtgärdsförslagen kan det bekräftas att utrymningstiden kan sänkas avsevärt om branddetektion och utrymningsmeddelande införs. Detta är något som kan göras för att ytterligare öka personsäkerheten vid händelse av brand. Det finns en mängd olika faktorer som påverkar resultatet. Från simuleringarna bedöms persontätheten vara en faktor som kommer att påverka om en acceptabel utrymning kan genomföras eller ej. Ska verksamheten i framtiden förändras och persontätheten antas bli högre bör brandskyddet ses över. En annan faktor är antalet tillgängliga nödutgångar. Generellt fanns det gott om detta, dock är det lite bristfälligt i exempelvis fallet med Pergola. Med fler utvägar minskas risken för köbildning och utrymningen kan ske snabbare.

I många av de befintliga analyserade scenarierna beror en säker utrymning på om det befintliga sprinklersystemet aktiverar eller ej. Därmed är det av stor vikt att detta system fungerar korrekt och underhålls kontinuerligt. Detta arbete är en del i det systematiska brandskyddsarbetet som gallerian bör bli bättre på. Den enkla åtgärden att måla ett rött streck som representerar maxnivå för lagringshöjden av varor är ett exempel på en enkel åtgärd som garanterar sprinklerhuvudets verkningsyta.

Vid simuleringarna och beräkningarna har gångstråken ansetts som en säker plats på grund av den höga takhöjden, de många utrymningsvägarna därifrån samt att det finns brandgasventilation och sprinkler. Detta bör dock utredas vidare eftersom det kommer ske rökspridning till stråken på grund av övertrycket i butikerna. Med mer avancerade datorprogram, exempelvis CFD, skulle detta kunna kontrolleras. En sådan här utvärdering skulle troligen ytterligare påvisa vikten av ett

utrymningslarm/talat meddelande då man kan ta hänsyn till utrymningen i hela centrumet. Det är givet att de som är långt borta ifrån branden kommer bli informerade tidigare med ett larm och kan då snabbare påbörja utrymningen med minskad köbildning som resultat.

De framtagna brandscenarierna baseras delvis på statistik men även på egna uppskattningar och således subjektiva bedömningar. Därför kan det finnas scenarier med högre sannolikhet och konsekvens som inte har identifierats.

Vid datorsimuleringar i CFAST och vid handberäkningar antas konservativa värden.

Handberäkningarna är mer konservativa då lokalen antas vara helt sluten jämfört med CFAST då brandgaserna kan transporteras ut ur brandrummet. Detta leder till en överskattning av tiden till kritiska förhållanden uppstår.

Förutom programmets respektive begränsningar görs även antaganden, till exempel den valda brandens förlopp, effektutvecklingen och brandens geometri. Vid simuleringarna i Simulex antas personernas varseblivnings- och förberedelsetider. Även fördelningen av människor och hur de är placerade i rummet. Allt detta kan givetvis variera men för att hantera dessa osäkerheter har konservativa men ändå rimliga antaganden försökts göras. Vidare har känslighetsanalyser gjorts på olika parametrar för att i bästa mån väga in de osäkerheter som finns.

## **12 Slutsats**

Slutsatsen är att förhållandena vid utrymningen i Jakobsbergs Centrum anses vara bristfälliga i dagsläget och det finns åtgärder som ska genomföras. Övriga åtgärdsförslag är enbart för att öka säkerheten ytterligare och är således inga krav.

### **Åtgärder som ska genomföras:**

- Förbättra det systematiska brandskyddsarbetet.  
Med detta menas bättre kontroll och uppföljning av de befintliga brandskyddens funktion, till exempel att utrymningsskyltar syns tydligt, utrymningsvägar ej blockeras, sprinklersystemet/brandgasventilationen underhålls, ökat samarbete mellan butiksinnehavarna och mer brandskyddsutbildning för personalen.
- Införa branddetektion i alla butiker.
- Införa talat utrymningsmeddelande.

### **Åtgärder som bör genomföras:**

- Stänga av rulltrapporna vid händelse av brand för att möjliggöra utrymning i båda trapporna.
- Se till att gallret i trappan vid restaurang Pergola kan öppnas av gästerna under kvällstid för att förenkla utrymning vid händelse av brand.
- Som ett långsiktigt mål installera sprinkler med lägre RTI.



### 13 Litteraturförteckning

- Arvidson, M. (2005). Potatischips och ostbågar brinner effektivt. *Brandposten nr 32*, ss. 10-11.
- Bengtson, S., Blomqvist, J., Danielsson, T., Delin, M., Fagergren, T., Frantzich, H., o.a. (2005). *Brandskyddshandboken. Rapport 3134*. Lund: Lunds tekniska högskola.
- Bennetts, I. D., Poh, K. W., Poon, S. L., Thomas, I. R., Lee, A. C., Timms, G. R., o.a. (1997). *Fire safety in shopping centres*. Victoria: The broken hill proprietary company limited.
- Björnfot, J. (2008). *Skydd mot brandspridning mellan småhus*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket. (2008). *Regelsamling för byggande, BBR 2008*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket. (2006). *Utrymningsdimensionering*. Karlskrona: Boverket.
- Bwalya, A., Zalok, E., & Hadjisophocleous, G. (2007). *Design Fires for Commercial Premises - Results of Phase 2*. Ottawa: National Research Council Canada.
- Davidsson, G. (2003). *Handbok för riskanalys*. Karlstad: Räddningsverket.
- DiNunno, P. J., Drysdale, D., Beyler, C. L., Walton, W., Custer, R. L., Hall, J. R., o.a. (2002). *SFPE Handbook of fire Protection Engineering*. Quincy: National Fire Protection Association.
- Drysdale, D. (2000). *An Introduction to Fire Dynamics Second Edition*. West Sussex: John Wiley & Sons.
- Fischer, S., Forsén, R., Hertzberg, O., Jacobsson, A., Koch, B., Runn, P., o.a. (1998). *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor*. Umeå: Försvarets forskningsanstalt.
- Frantzich, H. (1998). *Användarmanual Simulex version 1.2*. Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Frantzich, H. (2000). *Tid för utrymning vid brand*. Karlstad: Räddningsverket.
- Hansson, K. (2007). *Utvärdering av metoder för val av dimensionerande brandscenario. Rapport 5220*. Lund: Lunds tekniska högskola.
- Hjort, B. (2007). *Sprinklerhandboken*. Stockholm: Brandskyddsföreningens Service AB.
- Jakobsbergs Centrum*. (u.d.). Hämtat från Fakta om Jakobsbergs Centrum:  
<http://www.jakobsbergscentrum.se/frameset.html?adv=284&xnkate=32&showStart=on> den 14 April 2011
- Jakobsbergs Centrum*. (2011). *Karta: Jacobsbergs Centrum*. Hämtat från Jakobsbergs Centrum:  
<http://www.jakobsbergscentrum.se/frameset.html?adv=284&xnkate=32&showStart=on> den 28 Mars 2011

- Johansson, H. (1999). *Osäkerheter i variabler vid riskanalyser och brandteknisk dimensionering. Rapport 3105*. Lund: Lunds tekniska högskola.
- Kaplan, S. (1997). *The word of risk analysis*. London: Society of risk analysis.
- Karlsson, B., & Quintiere, J. G. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. London: CRC Press.
- National Institute of Standards and Technology. (den 22 Augusti 2006). *Fire Modeling Programs*. Hämtat från NIST: <http://www.bfrl.nist.gov/866/fmabbs.html#DETAQTS> den 5 Maj 2011
- Nilsson, D., & Holmstedt, G. (2008). *Kompendium i Aktiva system - Detektion*. Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Nystedt, F. (2010). *Verifying design alternatives in buildings with fire sprinkler system*. Lund: Lunds Universitet.
- Peacock, R. D., Jones, W. W., Reneke, P. A., & Forney, G. P. (2009). *CFAST - Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (version 6)*. Washington: National Institute of Standards and Technology.
- SFS 2003:778. *Lagen om skydd mot olyckor*. Stockholm: Justitiedepartementet.
- SRVFS 2004:3. *Statens Räddningsverks författningssamling*. Karlstad: Statens Räddningsverk.
- Staffansson, L. (2010). *Selecting design fires. Rapport 7032*. Lund: Lunds tekniska högskola.
- Särdqvist, S. (2006). *Vatten och andra släckmedel*. Karlstad: Räddningsverket.
- Westning, R. (den 13 April 2011). *Processledare Brandkåren Attunda*. (K. Mattsson, Intervjuare)

## Bilaga A Teori

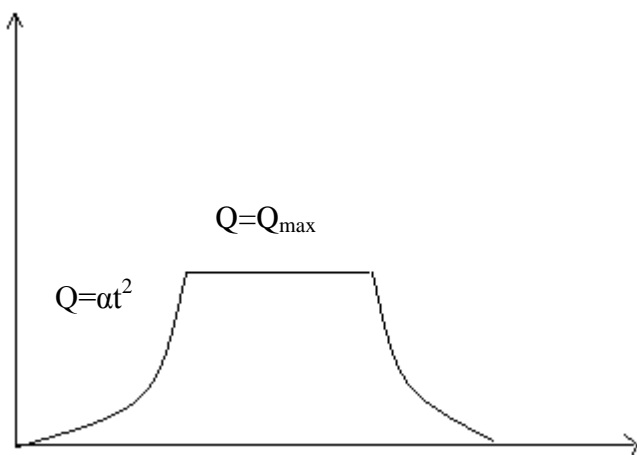
Nedan presenteras bakomliggande brandteori.

### Brandteori

När ett material brinner avger det en mängd energi och enheten för detta brukar anges i kJ/s. Denna effektutveckling ändras med tiden varvid en effektutvecklingskurva används för att illustrera förloppet. Det finns olika sätt att ta fram en sådan kurva. Mängden och typen av brännbart material är viktigt att veta men ingenjörsmässiga antaganden och statistik kan även behövas.

### Brandförlopp

En effektutvecklingskurva brukar delas in i tre delar, tillväxtfasen, den stationära fasen och avsvalningsfasen, se figur A.1.



Figur A.1. Effektutvecklingskurva med en tillväxtfas enligt  $at^2$  principen

En brand accelererar nästan alltid i ett tidigt skede. Ett bra sätt att beskriva detta är med den så kallade  $at^2$ -kurvan. Självklart är det en tid innan tillväxtfasen där antändning sker, men den tas inte hänsyn till här. Brandens effektutveckling under tillväxtfasen beskrivs alltså med:

$$\dot{Q} = at^2 \quad (\text{Staffansson, 2010})$$



Efter den konstanta fasen kommer avsvalningsfasen. Denna fas är svår att avgöra utseendet på och man kan med fördel använda sig av experiment med material som liknar bränslet. Det är rimligt att anta att branden svalnar av fortare i början av avsvalningsfasen för att sedan plana ut. Avsvalningsfasen kan alltså även beskrivas med en exponentiell kurva fast denna gång en avtagande sådan:

$$\dot{Q}(t) = \alpha_{decay}(t_{decay} - t)^2 \quad (\text{Staffansson, 2010})$$

där avsvalningshastigheten beskrivs genom:

$$\alpha = \frac{\dot{Q}_{peak}}{(t_{decay} - t_{max})^2} \quad (\text{Staffansson, 2010})$$

### Strålningsberäkningar

I denna rapport presenteras två olika tillvägagångssätt för att beräkna infallande strålningsintensitet mot ett föremål. Antingen genom att brandkällan approximeras som en punkt och strålar mot en yta eller att brandkällan ses som en yta och strålar mot en punkt. Beräkningar för punkt till punkt:

$$q_r'' = \frac{\chi_r * \dot{Q}}{4 * \pi * R^2} \quad (\text{Staffansson, 2010})$$

Eftersom denna beräkning utgår från att strålningskällan är en punkt i mitten av flamhöjden lämpar denna sig bäst i det tidiga brandförloppet eller om brandkällan är långt bort då man kan se denna som just en punktkälla (Karlsson & Quintiere, 2000). Beräkningar görs därför även då strålningen kommer från en rektangulär flamma. Infallande strålning beräknas enligt:

$$\dot{q}'' = \epsilon \Phi \sigma T^4 \quad (\text{Drysedale, 2000})$$

Objektet som tar emot den infallande strålningen antas i denna rapport befinna sig mitt framför flamman vid alla tidpunkter. Detta innebär att flamman delas in i fyra lika stora delar, se figur A.3. Detta är en förenkling av verkligheten då objektets placering gentemot flamman ändras i takt med att flamman växer. Det är dock ett konservativt antagande då strålningsintensiteten är som störst när objektet befinner sig mitt framför flamman. För att beräkna infallande

strålningensintensitet mot objektet måste flammans dimensioner räknas fram vid valda tidsintervall. Flamhöjden beräknas enligt:

$$L = 0,235Q^{\frac{2}{5}} - 1,02D \quad (\text{Drysdale, 2000})$$

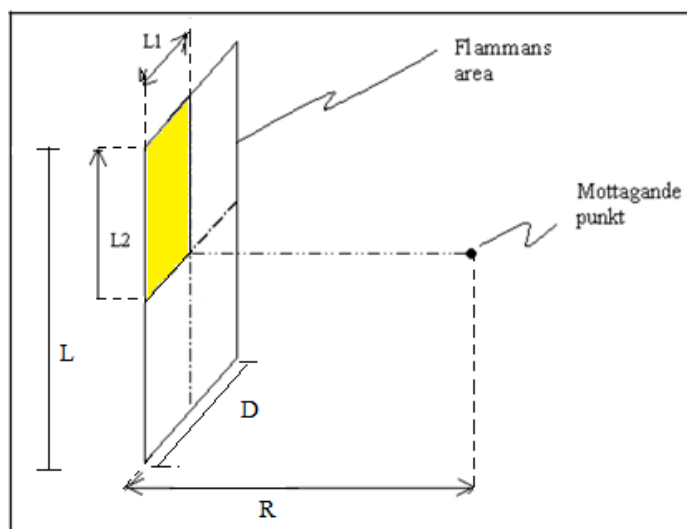
Notera att flamhöjden inte kan bli högre än takhöjden. Med hjälp av flammans höjd och bredd vid given tidpunkt kan synfaktorns variation med tiden tas fram med hjälp av figur A.2. Notera att detta är synfaktor för en fjärdedel av flammans och för att få total synfaktor måste en multiplikation med fyra ske.

Figur A.2 Tabell över synfaktor (Drysdale, 2000).

Table 2.7 Values of  $\phi(\alpha, S)$  for various values of  $\alpha$  and  $S^*$

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

\*  $S = L_1/L_2$  and  $\alpha = (L_1 \times L_2)/D^2$  (see Figure 2.21). From McGuire (1953). Reproduced by permission of The Controller, HMSO. © Crown copyright.



Figur A.3. Bildbeskrivning över variabler vid beräkning av synfaktorn.

I mitten av flammen kan temperaturen variera mellan 973-1473 K beroende på bränslet. Ju sotigare flammen brinner desto lägre blir flamtemperaturen. Detta beror på att det blir en ofullständig förbränning och att det avges mer värme från flammen via strålningen från sotpartiklarna (Bengtson, o.a., 2005). De bränder som behandlas i denna rapport anses avge mycket sot och således väljs inte de högsta flamtemperaturerna. För att beräkna infallande strålning ansätts två olika temperaturer (1073 K och 1173 K) för att påvisa känsligheten då denna varierar med en faktor fyra. Infallande strålning beräknas enligt:

$$\dot{q}'' = \epsilon \Phi \sigma T^4$$

Emissiviteten är ett mått på strålningskällans effektivitet och varierar mellan 0-1. Detta mått beror på flammans sotinnehåll och dimensioner. En förenkling görs dock och emissiviteten sätts till 1. Detta ger även konservativa beräkningar.

### Spridning via strålning

För att kunna avgöra när spridning via strålning sker måste man veta vilken infallande strålningsintensitet som krävs för att antända ett material. För att avgöra detta kommer en jämförelse ske med värdena i tabell A.1.

Tabell A.1. Några centrala värden för kritisk strålningsintensitet (Bengtson, o.a., 2005).

Kritisk infallande strålning [kW/m <sup>2</sup> ]	
Cirka 13	Antändning av trä och bomull efter långvarig exponering med pilotlåga.
Cirka 25	Spontan antändning av bomullstygn och trä vid långvarig exponering.
Cirka 42	Spontan antändning av bomullstygn efter 5 sekunder

### Siktberäkningar

För att beräkna de kritiska förhållandena med avseende på sikten beräknas först den massa som krävs för att detta ska uppnås

$$D_0 = \frac{D_{10}}{L} * \frac{V}{m} \quad (\text{Drysdale, 2000})$$

$\frac{D_{10}}{L}$  = Optisk densitet/meter [db/m eller obscura]

$$m = \frac{D_{10}}{L} * \frac{V}{D_0}$$

Eftersom det är i brandrummet siktförsämringen avser krävs en siktbarhet på minst 5 meter till skillnad från utrymningsvägar där kravet är 10 meter (Bengtson, o.a., 2005). Detta motsvarar en optisk densitet/meter på 2 obscura. Efter att den massa som måste förbrännas har räknats fram beräknas den tid det tar tills detta har inträffat.

$$\dot{Q} = \dot{m} * \Delta H_c * \chi$$

Då effektutvecklingen approximeras med en  $\alpha t^2$ -kurva kan ekvationen skrivas om:

$$\alpha t^2 = \dot{m} * \Delta H_c * \chi$$

Ekvationen integreras sedan med avseende på tiden för att få fram massan:

$$m = \int_0^t \frac{\alpha t^2}{\Delta H_c * \chi} dt = \left[ \frac{\alpha t^3}{3 * \Delta H_c * \chi} \right]_0^t = \frac{\alpha t^3}{3 * \Delta H_c * \chi}$$

Den enda variabel som nu är okänd är tiden som löses ut enligt följande:

$$t = \sqrt[3]{\frac{m * 3 * \Delta H_c * \chi}{\alpha}}$$

Om tiden tills denna massa har förbränts ligger efter tillväxtfasen måste ytterligare integrering göras på den konstanta fasen.

Beräkningsgången bygger på att brandgaserna blir väl omblandade (Drysdale, 2000). Det måste därför beaktas i de olika scenarierna om ett tydligt brandgaslager bildas.

Tabell A.2. Förbränningsentalpi (DiNenno, o.a., 2002) och rökpotential (Drysdale, 2000) för några relevanta material. Förbränningsentalpin är angiven som ett nettovärde och förbränningseffektiviteten är således inräknad.

Material	$\Delta H_{c,net}$ [kJ/kg]	$D_0$ [ob*m <sup>3</sup> /g]
Polyester	20300 – 28500	
Cellulosa	16120	
Mjuk PUR-plast		0,96
$\alpha$ -cellulosa		0,22
Fast PVC-plast		1,7

### Toxicitet

I fallet med toxicitet är det viktigt att bedöma ifall det anses bildas ett brandgaslager eller inte. Då ett brandgaslager bildas kommer de toxiska gaserna mestadels ligga i detta och beräkningar för denna höjd kan användas. Om det däremot inte anses att ett lager bildas kan det vara nödvändigt att göra ytterligare handberäkningar. Med hjälp av yielder för diverse material kan det beräknas hur mycket som bildas av ett givet ämne när ett visst material brinner.

Det är framförallt kolmonoxid- och koldioxid halten som beaktas gällande toxiska ämnen. I SFPE-handboken finns yielder för en mängd olika material med avseende på just dessa gaser, se tabell A.3 (DiNenno, o.a., 2002).

Det som eftersöks i beräkningarna gällande toxicitet är hur mycket material som måste förbrännas för att kritiska förhållanden ska uppstå i den aktuella volymen. För att komma fram till detta beräknas först hur stor volym av det toxiska ämnet som krävs för att dessa förhållanden ska uppnås:

$$V_{tox} = X * V_{tot}$$

Med allmänna gaslagen räknas det sedan ut hur många mol denna volym motsvarar:

$$n = \frac{pV}{R_*T}$$

$$m = n * M$$

Slutligen beräknas hur stor massa som måste förbrännas för att den beräknade massan av det toxiska ämnet ska bildas:

$$m_i = \frac{m}{y_i}$$

Tabell A.3 Värden på yield som används för beräkningar på toxicitet (DiNenno, o.a., 2002).

Material	$y_{CO_2}$ [g/g]	$y_{CO}$ [g/g]
Rödek	1,27	0,004
Douglasgran	1,31	0,004
Tall	1,33	0,005

### Beräkningar av brandgaslagrets höjd

När brandgaslagrets höjd tas fram via handberäkningar används modeller för transient rökfylld av Yamana-Tanaka:

$$t = \left[ \left( z^{-\frac{2}{3}} - \frac{1}{H^{\frac{2}{3}}} \right) * \frac{S*(n+3)}{2k\alpha^{1/3}} \right]^{\frac{1}{1+\frac{n}{3}}} \quad (\text{Quintiere \& Karlsson, 2000})$$

där k med en omgivande lufttemperatur på 293 K är

$$k = \frac{0,076432}{\rho_g}$$

Eftersom brandgasernas temperatur är okänd är även brandgasernas densitet det. Därför måste densiteten gissas fram. Den gissade densiteten kontrolleras sedan med den adiabatiska överskattade temperaturen (se formel nedan).

$$\rho_g = \rho_a \left( 1 - \frac{\alpha t^{n+1}}{Sc_p 353(n+1)(H-z)} \right)$$

Brandgasernas densitet itereras fram tills den gissade densiteten är densamma som formeln ovan ger. Modellens begränsningar är att en konstant densitet antas under rökfyllnaden. Detta innebär att den främst är lämplig för låga effektutvecklingar eller stora lokaler. All energi som frigörs förutsätts gå åt till att värma upp brandgaserna. Den tar ej heller hänsyn till tryckupbyggnad och lämpar sig således i stora volymer eller då läckage förekommer.

### Beräkningar kring brandgasernas temperatur

För att beräkna brandgasernas temperatur används en metod som McCaffrey, Quintiere och Harkleroad utvecklat, kallad MQH-metoden.

$$T_g = 6,85 \left( \frac{\dot{Q}^2}{A_v \sqrt{h_v h_k A_T}} \right)^{1/3} + T_a \quad (\text{Karlsson \& Quintiere, 2000})$$

Tiden tills värmeledningen genom väggen kan ses som konstant kallas penetrationstiden.

$$t_p = \frac{\delta^2}{4\varphi}$$

Där det effektiva värmeövergångstalet beräknas enligt:

$$h_k = \sqrt{\frac{k\rho c}{t}} \quad \text{om } < t_p$$

$$h_k = \sqrt{\frac{k}{\delta}} \quad \text{om } > t_p$$

Metoden tar hänsyn till värme som produceras, värme som förloras till omslutande ytor och värme som förloras genom att brandgaser strömmar ut genom öppningar. Metoden gäller upp till gastemperaturer på 600°C, det vill säga innan övertändning sker.

### CFAST

CFAST, Consolidated Fire and Smoke Transports Model, är ett simuleringsprogram som används för att simulera brandförlopp. CFAST använder sig av en så kallad tvåzonsmodell och är framförallt användbar vid beräkningar av brandgasspridning mellan rum eller när handberäkningar blir för komplexa (Peacock, Jones, Reneke, & Forney, 2009). I en tvåzonsmodell delas brandrummet upp i två skilda zoner. Den övre volymen beskriver själva brandgaslagret och den nedre ett rent rumsluftslager som är opåverkat förutom själva brandplymen. Inom respektive volym antas temperaturen vara homogen och ingen omblandning mellan zonerna antas ske (Quintiere & Karlsson, 2000).

Tvåzonsmodellen bygger på ett antal kontinuitetsekvationer för bevarande av massa och energi för båda zonerna för varje tidssteg i brandförloppet. Plymberäkningar i programmet görs med

McCaffreys plymmodell och syrehalten antas dessutom vara konstant i hela rummet. För att modellen ska vara giltig och ge ett godtagbart resultat bör de geometriska förhållandena enligt tabell A.4 uppfyllas (Peacock, Jones, Reneke, & Forney, 2009). Vid andra geometrier kan modifieringar behöva göras eller så kan helt enkelt ett byte till en annan modell krävas.

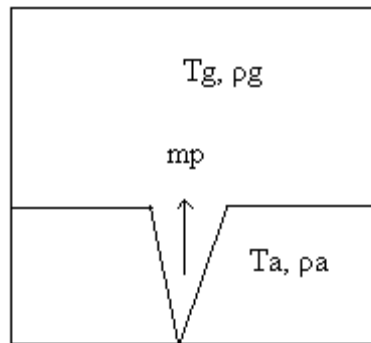
Tabell A.4 Tabellen beskriver de kriterier som bör uppfyllas med avseende på rummets geometri samt maxeffekt för att modellen ska vara giltig.

Förhållande	Acceptabelt	Speciell hänsyn	Annan modell bör användas
L/B (Längd/Bredd)	< 3	3-5	>5
L/H (Längd/Höjd)	<3	3-6	>6
B/H (Bredd/Höjd)	>0,4	0,2-0,4	<2
$Q > 5 \cdot L \cdot B\sqrt{H}$			

### Antaganden och begränsningar

CFAST kan bara användas för rektangulära rum och programmet bör endast användas i den tidiga delen av brandförloppet då tvåzonsmodellen inte kan beskriva förhållandena efter övertändning. Programmet tar dessutom ej hänsyn till värmestrålning mellan rum. Andra antaganden för tvåzonsmodellen är att en zon är homogen och förbränning i den övre zonen är inte tillåtet. Igen omblandning mellan zonerna sker men volymen i respektive zon är väl omblandade, se figur A.4. Plymen transporteras direkt till taket, dvs. transporttiden försummas. Detta kan bli problem vid små bränder då branden inte genererar tillräckligt med energi för att skapa ett tvåzonsskikt. Trycket i rummet antas vara uniform under brandförloppet. Brandkällan antas vara en punktkälla och detta kan således vara ett problem vid stora bränder i små lokaler. Dessutom tas ingen hänsyn till bränslets geometri (Quintiere & Karlsson, 2000).





Figur A.4. Bilden visar principen för tvåzonsmodellen med det övre brandgaslagret och den nedre opåverkade zonen.

## Simulex

Simulex är ett program som används för att simulera och beräkna utrymningstider. Programmet visar utrymningsprocessen grafiskt i tre dimensioner utifrån inlagda CAD- ritningar över aktuellt objekt. Användaren definierar själv utgångarnas storlek och placering samt även människors antal, karaktärsdrag och placering. När programmet körs rör sig personerna mot utgångarna. Personerna går mot den närmaste utgången om användaren inte definierat annat. Personernas hastigheter är beroende på karaktärsdrag och avstånd till framförvarande person. Vid simuleringen erhålls flöden vid dörrar motsvarande 1.1 till 1.4 personer per meter och sekund. Dessa värden gäller normalt för vuxna personer under vanliga förhållanden. Slutligen, när alla personer är ute, visas den totala förflyttningstiden (Frantzich, 1998).

## Begränsningar

Personer kan fastna i en förbindelse mellan en länk och en trappa eller i smala öppningar, vilket påverkar resultatet negativt. En annan begränsning med Simulex är att programmet inte tar hänsyn till exempelvis trösklar och hur människor psykiskt och fysiskt påverkar varandra. Detta är givetvis svårt att förespa och kan påverka resultaten mycket. Hörn är ett annat problem vid simuleringen. Personerna rundar inte hörnen som i verkligheten eftersom de hela tiden tar närmsta vägen och en typ av köbildning kan uppstå (Frantzich, 1998).

## Grundinställningar i Simulex

Vid alla simuleringar används ritningar över objektet från programmet CAD. Personer har fördelats slumpmässigt i lokalen och en fördelning mellan könen antas utifrån butikens specifika

verksamhet. Varseblivnings- och förberedelsetiden har uppskattats utifrån respektive objekt, brandens egenskaper och placering i lokalen. Personerna har sedan tilldelats olika tider i ett intervall beroende på avstånd från branden. Standardavvikelsen väljs i en slumpmässig variation i detta intervall. Personerna i programmet har definierats som anställda, män, kvinnor, barn och gamla.

### **Detact QS**

DETECT QS (DETECTOR ACTuation - Quasi Steady) är ett program som används för att beräkna aktiveringstid för sprinklersystem och värmedetektorer för en definierad brand. Ett antagande som görs att detektorn är placerad på ett horisontellt tak där det inte finns några hinder som förhindrar gasströmningen (National Institute of Standards and Technology, 2006)

## Bilaga B Effektutveckling för brandscenarier

Hur snabbt en brand växer är en central del i brandförloppet. I figur B.1 redovisas olika tillväxthastigheter.

**TABLE 3.5**  
**Values of  $\alpha$  for Different Growth Rates**  
**According to NFPA 204M**

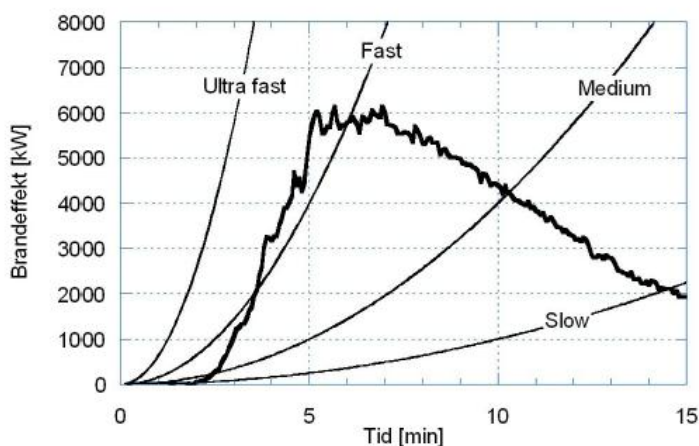
Growth Rate	$\alpha$ (kW/s <sup>2</sup> )	Time (s) to reach 1055 kW
ultra fast	0.19	75
fast	0.047	150
medium	0.012	300
slow	0.003	600

Source: NFPA, *Guide for Smoke and Heat Venting*, NFPA 204M, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1985.

Figur B.1 Tillväxthastighet (Quintiere & Karlsson, 2000).

### Hemköp

För att ta reda på brandens totala effekt antas först en effektutveckling då en chipshylla brinner. Brandens tillväxthastighet beräknas med hjälp av SP:s försök med brand i chipshylla, se figur B2. I detta försök uppnåddes maxeffekten 6 MW efter 300 s.



Figur B.2 Uppmätt brandeffekt jämfört med kurvor där effekten antas växa kvadratisk med tiden (Arvidson, 2005).

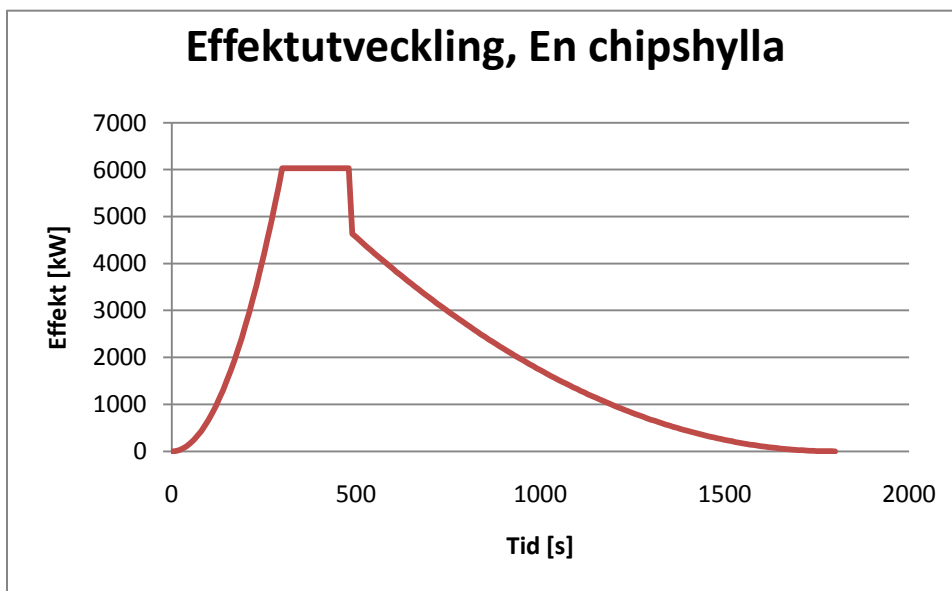
$$\alpha = \frac{\dot{Q}}{t^2} = \frac{6000}{300^2} = 0,067 \text{ kW/s}^2$$

En tillväxthastighet på  $0,067 \text{ kW/s}^2$  ligger i mellan ”fast” och ”ultrafast” (se figur B.1), vilket verkar rimligt med tanke på materialet, uppställning och plats för antändning.

I SP:s försök började avsvalningsfasen efter cirka 180 s och hyllan brann fortfarande efter 40 minuter. Information om huruvida det handlade om lite glödande eller en mindre brasa uppges inte, men antagandet görs att branden i stor grad hade brunnit ut vid det laget. Denna information anses inte heller som den mest relevanta då början på brandförloppet är det mest centrala när hänsyn tas till utrymning. Därför antas branden i chipshyllan slockna efter 30 minuter.

Avsvalningshastigheten fås då av:

$$\alpha = \frac{\dot{Q}_{peak}}{(t_{decay} - t_{max})^2} = \frac{6000}{(1800 - 300)^2} = 0,0027 \text{ kW/m}^2 \quad (\text{Staffansson, 2010})$$



Figur B.3 Effektutveckling för brand i chipshylla.

För att ta reda på om branden sprider sig via strålning beräknas den infallande strålningen till närmaste brännbara objekt, som uppskattas befinna sig 1,2 meter från branden. Spridning antas ske när den infallande strålningen överstiger  $13 \text{ kW/m}^2$ . Detta är då strålningsintensiteten är tillräckligt hög för att kunna ”antända trä och bomull efter långvarig exponering med pilotlåga”, se tabell A.1. Eftersom materialet utsätts för strålning även innan intensiteten uppnått  $13 \text{ kW/m}^2$  anses detta rimligt. Beräkningar för den infallande strålningen görs dels för då brandkällan ses

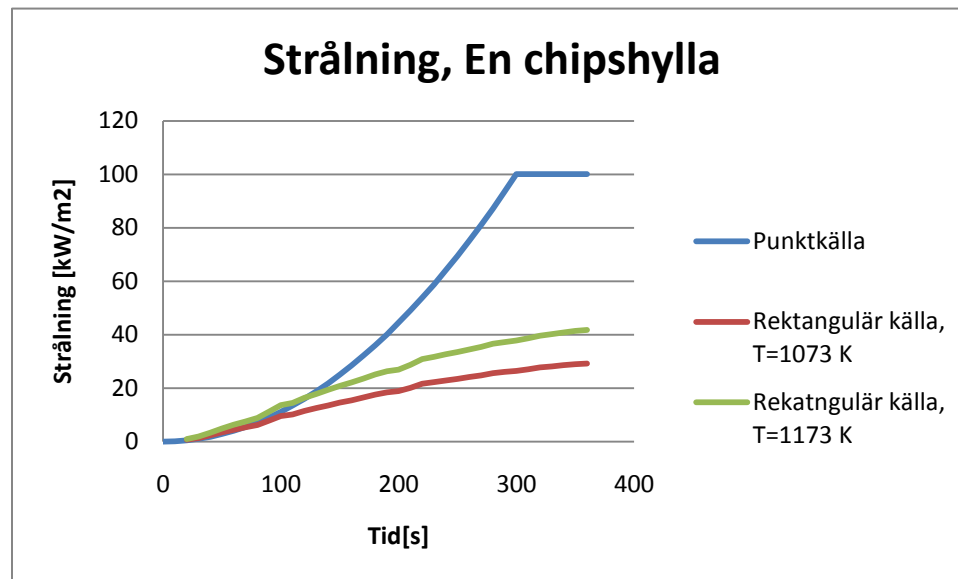
som en punkt och strålar mot en punkt och dels där brandkällan ses som en rektangel och strålar mot en punkt. För den sistnämnda görs två beräkningar där flamtemperaturen antas vara 1073 K respektive 1173 K (Björnfot, 2008). Beräkningar för punkt till punkt:

$$q_r'' = \frac{\chi_r \cdot \dot{Q}}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \quad (\text{Drysdale, 2000})$$

Beräkningar rektangel till punkt:

$$\dot{q}'' = \varepsilon \Phi \sigma T^4 \quad (\text{Drysdale, 2000})$$

Flamhöjden kan max bli så hög som takhöjden, det vill säga 4 m och branden antas spridas i sidled med hastigheten 3,5 mm/s (Drysdale, 2000). Den infallande strålningen för de olika beräkningarna återges i figur B.4.

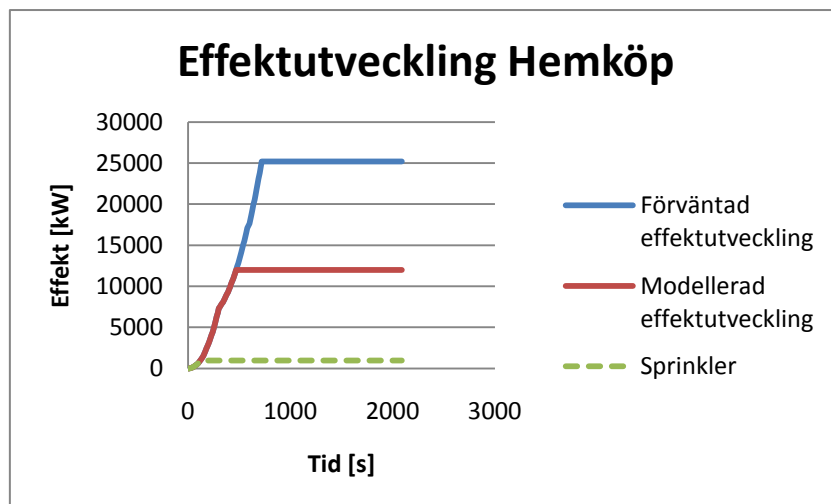


Figur B.4 Infallande strålning på objekt beläget 1,2 meter från branden.

Spridning via strålning antas ske när den infallande strålningen är ca 13 kW/m<sup>2</sup>. Detta är då trä och bomull antänder efter en längre tids exponering med pilotlåga (Bengtson, o.a., 2005). Detta sker efter cirka 2 min. Då har strålningen uppgått till 16, 11 och 16 kW/m<sup>2</sup> för strålning för punktkälla samt rektangulär brandkälla då flamtemperaturen är 1073 K respektive 1173 K. Detta får representera en ungefärlig strålning på 13 kW/m<sup>2</sup>. Denna tid ligger i samma storleksordning

som vid SP:s försök där spridning förmodades ske efter 3-3,5 minuter och värdet anses därmed rimligt. En förenkling görs och branden som uppstår på grund av spridning via strålning antas vara identisk med branden i chipshyllan. Detta på grund av att varor kan flyttas om i affären och därför är det svårt att bedöma vad branden kommer sprida sig till. Branden i chipshyllan har en snabb tillväxthastighet och en hög maximal effektutveckling och det anses därför konservativt att anta att nästa brand utvecklas på samma sätt.

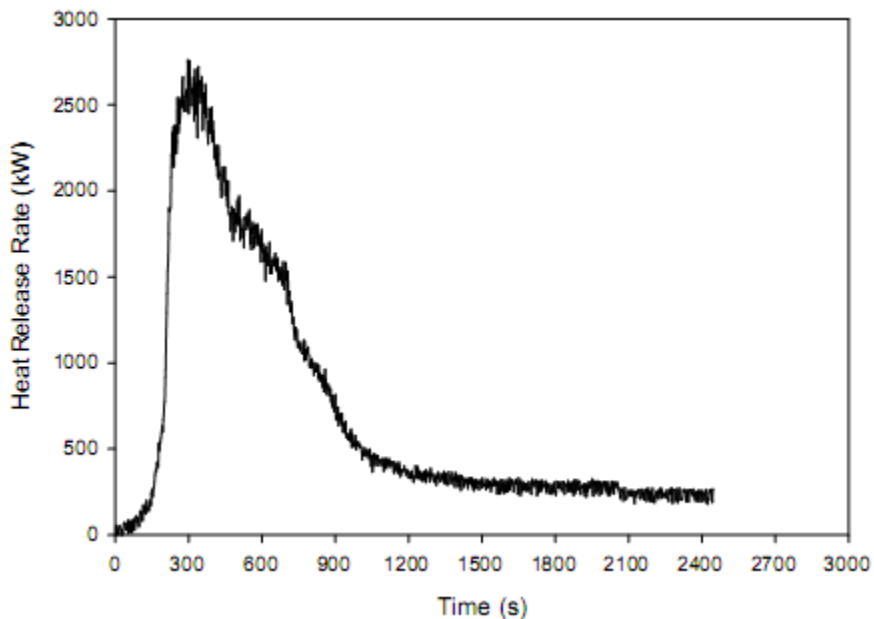
Branden kommer sedan sprida sig snabbt. Antagandet att branden fortsätter att sprida sig med samma tillväxthastighet och att maximalt 4 chipshyllor brinner på maximal effekt samtidigt görs. Detta innebär en total maximal effektutveckling på 25 MW. Detta beräknas ske efter cirka 12 min. Detta baseras på att spridning först skedde när den ursprungliga branden nått cirka 1 MW. Förutsatt att avstånden är desamma bör vidare spridning alltså ske innan ”den andra chipshyllan” uppnått 1 MW, eftersom totaleffekten ökar. Det ska också beaktas att detta är med avseende på spridning via strålning. Då även spridning via direktkontakt kommer ske är det rimligt att anta en något kortare tid. Branden antas bli konstant efter att maximal effektutveckling uppnåtts. Det är dock orimligt att modellera för en sådan hög effektutveckling och därför antas den modellerade branden ha en maxeffekt på 12 MW och denna uppnås efter 7,8 min. Detta ger en ungefärlig tillväxthastighet på  $0,054 \text{ kW/s}^2$ . Med superpositionsmetoden tas effektkurvan fram, se figur B.5.



Figur B.5 Effektutveckling i Hemköp med chipshylla som brandkälla.

## Restaurang Pergola

Försöket utgår från ett experiment av Bwalya, Zalok och Hadjisophocleous (2007), se figur B.6.



Figur B.6 Uppmätt brandeffekt i försök med brand i köksmiljö (Bwalya, Zalok, & Hadjisophocleous, 2007).

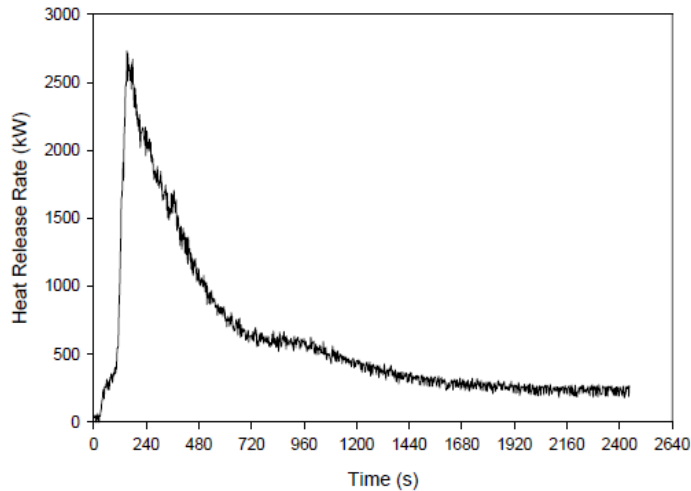
Tillväxthastigheten beräknas enligt:

$$\alpha = \frac{Q}{t^2} = \frac{2760}{296^2} = 0,032 \text{ kW/s}^2$$

Tillväxtfasen pågår i 5 min och antas sedan vara konstant. Den maximala effektutvecklingen är ca 2,9MW.

## BR Leksaker

För att kunna uppskatta en effektutveckling används data från ett experiment (Bwalya, Zalok, & Hadjisophocleous, 2007) där man anlade en brand i kläder. I deras försök uppnåddes en maximal effektutveckling på 2700 kW efter 2,5 min, se figur B.7.



Figur B.7 Effektutveckling för brand i två klädställ (Bwalya, Zalok, & Hadjisophocleous, 2007).

Detta ger följande  $\alpha$ -värde:

$$\alpha = \frac{Q}{t^2} = \frac{2700}{150^2} = 0,12 \text{ kW/s}^2$$

Detta ger alltså ett  $\alpha$ -värde som ligger mellan fast och ultra-fast, se figur B.1 Eftersom det fanns mycket brännbart i affären måste beräkningar på spridning till närliggande föremål utföras.

Beräkningar görs dels för då brandkällan ses som en punkt och strålar mot en punkt och dels där brandkällan ses som en rektangel och strålar mot en punkt. För den sistnämnda görs två beräkningar där flamtemperaturen antas vara 1073 K respektive 1173 K (Björnfot, 2008).

Emissiviteten antas vara 1. Beräkningar för punkt till punkt:

$$q_r'' = \frac{\chi_r * \dot{Q}}{4 * \pi * R^2} \quad (\text{Drysdale, 2000})$$

Beräkningar rektangel till punkt:

$$\dot{q}'' = \varepsilon \Phi \sigma T^4 \quad (\text{Drysdale, 2000})$$

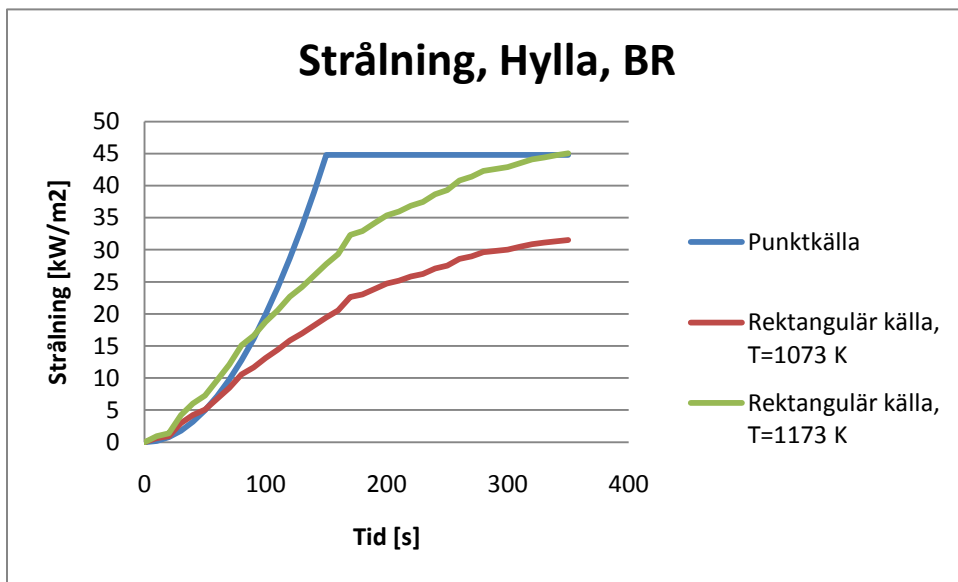
Flamhöjden kan max bli så hög som takhöjden, det vill säga 4 meter. För att räkna ut bredden på flammen har värden från Drysdale (2000) använts där det har tagits fram flamspridningshastigheter över ett filterpapper. Vid horisontell spridning fick han fram en



hastighet på 3,5 mm/s. Flamman antas då starta i botten av hyllan och bredden ökar med 3,5 mm/s åt varje håll. Den verkliga horisontella spridningen är svår att avgöra. Den kommer troligen inte vara konstant under brandförloppet utan kommer att öka i takt med att branden tillväxer. Filter kan dock anses brinna relativt fort och detta värde används för att få en grov uppskattning om hur flammans bas varierar med tiden.

$$D = 2 \cdot 0,0035t$$

Den infallande strålningen för de olika beräkningarna återges i figur B.8.



Figur B.8. Infallande strålning mot närliggande objekt på BR leksaker.

Branden antas spridas då den infallande strålningen blir 13 kW/m<sup>2</sup>. Enligt tabell A.1 gäller detta dock för ” Antändning av trä och bomull efter långvarig exponering med pilotlåga” men detta värde används ändå då hyllan även kommer att motta en strålningsdos i uppvärmningsfasen.

Enligt detta tillvägagångssätt antas att branden sprids till de tre närmaste hyllorna efter 1,3 min. Dessa tre hyllor antas ha identiskt brandförlopp som den första hyllan. Detta innebär att 3 x 0,12 x t<sup>2</sup> kommer att adderas på den redan brinnande hyllan. Efter 3,2 min antas den första hyllan börja avsvälva, *se fig. B.7*.

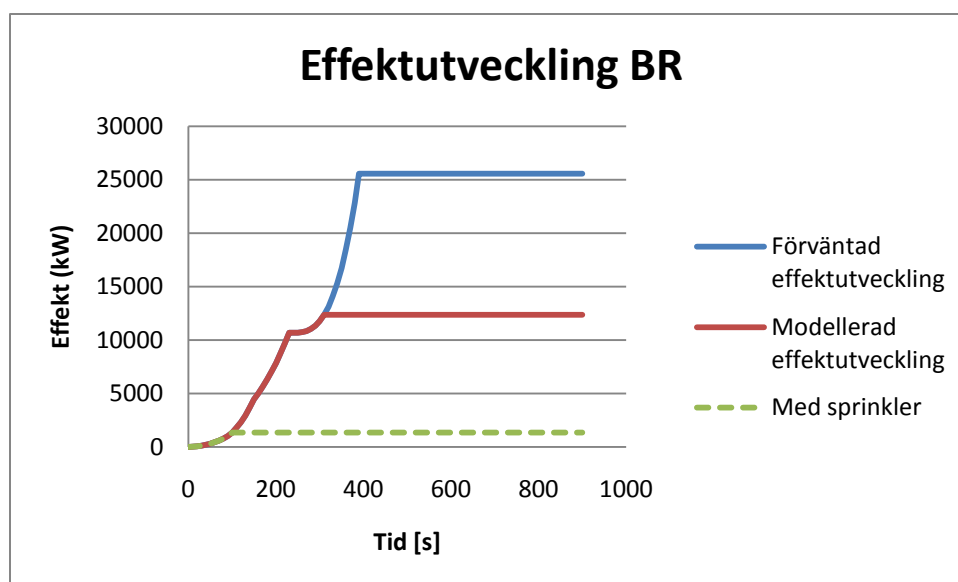
Avsvälningen beräknas enligt:

$$\dot{Q}(t) = \alpha_{decay}(t_{decay}-t)^2$$

Där  $\alpha_{decay}$  beräknas enligt:

$$\alpha_{decay} = \frac{\dot{Q}_{peak}}{(t_{decay} - t_{max})^2} = \frac{2700}{(1800 - 190)^2} = 0,00104$$

Efter att de två hyllorna som har antänts av strålningen har nått sin maxeffekt antas vidare effektutveckling därefter ske enligt en  $\alpha t^2$ -kurva med ett ungefärligt  $\alpha$ -värde på 0,128 kW/s<sup>2</sup>.



Figur B.9. Effektutveckling vid brand i leksaker på BR Leksaker.

## Bilaga C Handberäkningar kritiska förhållanden

### Hemköp

#### Brandgaslagrets höjd:

Yamana-Tanakas modell för transient rökfyllnad (Karlsson & Quintiere, 2000).

Tillväxthastigheten uppskattas från den modellerade effektutvecklingen i figur B.9.

$$\alpha = \frac{\dot{Q}_{max}}{t^2} = \frac{11993}{470^2} = 0,054$$

$$z = 1,6 + 0,1H = 1,6 + 0,1 \cdot 4 = 2 \text{ m}$$

$$S = 1000 \text{ m}^2$$

Efter iterering visar det sig att ett bra gissat värde på brandgasernas densitet är  $0,64 \text{ kg/m}^3$ .

$$t = \left[ \left( z^{-\frac{2}{3}} - \frac{1}{H^{\frac{2}{3}}} \right) * \frac{S * (n + 3)}{2k\alpha^{1/3}} \right]^{1 + \frac{n}{3}} = \left[ \left( 2^{-\frac{2}{3}} - \frac{1}{4^{\frac{2}{3}}} \right) * \frac{1000 * (2 + 3)}{2 \left( \frac{0,076432}{0,6} \right) 0,04^{1/3}} \right]^{1 + \frac{2}{3}} = 293 \text{ s}$$

Kontroll av den gissade densiteten:

$$\rho_g = \rho_a \left( 1 - \frac{\alpha t^{n+1}}{Sc_p 353(n+1)(H-z)} \right) \rho_g = 1,2 \left( 1 - \frac{0,04 \cdot 299^{2+1}}{1000 \cdot 1 \cdot 353(2+1)(4-2)} \right) \\ = 0,63 \text{ kg/m}^3$$

### Sikt

Då cellulosalikt material anses vara det huvudsakliga materialet i chipsbranden används  $D_0$  för  $\alpha$ -cellulosa. Eftersom även en del plast finns tillgängligt justeras detta värde upp till  $0,30 \text{ ob} \cdot \text{m}^3/\text{g}$ .

Se tabell A.2 för värden.

$$D_0 = \frac{D_{10}}{L} * \frac{V}{m} \Rightarrow m = \frac{D_{10}}{L} * \frac{V}{D_0} = 2 * \frac{4000}{0,30} = 26700 \text{ g} = 26,7 \text{ kg}$$

$\Delta H_c$  nedan utgår även detta utifrån cellulosa. Se tabell A.2 för värden.

$$t = \sqrt[3]{\frac{m * 3 * \Delta H_c * \chi}{\alpha}} = \sqrt[3]{\frac{26,7 * 3 * 16100}{0,054}} = 290 \text{ s} = 4,8 \text{ min}$$

### Toxicitet

Först görs beräkningar med avseende på CO<sub>2</sub>:

$$V_{CO_2} = X * V = 0,05 * 4000 = 200 \text{ m}^3$$

$$n_{CO_2} = \frac{pV_{CO_2}}{R * T} = \frac{101300 * 200}{8,31 * 293} = 8320 \text{ mol}$$

Anledningen till att T sätts till 293 K är att volymen är så pass stor och de toxiska gaserna anses därför ha ungefär normal rumstemperatur. Värdet på  $y_{CO_2}$  tas från tabell A.3 i bilaga A. Träet anses likna chips då både mestadels består av cellulosa. Värdet 1,33 har valts eftersom det resulterar i att minst chips behöver förbrännas för att uppnå kritisk toxicitet.

$$m_{CO_2} = n_{CO_2} * M_{CO_2} = 8320 * 44 = 366120 \text{ g}$$

$$m_{chips} = \frac{m_{CO_2}}{y_{CO_2}} = \frac{366120}{1,33} = 275278 \text{ kg} = 275 \text{ kg}$$

Således krävs alltså att 275 kg chips förbränns för att kritiska förhållanden ska uppstå med avseende på koldioxidhalten.

Enligt samma beräkningsgång görs beräkningar med avseende på CO:

$$V_{CO} = X * V = 0,002 * 4000 = 8 \text{ m}^3$$

$$n_{CO} = \frac{pV_{CO}}{R * T} = \frac{101300 * 8}{8,31 * 293} = 333 \text{ mol}$$

$$m_{CO} = n_{CO} * M_{CO} = 333 * 28 = 9324 \text{ g}$$

$$m_{chips} = \frac{m_{CO}}{y_{CO}} = \frac{9324}{0,005} = 1864800 \text{ g} = 1865 \text{ kg}$$

För att den kritiska kolmonoxidhalten inte ska överstigas ska alltså inte mer än 1865 kg chips förbrännas.

**Tid tills 275 kg har förbränts beräknas enligt:**

$$Q = m \cdot \Delta H_c$$

Om det antas att det är trä som brinner ges en förbränningsentalpi på 16100 kJ/kg (DiNenno, o.a., 2002). För att se hur mycket energi som har förbrukats då 275 kg har brunnit görs beräkningen nedan.

$$Q = 275 \cdot 16,1 \cdot 10^3 \text{ kJ} = 4427500 \text{ kJ}$$

Denna energimängd jämförs med arean under kurvan för den modellerade brandens effektutveckling. Brandens tillväxtfas pågår i 6 min och 12 s. Arealen under grafen fram till den tidpunkten ges av:

$$\int_0^{470} 0,054 \cdot t^2 = 1868814 \text{ kJ}$$

Det har alltså förbrukats 1868814 kJ under tillväxtfasen. Den energi som återstår att förbrukas under brandens konstanta effektutveckling på 12000 kW för att 275 kg ska ha förbränts beräknas enligt:

$$4427500 \text{ kJ} - 1868814 \text{ kJ} = 2558686 \text{ kJ}$$

Tiden tills 2558686 kJ har förbränts under den konstanta fasen beräknas enligt:

$$\frac{2558686 \text{ kJ}}{12000 \text{ kW}} = 213 \text{ s}$$

Total tid = 470 s + 213 s = 683 s = 11 min

### **Strålning från brandgaslagret**

Tiden tills den temperatur som ger en strålning på 2,5 kW/m<sup>2</sup> beräknas.

$$\dot{q}'' = \varepsilon \Phi \sigma T^4 \rightarrow T = \left( \frac{\dot{q}''}{\varepsilon \Phi \sigma} \right)^{1/4}$$

För konservativa beräkningar antas synfaktorn och emissiviteten vara 1.

$$T = \left( \frac{\dot{q}''}{\varepsilon\Phi\sigma} \right)^{1/4} = \left( \frac{2500}{1 \cdot 1 \cdot 5,7 \cdot 10^{-8}} \right)^{1/4} = 457 \text{ K}$$

För att ta reda på tiden till 457 K uppnås används MQH-metoden. Väggen antas bestå av 0,2 meter tjocka betongväggar.

Detta ger:

$$\varphi = 5,7 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \quad (\text{Quintiere \& Karlsson, 2000})$$

$$t_p = \frac{\delta^2}{4\varphi} = \frac{0,2^2}{4 \cdot 5,7 \cdot 10^{-7}} = 17540 \text{ s} = 4,9\text{h}$$

Då tiden till brandgaserna når temperaturen 457 K troligtvis är mindre än penetrationstiden, det vill säga  $t < t_p$ , ger:

$$h_k = \sqrt{\frac{k\rho c}{t}}$$

En konstant effekt på 12000 kW antas. Detta är mycket konservativt då detta är den modellerande brandens maximala effekt.

$$\dot{Q} = 12000 \text{ kW}$$

$$k\rho c = 2 \cdot 10^6 \text{ W}^2\text{s}/\text{m}^4\text{K}^2 \quad (\text{Quintiere \& Karlsson, 2000})$$

$$A_T = 2470 \text{ m}^2$$

$$A_V = 75 \text{ m}^2$$

$$h_v = 3 \text{ m}$$

$$T_g = 6,85 \left( \frac{\dot{Q}^2}{A_v \sqrt{h_v} h_k A_T} \right)^{1/3} + T_a = 6,85 \left( \frac{12000^2}{75 \sqrt{3} \sqrt{\frac{2 \cdot 10^6}{t}} 2470} \right)^{1/3} + 293$$

Efter iterering visar det sig att 457 K uppnås efter 31 min och 42 s.

Då denna tid är mindre än penetrationstiden, vilket var ett antagande som gjordes, är beräkningarna giltiga.

## Restaurang Pergola

### Strålning mot nödutgång

Avståndet mellan bardisken och nödutgången uppskattas till 3 meter. Nödutgången antas befinna sig mitt framför flamman vid alla tidpunkter.

För att beräkna infallande strålningsintensitet mot objektet måste flammans dimensioner räknas fram vid valda tidsintervall. Flamhöjden beräknas enligt:

$$L = 0,235Q^{\frac{2}{5}} - 1,02D \quad (\text{Drysdale, 2000})$$

Där effekten läses av i den uppskattade effektkurvan för branden, se figur 6.3 under kapitel 6.

Notera att flamhöjden inte kan bli högre än takhöjden 3,5 meter. Flammans diameter beräknas via antagandet att brandens horisontella spridning har hastigheten 3,5 mm/s åt båda hållen, vilket är likvärdigt med en spridningen i ett filter (Drysdale, 2000). Detta antagande görs då den verkliga horisontella spridningen är svår att avgöra eftersom den antagligen kommer öka i takt med att branden växer.

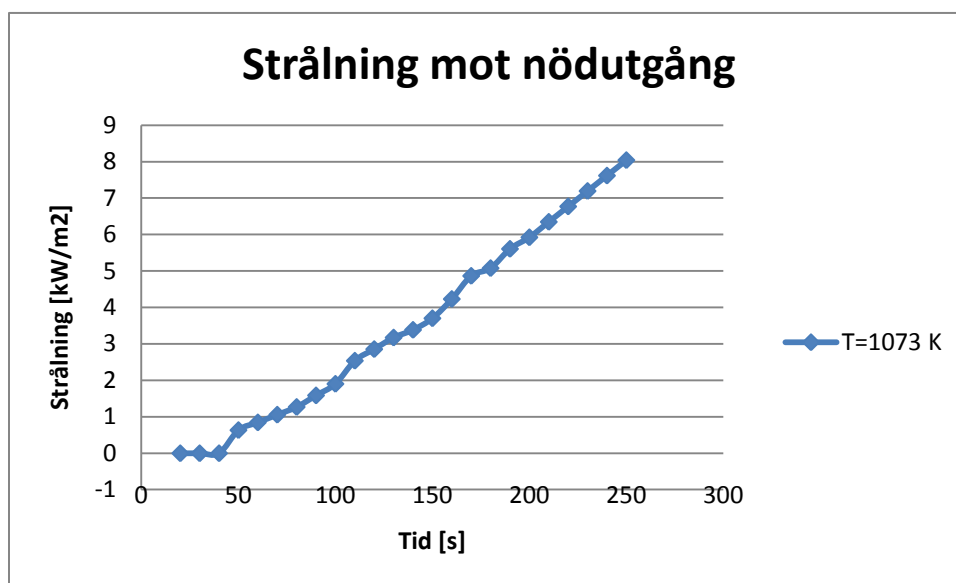
$$D = 2 \cdot 0,0035t$$

Med hjälp av flammans höjd och bredd vid given tidpunkt kan hur synfaktorn varierar med tiden tas fram med hjälp av figur A.2. Notera att detta är synfaktorn för en fjärdedel av flamman, se figur A.3, och för att få total synfaktor måste en multiplikation med fyra ske.

Infallande strålning beräknas enligt:

$$\dot{q}'' = \varepsilon \Phi \sigma T^4$$

Emissiviteten antas vara 1 för konservativa beräkningar och beräkningar görs för flamtemperaturen 1073 K. Beräkningarna görs för var tionde sekund. Beräkningarna visar att det tar 1,8 min att uppnå en strålning på 2,5 kW/m<sup>2</sup>, se figur C.1.



Figur C.1 Infallande strålning mot nödutgång om branden är belägen i baren.

## BR Leksaker

### Brandgaslagrets höjd:

Yamana Tanakas modell för transient rökfylnad (Karlsson & Quintiere, 2000) används för beräkning av brandgaslagrets höjd. Tillväxthastigheten uppskattas från den modellerade effektutvecklingen i figur 7.7.

$$\alpha = \frac{\dot{Q}_{max}}{t^2} = \frac{12345,5}{310^2} = 0,128$$

$$z = \text{kritisk höjd} = 1,6 + 0,1H = 1,6 + 0,1 \cdot 4 = 2 \text{ m}$$

$$S = \text{golvarean} = 400 \text{ m}^2$$

Efter iterering visar det sig att ett bra gissat värde på brandgasernas densitet är 0,65 kg/m<sup>3</sup>.



$$t = \left[ \left( z^{-\frac{2}{3}} - \frac{1}{H^{\frac{2}{3}}} \right) * \frac{S * (n + 3)}{2k\alpha^{1/3}} \right]^{\frac{1}{1+\frac{n}{3}}} = \left[ \left( 2^{-\frac{2}{3}} - \frac{1}{4^{\frac{2}{3}}} \right) * \frac{400 * (2 + 3)}{2 \left( \frac{0,076432}{0,65} \right) 0,128^{1/3}} \right]^{\frac{1}{1+\frac{2}{3}}} = 2 \text{ min och } 24 \text{ s}$$

Kontroll av den gissade densiteten:

$$\rho_g = \rho_a \left( 1 - \frac{\alpha t^{n+1}}{S c_p 353(n + 1)(H - z)} \right) \rho_g = 1,2 \left( 1 - \frac{0,128 \cdot 143,5^{2+1}}{400 \cdot 1 \cdot 353(2 + 1)(4 - 2)} \right) = 0,66 \text{ kg/m}^3$$

### Strålning från brandgaslager

För att beräkna när strålningen från brandgaslagret uppnår den kritiska nivån 2,5 kW/m<sup>2</sup> beräknas först vilken temperatur som krävs. Vid vilken tidpunkt denna temperatur inträffar beräknas MQH-metoden.

$$\dot{q}'' = \varepsilon \Phi \sigma T^4 \rightarrow T = \left( \frac{\dot{q}''}{\varepsilon \Phi \sigma} \right)^{1/4}$$

För konservativa beräkningar antas synfaktorn och emissiviteten vara 1.

$$T = \left( \frac{\dot{q}''}{\varepsilon \Phi \sigma} \right)^{1/4} = \left( \frac{2500}{1 \cdot 1 \cdot 5,7 \cdot 10^{-8}} \right)^{1/4} = 457 \text{ K}$$

Väggen antas bestå av 0,2 meter tjocka betongväggar. Detta ger

$$\varphi = 5,7 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \quad (\text{Quintiere \& Karlsson, 2000})$$

$$t_p = \frac{\delta^2}{4\varphi} = \frac{0,2^2}{4 \cdot 5,7 \cdot 10^{-7}} = 17540 \text{ s} = 5 \text{ h}$$

Vi vill veta tiden tills brandgaserna når temperaturen 457 K. Detta kan förväntas ske inom 5 timmar vilket troligen innebär att  $t < t_p$  vilket ger:

$$h_k = \sqrt{\frac{k\rho c}{t}}$$

En konstant effekt på 6 MW antas. Detta då medelvärde på den modellerande brandens effekt de första 5 minuterna är 4,1 MW och de första 10 minuterna är 8 MW. Eftersom utrymning bör ha skett inom 5 minuter skulle det vara rimligt att ansätta den konstanta effekten till 4,1 MW, men för konservativa beräkningar ansätts den till 6 MW

$$\dot{Q} = 6000 \text{ kW}$$

$$k\rho c = 2 \cdot 10^6 \text{ W}^2\text{s/m}^4\text{K}^2 \quad (\text{Quintiere \& Karlsson, 2000})$$

$$A_T = 1310 \text{ m}^2$$

$$A_V = 13,5 \text{ m}^2$$

$$h_v = 3 \text{ m}$$

$$T_g = 6,85 \left( \frac{\dot{Q}^2}{A_v \sqrt{h_v} h_k A_T} \right)^{1/3} + T_a = 6,85 \left( \frac{6000^2}{13,5 \sqrt{3} \sqrt{\frac{2 \cdot 10^6}{t}} 1310} \right)^{1/3} + 293$$

Efter iterering visar det sig att 457 K uppnås efter 4 min 30 s. Då denna tid är mindre än penetrationstiden, vilket var ett antagande som gjordes, är beräkningarna giltiga.

## Handberäkningar med sprinkler

Nedan presenteras handberäkningar på kritiska förhållanden vid sprinkleraktivering.

### Hemköp

#### Sikt

$$D_0 = \frac{D_{10}}{L} * \frac{V}{m} \Rightarrow m = \frac{D_{10}}{L} * \frac{V}{D_0} = 2 * \frac{4000}{0,30} = 26700 \text{ g} = 26,7 \text{ kg}$$

Då sprinklern aktiveras på Hemköp räknas med att effektutvecklingen kommer bli konstant vid ett värde på 970 kW. Detta kommer ske efter 2 min 6 s. Eftersom detta ligger i tillväxtfasen beräknas först hur stor massa som förbränns i denna fas:

$$m = \frac{\alpha t^3}{3 * \Delta H_c * \chi} = \frac{0,054 * 125^3}{3 * 16100} = 2,18 \text{ kg}$$

Eftersom sammanlagt 26,7 kg måste förbrännas för att det ska bli kritiskt siktförhållande ska ytterligare  $26,7 - 2,18 = 24,52$  kg förbrännas. Detta kommer att ske då effekten blivit konstant och beräknas således enligt:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{\Delta H_c * \chi} = \frac{970}{16100} = 0,0602 \text{ kg/s}$$

$$t_{konstant} = \frac{m}{\dot{m}} = \frac{24,52}{0,0602} = 407 \text{ s} = 6 \text{ min } 48 \text{ s}$$

Om de båda tiderna för den tillväxtfasen och den konstanta fasen summeras fås:

$$t_{cr} = t_{tillväxt} + t_{konstant} = 125 + 407 = 532 \text{ s} = 8 \text{ min } 54 \text{ s}$$

**BR Leksaker****Sikt**

$$D_0 = \frac{D_{10}}{L} * \frac{V}{m} \Rightarrow m = \frac{D_{10}}{L} * \frac{V}{D_0} = 2 * \frac{1600}{1,2} = 2700 \text{ g} = 2,70 \text{ kg}$$

Då sprinklern kommer att aktivera efter 100 sekunder och då har uppnått en effektutveckling på 1344 kW används dessa värden.

$$m = \frac{\alpha t^3}{3 * \Delta H_c * \chi} = \frac{0,128 * 100^3}{3 * 25000} = 1,70 \text{ kg}$$

Alltså behöver ytterligare  $2,70 - 1,70 = 1 \text{ kg}$  förbrännas. Eftersom detta kommer att ske då effekten blivit konstant beräknas den enligt följande:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{\Delta H_c * \chi} = \frac{1344}{25000} = 0,05376 \text{ kg/s}$$

$$t_{konstant} = \frac{m}{\dot{m}} = \frac{1}{0,054} = 19 \text{ s}$$

Om tiden tills maxeffekt uppnåtts och tiden tills att den resterande massan brunnit upp summeras erhålls den slutgiltiga tiden då kritiska förhållanden har uppstått:

$$t_{cr} = t_{tillväxt} + t_{konstant} = 100 + 19 = 119 \text{ s}$$

## Bilaga D Känslighetsanalys handberäkningar

En känslighetsanalys för handberäkningarna görs genom att variabler byts ut, en i taget, för att se hur stor påverkan det har på tid till kritiska förhållanden. Endast resultaten redovisas. Se bilaga C för använda ekvationer.

### Hemköp

#### Brandgaslagrets höjd:

Den variabel som är möjlig att ändra med avseende på brandgaslagrets höjd är  $\alpha$ -värdet.

Använd indata:  $\alpha = 0,054 \text{ kW/s}^2$

Ny indata:  $\alpha = 0,10 \text{ kW/s}^2$

Det nya  $\alpha$ -värdet leder till att kritiska förhållanden uppstår efter 4 min 36 s i stället för 4 min 54 s. Resultatet har alltså inte ändrats särskilt mycket trots nästan en fördubbling av  $\alpha$ -värdet.

#### Sikt:

De variablerna som anses ha störst inverkan på sikten är  $D_0$  och  $\alpha$ -värdet. Eftersom Hemköp är en stor lokal ändras även  $\frac{D_{10}}{L}$  eftersom en längre siktsträcka kan behövas. Därför byts dessa ut för att se hur det påverkar resultatet.

Först byts  $D_0$ :

Använd indata:  $D_0 = 0,3 \text{ ob m}^3/\text{g}$

Ny indata:  $D_0 = 0,96 \text{ ob m}^3/\text{g}$  (Mjuk PUR-plast)

Denna ökning av  $D_0$  leder till att kritiska förhållanden uppstår efter 3 min 54 s istället för 4 min 48 s.

$\alpha$  – värdet:

Använd indata:  $\alpha = 0,054 \text{ kW/s}^2$

Ny indata:  $\alpha = 0,10 \text{ kW/s}^2$

Då  $\alpha$ -värdet byts ut minskar tiden till kritiska förhållanden till 4 min 12 s istället för 4 min 48 s.

Om  $\frac{D_{10}}{L}$  ändras från en siktbarhet på 5 m till 10 m leder det till följande förändringar:

Använd indata:  $\frac{D_{10}}{L} = 2 \text{ ob}$

Ny indata:  $\frac{D_{10}}{L} = 1 \text{ ob}$

Denna minskning av kravet på siktsträckan innebär att tiden till kritiska förhållanden minskar till 4 min 30 s istället för 4 min 48 s.

### **Toxicitet**

Gällande toxicitet görs en känslighetsanalys på mängden producerad  $\text{CO}_2$  och  $\text{CO}$ . Den avgörande variabeln med avseende på produktion av dessa gaser anses vara yelden för respektive gas.

Först ökas yelden för  $\text{CO}_2$ :

Använd indata:  $y_{\text{CO}_2} = 1,33 \text{ g/g}$

Ny indata:  $y_{\text{CO}_2} = 2,78 \text{ g/g}$  (Polyeten 2) (DiNenno, o.a., 2002)

En högre yield leder till att 130 kg måste förbrännas för att kritiska förhållanden ska uppstå. Detta sker efter 7 min 30 s istället för tidigare framräknade 10 min 48 s.

Yelden ökas även för produktionen av  $\text{CO}$ :

Använd indata:  $y_{\text{CO}} = 0,005 \text{ g/g}$

Ny indata:  $y_{\text{CO}} = 0,026 \text{ g/g}$  (Polyeten 2) (DiNenno, o.a., 2002)

360 kg måste förbrännas för att kritiska förhållanden ska uppstå med avseende på  $\text{CO}$ -produktionen. Det krävs alltså att mer material förbränns än för  $\text{CO}_2$ , varför det är ointressant att räkna ut tiden för detta.

### **Strålning från brandgaslager**

En känslighetsanalys på strålningen från brandgaslagret är inte intressant i fallet med Hemköp. Detta eftersom effektutvecklingen redan utgår från den maximalt möjliga utan att kritiska förhållanden uppstår.

### **BR leksaker**

#### **Brandgaslagrets höjd:**

Återigen byts  $\alpha$ -värdet ut för att se vilken skillnad det gör på tiden till kritiska förhållanden.

Använd indata:  $\alpha = 0,128 \text{ kW/s}^2$

Ny indata:  $\alpha = 0,19 \text{ kW/s}^2$  (Ultra fast)

Denna ökning leder till att brandgaslagrets höjd sjunker ned till en kritisk höjd efter 2 min 18 s istället för tidigare framräknade 2 min 24 s.

### **Sikt/toxicitet**

Eftersom inga beräkningar har gjorts på sikt och toxicitet görs ingen känslighetsanalys på dessa parametrar.

### **Strålning från brandgaslager**

Effekten är tidigare satt till att ligga konstant på 6000 kW, vilket anses vara mycket väl tilltaget. Detta motsvarar att branden momentant skulle få denna effekt och sedan ligga konstant på denna. Därför anses det orimligt att öka denna parameter.

### **Restaurang Pergola**

#### **Strålning mot nödutgång**

I fallet med restaurang Pergola anses det speciellt nödvändigt att öka temperaturen på flammorna eftersom denna påverkar med en faktor fyra på resultatet.

Använd indata:  $T = 1073 \text{ K}$

Ny indata:  $T = 1173 \text{ K}$

Denna ökning av temperaturen resulterar i att tid till kritiska förhållanden minskar från 1 min 48 s till 1 min 42 s.

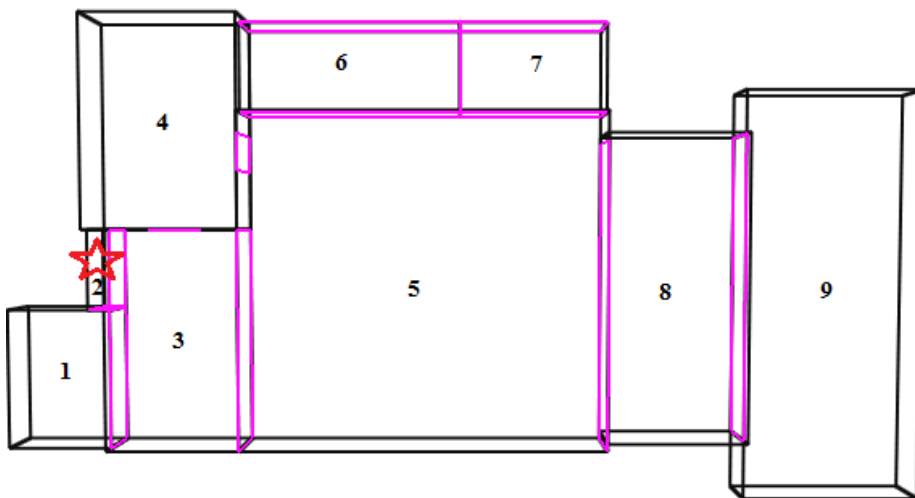
## Bilaga E CFAST

Denna bilaga visar indata, resultat samt antaganden för simuleringar i CFAST. Geometrin har gjorts så verklig som möjlig och då den är komplex har simuleringar med en förenklad geometri genomförts för att se resultatens rimlighet. Simuleringarna med förenklad geometri redovisas inte då resultaten överensstämde med de för den mer verkliga geometrin. Genom att testa olika material i väggar, tak och med golv av eller på kan det konstateras att skillnaden är marginell.

För att ta reda på om kritiska förhållanden uppstår då sprinkler aktiveras görs en simulering i Detact QS. Här fås en tid till aktivering som användas i effektkurvorna för att få fram en maxeffekt. Vid sprinkleraktivering kommer brandgaslagret att kylas vilket gör en tvåzonsmodell mindre trolig. Dock görs även simuleringar för dessa fall då de ger en uppskattning av hur en mindre effektutveckling påverkar förhållandena i lokalen.

### Simulering brandscenario 1 - Hemköp

Hemköps lokal har olika takhöjder och en stor area vilket gör att butiken delas in i flera rum.



*Figur E.1 Geometrin och rummen. De lila rektanglarna symboliserar öppningar och den röda stjärnan är där branden startar.*



**Rumsgeometri**

Nedan visas ingående data för rummen, se tabell E.1.

*Tabell E.1 Geometri, material samt verksamhet för de olika rummen. Rum 6 geometri hamnar utanför begränsningarna vad gäller förhållandet längd höjd. Dock anses det inte påverka resultatet då rum 5 ligger innan och inom begränsningarna.*

Rum	Längd [m]	Bredd [m]	Höjd [m]	Väggmaterial	Takmaterial	Verksamhet
1	7	9,5	3	Concrete, Normal Weight (6 in)	Concrete, Normal Weight (6 in)	
2	1,5	5,5	3	Concrete, Normal Weight (6 in)	Concrete, Normal Weight (6 in)	Brand startar här
3	9	15	4	Concrete, Normal Weight (6 in)	Concrete, Normal Weight (6 in)	
4	10,5	14,5	4	Concrete, Normal Weight (6 in)	Concrete, Normal Weight (6 in)	Fruktavdelning
5	25	23	4	Concrete, Normal Weight (6 in)	Concrete, Normal Weight (6 in)	
6	25	6	3	Concrete, Normal Weight (6 in)	Concrete, Normal Weight (6 in)	Kassaavdelning
7	9,5	21	4	Concrete, Normal Weight (6 in)	Concrete, Normal Weight (6 in)	
8	12	28	3	Concrete, Normal Weight (6 in)	Concrete, Normal Weight (6 in)	Mejeriavdelning

## Öppningar

Tabell E.2 visar öppningarnas geometri.

Tabell E.2 Öppningarnas storlek och mellan vilka utrymmen.

Första rum	Andra rum	Soffit [m]	Bredd [m]
1	2	3	1,5
1	3	3	9,5
2	3	3	5,5
3	4	4	2,5
3	5	4	15
5	4	4	2,5
5	6	3	25
5	7	4	21
6	Outside	3	25
7	8	3	21

## Branden

Effektkurvan som används för indata till simuleringen har tagits fram i kapitel 5. För att få en så realistisk brand som möjligt används även  $\Delta H_c$ -värdet för bränslet. Här antas det finnas mycket cellulosaliknande material och därför antas förbränningsentalpin till 16,1 MJ/kg (DiNenno, o.a., 2002). Även i CFAST ska bränsle väljas och kommer i denna simulering sättas till cellulosa insulation då det liknar bränslet mest.

Tabell E.3 Indata för branden.

	Tid till 1 MW [s]	Max HRR [MW]	Steady burning period [s]	Decay period [s]
Effektutveckling	122	11,9	400	300

Tabell E.4 Brandens geometriska egenskaper och position.

	Brand rum	Massa [kg]	Längd [m]	Bredd [m]	Tjocklek [m]	Material	$\Delta H_c$ [MJ/kg]
Brandegenskaper	2	270	4	1	2,7	Cellulosa Insulation	16,1

### Sikt

Siktberäkningar kräver också egenskaper hos bränslet och genom samma resonemang som för branden används ett medelvärde för förhållandet mellan C och CO<sub>2</sub>. Ansätts här till 0,08. För att få molekylförhållandet mellan väte och kol används cellulosas molekylstruktur då det är det materialet som satts in i CFAST. Cellulosas molekylstruktur är C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>. Värdena hittas i SFPE (2002) .

$$\frac{C}{CO_2} = \frac{1,09}{0,09} = 0,08$$

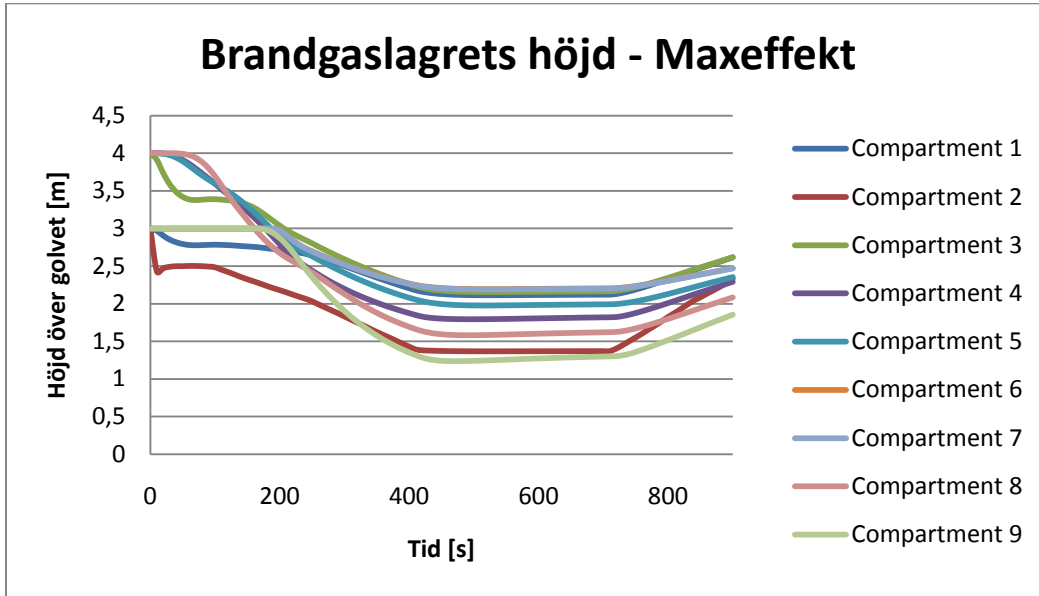
$$\frac{H}{C} = \frac{10 \cdot 1,008}{6 \cdot 12,01} = 0,14$$

### Sprinkler

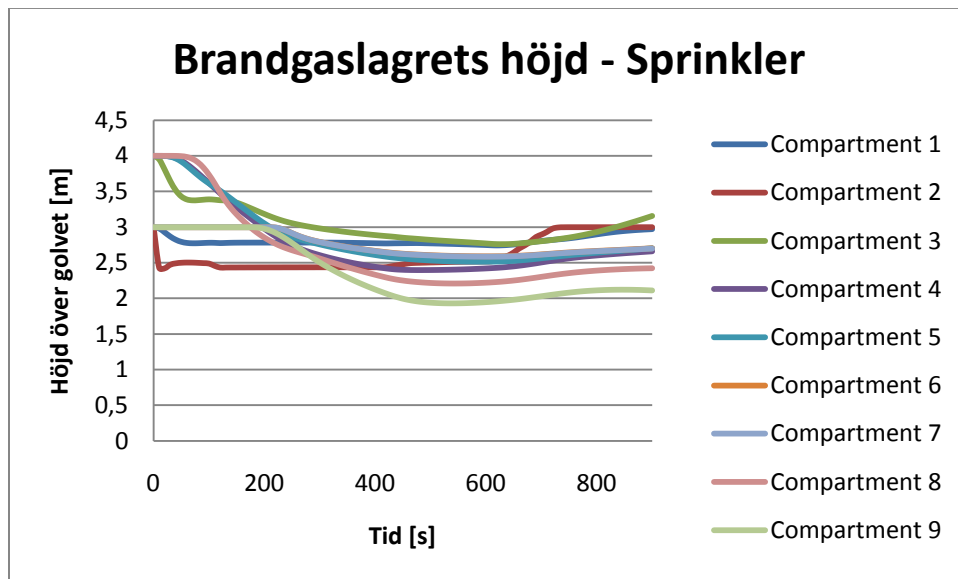
Nya simuleringar görs för effektkurvan med sprinkleraktivering, övriga geometrier och brandegenskaper behålls från tidigare simuleringar. Maxeffekten är i detta fall 1034 kW, se figur 5.6.

### Resultat

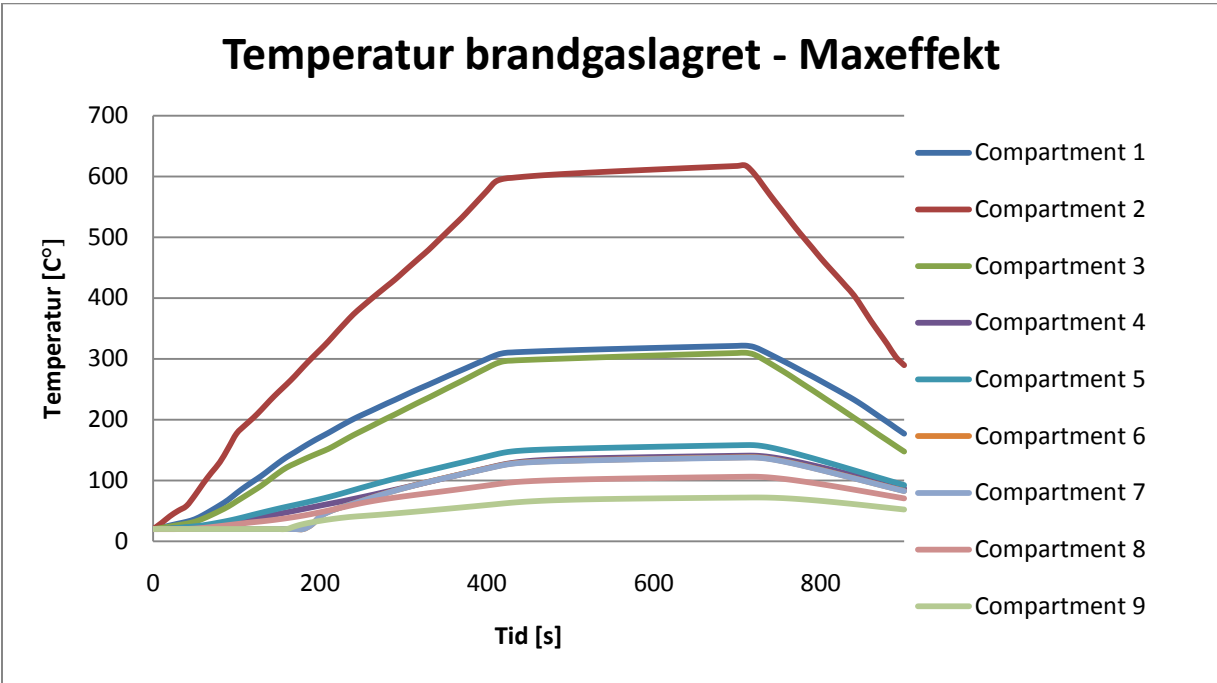
Nedan presenteras brandgaslagrets höjd från golvet, temperatur och strålning för simuleringar med och utan sprinkleraktivering.



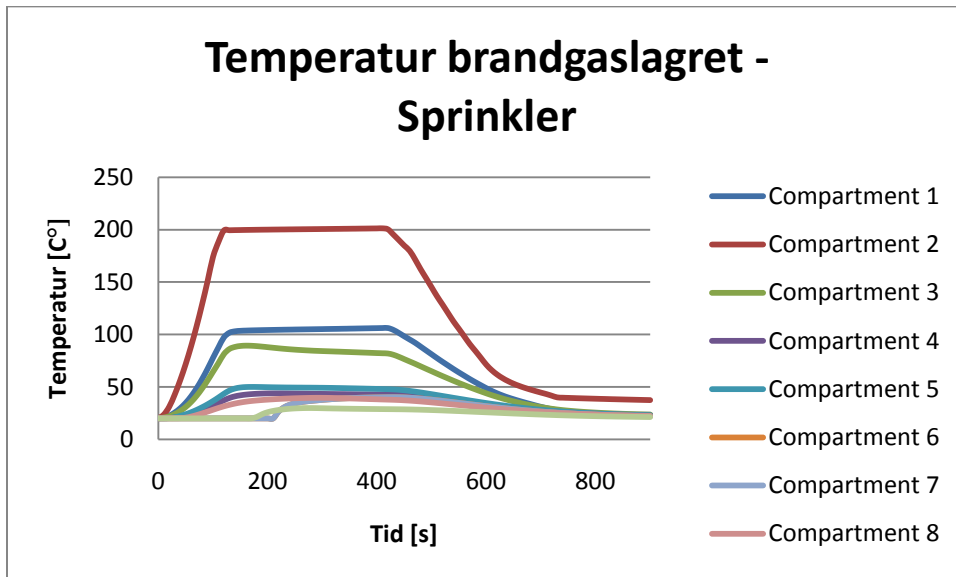
Figur E.2 Brandgaslagrets höjd över golvet för rummen i Hemköps lokal.



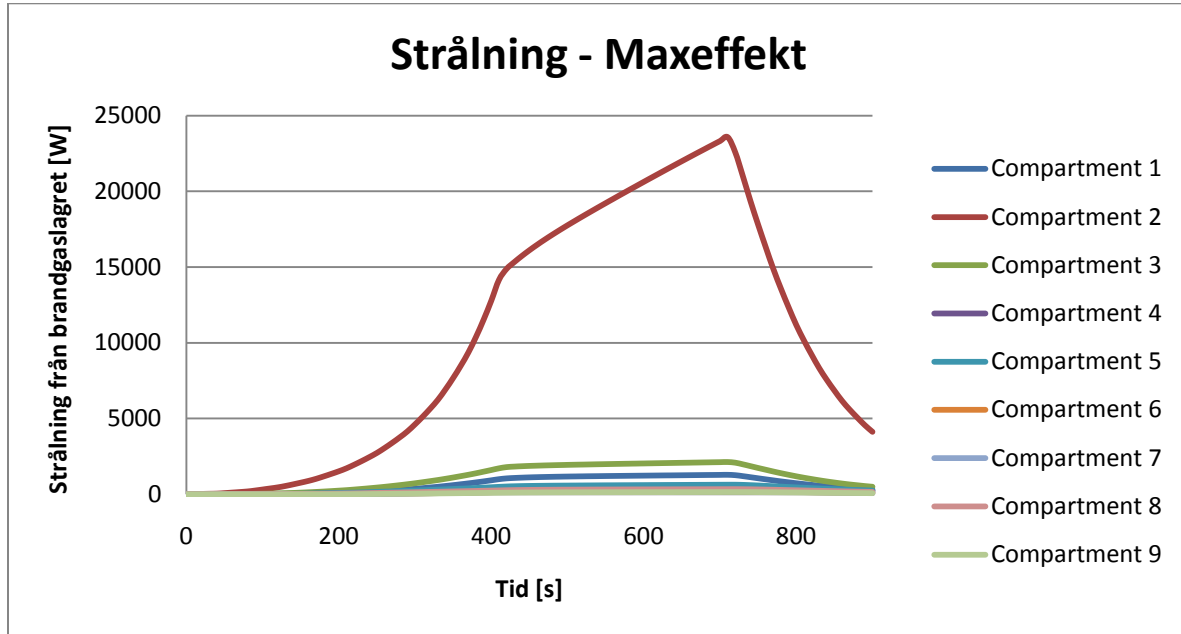
Figur E.3 Brandgaslagrets höjd över golvet för scenario 1 med sprinkleraktivering.



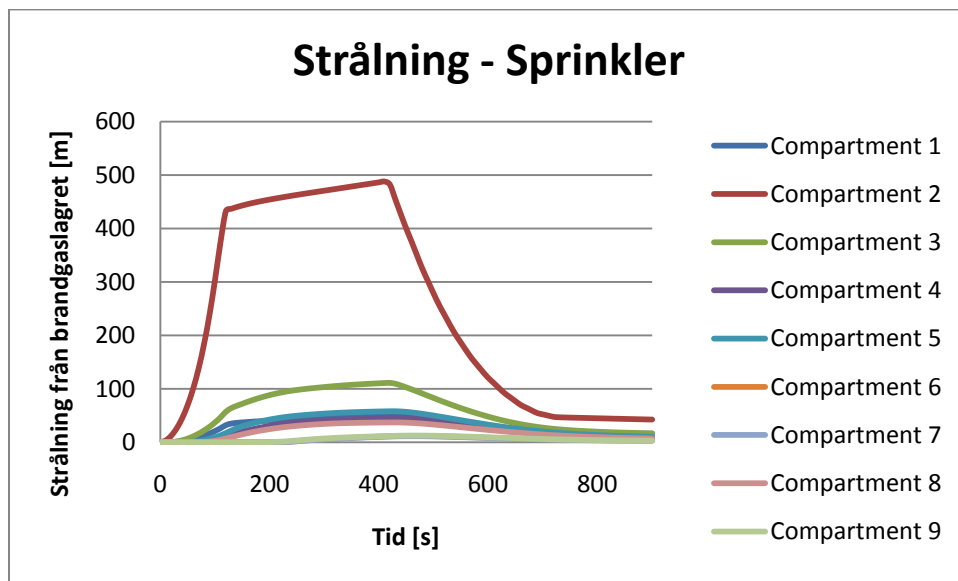
Figur E.4 Temperaturen i brandgaserna för Hemköp utan sprinkler aktivering.



Figur E.5 Temperatur i brandgaserna då sprinkler aktiverar.



Figur E.6 Strålning från brandgaserna till en punkt som symboliserar en människa.



Figur E.7 Brandgasernas strålning till en människa vid sprinkleraktivering.

### Slutgiltiga resultat

Med sprinkler kommer strålningen eller brandgaslagrets höjd från golvet inte att uppnå kritiska förhållanden. Rum 8 når kritiska förhållanden men det är inte troligt då det rummet ligger längst bort från branden och det bör nås i övriga rum också om det ska vara troligt.

Tabell E.5 Sammanställning av tiderna till kritiska förhållanden.

Rum		Tid till kritiska nivåer [s]			
		Brandgaslagrets höjd [2 m]	Temperatur [80 °C]	Sikt [5 m]	Strålning [2,5 kW/m <sup>2</sup> ]
1	Ej Sprinkler	-	100	30	-
	Sprinkler	-	110	40	-
2	Ej Sprinkler	255	55	15	250
	Sprinkler	-	60	25	-
3	Ej Sprinkler	-	120	50	-
	Sprinkler	-	120	50	-
4	Ej Sprinkler	350	280	75	-
	Sprinkler	-	-	80	-
5	Ej Sprinkler	450	230	70	-
	Sprinkler	-	-	70	-
6	Ej Sprinkler	-	280	200	-
	Sprinkler	-	-	210	-
7	Ej Sprinkler	330	280	80	-

	Sprinkler	-	-	85	-
<b>8</b>	Ej Sprinkler	325	340	175	-
	Sprinkler	-	-	180	-
<b>9</b>	Ej Sprinkler	290	-	-	-
	Sprinkler	445	-	-	-

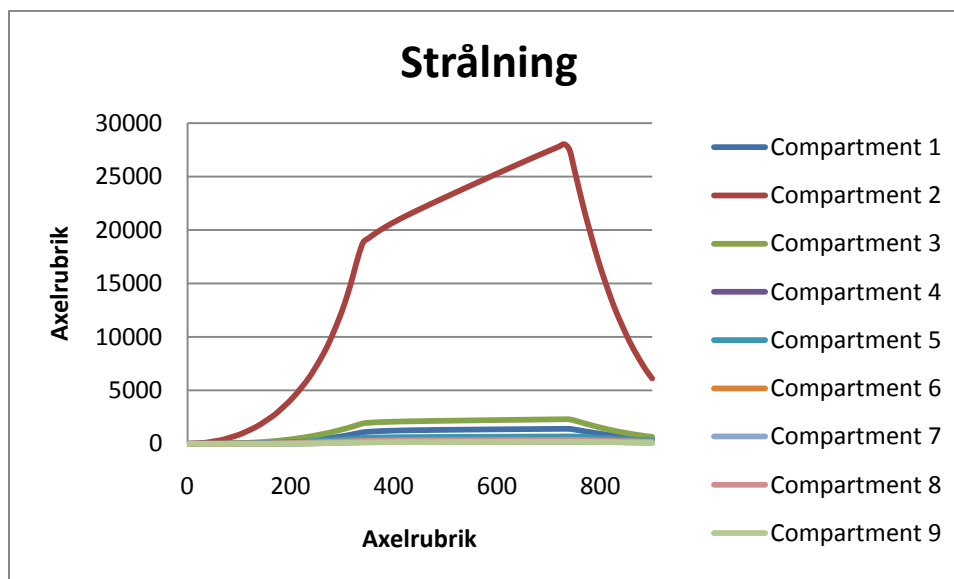
### Känslighetsanalys Hemköp

Förutsättningarna är detsamma som tidigare förutom tillväxthastigheten som ökas från  $0,54 \text{ kW/s}^2$  till  $0,1 \text{ kW/s}^2$ . För resultat se tabell E.6 och figur E.8-E.9.

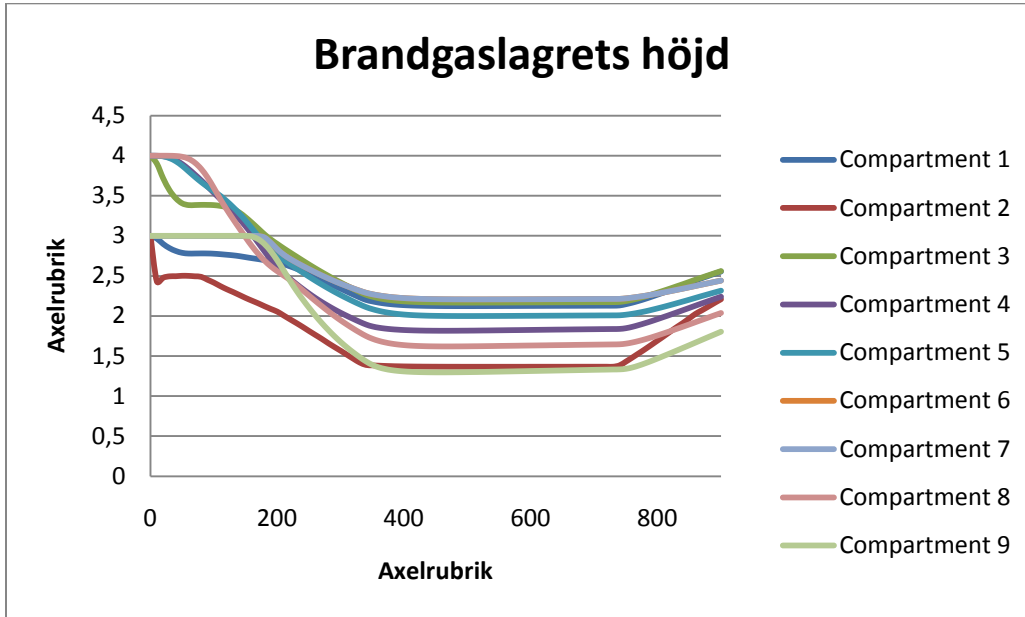


Tabell E.6 Tider till kritiska förhållanden för brandgaslagrets höjd och strålningen om branden tillväxer fortare.

Rum		Tid till kritiska nivåer [s]			
		Brandgaslagrets höjd [2 m]			Strålning [2,5 kW/m <sup>2</sup> ]
1	Ej Sprinkler	-			-
2	Ej Sprinkler	210 s			165 s
3	Ej Sprinkler	-			-
4	Ej Sprinkler	310 s			-
5	Ej Sprinkler	430 s			-
6	Ej Sprinkler	-			-
7	Ej Sprinkler	-			-
8	Ej Sprinkler	290 s			-
9	Ej Sprinkler	260 s			-



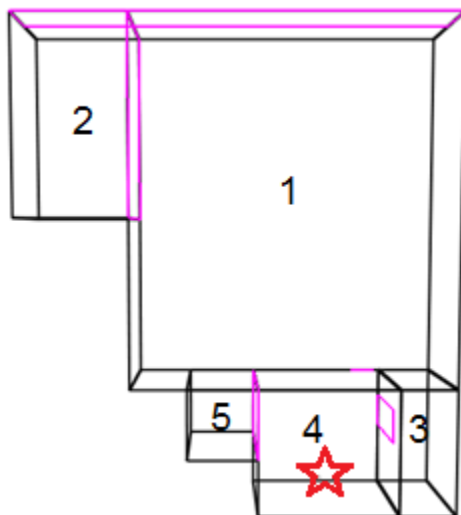
Figur E.8 Strålningen från brandgaslagret i de olika zonerna på Hemköp.



Figur E.9 Brandgaslagrets höjd i de olika zonerna på Hemköp.

## Indata brandscenario 2 - Pergola

För Pergola är det intressant att se om brandröken kommer sprida sig ut från köket och skapa kritiska förhållanden i övriga delar av lokalen.



Figur E.10 Översiktsbild över Pergolas geometri.

### Rumsgeometri

Nedan presenteras rumsgeometrin för restaurang Pergola, se tabell E.7.

Tabell E.7 Pergolas rumsgeometri.

Rum	Längd [m]	Bredd [m]	Höjd [m]	Väggmaterial	Takmaterial	Verksamhet
1	13	11,5	3,5	Concrete, Normal Weight (6 in)	Concrete, Normal Weight (6 in)	Bar och restaurang
2	7	4	3,5	Concrete, Normal Weight (6 in)	Concrete, Normal Weight (6 in)	Restaurang
3	4,5	2	3,5	Concrete, Normal Weight (6 in)	Concrete, Normal Weight (6 in)	Diskdel
4	4,5	5	3,5	Concrete, Normal Weight (6 in)	Concrete, Normal Weight (6 in)	Kök, brand startar här
5	2,5	2,5	3,5	Concrete, Normal Weight (6 in)	Concrete, Normal Weight (6 in)	Kök

## Öppningar

Öppningarnas geometri för restaurang Pergola, se tabell E.8. Här har en taktröskel använts för öppningarna mellan 1 och outside samt mellan 2 och outside. Detta för att få ett mer realistiskt svar.

Tabell E.8. Pergolas öppningar.

Första rum	Andra rum	Soffit	Bredd
1	2	3,5	7
1	Outside	3,3	11,5
2	Outside	3,3	4
4	3	3,5	0,9
4	1	3,5	0,9
5	4	3,5	2,5

## Branden

För detta brandscenario anses  $\Delta H_c$ -värdet lika som för Hemköp då det i köksbränder vanligen är trä, papper och matvaror som är involverade.

Tabell E.9 Brandens effektkurva.

	Tid till 1 MW [s]	Max HRR [MW]	Steady burning period [s]	Decay period [s]
Effektutveckling	180	28,8	300	300

Tabell E.10 Brandens egenskaper som material och massa.

	Brand rum	Massa [kg]	Längd [m]	Bredd [m]	Tjocklek [m]	Material	$\Delta H_c$ [MJ/kg]
Brandegenskaper	2	100	1,5	1,1	1	Cellulosa Insulation	16,1

## Sikt

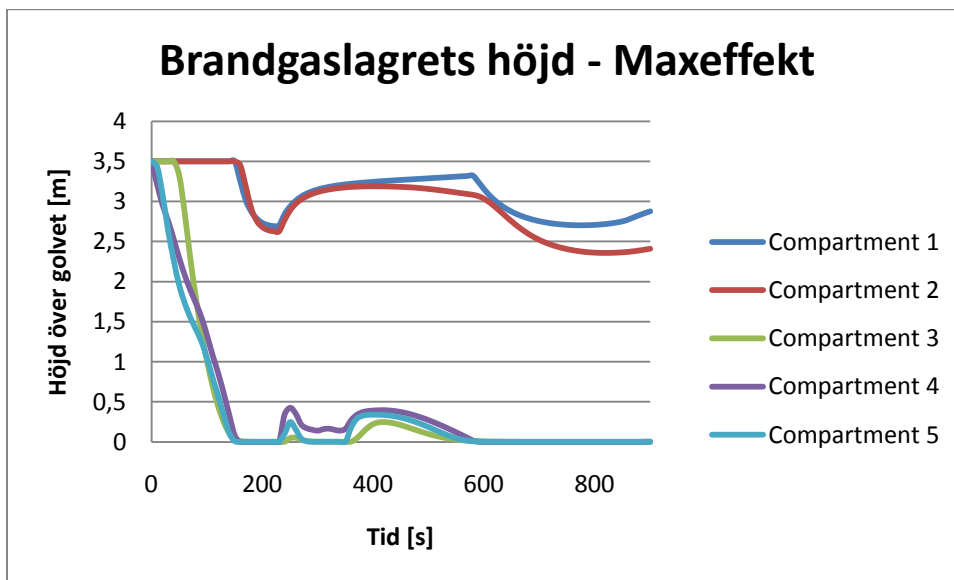
Sikten beräknas på liknande sätt som för Hemköp då det anses vara liknande material i scenarierna.

## Sprinkler

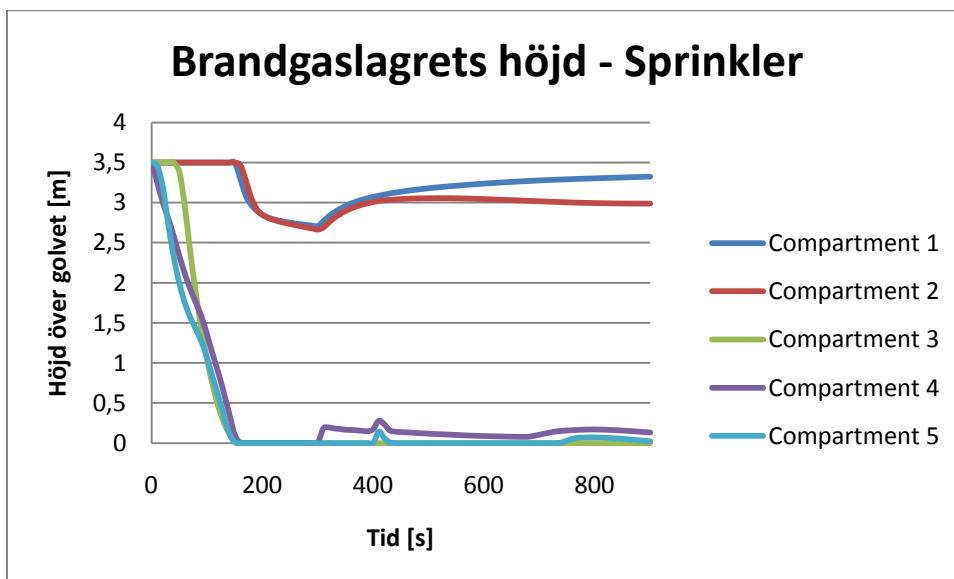
Sprinkleraktivering gör att en effektkurva med maxeffekt på 720 kW används. I övrigt är förhållanden som tidigare.

## Resultat

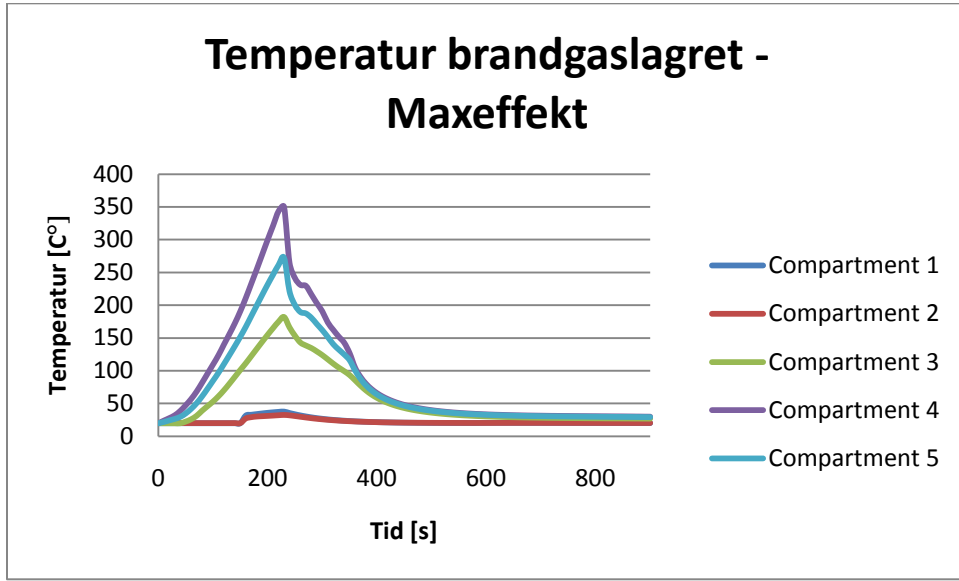
Här följer resultaten från simuleringar i CFAST. Kurvorna fluktuerar en del detta beror troligen på att branden blir ventilationskontrollerad, se figur E.11 – E.16.



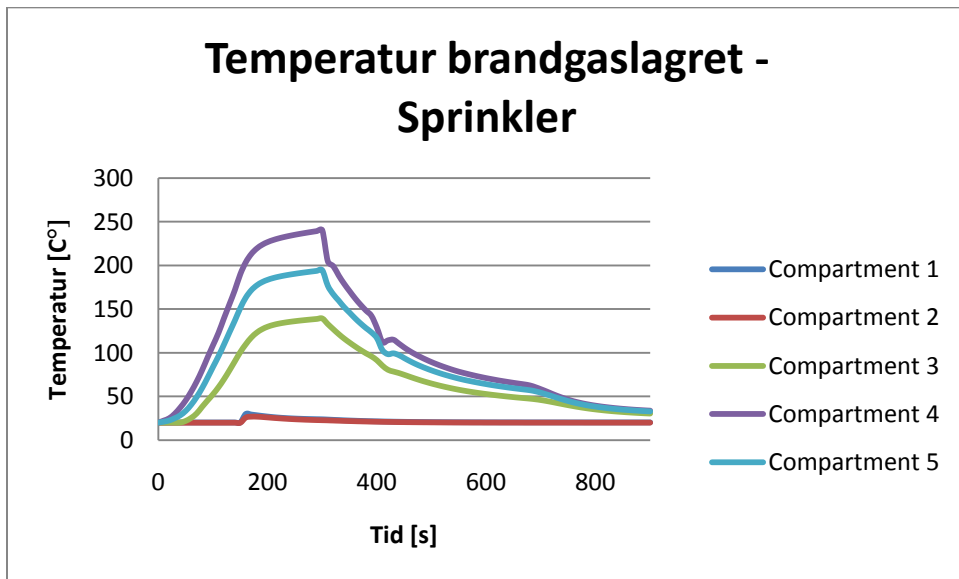
Figur E.11 Brandgaslagrets höjd över golvet för brandscenario utan sprinkleraktivering.



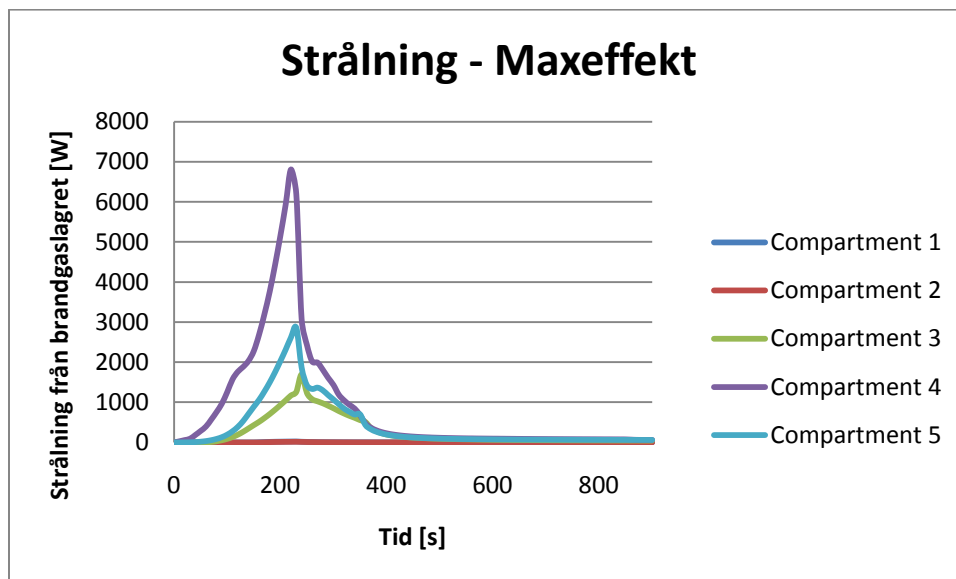
Figur E.12 Brandgaslagrets höjd med sprinkleraktivering.



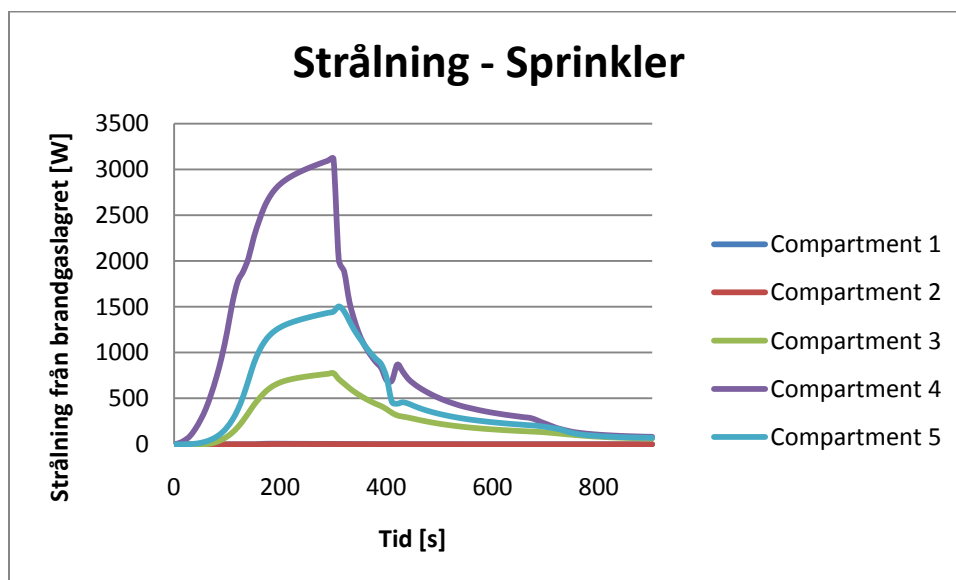
Figur E.13 Brandgaslagrets temperatur för scenario 2.



Figur E.14 Temperatur i brandgaslagret vid sprinkleraktivering.



Figur E.15 Strålning från brandgaslagret.



Figur E.16 Strålning från brandgaslagret vid sprinkleraktivering

**Slutgiltiga resultat**

Slutsatser som kan dras är att brandrummet, det vill säga köket, kommer att nå kritiska förhållanden oavsett om sprinkler aktiverar eller inte. Dock uppstår inte kritiska förhållanden i övriga delar av lokalen.

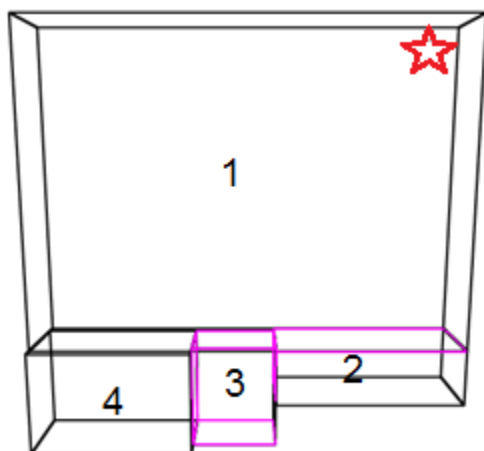
Tabell E.11 Sammanställning av resultat från simuleringar av brandscenario 2.

Rum		Tid till kritiska nivåer [s]			Strålning [2,5 kW/m <sup>2</sup> ]
		Brandgaslagrets höjd [2 m]	Temperatur [80 °C]	Sikt [5 m]	
1	Ej Sprinkler	-	-	140	-
	Sprinkler	-	-	140	-
2	Ej Sprinkler	-	-	150	-
	Sprinkler	-	-	150	-
3	Ej Sprinkler	75	130	70	-
	Sprinkler	80	130	70	-
4	Ej Sprinkler	65	80	30	160
	Sprinkler	70	80	35	170
5	Ej Sprinkler	50	100	40	215
	Sprinkler	50	100	45	-

**Indata brandscenario 3 – BR Leksaker**

Ingången till BR Leksaker är en rulltrappa som går ner från gångstråket ned till butiken på plan 1. Det är även ingången till Team Sportia och en avsats finns mellan butikerna, rum 3 figur E.17. För att få ett approximativt värde på hur mycket brandrök som kan tänkas komma ut i rulltrappan sätts ett rum in, rum 4 figur E.17. Då Team Sportia inte ingår i detta brandscenario sätts en öppning från avsatsen, rum 3 i figur E.17, som får representera butiken.





Figur E.17 Bild över BR Leksaker. Lila rektanglar är öppningar och röd stjärna symboliserar där branden startar.

### Rumsgeometri

Br Leksakers rumsgeometrier presenteras i tabell E.12.

Tabell E.12 Geometri för bandscenario 3, BR Leksaker.

Rum	Längd [m]	Bredd [m]	Höjd [m]	Väggmaterial	Takmaterial	Verksamhet
1	17	23	4	Concrete, Normal Weight (6 in)	Concrete, Normal Weight (6 in)	Butik, brand startar här
2	3	10	4	Concrete, Normal Weight (6 in)	Concrete, Normal Weight (6 in)	Butik
3	5,5	4,5	3	Concrete, Normal Weight (6 in)	Concrete, Normal Weight (6 in)	Avsats mellan butiker
4	5,5	8,5	4	Concrete, Normal Weight (6 in)	Concrete, Normal Weight (6 in)	Rulltrappor

### Öppningar

Nedan presenteras öppningarnas geometri, se tabell E.13.

Tabell E.13 Öppningsgeometrier för branscenaroi 3, BR Leksaker.

Första rum	Andra rum	Soffit	Bredd
1	2	4	10
1	3	3	4,5
2	3	3	3
3	Outside	3	4,5
3	4	3	5,5

## Branden

Branden antas innehålla liknande material som tidigare nämnda brandscenarion dock antas det även finnas en del polyester som ger ett högre  $\Delta H_c$ , i detta fall 25 MJ/kg. Övriga egenskaper kan ses i tabell E.14-15.

Tabell E.14 Egenskaper om effekten för brandscenario 3, BR Leksaker.

	Tid till 1 MW [s]	Max HRR [MW]	Steady burning period [s]	Decay period [s]
Effektutveckling	90	12,3	500	300

Tabell E.15 Brandens egenskaper för simulering av BR Leksaker.

	Brand rum	Massa [kg]	Längd [m]	Bredd [m]	Tjocklek [m]	Material	$\Delta H_c$ [MJ/kg]
Brandegenskaper	1	284	2,5	1	2	Cellulosa Insulation	25

## Sikt

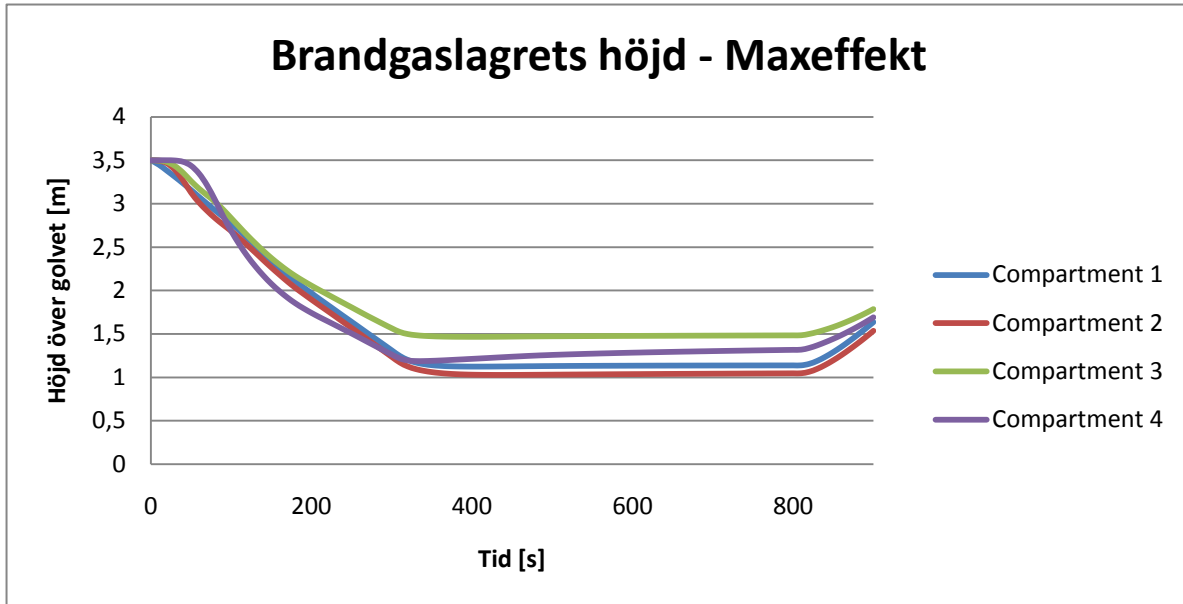
Indata för sikten är som för brandscenariot på Hemköp.

## Sprinkler

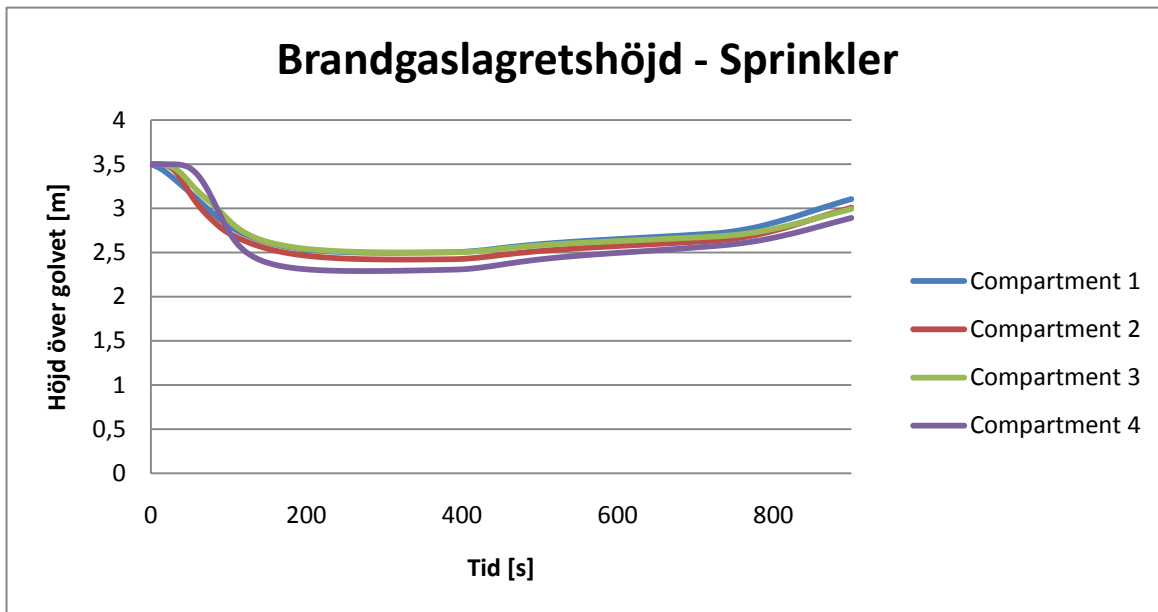
Här används effektkurvan från kapitel 7, se figur 7.7, som når en maxeffekt på 1344 kW. Denna effekt hamnar utanför CFAST giltighet vilket kan ge missvisande resultat, men en simulering görs ändå för en grov uppskattning.

## Resultat

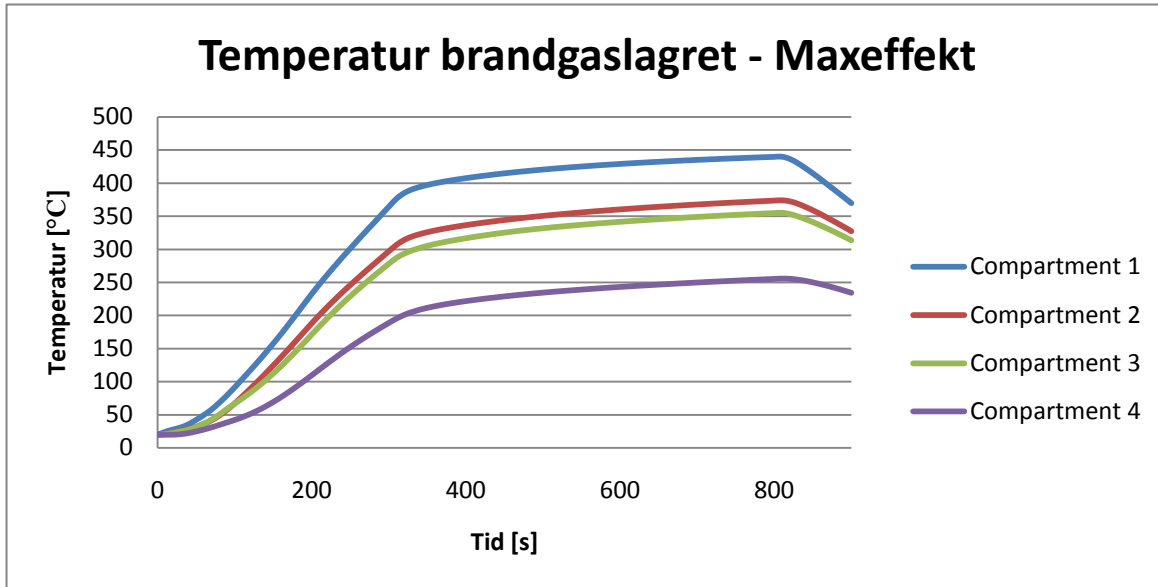
Nedan presenteras brandgaslagrets höjd över golvet, brandgaslagrets temperatur samt dess strålning, se figur E.18-E.23. Resultaten är från både utan och med sprinkleraktivering.



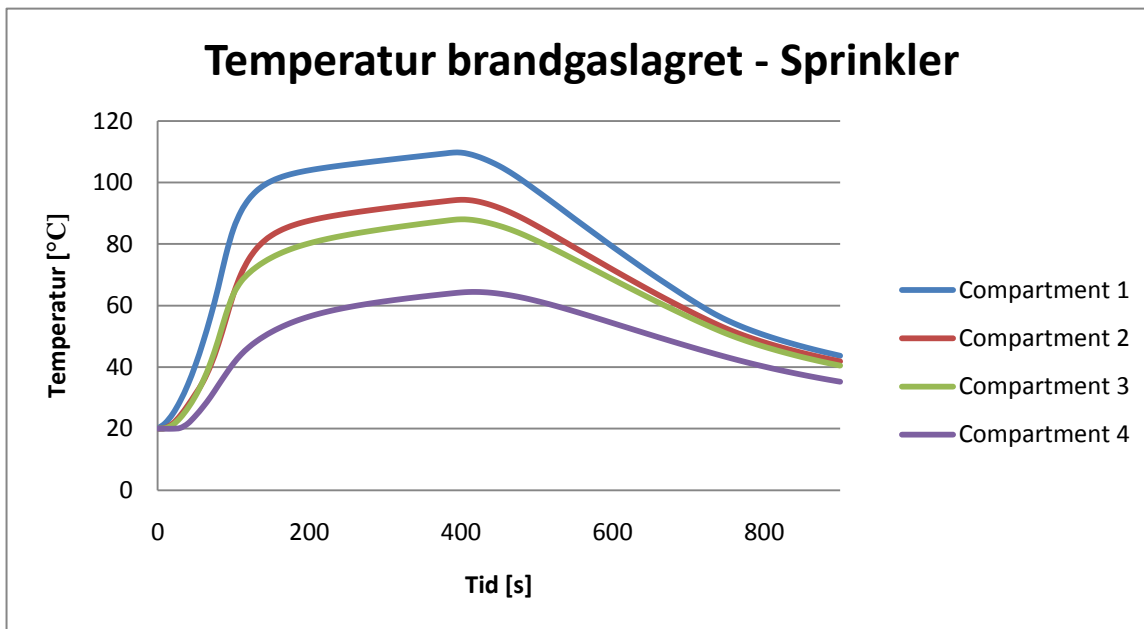
Figur E.18 Brandgaslagrets höjd för brandscenario 3 utan sprinkleraktivering.



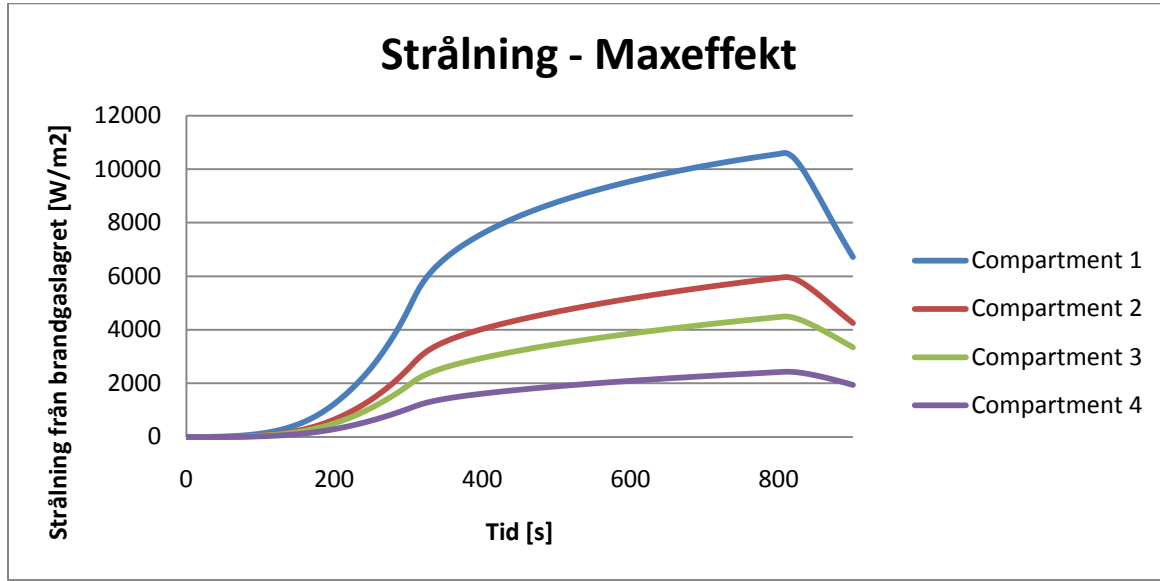
Figur E.19 Brandgaslagrets höjd från golvet då sprinkler har aktiverat.



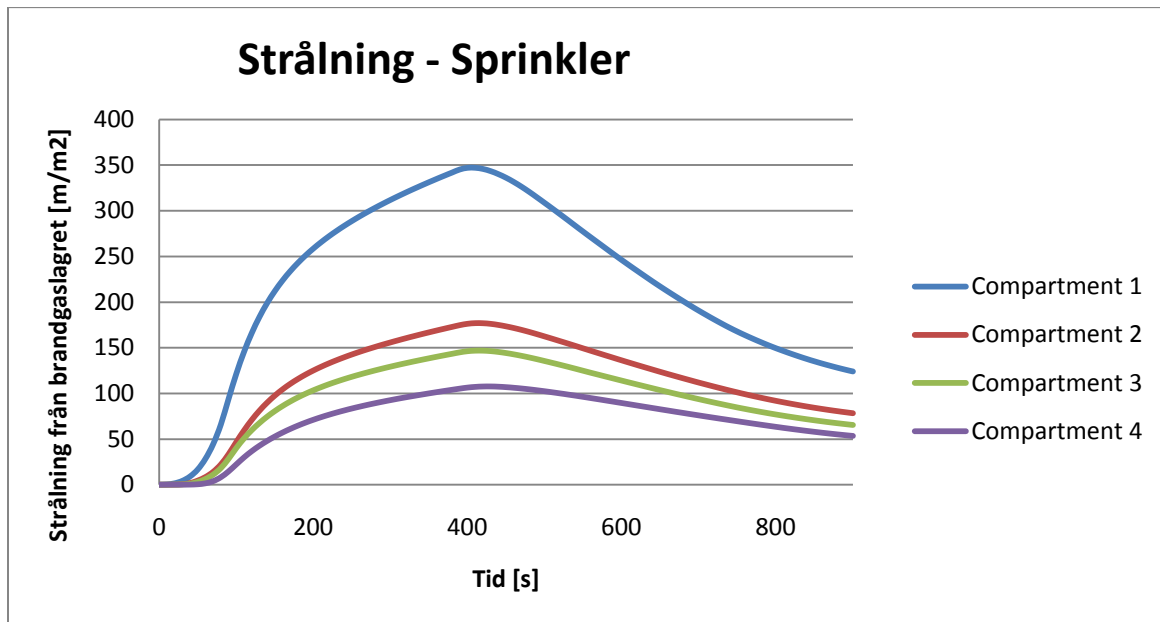
Figur E.20 Temperatur i brandgaslagret utan sprinkleraktivering, brandscenario 3.



Figur E.21 Brandgaslagrets temperatur efter sprinkleraktivering.



Figur E.22 Strålning från brandgaserna till en punkt som symboliserar en människa.



Figur E.23 Brandgasernas strålning till en människa då sprinkler aktiverar.

### Slutgiltiga resultat

Sammanfattningsvis kan man se att varken stålningen eller brandgaslagrets höjd blir kritiskt när sprinkler har aktiverat.

Tabell E.16 Sammanfattande resultat då kritiska förhållanden nås.

Rum		Tid till kritiska nivåer [s]			
		Brandgaslagrets höjd [2 m]	Temperatur [80 °C]	Sikt [5 m]	Strålning [2,5 kW/m <sup>2</sup> ]
1	Ej Sprinkler	195	90	170	250
	Sprinkler	-	95	35	-
2	Ej Sprinkler	180	115	170	300
	Sprinkler	-	140	45	-
3	Ej Sprinkler	210	120	180	340
	Sprinkler	-	200	45	-
4	Ej Sprinkler	160	165	200	-
	Sprinkler	-	-	60	-

## Bilaga F Handberäkningar av utrymningstid

Tiden det tar att utrymma kan uppskattas via handberäkningar (Bengtson, o.a., 2005)

$$t_{g\ddot{a}ng} = \frac{L_g}{v}$$

$$t_{d\ddot{o}rr} = \frac{N}{Bf}$$

$$t_{f\ddot{o}rflyttning} = t_{g\ddot{a}ng} + t_{d\ddot{o}rr}$$

$$t_{v\ddot{a}rseblivning} + t_{f\ddot{o}rberedelse} + t_{f\ddot{o}rflyttning} = t_{utrymning}$$

### Hemköp

Om N = 250 personer

Varseblivnings- och förberedelsetiden sätts till det medelvärde som användes i Simulex, dvs. 2 min 20 s.

$$t_{v\ddot{a}rseblivning} + t_{f\ddot{o}rberedelse} = 140 \text{ s} = 2 \text{ min } 20 \text{ s}$$

$$L_g = 36 \text{ m}$$

$$v = 1,3 \text{ m/s}$$

$$B = 4,8 \text{ m}$$

$$f = 1 \text{ p/sm}$$

$$t_{f\ddot{o}rflyttning} = \frac{36}{1,3} + \frac{250}{4,8 \cdot 1} = 80 \text{ s}$$

$$t_{utrymning} = 140 + 80 = 220 \text{ s} = 3 \text{ min } 40 \text{ s}$$

Om N = 500 personer men i övrigt samma förhållanden:

$$t_{f\ddot{o}rflyttning} = \frac{36}{1,3} + \frac{500}{4,8 \cdot 1} = 132 \text{ s} = 2 \text{ min } 12 \text{ s}$$

$$t_{utrymning} = 140 + 132 = 272 \text{ s} = 4 \text{ min } 32 \text{ s}$$

### **Pergola**

Om N = 40 personer

Varseblivnings- och förberedelsestiden sätts till det medelvärde som användes i Simulex, dvs. 3 min.

$$t_{varseblivning} + t_{förberedelse} = 180 \text{ s} = 3 \text{ min}$$

$$L = 22 \text{ m}$$

$$v = 1,3 \text{ m/s}$$

$$B = 0,9 \text{ m}$$

$$f = 1 \text{ p/sm}$$

$$t_{förflyttning} = \frac{22}{1,3} + \frac{40}{0,9 \cdot 1} = 60 \text{ s}$$

$$t_{utrymning} = 180 + 60 = 240 \text{ s} = 4 \text{ min}$$



### BR Leksaker

Om N = 80 personer

Varseblivnings- och förberedelsestiden sätts till det medelvärde som användes i Simulex, dvs. 1 min 30 s.

$$t_{\text{varseblivning}} + t_{\text{förberedelse}} = 90 \text{ s} = 1 \text{ min } 30 \text{ s}$$

L = 27 m till trappa

L<sub>2</sub> = 6 meter trappa

v = 1,3 m/s

v<sub>2</sub> = 0,6 m/s i trappa

B = 3 m

f = 1 p/sm

$$t_{\text{förflyttning}} = \frac{27}{1,3} + \frac{6}{0,6} + \frac{80}{3 \cdot 1} = 57 \text{ s}$$

$$t_{\text{utrymning}} = 90 + 57 = 2 \text{ min } 27 \text{ s}$$

Om N = 250 personer men i övrigt samma förhållanden:

$$t_{\text{förflyttning}} = \frac{27}{1,3} + \frac{6}{0,6} + \frac{250}{3 \cdot 1} = 1 \text{ min } 54 \text{ s}$$

$$t_{\text{utrymning}} = 90 + 114 = 3 \text{ min } 24 \text{ s}$$

## Bilaga G Detact QS

Nedan ses all indata till Detact QS för de olika brandscenarierna.

### Hemköp

Tabell G.1 Indata till Detact QS vid beräkning av sprinklers aktiveringstid på Hemköp.

Faktor	Värde
Takhöjd ovanför bränslet [m]	4
Horisontellt avstånd från brand till sprinkler [m]	1,5
Initial rumstemperatur [°C]	20
Aktiveringstemperatur [°C]	68
RTI [ $\sqrt{m * s}$ ]	100

Tabell G.2 Indata till Detact QS vid beräkning av rökdetektors aktiveringstid.

Faktor	Värde
Takhöjd ovanför bränslet [m]	4
Horisontellt avstånd från brand till sprinkler [m]	3
Initial rumstemperatur [°C]	20
Aktiveringstemperatur [°C]	30
RTI [ $\sqrt{m * s}$ ]	0,5
Resultat	
Tid till aktivering [s]	21

### Pergola

Tabell G.3 Indata till Detact QS vid beräkning av sprinklers aktiveringstid på restaurang Pergola.

Faktor	Värde
Takhöjd ovanför bränslet [m]	3,5
Horisontellt avstånd från brand till sprinkler [m]	1,5
Initial rumstemperatur [°C]	20
Aktiveringstemperatur [°C]	68
RTI [ $\sqrt{m * s}$ ]	100

## BR Leksaker

Tabell G.4 Indata till Detact QS vid beräkning av sprinklers aktiveringstid på BR Leksaker.

Faktor	Värde
Takhöjd ovanför bränslet [m]	3,5
Horisontellt avstånd från brand till sprinkler [m]	1,5
Initial rumstemperatur [°C]	20
Aktiveringstemperatur [°C]	68
RTI [ $\sqrt{m * s}$ ]	100

Tabell G.5 Indata till Detact QS vid beräkning av en rökdetektors aktiveringstid på BR Leksaker.

Faktor	Värde
Takhöjd ovanför bränslet [m]	4
Horisontellt avstånd från brand till sprinkler [m]	3
Initial rumstemperatur [°C]	20
Aktiveringstemperatur [°C]	30
RTI [ $\sqrt{m * s}$ ]	0,5
Resultat [s]	16