



Lunds Tekniska Högskola  
Lunds Universitet  
Brandteknik

## Brandteknisk riskvärdering av Kupolen, Borlänge



Skrivet av  
Jonas Eriksson  
Cristofer Lindholm  
Måns Mansoori  
Erik Palmqvist

Handledare  
Henrik Johansson

Rapport 9289, Lund 2006



Brandteknisk riskvärdering av  
Kupolen, Borlänge

Jonas Eriksson  
Christofer Lindholm  
Måns Mansoori  
Erik Palmqvist

Lund 2006

**Avdelningen för brandteknik**

Lunds Tekniska Högskola  
Box 118  
221 00 Lund  
Telefon: 046-222 73 00

**Department of Fire Safety Engineering**

Lund Institute of Technology  
Box 118  
S-221 00 Lund, Sweden  
Telephone: +46 46 222 73 00

**Rapport/Report**

9289

**Titel**

Brandteknisk riskvärdering av Kupolen Borlänge

**Title**

Fire Safety Evaluation of Kupolen, Borlänge

**Av/By**

Jonas Eriksson  
Christofer Lindholm  
Måns Mansoori  
Erik Palmqvist  
© Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2006

**Abstract**

The purpose of this report is to evaluate the personal safety in case of fire at Kupolen, Borlänge. Kupolen is a shoppingmall of three storeys with various types of shops. To define possible fire scenarios a discussion of different possibilities concerning the personal safety has been made. This discussion led to fire and evacuation simulations regarding two shops that best describes a worst case scenario. Simulations were made with the computer models ARGOS, SIMULEX and DETACT-T2. Property and structural damage has not been taken into account. The study shows that proper evacuation can be done with satisfaction in every case. Another discussion has also been made concerning smoke spread into the old exhibition hall showing that personal safety is maintained regardless of the smoke spread situation.

**Nyckelord**

Brandscenarier, Kupolen, personsäkerhet, utrymning, kritiska förhållanden, ARGOS, SIMULEX, DETACT-T2, H&M, Hemtex

**Keywords**

Fire scenarios, Kupolen, personal safety, evacuation, critical conditions, ARGOS, SIMULEX, DETACT-T2, H&M, Hemtex

**Följande rapport är framtagen i undervisning. 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.**

## Förord

Brandteknisk riskvärdering av Kupolen ingår som ett delmoment i kursen *Brandteknisk riskvärdering*. För att göra denna rapport möjlig har en handfull personer bistått med värdefulla råd, information och god kunskap. Författarna vill därför rikta ett stort tack till följande personer:

Johan Forsgren, Centrumchef Kupolen, för det varma mottagandet.

Per Sundqvist, Drifttekniker Kupolen, för informationen gällande Kupolen.

Thomas Carlsson och Joel Péclard, Brandingenjörer Räddningstjänsten Dala Mitt, för det stöd och den kunskap som Ni bistått med under arbetets gång.

Lars Jensen, Professor Installationsteknik LTH, för all hjälp med tydning och diskussion gällande ventilationssystem.

Sven-Ingvar Granemark, Forskningsingenjör Brandtekniska Avdelningen LTH, för all hjälp vid laborationen.

Daniel Gojkovic, Universitetsadjunkt vid avdelningen för brandteknik på LTH, för värdefulla råd.

Samt vår handledare Henrik Johansson, Bitr. Universitetslektor vid avdelningen för brandteknik på LTH, för värdefulla synpunkter, stöd och goda råd under projektets gång.

Lund, december 2006

*Måns, Jonas, Erik & Christofer*



## Sammanfattning

Köpcentret Kupolen är beläget i Borlänge i Dalarna. Denna strategiska placering valdes på grund av de riksvägar som korsar direkt utanför Kupolen.

Syftet med denna rapport är att se över och utvärdera personsäkerheten i byggnaden vid händelse av brand.

För att kunna studera brandscenarier som väl representerar risker i Kupolens verksamhet ligger en diskussion till grund. Diskussionen har lett fram till ett urval av butiker som anses ha störst inverkan på personsäkerheten. Därför har simuleringar skett i två butiker, H&M och Hemtex. Två olika scenarier har utförts för varje butik; ett där sprinklersystemet fungerar och ett där det är ur funktion. Detta för att se om utrymning kan ske innan kritiska förhållanden uppnås. Simuleringarna har skett med hjälp av programmen ARGOS, SIMULEX och DETACT-T2.

Simuleringar och beräkningar visade att tillfredsställande utrymning bör kunna ske, vilket ligger till grund för slutsatser som framförs i studien. Det fastställs att det är av största vikt att Kupolen ser till att utrymningsvägar hålls fria. På grund av de begränsningar som den komplicerade geometrin i Kupolen och de beräkningsverktyg som funnits tillgängliga inom kursen utgör, finns viss osäkerhet i resultat och slutsatser.

I studien har även en diskussion förts huruvida brandgasspridning kan ske vid manuell öppning av brandgasluckor i gamla mässhallen (Jula). Analysen ledde fram till att brandgasspridningen inte nämnvärt inkräktar på personsäkerheten.





<b>FÖRORD</b> .....	<b>5</b>
<b>SAMMANFATTNING</b> .....	<b>7</b>
<b>1 INLEDNING</b> .....	<b>11</b>
1.1 SYFTE OCH MÅL .....	11
1.2 METOD .....	11
1.3 AVGRÄNSNINGAR .....	12
<b>2 OBJEKTSBESKRIVNING</b> .....	<b>13</b>
2.1 ALLMÄNT OM BYGGNADEN .....	13
2.1.1 Köpcentrumet i stort .....	13
2.1.2 Gamla mässhallen .....	14
2.2 BYGGNADSTEKNISK BESKRIVNING .....	14
2.2.1 Köpcentrumet i stort .....	14
2.2.2 Gamla mässhallen .....	14
2.3 BRANDCELLSINDELNING .....	14
2.3.1 Köpcentret i stort .....	14
2.3.2 Gamla mässhallen .....	14
<b>3 BRANDSKYDDSTEKNISKA SYSTEM</b> .....	<b>15</b>
3.1 SPRINKLER .....	15
3.2 BRAND- OCH UTRYMNINGSLARM .....	15
3.3 NATURLIG BRANDGASVENTILATION .....	15
3.4 MEKANISK BRANDGASVENTILATION .....	16
3.6 RÖKSKÄRMAR, RÖKGARDINER OCH BRANDJALUSIER .....	16
3.7 ANORDNING FÖR MANUELL BRANDSLÄCKNING .....	17
<b>4 BRANDCELLSSKILJANDE BYGGNADSEDLAR</b> .....	<b>19</b>
4.1 INVÄNDIGA YTSKIKT .....	19
4.1.1 Utrymningsvägar, trapphus och butiker .....	19
4.1.2 Storkök .....	19
4.2 BÄRANDE KONSTRUKTIONER .....	19
4.3 VENTILATIONSSYSTEM .....	19
<b>5 SIMULERINGSHJÄLPMEDEL</b> .....	<b>21</b>
5.1 DETACT-T2 .....	21
5.2 ARGOS .....	21
5.3 SIMULEX .....	21
<b>6 UTRYMNING</b> .....	<b>23</b>
6.1 KRITISKA FÖRHÅLLANDEN .....	23
6.2 UTRYMNINGSTID .....	24
<b>7 VAL AV BRANDSCENARIER</b> .....	<b>25</b>
7.1 BRANDSCENARIER I KUPOLEN PLAN 1 .....	25
7.2 BRANDSCENARIER I KUPOLEN PLAN 2 .....	26
7.3 BRANDSCENARIER I KUPOLEN PLAN 3 .....	27
7.4 BRANDSCENARIER I GAMLA MÄSSHALLEN .....	27
7.5 EJ STUDERADE BRANDSCENARIER .....	27
7.6 STUDERADE BRANDSCENARIER .....	28
7.7 TÄNKBARA TÄNDKÄLLOR .....	28
7.8 DIMENSIONERANDE BRAND .....	30
<b>8 BRANDSCENARIER</b> .....	<b>31</b>
8.1 BRAND I HEMTEX UTAN SPRINKLERAKTIVERING .....	31
8.1.1 Förutsättningar .....	31
8.1.2 Resultat .....	32

8.2 BRAND I HEMTEX MED SPRINKLERAKTIVERING .....	33
8.2.1 Förutsättningar.....	33
8.2.2 Resultat.....	33
8.3 BRAND I H&M UTAN SPRINKLERAKTIVERING .....	34
8.3.1 Förutsättningar.....	34
8.3.2 Resultat.....	35
8.4 BRAND I H&M MED SPRINKLERAKTIVERING.....	35
8.4.1 Förutsättningar.....	35
8.4.2 Resultat.....	36
8.5 BRANDGASSPRIDNING UTANFÖR HEMTEX OCH H&M VID BRAND .....	37
8.5.1 Förutsättningar.....	37
8.5.2 Resultat Hemtex.....	38
8.5.3 Resultat H&M.....	38
8.6 GAMLA MÄSSHALLEN, JULA.....	38
8.7 UTRYMNING AV HEMTEX OCH H&M .....	39
8.7.1 Hemtex.....	39
8.7.2 H&M.....	41
8.8 UTRYMNING AV KUPOLEN SOM HELHET.....	43
8.9 SAMMANFATTNING AV RESULTATEN.....	44
8.9.1 Hemtex utan sprinkler .....	44
8.9.2 H&M utan sprinkler .....	44
8.9.3 Hemtex med sprinkler.....	44
8.9.4 H&M med sprinkler.....	44
8.9.5 Brandgasfyllning av rullbandstorget.....	44
<b>9 SLUTSATSER OCH DISKUSSION .....</b>	<b>45</b>
<b>10 REFERENSER.....</b>	<b>47</b>
<b>BILAGA A – UTDRAG UR BOVERKETS BYGGREGLER, BBR.....</b>	<b>49</b>
<b>BILAGA B – SKYLTVNING FÖR RÄDDNINGSMANUTRUSTNING .....</b>	<b>53</b>
<b>BILAGA C – INDATA OCH RESULTAT FRÅN SIMULERING.....</b>	<b>54</b>
<b>BILAGA D – HANDBERÄKNINGAR.....</b>	<b>62</b>
<b>BILAGA E - LABORATIONSRAPPORT .....</b>	<b>66</b>
<b>BILAGA F – PLANÖVERSIKT SAMT RITNINGAR MED MARKERADE UTRYMNINGSVÄGAR..</b>	<b>70</b>

## 1 Inledning

Detta projektarbete är framtaget av en grupp om fyra brandingenjörstudenter vid Lunds Tekniska Högskola (LTH). Projektarbetet ingår i kursen *Brandteknisk riskvärdering*, 10 poäng. Varje grupp studenter tilldelas ett objekt från någon räddningstjänst i Sverige samt en handledare från LTH vid genomförandet av projektet.

### 1.1 Syfte och mål

Syftet med detta arbete är att göra en brandteknisk riskvärdering av köpcentrumet Kupolen i Borlänge med fokus på personsäkerheten vid brand.

Kupolen är ett stort köpcentrum i vilket det kan finnas många människor samtidigt. Målet för arbetet är att klarlägga huruvida samtliga personer, som kan tänkas vistas där, vid varje given tidpunkt har möjligheter att utrymma lokalerna innan kritiska förhållanden på grund av brand uppstår. Kritiska förhållanden definieras i Brandskyddshandboken:

*”För det tidiga brandförloppet är det personsäkerheten som prioriteras. Därför måste vissa kriterier definieras, över vilka förhållanden vid en brand som inte längre är acceptabla. Dessa förhållanden benämns ”kritiska förhållanden” och innebär att utrymning inte längre kan ske under acceptabla förhållanden.”* (Brandskyddshandboken, 2005)

Frågan belyses med hjälp av ett antal framanalyserade värsta möjliga tänkbara scenarier gällande personsäkerhet, där simuleringar, beräkningar och logiska resonemang ligger till grund för bedömningen huruvida säker utrymning är möjlig eller ej.

### 1.2 Metod

Första grunden för arbetet har varit studier av ritningar och befintlig brandskyddsdocumentation över köpcentrumet Kupolen. Då rapportens validitet skall kunna säkerställas har även annan litteratur studerats och diskussioner har förts med lärare på Institutionen för Brandteknik på LTH och med brandingenjörer på räddningstjänsten Dala Mitt.

Besök på objektet gjordes 2006-09-15. Under detta besök gjordes en avgränsning av byggnaden i samråd med handledare och räddningstjänstpersonal. Vid besöket användes en checklista för att säkerställa att den information som behövdes verkligen var dokumenterad när objektet lämnades. Under de timmar som spenderades på Kupolen fördes även samtal med driftsansvarig, som dessutom ledde en grundlig rundvandring och genomgång av köpcentrumet, dess utrymningsvägar och brandskyddstekniska system. Med hjälp av den information som erhöles vid besöket valdes de brandscenarier som sedermera har simulerats och analyserats, och som vid ogynnsamma förhållanden skulle kunna ge värsta möjliga konsekvens med avseende på personsäkerhet.

Brandens effektutveckling, temperatur i brandlokal, strålningsintensitet, brandgaslagrets höjd och siktförhållanden beräknades för samtliga brandscenarier med hjälp av datorprogrammet Argos samt handberäkningsmodeller. Då viss information rörande sikt och förbränningsenergi för material i brandscenarierna inte gick att finna i litteraturen, togs dessa fram genom en laboration, vilken beskrivs i bilaga 1. För att få en uppfattning om hur lång tid utrymningen av byggnaden tar i de olika brandscenarierna användes utrymningsprogrammet Simulex.

Simuleringar och handberäkningar har sedan utgjort underlag för huruvida säker utrymning kan ske eller ej, det vill säga om tiden för säker utrymning understiger tiden tills kritiska förhållanden uppstår eller inte.

### 1.3 Avgränsningar

De viktigaste kriterierna för urvalet av brandscenarier har styrts dels av brandlokalernas placering, men också av deras produkter. Den utrymningsproblematik som kan uppstå till följd av placeringen av brandlokalerna, främst brandgasspridning till ovanliggande plan, har varit ett viktigt urvalskriterium. Övriga kriterier har varit att de material som ingår i lokalernas produkter har förmåga till hög effektutveckling, snabbt brandförlopp samt rökpotential, d v s att tiden tills kritiska förhållanden uppstår blir kort. I detta val har ingen hänsyn tagits till egendomsskydd och ej heller till räddningstjänstens personals säkerhet vid en eventuell insats.

I denna rapport studeras inte Kupolens hotell-, kontorsdel eller personalutrymmen. Hotellet har enligt uppgift från driftsansvarig lågt antal besökare, vilket gör personriskerna i hotellet mindre. De personer som vistas i personalutrymmena och kontorsutrymmen antas ha god lokalkännedom, vilket ur personsäkerhetssynpunkt är bra, men däremot inte representativt ur ett totalt personsäkerhetsperspektiv för Kupolen.

Utrymningssimuleringarna är endast utförda för de lokaler där bränderna antas börja i de brandscenarier som studerats och inte för Kupolen som helhet, eftersom underlaget ger begränsade möjligheter till att göra simuleringar för byggnaden som helhet. Handberäkningar gällande utrymning av hela byggnaden har gjorts. Om säker utrymning kan ske i de valda brandscenarierna och i övriga byggnaden, innebär detta troligen att säker utrymning är möjlig.

## 2 Objektsbeskrivning

Detta avsnitt avser att ge en helhetsbild av Kupolen som byggnad samt att ge en kort introduktion till de aktiva system som återfinns i Kupolen. Med aktiva system menas brandskyddssystem som måste aktiveras för att ge en effekt. Ett exempel på aktiva system är sprinklersystem. Ett passivt system är ett brandskyddssystem som alltid fungerar, t ex en brandvägg eller brandskyddsmålning. En tydligare beskrivning, i form av ritningar, finns i bilaga F.

### 2.1 Allmänt om byggnaden

1987 började man planera för ett mäss- och konferenscentrum i Borlänge, och man bestämde sig för att byggnaden skulle ligga i korsningen mellan riksväg 50 och 70. Tre år senare, 1990-09-13, invigdes Kupolen. Därefter har byggnaden byggts om invändigt två gånger, senast år 2005.

Kupolen i Borlänge är Dalarnas största köpcentrum, och fastigheten ägs idag av Steen & Ström Sverige AB som är Skandinaviens största köpcentrumutvecklare. Kupolen har en årlig besöksfrekvens på mer än 4 miljoner besökare och omsätter mer än en miljard kronor om året. De flesta besökarna består självklart av människor från Borlänge men kunder kommer även från Ludvika, Örebro, Mora, Sälen, Falun och Stockholm.

#### 2.1.1 Köpcentrumet i stort

Kupolen är ett köpcentrum som, precis som namnet antyder, är format som ett halvklot. Inne i Kupolen finns en mängd olika butiker och restauranger som ligger fördelade på tre plan samt en före detta mässhall, kallad Gamla mässhallen. Planen står i öppen förbindelse med varandra via ett centralt ljusschakt med rulltrappor i ett så kallat rulltrappstorg, trappor och rulltrappor i andra delar av Kupolen samt öppningar mellan våningsplanen och kupolens fasad (se skiss över planen i bilaga F).

I Kupolen finns även ett hotell samt kontorslokaler där bland annat Manpower hyr lokaler och i bottenplanet finns en busshållplats som helt nyligen tagits i bruk. Byggnadens totala golvyta är ca 32500 m<sup>2</sup>.



*Figur 2.1 Rulltrappstorget*

### 2.1.2 Gamla mässhallen

Gamla mässhallen är i ett plan och inhyser idag butiker med tillhörande lager, personalutrymmen och fläktrum. Byggnadens golvyta uppgår till 5200 m<sup>2</sup>. Förbindelsen mellan gamla mässhallen och övriga Kupolen består av trappgångar samt en stor korridor som leder till två olika plan. (Olander, 2005b)

## 2.2 Byggnadsteknisk beskrivning

### 2.2.1 Köpcentrumet i stort

Fastigheten består av tre plan och klassas därför som en Br1 byggnad (se även bilaga A). Byggnadens bärande delar är utförda i stål och betong och dess bjälklag är utförda i betong. Kupolens fasader är utförda i betong, plåt och glas. Taket, som är format som en kupol, består av plåt som täckts på utsidan med PVC-duk på plywood, isoleringen består av mineralull. (Olander, 2005a)

### 2.2.2 Gamla mässhallen

De bärande delarna är utförda i stål medan de bärande bjälklagen är gjorda av lättbetong och trä som skyddas med ett brandklassat undertak. Fasaderna utgörs av glasalskivor behandlade med ett obrännbart ytskikt. (Olander, 2005b)

Kupolen och därmed även Gamla mässhallen ligger nära transportleder som trafikeras av farligt gods. På grund av detta har ytterväggarna till mässhallen förstärkts till brandklass EI30 (se bilaga A). Dessutom stängs ventilationen av vid antydan till svaveldioxid eller brandgaser i luften. (Olander, 2005b)

## 2.3 Brandcellsindelning

### 2.3.1 Köpcentret i stort

Vid konstruktionen av byggnaden har man valt att göra i stort sett hela byggnaden till en brandcell, med undantag för hotelldelen och kontorsdelen, som är egna brandceller utförda i EI60. Det finns även utrymningsvägar via korridorer från plan två ut mot det fria som utförts som egna brandceller. (Olander, 2005a)

### 2.3.2 Gamla mässhallen

Gamla mässhallen är indelad i två brandceller; dels en lokal där brandfarlig vara placerats och dels resterande del av Gamla mässhallen. Fläktrummet utgör inte en egen brandcell eftersom det tillhör den brandcell som den betjänar, det vill säga Gamla mässhallen. (Olander, 2005b)

### 3 Brandskyddstekniska system

I objektsbeskrivningen ges en översiktlig bild av Kupolen och de tekniska system som finns i köpcentrumet. Detta avsnitt skall ge en mer fördjupad insikt i de olika tekniska systemen.

#### 3.1 Sprinkler

I byggnaden är plan ett och två sprinklade i sin helhet förutom den gamla restaurangdelen på plan två. Plan tre är ej sprinklat med undantag för ytor med täta undertak som är större än 40 m<sup>2</sup>. För att förhindra brandgasspridning till hotell- och kontorsdelarna från plan tre har ridåsprinklers installerats på deras fasader som vätter mot köpcentrumsdelen. (Olander, 2005a)

Sprinklersystemet får vatten direkt från det kommunala vattennätet. Sprinklerna har en aktiveringstemperatur på 68°C och ett RTI-värde på 80 (ms)<sup>1/2</sup>. (Olander, 2005a)

#### 3.2 Brand- och utrymningslarm

Hela Kupolen, förutom hotell- och personalutrymmen, har ett utrymningslarm som aktiveras av ett branddetektionssystem. Detektionssystemet utgörs av vanliga brandgasdetektorer. Inom vissa delar av byggnaden finns även ett samplande detektionssystem anpassat för lokaler med högt belägna tak. Branddetektionssystemet påverkar eller ger signaler till utrymningslarm, ventilationssystem, brandgasventilation och SOS Alarm. Utrymningslarmet är ett programmerat ”talande” system i lokaler där allmänheten antas vara. I övriga delar larmas personer via sirener. (Olander, 2005a)

Branddetektionssystemet är kopplat till en driftstation, varifrån driftsingenjörer kan se vilken detektor som har utlösts. Brandlarmsystemet är utformat sådant att dess funktion kan säkerställas under minst 60 minuter vid strömavbrott. (Olander, 2005a)

All musik och annan ljudanläggning skall vid eventuellt utrymningslarm avbrytas. Enligt brandskyddsdokumentet är ljudnivån på utrymningslarmet minst 65db och minst 10db över omgivande ljudnivå. (Olander, 2005a)

#### 3.3 Naturlig brandgasventilation

Alla plan brandgasventileras via luckor i Kupolens topp och alla butikens ventilationssystem är försedda med brandspjäll för att förhindra brandgasspridning.

Vid aktivering av brandlarm öppnas luckor för termisk brandgasventilation och tilluftsöppningar i form av portar öppnas. Dessa är placerade allra högst upp i Kupolen.

Vid larm aktiveras även mekanisk ventilation. Då startas frånluftsfläktar och tilluftsöppningar i fasad öppnas.

I Gamla mässhallen finns det brandgasventilation installerad i form av brandgasluckor. När brandgasventilationen sätts igång öppnas entrédörrar automatiskt för att ge tilluft. Brandgasventilationen kan dels styras manuellt, men även automatiskt efter signal från *både* sprinkleranläggning och branddetektionssystemet. Brandgasventilationen i kundgata är försedd med 7,5 m<sup>2</sup> stora brandgasluckor. (Olander, 2005b)



Figur 3.1 Brandgasluckor i ariet och gamla mässhallen

### 3.4 Mekanisk brandgasventilation

I Kupolen är varje butiks ventilationssystem utrustat med brandgasspjäll. Man har även installerat två mekaniska brandgasfläktar som betjänar olika zoner. Vid ett larm stängs ventilationen av och brandgasfläktarna sätts igång. Brandgasfläktarna har en total kapacitet på 44000 m<sup>3</sup>/h och rökzon.

Vid detektering av brand händer följande:

- Luftbehandlingsaggregat stoppas
- Brandgasspjällen stängs i alla zoner
- Brandgasspjäll för rökevakueringsfläktar öppnas i den zon där branden blivit detekterad och brandgasfläktar startar
- Tilluftsöppningar, till exempel entreér, öppnas

Räddningstjänsten kan vid brand starta de två brandgasfläktarna manuellt om så erfordras.

### 3.6 Röskärmar, rökgardiner och brandjalusier

För att förhindra brandgasspridning vid eventuell brand har automatiska rökgardiner installerats på vissa platser, exempelvis mellan planen inom Åhlens samt runt trappa från entresol vid serveringsdelen på plan 1. Denna trappa är den enda utrymningsvägen från serveringsdelen. Gardinerna sänks ner automatiskt vid brandlarm men kan även sänkas och höjas manuellt. De är gjorda av ett mjukt material och är utformade för att förhindra brandgasspridning. För att förhindra att brandgaser tar sig ut från butiker till utanförliggande gångar, har alla butiker på plan 1 och 2 försetts med fasta röskärmar ovanför entrén. Röskärmarna är utformade som en glasskiva som är sänkt från undertaket och täcker en del av entrén. I ändarna av kundgatorna finns rökgardiner, vilka sänks ned en bit från taket vid detekterad brand. Brandjalusi finns placerad mellan lastgatan och kundgatan vid busshållplatsen på bottenplanet. Vid en eventuell brand vid busshållplatsen sänks brandjalusin och därmed försvåras avsevärt brand- och brandgasspridning in till övriga delar av Kupolen. Brandjalusierna är uppbyggda som ”rullgardiner” av metall.





*Figur 3.2 Rökgardin och röfskärm*

### **3.7 Anordning för manuell brandsläckning**

Kupolen är utrustad med inomhusbrandposter i en omfattning så att längsta avståndet till närmaste släckredskap aldrig överstiger 30 meter. Mindre och avskilda utrymmen är försedda med handbrandsläckare av typ ABC. Köken i restaurangerna är dessutom utrustade med handbrandsläckare av typ F, det vill säga fettbrandsläckare, en speciell typ av handbrandsläckare utformad för att effektivt släcka en brand i fetter. Skyltningen är utförd enligt AFS 1997:11 gällande släckutrustning (se bilaga B). (Olander, 2005)



## 4 Brandcellsskiljande byggnadsdelar

I detta avsnitt avses att ge grundläggande information gällande byggnadens brandceller, ytskikt, bärande konstruktioner kopplingen dem emellan.

Kupolens brandcellsskiljande byggnadsdelar är utförda i lägst brandteknisk klass EI60 (se även bilaga 1). I sprinklade utrymmen sänks kraven till EI30 då projektören har antagit att en övertändning ej kan ske i dessa lokaler. Trapphus och avskiljande utrymningsvägar är utförda i brandteknisk klass E30. Dörrar mellan brandceller är lägst utförda i klass EI60-C. (Olander, 2005a)

### 4.1 Invändiga ytskikt

#### 4.1.1 Utrymningsvägar, trapphus och butiker

Vad gäller utrymningsvägar och trapphus har konstruktören valt att utföra tak och väggar med ytskikt B-s1, d0 (klass I). Dessa ytskikt skall sitta på material av lägst klass A2-s1, d0 (obrännbart). Golvet i utrymningsvägarna och butikerna är utförda i klass D<sub>fl</sub>-s1 (klass G) men för sprinklade ytor ställs inte detta krav. (Olander, 2005a)

För butiker gäller samma krav på material och ytskikt samt golv som i utrymningsvägar och trapphus. Ytskiktet kan dock fästas på tändskyddande beklädnad. I sprinklade utrymmen kan väggarna väljas med ytskikt av klass D-s2, d0 (klass III). (Olander, 2005a)

#### 4.1.2 Storkök

I storkök har takytorna utförts i lägst klass B-s1, d0 (klass I), fästa på material i lägst klass A2-s1, d0 (obrännbart material). Ytskiktet kan även fästas på tändskyddande beklädnad. Väggarna utförs i klass C-s2, d0 (se även bilaga 1). (Olander, 2005a)

### 4.2 Bärande konstruktioner

Generellt gäller att bärverken skall vara utförda i klass R60. Entresol och dess vertikala bärverk utförs i klass R30. Samma krav gäller för trapplopp och trapplan. På de utvändiga trapporna ställs det dock inga brandtekniska krav. (Olander, 2005a)

### 4.3 Ventilationssystem

Ventilationssystemen är ett från- och tilluftssystem med värmeåtervinning. Då ventilationssystemet korsar en brandcellsgräns är kanalerna försedda med spjäll i täthetsklass 3. När rökdetektor i en kanal larmar, stoppas alla aggregat inom aktuell grupp av luftbehandlingssystem. (Olander, 2005a)



## 5 Simuleringshjälpmedel

De tekniska systemen har olika inverkan på de brandscenarier som studeras i rapporten. För att åskådliggöra detta samt studera de övriga effekterna av brandscenarierna har ett flertal olika simuleringsprogram använts. En simuleringsmodell för att beräkna utrymningstiden i de olika scenarierna har också använts. Nedan följer en beskrivning av de använda programmen.

### 5.1 DETACT-T2

För att kunna beräkna aktiveringstiden för butikernas sprinklersystem har datormodellen DETACT-T2 använts. Programmet kan även användas för beräkning av flera olika detektortyper och sprinklersystem. De indata som programmet behöver för att kunna utföra beräkningar är RTI-värdet, aktiveringstemperatur för detektorn, ursprunglig temperatur, temperaturökning, höjd till sprinklerhuvud samt avståndet dem emellan. (NIST, 2006)

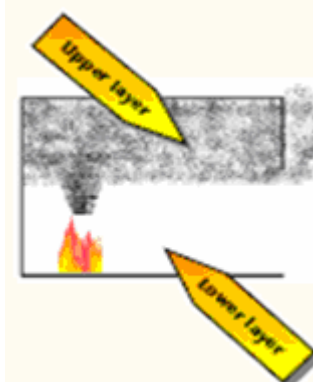
### 5.2 Argos

Argos är ett program framtaget för brandrisksevaluering. Programmet bygger på en tvåzonsmodell framtagen av DIFT, Danish Institute of Fire and Security Technology, samt de danska myndigheterna och försäkringsbolag. Som för de flesta zonmodeller har även Argos sina begränsningar:

- Massflödet från branden tas inte med i beräkningarna. Detta får till konsekvens att brandgaslagret sänks lite snabbare i verkligheten än i simuleringen men avvikelsen är så liten att detta kan försummas.
- Endast enkla geometrier, det vill säga rätblock, kan användas för simulering.
- Rumshöjden får ej överstiga 12-15 m.
- Mekanisk ventilation kan ej tas hänsyn till i beräkningarna.
- Beräkningarna förutsätter homogen temperatur för brandgaslagret.

(Hustedt, 2006)

En fördel med Argos jämfört med många andra beräkningsprogram är att man får ut mätdata direkt i grafer så att man snabbt får en överskådlig bild av brandscenariet.



Figur 5.1 Två-zons modell (Hustedt, 2006)

### 5.3 Simulex

För att beräkna utrymningstider används datorprogrammet Simulex, vilket använder CAD-ritningar för att skapa en tvådimensionell byggnad där utrymningsvägar kan utplaceras. Efter utplaceringen bestäms avståndskartor. Vid simulering antas ett visst antal människor vistas i byggnaden och man ser snabbt vilka vägar till utrymningsvägar som ger upphov till köbildning. Då Simulex har ett grafiskt gränssnitt är det mycket enkelt att erhålla ett

verklighetstroget scenario, särskilt då underlaget för byggnaden importeras via CAD-filer som har en hög detaljrikedom. Grafiskt gränssnitt i Simulex innebär att personen som hanterar programmet hela tiden ser vad som försiggår i lokalen som ska utrymmas.

Programmet Simulex har en del brister som kan påverka resultatet. Vid simuleringar tas ingen hänsyn till eventuella hinder, till exempel lösa inventarier i lokalen. Hur programmet väljer personers agerande och val av utrymningsväg kan vara en felkälla. Resultatet är också beroende av vilken eller vilka utgångar man väljer att ha öppna eller stängda.

*(Frantzich, 2006)*

## 6 Utrymning

Detta avsnitt avser att ge en bild av vad som krävs för att säker utrymning skall kunna genomföras. För att kunna se om lyckad utrymning är möjlig måste vissa kriterier angående utrymning uppfyllas. I följande avsnitt ges en presentation av vilka kriterier som skall uppfyllas.

I Kupolens butiker finns minst två av varandra oberoende utrymningsvägar (se bilaga F). Följande maximala gångavstånd finns på plan 1 och 2 enligt brandskyddsdocumentationen:

- Galleria i sprinklad centrumanläggning, butik i sprinklade lokaler, varuhus i sprinklade lokaler, restaurang i sprinklade lokaler och undervisningslokaler i sprinklade byggnad (40 meter).
- Butik, varuhus, restaurang och undervisningslokaler (30 meter)
- Installationsutrymme och fläktrum (45 meter)

I Gamla mässhallen går utrymningsvägarna aldrig igenom några andra lokaler utan dessa leder direkt till det fria. Eftersom lokalen är sprinklad uppfylls kraven på gångavstånd till närmast utrymningsväg på 45 meter även här.

Utrymningsvägarna har en minsta bredd på 0,9 m från personalutrymmen och dyligt. Vad gäller bredden på utrymningsvägar från lokaler där besökande antas vara, har dessa en minsta fri bredd på 1,2 meter. Utrymningsvägarna är utmärkta med genomlysta utrymningsskyltar. I korridorer, trapphus, butiker och butiksgator finns dessutom ledljus som skall vara till hjälp vid eventuell utrymning. Dessa eltekniska installationer är nödspänningsförsörjda. (Olander, 2005a)

### 6.1 Kritiska förhållanden

Då personsäkerheten i händelse av brand prioriteras, måste vissa krav ställas för att en säker utrymning ska ske. När kritiska förhållanden uppstår i en lokal är det farligt för människor att vistas i den. Med kritiska förhållanden menas gränsvärden då förhållandena i lokalen går från gynnsamma till ogynnsamma. För att bestämma tiden till kritiska förhållanden ansätts olika värden för de olika parametrarna nedan:

- **Temperatur:** Personer under utrymning bör maximalt utsättas för en temperatur på 80°C.
- **Strålning:** Personer under utrymning bör maximalt utsättas för en sammanlagd strålningsenergi på 60 kJ/m<sup>2</sup> utöver energin från en strålning på 1kW/ m<sup>2</sup>, alternativt den maximala strålningsintensiteten på 2,5 kW/ m<sup>2</sup>.
- **Brandgaslagrets höjd:** Höjden på brandgaslagret bör lägst ligga på höjden  $H_{\text{Brandgaslager}} = 1,6 + 0,1 \cdot H$  från den nivå där människor vistas (H är rumshöjden). Utrymning kan dock fortgå om brandgaslagrets kritiska höjd har uppnåtts förutsatt att kriterierna för övriga kritiska förhållanden ej har uppnåtts.
- **Sikt:** För att utrymning ska kunna fortgå krävs en siktbarhet på minst 10m.
- **Toxicitet:** Personer under utrymning får inte utsättas för skadliga doser av giftiga gaser eller för låg syrehalt. För säker utrymning måste halterna av kolmonoxid, koldioxid och syre vara följande: CO < 2000 ppm, CO<sub>2</sub> < 5%, O<sub>2</sub> > 15%. (Brandskyddshandboken, 2005)

Brandgasernas toxicitet kommer inte utredas vidare då de giftiga gaserna finns i brandgaserna, se resonemang om siktförhållanden i avsnitt 9.

## 6.2 Utrymningstid

Begreppet utrymningstid definieras av Boverket som den sammanlagda tiden av de tre olika tidsfaktorerna varseblivningstid, besluts- och reaktionstid samt förflyttningstid, där besluts- och reaktionstid är den svåraste faktorn att beräkna.

$$t_{\text{tillgänglig}} = t_{\text{kritiska förhållande}} - t_{\text{varseblivning}} - t_{\text{beslut+reaktion}} - t_{\text{förflyttning}}$$

- **Varseblivningstid** – den tid som det tar för en person att upptäcka en brand eller annat, som avviker från normala förhållanden. Denna tidsfaktor beror till stor del på byggnadens larmsystem. Om ett automatiskt brandlarm finns installerat och kopplat till ett utrymningslarm blir det relativt enkelt att beräkna varseblivningstiden. Denna typ av teknisk installation finns installerad i Kupolen.
- **Besluts- och reaktionstid** – den tid det tar för en person att verkligen förstå att det brinner, lyssna på utrymningslarm, hjälpa andra att utrymma samt att själv utrymma. Med andra ord den tid det tar för personen att bli varse branden till dess att han/hon börjar utrymma. Denna tidsfaktor går att minska om utrymningslarm är installerat, vilket är fallet i Kupolen.
- **Förflyttningstid** – den tid det tar för en person att utrymma byggnaden det brinner i. Denna tidsfaktor beror på hur personerna är spridda i byggnaden, antalet personer, hur mycket hjälp de behöver för att kunna utrymma samt förflyttningens förmåga. Denna faktor beräknas med hjälp av enklare ekvationer. (Boverket, 2004)



## 7 Val av Brandscenarier

För att göra en bedömning av huruvida personsäkerheten i byggnaden är acceptabel krävs att ett antal brandscenarier studeras i detalj. Dessa brandscenarier måste kunna betraktas som representativa för byggnaden i den meningen att om utrymning kan ske tillfredsställande då något av scenarierna inträffar är personsäkerheten i byggnaden tillfredsställande. I följande avsnitt redogörs för de brandscenarier som valts och varför de använts i beräkningar och simuleringar.

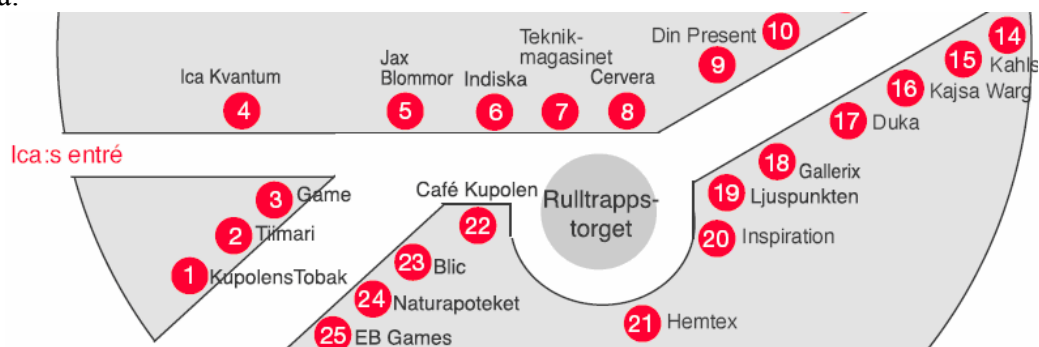
Studien lägger fokus på att evaluera personsäkerheten, d v s om kritiska förhållanden kommer att uppnås i brandlokalen innan utrymning kunnat ske. Det kommer också att studeras hur en brand i butik/er påverkar personsäkerheten vid andra butiker/våningsplan.

Vid besök på Kupolen uppkom en fråga från Räddningstjänsten Dala Mitt angående brandgasventilationen på Jula (Gamla mässhallen). Frågan var vad som kommer att hända med brandgaserna vid en brand i en närliggande butik om räddningstjänsten öppnar brandgasluckorna i Julabutiken.

### 7.1 Brandscenarier i Kupolen plan 1

På plan 1 av Kupolen inhyses 27 butiker och restauranger. Dessa ligger anslutna till en shoppinggata som i mitten är ansluten till ett rullbandstorg (se bild nedan). I Kupolen finns ett stort antal butiker med olika brandbelastningar. Då textilier och syntetmaterial ger ett snabbt brandförlopp med stor brandgasproduktion och hög effekt fokuseras utredningen på butiker med sådant innehåll. Detta gör att studien begränsas till två butiker. Syntetiska material är uppbyggda av plaster och de har en tendens till att droppa. Detta leder till en snabbare spridning av branden vilket kan påverka personsäkerheten negativt.

På plan 1 finns det två butiker som innehåller sådant material; Hemtex och Indiska. Brandgaser sprids lättast till nästa våningsplan via rullbandstorget. Även om utrymning från just plan 1 försvåras mest vid brand på Indiska, påverkas de övriga planen mer vid brand i Hemtex. På Hemtex är oftast varorna staplade ovanpå varandra, längs med väggarna. Detta ger optimala förhållanden för en brand att sprida sig och nå en hög effektutveckling. Denna snabba brandspridning med hög effektutveckling som följd gör att även temperaturen stiger och kritiska förhållanden nås snabbt. Eftersom konsekvenserna av en brand på Hemtex förmodligen skulle bli allvarligare än vid en brand på Indiska kommer endast ett brandförlopp på Hemtex att vidare studeras. Det som gör en brand i Hemtex allvarligare än en brand på Indiska beror till störst del på att mängden brännbart material på Hemtex är större än på Indiska.



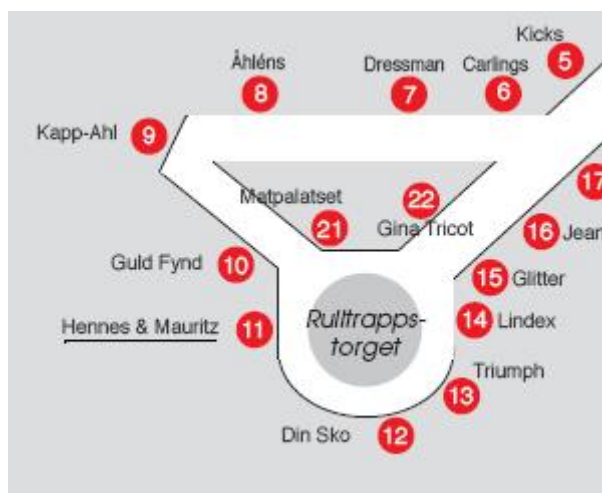
Figur 7.1 Placering av Hemtex. (Steen & Strøm Sverige AB, 2006)

Ica Kvantum ligger även det på plan 1. Även om butiken har en stor brandbelastning förutsätts besökarna ha bättre lokalkännedom i denna butik där inköp görs oftare än i t ex Hemtex. Butikens hyllplacering gör att butiken i sig är lätt att orientera sig i. Det kan dock hända att det finns personer med dålig lokalkännedom i butiken. Ett rimligt antagande är att personer med dålig lokalkännedom vid händelse av brand följer med folkströmmen. Följaktligen kommer ett fåtal personer med dålig lokalkännedom inte att spela någon större roll för scenariet.

Busshållplatsen ligger bakom en brandcellsgräns och det är därför osannolikt med en snabb brandgasspridning in till butiksområdet därifrån. En brand på Hemtex anses alltså representera den sämsta kombinationen av startposition och bränslemängd för en brand på plan 1. På grund av detta kommer endast detta brandscenario att studeras på detta plan.

## 7.2 Brandscenarier i Kupolen plan 2

Plan 2 inrymmer 22 butiker och restauranger som alla har entréer som mynnar till shoppinggator. Shoppinggatorna leder fram till rulltrappstorget. Rökutveckling på plan 2 i anslutning till rulltrappstorget bedöms få störst konsekvenser med avseende på personsäkerheten i byggnaden. Brandgaserna får då möjligheten att sprida sig vidare till plan 3. Med tanke på den stora volym som Kupolen rymmer är risken stor att brandgaserna kyls och sjunker till en nivå där människor vistas. De flesta butiker i shopping-gatorna är dock inte intressanta att studera, eftersom den direkta brandspridningen från dessa butiker till övriga våningsplan är högst osannolik. Däremot kommer ett möjligt brandscenario i H&M-butiken studeras, eftersom en hög effektutveckling kan nås här, då butiken innehåller en stor mängd textilier och syntetiska material som dessutom är tätt sammanpackade i klädställningar. De syntetiska materialen, som till största delen utgörs av polyester som är en plast, kan ge en hög toxicitet i brandgaserna. Klädställningarna står mycket tätt vilket gör att brandspridningen kan få ett snabbt förlopp. Dessutom är butiken inredd med hyllplan i trä och planscher i papp. Pappen i sig är mycket lättantändlig och är därför mycket farlig ur brandspridningssynpunkt eftersom antändning av pappen kan leda till ett snabbare brandförlopp och därmed minska utrymningstiden för besökarna. Butiken ligger dessutom i anslutning till rulltrappstorget.



Figur 7.2 Placering av H&M. (Steen & Strøm Sverige AB, 2006)

Med samma resonemang som vid valet av brandscenario på plan 1 dras slutsatsen att en brand på H&M utgör den sämsta kombinationen, ur utrymningssynpunkt, av brandens position och bränslemängd. På plan 2 studeras alltså enbart ett brandscenario som börjar på H&M. Vidare utgör de brandscenarier som studeras på plan 1 och 2 förmodligen ett allvarligare hot mot

personer som vistas på plan 3 eftersom brandgaser från dessa bränder lätt kan strömma upp på plan 3.

### 7.3 Brandscenarier i Kupolen plan 3

På plan 3 finns det 21 butiker, caféer och restauranger. Plan 3 har inget innertak i butiksytor och kundgator. På grund av utformningen av Kupolen är sprinkling av plan 3 inte möjlig, förutom i områden med innertak med en area på minst 40 m<sup>2</sup>. På grund av bristen på innertak har ett samplande rökdetektionssystem installerats.

Den största brandrisk som föreligger på plan 3 är i restaurangdelen med serveringsplan ovan restaurangen. Detta serveringsplan har endast en väg till utrymningsväg. Vägen till utrymningsväg har dock gjorts säkrare med hjälp av brandjalousier som fälls ner vid larm.

För att få en snabb spridning av brandgaser på plan 3 krävs att de inte stiger mot taket utan istället sprids horisontellt. Skall brandgaserna spridas horisontellt krävs att de har i stort sett samma temperatur som omgivningen. Detta kräver i sin tur att branden är liten eller att brandgaserna kyls kraftigt. Eftersom en liten brand producerar mindre mängder brandgaser hinner troligtvis personer i omgivningen utrymma innan kritiska förhållanden uppstår. Om branden är stor kommer brandgaserna ha en hög temperatur och därmed stor stigkraft och inte stanna kvar på plan 3. Kupolens volym är stor och det tar tid innan så mycket brandgaser producerats att brandgaslagret sänker sig ner mot plan 3. Detta medför att det förmodligen inte kommer att bli kritiska förhållanden på detta plan innan utrymning av Kupolen är avslutad.

Med stöd av ovanstående argument kommer inget brandscenario på plan 3 att vidare studeras.

### 7.4 Brandscenarier i Gamla mässhallen

Den gamla mässhallen består av 3 butiker och 1 restaurang. Gamla mässhallen upptas till största delen av en stor trä- och byggvaruhandel. I ett sådant utrymme kan en stor effektutveckling förväntas i händelse av brand. Även här är varorna i hyllorna tätt placerade vilket möjliggör en snabb spridning av branden. En del av butiken innehåller brand- och explosionsfarliga produkter. Denna del av butiken avskiljs vid brand med en brandjalusi. Utrymmet är dessutom utrustat med en skumspinkler. Som en del i brandskyddet har 10 brandgasluckor installerats. Dessa öppnas dock endast vid aktivering av både rökdetektor och sprinkler vilket kan göra att nyttan av brandgasluckorna i taket är liten. När sprinklersystemet aktiveras kyls brandgaserna av vattnet och de sjunker. Därför reduceras effekten av brandgasluckorna. Ytterligare ett problem kan uppstå i samband med en räddningsinsats om insatsledaren ger order om manuell öppning av brandgasluckorna. Konsekvenserna av detta agerande är idag okända vilket gör detta problem intressant att studera. En tänkbar konsekvens i gamla mässhallen är att brandgaser utanför butiken Julia (som ingår i gamla mässhallen) sprids in till Julia vid manuell öppning av alla brandgasluckor. Detta kommer inte att studeras som ett eget brandscenario utan kommer att studeras genom en diskussion. Denna diskussion återfinns i 8.6 De övriga butikerna i Gamla mässhallen har en ringa mängd brännbart material och en butiksstorlek som är liten i förhållande till Julia, och har därför inte studerats.

### 7.5 Ej studerade brandscenarier

Med stöd av de argument som förts fram i föregående avsnitt inriktar sig studerade brandscenarier på snabba brandförlopp och brandförlopp med hög effektutveckling nära rullbandstorget. Detta utgör en stor risk för spridning av brandgaser mellan våningsplanen och

innebär en stor risk för människorna som befinner sig där. Visserligen blir effektutveckling likvärdig i butiker med liknande materialprofil men brandgasspridning till övriga plan försvåras avsevärt på grund av avsaknad av atrieliknande konstruktion som den vid rullbandstorget. En brand vid shoppinggatan borde ge en begränsad brandgasspridning, dels på grund av de rökskärmar som finns vid entréerna till butikerna men även den långa väg som brandgaserna måste transporteras för att nå rullbandstorget och därmed också de ovanliggande planen. Därför har butiker som inte angränsar till rulltrapstorget inte studerats.

Vid musik- och andra arrangemang i rullbandstorget på plan 1 finns det risk att en brand utbryter i scenmaterial eller liknande som finns där tillfälligt. Detta scenario kan dock förmodligen representeras av scenariet med brand i Hemtex då liknande brandgasspridning till övriga plan fås.

Eventuella brandscenarier i hotelldelen och personaldelarna med tillhörande kontorslokaler har inte heller setts som prioriterade att bearbeta. Anledningen till att hotelldelen väljs bort, är att endast enstaka personer övernattar här, och personal- och kontorslokalerna avförs då personerna som vistas i dessa lokaler förväntas ha god kännedom om dessa utrymmen. I personalutrymmena och kontorslokalerna förväntas effektutvecklingen bli låg på grund av en luftig miljö med få inredningsdetaljer. Dessutom är dessa lokaler försedda med handbrandsläckare vilket ytterligare ökar möjligheterna att snabbt eliminera en brand.

Risken för att en brand vid busshållplatsen skall sprida sig in i byggnaden är också låg, eftersom slussen mellan bussen och Kupolen är utformad som en egen brandcell. Dörrarna till slussen öppnas endast då bussen anlant och står på avsedd plats. Mellan slussen och ingången till Kupolen finns även en brandjalusi installerat vilket ytterligare minskar intresset för det scenariet då spridningsrisken till Kupolen blir minimal.

### 7.6 Studerade brandscenarier

Några olika brandscenarier har således studerats. Urvalet av brandscenarier är gjort utifrån vilka brandscenarier som kan förväntas få extra svåra konsekvenser sett ur personsäkerhetssynpunkt. Scenarier som valts är:

- Brand i Hemtex på plan 1
- Brand i H&M på plan 2
- Brand i en butik vid Julia på plan 2 i gamla mässhallen

### 7.7 Tänkbara tändkällor

Tidpunkten då det absolut värsta tänkbara brandscenariokan inträffa är i december, eftersom persontätheten då är högre än normalt på grund av julhandel, mängden brännbart material i butikerna är något högre än vanligt samt tänkbara tändkällor i butikerna är fler under denna tid på året. Med tändkälla menas det som tillsammans med syre och bränsle ger upphov till brand.

De möjliga tändkällorna i butikerna blir fler under jultid och kan exempelvis vara:

- Elljusstakar. Lampan på staken kan uppnå mycket höga temperaturer vilket vid kontakt med brännbart material, t ex textilmaterial, kan utlösa en brand.
- Värmeljus. Skulle kunna vara en tändkälla om kläder eller dylikt läggs ovarsamt i närheten av flaman.

- Vanliga stearinljusstakar. Bristande varsamhet, placering av ljusstake samt bristande uppsikt när stearinljuset har brunnit ner till botten på ljusstaken.
- Elfel, dock ej julrelaterat.
- Trinettkök, kaffebryggare samt strykjärn i personalens kafferum skulle, om de hanteras på ett felaktigt sätt eller står på utan uppsikt, kunna innebära en betydande ökning av risken för att en brand ska uppstå.
- Anlagd brand. En av de vanligaste orsakerna till att brand uppstår.

Nedanstående diagram ger en översikt över de vanligaste orsakerna till brand i byggnader.

Brandorsak	Totalt	December	Julafton	Juldagen	Annandag jul	Nyårs- afton	Övriga dagar december	Nyårs dagen
00 Orsak ej angiven	26 725	2 891	101	121	106	156	2 407	225
01 Återantändning	1 052	90	5	4	1	2	78	10
02 Anlagd med uppsåt	10 989	1 059	24	45	44	70	876	73
03 Barns lek med eld	1 792	179	2	9	8	11	149	8
04 Glömd spis	8 929	711	18	10	14	22	647	20
05 Rökning	2 716	205	10	2	9	10	174	8
06 Levande ljus	3 001	1 577	82	47	48	42	1 358	57
07 Tekniskt fel	10 451	960	21	19	28	34	858	31
08 Blixtnedslag	1 078							
09 Fyrverkerier	559	180	8	2	7	71	92	177
10 Hantverkare	1 493	89		1	1		87	2
12 Explosion	421	47	2	4	1	1	39	1
13 Soteld	11 260	1 775	68	67	59	99	1 482	106
14 Värmeöverföring	8 123	860	40	25	29	40	726	52
15 Gnistor	3 832	325	11	16	10	7	281	12
16 Självantändning	2 016	182	6	3	3	5	165	7
30 Okänd	2	1					1	
91 Annan	6 745	695	20	22	29	29	595	46
Totals	101 184	11 826	418	397	397	599	10 015	835

Tabell 7.1 Vanligaste brandorsakerna i byggnader (Brand i byggnad 1996-2004). (Statens räddningsverk, 2006)

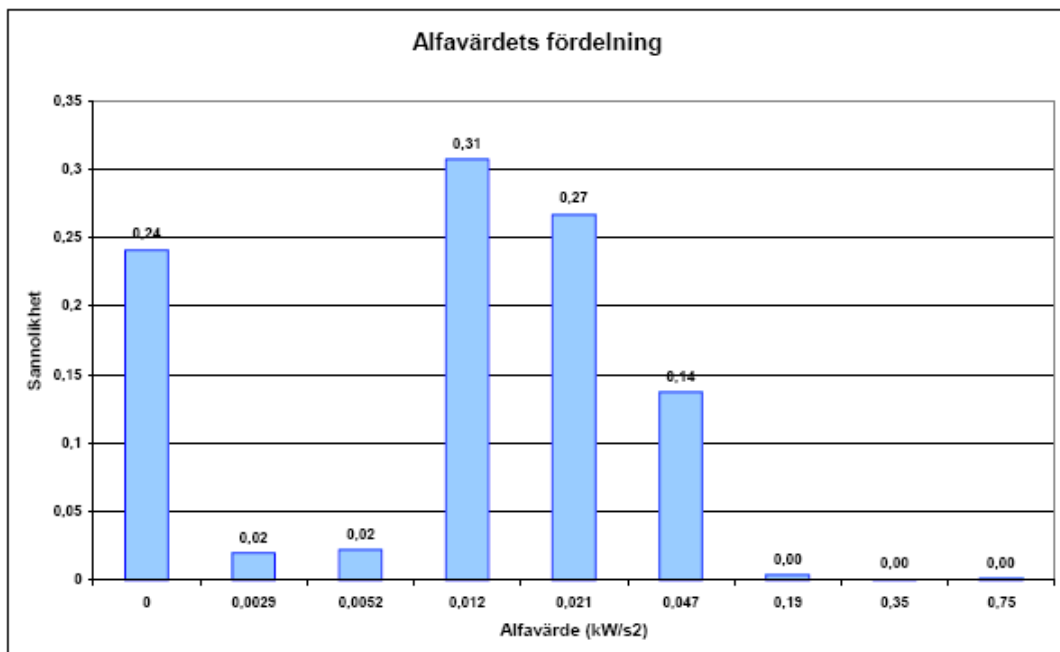
Denna tabell representerar bränder i alla typer av byggnader, det vill säga att brandorsaker i hemmiljöer också finns representerade. Faktum är att brandorsaken ”levande ljus” förmodligen är vanligast i hemmiljö men torde kunna utgöra en stor risk även i butiksmiljö under jultid. Författarna anser att denna tabell även är representerbar för butiksmiljöer då samma trend sannolikt uppstår där.

## 7.8 Dimensionerande brand

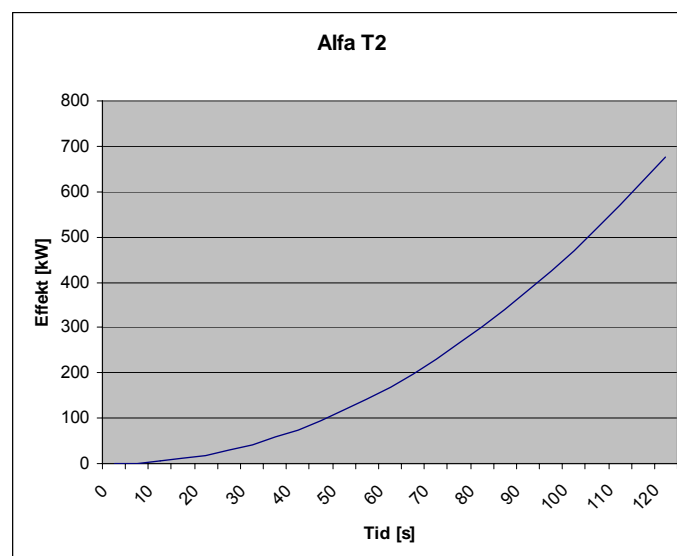
Som effektkurva för brandutvecklingen i Hemtex och H&M har en snabb alfaT2-kurva använts. En snabb alfaT2kurva har ett alfavärde på  $0,047 \text{ kW/s}^2$  och är en brandeffektkurva framtagen av NIST i USA. Enligt figur 7.1 finns det tre troliga värden på alfa i butiksmiljö, där snabb,  $\alpha = 0,047 \text{ kW/s}^2$ , beskriver den snabbaste effektutvecklingen.

Det förmodade brandförloppet borde vara uppdelat i etapper, det vill säga att branden börjar i ett föremål som brinner ett tag och sedan sprider sig. Startföremålets brand och därmed dess effektutveckling borde minska när det brännbara materialet minskar. Alltså fås en etappuppbyggd effektutveckling med en lägre maximal effektutveckling.

Ett konservativt antagande är därför att branden tillväxer enligt en snabb alfa T2-kurva med  $\alpha = 0,047 \text{ kW/s}^2$ .



Figur 7.1 (Angerd, 1999)



Figur 7.2 Allmänt utseende på en snabb alfa-T2 kurva

## 8 Brandscenarier

I föregående avsnitt presenterades de tre brandscenarier som skall studeras. I detta avsnitt utvärderas varje scenario genom att variera förutsättningarna, till exempel varieras antalet tillgängliga utrymningsvägar (vissa utrymningsvägar kan vara blockerade). Genom att variera scenariernas förutsättningar fås även en uppfattning om vilka parametrar som påverkar utrymnings säkerheten mest på ett negativt sätt. I detta avsnitt kommer nedanstående scenarier studeras:

- Brand i Hemtex utan sprinkleraktivering
- Brand i Hemtex med sprinkleraktivering
- Brand i H&M utan sprinkleraktivering
- Brand i H&M med sprinkleraktivering
- Brandgasspridning utanför Hemtex och H&M vid brand
- Gamla Mässhallen, Jula
- Utrymning av Hemtex och H&M
- Utrymning av Kupolen som helhet

### 8.1 Brand i Hemtex utan sprinkleraktivering

#### 8.1.1 Förutsättningar

Hemtex är en heminredningsbutik som specialiserar sig på kuddar, täcken och dylikt och en brand i denna butik får troligtvis ett snabbt förlopp. Därför är det viktigt med en snabb utrymning av butiken. Hemtex har tre vägar till utrymningsväg. I följande scenarier kommer det att antas att någon eller några av vägarna till utrymningsväg är blockerade, vilket ger en längre utrymningstid.

Tiden innan kritiska förhållanden uppnås beror till stor del av effektutvecklingen. Men de aktiva systemen i butiken har också stor betydelse för när kritiska förhållanden uppnås. Hemtex aktiva system består av sprinkler och mekanisk brandgasventilation.

Hela butiken har ett nedsänkt tak och är sprinklad i sin helhet.

I alla scenarier antas det att brandgasfläkten inte fungerar. Om det i analysen visar sig att alla människor hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår då den mekaniska brandgasventilationen inte fungerar, kommer med största sannolikhet inte heller någon att utsättas för kritiska förhållanden då den fungerar. Eftersom den mekaniska brandgasventilationen har ett volymflöde på 11 m<sup>3</sup>/s kommer brandgaslagret förmodligen att sjunka med lägre hastighet om den mekaniska brandgasventilationen fungerar och tiden till kritiska förhållanden förlängs.



*Figur 8.1 Antagen brandplacering i Hemtex*

Det antas att branden börjar i en hylla med kuddar på Hemtex. Detta scenario förutsätter att sprinklersystemet inte fungerar och att branden därmed tillväxer med en snabb alfa-t2-kurva med en teoretiskt maximal effekt på 30 MW. Denna effekt uppnås efter 13 minuter, se bilaga D. En effekt på 30 MW är väldigt mycket och inte särskilt trolig.

De brandgaser som bildas antas lämna Hemtex via öppning ut mot rullbandstorget som också representerar eventuella springor och läckor samt andra otätheter i butiken. Vid en verklig brand skulle sprickor i byggnationen kunna leda till direkt brandgasspridning till intilliggande butiker. Med direkt brandgasspridning menas att brandgaserna inte sprids via korridor eller större öppningar, utan via de avskiljande väggarna butikerna emellan eller via innertakskonstruktion.

Då den volym som ingången på Hemtex mynnar ut i är väldigt stor, antas i beräkningarna att brandgaserna inte läcker ut i ett rum utan ut i det fria.

Vid beräkning av siktförhållanden antas att alla brandgaser blandas väl i lokalen.

I alla beräkningar skall det tydliggöras att två typer av scenarier studeras. Dels en tvåzonsmodellsliknande brand samt ett fall med väl omblandade brandgaser. Detta görs eftersom ”verkligheten” borde ligga någonstans mitt emellan dessa två fall.

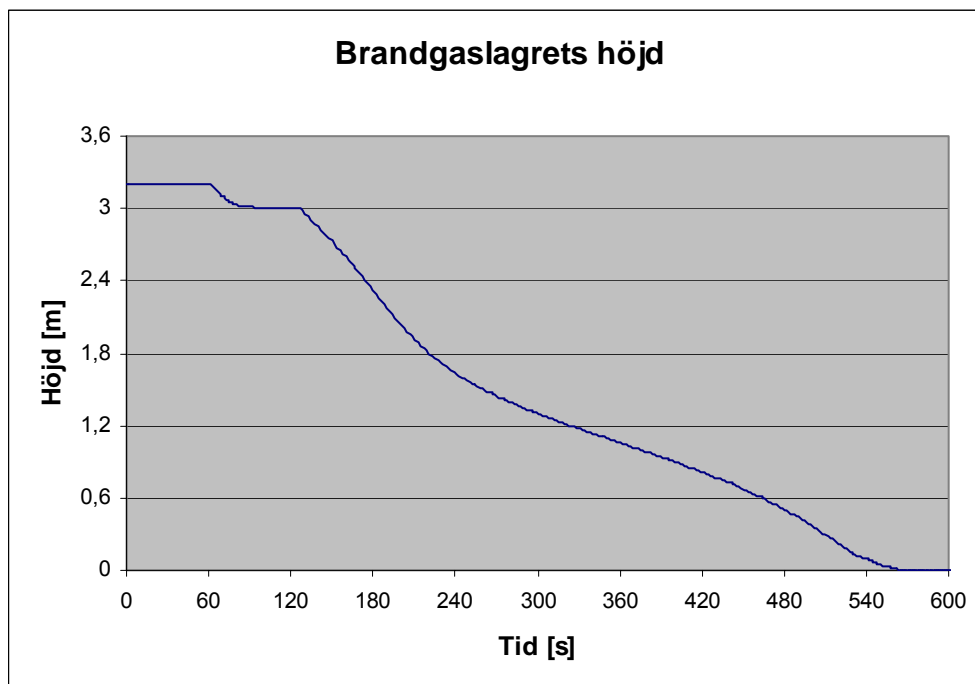
### 8.1.2 Resultat

Då inga system används för att begränsa branden blir effektutvecklingen, som förväntat, mycket hög.

Efter cirka 3,5 minuter har brandgaslagret nått den kritiska höjden 1,8 m. Strålningsintensiteten når den kritiska nivån  $2,5 \text{ kW/m}^2$  efter drygt 4 minuter. Sikten i rummet understiger 10m efter lite mer än en minut under antagandet att alla brandgaser momentant blandas väl i rummet. ”Verkligheten” borde i detta fall ligga närmare tvåzonsmodellen eftersom brandens effekt är hög och ger höga temperaturer i brandgaserna så att skitning



uppstår. Därmed blir siktförhållandena troligen inte kritiska så snabbt. Resultat och beräkningar redovisas mer utförligt i bilaga C och D.



Figur 8.2 Brandgaslagrets genomsnittliga höjd i lokalen

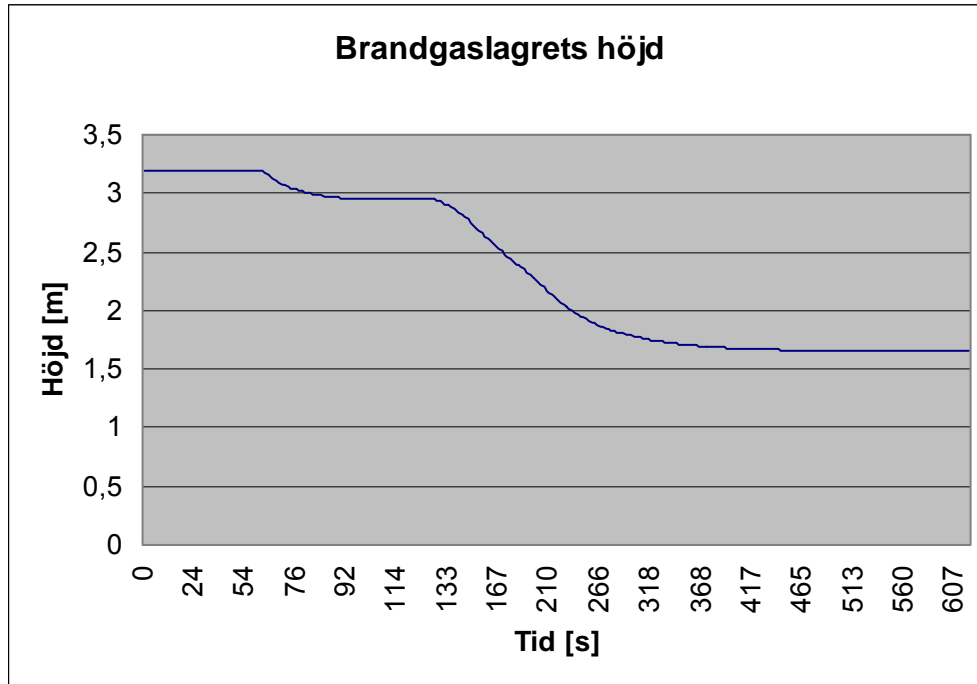
## 8.2 Brand i Hemtex med sprinkleraktivering

### 8.2.1 Förutsättningar

Förutsättningar för detta scenario är samma som ovanstående fall med tillägget att sprinklersystemet antas fungera korrekt. Beräkning med DETACT-T2 (se bilaga C) ger en sprinkleraktiveringstid på 2,3 minuter. Sprinklern antas kontrollera branden efter aktivering, vilket innebär att brandens maximala effektutveckling blir cirka 1 MW, se bilaga D. Det antas att ett brandgaslager bildas för att möjliggöra beräkningar med tvåzonsmodell. Vid sprinkleraktivering skapas ett turbulent luft/brandgasflöde i lokalen och brandgaserna kan då blandas med luften i lokalen, detta kallas "ett väl omblandat fall" och behandlas till viss del i avsnitt 8.3

### 8.2.2 Resultat

Efter cirka 4 minuter har brandgaslagret sjunkit till 1,8 m över golvnivå. Den maximala strålningsintensiteten blir  $1,1 \text{ kW/m}^2$  och maximala medeltemperaturen i butiken blir  $65^\circ\text{C}$  vilket klart understiger nivåerna för kritiska förhållanden. Sikten i rummet understiger 10m efter lite mer än en minut under antagandet att alla brandgaser momentant blandas väl i rummet. "Verkligheten" borde i detta fall ligga närmare tvåzonsmodellen eftersom brandens effekt är relativt hög och ger höga temperaturer i brandgaserna så att skitning uppstår. När sprinkler aktiveras blir luftflödena i rummet, främst lokalt runt branden, turbulenta och kritiska siktförhållanden vid branden kan då uppstå. Siktförhållanden blir troligen inte kritiska så snabbt i hela lokalen. Brandgaserna blir i allmänhet mindre farliga när en sprinkler begränsar branden och de kritiska förhållanden blir därmed mindre kritiska. Resultat och beräkningar redovisas mer utförligt i bilaga C och D.



Figur 8.3 Brandgaslagrets genomsnittliga höjd i lokalen

## 8.3 Brand i H&M utan sprinkleraktivering

### 8.3.1 Förutsättningar

H&M är en klädbutikskedja som de senaste åren expanderat och nått en världsomfattande marknad. Hela butikens area är sprinklad. Personalen på H&M är brandutbildade vilket ökar chanserna för en lyckad och mer säker utrymning.

Eftersom den mekaniska brandgasventilationen har ett volymflöde på  $11 \text{ m}^3/\text{s}$  kommer brandgaslagret förmodligen att sjunka med lägre hastighet om den mekaniska brandgasventilationen fungerar. För att kunna studera ett så kallat "Worst case scenario" tas ingen hänsyn till brandgasfläkten då detta ger ett konservativt resultat till beräkningarna, det vill säga att man utsätter människorna i brandlokalerna för större risker än om alla system fungerade som de skulle.



Figur 8.4 Antagen brandplacering i H&M

I detta scenario antas det att branden börjar i en klädställning och att branden tillväxer med en snabb alfa-t2-kurva. Det förutsättes att butikens sprinklersystem inte fungerar.

De brandgaser som bildas antas lämna H&M via öppningen ut mot rullbandstorget vilken därför representerar eventuella springor och läckor samt andra otätheter i butiken. Vid en verklig brand skulle sprickor i byggnationen kunna leda till direkt brandgasspridning till intilliggande butiker.

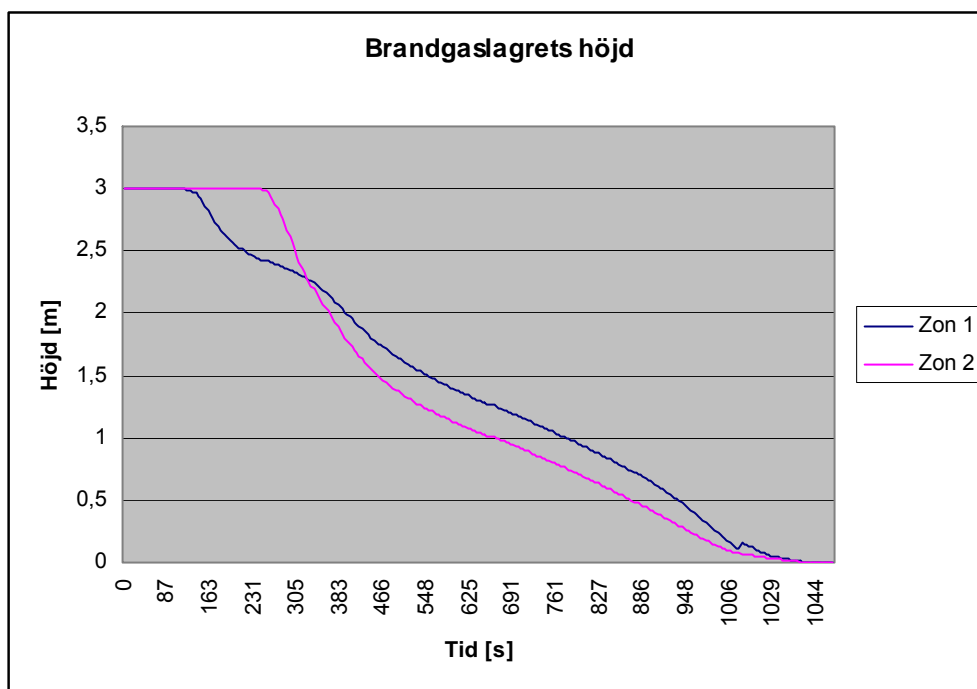
Då den volym som brandgaserna mynnar ut i är stor antas i beräkningarna att brandgaserna inte mynnar ut i ett rum utan i det fria.

### 8.3.2 Resultat

Effektutvecklingen blir som förväntat mycket hög då inga system används för att begränsa branden i detta scenario.

Efter ca 5 minuter har brandgaslagret nått den kritiska höjden 1,8 m. Strålningsintensiteten når  $2,5 \text{ kW/m}^2$  efter 7,5 minuter. Sikten i rummet understiger 10m efter lite mer än två minuter under antagandet att alla brandgaser momentant blandas väl i rummet.

”Verkligheten” borde i detta fall ligga närmare tvåzonsmodellen eftersom brandens effekt är hög och ger höga temperaturer i brandgaserna så att skitning uppstår. Därmed blir siktförhållandena troligen inte kritiska så snabbt. Resultat och beräkningar redovisas mer utförligt i bilaga C och D.



Figur 8.5 Brandgaslagrets genomsnittliga höjd i zonerna i lokalen

## 8.4 Brand i H&M med sprinkleraktivering

### 8.4.1 Förutsättningar

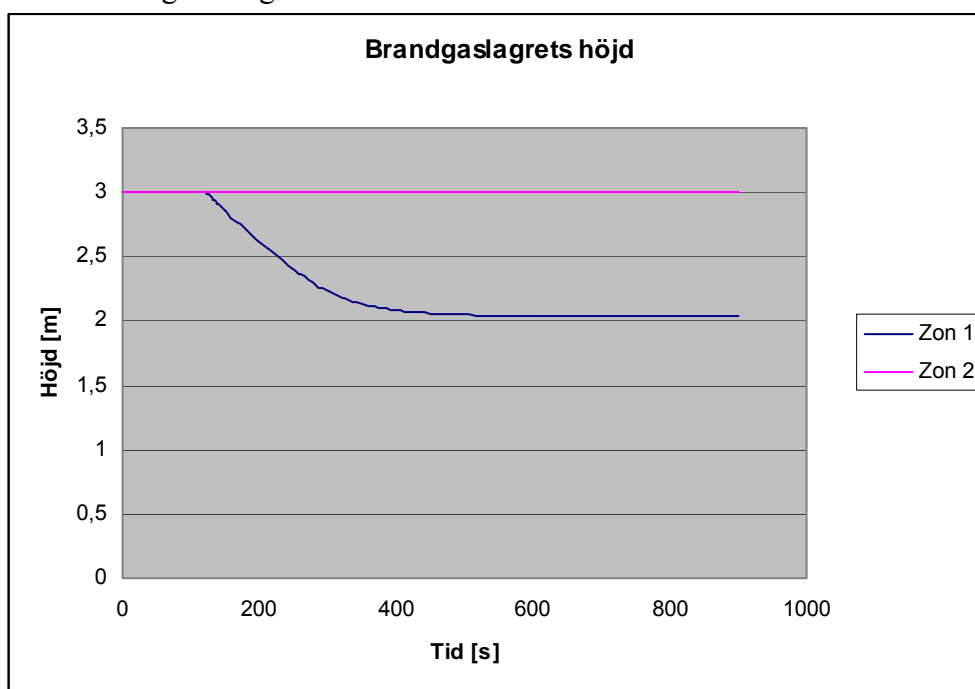
Förutsättningar för detta scenario är samma som ovanstående fall med tillägget att sprinklersystemet antas fungera korrekt. Beräkning med DETACT-T2 (se bilaga C) ger en

sprinkleraktiveringstid på 2,3 minuter. Sprinklern antas kontrollera branden efter aktivering, vilket innebär att brandens maximala effektutveckling blir cirka 1 MW.

Det antas att ett brandgaslager bildas för att möjliggöra beräkningar med tvåzonsmodell. Vid sprinkleraktivering skapas ett turbulent luft/brandgasflöde i lokalen och brandgaserna kan då blandas med luften i lokalen, detta kallas ”ett väl omblandat fall” och behandlas till viss del i avsnitt 8.5.

#### 8.4.2 Resultat

Kritiska förhållanden, vad gäller brandgaslagrets höjd i förhållande till golvet, kommer aldrig att uppnås då höjden mellan golvet och brandgaslagret aldrig understiger 2,0 m. Den maximala strålningsintensiteten uppgår till  $0,6 \text{ kW/m}^2$ . Den genomsnittliga temperaturen i butiken kommer som mest att nå upp till  $35^\circ\text{C}$ . Sikten i rummet understiger 10m efter lite mer än två minuter under antagandet att alla brandgaser momentant blandas väl i rummet. ”Verkligheten” borde i detta fall ligga närmare tvåzonsmodellen eftersom brandens effekt är relativt hög och ger höga temperaturer i brandgaserna så att skitning uppstår. När sprinkler aktiverar blir luftflödena i rummet, främst lokalt runt branden, turbulenta och kritiska siktförhållanden vid branden kan då uppstå. Siktförhållandena blir troligen inte kritiska så snabbt i hela lokalen. Brandgaserna blir i allmänhet mindre farliga när en sprinkler begränsar branden och de kritiska förhållandena blir därmed mindre kritiska. Resultat och beräkningar redovisas mer utförligt i bilaga C och D.



Figur 8.6 Brandgaslagrets genomsnittliga höjd i zonerna i lokalen

## 8.5 Brandgasspridning utanför Hemtex och H&M vid brand

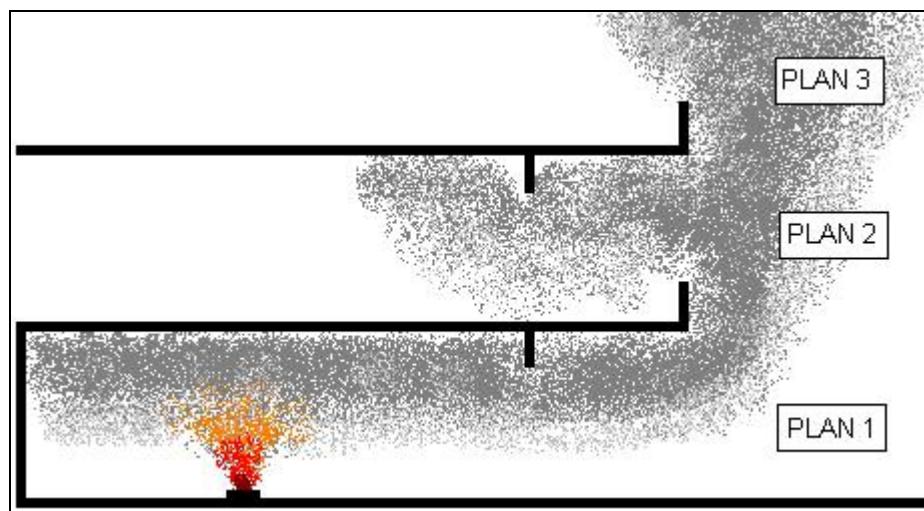
Vad gäller brandgasspridning utanför respektive butik finns det två extremfall, antingen sker en skiktning i två zoner med varma brandgaser närmast taket eller så blir brandgaserna väl omblandade med luften i butiken.

### 8.5.1 Förutsättningar

#### *Tvåzonsmodell*

Om det vid brand i butiken bildas ett varmt brandgaslager i övre delen av lokalen kommer det, då brandgaslagret sänker sig mot golvet, att efter några minuter börja läcka ut ur butiken. Så länge brandgaserna är varmare än den omgivande luften stiger de uppåt genom rullbandstorget och drar på vägen in mer och mer luft i den balkongplym som bildas. Temperaturen i brandgaserna sänks ju mer luft som sugas in i dem och dess stigmatkraft minskar. Då luftvolymen och takhöjden (25 m) ovanför plan 3 är stor är sannolikheten stor att brandgaserna kallnar till rumstemperatur, på grund av den ansenliga luftinblandningen då de stiger mot taket, och därefter sjunker ner mot golvet på plan 3.

Sannolikheten är även stor att brandgaserna i balkongplymen till viss del även sprider sig in under taket och vidare in i kundgatorna på plan 2. På grund av att det saknas takkonstruktion mellan plan 3 och Kupolens yttertaket kommer endast en mindre del av brandgaserna stanna på plan 3 och istället stiga upp mot yttertaket, se figur 8.7.



Figur 8.7 Möjlig brandgasspridning från butik till rullbandstorget

Det är mycket svårt och komplicerat att beräkna den tid det tar för de uppstigande brandgaserna att kylas av och därefter sjunka ner mot golvet på plan 3. För att beräkna detta är tvåzonsmodellen otillräcklig och det krävs istället beräkningar i ett CFD-program. Inom kursens tidsramar fanns inte utrymme för att dels lära sig programmet och dels att utföra beräkningar då den enorma storleken och komplexiteten på byggnaden skulle göra en simulering väldigt tidskrävande.

Efter konsultation med Daniel Gojkovic, lärare på brandteknik vid Lunds tekniska högskola, avfärdades handberäkningsmetoder för detta specifika fall eftersom korrelationer för detta saknas. Av samma anledning beräknas ej heller mängden brandgaser som tar sig in på plan 2. Det går i och för sig att beräkna hur mycket brandgaser som stiger upp i plymen i atriet men

den mängd gaser som strömmar in på de olika planen är inte möjlig att ta reda på med handberäkningar.

Hur brandgasspridningen i detta scenario påverkar utrymningssäkerheten blir osäkert och behöver utredas ytterligare, vilket dock inte är möjligt inom ramarna för denna kurs.

#### *Det väl omblandade fallet*

När ingen skiktning av brandgaserna sker antas dess temperatur vara lika i hela butiken. Detta fenomen inträffar då brandens effektutveckling är så pass liten att inga stora temperaturvariationer mellan brandgaserna och den omgivande luften uppstår. Turbulenta lufrörelser, som till exempel förekommer när sprinkler har aktiverats, kan omöjliggöra en bildning av ett varmt brandgaslager i den övre delen av lokalen även om brandens effektutveckling är hög. Brandgasernas temperatur kommer då att vara betydligt lägre än den höga temperatur som nås i brandgaslagret då skiktning sker.

Det är möjligt att beräkna volymen brandgaser som kommer ut ur butiken vid det väl omblandade fallet. Antar man att denna volym brandgaser sprider sig till andra eller tredje våningen, och där svalnar till rumstemperatur, kan de därifrån spridas horisontellt längs kundgatorna då mer brandgaser matas på underifrån. Mindre sannolikt, men ändå inte otroligt, är att brandgaserna kyls tillräckligt mycket när de lämnar den aktuella butiken för att stanna på samma plan och då sprida sig in i kundgatorna på detta plan.

### 8.5.2 Resultat Hemtex

Vid sprinkleraktivering nås efter 5 minuter en maximal medeltemperatur på 55°C i lokalen och brandgasflödet ut genom öppningen mot rullbandstorget blir då 5,3 m<sup>3</sup>/s. Det tar cirka 7 minuter att fylla det cirkulära rullbandstorget på plan 1, förutsatt att temperaturen i butiksöppningen är konstant 55°C, innan spridning sker in i kundgatorna. Den totala tiden innan brandgaser börjar spridas in i kundgatorna blir då, om man antar att medeltemperaturen blir 55°C så fort sprinkler aktiveras, 2,3 + 7 minuter = cirka 9,5 minuter. Liknande resultat fås vid antagandet att brandgaserna stiger till plan 2 eller 3. Tiden för att fylla rullbandstorgsområdet för plan 2 och 3 blir cirka 8,5 respektive 8 minuter. I dessa beräkningar har volymen utanför butiken, det vill säga rullbandstorget, antagits vara utformad som en cylinder. Resultat och beräkningar redovisas mer utförligt i bilaga C och D.

### 8.5.3 Resultat H&M

Vid sprinkleraktivering nås efter 8 minuter en maximal medeltemperatur på 35°C i lokalen och brandgasflödet ut genom öppningen mot rullbandstorget blir då 8,5 m<sup>3</sup>/s. Det tar cirka 4 minuter att fylla det cirkulära rullbandstorget på plan 2, förutsatt att temperaturen i butiken är konstant 35°C, innan spridning sker in i kundgatorna. Den totala tiden innan brandgaser börjar spridas in i kundgatorna blir då, om man antar att medeltemperaturen blir 35°C så fort sprinkler aktiveras, 2,3 + 4 minuter = cirka 6,5 minuter. Tiden för att fylla rullbandstorgsområdet för plan 3 blir cirka 6 minuter. Resultat och beräkningar redovisas mer utförligt i bilaga C och D.

## 8.6 Gamla mässhallen, Julia

För att besvara Dala mitts räddningstjänst angående deras frågeställning beträffande Julia följer här en diskussion.

Vad kommer att hända med brandgaserna vid en brand i en närliggande butik om räddningstjänsten öppnar brandgasluckorna i Julabutiken?

För att brandgaserna ska spridas från rulltrappsområdet in till Julia måste brandgaslagret sjunka ner under butikens övre öppningskant. Detta kan ske på två olika sätt: Antingen blir det så pass mycket brandgaser i rulltrappsområdet att tjockleken på brandgaslagret blir så tjockt att brandgaser strömmar in i Julia. Det andra alternativet är att sprinklern blandar ut brandgaserna i rulltrappsområdet och ett väl omblandat fall fås. Om brandgasluckorna i både Julia och området utanför öppnas kommer brandgaserna aldrig att kunna sjunka så lågt att de har en möjlighet att strömma in i Julia. Brandgaserna kommer att lämna Kupolen via brandgasluckorna belägna utanför Julia. Skulle däremot sprinklerna aktiveras och därmed skapa ett omblandat fall öppnas luckorna i området utanför Julia automatiskt. Väljer man att öppna alla brandgasluckor manuellt, det vill säga även de inne på Julia, kan en del av brandgaserna i området utanför Julia komma in i butiken. Är brandgaserna väldigt varma kommer de att lämna byggnaden via Julas brandgasluckor.

Alltså är risken för brandgasspridning väldigt låg såvida sprinklerna utanför Julia inte har aktiverats.

## 8.7 Utrymning av Hemtex och H&M

### 8.7.1 Hemtex

#### *Förutsättningar*

Butiksytan i Hemtex är ca 400 kvadratmeter stor. Här har scenariot valts att äga rum under julrushen, det vill säga någon dag mellan jul och nyår. Detta på grund av att besöksintensiteten är störst inom handeln just under de dagarna. Med hjälp av information som fås av Håkan Fransich antas att persontätheten är 0,5 personer/m<sup>2</sup>. Detta ger i sin tur att maximalt 200 personer vistas samtidigt i butiken under rusningstid. I lokalen finns det tre utrymningsvägar varav den ena är ingången. De andra två är markerade med belysta skyltar. Lokalen är inte så stor, därför antas det att det inte kommer att vara större problem för besökarna att hitta en utrymningsväg vid larm.

Beslut- och reaktionstider för personer i varuhus har valts till 60 sekunder i (Boverket, 2004). Den tid det tar för branddetektionssystemet att upptäcka branden är cirka 1 minut, se bilaga C. De tider som presenteras nedan är den totala tiden det tar att utrymma lokalen, från brandens start till fullständig utrymning av lokalen, se avsnitt 6.2.

Om branden blockerar ingången är det under de första minuterna fortfarande möjligt att utrymma genom ingången på grund av dess bredd, det har dock inte modellerats i simuleringarna.

Utrymning har simulerats som 5 olika scenarier.

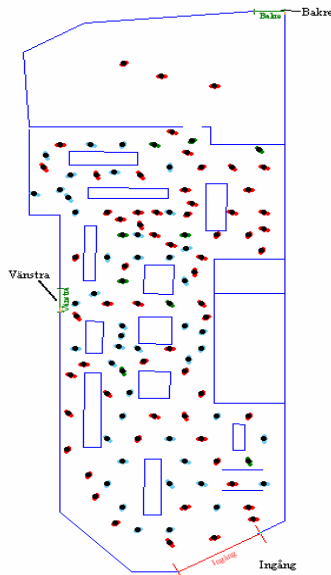
1. Branden nära ingången med fria bakre utvägar.
2. Branden nära ingången med den vänstra utvägen blockerad
3. Branden nära ingången med den bakre utvägen blockerad
4. Brand långt från utrymningsvägar och ingång.
5. Brand långt från utrymningsvägar och ingång, 70% av personerna väljer att utrymma samma väg de kom in.

**Resultat**

Genom simuleringen kunde en tid på 3,5 minuter erhållas för utrymning av hela lokalen vid branddetektion. Detta gäller där människor väljer att gå till den närmaste väg till utrymningsvägen. De flesta människor har i verkligheten en tendens till att utrymma genom den väg de kommit in genom. Om man antar att 70 % av personerna i lokalen väljer att utrymma genom ingången, och resterande genom de andra vägarna till utrymningsvägar fås det en tid på 2,5 min genom simuleringen.

Scenario	Tid för utrymning av 200 personer [minuter]
Blockerad ingång	4,0
Blockerad ingång och bakre utrymningsväg	4,5
Blockerad ingång och vänstra utrymningsväg	6,0
Inga blockerade vägar ut ur butiken	3,5
Inga blockerade vägar ut ur butiken och 70 % väljer samma väg de kom in genom	2,5

Tabell 8.1 Utrymningstider. De tider som är gråmarkerade överstiger tiden till kritiskaförhållanden, 3,5 minuter i 8.1.2 och 8.2.2, de övriga understiger densamma.



Figur 8.8 De tre olika utgångarna i Hemtex



## 8.7.2 H&M

### *Förutsättningar*

I en så pass stor lokal som H&M är det svårt för alla besökare att upptäcka en eventuell brand samtidigt. Även om brandlarmet aktiveras kan det vara svårt för människor att direkt associera brandlarmssignalen med fara, i synnerhet för människor som ej är i närheten av den direkta faran. Den förmodat höga ljudnivå som kan uppnås med många besökare, kan leda till att reaktionstiden ökar. Detta gör att varseblivningstiden kan bli lång. Det talande utrymningslarm som är installerat i Kupolen kan förhoppningsvis reducera varseblivningstiden. När utrymningen väl sker väljer många besökare att gå ut samma väg de kom in.

I likhet med 8.7.1 har scenariot valts att äga rum under någon av mellandagarna. Det antas att det vistas cirka 800 personer samtidigt under rusningstid i butiken, vilket är ett konservativt antagande.

Det finns tre vägar till utrymningsvägar från H&M där den ena är ingången. De två andra vägarna finns i den bakre delen av lokalen och leder direkt ut i det fria.

Beslut- och reaktionstider för personer i varuhus har valts till 60 sekunder i (Boverket, 2004). Den tid det tar för branddetektionssystemet att upptäcka branden är cirka 1 minut, se bilaga C. De tider som presenteras nedan är den totala tiden det tar att utrymma lokalen, från brandens start till fullständig utrymning av lokalen, se avsnitt 6.2.

Utrymning har simulerats som 5 olika scenarier.

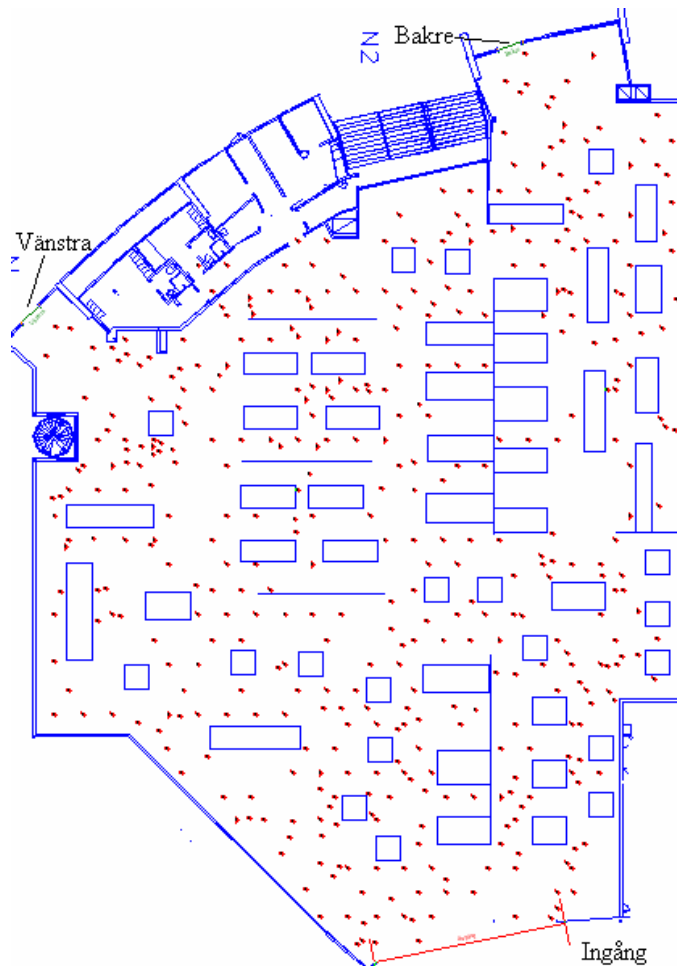
1. Branden nära ingången med fria bakre utvägar.
2. Branden nära ingången med den vänstra utvägen blockerad
3. Branden nära ingången med den bakre utvägen blockerad
4. Brand långt från utrymningsvägar och ingång.
5. Brand långt från utrymningsvägar och ingång, 70% av personerna väljer att utrymma samma väg de kom in.

**Resultat**

I det normala fallet där inga vägar till utrymningsvägar är blockerade fås en tid på ca 4 minuter att utrymma lokalen. Det måste dock poängteras att i simuleringen har det antagits att människorna väljer den närmaste vägen till utrymningsväg vid larm. Detta medför att det bildas små köer vid de bakre utrymningsvägarna. Om man antar att 70 % av människorna väljer att utrymma genom ingången, skulle utrymningstiden i detta fall bli 3,5 minuter eftersom köbildningen minskar vid de bakre utrymningsvägarna. Detta förutsätter självklart att branden inte är placerad på så sätt att ingången blir blockerad.

Scenario	Tid för utrymning av 800 personer [minuter]
Blockerad ingång	6,0
Blockerad ingång och bakre utrymningsväg	7,0
Blockerad ingång och vänstra utrymningsväg	10,0
Inga blockerade vägar ut ur butiken	4,0
Inga blockerade vägar ut ur butiken och 70 % väljer samma väg de kom in genom	3,5

Tabell 8.2 Utrymningstider. De tider som är gråmarkerade i tabellen överstiger tiden tillkritiska förhållanden, 5 minuter i 8.3.2 och 8.4.2, de övriga understiger densamma.



Figur 8.9 De tre olika utgångarna i H&M

## 8.8 Utrymning av Kupolen som helhet

Då underlaget för utrymningssimulering var svårarbetat har handberäkningar använts vid framtagande av förflyttningstider för Kupolen som helhet. Handberäkningarna återfinns i bilaga D. I beräkningarna har det antagits att persontätheten är 0,5 personer/m<sup>2</sup> i både kundgatorna och butikerna.

	Total utrymningstid [minuter]
Plan 1	5,5
Plan 2	7,8
Plan 3	9,7
Hela Kupolen	9,7

Tabell 8.3

### Total utrymningstid för butiker närmast rullbandstorget

Plan 3		Plan 2		Plan 1	
Butik nr	Total Utrymningstid [minuter]	Butik nr	Total Utrymningstid [minuter]	Butik nr	Total Utrymningstid [minuter]
311	3,7	207	2,2	108	3,1
310	2,9	208	4,3	107	3,2
315b	2,3	209	2,3	123	2,5
315a	2,4	221	3,5	124	2,8
314b	2,4			125	2,6
314a	2,4			134	3,8
313	2,8			128	3,1
312	2,8				

Tabell 8.4

	Total utrymningstid	Tid till rökfyllnad av rullbandstorg, Hemtex	Tid till rökfyllnad av rullbandstorg, H&M
Plan 1	5,5	9,5	-
Plan 2	7,8	8,5	6,5
Plan 3	9,7	8,0	6,0
Hela Kupolen	9,7	-	-

Tabell 8.5

## 8.9 Sammanfattning av resultaten

### 8.9.1 Hemtex utan sprinkler

Scenario	Tid till kritiska förhållanden [minuter]	Tid för utrymning [minuter]				
		Blockerad ingång	Blockerad ingång och bakre väg till utrymningsväg	Blockerad ingång och vänstra väg till utrymningsväg	Inga blockerade vägar ut ur butiken	Inga blockerade vägar ut ur butiken 70% väljer den väg de kom in genom
Tvåzonsmodell	3,5	4,0	4,5	6,0	3,5	2,5
Väl omblandat fall	1	Samma som ovan	Samma som ovan	Samma som ovan	Samma som ovan	Samma som ovan

Tabell 8.6

### 8.9.2 H&M utan sprinkler

Scenario	Tid till kritiska förhållanden [minuter]	Tid för utrymning [minuter]				
		Blockerad ingång	Blockerad ingång och bakre väg till utrymningsväg	Blockerad ingång och vänstra väg till utrymningsväg	Inga blockerade vägar ut ur butiken	Inga blockerade vägar ut ur butiken 70% väljer den väg de kom in genom
Tvåzonsmodell	5	6,0	7,0	10,0	4,0	3,5
Väl omblandat fall	2	Samma som ovan	Samma som ovan	Samma som ovan	Samma som ovan	Samma som ovan

Tabell 8.7

### 8.9.3 Hemtex med sprinkler

Scenario	Tid till kritiska förhållanden [minuter]	Tid för utrymning [minuter]				
		Blockerad ingång	Blockerad ingång och bakre väg till utrymningsväg	Blockerad ingång och vänstra väg till utrymningsväg	Inga blockerade vägar ut ur butiken	Inga blockerade vägar ut ur butiken 70% väljer den väg de kom in genom
Tvåzonsmodell	4	4,0	4,5	6,0	3,5	2,5
Väl omblandat fall	1	Samma som ovan	Samma som ovan	Samma som ovan	Samma som ovan	Samma som ovan

Tabell 8.8

### 8.9.4 H&M med sprinkler

Scenario	Tid till kritiska förhållanden [minuter]	Tid för utrymning [minuter]				
		Blockerad ingång	Blockerad ingång och bakre väg till utrymningsväg	Blockerad ingång och vänstra väg till utrymningsväg	Inga blockerade vägar ut ur butiken	Inga blockerade vägar ut ur butiken 70% väljer den väg de kom in genom
Tvåzonsmodell	Nås ej	6,0	7,0	10,0	4,0	3,5
Väl omblandat fall	2	Samma som ovan	Samma som ovan	Samma som ovan	Samma som ovan	Samma som ovan

Tabell 8.9

### 8.9.5 Brandgasfyllning av rullbandstorget

När rullbandstorget fyllts med brandgaser har de butiker som ligger i direkt anslutning till detta hunnit utrymmas. Några minuter efter att brandgaser fyllt rullbandstorget är hela byggnaden, enligt beräkningar, utrymd.

## 9 Slutsatser och diskussion

Vid val av dimensionerande brand har en snabb alfa-t<sub>2</sub>-kurva valts. Enligt Magdalena Angerds rapport gavs tre möjliga alfa-värden i händelse av brand i affär där snabb, 0,047 kW/s<sup>2</sup>, är det mest konservativa av dessa tre värden. Detta gör att den dimensionerande branden blir konservativ.

För scenarierna 8.1-4 blir siktförhållandena kritiska redan efter ca 1-2 minuter. Detta resultat bygger på antagandet att brandgaserna är väl omblandade, något som troligtvis inte är fallet då den höga effektutvecklingen medför en stor temperaturdifferens mellan brandgaserna och den omgivande luften och på så sätt skapa en skiktning i lokalen. När sprinkler aktiveras är sannolikheten något större att omblandning sker. Därmed torde man kunna bortse från detta kritiska förhållande fram till dess att sprinkler eventuellt aktiveras.

Antagandet att brandgasfläkten inte fungerar är konservativt. Som rapporten visar kommer utrymning av Kupolen ske innan kritiska förhållanden uppstår utan brandgasfläkt. Om brandgasfläkten fungerar kommer utrymning i detta fall också att ske tillfredställande då tid till kritiska förhållanden bör utökas avsevärt.

En sak väl värd att diskutera är personantalet i butikerna. I de beräkningar som använts är det väldigt konservativt att anta att 800 personer befinner sig inne på H&M samtidigt. Samma sak gäller för Hemtex där det valda antalet personer uppgår till 200, vilket troligtvis sällan inträffar.

När tiden för utrymning av butikerna beräknats märks en markant ökning av utrymningstiden då en eller flera utrymningsvägar är blockerade. För att hålla utrymningssäkerheten på en tillräckligt hög nivå måste Kupolen se till att utrymningsvägar och vägar till utrymningsvägar hålls fria från butikernas varor och leveranser.

I alla scenarier kommer utrymning att ha skett innan kritiska förhållanden har uppnåtts. Detta förutsätter att alla utrymningsvägar är fria. Se sammanfattande tabeller och kommentarer i slutet av avsnitt 8.

Omfattningen av brandgasspridningen utanför butikerna är till viss del okänd och kan påverka utrymningssäkerheten negativt. Detta har dock inte kunnat verifieras och hänsyn bör tas till det, samt det faktum att lokalerna är svåranalyserade, när denna rapports slutsatser tolkas.

I övrigt anser författarna att Kupolen är en, ur brand- och utrymningssynpunkt, säker byggnad. Stora resurser har lagts på brandskyddstekniska installationer vilket har gett ett positivt resultat.



## 10 Referenser

Angerd, M. (1999), *Är utrymningsschablonerna vid brandteknisk dimensionering säkra? En osäkerhetsanalys av utrymningssäkerheten i affärer dimensionerade enligt NR 1988*, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Boverket (2002), *Boverkets byggregler*, Boverket, Karlskrona.

Boverket (2004), *Utrymningsdimensionering*, Karlskrona.

Brandskyddshandboken (2005), *Brandskyddshandboken – en handbok för projektyring av brandskydd i byggnader*, Rapport 3117, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Frantzich, H. (2006), *Föreläsningspresentation av Håkan Frantzich*, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Husted, B. (2006), *Föreläsningspresentation av Argos*, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Karlsson, B. & Quintiere, J.G. (1999), *Enclosure Fire Dynamics*, CRC Press LLC, USA.

NIST (2006), <http://www.bfrl.nist.gov/866/fmabbs.html#DETECTT2>, hämtat 2006-10-28.

Olander, M. (2005a), *Brandskyddsbeskrivning 2005-10-17 Kupolen, Borlänge*. Brandskyddslaget AB, Karlstad.

Olander, M. (2005b), *Brandskyddsdocumentation 2005-10-11 Kupolen, Borlänge*. Brandskyddslaget AB, Karlstad.

Statens Räddningsverk. (2006), <http://www.raddningsverket.se/upload/Din%20säkerhet/Vinterns%20brandrisker/December2.xls>, hämtat 2006-10-28.

Steen & Strøm Sverige AB. (2006) [www.kupolen.nu](http://www.kupolen.nu), hämtat 2006-10-29.





## Bilaga A – Utdrag ur Boverkets byggregler, BBR

### 5:311 Tillgång till utrymningsväg

Bostäder och lokaler, utöver de som avses i avsnitt 5:313, där personer vistas mer än tillfälligt skall ha minst två av varandra oberoende utrymningsvägar. Om bostaden eller lokalen har fler än ett våningsplan, skall det finnas minst en utrymningsväg från varje plan.

#### *Allmänt råd*

En av utrymningsvägarna från en lokal kan utgöras av en passage till en utrymningsväg genom en annan lokal, om tillfredsställande utrymning kan säkerställas och utrymmet är tillgängligt utan nyckel eller annat redskap. Detta gäller dock inte, om de övriga utrymningsvägarna endast utgörs av fönster eller balkong. En korridor inom egen brandcell, en loftgång e.d. i direkt anslutning till den bostad eller lokal som den betjänar kan – utom vid samlingslokaler – utgöra en gemensam del av i övrigt skilda utrymningsvägar. I byggnader med fler än åtta men högst sexton våningsplan skall bostäder och lokaler ha tillgång till minst ett trapphus Tr2. I byggnader med fler än sexton våningsplan skall bostäder och lokaler ha tillgång till minst ett trapphus Tr1, medan övriga trapphus skall vara åtminstone Tr2.

### 5:2118 Byggnad

Byggnader skall utföras i klass Br1, Br2 eller Br3. Vid klassindelningen skall hänsyn tas till sådana faktorer som påverkar utrymningsmöjligheterna och risken för personskador vid sammanstörtning av byggnaden. Utrymningsmöjligheterna skall bedömas med hänsyn till byggnadens höjd och volym och den verksamhet som skall bedrivas i byggnaden samt till antalet personer som samtidigt beräknas befinna sig i byggnaden och personernas förutsättningar att själva sätta sig i säkerhet.

### 5:2 Brandtekniska klasser och övriga förutsättningar

Byggnader där brand medför stor risk för personskador skall utföras i klass Br1. I sådana byggnader ställs de högsta kraven på bl.a. ytskikt samt bärande och avskiljande konstruktioner. Byggnader där brand kan medföra måttlig risk för personskador skall utföras i klass Br2. Övriga byggnader får utföras i klass Br3.

#### *Allmänt råd*

Byggnader med *tre eller flera våningsplan* bör utföras i klass Br1.

Följande byggnader med *två våningsplan* bör utföras i klass Br1:

- Byggnader avsedda för sovande som inte förväntas ha god lokalkännedom.
- Byggnader avsedda för personer som har små förutsättningar att själva sätta sig i säkerhet.

– Byggnader med samlingslokal på andra våningsplanet.

Följande byggnader med *två våningsplan* bör utföras i lägst klass Br2:

- Byggnader avsedda för fler än två bostadslägenheter och där bostadseller arbetsrum finns i vindsplanet.
- Byggnader med samlingslokaler i markplanet.

– Byggnader som har en byggnadsarea större än 200 m<sup>2</sup> och som inte delas i enheter av högst denna storlek genom brandväggar i lägst klass REI 60-M (se avsnitt 5:221). (*BFS 2002:19*)

Byggnader med *ett våningsplan* bör utföras i lägst klass Br2 om de inrymmer:

- samlingslokaler i eller under markplanet
  - särskilt boende för personer med vårdbehov
  - vårdanläggning, utom förskola och liknande.
- (BFS 2005:17)

### **5:232 Brandcell**

Med *brandcell* avses en avgränsad del av en byggnad inom vilken en brand *under en föreskriven minsta tid* kan utvecklas utan att sprida sig till andra delar av byggnaden. Brandcellen skall vara avgränsad från byggnaden i övrigt, genom omslutande väggar och bjälklag eller på annat sätt, så att utrymning av byggnaden tryggas och så att personer i intilliggande brandceller eller byggnader skyddas under föreskriven tid. I brandcellens omslutande konstruktioner får ingå byggnadsdelar med mindre brandmotstånd än vad som svarar mot föreskriven tid, om en brand kan hindras sprida sig i anslutning till dessa byggnadsdelar genom t.ex. räddningstjänstens ingripande.

### **5:354 Larmsystem**

#### **5:354129 Automatiskt brandlarm**

I byggnader eller i delar av byggnader där krav på tidig upptäckt av brand ställs skall automatiskt brandlarm installeras. Detektering skall, där så är möjligt, ske med hjälp av rökdetektorer. Systemet skall ge signal till bemannad plats då personer finns i byggnaden.

#### *Allmänt råd*

Exempel på lämpliga komponenter i ett automatiskt brandlarm finns i standardserien SS-EN 54. Exempel på lämpligt utförande finns i Svenska Brandskyddsföreningen skrift *Regler för automatisk brandlarmsanläggning*, SBF 110:6. (BFS 2005:17)

*Signal till bemannad plats* innebär att larmet vidarebefordras till kommunens räddningstjänst om inte personal finns tillgänglig på platsen.

#### **5:3542 Utrymningslarm**

I byggnader eller i delar av byggnader där utrymningslarm erfordras, skall berörda personer kunna nås med information om lämpliga åtgärder vid utrymning. Utrymningslarmet skall vara anpassat efter behovet av information till personerna. Vid akustiskt larm skall hörbarheten vara sådan att signaler eller meddelanden kan uppfattas i berörda delar av byggnaden. Anläggningens funktion skall kunna upprätthållas vid strömavbrott. (BFS 2005:17)

#### *Allmänt råd*

Utrymningslarm med talat meddelande kan utformas enligt SS-EN 60849. Talat utrymningsmeddelande bör föregås av en ej förväxlingsbar ljudsignal. Lämpliga signaltyper för andra utrymningslarm finns angivna i SS 03 17 11 (2). Signalen för omedelbar fara bör inte begränsas till 60 sekunder. I lokaler där personer inte kan förväntas ha kännedom om utrymningslarmet bör larmet utformas med två skilda signaltyper, t.ex. ljud och ljus. Utrymningslarmet bör kunna avge utrymningssignal under minst 30 minuter efter ett strömavbrott på 24 timmar. Utrymningslarmet bör automatiskt avge felsignaler vid fel i ledningsnätet eller strömförsörjningen. (BFS 2005:17)

### 5:621141 Byggnad i klass Br1

Byggnadsdelar skall utföras i lägst den brandtekniska klass som anges i tabell 5:6211.

Brandteknisk klass enligt första kolumnen ( $f \geq 200$ ) får tillämpas för bostads- och kontorslägenheter, skolor, hotell, personbilsgarage, livsmedelsbutiker, lägenhetsförråd och jämförbara brandceller. Klassen får även tillämpas vid högre brandbelastning än 200 MJ/m<sup>2</sup>, för byggnader som skyddas med automatisk vattensprinkleranläggning eller om förutsättningar finns att en brand, genom räddningstjänstens insats, är helt bekämpad inom 60 minuter efter brandutbrottet.

(BFS 2005:17)

Tabell 5:6211 Förekräven brandteknisk klass i avskiljande avseende i en byggnad i klass Br1.

Byggnadsdel	Brandteknisk klass vid brandbelastning $f$ (MJ/m <sup>2</sup> )		
	$f \leq 200$	$f < 400$	$f > 400$
Brändolisskiljande byggnadsdel i allmänhet, och bjälklag över källare	EI 60	EI 120	EI 240

### 5:22119 Klassbeteckningar

Byggnadsdelar indelas beroende på funktion i följande klasser:

- R bärförmåga
- RE bärförmåga och integritet (täthet)
- REI bärförmåga, integritet och isolering

### 5:2 Brandtekniska klasser och övriga förutsättningar

- E integritet
- EI integritet och isolering
- EI2 integritet och isolering för branddörrar
- EW integritet och begränsad strålning

(BFS 2005:17)

Beteckningarna åtföljs av ett tidskrav: 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 eller 360 minuter. Klasserna kan kombineras med tilläggsbeteckningen:

- M mekanisk påverkan,
- C dörrar med automatisk stängningsanordning i någon av klasserna C1– C5,
- Sa, Sm brandgastäthet för dörrar.

(BFS 2005:17)

#### Allmänt råd

Exempel på klassbeteckningar: R 120, RE 60, REI 30, EI2 30, EI2 60-C och REI 60-M. (BFS 2005:17)

Därutöver används följande klassbeteckningar för material, beklädnad och ytskikt.

- A1, A2 (obrännbart material) och B, C, D, E (brännbart material, ytskikt av klass I, II och III)
- Svårantändligt material, dvs. brännbart material som uppfyller vissa krav.

(BFS 2002:19)

Klass A1 är det högsta kravet och kan inte kombineras med någon tilläggsklass. Klasserna A2, B, C, D kombineras alltid med någon av följande tilläggsklasser:

- s1 byggnadsdelen får avge mycket begränsad mängd med brandgaser
- s2 byggnadsdelen får avge begränsad mängd med brandgaser
- s3 inget krav på begränsad produktion av brandgaser
- d0 brinnande droppar eller partiklar får ej avges från byggnadsdelen

- d1 brinnande droppar eller partiklar får avges i begränsad mängd
  - d2 inget krav på begränsning av brinnande droppar och partiklar.
- Klass E är det lägsta kravet och kan enbart kombineras med d2. Fristående E innebär att ett visst droppkrav är uppfyllt. (BFS 2002:19)

#### *Allmänt råd*

Exempel på klassbeteckningar: A1 (obrännbart material), A2-s1,d0 (obrännbart material), B-s1,d0 (klass I), C-s2,d0 (klass II), D-s2,d0 (klass III), E. (BFS 2002:19)

### **5:2 Brandtekniska klasser och övriga förutsättningar**

Golvbeläggning A1fl, A2fl, Bfl, Cfl, Dfl, Efl (obrännbart golv och klass G). Klassen A1fl är det högsta kravet och kan inte kombineras med någon tilläggsklass. Klasserna A2fl, Bfl, Cfl, Dfl kombineras alltid med någon av följande tilläggsklasser:

- s1 golvmaterialet får avge en begränsad mängd med brandgaser.
- s2 inget krav på begränsad produktion av brandgaser.

Klassen Efl är den lägsta klassen och kombineras inte med någon tilläggsklass. (BFS 2002:19)

#### *Allmänt råd*

Exempel på klassbeteckningar: A1fl (obrännbart golv), Cfl-s1 (klass G), Dfl-s1 (klass G). (BFS 2002:19)

- Rörisolering klass P I, P II och P III.
- Taktäckning klass BROOF (t2) (klass T).
- Beklädnad klass K210/B-s1,d0 (tändskyddande beklädnad) (BFS 2005:17)

Produktens klassbeteckning och tillämpliga tilläggsklasser skall motsvara minst de krav som anges i denna författning för att uppfylla kraven och tillåtas i respektive tillämpning. (BFS 2002:19)

### **5:361 Kritiska förhållanden vid utrymning**

Vid dimensionering av utrymningssäkerheten får förhållandena i byggnaden inte bli sådana att gränsvärden för kritiska förhållanden överskrider under den tid som behövs för utrymning.

#### *Allmänt råd*

Vid värdering av kritiska förhållanden bör siktbarhet, värmestrålning, temperatur, giftiga gaser samt kombinationer av dessa beaktas. Följande gränsvärden kan då normalt tillämpas:

Siktbarhet: En brandgasnivå på lägst  $1,6 + (0,1 \times H)$  meter, där  $H$  är rumshöjden, eller en siktsträcka på minst 10 meter i okänd miljö och minst 5 meter i känd miljö (bostäder och kontor).

Värmestrålning: En maximal strålningsintensitet på 2,5 kW/m<sup>2</sup> eller en kortvarig strålningsintensitet på max 10 kW/m<sup>2</sup>, samt en maximal strålningsenergi på 60 kJ/m<sup>2</sup> utöver energin från en strålning på 1 kW/m<sup>2</sup>.

Temperatur: Högst 80°C lufttemperatur.

(BFS 2005:17)

## Bilaga B – Skyltning för räddningsutrustning

Enligt AFS 1997:11 skall räddningsutrustning vara utformad på nedanstående sätt.

### 3.5 Brandredskapsskyltar

Rektangulär eller kvadratisk form.

Vit symbol på röd bakgrund.

Den röda delen skall vara minst 50 % av skyltens yta.



Brandslang  
(Brandpost)



Brandsläckare



Stege



Nödtelefon  
för brand



Andra brandskyddsanordningar  
eller brandskyddsutrustningar  
med tillägsskylt



Riktningspil



## Bilaga C – Indata och resultat från simulering

### Detact-T2

Indata vid simulering av brandgasdetektor- och sprinkleraktivering i Detact-T2

System	Omgivnings-temperatur [C]	RTI [(ms) <sup>0,5</sup> ]	Aktiverings-temperatur [C]	Aktiveringstemperaturstegring [C/minut]	Takhöjd [m]	Detektor-avstånd [m]	Effektkurva
Br.gasdet.	20	1	33	300	3	4	F
Sprinkler	20	80	68	300	3	3	F

Tabell C.1

### Resultat

System	Aktiveringstid [minuter]	Aktiveringstid [s]
Br.gasdet.	1,0	63
Sprinkler	2,3	137

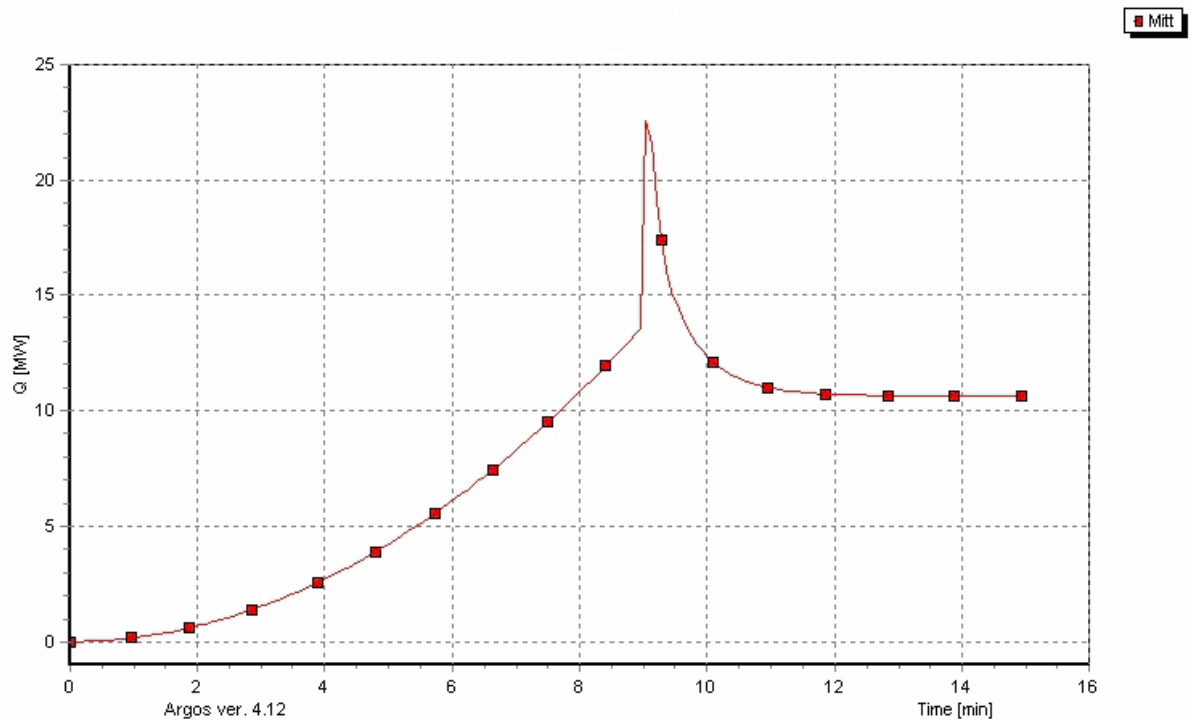
Tabell C.2

### Argos

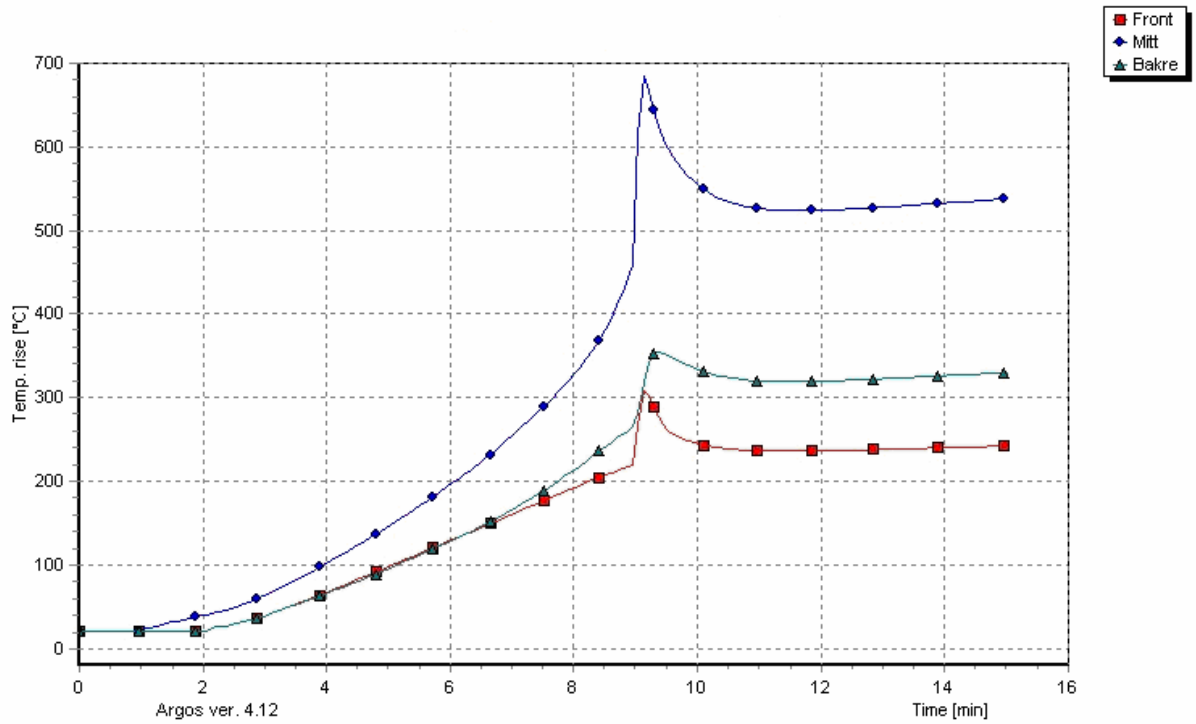
Indata vid simulering av Hemtex i Argos

Butikslokalen som inryms av Hemtex är utformad som tre rätblock med måtten 10x12x3.2 m<sup>3</sup>, 10x8x3.2 m<sup>3</sup>, 10x12x3.2 m<sup>3</sup>. Butiken har även en öppning in mot rullbandstorget i Kupolen med måtten 6x2.4 m<sup>2</sup>, i simuleringen mynnar öppningen direkt ut i det fria.

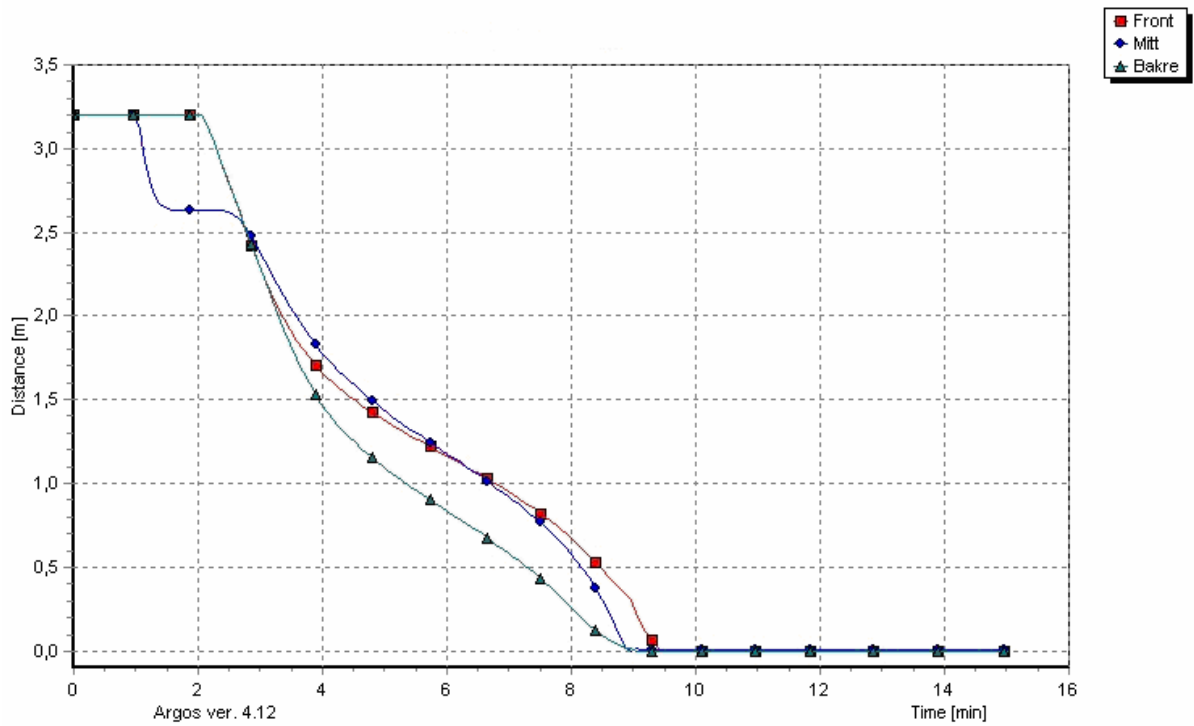
### Resultat



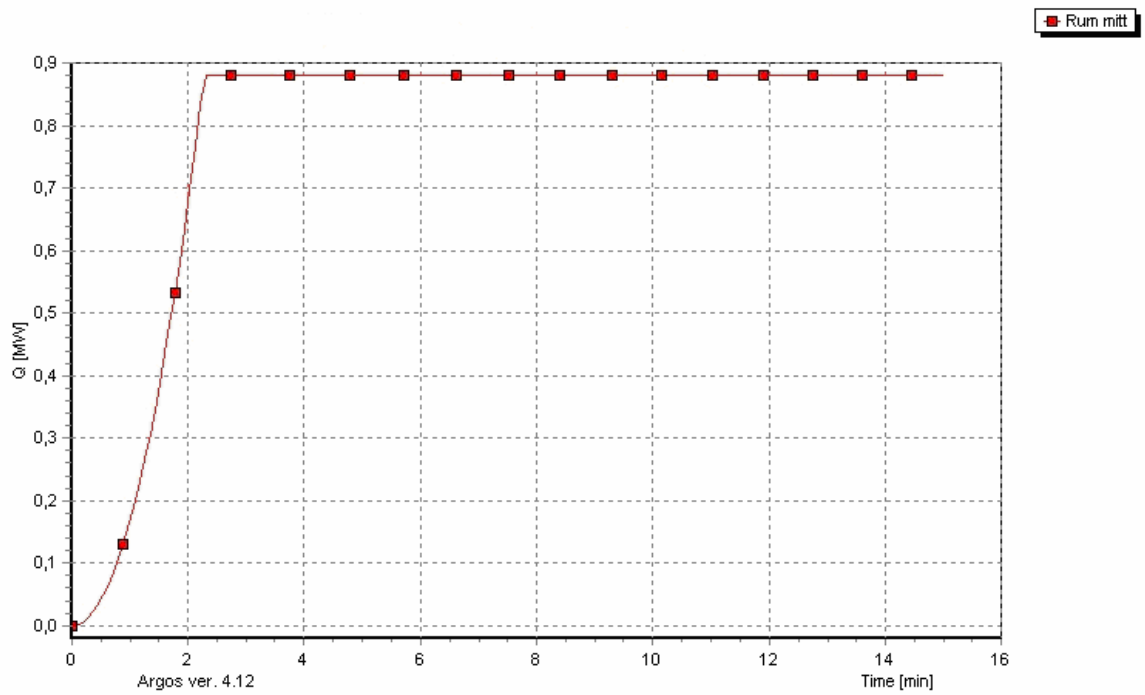
Figur C.1. Effektutveckling, Hemtex utan sprinkler



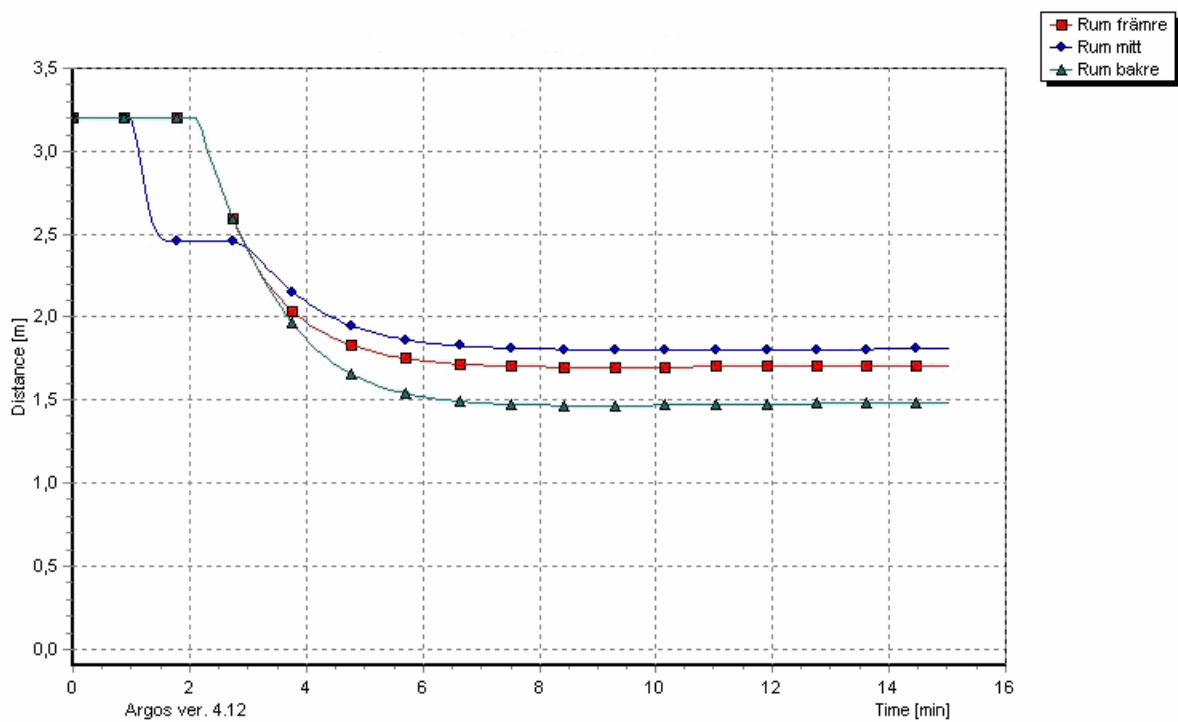
Figur C.2. Temperatur, Hemtex utan sprinkler



Figur C.3. Höjd till brandgaslagret, Hemtex utan sprinkler

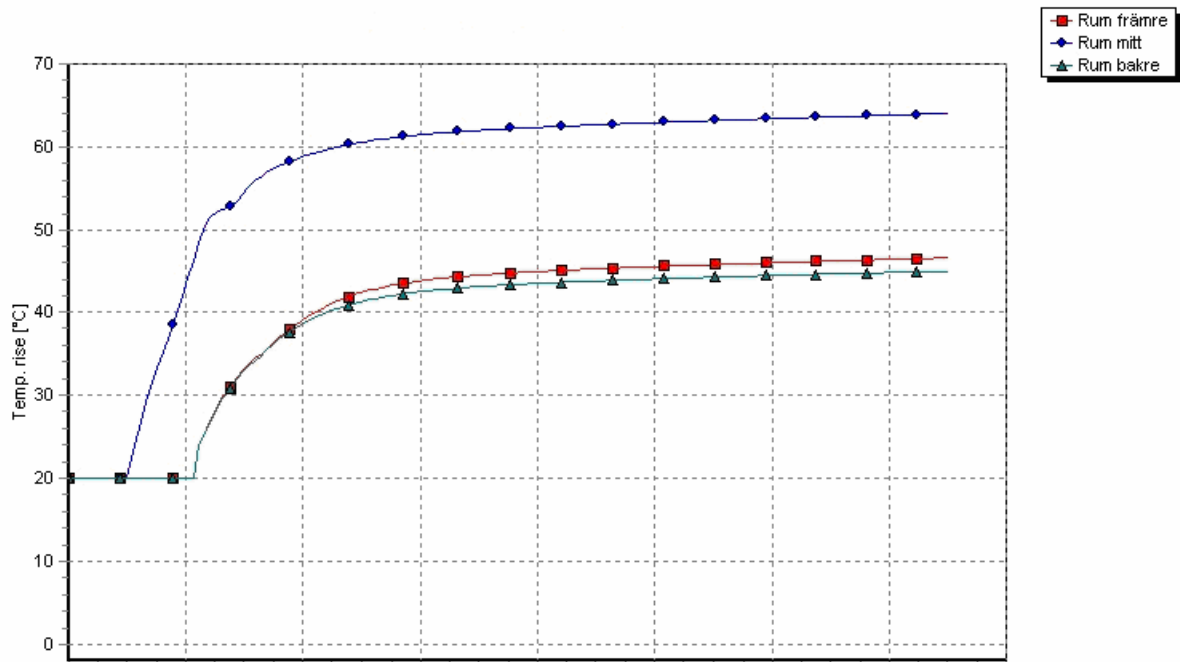


Figur C.4. Effektutveckling, Hemtex med sprinkler

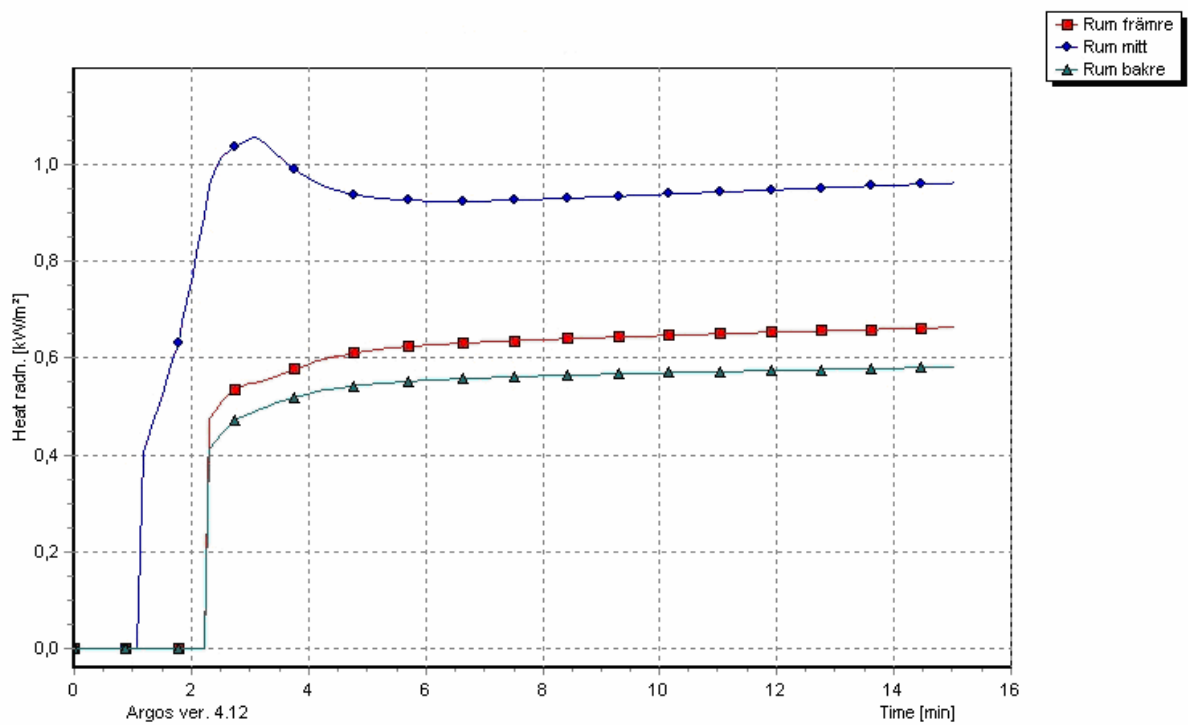


Figur C.5. Höjd till brandgaslagret, Hemtex med sprinkler





Figur C.6. Temperatur, Hemtex med sprinkler

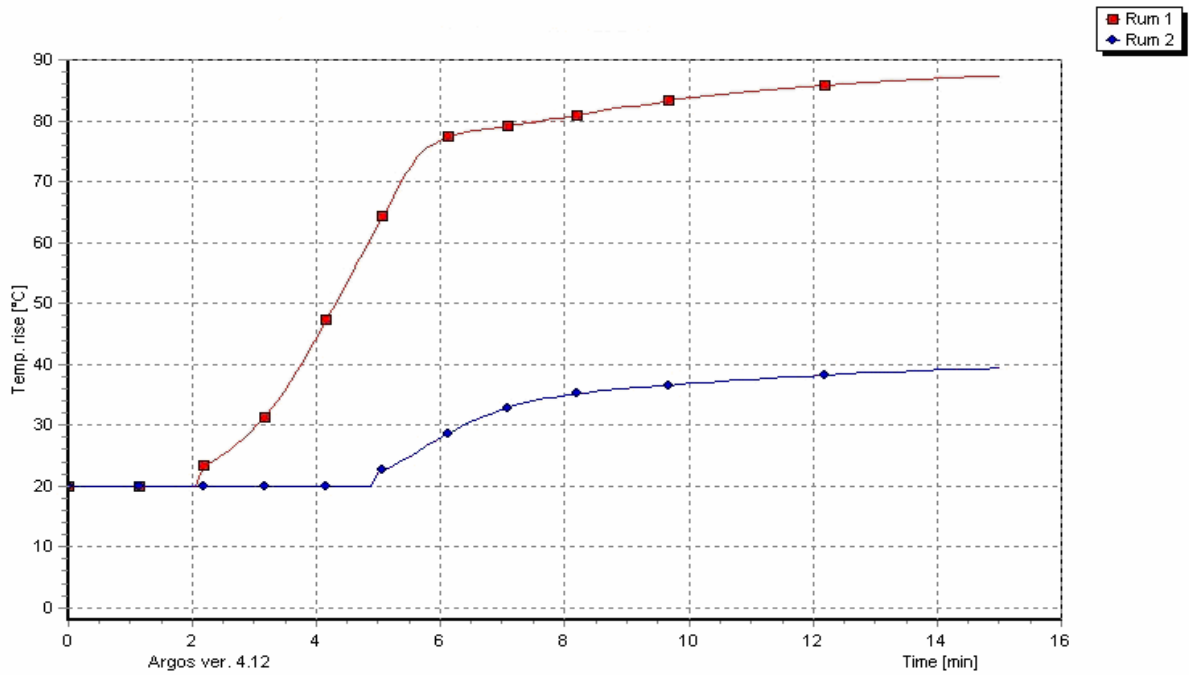


Figur C.7. Värmestrålning från brandgaslager, Hemtex med sprinkler

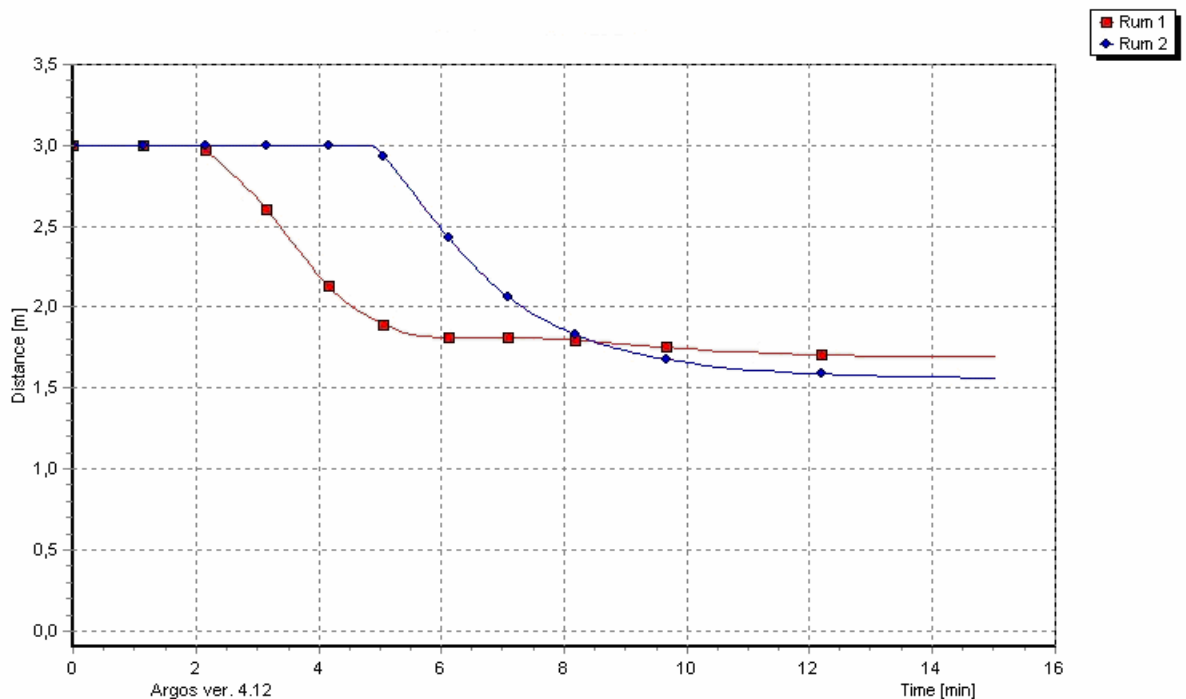
*Indata vid simulering av brand i H&M*

Butikslokalen som inrymmer H&M är oregelbundet utformad, men i simuleringen approximeras den till två rätblock med måtten  $14 \times 54 \times 3 \text{ m}^3$  och  $18 \times 48 \times 3 \text{ m}^3$ . Butiken har en öppning in mot rullbandstorget i Kupolen med måtten  $15 \times 2.4 \text{ m}^2$ , denna mynnar i simuleringen direkt ut i det fria. I butiken finns en avdelande vägg med passager, vilket approximerades med två öppningar mellan rätblocken. Öppningarna har en övre kant som sträcker sig 0,2 m ner från taket.

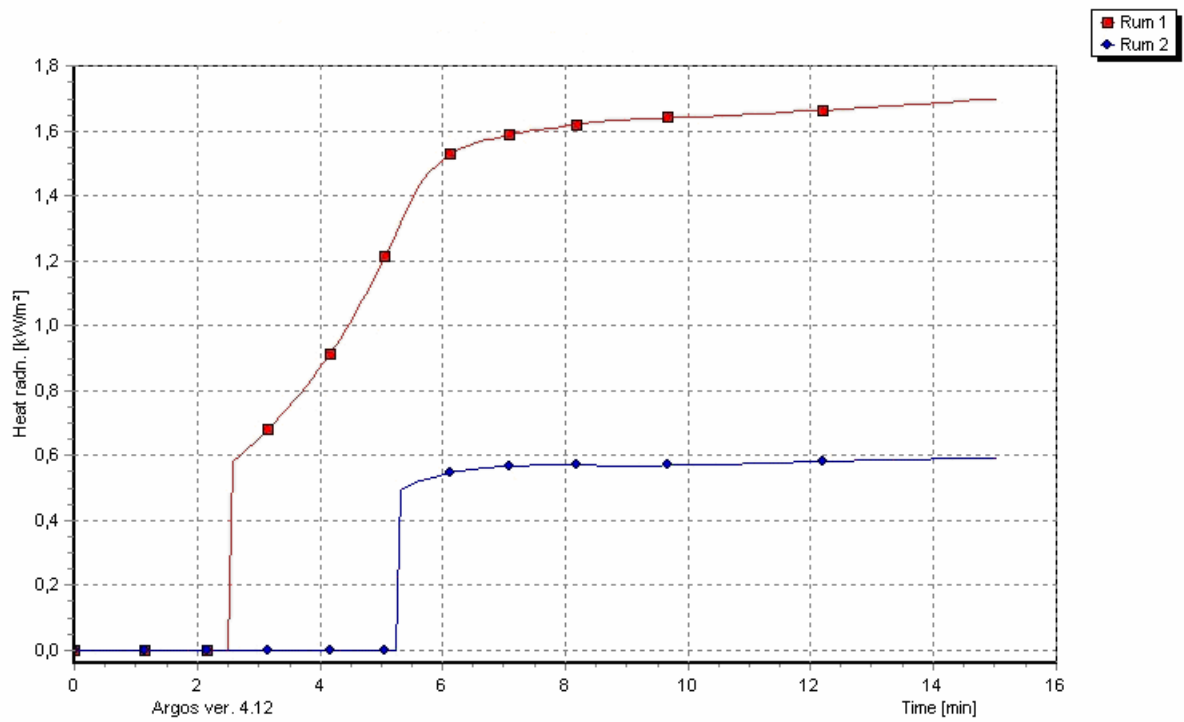
*Resultat*



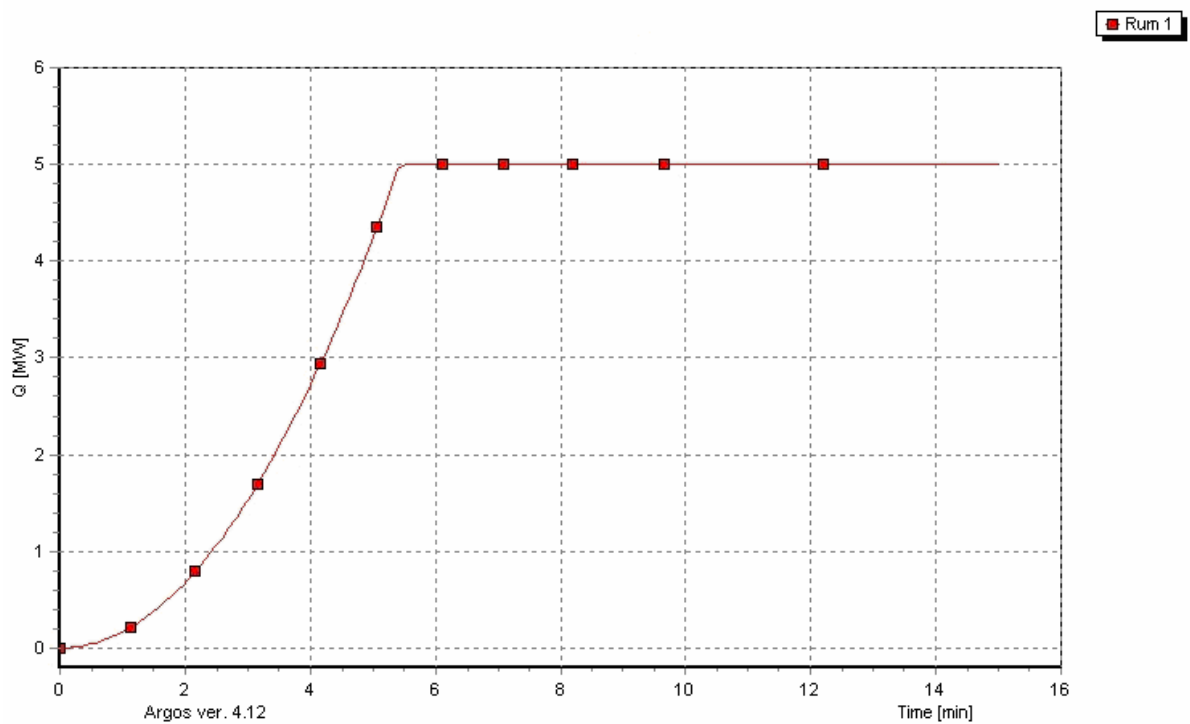
Figur C.8. Temperatur, H&M utan sprinkler



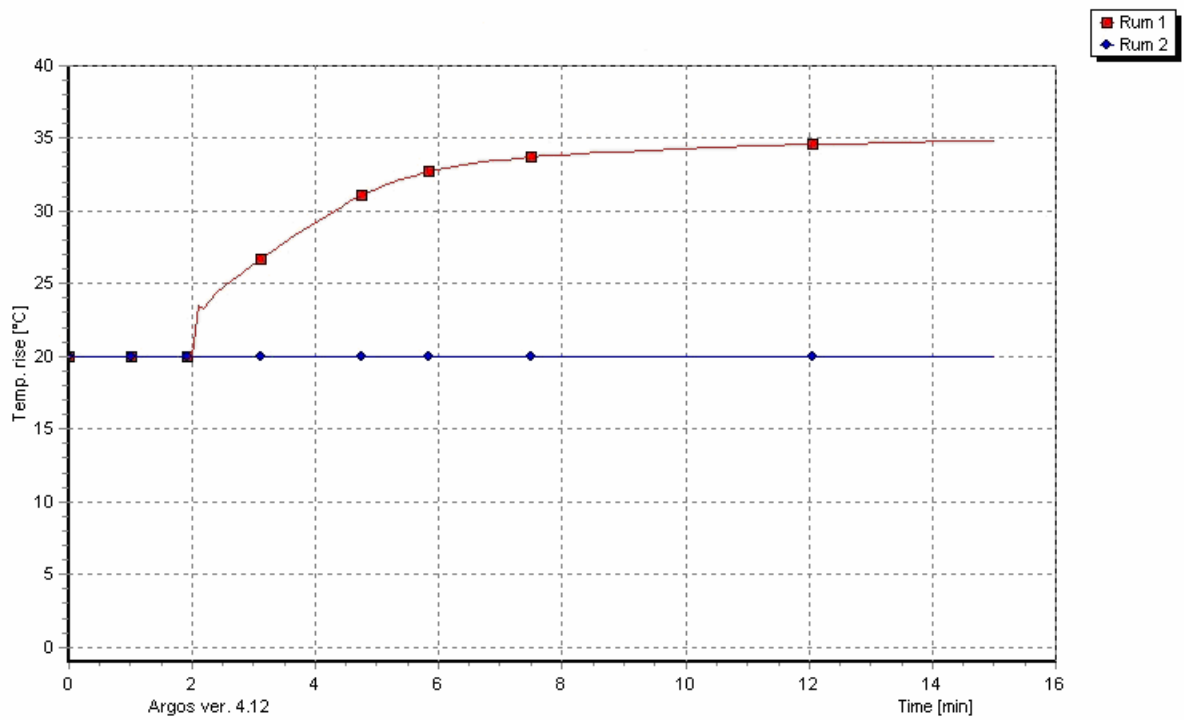
Figur C.9. Höjd till brandgaslagret, H&M utan sprinkler



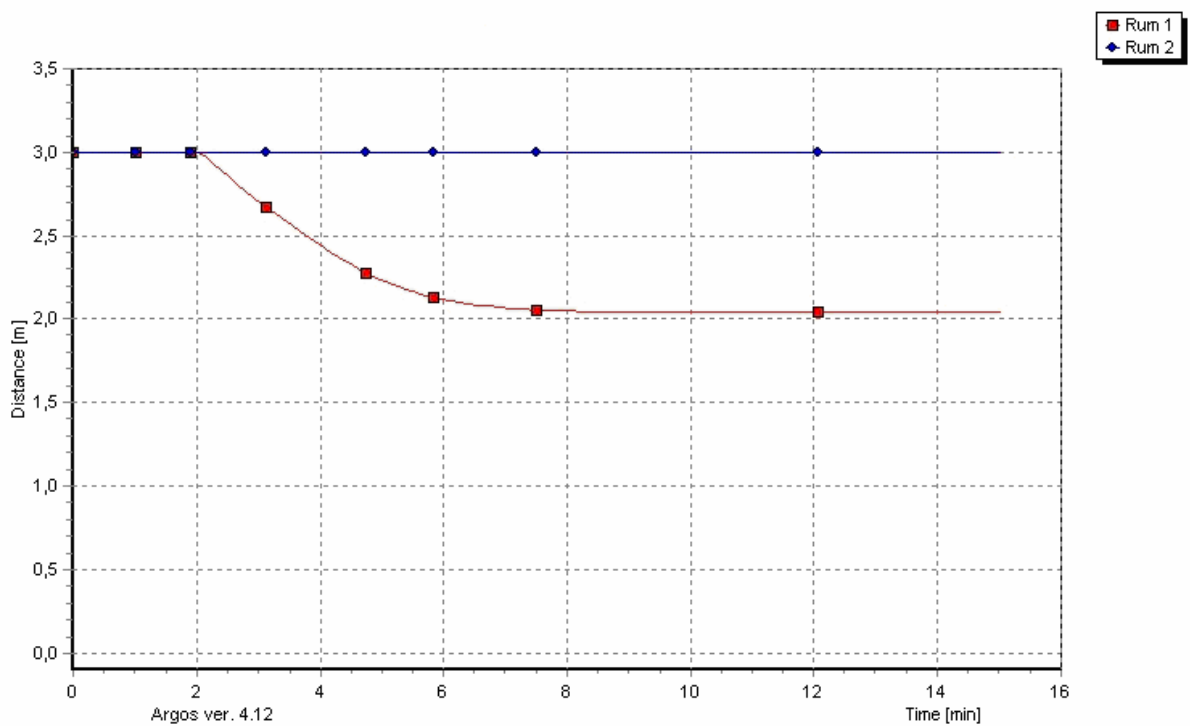
Figur C.10. Värmestrålning, H&M utan sprinkler



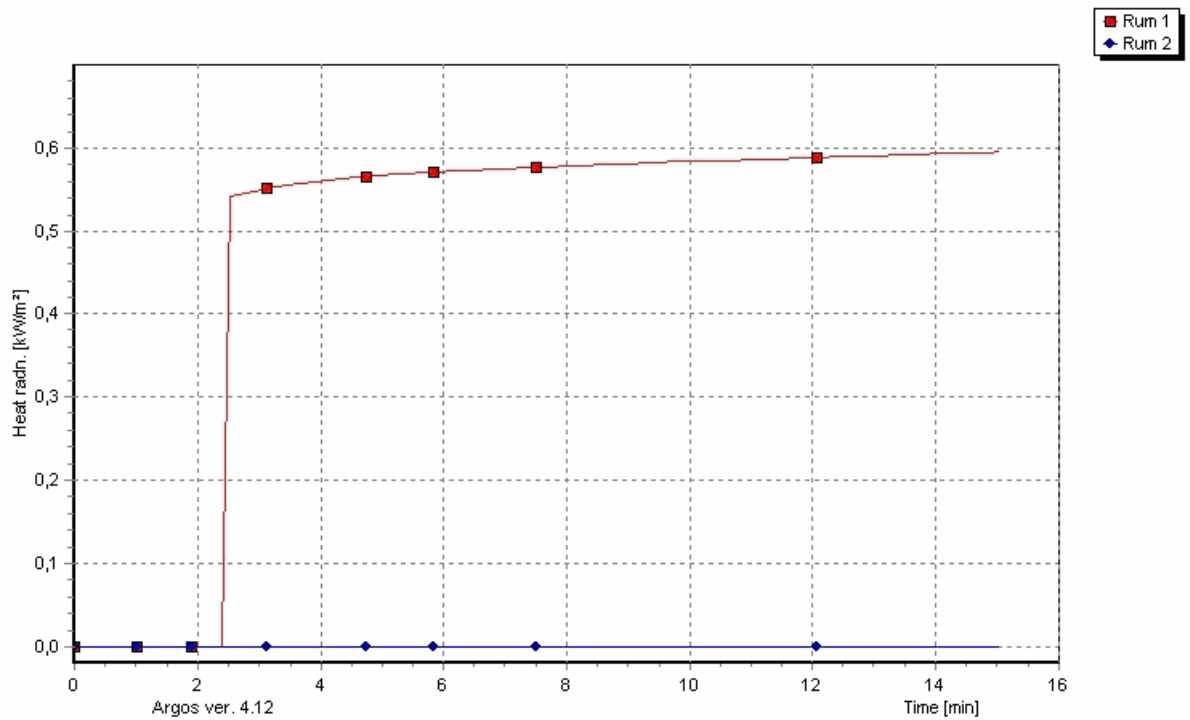
Figur C.11. Effektutveckling, H&M utan sprinkler



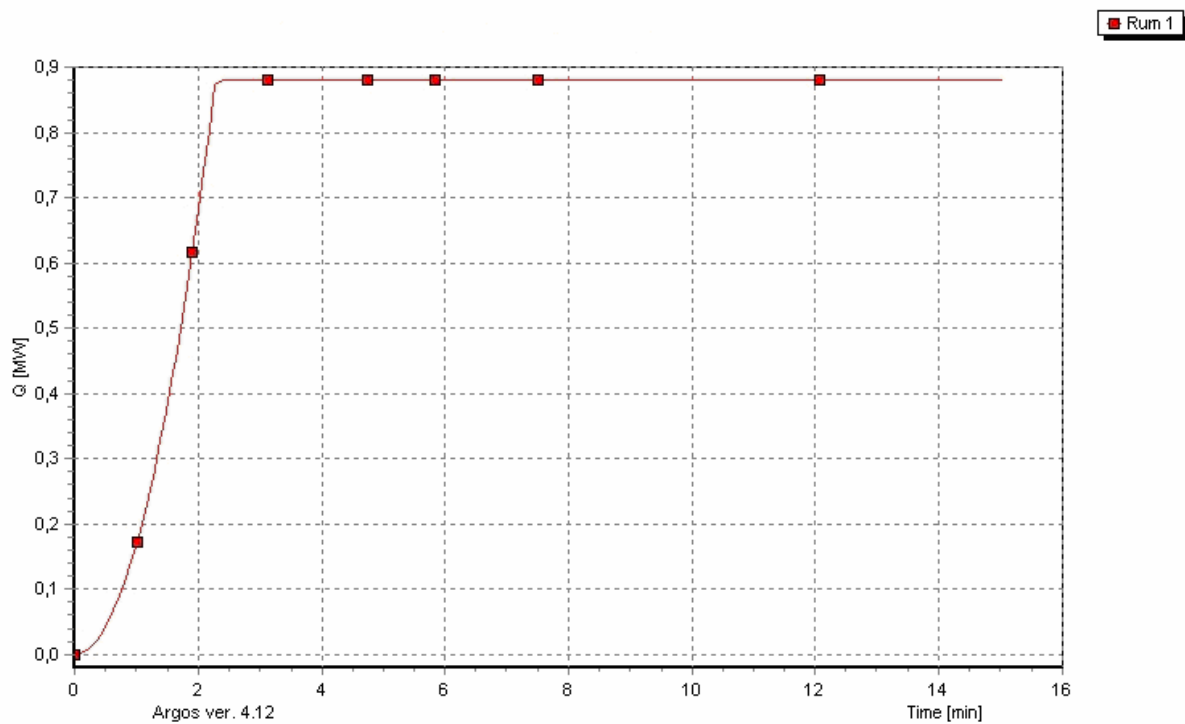
Figur C.12. Temperatur, H&M med sprinkler



Figur C.13. Höjd till brandgaslagret, H&M med sprinkler



Figur C.14. Värmestrålning, H&M med sprinkler



Figur C.15. Effektutveckling, H&M med sprinkler

## Bilaga D – Handberäkningar

### Maximal effekt utan sprinkleraktivering

Den teoretisk maximala effekten fås då man antar att branden i rummet är fullt utvecklade, alla glasrutor så som skyltfönster antas vara hela i följande beräkningar. Fullt utvecklade brand innebär att det endast finns en zon med en och samma temperatur, istället för två zoner med två olika temperaturer, samt att allt brännbart material i rummet deltar i branden.

Temperaturen i rummet vid fullt utvecklade brand är cirka 600°C. Den maximala effektutvecklingen fås genom att beräkna den mängd luft som kommer in i rummet, eftersom man vet att luft innehåller 21 volymprocent syre och vid förbränning av våra vanligaste kolväten ges cirka 13,1 MW per kg förbränt syre.

Massflödet luft,  $\dot{m}_a$ , in i butiken blir:

$$\dot{m}_a = \frac{2}{3} C_d A \sqrt{H_o} \sqrt{2g\rho_a} \sqrt{\frac{(\rho_a - \rho_g)/\rho_a}{[1 + (\rho_a/\rho_g)^{1/3}]^3}} \quad \text{ekv. 1}$$

$$\dot{m}_a = \text{luftmassflöde} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

$$C_d = 0,7$$

$$A = \text{öppningsarean} \left[ \text{m}^2 \right]$$

$$H_o = \text{öppningshöjden} \left[ \text{m} \right]$$

$$g = 9,82 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$\rho_a = \text{luftdensitet} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\rho_g = \text{brandgasdensitet} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$T_a = \text{lufttemperatur} \left[ ^\circ\text{C} \right]$$

$$T_g = \text{brandgastemperatur} \left[ ^\circ\text{C} \right]$$

$$\dot{Q} = \text{effektutveckling} \left[ \text{MW} \right]$$

För de båda butikerna blir den maximala effektutvecklingen:

Hemtex	
A [m <sup>2</sup> ]	14,4
H <sub>o</sub> [m]	2,4
W [m]	6
T <sub>a</sub> [C]	20
T <sub>g</sub> [C]	600
ρ <sub>a</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	1,20
ρ <sub>g</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	0,40
$\dot{m}_a$ [kg/s]	10,8

H&M	
A [m <sup>2</sup> ]	36
H <sub>o</sub> [m]	2,4
W [m]	15
T <sub>a</sub> [C]	20
T <sub>g</sub> [C]	600
ρ <sub>a</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	1,20
ρ <sub>g</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	0,40
$\dot{m}_a$ [kg/s]	27,1

$\dot{Q}$ [MW]	29,8
----------------	------

$\dot{Q}$ [MW]	74,5
----------------	------

Tabell D.1



Den utvecklade energin som krävs för att fylla butikerna med tillräckligt mycket brandgaser för att otillräckliga siktförhållanden skall uppnås fås ur ekv. 3 och 4:

$$m_{Hemtex} = 696 \text{ g} \Rightarrow Q = m_{Hemtex} * \Delta H_{c,Hemtex} = 4,6 \text{ MJ} = 4600 \text{ kJ}$$

$$m_{H\&M} = 3429 \text{ g} \Rightarrow Q = m_{H\&M} * \Delta H_{c,H\&M} = 21,4 \text{ MJ} = 21400 \text{ kJ}$$

Den tid,  $t$ , det tar för branden att utveckla denna energi fås genom att integrera ekv. 2 mellan gränserna 0 och  $t$  samt sätta detta lika med  $Q$ :

$$Q = \int_0^t 0,047 * t^2 dt \Leftrightarrow t = \sqrt[3]{\frac{3 * Q}{0,047}}, \text{ ekv. 6}$$

Detta ger;  $t_{Hemtex} = 66 \text{ s}$  och  $t_{H\&M} = 111 \text{ s}$ , innan tillräckligt mycket brandgaser utvecklats för att otillräckliga siktförhållanden skall uppnås.

### Fyllnadstid av rullbandstorget

Väl omblandade förhållanden approximeras med medeltemperaturen i lokalen vid aktiverad sprinkler, se bilaga C. Det volymflöde brandgaser som då lämnar respektive butik fås ur ekvation 1 och följande temperaturer:

Hemtex		H&M	
A [m <sup>2</sup> ]	14,4	A [m <sup>2</sup> ]	36
H <sub>o</sub> [m]	2,4	H <sub>o</sub> [m]	2,4
W [m]	6	W [m]	15
T <sub>a</sub> [C]	20	T <sub>a</sub> [C]	20
T <sub>g</sub> [C]	55	T <sub>g</sub> [C]	35
ρ <sub>a</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	1,20	ρ <sub>a</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	1,20
ρ <sub>g</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	1,08	ρ <sub>g</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	1,15
$\dot{m}_a$ [kg/s]	5,7	$\dot{m}_a$ [kg/s]	9,7
$\dot{V}$ [m <sup>3</sup> /s]	5,3	$\dot{V}$ [m <sup>3</sup> /s]	8,5

Tabell D.3

Rullbandstorgets area är cirka 416 m<sup>2</sup> och dess höjd på plan 1 är 5,2 m och på plan 2 är höjden 4,5 m. På plan 3 finns inget tak varför en höjd på 4 m antas.

Rullbandstorgets volym blir då på respektive plan:

Plan	Volym [m <sup>3</sup> ]
1	2163,2
2	1872
3	1664

Tabell D.4

Fyllnadstiden fås ur:

$$t = \frac{V}{\dot{V}} [\text{s}], \text{ ekv. 7}$$



För respektive butik blir detta:

Hemtex	Fyllnadstid [min]
Plan 1	6,8
Plan 2	5,9
Plan 3	5,3

HM	Fyllnadstid [min]
Plan 1	4,2
Plan 2	3,7
Plan 3	3,3

*Tabell D.5*

## Bilaga E - Laborationsrapport

### Syfte

Framtagande av rökpotential ( $D_0$ ) och förbränningsvärmets ( $\Delta H_c$ ) för täcken/kuddar och kläder i syntet/bomull/ullblandningar.

### Utförande

Vägning och därefter förbränning av två olika bränslepaket i möbelkalorimeter varvid tryckskillnad, temperatur,  $O_2$ -halt och ljusdämpning mättes i brandgaserna. Vid båda försöken skedde antändning i hörnet av bränslepaketet. Försök 1 avbröts när möbelkalorimetern inte hade kapacitet nog att ventilerade bort brandgaserna som producerades av bränslepaketet, lyckligtvis hade då nästintill allt bränsle förbrukats. Försök 2 avbröts när bränslepaketet hade brunnit ut.

### Utrustning

Möbelkalorimeter med tillhörande mätutrustning, våg.

### Material

Försök 1:

2 st täcken, 1 kudde, 50% bomull, 50% syntet

0,7x0,7x0,3 m<sup>3</sup>

3 kg

Försök 2:

11 plagg, blandat bomull, syntet och ull

3,6 kg

### Beräkningar

Brandgasflöde i m<sup>3</sup>/s

$$\dot{V} = 22,4 \frac{k_t}{k_p} A \sqrt{\frac{\Delta P}{T_s}}, \text{ ekv. 8}$$

Effekt i MW

$$\dot{Q} = 17,2 \cdot \left( \frac{X_{O_2}^0 - X_{O_2}^s}{100} \right) \cdot \dot{V} \cdot \alpha, \text{ ekv. 9}$$

Ljusdämpning i m<sup>2</sup>/g

$$D_l = \frac{-10}{L} \cdot \log \frac{I}{I_0}, \text{ ekv. 10}$$

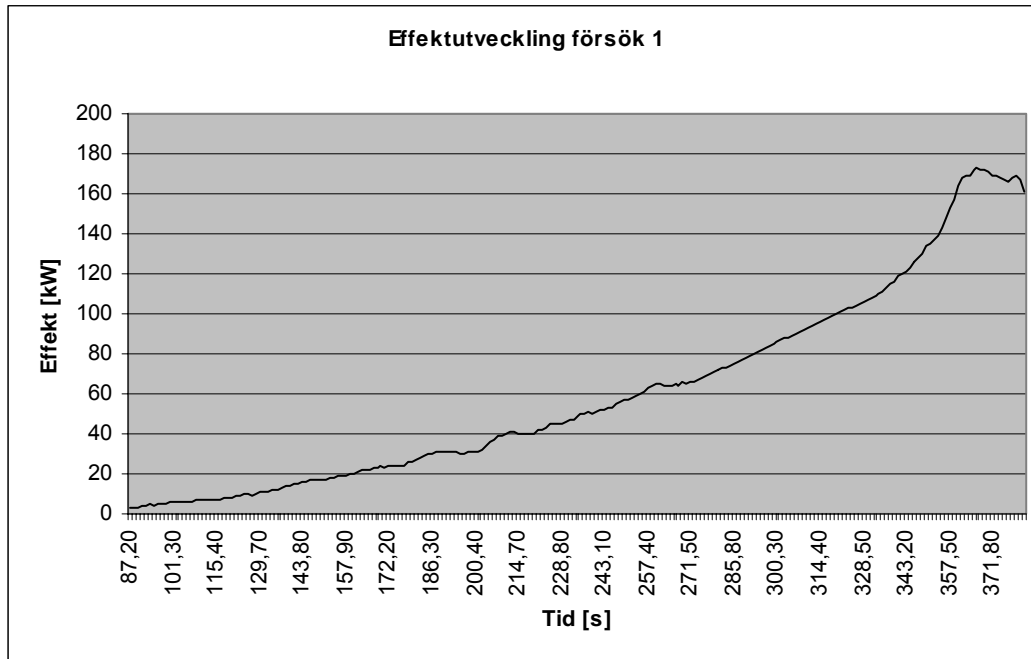
Variabler och konstanter

$k_t = 0,9$  - medelhastigheten genom centrumhastigheten i möbelkalorimeterns kanal

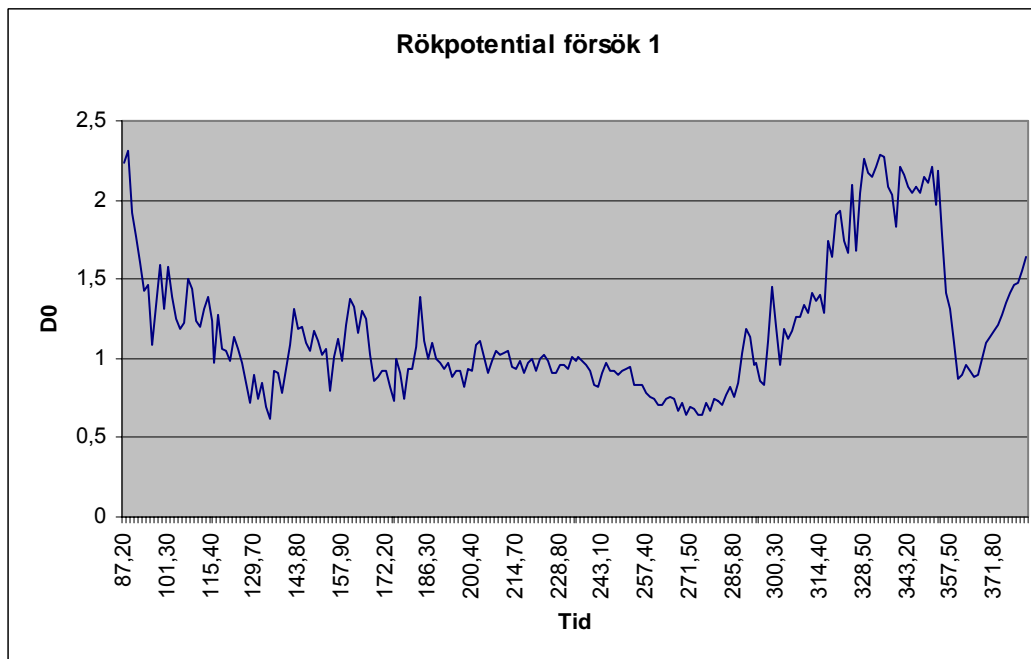
$k_p = 1,08$  - kalibreringskonstant

$A$  = möbelkalorimeters kanalarea [ $m^2$ ]  
 $\Delta P$  = tryckskillnad i pitotrör i möbelkalorimeters kanal [Pa]  
 $T_s$  = temperatur i möbelkalorimeters kanal [K]  
 $X_{O_2}^0$  = procent syre i luften [%]  
 $X_{O_2}^S$  = procent syre i brandgaserna [%]  
 $\alpha = 1,1$  - expansionsfaktor för luft  
 $D_0$  = rökpotential [ $m^2/g$ ]  
 $L$  = möbelkalorimeters kanaldiameter [m]  
 $I/I_0$  = ljusdämpning

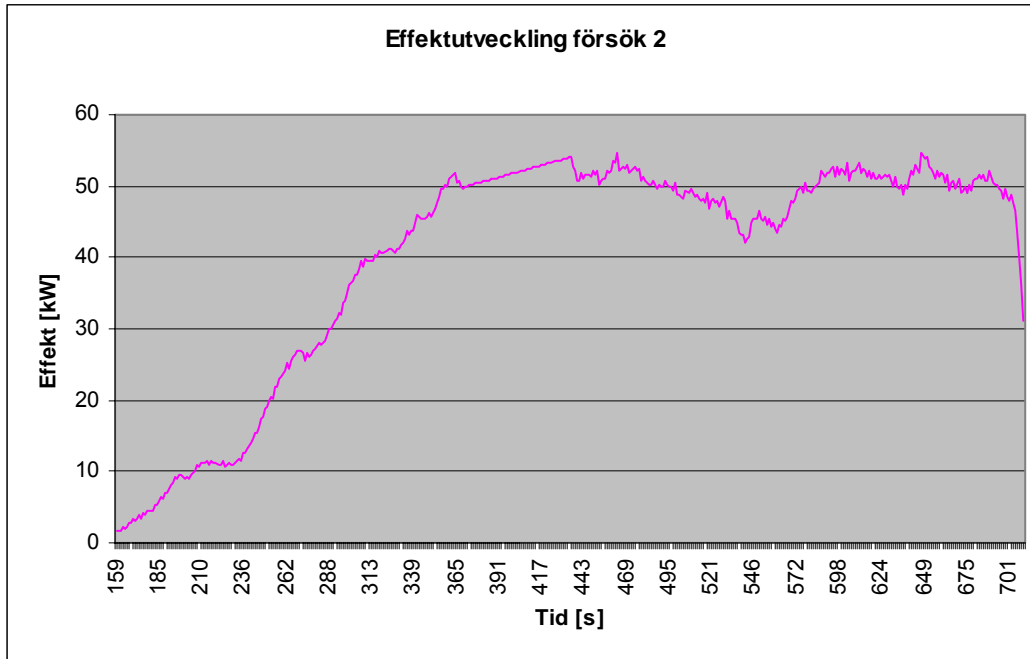
## Resultat



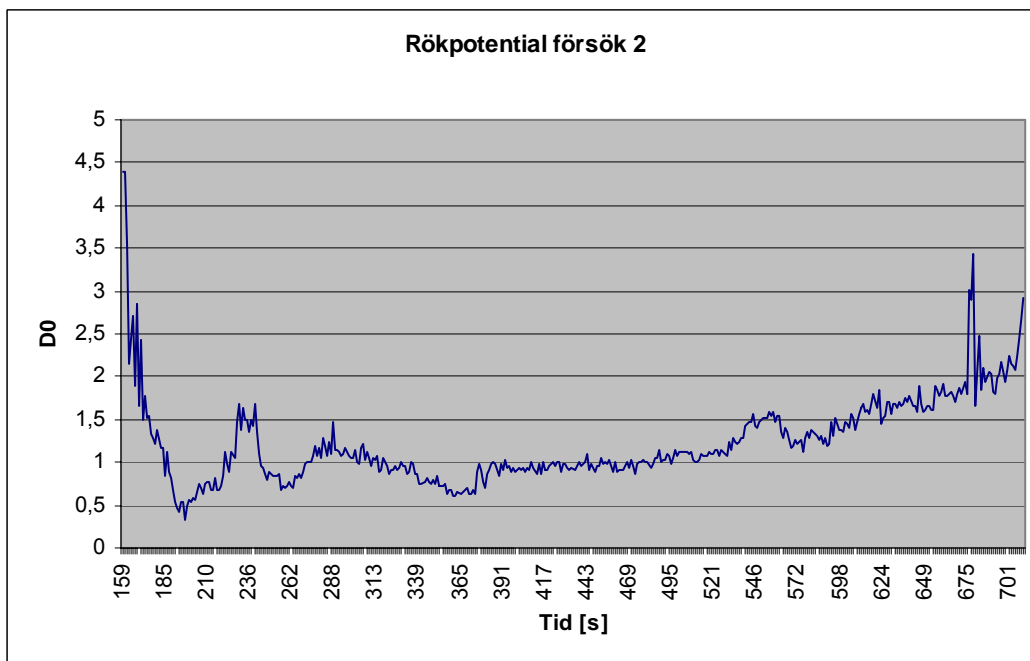
Figur E.1



Figur E.2



Figur E.3



Figur E.4

$\Delta H_c$ , försök 1 = 6,6 MJ/kg

$D_0$ , försök 1 = 2,3 m<sup>2</sup>/g

$\Delta H_c$ , försök 2 = 6,2 MJ/kg

$D_0$ , försök 1 = 1,75 m<sup>2</sup>/g

### Möjliga felkällor

Kalibrering av, och osäkerheter i, mätutrustningen

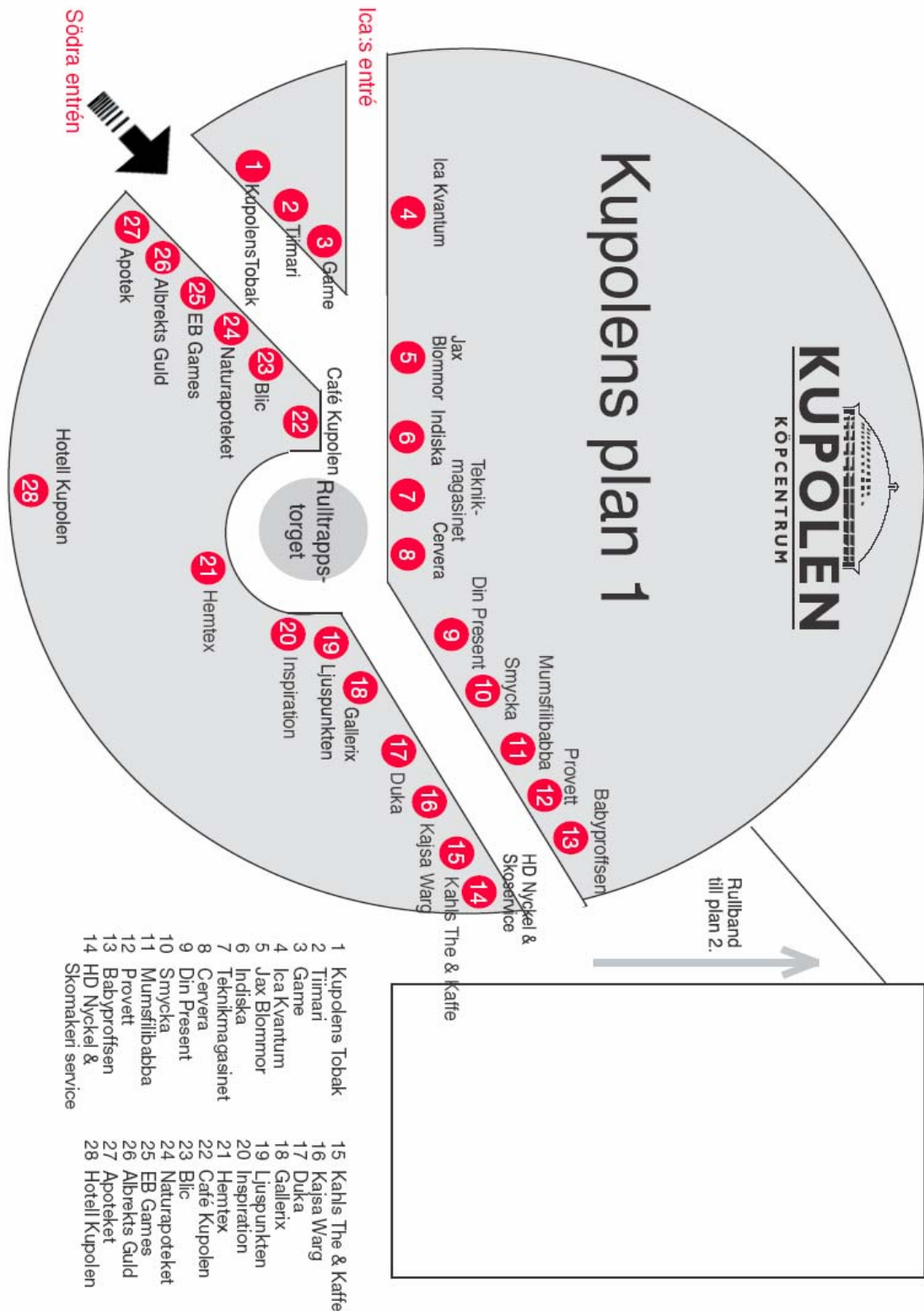
En liten del av bränslepaketerna hade inte brunnit upp innan försöken avslutades

De förenklingar och antaganden som ligger till grund för beräkningsformlerna

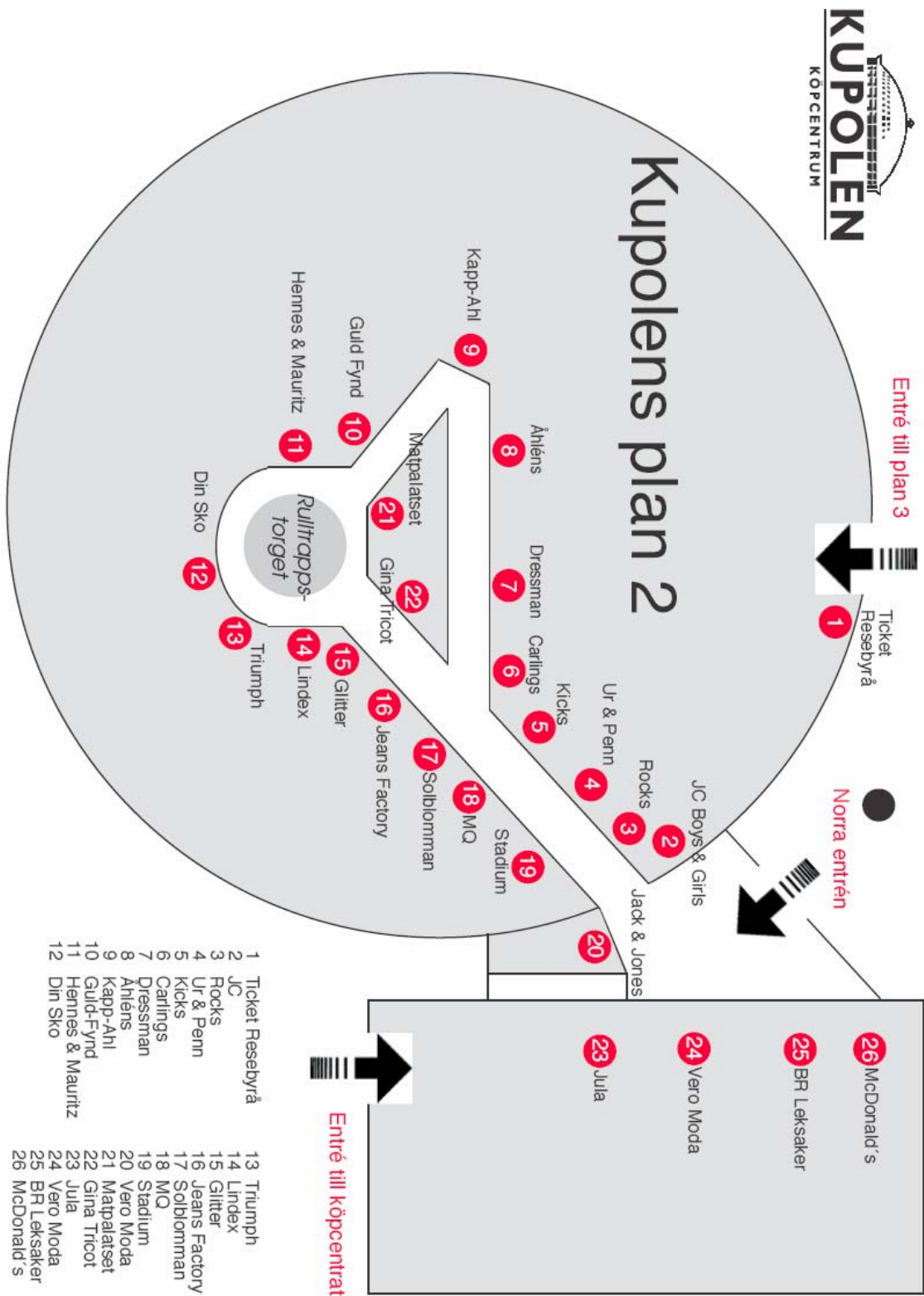
### **Slutsatser/Diskussion**

De båda försöken ger liknande värden på  $\Delta H_c$  och  $D_0$ . Vid förbränning av bränslepaket med en blandning av bomull och syntetiskt material (kudden och täckena) fås en häftig brandgasutveckling och ett snabbt brandförlopp. Förbränning av bränslepaket med en blandning av bomull och ull blev (kläder) erhöles inte lika kraftig brandgasutveckling och ej heller lika snabbt brandförlopp som med kudden och täckena. De syntetiska materialen hade en tendens att droppa vilket skulle kunna leda till snabbare brandspridning.

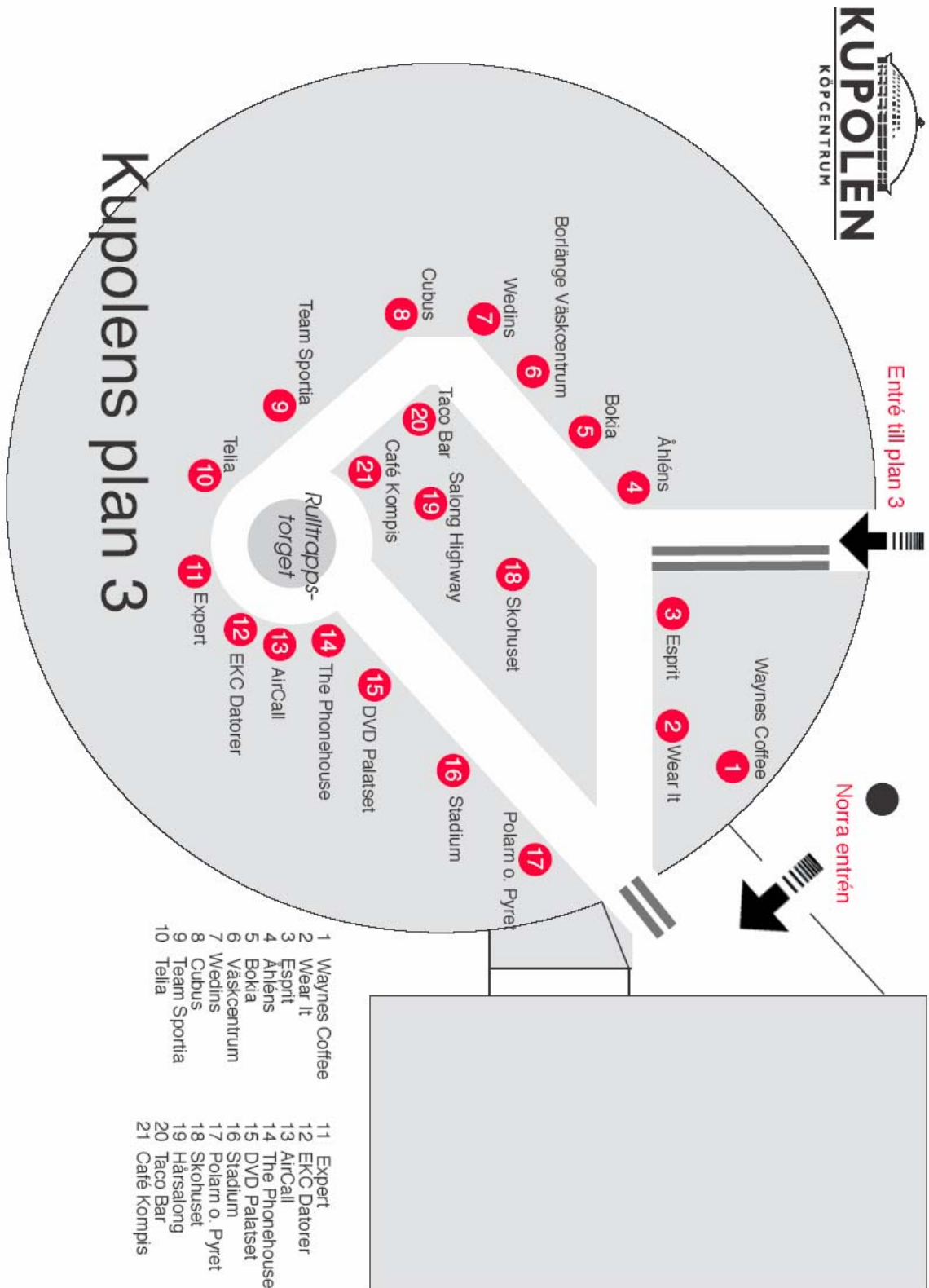
## Bilaga F – Planöversikt samt ritningar med markerade utrymningsvägar



Figur F.1. översikt över plan 1 (Steen & Strøm Sverige AB, 2006)

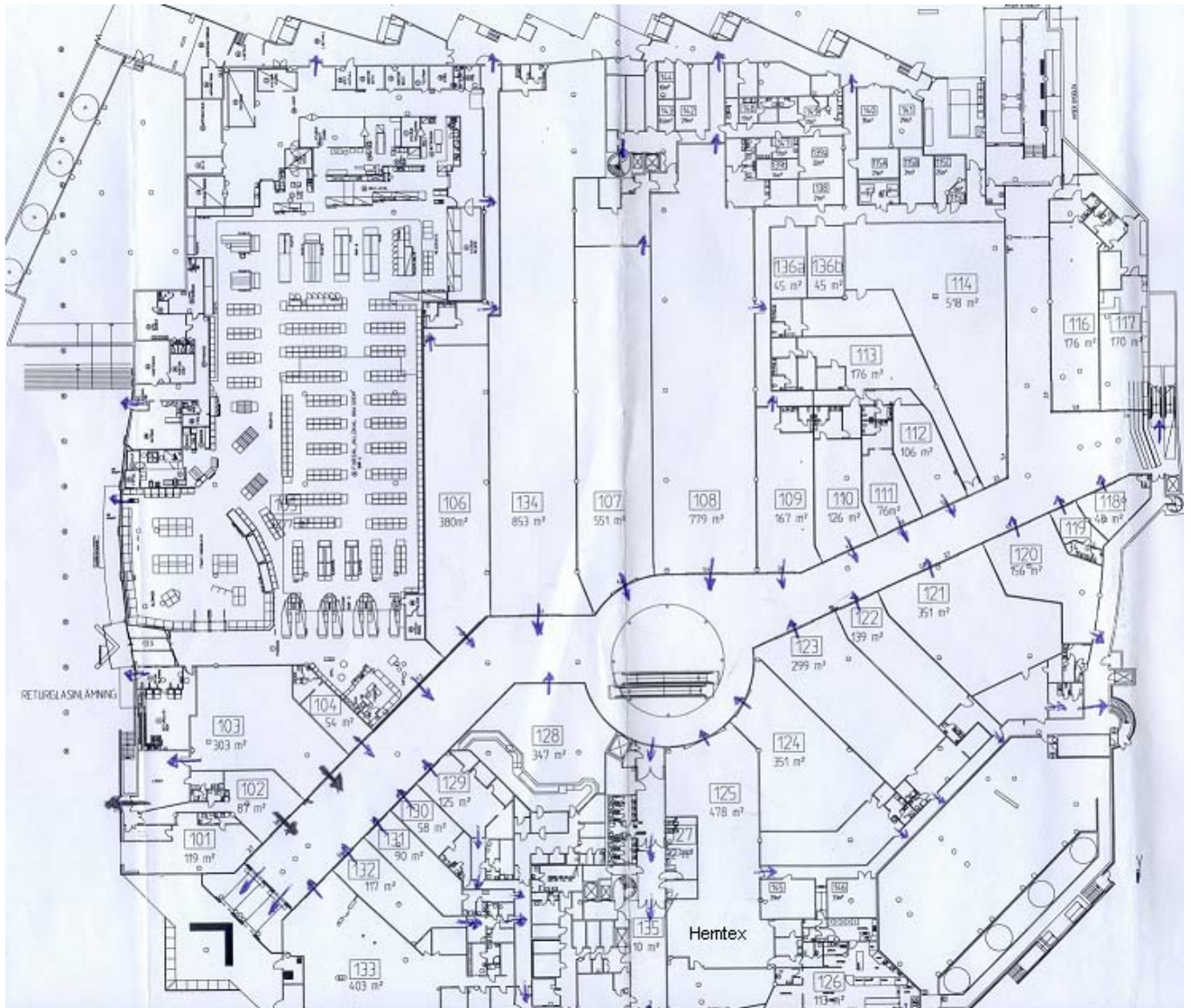


Figur F.2. översikt över plan 2 (Steen & Strøm Sverige AB, 2006)

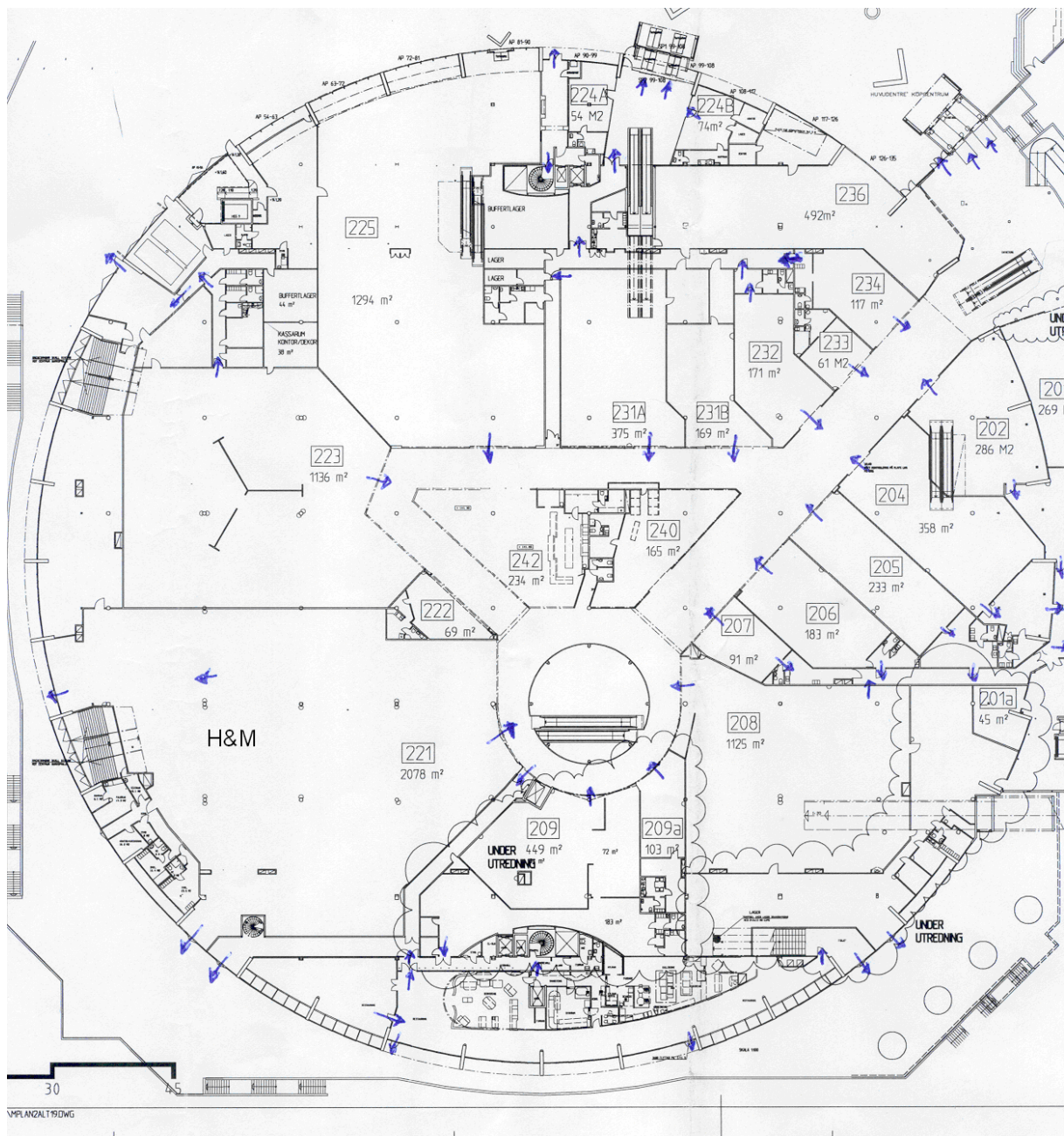


Figur F.3. översikt över plan 3 (Steen & Strøm Sverige AB, 2006)





Figur F.4. Utrymningsvägar plan 1



Figur F.5. Utrymningsvägar plan 2

