

Brandteknisk riskvärdering Köpstaden, Skara

Cornelius, Dan
Nilsson, Martin
Nordström, Henrik
Tonegran, David

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds Universitet

Rapport 9273, Lund 2005



LUNDS TEKNISKA
HÖGSKOLA
Lunds universitet

**Brandteknisk riskvärdering
Köpstaden, Skara**

Cornelius, Dan
Nilsson, Martin
Nordström, Henrik
Tonegran, David

Lund 2005

Avdelningen för brandteknik

Lunds Tekniska Högskola

Box 118

221 00 Lund

Telefon: 046-222 73 00

E-post: brand@brand.lth.se

Department of Fire Safety Engineering

Lund University

Box 118

S-221 00 Lund, Sweden

Telephone: +46 46 222 73 00

E-mail: brand@brand.lth.se

Rapport/Report

9273

Titel:

Brandteknisk riskvärdering av Köpstaden, Skara

Title:

Fire safety evaluation of Köpstaden, Skara

Av/By

Dan Cornelius

Martin Nilsson

Henrik Nordström

David Tonegran

Brandingenjörsprogrammet, Lunds Tekniska Högskola, december 2005

Department of Fire Safety Engineering, Lund University, December 2005

Abstract:

This report contains an evaluation of the personal safety in case of fire at Köpstaden, Skara, Sweden. The building is a regular shopping mall in one storey. The mall is designed as one fire cell, this is allowed thanks to the main fire protection system, sprinklers.

Five possible fire scenarios were chosen. The scenarios represent the most critical fires likely to occur in the building. All the scenarios were evaluated from a personal safety point of view. The fire modeling has mainly been done using hand calculations and fire growth reports. The time until critical conditions occur has been calculated using the two-zone computer model CFAST and hand calculations. The egress time has been calculated using an egress analysis computer program, Simulex. Property and structural damage have not been taken into account, nor has the ventilation system.

The main conclusion of the report is that the building has good safety in case of fire. The fact that the building is made in one storey and the wideness of the fire escape routes facilitates an evacuation of the building.

The report includes suggestions for improvement of the building's fire safety design. The most urgent things to attend to is to clear all escape routes from rubbish and to secure the maintenance of the escape routes. Further the routines for the staff in case of fire must be clarified to ensure satisfying evacuation.

Sökord:

Brandteknisk riskvärdering, CFAST, Simulex, Köpstaden, Skara, brandmodellering, personsäkerhet, utrymning, utrymningsanalys, kritiska förhållanden, rökberäkningar, rökfyllnad, sprinkleraktivering.

Keywords:

Fire safety evaluation, CFAST, Simulex, Köpstaden, Skara, fire modeling, personal safety, evacuation, egress analysis, critical conditions, smoke modeling, smoke filling, sprinkler activation.

Språk/Language:

Svenska/Swedish

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

Förord

Författarna vill rikta sitt tack till följande personer för deras bidrag till arbetet:

Henrik Johansson, Brandteknik LTH, för ett väl utfört handledararbete. Henrik fungerade som ett bollplank och lät oss själva finna svaren på våra frågor.

Ingrid Almgren, Räddningstjänsten, Skara-Götene. Ingrid har visat stort engagemang i rapporten och mottog oss på ett mycket bra sätt i Skara.

Sven-Ingvar Granemark, Brandteknik LTH, för hjälp vid brännbarhetsförsök.

Glenn Frost, fastighetsskötare, Köpstaden Skara. Glenn gav oss en mycket grundlig guidning av Köpstaden.

Matz Kindmalm, Intendent, Köpstaden Skara, trots sitt pressade schema tog sig Matz tiden att delta vid objektsbesöket.

Vi vill också rikta ett tack till alla föreläsare som undervisat oss och bidragit med svar på frågor, Robert Jönsson, Lars Jensen, Daniel Gojkovic, Håkan Frantzich, Daniel Nilsson och Göran Holmstedt.

Sammanfattning

Denna rapport är en brandteknisk riskvärdering av Köpstaden i Skara. Betoningen på rapporten ligger i att utvärdera personsäkerheten vid brand i byggnaden.

Köpstaden är ett kombinerat shopping- och aktivitetscenter och byggdes 1990. Under årens gång har ett antal ombyggnationer genomförts. Efter en mycket lovande start har centrat nu stora problem och i folkmun kallas Köpstaden för ”spökstaden”. Många lokaler står tomma och butiker flyttar in och ut. Maximalt förväntas Köpstaden besökas av 4000 personer samtidigt.

Köpstaden är byggt i ett plan på 24 000 m², alla verksamheter bedrivs i samma brandcell, vilket godkändes när tanken var att hela Köpstaden skulle vara sprinklad. I dagsläget saknas det dock sprinkler i vissa delar.

I ett tidigt skede i kursen gjordes ett besök på Köpstaden för att få en uppfattning av dess utrymningsmöjligheter och nuvarande brandskydd. Ett stort antal möjliga scenarier utvärderades och från dessa valdes fem stycken representativa scenarier. Brandscenarierna simulerades med hjälp av datorprogrammet CFAST och resultaten jämfördes med handberäkningar för att få en uppfattning om när tiden till kritiska förhållanden uppstår. Därefter simulerades utrymningen i datorprogrammet Simulex och resultaten jämfördes med den framtagna tiden till kritiska förhållanden.

Resultaten visar på svårigheter att utrymma en av lokalerna när denna används som nattklubb. Svårigheter kan även uppstå vid utrymning av klätterställningen som är belägen i Köpstadens atrium. I övrigt kan det konstateras att utrymnings säkerheten är god.

Nedan presenteras förslag som skall och bör utföras för att förbättra personsäkerheten.

Åtgärder som skall genomföras:

- Säkerställa att nödutgångar och manuell släckutrustning ej är blockerade
- Säkerställa rutiner för underhåll av nödutgångsskyltar
- Tydligare markering av nödutgångar
- Varor får inte lagras så att sprinklerverkan försämras

Åtgärder som bör genomföras:

- Nödutgångar bör ha trycke eller panikslag
- Plant undertak bör monteras i samtliga lokaler med sprinkler
- Säkerställa personalens rutiner vid utrymning av klätterställning i atriet
- Säkerställa personalens rutiner vid utrymning av lokal 8 då den används som nattklubb

Om ovan givna skall-åtgärder genomförs kommer Köpstaden att bli säker ur utrymnings synpunkt.

Innehållsförteckning

1. Inledning	5
1.1 Syfte	5
1.2 Metod	5
1.3 Avgränsningar	6
2. Objektbeskrivning	7
2.1 Historia	7
2.2 Byggnaden.....	7
2.2.1 Konstruktion.....	8
2.3 Befintligt brandskydd	8
2.3.1 Brandcellsindelning.....	8
2.3.2 Sprinklersystem.....	8
2.3.3 Automatiskt brand- och utrymningslarm	8
2.3.4 Brandgasventilation.....	8
2.3.5 Manuell släckutrustning	9
2.3.6 Räddningstjänstens insats.....	9
2.3.7 Utrymningsvägar	9
2.4 Ventilationssystem	9
3. Brandscenarier	10
3.1 Möjliga scenarion.....	10
3.2 Likvärdiga scenarier.....	13
3.2.1 Resonemang till val av scenarier.....	13
3.3 Valda scenarier.....	15
3.4 Effektutvecklingskurvor.....	16
3.4.1 Förbrinntid.....	16
3.4.2 Sprinklerpåverkan	17
3.5 Scenario 1, brand i klädbutik, lokal 13.....	18
3.5.1 Lokalbeskrivning.....	18
3.5.2 Effektkurvor	19
3.6 Scenario 2, brand i klädbutik, lokal 26.....	20
3.6.1 Lokalbeskrivning.....	20
3.6.2 Effektkurvor	21
3.7 Scenario 3 och 4, brand i nöjesetablissemang, lokal 8.....	22
3.7.1 Lokalbeskrivning.....	23
3.7.2 Effektkurva.....	25
3.8 Scenario 5, brand i golfanläggning, lokal 1	26
3.8.1 Lokalbeskrivning.....	26
3.8.2 Effektkurva.....	27
3.8.3 Kvalitativ bedömning av personsäkerheten i minigolflokalen.....	28
4. Simulering av brandförlopp	30
4.1 Antaganden i CFAST	30
4.2 Kritiska förhållanden.....	31
4.3 Brandsimulering i klädbutik, lokal 13.....	32
4.3.1 Geometrin för lokal 13 använd i CFAST	32
4.3.2 Kritiska förhållanden i lokal 13.....	32
4.3.3 Simulering med tidig sprinkleraktivering	33
4.3.4 Simulering med sen sprinkleraktivering	35

4.3.5 Analys av rökspridning i lokal 13 med hjälp av handberäkningar (helt omblandat fall)	37
4.4 Brandsimulering i klädbutik, lokal 26	38
4.4.1 Geometrin för lokal 26 använd i CFAST	38
4.4.2 Kritiska förhållanden i lokal 26	38
4.4.3 Simulering med tidig sprinkleraktivering	39
4.4.4 Simulering med sen sprinkleraktivering	41
4.4.5 Analys av rökspridning i lokal 26 med hjälp av handberäkningar (helt omblandat fall)	43
4.5 Brandsimulering nöjesetablissemang, lokal 8	44
4.5.1 Geometrin för lokal 8 i CFAST	44
4.5.2 Kritiska förhållanden i lokal 8	44
4.5.3 Simulering med tidig Sprinkler aktivering	45
4.5.4 Simulering med sen sprinkleraktivering	47
4.5.5 Analys av rökspridning i lokal 8 med hjälp av handberäkningar (helt omblandat fall)	49
4.6 Sammanfattning av tider till kritiska förhållanden i brandrummen	50
4.7 Kritiska förhållanden i gångstråk och atrium	51
4.7.1 Tvåzons-modellen	52
4.7.2 Helt omblandat fall	52
4.7.3 Diskussion kring erhållna tider	53
5 Utrymning	54
5.1 Teori för utrymning	54
5.2 Kritisk tid	54
5.3 Utrymningstid	54
5.4 Beskrivning av simuleringsprogrammet Simulex	55
5.4.1 Begränsningar	55
5.4.2 Förtjänster	55
5.5 Utrymningssimulering	56
5.5.1 Utrymningssimulering av lokal 13, scenario 1	56
5.5.2 Utrymningssimulering av lokal 26, scenario 2	57
5.5.3 Utrymningssimulering av lokal 8 dagtid, scenario 3	57
5.5.4 Utrymningssimulering av lokal 8 kvälltid, scenario 4	58
5.5.5 Utrymningssimulering av hela Köpstaden, samtliga scenarier	58
5.5.6 Utrymning av klätterställning i atriets	59
5.5.7 Sammanställning av simulerade utrymningstider	59
6. Känslighetsanalys	60
6.1 Känslighetsanalys av fallet då sprinkler inte aktiverar	60
6.2 Känslighetsanalys av snabbare brandtillväxt i lokal 8	61
6.3 Känslighetsanalys av tid tills kritiska förhållanden i atrium och gångstråk inträffar	62
6.3.1 Lokal 13 och 26	62
6.3.2 Lokal 8	63
6.4 Känslighetsanalys av utrymningslarmets funktion	63
6.5 Känslighetsanalys Simulex	64
6.6 Tornadodiagram	65
6.6.1 Scenario 1, lokal 13	65
6.6.2 Scenario 2, lokal 26	66
6.6.3 Scenario 3, lokal 8 dagtid	67

6.6.4 Scenario 4, lokal 8 nattetid.....	68
6.7 Resultat av känslighetsanalys för rökspridning i atriet och gångstråken	68
7. Resultat och bedömning av utrymningssäkerheten	69
7.1 Resultat och bedömning av brandrum.....	69
7.1.1 Scenario 1, klädbutik lokal 13	69
7.1.2 Scenario 2, klädbutik lokal 26.....	69
7.1.3 Scenario 3, nöjesetablissemang lokal 8, dagtid.....	70
7.1.4 Scenario 4, nöjesetablissemang lokal 8, kvällstid	70
7.1.5 Scenario 5, minigolfanläggning lokal 1	70
7.2 Resultat och bedömning av atrium och gångstråk	71
7.2.1 Bedömning av klätterställningen.....	71
8. Förslag till förbättringar och helhetsbedömning av utrymningssäkerheten	72
8.1 Åtgärder som skall genomföras.....	72
8.1.1 Säkerställa att nödutgångar och manuell släckutrustning ej är blockerade.....	72
8.1.2 Säkerställa rutiner för underhåll av nödutgångsskyltar.....	72
8.1.3 Tydligare markering av nödutgångar	72
8.1.4 Varor skall inte lagras så att sprinklerverkan försämras	73
8.2 Åtgärder som bör genomföras.....	73
8.2.1 Nödutgångar bör ha trycke eller panikslag	73
8.2.2 Plant undertak bör monteras i samtliga lokaler med sprinkler.....	73
8.2.3 Säkerställa personalens rutiner vid utrymning av klätterställning i atriet.....	73
8.2.4 Säkerställa personalens rutiner vid utrymning av lokal 8 då den används som nattklubb.....	73
8.3 Helhetsbedömning av utrymningssäkerheten av Köpstaden.....	74
9. Referenslista.....	75
Bilaga 1 – Tid för sprinkleraktivering	
Bilaga 2 – Effektkurva klädbutik lokal 13 och 26	
Bilaga 3 – Effektkurva nöjesetablissemang, lokal 8	
Bilaga 4 – Brandspridning och effektutveckling i golfanläggning, lokal 1	
Bilaga 5 – Indata CFAST	
Bilaga 6 – Resultat från CFAST för kritiska tider i gångstråk och atrium	
Bilaga 7 – Beräkningar för kritiska tider i gångstråk och atrium helt omblandat fall	
Bilaga 8 – Aktiveringstid för rökdetektorer	

1. Inledning

1.1 Syfte

Denna rapport är en del av kursen Brandteknisk Riskvärdering, VBR 054, som genomförs för brandingenjörsstudenter vid Lunds Tekniska Högskola. Enligt kursprogrammet skall deltagare på kursen:

”Genomföra en värdering av risknivån hos ett objekt vilken genomförs som ett större projektarbete. I projektarbetet skall förslag till förbättringar kunna anges samt kunna ange säkerhetskonskvensen av dessa. Projektarbetet utförs som ett grupparbete med bland annat experimentella inslag, studiebesök och rapportskrivning. Projektarbetet presenteras vid ett offentligt seminarium.”

Betoningen på rapporten ligger i att utvärdera personsäkerheten vid brand i byggnaden. Vid behov skall förslag på förbättringar som kan genomföras för att höja personsäkerheten presenteras. En väl utförd rapport tränar studenterna på rapportskrivning, lagtolkning, tillgängliga metoder för datorsimulering av brand, kritiskt tänkande vid riskbedömning, brandskyddsarbete i praktiken, rutiner för objektskontroll, kontakt med myndigheter och presentation av färdig rapport.

1.2 Metod

Kursen genomförs enligt en ”Case-study metodik” som är av problembaserad karaktär. Arbetsgången har varit relativt fri och arbetet med kursen har lagts upp tämligen fritt.

I ett tidigt skede av kursen gjordes ett besök på Köpstaden i Skara. Besöket genomfördes tillsammans med en representant från räddningstjänsten Skara-Götene, Ingrid Almgren, en representant från fastighetsägaren, intendent Matz Kindmalm, fastighetsskötaren, Glenn Frost och en handledare från LTH, Henrik Johansson.

Efter objektsbesöket har ett antal kritiska scenarion valts, dessa scenarion har utvärderats med avseende på brandtillväxt, aktiva system och möjlighet till utrymning. Med hjälp av brandtillväxten har tiden till kritiska förhållanden med avseende på utrymning kunnat beräknas. Denna tid har jämförts med simulerad tid till utrymning. Detta har gett ett mått på huruvida objektet är säkert vid en brand eller inte. Förutom handberäkningar har främst datorsimuleringsprogrammen CFAST och Simulex använts.

Under hela arbetets gång har handledare från LTH fungerat som bollplank och gett värdefulla kommentarer.

1.3 Avgränsningar

En av målsättningarna med denna kurs är enligt kursprogrammet att ”Kunna tillämpa beräkningsmetoder för brandgasspridning via ventilationssystem, trycksättning av byggnader och specifikt trapphus”. Denna rapport avser inte att ytterligare fördjupa sig i denna frågeställning.

All verksamhet i Köpstaden bedrivs i samma brandcell. Då brandcellsgränser mellan verksamhetslokalerna saknas kommer brandgaser att kunna sprida sig via undertak, ventilationssystem, dörrar, fönster och andra otätheter i byggnaden. Eftersom alla lokaler i byggnaden är stora och har stora öppningar kommer en brand inte kunna bygga upp det höga tryck som krävs för brandgasspridning via ventilationssystemet. Ovanstående resonemang leder till att brandgasspridning via ventilationssystemet är av mindre intresse. Då Köpstaden dessutom är konkurshotat har aktuella ventilationsritningar ej kunnat studeras, eftersom fordringsägarna inte tillhandahåller ritningar över de ombyggda delarna innan de har fått betalt. Brandgasspridning via ventilationssystemet kommer inte att undersökas i denna rapport.

I denna rapport har inte egendomsskyddet beaktats, i enlighet med kursplanen.

Inte heller brandgasernas påverkan på människor i form av toxicitet har beaktats.

2. Objektbeskrivning

Köpstaden är ett shoppingcenter utanför Skara, kombinerat med aktiviteter för större sällskap. Utöver vanlig shopping finns möjlighet till konferenser, fester och aktiviteter som spåanläggning, golf och team building. Köpstaden angränsar till nöjesparken Skara Sommarland, detta medför att en stor del av kunderna förväntas tillströmma under sommartid. Kunderna kan förväntas vara företag och privatpersoner i alla åldrar. En del av byggnaden kommer att användas som nattklubb, varför onyktra personer kommer att utgöra en del av kundskaran.

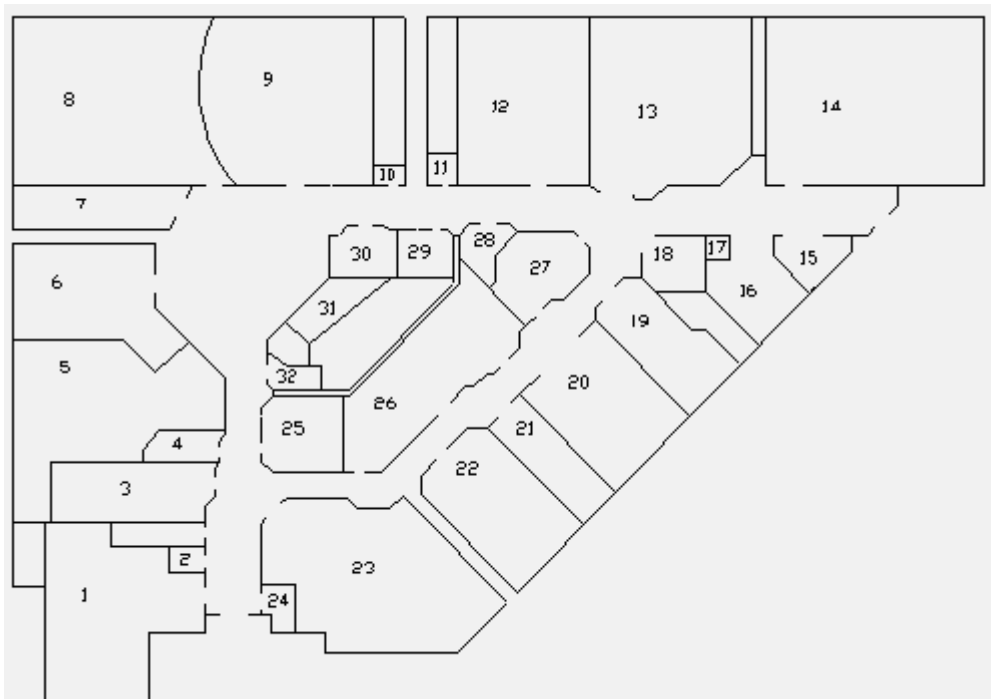
2.1 Historia

Köpstaden byggdes 1990 enligt amerikansk modell. Den ursprungliga tanken var att kunder skulle köra in i byggnaden med bil, därför är gångstråken över tio meter breda. Tanken om att kunder skulle köra bil inne i Köpstaden övergavs dock snabbt och nu är Köpstaden utformat som ett vanligt köpcenter.

Efter en mycket lovande start har centrat nu stora problem. I folkmun kallas Köpstaden för "spökstaden". Många lokaler står tomma och butiker flyttar in och ut i stor utsträckning. I takt med detta har den ursprungliga ritningen modifierats vid ett flertal tillfällen. Många väggar och tak har försvunnit och tillkommit under årens gång. Sedan byggnaden uppfördes har inga brandtillbud skett.

2.2 Byggnaden

Här beskrivs byggnadens utformning. Till grund för detta ligger egna observationer, befintliga brandskyddsdocumentationer^{1, 2} och samtal med Matz Kindmalm och Glenn Frost. I figur 2.1 ses byggnadens utformning.



Figur 2.1 Köpstadens geometri

¹ ÅF, 2005

² ÅF-RNK AB, 2000

2.2.1 Konstruktion

Byggnaden är 24 000 m² och byggd i ett plan enligt följande:

- Limträbalkar och pelare
- Fasader i plåt och glas
- Allmännytor har plåttak och träullsskivor i taket
- Butiker har betongtak
- Väggar mellan butiker utförs som lättväggar med gips och träreglar
- Stenbeläggning på golv i allmännytor

2.3 Befintligt brandskydd

Här beskrivs byggnadens befintliga brandskydd. Till grund för detta ligger egna observationer, befintliga brandskyddsdokumentationer^{3,4} och samtal med Matz Kindmalm och Glenn Frost.

2.3.1 Brandcellsindelning

Alla verksamhetsutrymmen tillhör samma brandcell. I byggnaden finns tre utrymmen klassade som egna brandceller och brandtekniskt klassade EI60. Detta innebär att byggnaden består av fyra brandceller. För att uppfylla krav enligt BBR har hela byggnaden försetts med rökdetektorer, sprinklersystem och automatiskt utrymningslarm.

2.3.2 Sprinklersystem

Följande data gäller för sprinklersystemet⁵:

- RTI-värde, äldre del – 180 (ms)^{1/2}
- RTI-värde, ombyggd del – 50 (ms)^{1/2}
- En sprinkler täcker 12 m²
- Sämsta flöde - 70 l/min
- Aktiveringstemperatur - 68°C

Vid besöket på objektet konstaterades att på en del lager fanns det varor staplade alltför högt och ibland ovanför sprinklerhuvudena.

2.3.3 Automatiskt brand- och utrymningslarm

Hela byggnaden är försedd med automatiskt brandlarm. Utrymningslarmet är av typen akustisk signal kombinerat med ett informativt talat meddelande. Detektortypen i Köpstaden är genomgående rökdetektorer och varje detektor täcker maximalt en area på 300 m². Utrymningslarmet aktiveras vid både detektor- och sprinkleraktivering. Brandlarmet larmlagras i 60 sekunder innan räddningstjänsten kontaktas. Vid kvittering av larm har fastighetsskötaren fem minuter på sig att kontrollera byggnaden. Utrymningslarmet i byggnaden aktiveras dock direkt. Larmknappar finns placerade i byggnaden.

2.3.4 Brandgasventilation

Brandgasventilation finns i hela byggnaden i form av brandgasluckor i taket. Dessa öppnas av räddningstjänsten vid behov.

³ ÅF, 2005

⁴ ÅF-RNK AB, 2000

⁵ CE Sprinkler, 2005

2.3.5 Manuell släckutrustning

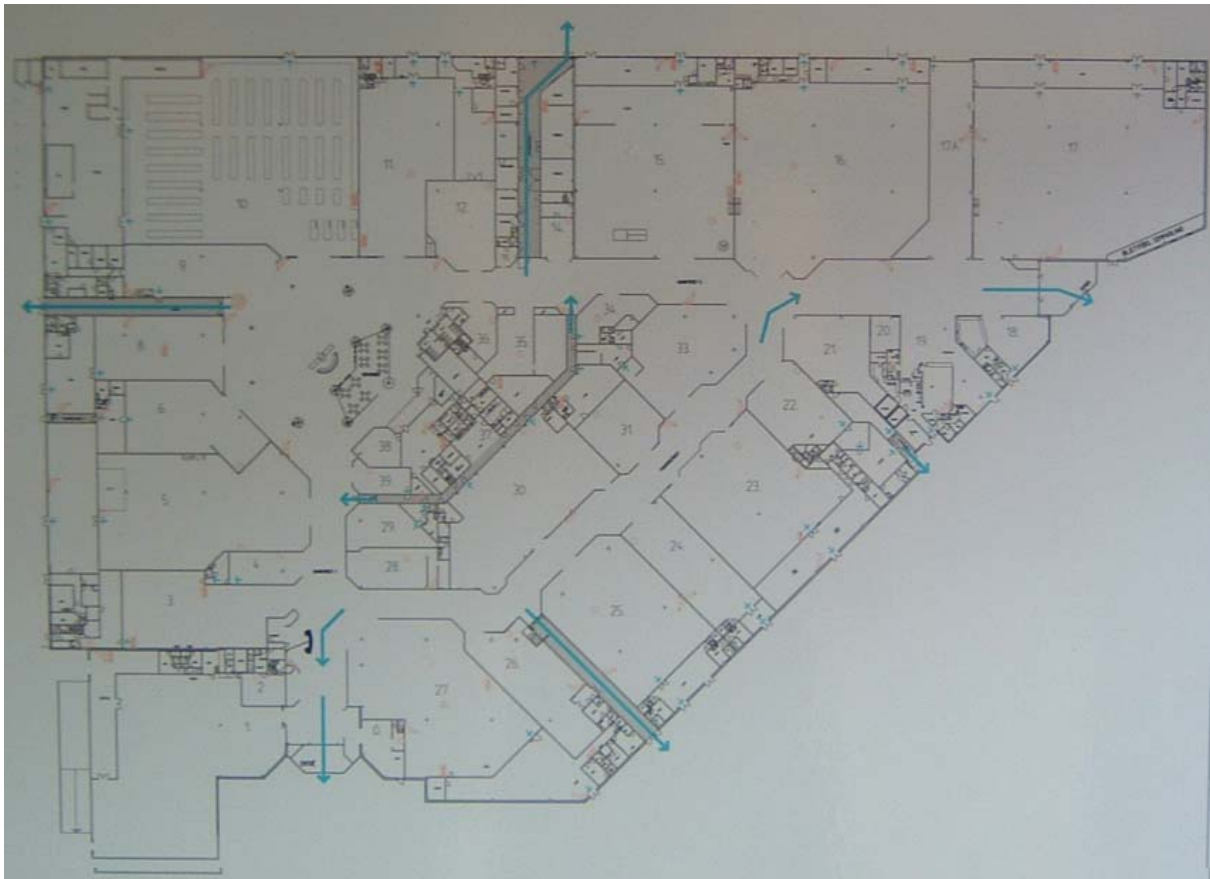
Manuell släckutrustning finns i större delen av byggnaden i form av brandposter och handbrandsläckare. Vid besöket konstaterades att en del av denna utrustning var blockerad.

2.3.6 Räddningstjänstens insats

Skara – Götene är en liten räddningstjänst, på helger samt kvällstid går man över till en deltidssberedskap. Eftersom butikerna är öppna även på helgerna och en del verksamheter har öppet även kvällstid kan räddningstjänsten tidigast förväntas nå objektet 20 minuter efter larm. Utrymning måste därför ske helt utan räddningstjänstens insats.

2.3.7 Utrymningsvägar

Köpstaden har två huvudentréer som är sex meter breda. De tre brandtekniskt avskiljda utrymningsvägarna är fyra meter breda. Ingångar till butikerna är överlag ungefär fyra meter breda och nödutgångarna från butikerna genom lagren är en till två meter breda. Vid besöket konstaterades att en del nödutgångar var blockerade. Några utrymningsvägar var också undermåligt utmärkta och en del saknade panikslag eller trycke.



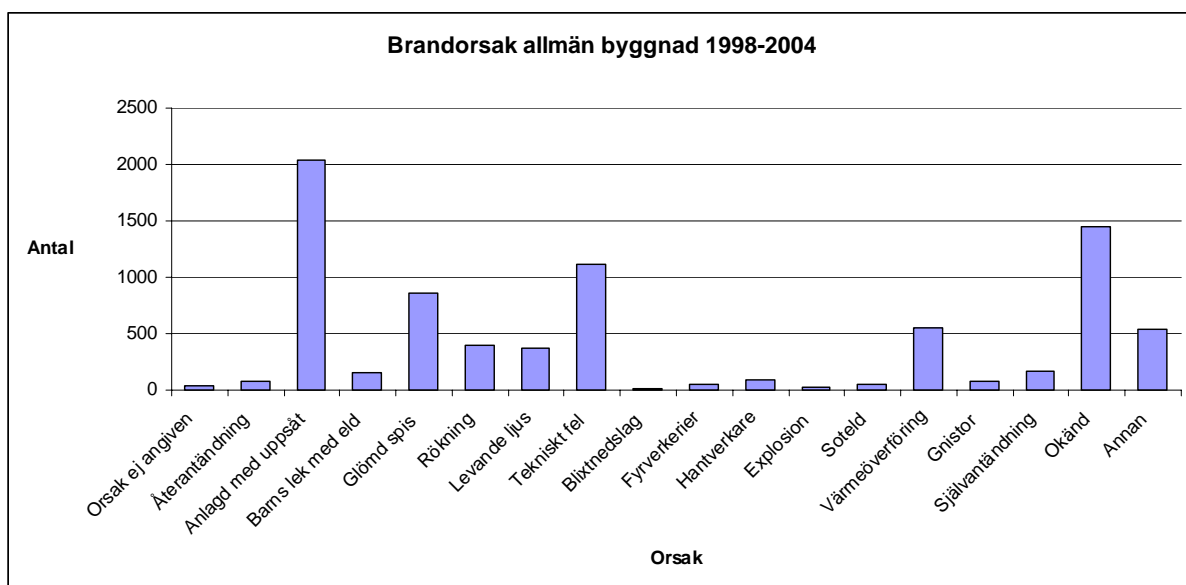
Figur 2.2 Utrymningsvägarna i Köpstaden

2.4 Ventilationssystem

Enligt avsnitt 1.3 har ventilationssystemet inte studerats. I denna riskbedömning förutsätts att de brandklassade utrymningsvägarna skyddas från brandgasspridning via ventilationssystemet enligt byggnadsnämndens krav.

3. Brandscenarier

För att kunna utvärdera utrymningssäkerheten i byggnaden behövs ett antal representativa och troliga brandscenarier. Vid val av scenario kan olika strategier väljas. Med hjälp av statistik kan de mest troliga antändningskällorna hittas. Detta val behöver dock inte leda till att de mest kritiska scenarierna för utrymning väljs. Denna rapport inriktar sig på de mest kritiska och troliga situationer som bedöms kunna uppstå. Enligt SRV⁶ är antändning med uppsåt den vanligaste orsaken till bränder inom handeln. Vid val av scenario studeras därför inte antändningskällan, utan rapporten konstaterar att en brand uppstår och försöker hitta de mest kritiska scenarierna, oavsett tändkälla. Eftersom all verksamhet bedrivs i samma brandcell blir det svårt att avgränsa arbetet. Brinner det i en lokal kommer hela komplexet att påverkas av detta i takt med att branden utvecklas. Det är därför nödvändigt att försöka dela in lokalerna i grupper där man kan jämföra vissa lokaler med varandra, eller konstatera att en lokal är värre än en annan, varpå endast den värsta av dessa behöver studeras.



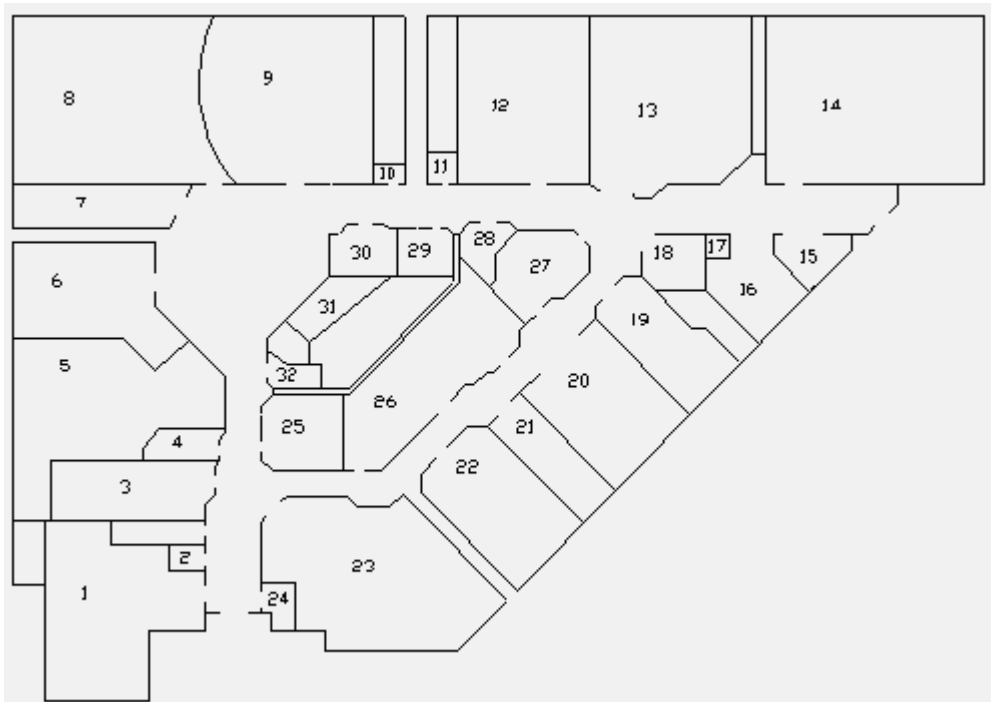
Figur 3.1 Brandorsak i allmän byggnad

3.1 Möjliga scenarion

För att bilda sig en uppfattning om byggnaden gjordes ett besök på Köpstaden i Skara. Vid besöket gjordes en rundvandring och samtliga lokaler studerades. Vid val av scenarier har följande punkter beaktats.

- **Detektion** - Tid till branden upptäcks.
- **Aktiva system** - Sprinkler eller ej.
- **Utrymning** - Hur lätt utryms lokalen, det vill säga lokalens placering, avstånd till utrymningsväg, kan utrymning ske direkt till det fria eller kan utrymningsvägen vara blockerad. En bedömning har skett för varje lokal enligt ovanstående kriterier och graderats från 1-5, där 5 är det bästa betyget och utrymning förväntas då kunna ske lätt.
- **Personnärvaro** - Hur många personer kan förväntas befinna sig i loken maximalt.
- **Mängd brännbart material** - Typ och mängd av brännbart material.
- **Brandtillväxt** - Hur förväntas branden tillväxa.

⁶ Statens Räddningsverk, 2005



Figur 3.2 Köpstadens utformning

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 Minigolfanläggning | 20 Skoaffär |
| 2 Tom lokal | 21 Lager för spelautomater |
| 3 Tom lokal | 22 Tom lokal |
| 4 Prylshop | 23 Klädaffär |
| 5 Konferenslokal | 24 Tobaksaffär |
| 6 Nöjespark för barn | 25 Vetenskapsland, butik |
| 7 Konferensrum tillhörande lokal 8 | 26 Vetenskapsland, utställningshall |
| 8 Nöjesetablissemang | 27 Tom lokal |
| 9 "Team building"-aktiviteter | 28 Klädaffär |
| 10 Frisörsalong | 29 Skivaffär |
| 11 Tatueringsstudio | 30 Kontor |
| 12 Sportaffär | 31 Restaurangkök (atrium) |
| 13 Klädaffär | 32 Medeltidsaffär |
| 14 Prylshop | |
| 15 Glassbar | |
| 16 Hamburgerbar | |
| 17 Tom lokal | |
| 18 Klädaffär | |
| 19 Klädaffär | |

I tabell 3.1 på nästa sida finns en sammanställning där alla lokaler bedömts enligt punkterna i avsnitt 3.1.

Lokal	Detektion	Aktiva system	Person- närvaro	Mängd brännbart material	Brand- tillväxt	Utrymning
1		Sprinkler i halva lokalen & mot angränsande lokal	Hög	Osäker, test genomförs	Osäker, test genomförs	4
2	Rökdetektor	Helsprinklat	-	-	-	4
3	Rökdetektor*	Helsprinklat	-	-	-	5
4	Rökdetektor*	Helsprinklat	Låg	Låg	Långsam	4
5	Rökdetektor	Helsprinklat	Medel	Medel	Medel	3
6	Rökdetektor*	Sprinklat, dock ej i köket	Medel	Låg	Låg	4
7	Rökdetektor*	Helsprinklat	Låg	Låg	Långsam	5
8	Rökdetektor*	Helsprinklat	Hög	Hög	Medel/Snabb	3
9	Rökdetektor*	Helsprinklat	Hög	Låg	Långsam	3
10	Rökdetektor	Helsprinklat	Låg	Låg	Långsam	5
11	Rökdetektor	Helsprinklat	Låg	Låg	Långsam	5
12	Rökdetektor*	Helsprinklat	Medel/Hög	Hög	Snabb	4
13	Rökdetektor*	Helsprinklat	Medel/Hög	Hög	Snabb	4
14	Rökdetektor*	Helsprinklat	Medel/Hög	Hög	Snabb	4
15	Rökdetektor	Helsprinklat	Låg/Medel	Låg	Långsam	5
16	Rökdetektor	Helsprinklat	Medel	Låg	Långsam	5
17	Rökdetektor	Helsprinklat	-	-	-	5
18	Rökdetektor	Helsprinklat	Medel/Hög	Hög	Snabb	4
19	Rökdetektor*	Helsprinklat	Medel/Hög	Hög	Medel	3
20	Rökdetektor*	Helsprinklat	Medel	Medel	Medel	4
21	Rökdetektor*	Helsprinklat	-	Medel	Låg	4
22	Rökdetektor*	Helsprinklat	-	-	-	4
23	Rökdetektor	Helsprinklat	Medel/Hög	Medel	Medel	5
24	Rökdetektor	Helsprinklat	Låg	Medel	Medel	5
25	Rökdetektor*	Helsprinklat	Medel	Låg	Långsam	4
26	Rökdetektor*	Helsprinklat	Medel	Låg	Långsam	3
27	Rökdetektor*	Helsprinklat	-	-	-	4
28	Rökdetektor*	Helsprinklat	Medel	Medel	Hög	4
29	Rökdetektor*	Helsprinklat	Medel	låg	Långsam	4
30	Rökdetektor	Helsprinklat	Låg	Låg	Långsam	4
31	Värmedetektor	Helsprinklat	Låg	Låg	Långsam	4
32	Rökdetektor	Helsprinklat	Låg	Låg	Långsam	4
Atrium, Klätterställning	Rökdetektor	Helsprinklat*	Hög	Låg	Långsam	2
Atrium, Restaurang	Rökdetektor	Helsprinklat*	Medel	Låg	Långsam	4
Arkadhall + verkstad	Rökdetektor	Helsprinklat	Låg	Låg	Långsam	5
Teknikgång	Rökdetektor	Helsprinklat*	Låg	Medel	Hög	5
Gångstråk	Rökdetektor	Helsprinklat*	Medel	Låg	Långsam	5
Utrymningsgångar	Rökdetektor	Helsprinklat	-	-	-	5

Tabell 3.1 Klassificering av lokaler

*Försvarad detektering på grund av högt takhöjd

3.2 Likvärdiga scenarier

En brand i lokaler med liknande verksamheter kan tänkas tillväxa på samma sätt varpå dessa kan jämföras. Dessa lokaler kan även rangordnas med tanke på deras storlek vilket leder till olika stora brandbelastningar.

Lokaler kan även jämföras med avseende på placering inom byggnaden. Lokaler som är belägna utmed ytterväggarna kan alla utrymmas på liknande sätt då dessa har en eller flera utrymningsvägar direkt till det fria. Alla lokaler har också utrymningsvägar via gångstråken. Lokaler placerade i mitten av byggnaden kommer att ha betydligt längre gångavstånd än de som angränsar till ytterväggarna.

Kan utrymning ske tillfredställande från den sämst belägna lokalen, är det klart att även utrymning från de andra lokalerna kommer att kunna genomföras med tillfredställande resultat om brandförloppet är liknande. Detta resonemang kommer att användas, för att på så sätt kunna utse ett antal representativa scenarier.

3.2.1 Resonemang till val av scenarier

Lokalerna 12, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 22 och 23 påminner om varandra med avseende på detektion, aktiva system, personnärvaro, mängd brännbart material, brandtillväxt och utrymningsförutsättningar, enligt tabell 3.1. Dock kan nämnas att klädfären i lokal 23 har ett undertak vilket underlättar detektering och sprinkleraktivering.

En brand i lokal 13 anses representera brand i lokal 3, 12, 13 och 14. Lokal 13 kommer att studeras på grund av att det här är längre till utrymningsvägar än från de andra lokalerna. Lokal 13 har också valts på grund av sin placering med tanke på brandgasspridning. Brandgasspridningen kan förväntas ske till korsningen av gångstråken, varpå man kan anta att utrymning via dessa försvåras fortare här än om en brand uppstår i lokal 12 och 14. Lokal 3 har samma utrymningsegenskaper som lokal 13, med avseende på placering i byggnaden, och en brand i denna lokal förväntas få liknande konsekvenser som en brand i lokal 13.

På grund av Köpstadens ekonomiskt betungade läge är det troligt att en klädbutik kan flytta in i lokal 26, då det redan nu pratas om att byta verksamhet i denna lokal. Lokalerna 19-25 samt 27 har liknande eller mindre mängd brännbart material än lokal 26, om en klädbutik förutsätts i denna lokal. Ur utrymningssynpunkt ligger lokal 26 sämre till, än de övrigt nämnda lokalerna, då den ligger i centrum. Detta medför längre gångavstånd vid utrymning.

Lokal 25, 26 och 27 ligger likvärdigt till i byggnaden men mängden brännbart material kan tänkas bli högre i lokal 26 då denna är större till ytan. En stor lokal förväntas alltså innehålla mer brännbart material, vilket ger möjlighet till ett längre brandförlopp. Detta kommer att påverka hela byggnaden i större utsträckning. En liten lokal är dessutom mer lättöverskådlig och branden förväntas då att upptäckas snabbare.

Det är svårt att säga huruvida utrymningsscenarierna från lokal 26 och 13 är liknande och för att studera hela byggnaden väljs även ett scenario i lokal 26. Skulle det visa sig att utrymning ur lokal 26 kan ske med tillfredställande resultat, kan det förutsättas att lokal 19-25 samt lokal 27 är säkra ur utrymningssynpunkt.

Lokal 8 är en speciell lokal med tanke på verksamheten som bedrivs där. Här anordnas konferenser och fester. I lokalen finns en hinderbana, spa-avdelning, festanläggning, bar och strand. I spa-avdelningen finns små korridorer och utrymnen, vilka kan försvåra en eventuell utrymning. På grund av stora skummadrasser i hinderbanan är rökpotentialen stor. Lokal 8:s

placering i byggnaden och möjlighet till utrymning kan jämföras med lokal 5, 6, och 9, eftersom dessa lokaler vetter mot atriet. I tabell 3.1 kan också ses att mängden brännbart material och brandförloppet i lokal 8 förväntas vara värre än i de övriga tre lokalerna nämnda ovan. Om en brand i lokal 8 ger ett tillfredställande utrymningsscenario förväntas det att tillfredställande utrymning kan ske även om en brand skulle uppstå i lokal 5, 6 och 9.

Om det dagtid börjar brinna i lokal 8 kan man förvänta sig brandgasspridning till atriet. I atriet finns det en 14 m hög klätterställning där uppskattningsvis 60 barn kan leka⁷. Utrymningen för denna klätterställning kommer att bli komplicerad. Barnen är praktiskt taget instängda och behöver hjälp av personal vid utrymning. Dessutom kommer föräldrar troligtvis inte att utrymma utan sina barn, varför de med stor sannolikhet kommer att bege sig till klätterställningen i en utrymningssituation.

Kvällstid och nattetid kommer lokal 8 användas som nattklubb, detta är den enda lokal som kommer att vara öppen denna tid på dygnet. De personer som då befinner sig i lokalen kommer troligen att vara påverkade av alkohol, vilket försvårar utrymningen.

För att bedöma utrymningssäkerheten i lokalerna 5, 6, 7, 8 och 9 kommer alltså två brandscenarier med olika distribution av personer att användas. Båda scenarierna kommer att inträffa i lokal 8.

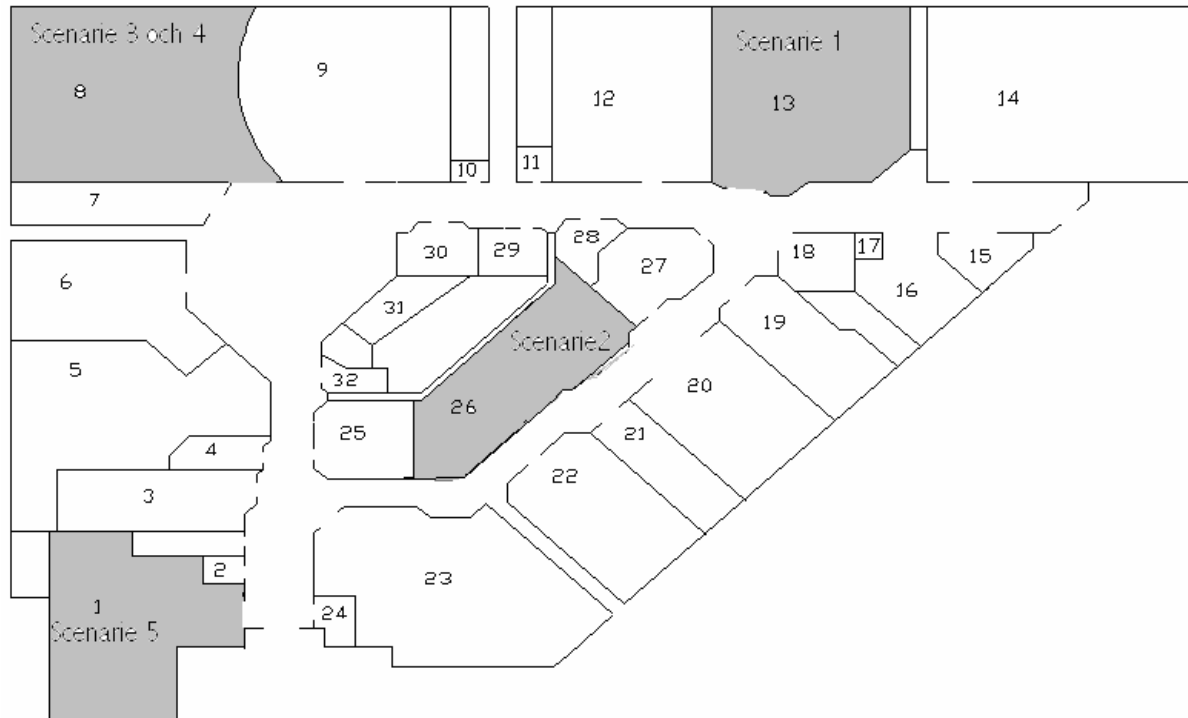
Byggnadsnämnden har ställt kravet att hela byggnaden skall vara sprinklad, detta eftersom verksamheten bedrivs i samma brandcell. Kravet gör att det blir intressant att analysera ett brandscenario i lokal 1, eftersom detta är den enda publika delen av byggnaden som inte är sprinklad.

De resterande lokalerna som inte har nämnts ovan är mindre lokaler. Dessa är lättöverskådliga, vilket medför enkel utrymning och snabb brandupptäckt. I dessa lokaler vistas lite folk och mängden brännbart material är låg. En brand i dessa lokaler kommer inte att få någon större påverkan för utrymning av övriga delar av byggnaden. Scenarion i dessa lokaler bedöms inte vara lika allvarliga som de valda scenarierna.

⁷ Glenn Frost, 2005

3.3 Valda scenarier

- Brand i klädbutik belägen i lokal 13.
- Brand i klädbutik belägen i lokal 26.
- Brand i nöjesetablissemang, lokal 8, under dagtid.
- Brand i nöjesetablissemang, lokal 8, under kvällstid.
- Brand i minigolfanläggning, lokal 1.



Figur 3.3 Placering av valda scenarier

Scenario	Representerar brand i lokalerna
1. Brand i klädbutik belägen i lokal 13.	3, 4, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18
2. Brand i klädbutik belägen i lokal 26.	19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32
3. Brand i nöjesetablissemang, lokal 8, under dagtid.	5, 6, 7, 8, 9
4. Brand i nöjesetablissemang, lokal 8, under kvällstid.	8
5. Brand i minigolfanläggning, lokal 1.	1, 2, 24

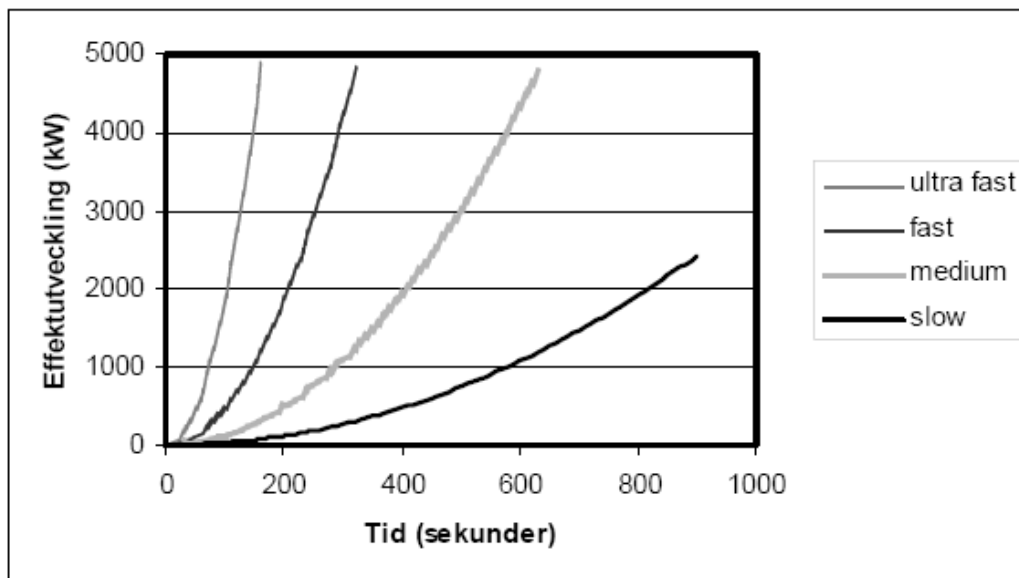
Tabell 3.2 Valda scenarier

3.4 Effektutvecklingskurvor

För att beskriva brandförloppen i de scenarier som valts används så kallade α^2 -kurvor. Detta är ett förenklat sätt att beskriva tillväxtfasen av ett brandförlopp. Om denna kurva jämförs med experimentellt uppmätta data visar det sig att början av brandförloppet stämmer bra överens med en α^2 -kurva. En α^2 -kurva säger att branden tillväxer med en hastighet som är proportionell mot tiden i kvadrat.

Det finns 4 standardvärden på konstanten α^8 :

- Slow 0,003 kW/s²
- Medium 0,012 kW/s²
- Fast 0,047 kW/s²
- Ultra fast 0,19 kW/s²



Figur 3.4 Standardkurvor enligt α^2 -metoden⁸

3.4.1 Förbrinntid

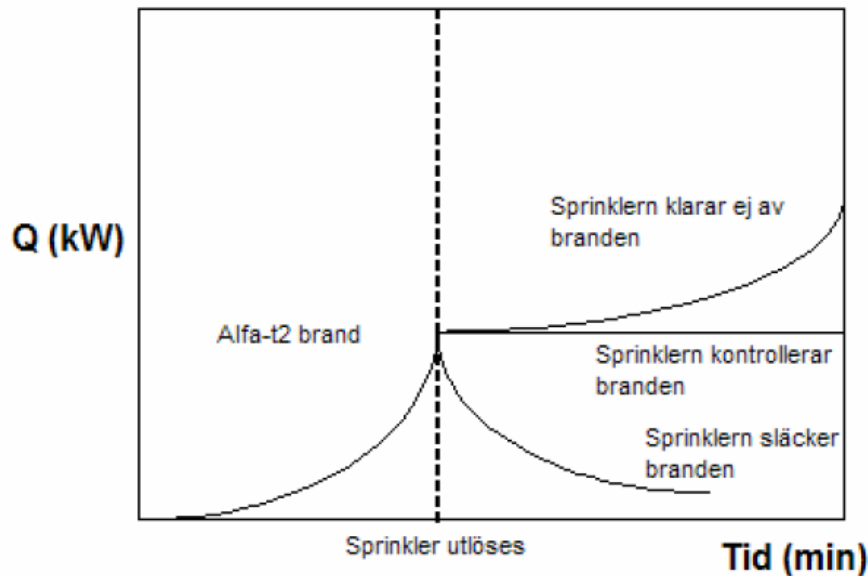
Förbrinntiden är den tid det tar innan en brand börjar sin tillväxtfas⁸. Under förbrinntiden pyrolyseras det antända materialet och rök bildas. Detta kan aktivera en rökdetektor eller leda till att människor i omgivningen reagerar på röklukten och agerar. I denna rapport bortses från förbrinntiden. Eftersom förbrinntiden inte studeras kommer beräkningarna att bli konservativa. I ett verkligt fall kan det ta längre tid för branden att uppnå maximal effekt om förbrinntiden inkluderas. Dessutom finns möjligheten att någon uppmärksam person vidtar åtgärder under förbrinntiden.

⁸ Karlsson & Quintiere, 2000

3.4.2 Sprinklerpåverkan

Då branden nått det stadium då sprinklerna aktiveras kommer branden att ändra karaktär. De olika förlopp som kan ske efter att sprinkler aktiverats är:

- Sprinklerna släcker branden
- Sprinklerna kontrollerar branden och branden antar en konstant effektutveckling
- Sprinklerna klarar ej av branden
- Sprinklerna aktiverar ej



Figur 3.5 Schematisk beskrivning av hur sprinkler kan påverka effektutvecklingen⁹

I denna rapport förutsetts att sprinklern kontrollerar branden. För vidare diskussion kring sprinkleraktivering och effektkurvor se bilaga 1, 2 och 3.

⁹ Särdaqvist, 2002

3.5 Scenario 1, brand i klädbutik, lokal 13

En brand i lokal 13 kan komma att påverka en stor del av Köpstaden. Lokalen är stor, det finns mycket brännbart material och butikens läge är intressant sett ur ett utrymningsperspektiv. Huvudingången i affären ansluter till gångstråket just där det länkas ihop från två gångstråk till ett. Vid en brand kan brandgaserna således blockera två viktiga utrymningsvägar.

3.5.1 Lokalbeskrivning

Lokalen är en klädbutik i ett plan. Figur 3.6 visar butikens placering i köpcentrat. Nödutgångar finns genom lokalens lagerdel direkt till det fria, samt via gångstråket och vidare ut genom huvudentrén. Den totala butiksytan, exklusive lager, är cirka 1100m². Taket är något sluttande, i genomsnitt är taket ungefär 5,5 meter högt. Taket består av betong, golvet består av parkett och väggarna av gipsskivor. Lokalen har brandskydd enligt avsnitt 2.3.

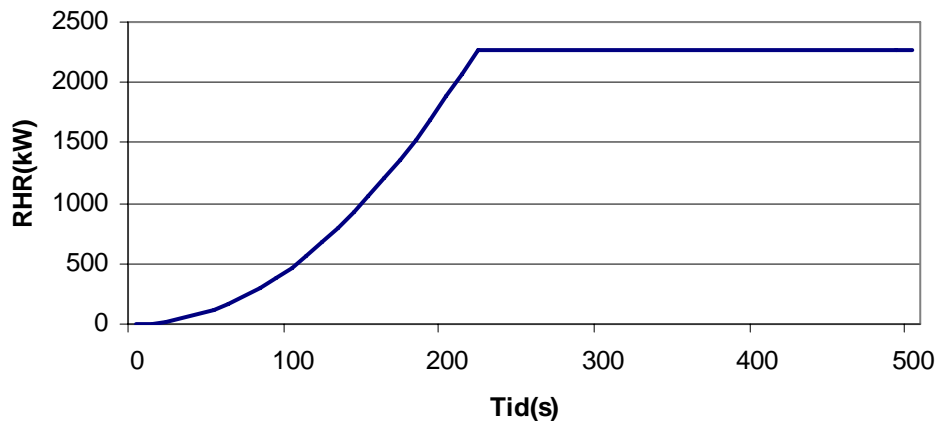


Figur 3.6 Placering av lokal 13 i Köpstaden

3.5.2 Effektkurvor

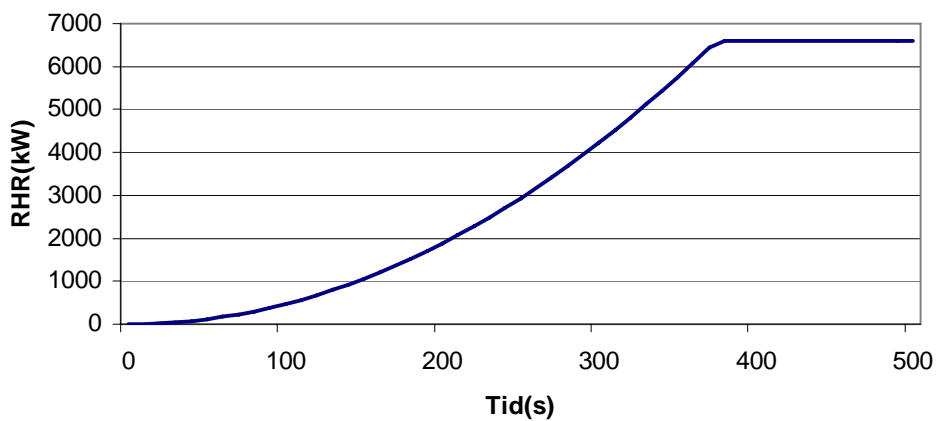
Enligt bilaga 2 tillväxer den dimensionerade branden i lokal 13 enligt en fastkurva. Beroende på när sprinklerna aktiveras kommer effektkurvan att få olika utseende. När sprinklern aktiverat antas den kontrollera branden enligt diskussion i bilaga 2. Figur 3.7 och 3.8 visar hur effektkurvorna ser ut för tidig respektive sen sprinkleraktivering. Osäkerheten i beräkningarna för att bestämma vid vilken tid sprinklern aktiveras har lett till två potentiella aktiveringstider. För diskussion kring detta se bilaga 1.

Effektkurva vid tidig sprinkleraktivering



Figur 3.7 Dimensionerande brand vid tidig sprinkleraktivering

Effektkurva vid sen sprinkleraktivering



Figur 3.8 Dimensionerande brand vid sen sprinkleraktivering

3.6 Scenario 2, brand i klädbutik, lokal 26

En brand i lokal 26 skulle i dagsläget troligen inte skapa en kritisk utrymningssituation. Detta beror på att mängden brännbart material är begränsad. Eftersom Köpstaden är i ett betungat ekonomiskt läge är det hög omsättning på företag. Det är inte otroligt att en klädaffär flyttar in i lokal 26 i framtiden, vilket gör denna lokal betydligt mer intressant vid en brand. Lokalen ligger i Köpstadens mittområde vilket gör att gångavstånden till utrymningsvägarna är längre än för lokalerna som ansluter direkt till det fria.

3.6.1 Lokalbeskrivning

Lokalen förväntas vara en klädbutik med samma bränsle som butiken i scenario 1. Figur 3.9 visar butikens placering i köpcentrat. Utrymning kan ej ske direkt till det fria. Lokalens yta är 782 m² och takhöjden är 5 meter. Taket består av betong, golvet består av parkett och väggarna av gipsskivor. Lokalen har brandskydd enligt avsnitt 2.3.

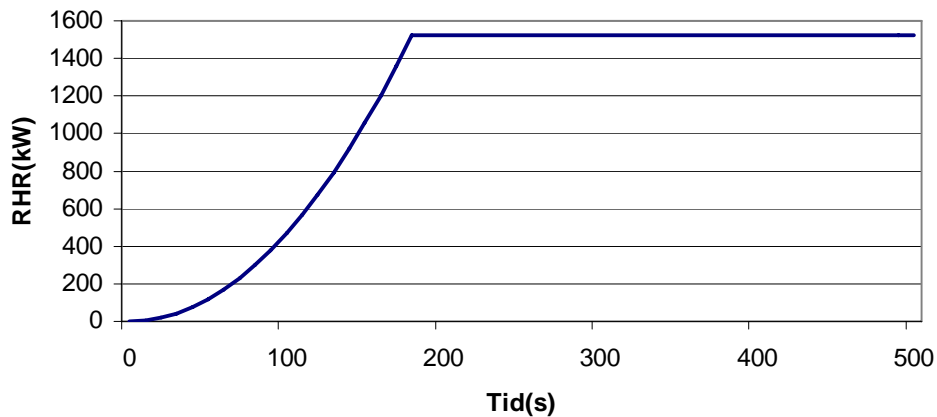


Figur 3.9 Placering av lokal 26 i Köpstaden

3.6.2 Effektkurvor

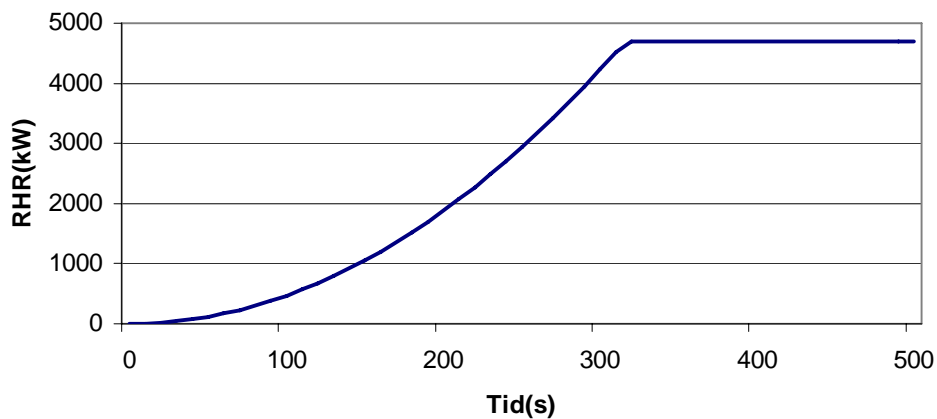
Enligt bilaga 2 tillväxer den dimensionerade branden i lokal 26 enligt en fastkurva. Beroende på när sprinklerna aktiverar kommer effektkurvan att få olika utseende. När sprinklern aktiverat antas den kontrollera branden enligt diskussion i bilaga 2. Figur 3.10 och 3.11 visar hur effektkurvorna ser ut för tidig respektive sen sprinkleraktivering. Osäkerheten i beräkningarna för att bestämma vid vilken tid sprinklern aktiverar har lett till två potentiella aktiveringstider. För diskussion kring detta se bilaga 1.

Effektkurva vid tidig sprinkleraktivering



Figur 3.10 Dimensionerande brand vid tidig sprinkleraktivering

Effektkurva vid sen sprinkleraktivering



Figur 3.11 Dimensionerande brand vid sen sprinkleraktivering

3.7 Scenario 3 och 4, brand i nöjesetablissemang, lokal 8

I lokal 8 finns tjockmattor med hög rökpotential, en brand här kan tänkas rökfylla atriet som är i direkt anslutning till lokalen. I atriet finns en 14 m hög klätterställning, med plats för ungefär 60 barn¹⁰. Figur 3.12 visar klätterställningen i atriet. Barnens föräldrar kommer med största sannolikhet inte att utrymma byggnaden utan sina barn, vilket medför en förlängd utrymningstid. Lokalen används även som nattklubb och onyktra personer kan förekomma. Detta försvårar en utrymning. Två scenarier kommer att studeras, ett dagtid och ett nattetid.

- Scenario 3 inträffar dagtid, då det kan finnas personer i klätterställningen.
- Scenario 4 inträffar då lokalen används som nattklubb och besökarna förväntas vara onyktra.



Figur 3.12 Klätterställning i atriet

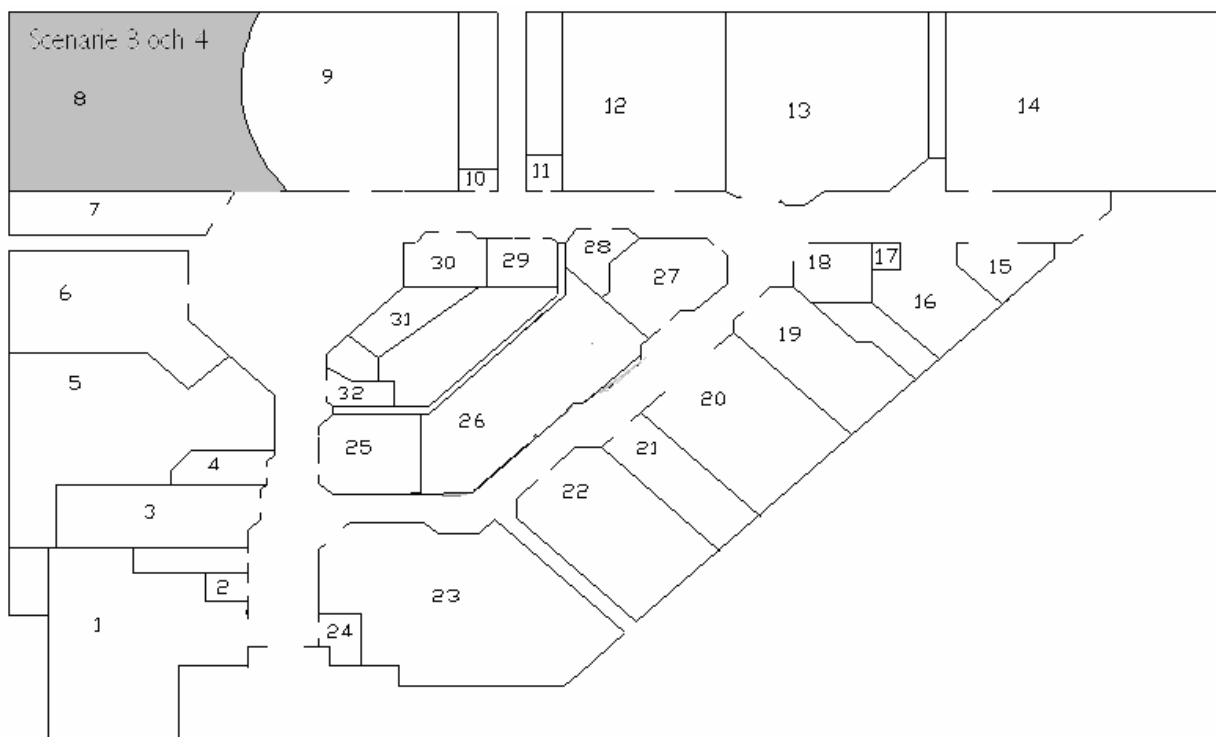
¹⁰ Glenn Frost, 2005

3.7.1 Lokalbeskrivning

I lokal 8 finns många olika verksamheter. Figur 3.13 visar lokalens placering i köpcentrat. Affärsidén är att kunna erbjuda aktiviteter för större sällskap i form av mat, tävlingar, spa och strand. I lokalen finns följande:

- Restaurang och bar
- Hinderbana, klättervägg och fotbollsplan
- Jacuzzi, bastu, massage och omklädningsrum
- Konstgjord strand med artificiellt solljus i form av starka lampor

Hela lokalen är ungefär 1400 m². Utrymningsväg direkt till det fria finns. Taket är något sluttande, i genomsnitt är taket ungefär 5,5 meter högt. Väggarna består av gips och ett regelverk av trä, golvet är delvis stenbelagt betonggolv, men även trägolv i vissa delar, taket är av betong. Lokalen har brandskydd enligt avsnitt 2.3. Figur 3.14 och 3.15 visar bilder från lokalen.



Figur 3.13 Placering av lokal 8 i Köpstaden



Figur 3.14 Del av hinderbana i lokal 8

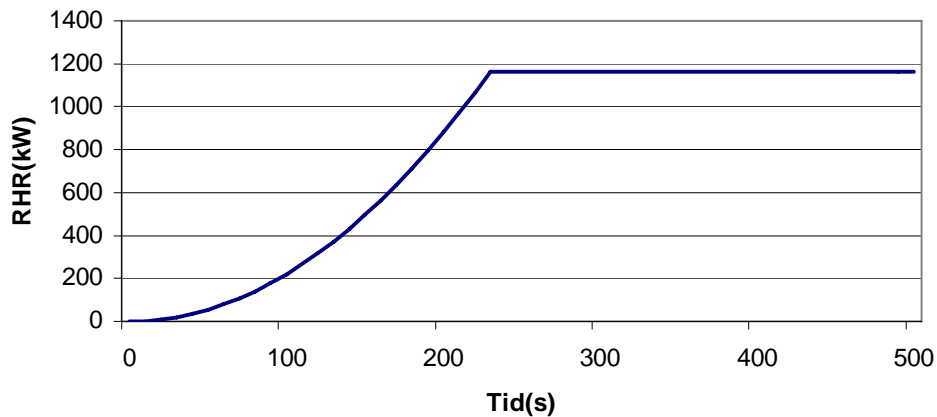


Figur 3.15 Tjockmattorna i lokal 8

3.7.2 Effektkurva

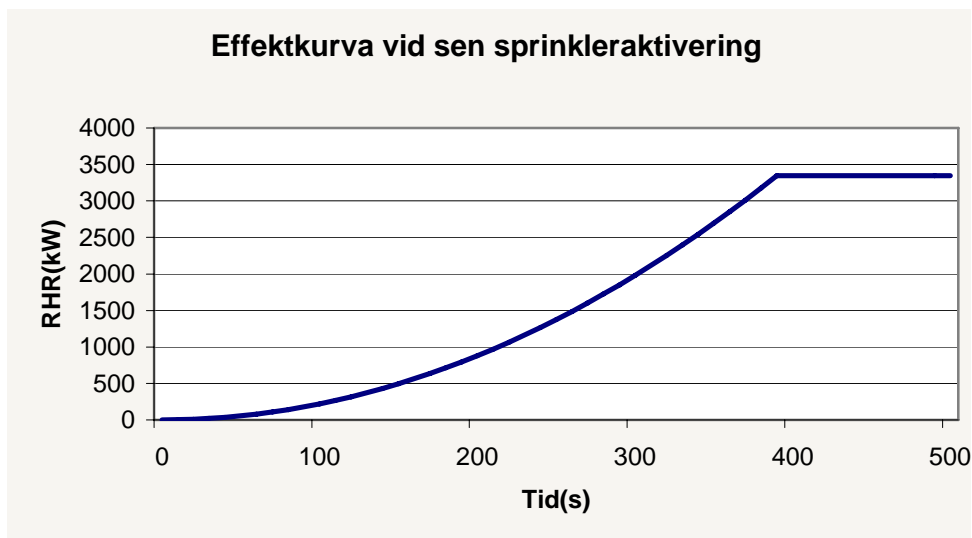
Enligt bilaga 3 tillväxer den dimensionerade branden i lokal 8 enligt en αt^2 -kurva med ett α -värde på $0,022 \text{ kW/s}^2$. Beroende på när sprinklerna aktiveras kommer effektkurvan att få olika utseende. När sprinklern aktiverat antas den kontrollera branden enligt diskussion i bilaga 3. Figur 3.16 och 3.17 visar hur effektkurvorna ser ut för tidig respektive sen sprinkleraktivering. Osäkerheten i beräkningarna för att bestämma vid vilken tid sprinklern aktiveras har lett till två potentiella aktiveringstider. För diskussion kring detta se bilaga 1.

Effektkurva vid tidig sprinkleraktivering



Figur 3.16 Dimensionerande brand vid tidig sprinkleraktivering

Effektkurva vid sen sprinkleraktivering



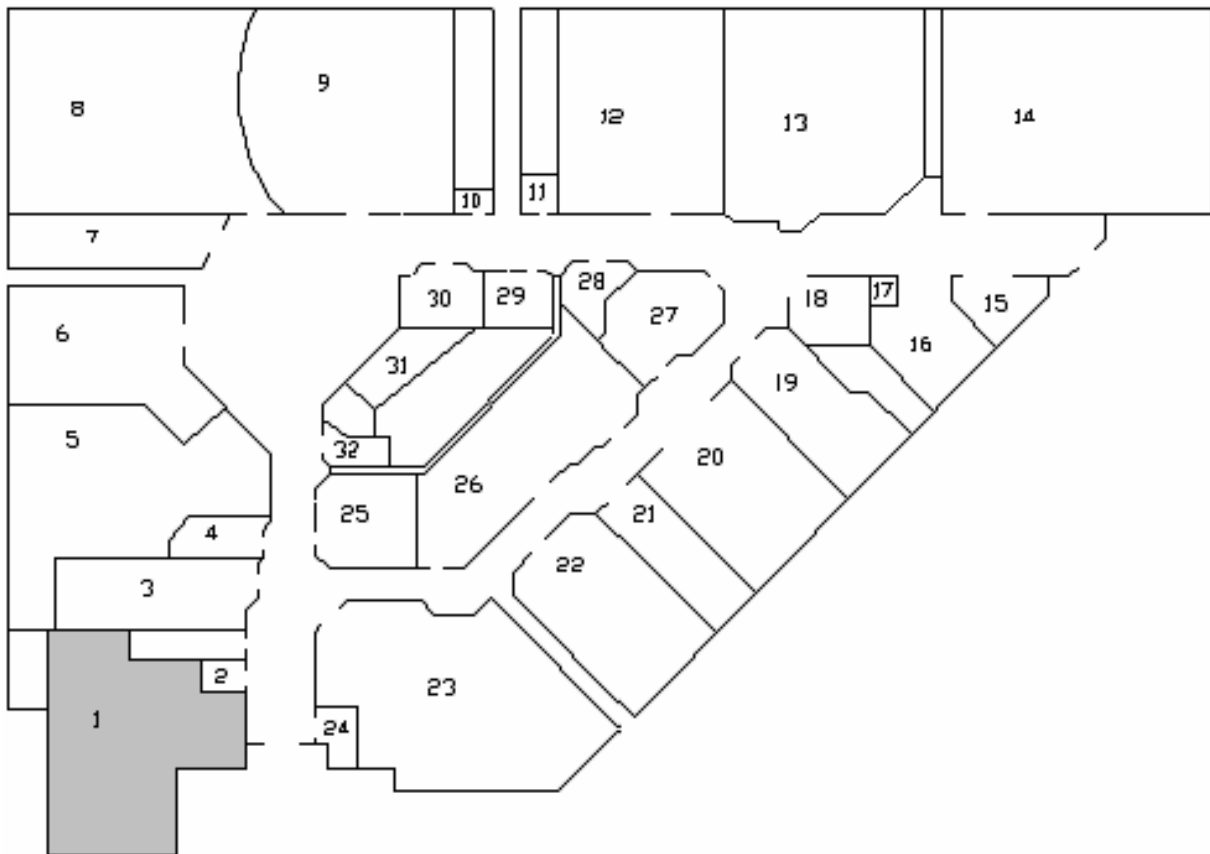
Figur 3.17 Dimensionerande brand vid sen sprinkleraktivering

3.8 Scenario 5, brand i golfanläggning, lokal 1

Lokal 1 är placerad i utkanten av Köpstaden och entrén till golfen vetter mot huvudentrén till Köpstaden. En brand i golfen kommer troligen inte att påverka övriga Köpstaden i någon större utsträckning. Eftersom halva lokalen är osprinklad utgör denna lokal ett intressant scenario. Vid en brand kan huvudentrén blockeras. Vid simulering undersöks främst om lokalen kan utrymmas innan kritiska förhållanden uppstår. Det maximala antalet människor i lokalen kan förväntas vara ungefär 120 stycken. Detta baseras på att det kan förväntas vara 4 spelare per golfbana plus 40 gäster i restaurangen.

3.8.1 Lokalbeskrivning

Lokalen är en inomhusminigolfbana som ligger i ett före detta växthus i utkanten av Köpstaden, figur 3.18 visar lokalens placering i byggnaden. I lokalen finns det plastväxter, som enligt leverantören är behandlade med flamskyddande medel, stenar, små bäckar, träpålar och konstgräs på golfbanorna. I figur 3.19 visas en bild från lokalen. Det finns även ett litet kök med bar i ena ändan av lokalen, till detta område hör en mindre restaurang. Taket är gjort av transparent plast, precis under taket hänger ett skynke för att skydda mot solen och under detta hänger ett kamouflagenät för att ge lokalen mer utomhuskänsla. Väggarna är uppförda enligt samma princip som taket.



Figur 3.18 Placering av lokal 1 i Köpstaden



Figur 3.19 Bild av lokal 1

3.8.2 Effektkurva

Minigolfbanan är dekorerad med kamouflagenät på såväl väggar som tak, och eftersom flammor sprider sig snabbt i vertikalled är det troligt att kamouflagenätet kommer att vara den primära anledningen till brandspridning i händelse av brand. Eftersom kamouflagenätet bedöms ha störst potential att bidra till brandspridningen utfördes brännbarhetstester på ett materialprov av nätet, se bilaga 4. Resultatet av försöket avfärdar nätet som potentiell brandspridare, då det ej brann utan att vara i kontakt med en flamma.

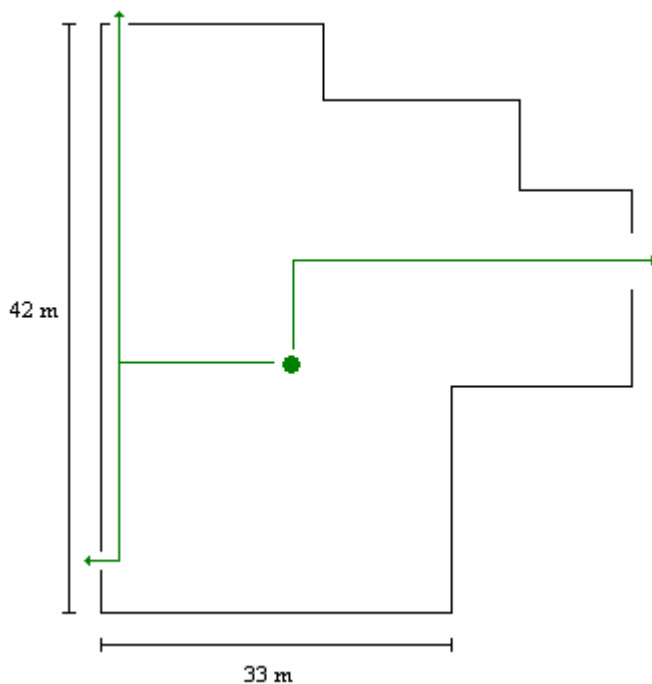
Spridningen mellan olika bränslepaket (i det här fallet plastväxter) antas vara begränsad på grund av avstånden mellan växterna. Försök utförda på plastväxter visar på en låg effektutveckling, se bilaga 4. De två parametrarna ovan medför att brandtillväxten med stor sannolikhet kommer att vara långsam.

3.8.3 Kvalitativ bedömning av personsäkerheten i minigolflokalen

Scenariot i minigolflokalen bedöms inte vara ett potentiellt farligt scenario. Inga simuleringar kommer att genomföras på minigolflokalen. En rad faktorer talar för att lokalen inte kommer att utgöra en stor risk vid en eventuell brand.

- Som tidigare konstaterats finns lite brännbart i lokalen. De brännbara material som finns i lokalen brinner alla med en långsam tillväxthastighet. Vid en brand i lokalen kommer brandens långsamma spridning att bidra till goda förutsättningar för en lyckad utrymning.
- I lokalen finns tre utrymningsvägar, varav huvudentrén är bred och lättillgänglig. Vid en brand kommer det att finnas gott om möjliga utrymningsvägar, alla inom relativt korta gångavstånd. Se figur 3.20 för utrymningsvägarnas placering i lokalen. Utrymningsvägen i nedre vänstra hörnet är i dagsläget delvis dold bakom ett kamouflagenät. Detta nät skall tas bort från dörren så att utrymningsvägen inte blockeras, se Figur 3.21. Ovanstående fakta talar för en enkel utrymning.
- Om en brand utbryter i lokalen kan det tänkas att huvudentrén blir blockerad. Detta kommer enligt avsnitt 5.5.5 inte att leda till kritiska förhållanden för personer i övriga byggnaden. Även om en av huvudentréerna är blockerad kommer en utrymning att kunna ske på 9-11 minuter.
- Golflokalen ansågs vara intressant att utreda eftersom det är den enda lokal i hela köpcentret som saknar sprinkleranläggning. I känslighetsanalysen, avsnitt 6, konstateras det att utrymning kan ske tillfredställande från brandrummet, även utan sprinkleraktivering. Med den låga tillväxthastigheten och den lilla mängden brännbart material förväntas en brand i lokal 1 inte hindra utrymning av hela Köpstaden.

Med anledning av ovanstående argument kommer denna lokal inte att studeras utförligare i denna rapport. Det bör dock betonas att detta är en kvalitativ ingenjörsmässig bedömning av personsäkerheten vid en brand.



Figur 3.20 Utrymningsvägar i lokal 1



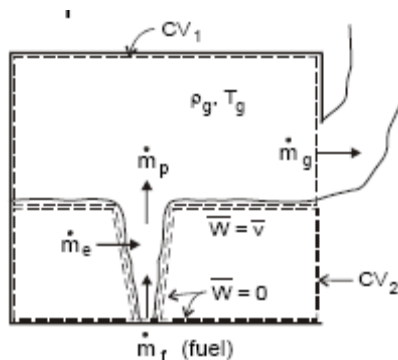
Figur 3.21 *Delvis blockerad utrymningsväg i lokal 1*

4. Simulering av brandförlopp

För att simulera brandförloppen har två olika metoder använts. Tvåzons-simulering med hjälp av datorprogrammet CFAST, samt handberäkningar för det helt omblandade fallet. Dessa två metoder är extremfall, troligtvis kommer sanningen att ligga mellan beräknade resultat. Det helt omblandade fallet ger konservativa resultat¹¹.

4.1 Antaganden i CFAST

CFAST är ett tvåzons-program som används för att simulera bränder i byggnader. Programmet bygger på att det bildas en tydlig skiktning mellan det varma övre brandgaslagret och det kalla undre lagret. CFAST tar inte hänsyn till transporttider, vilket betyder att rök som produceras av branden momentant kommer att befinna sig i det övre lagret. CFAST löser ekvationer för massans och energins bevarande¹². Figur 4.1 visar en typisk tvåzons-modell.



Figur 4.1 Typisk tvåzons-modell¹²

För att simuleringar i CFAST ska gälla måste lokalens geometri och brandens effektutveckling ligga inom givna gränser¹³.

Nedanstående uttryck definierar tillåten effektutveckling. (\dot{Q} = effektutveckling, A = area på tilluftsöppningar, H = höjden på tilluftsöppningar)

$$\dot{Q} \geq 5 \cdot A \cdot \sqrt{H}$$

Lokalens geometri skall ligga inom nedanstående gränser, där L = rummets längd, W = rummets bredd och H = rummets höjd.

- $L \geq W$
- $L/W \leq 3$
- $L/W \geq 5$
- $L/H \leq 3-4$
- $L/H \geq 6$ Ej acceptabel
- $L/H \geq 0,2$

¹¹ Göran Holmstedt, 2005

¹² Karlsson & Quintiere, 2000

¹³ Daniel Gojkovic, 2005

4.2 Kritiska förhållanden

Syftet med utförda simuleringar är att beräkna tiden till det att kritiska förhållanden, med avseende på utrymning, uppstår. I rådet till BBR 5:361¹⁴ anges vad kritiska förhållanden för utrymning innebär:

- Siktbarhet – Brandgasnivån skall lägst vara $1,6+(0,1xH)$ meter, där H är rumshöjden i meter
- Värmestrålning - En kortvarig strålningsintensitet på maximalt 10 kW/m^2
- Temperatur - Högst 80°C lufttemperatur i nedre lager

Kriteriet för siktbarhet vid det helt omblandade fallet anses vara uppfyllt om minsta siktsträcka genom brandgaserna är 10 meter¹⁵. Detta motsvarar en optisk täthet / meter på 1 obscura.

Ovan nämnt krav för värmestrålning gäller för kortvarig exponering. Enligt Brandskyddshandboken¹⁶ får personer under utrymning utsättas för en maximal strålningsintensitet på $2,5 \text{ kW/m}^2$. Detta krav har använts i denna rapport.

¹⁴ BBR, 2002

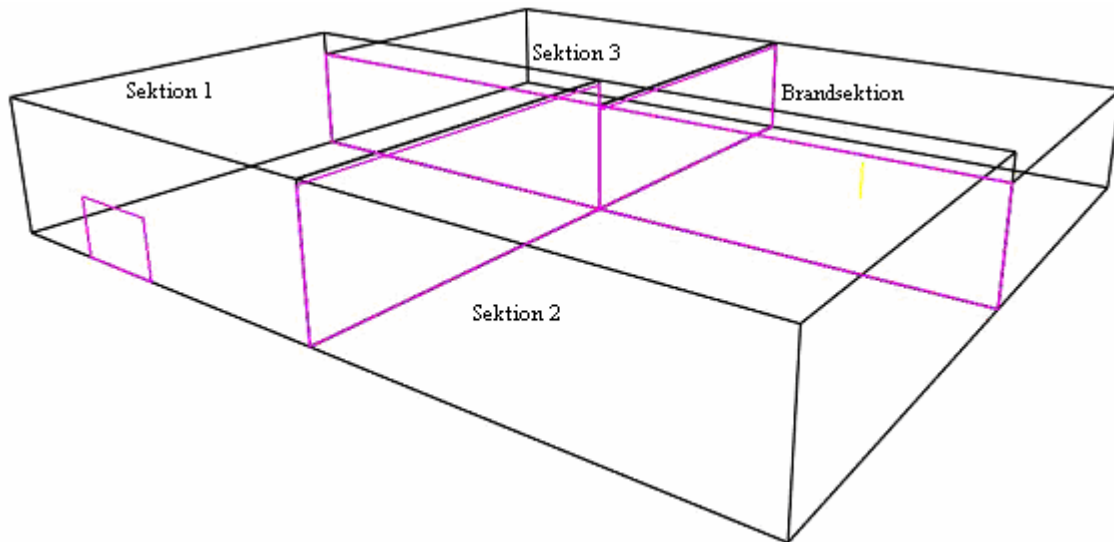
¹⁵ Boverket, 2004

¹⁶ Brandskyddshandboken, 2002

4.3 Brandsimulering i klädbutik, lokal 13

4.3.1 Geometrin för lokal 13 använd i CFAST

Figur 4.2 visar den geometri för lokal 13 som användes i CFAST. För att uppfylla kraven på geometrin enligt avsnitt 4.1 delades lokalen in i 4 mindre sektioner. Öppningarna mellan sektionerna har inte gjorts hela vägen upp till taket. Det har lämnats en ”balk” med höjden 2 dm i taket. Detta görs för att bättre simulera brandgasspridningen inom lokalen¹⁷. Branden placeras i sektionen döpt till brandsektion.



Figur 4.2 Geometrin använd i CFAST, för lokal 13

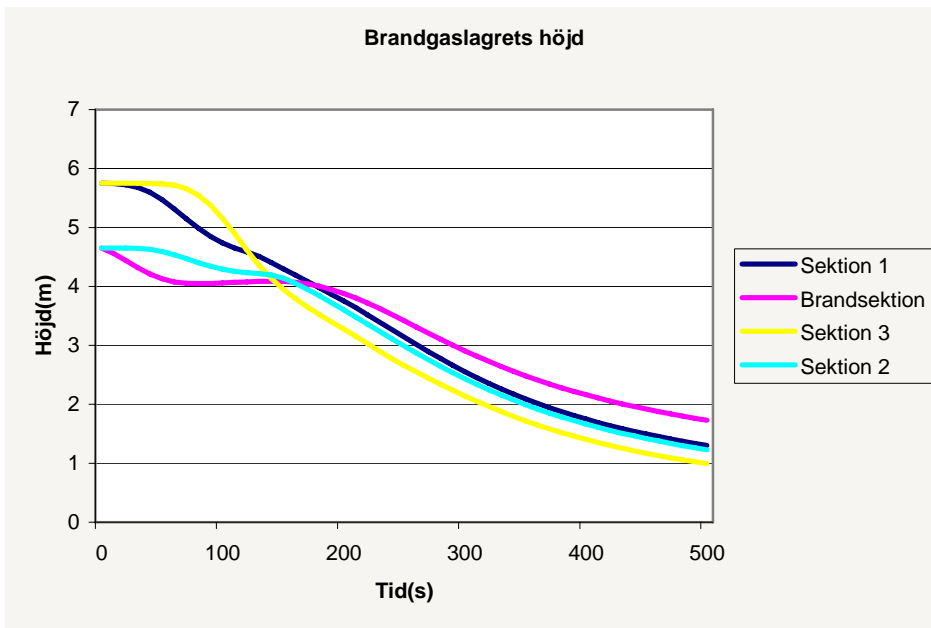
4.3.2 Kritiska förhållanden i lokal 13

Kraven för kritiska förhållanden, enligt avsnitt 4.2, innebär att höjden till brandgaslagret inte får understiga 2,15 meter över golvet, ($1,6 + 0,1 \times 5,5 = 2,15$). Temperaturen i det undre lagret får inte överstiga 80°C och strålningen får inte överstiga $2,5 \text{ kW/m}^2$.

¹⁷ Daniel Gojkovic, 2005

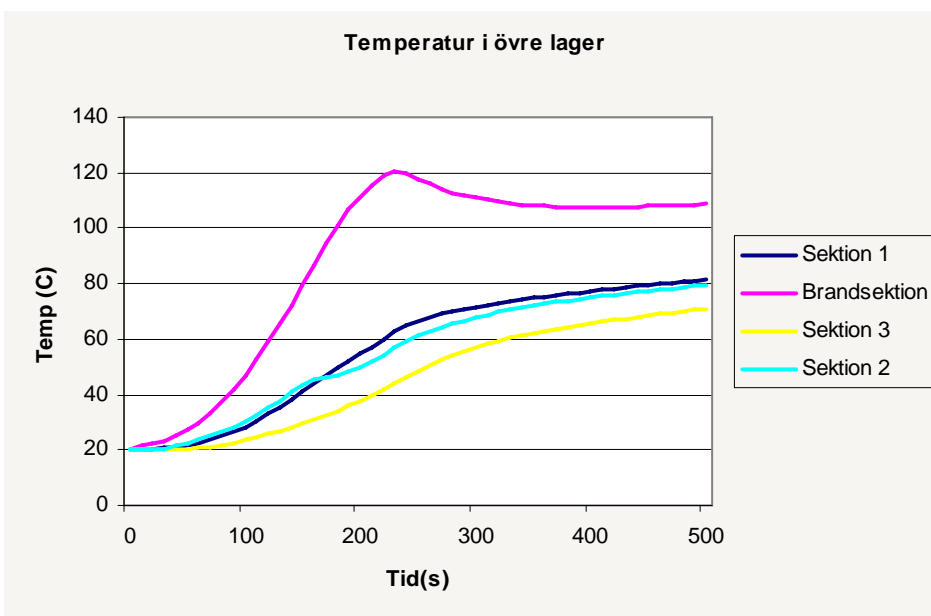
4.3.3 Simulering med tidig sprinkleraktivering

I denna simulering används effektkurvan för tidig sprinkleraktivering som finns redovisad i avsnitt 3.5.2. Indata till CFAST finns redovisade i bilaga 5. Resultaten av simuleringarna visas i figurerna nedan.

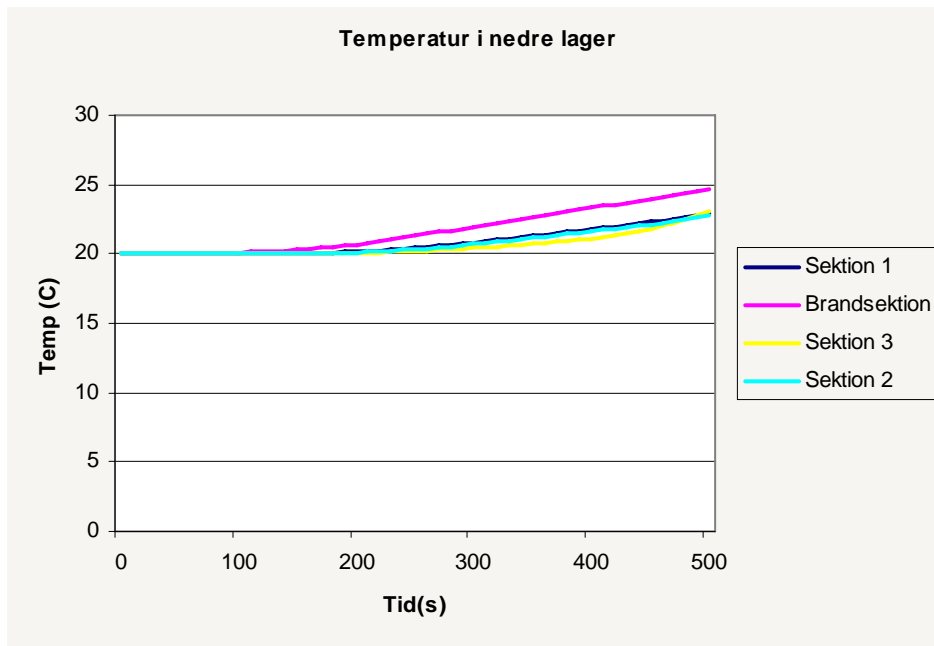


Figur 4.3 Graf över brandgaslagrets höjd över golvet i respektive sektion

En kritisk tid för utrymning kommer att ske när brandgaserna når 2,15 meter över golvet, enligt avsnitt 4.3.2. Detta sker tidigast i sektion 3 och den kritiska tiden är 300 sekunder.

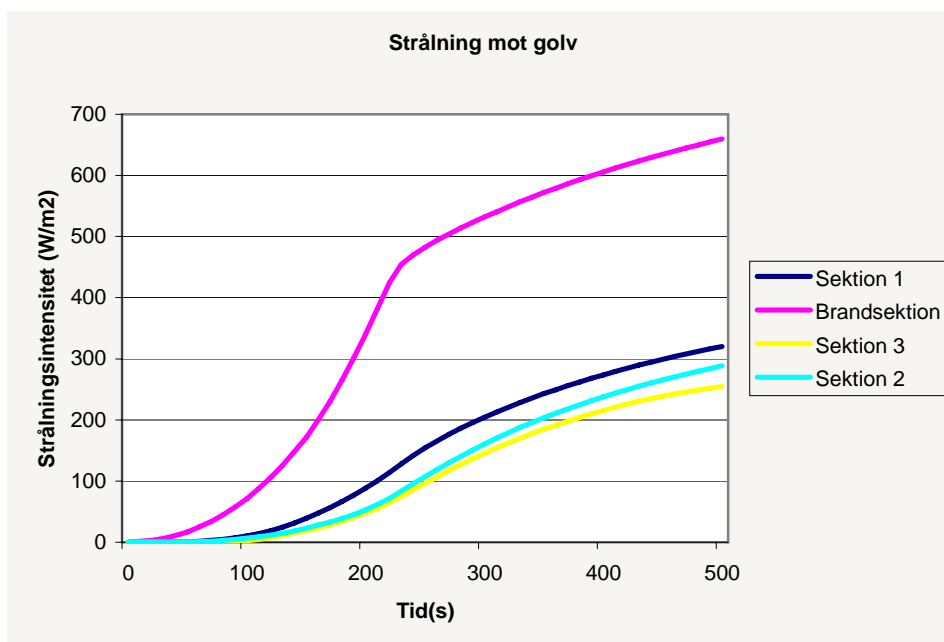


Figur 4.4 Temperatur i brandgaslagret i respektive sektion



Figur 4.5 Temperatur i det undre lagret i respektive sektion

I figur 4.4 och 4.5 kan det konstateras att det är en tydlig temperaturskillnad mellan de båda lagren. Detta tyder på att en tvåzons-modell är giltig i detta fall. Det undre lagret kommer aldrig upp i temperaturen 80°C som är den kritiska temperaturen för att kunna utrymma.



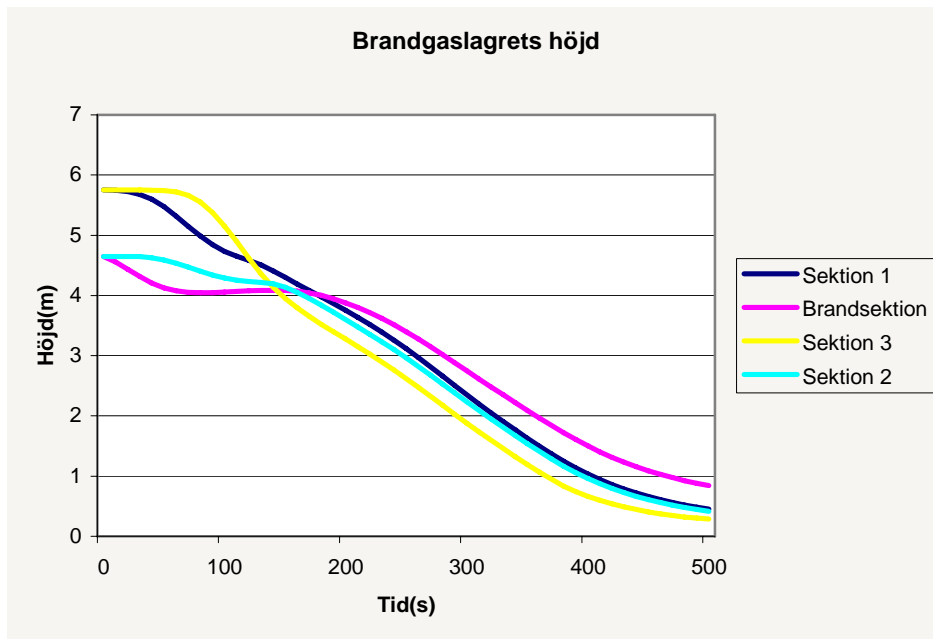
Figur 4.6 Strålning mot golvet från de varma brandgaserna i respektive sektion

När strålningen överstiger 2,5 kW/m² kommer den kritiska tiden för utrymning att inträffa. Detta inträffade aldrig under simuleringen.

Den parameter som kommer att avgöra när den kritiska tiden för utrymning uppstår är brandgaslagrets höjd över golvet, vilket ses i figur 4.3 ovan. Detta sker efter 300 sekunder.

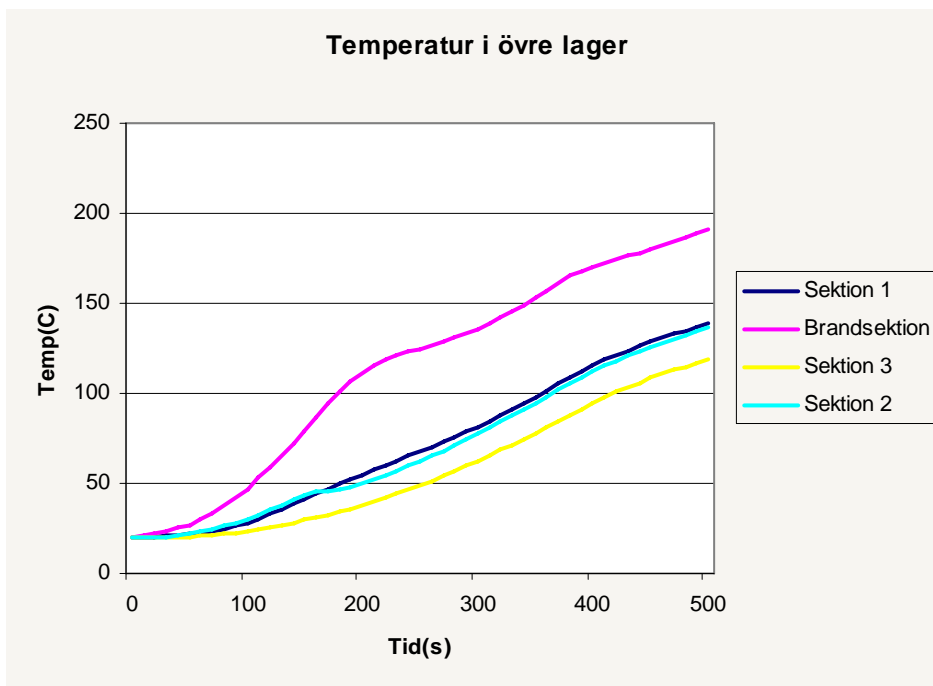
4.3.4 Simulering med sen sprinkleraktivering

I denna simulering används effektkurvan för sen sprinkleraktivering som finns redovisad i avsnitt 3.5.2. Indata till CFAST finns redovisade i bilaga 5. Resultaten av simuleringarna visas i figurerna nedan.

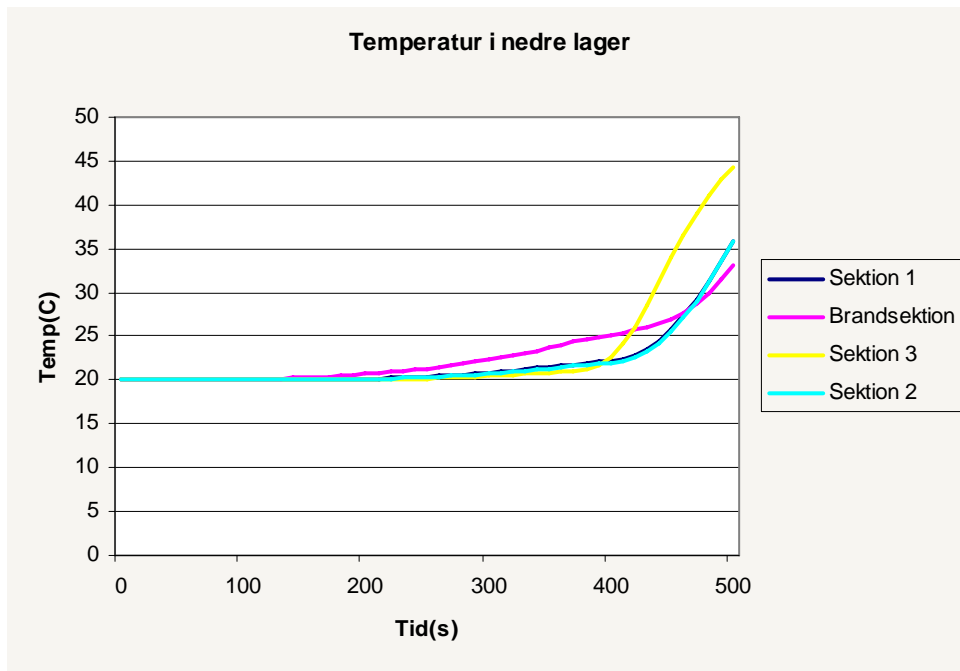


Figur 4.7 Graf över brandgaslagrets höjd över golvet i respektive sektion

En kritisk tid för utrymning kommer att ske när brandgaserna når 2,15m över golvet, enligt avsnitt 4.3.2. Detta sker tidigast i sektion 3 och den kritiska tiden är 280 sekunder.

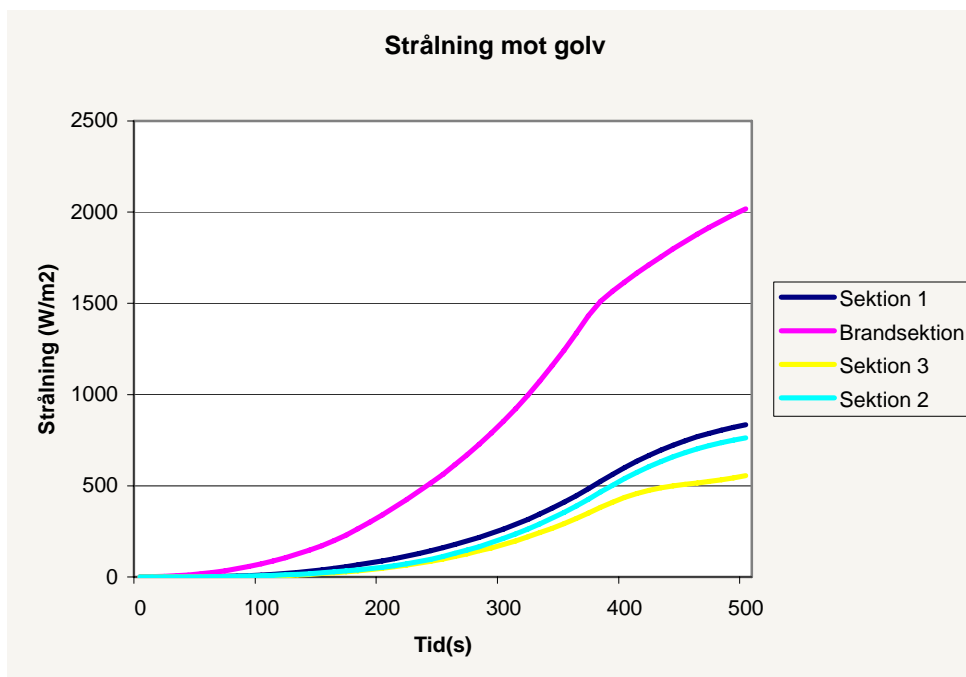


Figur 4.8 Temperatur i brandgaslagret i respektive sektion



Figur 4.9 Temperatur i det undre lagret i respektive sektion

I figur 4.8 och 4.9 kan det konstateras att det är en tydlig temperaturskillnad mellan de båda lagren. Detta tyder på att en tvåzons-modell är giltig i detta fall. Det undre lagret kommer aldrig upp i temperaturen 80°C som är den kritiska temperaturen för att kunna utrymma.



Figur 4.10 Strålning mot golvet från de varma brandgaserna i respektive sektion

När strålningen överstiger 2,5 kW/m² kommer den kritiska tiden för utrymning att inträffa. Detta inträffade aldrig under simuleringen.

Den parameter som kommer att avgöra när den kritiska tiden för utrymning uppstår är brandgaslagrets höjd över golvet, vilket ses i figur 4.7 ovan. Detta sker efter 280 sekunder.

4.3.5 Analys av rökspridning i lokal 13 med hjälp av handberäkningar (helt omblandat fall)

Om brandgaserna inte har en tillräckligt hög temperatur för att bilda en tydlig skiktning är det inte osannolikt att röken fördelar sig jämnt i hela lokalen. För att studera detta fall utförs handberäkningar för att bedöma tiden det tar för sikten att försämras så mycket att en tillfredställande utrymning inte kan ske. Vid handberäkningarna tas ingen hänsyn till sprinkleraktivering eftersom brandgasernas temperatur antas vara låg.

För att utrymning skall kunna ske tillfredställande skall den optiska tätheten, D_L , vara högst en obscura enligt avsnitt 4.2. Beräkningar sker då branden tillväxer enligt en α^2 -kurva med ett α -värde på $0,047 \text{ kW/s}^2$.

Tyg har rökpoteentialen $D_o = 0,65 \text{ obscura m}^3/\text{g}$ ¹⁸

Volymen i lokal 13 är ungefär 5000 m^3 , förhållandet för sikt ges av formeln nedan¹⁹

$D_o = D_L \cdot \frac{V}{m}$, där D_o är rökpoteentialen i $\text{ob m}^3/\text{g}$, D_L är den optiska tätheten per m i ob, V är volymen i m^3 och m är massan i g.

Detta samband ger följande uttryck för massa som måste avbrinna, då sikten skall vara minst 10 m, alltså $D_L = 1 \text{ ob}$.

$$m = D_L \cdot \frac{V}{D_o} = 1 \text{ ob} \cdot \frac{5000 \text{ m}^3}{0,65 \text{ ob m}^3 / \text{g}} = 7692 \text{ g}$$

Detta betyder att när 7,692 kg av bränslet har förbränts kommer sikten att vara 10 m, förutsatt att all brandgas stannar kvar och sprider sig jämnt i hela lokalen.

Tiden det tar innan denna massa har förbränts beräknas.

Förbränningsvärmets för tyg, $\Delta H_c = 25500 \text{ kJ/kg}$ ²⁰

Mängden energi som utvecklats då 7,692 kg tyg har förbränts är:

$$m \cdot \Delta H_c = 7,692 \text{ kg} \cdot 25500 \text{ kJ/kg} = 196146 \text{ kJ}$$

Tiden då denna mängd energi frigjorts är tiden då integralen under α^2 -kurvan för lokal 13 är 196146 kJ. Detta beräknas genom följande samband:

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \Rightarrow$$

$$Q = \int_0^t \alpha t^2 dt \Rightarrow t = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot Q}{\alpha}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 196146 \text{ kJ}}{0,047 \text{ kW/s}^2}} = 232 \text{ s} \approx 230 \text{ s}$$

Enligt dessa beräkningar kommer siktförhållandena i brandrummet att vara kritiska efter 230 sekunder.

Beräkningarna ovan förutsätter att brandgaser inte flödar ut ur rummet vilket de troligen skulle göra. Detta medför att dessa beräkningar ger en konservativ kritisk tid.

¹⁸ SFPE Fire protection handbook, 2003

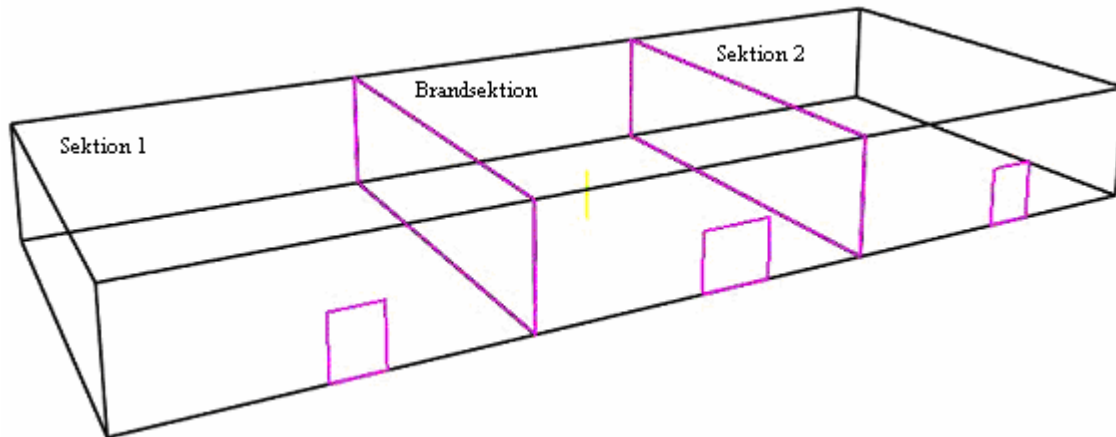
¹⁹ Drysdale, 2004

²⁰ Abrahamsson, 1997

4.4 Brandsimulering i klädbutik, lokal 26

4.4.1 Geometrin för lokal 26 använd i CFAST

Figur 4.11 visar den geometri för lokal 26 som användes i CFAST. För att uppfylla kraven på geometrin enligt avsnitt 4.1 delades lokalen in i 3 mindre sektioner. Öppningarna mellan sektionerna har inte gjorts hela vägen upp till taket. Det har lämnats en ”balk” med höjden 2 dm i taket. Detta görs för att bättre simulera brandgasspridningen inom lokalen²¹. Branden placeras i sektionen döpt till brandsektion.



Figur 4.11 Geometrin använd i CFAST, för lokal 26

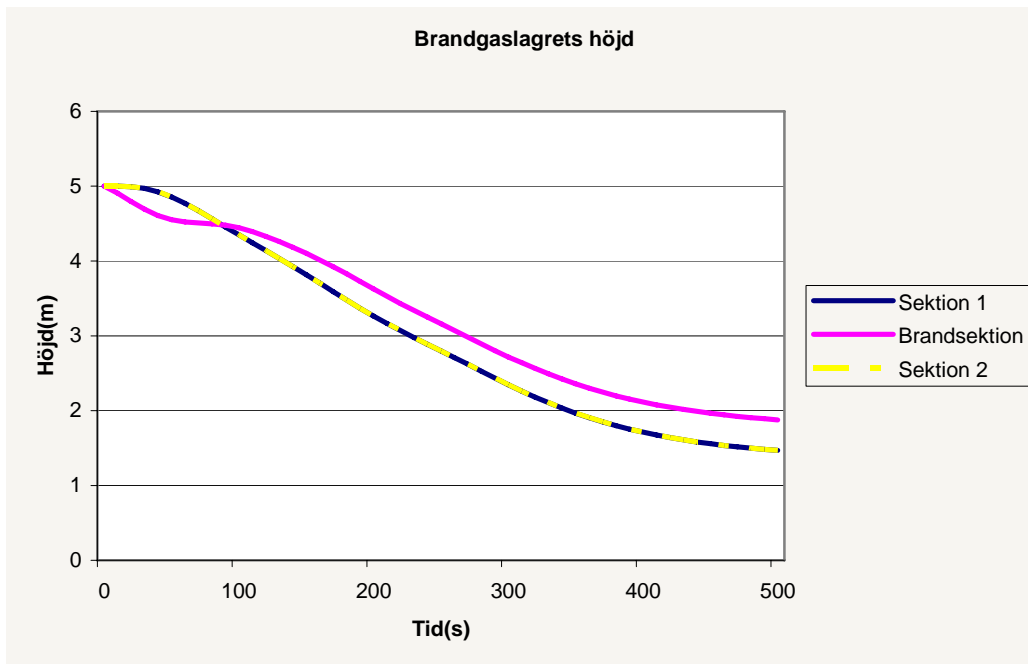
4.4.2 Kritiska förhållanden i lokal 26

Kraven för kritiska förhållanden, enligt avsnitt 4.2, innebär att höjden till brandgaslagret inte får understiga 2,1 meter över golvet, ($1,6 + 0,1 \times 5 = 2,1$). Temperaturen i det undre lagret får inte överstiga 80°C och strålningen får inte överstiga $2,5 \text{ kW/m}^2$.

²¹ Daniel Gojkovic, 2005

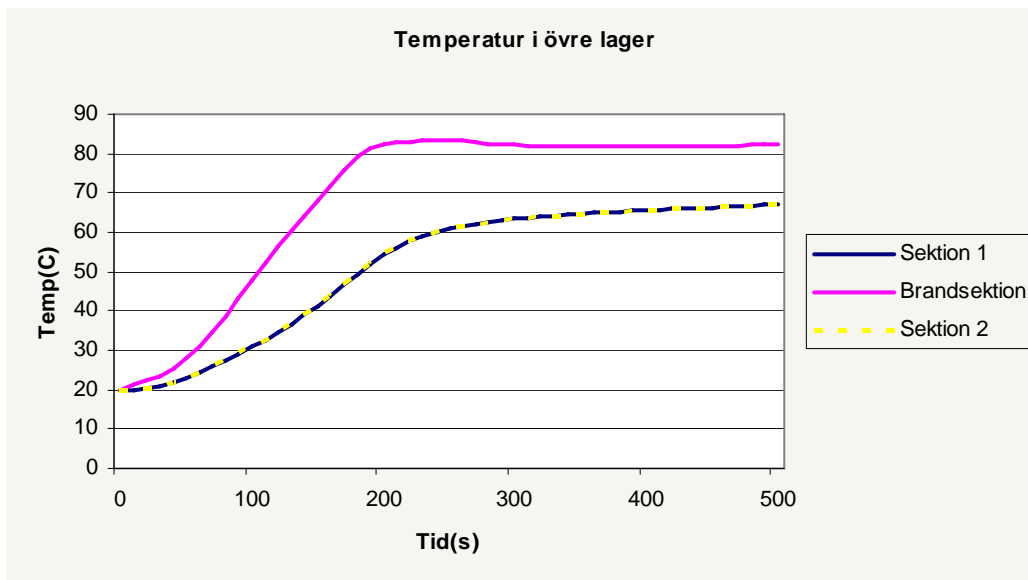
4.4.3 Simulering med tidig sprinkleraktivering

I denna simulering används effektkurvan för tidig sprinkleraktivering som finns redovisad i avsnitt 3.6.2. Indata till CFAST finns redovisade i bilaga 5. Resultaten av simuleringarna visas i figurerna nedan.

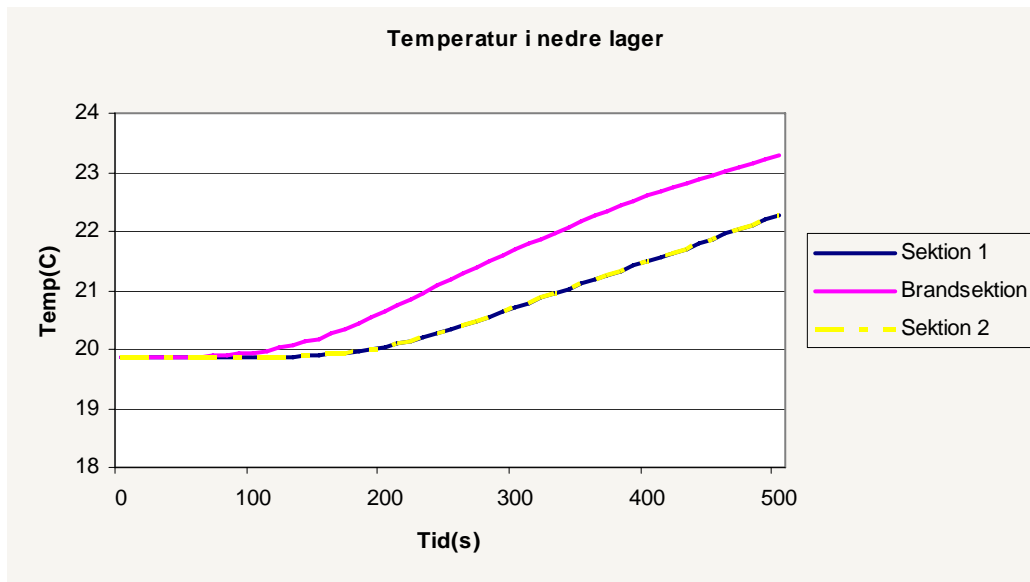


Figur 4.12 Graf över brandgaslagrets höjd över golvet i respektive sektion

En kritisk tid för utrymning kommer att ske när brandgaserna når 2,1 m över golvet, enligt avsnitt 4.4.2. Detta sker tidigast i sektion 1 och 2 och den kritiska tiden är 310 sekunder.

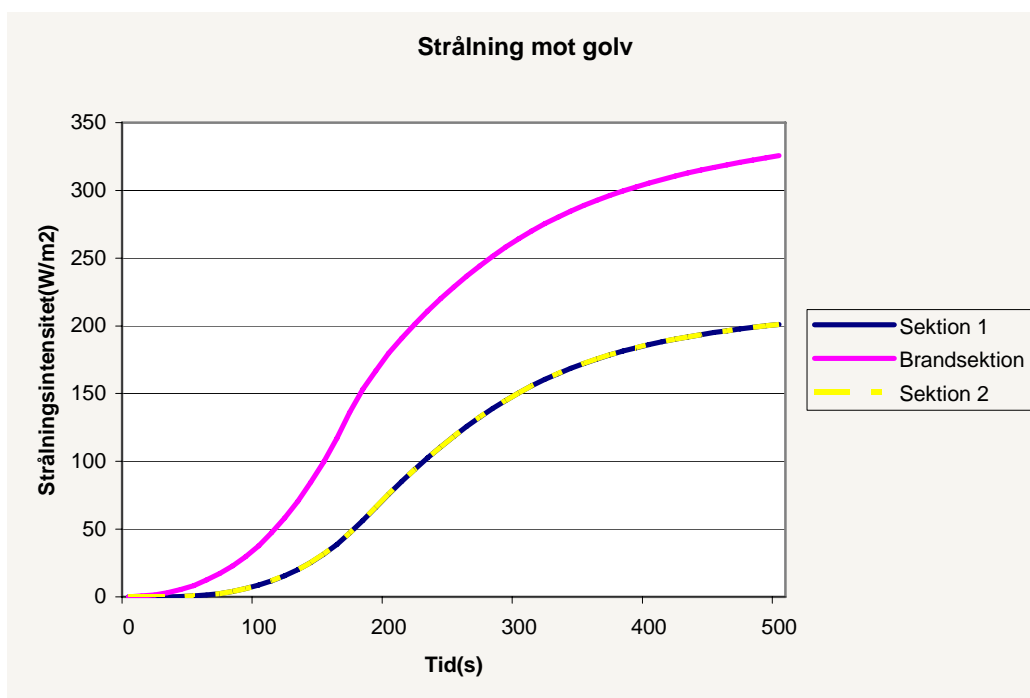


Figur 4.13 Temperatur i brandgaslagret i respektive sektion



Figur 4.14 Temperatur i det undre lagret i respektive sektion

I figur 4.8 och 4.9 kan det konstateras att det är en tydlig temperaturskillnad mellan de båda lagren. Detta tyder på att en tvåzons-modell är giltig i detta fall. Det undre lagret kommer aldrig upp i temperaturen 80°C som är den kritiska temperaturen för att kunna utrymma.



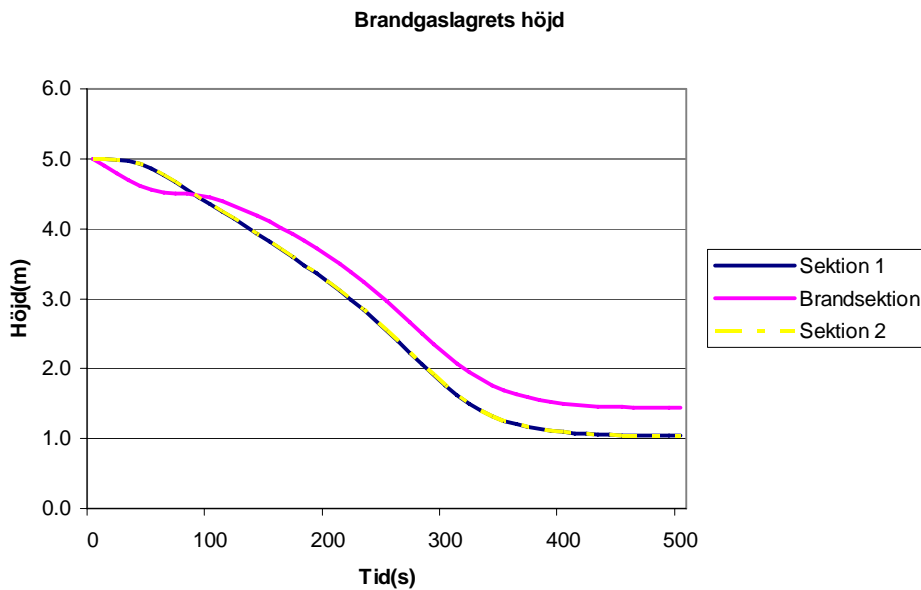
Figur 4.15 Strålning mot golvet från de varma brandgaserna i respektive sektion

När strålningen överstiger 2,5 kW/m² kommer den kritiska tiden för utrymning att inträffa. Detta inträffade aldrig under simuleringen.

Den parameter som kommer att avgöra när den kritiska tiden för utrymning uppstår är brandgaslagrets höjd över golvet, vilket ses i figur 4.12 ovan. Detta sker efter 310 sekunder.

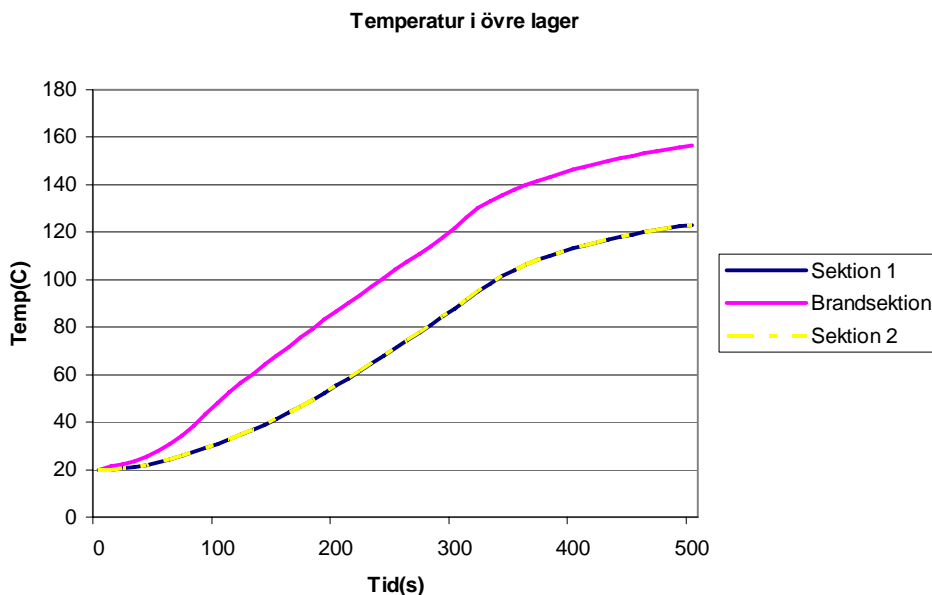
4.4.4 Simulering med sen sprinkleraktivering

I denna simulering används effektkurvan för sen sprinkleraktivering som finns redovisad i avsnitt 3.6.2. Indata till CFAST finns redovisade i bilaga 5. Resultaten av simuleringarna visas i figurerna nedan.

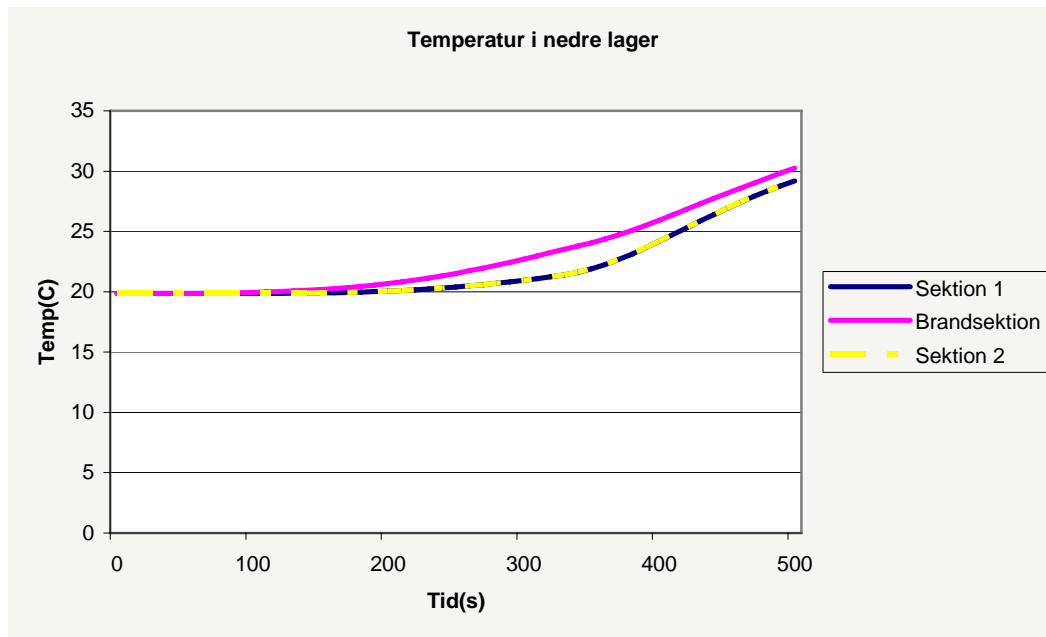


Figur 4.16 Graf över brandgaslagrets höjd över golvet i respektive sektion

En kritisk tid för utrymning kommer att ske när brandgaserna når 2,1 m över golvet, enligt avsnitt 4.4.2. Detta sker tidigast i sektion 1 och 2 och den kritiska tiden är 270 sekunder.

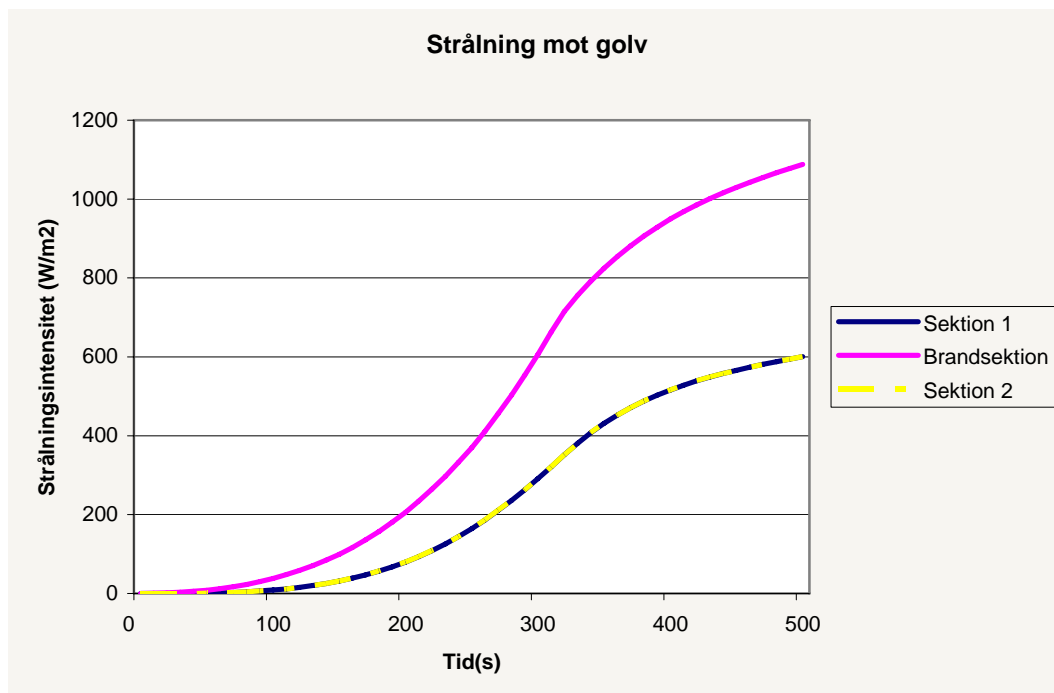


Figur 4.17 Temperatur i brandgaslagret i respektive sektion



Figur 4.18 Temperatur i det undre lagret i respektive sektion

I figur 4.17 och 4.18 kan det konstateras att det är en tydlig temperaturskillnad mellan de båda lagren. Detta tyder på att en tvåzons-modell är giltig i detta fall. Det undre lagret kommer aldrig upp i temperaturen 80°C som är den kritiska temperaturen för att kunna utrymma.



Figur 4.19 Strålning mot golvet från de varma brandgaserna i respektive sektion

När strålningen överstiger 2,5 kW/m² kommer den kritiska tiden för utrymning att inträffa. Detta inträffade aldrig under simuleringen.

Den parameter som kommer att avgöra när den kritiska tiden för utrymning uppstår är brandgaslagrets höjd över golvet, vilket ses i figur 4.16 ovan. Detta sker efter 270 sekunder.

4.4.5 Analys av rökspridning i lokal 26 med hjälp av handberäkningar (helt omblandat fall)

Om brandgaserna inte har en tillräckligt hög temperatur för att bilda en tydlig skiktning är det inte osannolikt att röken fördelar sig jämnt i hela lokalen. För att studera detta fall utförs handberäkningar för att bedöma tiden det tar för sikten att försämrans så mycket att en tillfredställande utrymning inte kan ske. Vid handberäkningarna tas ingen hänsyn till sprinkleraktivering eftersom brandgasernas temperatur antas vara låg.

För att utrymning skall kunna ske tillfredställande skall den optiska tätheten, D_L , vara högst en obscura enligt avsnitt 4.2. Beräkningar sker då branden tillväxer enligt en α^2 -kurva med ett α -värde på $0,047 \text{ kW/s}^2$.

Tyg har rökpoteentialen $D_o = 0,65 \text{ obscura m}^3/\text{g}^{22}$

Volymen i lokal 26 är ungefär 4300 m^3 , förhållandet för sikt ges av formeln nedan²³

$D_o = D_L \cdot \frac{V}{m}$, där D_o är rökpoteentialen i $\text{ob m}^3/\text{g}$, D_L är den optiska tätheten per m i ob, V är volymen i m^3 och m är massan i g.

Detta samband ger följande uttryck för massa som måste avbrinna, då sikten skall vara minst 10 m, alltså $D_L = 1 \text{ ob}$.

$$m = D_L \cdot \frac{V}{D_o} = 1 \text{ ob} \cdot \frac{4300 \text{ m}^3}{0,65 \text{ ob m}^3 / \text{g}} = 6615 \text{ g}$$

Detta betyder att när 6,615 kg av bränslet har förbränts kommer sikten att vara 10m, förutsatt att all brandgas stannar kvar och sprider sig jämnt i hela lokalen.

Tiden det tar innan denna massa har förbränts beräknas.

Förbränningsvärmets för tyg, $\Delta H_c = 25500 \text{ kJ/kg}$ ²⁴

Mängden energi som utvecklats då 7,692 kg tyg har förbränts är:

$$m \cdot \Delta H_c = 6,615 \text{ kg} \cdot 25500 \text{ kJ/kg} = 168682 \text{ kJ}$$

Tiden då denna mängd energi frigjorts är tiden då integralen under α^2 -kurvan för lokal 13 är 168682 kJ. Detta beräknas genom följande samband:

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \Rightarrow$$

$$Q = \int_0^t \alpha t^2 dt \Rightarrow t = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot Q}{\alpha}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 168682 \text{ kJ}}{0,047 \text{ kW/s}^2}} = 221 \text{ s} \approx 220 \text{ s}$$

Enligt dessa beräkningar kommer siktförhållandena i brandrummet att vara kritiska efter 220 sekunder.

Beräkningarna ovan förutsätter att brandgaser inte flödar ut ur rummet vilket de troligen skulle göra. Detta medför att dessa beräkningar ger en konservativ kritisk tid.

²² SFPE Fire protection handbook, 2003

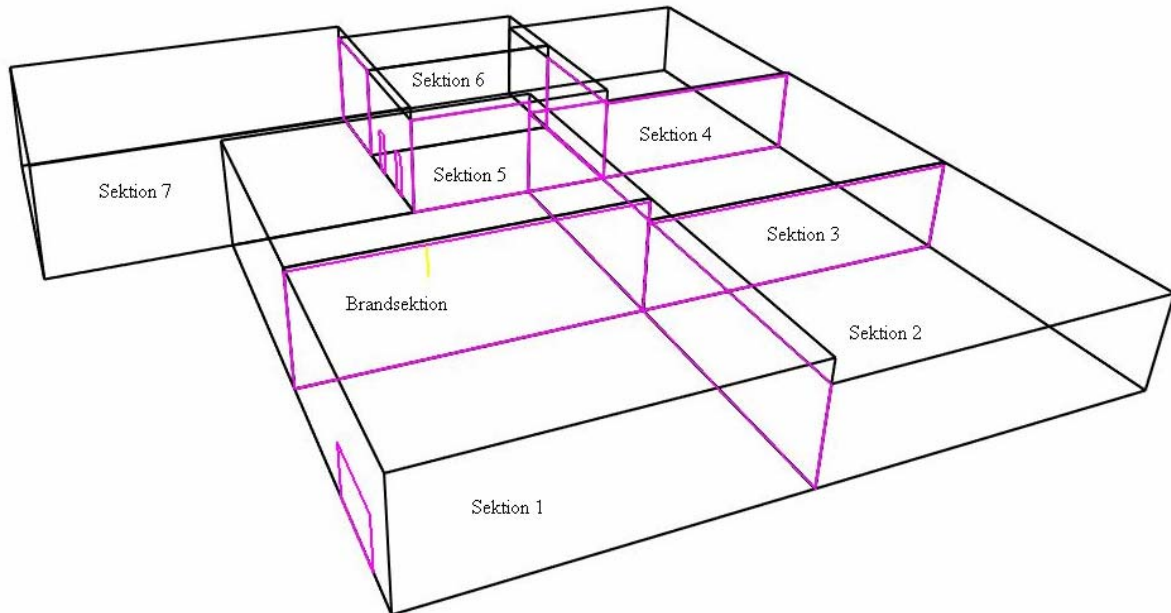
²³ Drysdale, 2004

²⁴ Abrahamsson, 1997

4.5 Brandsimulering nöjesetablissemang, lokal 8

4.5.1 Geometrin för lokal 8 i CFAST

Figur 4.20 visar den geometri för lokal 8 som användes i CFAST. För att uppfylla kraven på geometrin enligt avsnitt 4.1 delades lokalen in i 8 mindre sektioner. Öppningarna mellan sektionerna har inte gjorts hela vägen upp till taket. Det har lämnats en ”balk” med höjden 2 dm i taket. Detta görs för att bättre simulera brandgasspridningen inom lokalen²⁵. Branden placeras i sektionen döpt till brandsektion.



Figur 4.20 Geometrin använd i CFAST, för lokal 8

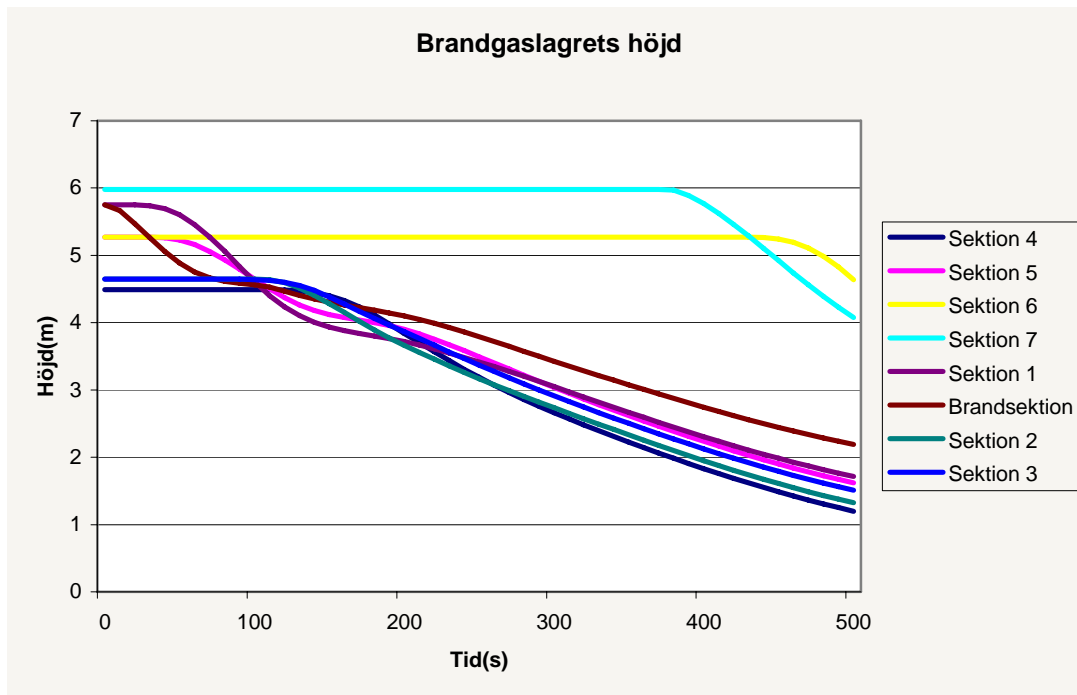
4.5.2 Kritiska förhållanden i lokal 8

Kraven för kritiska förhållanden, enligt avsnitt 4.2, innebär att höjden till brandgaslagret inte får understiga 2,15 meter över golvet, ($1,6 + 0,1 \times 5,5 = 2,1$). Temperaturen i det undre lagret får inte överstiga 80°C och strålningen får inte överstiga $2,5 \text{ kW/m}^2$.

²⁵ Daniel Gojkovic, 2005

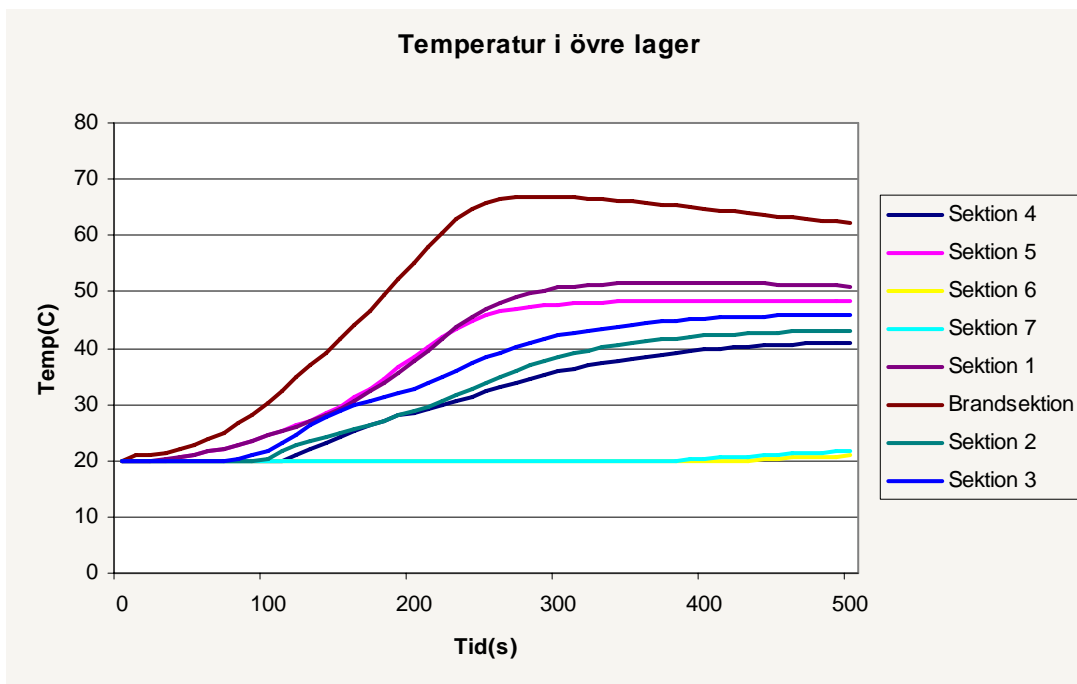
4.5.3 Simulering med tidig Sprinkler aktivering

I denna simulering används effektkurvan för tidig sprinkleraktivering som finns redovisad i avsnitt 3.7.2. Indata till CFAST finns redovisade i bilaga 5. Resultaten av simuleringarna visas i figurerna nedan.

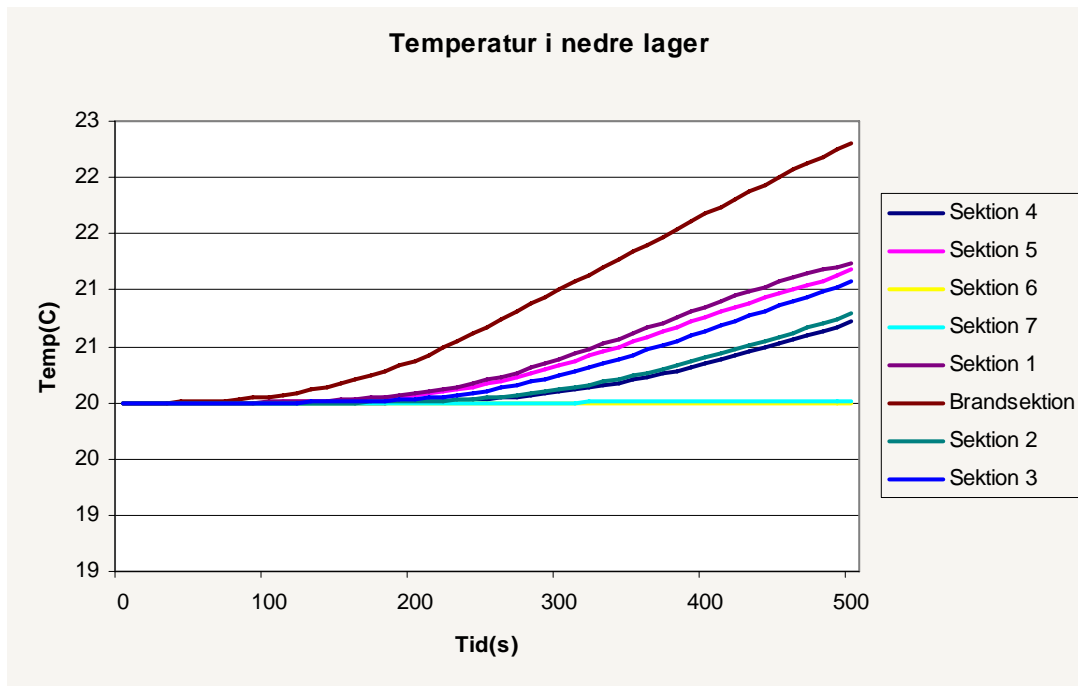


Figur 4.21 Graf över brandgaslagrets höjd över golvet i respektive sektion

En kritisk tid för utrymning kommer att ske när brandgaserna når 2,15 m över golvet, enligt avsnitt 4.4.2. Detta sker tidigast i sektion 4 och den kritiska tiden är 360 sekunder.

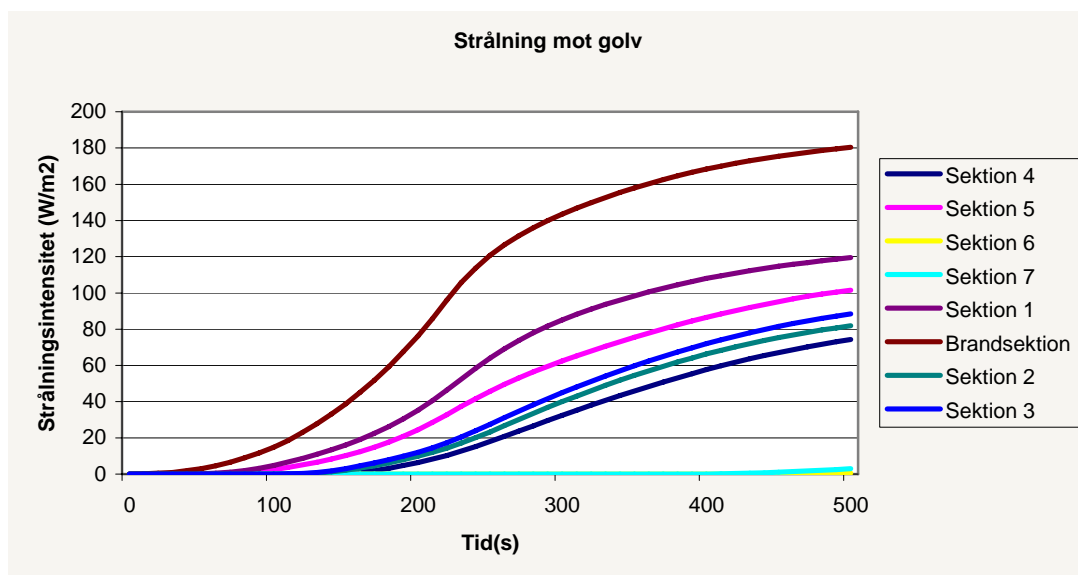


Figur 4.22 Temperatur i brandgaslagret i respektive sektion



Figur 4.23 Temperatur i det undre lagret i respektive sektion

I figur 4.22 och 4.23 kan det konstateras att det är en tydlig temperaturskillnad mellan de båda lagren. Detta tyder på att en tvåzons-modell är giltig i detta fall. Det undre lagret kommer aldrig upp i temperaturen 80°C som är den kritiska temperaturen för att kunna utrymma.



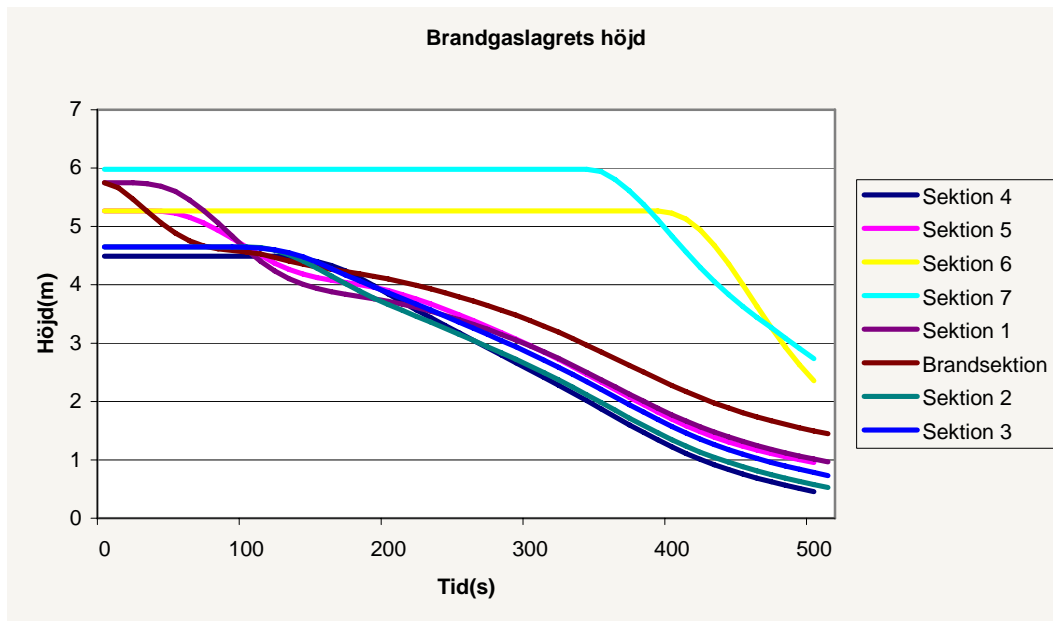
Figur 4.24 Strålning mot golvet från de varma brandgaserna i respektive sektion

När strålningen överstiger 2,5 kW/m² kommer den kritiska tiden för utrymning att inträffa. Detta inträffade aldrig under simuleringen.

Den parameter som kommer att avgöra när den kritiska tiden för utrymning uppstår är brandgaslagrets höjd över golvet, vilket ses i figur 4.21 ovan. Detta sker efter 360 sekunder.

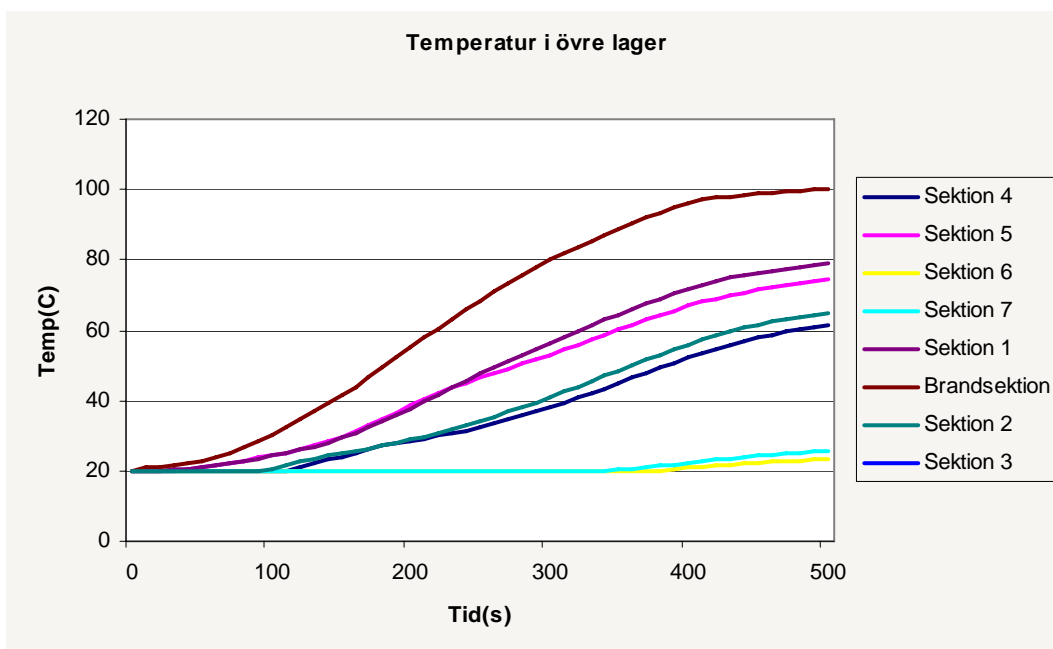
4.5.4 Simulering med sen sprinkleraktivering

I denna simulering används effektkurvan för sen sprinkleraktivering som finns redovisad i avsnitt 3.7.2. Indata till CFAST finns redovisade i bilaga 5. Resultaten av simuleringarna visas i figurerna nedan.

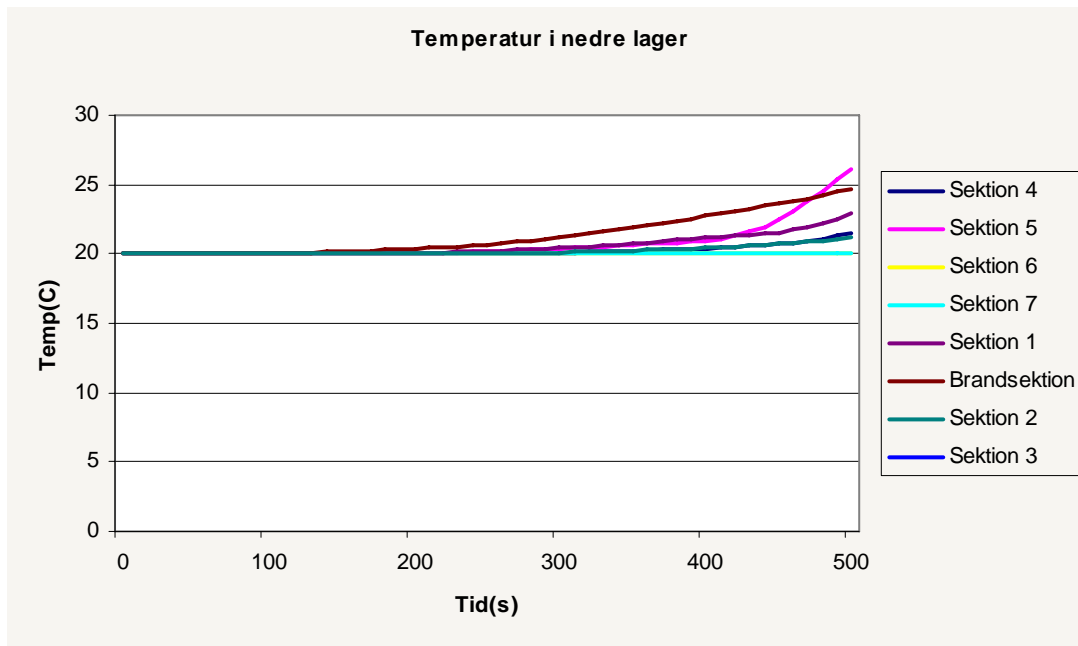


Figur 4.25 Graf över brandgaslagrets höjd över golvet i respektive sektion

En kritisk tid för utrymning kommer att ske när brandgaserna når 2,15 m över golvet, enligt avsnitt 4.4.2. Detta sker tidigast i sektion 4 och den kritiska tiden är 360 sekunder.

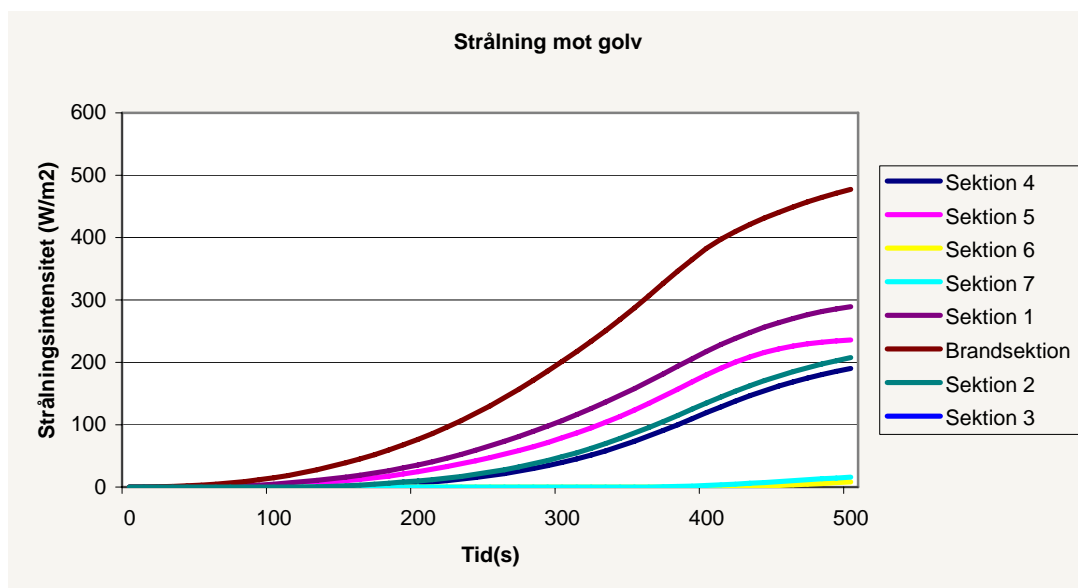


Figur 4.26 Temperatur i brandgaslagret i respektive sektion



Figur 4.27 Temperatur i det undre lagret i respektive sektion

I figur 4.26 och 4.27 kan det konstateras att det är en tydlig temperaturskillnad mellan de båda lagren. Detta tyder på att en tvåzons-modell är giltig i detta fall. Det undre lagret kommer aldrig upp i temperaturen 80°C som är den kritiska temperaturen för att kunna utrymma.



Figur 4.28 Strålning mot golvet från de varma brandgaserna i respektive sektion

När strålningen överstiger 2,5 kW/m² kommer den kritiska tiden för utrymning att inträffa. Detta inträffade aldrig under simuleringen.

Den parameter som kommer att avgöra när den kritiska tiden för utrymning uppstår är brandgaslagrets höjd över golvet, vilket ses i figur 4.25 ovan. Detta sker efter 360 sekunder.

4.5.5 Analys av rökspridning i lokal 8 med hjälp av handberäkningar (helt omblandat fall)

Om brandgaserna inte har en tillräckligt hög temperatur för att bilda en tydlig skiktning är det inte osannolikt att röken fördelar sig jämnt i hela lokalen. För att studera detta fall utförs handberäkningar för att bedöma tiden det tar för sikten att försämras så mycket att en tillfredställande utrymning inte kan ske. Vid handberäkningarna tas ingen hänsyn till sprinkleraktivering eftersom brandgasernas temperatur antas vara låg.

För att utrymning skall kunna ske tillfredställande skall den optiska tätheten, D_L , vara högst en obscura enligt avsnitt 4.2. Beräkningar sker då branden tillväxer enligt en α^2 -kurva med ett α -värde på $0,022 \text{ kW/s}^2$.

Polyuretan har rökpoteentialen $D_o = 0,96 \text{ obscura m}^3/\text{g}^{26}$

Volymen i lokal 8 är ungefär 7700 m^3 , förhållandet för sikt ges av formeln nedan²⁷

$D_o = D_L \cdot \frac{V}{m}$, där D_o är rökpoteentialen i $\text{ob m}^3/\text{g}$, D_L är den optiska tätheten per m i ob, V är volymen i m^3 och m är massan i g.

Detta samband ger följande uttryck för massa som måste avbrinna, då sikten skall vara minst 10 m, alltså $D_L = 1 \text{ ob}$.

$$m = D_L \cdot \frac{V}{D_o} = 1 \text{ ob} \cdot \frac{7700 \text{ m}^3}{0,96 \text{ ob m}^3 / \text{g}} = 8021 \text{ g}$$

Detta betyder att när 8,021 kg av bränslet har förbränts kommer sikten att vara 10m, förutsatt att all brandgas stannar kvar och sprider sig jämnt i hela lokalen.

Tiden det tar innan denna massa har förbränts beräknas.

Förbränningsvärmets för polyuretan, $\Delta H_c = 24500 \text{ kJ/kg}$ ²⁸

Mängden energi som utvecklats då 8,021 kg polyuretan har förbränts är:

$$m \cdot \Delta H_c = 8,021 \text{ kg} \cdot 24500 \text{ kJ/kg} = 196515 \text{ kJ}$$

Tiden då denna mängd energi frigjorts är tiden då integralen under α^2 -kurvan för lokal 8 är 196515 kJ. Detta beräknas genom följande samband:

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \Rightarrow$$

$$Q = \int_0^t \alpha t^2 dt \Rightarrow t = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot Q}{\alpha}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 196515 \text{ J}}{0,022 \text{ kW/s}^2}} = 299 \text{ s} \approx 300 \text{ s}$$

Enligt dessa beräkningar kommer siktförhållandena i brandrummet att vara kritiska efter 300 sekunder.

Beräkningarna ovan förutsätter att brandgaser inte flödar ut ur rummet vilket de troligen skulle göra. Detta medför att dessa beräkningar ger en konservativ kritisk tid.

²⁶ Drysdale, 2004

²⁷ Drysdale, 2004

²⁸ Abrahamsson, 1997

4.6 Sammanfattning av tider till kritiska förhållanden i brandrummen

I tabell 4.1 redovisas de kritiska tiderna för utrymning.

		Lokal 13	Lokal 26	Lokal 8
Fullt omblandat		230 s	220 s	300 s
Tvåzons- modell (CFAST)	Tidig sprinkleraktivering	300 s	310 s	360 s
	Sen sprinkleraktivering	280 s	270 s	360 s

Tabell 4.1 *Tider till kritiska förhållanden i brandrummen*

4.7 Kritiska förhållanden i gångstråk och atrium

För att få en uppfattning om i vilket tidsintervall det uppstår kritiska förhållanden i gångstråk och atrium har två extremfall undersökts. Det ena fallet antar att det uppstår en tvåzons-skiktning i gångstråk och atrium och det andra antar att brandgaserna blandar sig helt i gångstråken och atriets. Samma krav som i avsnitt 4.2 gäller för kritiska förhållanden. Detta medför att brandgaslagret inte får sjunka lägre än 2,6 m över golvet. CFAST har använts för att simulera tvåzons-skiktningen och handberäkningar har använts för att beräkna siktförhållandena vid det fullt omblandade fallet. Var för sig är modellerna inte lämpliga för denna typ av bedömningar, men tillsammans ger de en bra uppfattning inom vilket tidsintervall den kritiska tiden ligger.

Brister i tvåzons-modellen:

Eftersom gångstråken och atriets volymer är stora kommer brandgaserna att kylas kraftigt då de blandas med kall luft och är i kontakt med kylande ytor. Detta medför att brandgaserna kanske inte har tillräcklig termisk stigningskraft för att nå hela vägen upp till taket. Möjligheten finns alltså att de bildar ett brandgaslager som ligger någonstans mellan golvet och taket eller att de transporteras en sträcka längs taket för att sen sjunka.

CFAST tar inte hänsyn till att det tar tid för brandgaserna att transporteras, det vill säga samtidigt som de lämnar brandrummet och flödar ut i gångstråken fördelar de sig jämnt i hela volymen. I verkligheten kommer det att ta lång tid för brandgaserna att sprida sig till en del av byggnaden som är beläget långt ifrån branden.

Brister i den helt omblandade modellen:

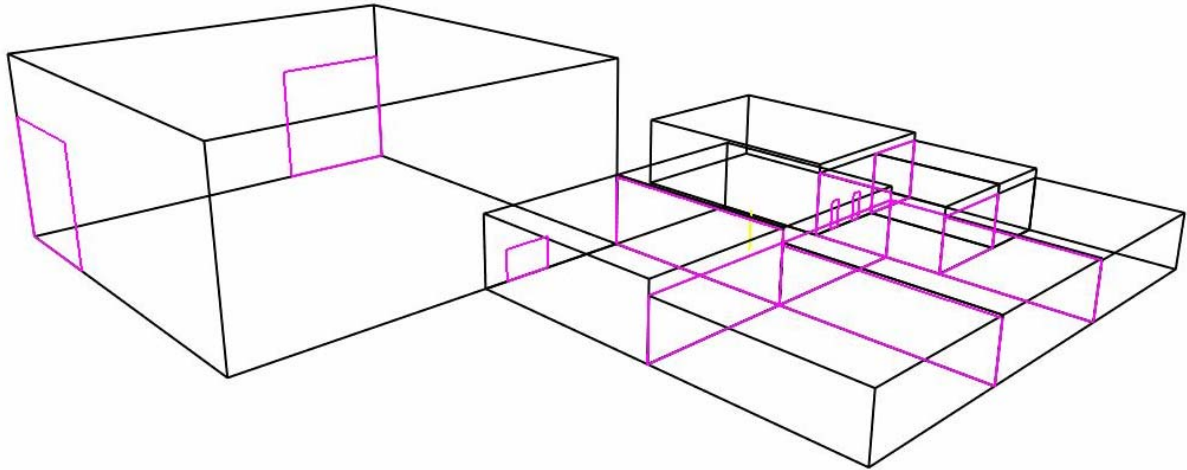
Om det ska bli ett helt omblandat fall så ska brandgaserna ha i stort sett samma temperatur som luften i atriets och gångstråken. Så är inte fallet, brandgaserna har en termisk stigningskraft och kommer att bilda en skiktning någonstans i volymen. Även i denna modell antas det att brandgaserna blandar sig jämnt i hela volymen.

De två diskuterade modellerna ovan är två extremfall. Tvåzons-modellen förutsätter att en tydlig skiktning mellan det varma och kalla brandgaslagret uppstår. Däremot förutsätter den helt omblandade modellen att ingen skiktning alls uppstår, all rök fördelas jämnt i rummet. De två olika modellerna ger därför ett tidsintervall till då det uppstår kritiska förhållanden. Den längsta tiden fås av tvåzons-modellen och den kortaste tiden fås av den helt omblandade modellen. Modellerna har brister, dock kan det ses i diskussionen ovan att de kompletterar varandra. Ingen av modellerna tar dock hänsyn till transporttider för rökspridningen, vilket medför att det förmodligen inte kommer att uppstå kritiska förhållanden i hela byggnaden efter den beräknade tiden. Det är troligt att om man befinner sig långt ifrån branden så är den tillgängliga tiden för utrymning längre, eftersom det tar tid för brandgaserna att transporteras. Däremot kan det lokalt uppstå kritiska förhållanden tidigare, det vill säga nära brandrummet. Detta ses inte som ett problem då personer som utrymmer inte kommer att utrymma genom rök utan väljer en annan väg om den första vägen är blockerad av röken. Det helt omblandade fallet ger en mycket konservativ bedömning²⁹. Det är troligt att det verkliga scenariet ligger någonstans mitt i mellan dessa två fall. Därför undersöks båda dessa extremfall.

²⁹ Göran Holmstedt, 2005

4.7.1 Tvåzons-modellen

Gångstråk och atrium simuleras som en stor volym med anslutning till brandrummet. I scenario 3, då kritiska förhållanden i atriet simuleras, införs atriets volym med öppningar till det fria. Volym och höjd påverkar simuleringen, inte den egentliga geometrin. Detta eftersom CFAST antar att brandgaserna sprider sig momentant i hela volymen. Därför har gångstråken och atriet modellerats som en kvadrat med verklig höjd och lika stor volym som i det verkliga fallet. Simuleringar görs för tidig och sen sprinkleraktivering i samtliga scenarier. Brandgaslagrets höjd för respektive scenario redovisas i bilaga 6. Figur 4.29 visar hur atriet simuleras i CFAST.



Figur 4.29 Atriet anslutet till lokal 8 i CFAST

4.7.2 Helt omblandat fall

Efter en viss tid börjar brandgaser att strömma ut genom öppningen till atriet och gångstråken. Vid beräkningar antas det att atriet och brandrummet är skilda volymer. I brandrummet antas en tvåzons-skiktning och i atriet antas ett fullt omblandat fall. När brandgaser börjar strömma ut i atriet antas det att all den avbrunna massan transporteras ut i atriet och orsakar en siktöversämring. Detta är inte helt korrekt eftersom brandgaslagrets höjd kommer att minska i brandrummet. Denna ackumulering av massa i brandrummet bortses från. När brandgaserna väl strömmar ut i atriet kommer alltså allt tillskott av massa från branden att momentant spridas i atriet. För utförliga beräkningar och vidare diskussion kring denna metod hänvisas till bilaga 7. Resultat för rökfylldhet av atrium och gångstråk redovisas i tabell 4.2. I samtliga beräkningar antas att brandgaserna fördelas jämnt i gångstråken.

		Lokal 13	Lokal 26	Lokal 8
Väl omblandat fall	Tidig sprinkleraktivering	1060 s	1540 s	720 s
	Sen sprinkleraktivering	570 s	670 s	620 s
Tvåzons-modell (CFAST)	Tidig sprinkleraktivering	>1200 s	>1200 s	450 s*
	Sen sprinkleraktivering	1150 s	1000 s	400 s*

* Tiden till dess att brandgaslagret når översta delen av klätterställningen, 14 m

Tabell 4.2 Sammanställning av kritiska tider i gångstråk och atrium

4.7.3 Diskussion kring erhållna tider

Tiderna ovan förefaller vara korta och i vissa fall orealistiska. De beräknade kritiska tiderna skall bara ses som en fingervisning för i vilken storleksordning tiderna ligger. Det är troligt att det istället uppstår kritiska förhållanden i brandrummets närhet tidigare än de beräknade tiderna. Däremot tar det förmodligen betydligt längre tid att uppnå kritiska förhållanden långt ifrån brandrummet än vad som beräknats. Det kan också ses att tiderna varierar mycket beroende på när sprinklern aktiverar, det är alltså av stor vikt att sprinklern aktiverar så fort som möjligt och att den klarar av att kontrollera eller släcka branden. För lokal 8 skiljer sig resultaten inte lika mycket som för de övriga lokalerna, detta beror på att tillväxthastigheten är långsammare i denna lokal. Att skaffa sig en uppfattning om hur röken sprider sig är svårt, däremot är det med stor säkerhet så att man inte kommer att utrymma genom rök. Då det brinner i lokal 13 kan två potentiella vägar att utrymma genom blockeras. Vid simuleringar för utrymning antas därför att denna passage är blockerad och man kan inte utrymma genom denna korsning.

Enligt beräkningarna ovan kommer det att ta ungefär 10 minuter att rökfylla samtliga gångstråk plus atrium i hela Köpstaden. Då dessa tider är konservativt beräknade kan det antas att hela Köpstaden kommer att hinna utrymmas innan kritiska förhållanden uppstår. Detta baseras på att det vid utrymningssimuleringar har visats att tiden det tar att utrymma hela köpcentrat varierat mellan 9-11 minuter, enligt avsnitt 5.5.5.

5 Utrymning

5.1 Teori för utrymning

I BBR³⁰ står det att en byggnad skall utformas så att en tillfredställande utrymning kan ske vid brand. I Köpstaden anses att en tillfredställande utrymning innebär att alla i lokalen kan utrymma innan kritiska förhållanden uppstår. Tiden för utrymning måste alltså vara mindre än tiden för att kritiska förhållanden skall uppstå. Detta kan sammanfattas enligt: $T_{krit.} > T_{utrymning}$ ³¹

Tiden för utrymning kan delas upp i olika delar.

$$T_{utrymning} = T_{varsebildning} + T_{beslut+reaktion} + T_{förflyttning}$$

- $T_{varseblivning}$ = Varseblivningstid, s.
- $T_{beslut+reaktion}$ = Beslut- och reaktionstid, s.
- $T_{förflyttning}$ = Förflyttningstid, s

5.2 Kritisk tid

Tiden för att uppnå kritiska förhållanden beräknades i avsnitt 4. Resultat från dessa beräkningar finns i tabell 4.1 och 4.2

5.3 Utrymningstid

$T_{förflyttning}$ beräknas genom att simulera utrymningen i Simulex, ett datorprogram konstruerat för att simulera utrymning.

$T_{beslut+reaktion}$ är en svår parameter att uppskatta. I undersökningar har det visats att personalens beteende vid en utrymning kommer att påverka denna parameter mycket³². Vid försök har det konstaterats att besluts- och reaktionstiden i ett varuhus med ett informativt talat meddelande är ungefär 1 minut då människorna i byggnaden inte ser branden³⁰. Människor som befinner sig i brandrummet har också en besluts- och reaktionstiden på 1 minut³⁰. I scenario 4, brand i lokal 8, nattetid, förväntas besökarna vara påverkade av alkohol. Efter samtal med Håkan Frantzych sätts besluts- och reaktionstiden i detta scenario till 3 minuter med en variation på 2 minuter.

$T_{varseblivning}$ beror på var i byggnaden besökarna befinner sig. De människor som är i brandrummet kommer att upptäcka branden relativt snabbt. I lokal 13 och 26 antas människor i lokalen att upptäcka branden efter ungefär 60 sekunder, då har branden en effekt på 170 kW. Detta motsvarar ungefär två brinnande papperskorgar³³.

I lokal 8 kan branden också förväntas upptäckas efter 60 sekunder. Då är effekten på branden 80 kW. Det är dock polyuretan som brinner, varvid stora mängder brandgaser kommer att ha producerats.

³⁰ BBR, 2002

³¹ Boverket, 2004

³² Shields & Boyce, 2000

³³ Karlsson & Quintiere, 2000

Personer som befinner sig i övriga delar av byggnaden antas bli varse om branden när utrymningslarmet aktiveras. Detta kommer att ta ungefär 90 sekunder. Beräkningar på utrymningslarmets aktiveringstid redovisas i bilaga 8.

5.4 Beskrivning av simuleringsprogrammet Simulex

För att ta reda på tiden det tar att utrymma en byggnad används simuleringsprogrammet Simulex, version 11.1.3. I programmet definieras byggnaden och de individer som befinner sig i byggnaden. Varje individ har egenskaper som bestämmer hur snabbt den rör sig, vid vilken tidpunkt den ska börja utrymma och vilken utrymningsväg den ska välja. När simuleringen startar tar individen den kortaste sträckan till utrymningsvägen. Hinder i byggnaden, så som bord, stolar, klädrack eller dylikt definieras också för att göra utrymningsscenarioet mer verklighetstroget.

5.4.1 Begränsningar

Då individerna alltid väljer kortaste sträckan till utrymningsvägen uppstår det orealistiska köer vid hörn och dörröppningar. För att lösa detta ritas linjer in i geometrin, dessa bildar väggar som inte finns i verkligheten men styr individerna så att köbildningar inte uppstår.

Programmet behandlar varje individ som en enskild enhet och tar inte hänsyn till eventuella grupp beteenden.

Skulle det i verkligheten bildas kö vid en nödutgång är det möjligt att individer väljer en annan nödutgång. Simulex tar inte hänsyn till detta. Är det köbildning vid den utgång som fördefinierats för individen kommer denne snällt att vänta på sin tur, även om det finns andra utrymningsvägar tillgängliga.

För att erhålla verklighetstroga utrymningstider av programmet är det viktigt att individerna placeras med omsorg. Genom att sektionera grupper av individer kan deras beteende styras. De som befinner sig nära en huvudentré kommer troligtvis inte att utnyttja nödutgångarna. När individerna definieras har detta resonemang använts.

5.4.2 Förtjänster

Simulex är ett användbart redskap för att beräkna gångtider inom byggnaden, lättare kunna lokalisera eventuella ”flaskhalsar”, samt få ett ungefärligt mått på hur lång tid en utrymning kan förväntas ta.

5.5 Utrymningssimulering

Den maximala personnärvaron vid högtryck förväntas vara ungefär 4000 personer³⁴. En schablonmetod för att beräkna antal personer i varuhus anger en persontäthet på 0,5 personer/m².³⁵ Detta skulle innebära ett totalt personantal på ungefär 12000 stycken personer i objektet. Detta antal anses inte vara rimligt eftersom det inte finns parkeringsplatser för detta antal kunder. Besökarna förväntas vara jämnt fördelade i hela Köpstaden. I de simuleringar som utförs är varseblivningstiden, besluts- och reaktionstiden inkluderade, vilket ger den totala utrymningstiden. Vid samtliga simuleringar användes personkategorin ”shoppers”, som består av 30% average, 20% male, 30% female och 20% child.

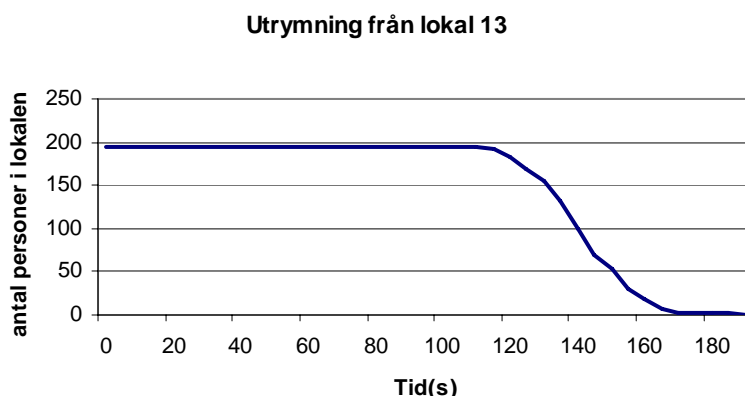
Den lokal som utgör brandrummet kommer att utrymmas först och övriga personer i byggnaden kommer att bli varse branden då utrymningslarmet aktiveras, enligt resonemang från avsnitt 5.3. I brandrummet är varseblivningstiden 60 sekunder och besluts- och reaktionstiden 60 sekunder med en variation på +/- 15 sekunder. I övriga byggnaden är varseblivningstiden 90 sekunder eftersom utrymningslarmet aktiveras då (se bilaga 8) Besluts och reaktionstiden antas vara 60 sekunder med en variation på +/- 30 sekunder utanför brandrummet. Det är rimligt att anta att variationen kommer att vara större utanför brandrummet eftersom dessa personer inte kan se branden. Dessa tider användes i scenarier 1, 2 och 3. Varseblivningstid, besluts- och reaktionstid är dock annorlunda för scenario 4, då det i detta scenario handlar om nattklubbsaktivitet. Dessa tider redovisas i avsnitt 5.5.4.

Vid simuleringarna antogs det att 75 % av personerna i brandrummet använde sig av huvudentréerna och 25 % använde sig av de till lokalerna anslutna nödutgångarna. Detta på grund av att det visat³⁶ sig att personer i stor utsträckning utrymmer den väg de kom in. De personer som befinner sig i de övriga lokalerna förväntas använda sig av huvudentréerna eller någon av de tre stora nödutgångarna i byggnaden. I samtliga simuleringar var personerna jämnt fördelade i lokalerna.

5.5.1 Utrymningssimulering av lokal 13, scenario 1

I lokal 13 simulerades ett utrymningsscenario med 195 personer i Simulex.

Det tog ungefär 190 sekunder att utrymma lokal 13. I figur 5.1 ses hur många personer som är kvar i lokalen vid en viss tidpunkt.



Figur 5.1 *Personer i lokal 13 som funktion av tiden*

³⁴ Glenn Frost, 2005

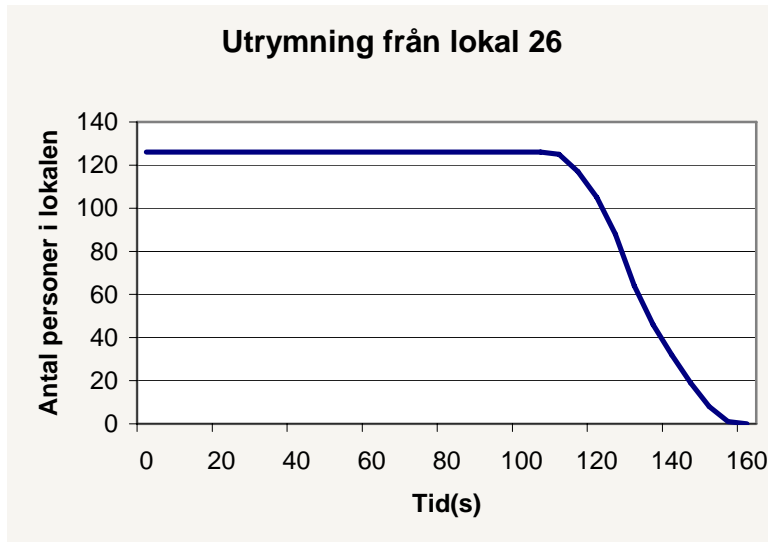
³⁵ Brandskyddshandboken, 2002

³⁶ Frantzych, 2000

5.5.2 Utrymningssimulering av lokal 26, scenario 2

I lokal 26 simulerades ett utrymningsscenario med 126 personer i Simulex.

Det tog ungefär 160 sekunder att utrymma lokal 26. I figur 5.2 ses hur många personer som är kvar i lokalen vid en viss tidpunkt.

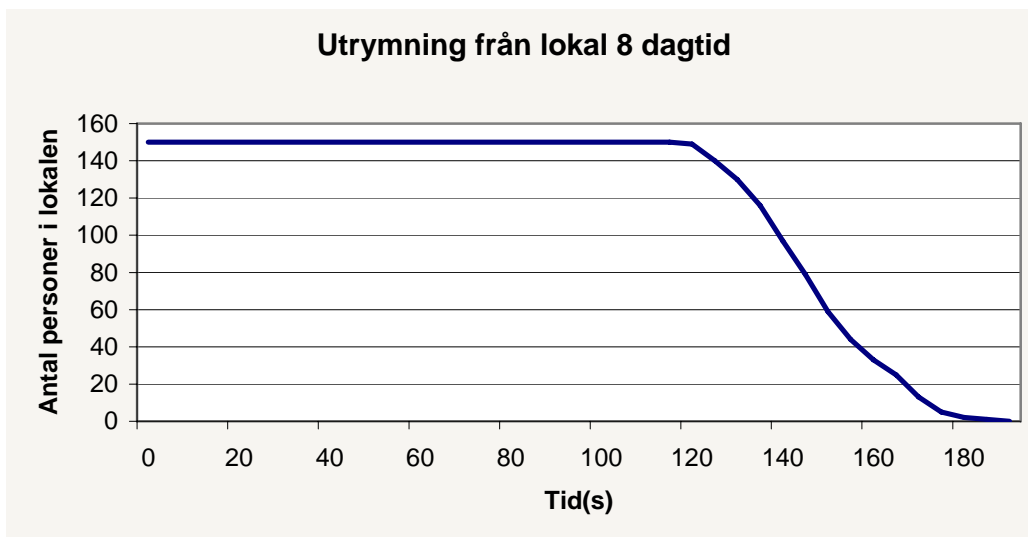


Figur 5.2 Personer i lokal 26 som funktion av tiden

5.5.3 Utrymningssimulering av lokal 8 dagtid, scenario 3

I lokal 8 simulerades ett utrymningsscenario med 150 personer i Simulex³⁷.

Det tog ungefär 190 sekunder att utrymma lokal 8. I figur 5.3 ses hur många personer som är kvar i lokalen vid en viss tidpunkt.



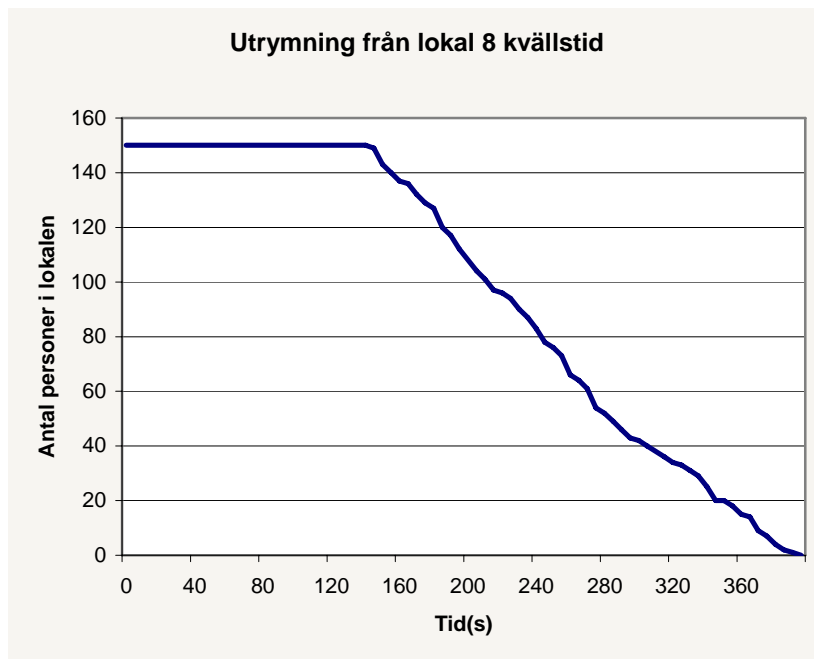
Figur 5.3 Personer i lokal 8 som funktion av tiden

³⁷ Glenn Frost, 2005

5.5.4 Utrymningssimulering av lokal 8 kvällstid, scenario 4

Scenario 4 inträffar i lokal 8 under kvällstid då lokalen används som en nattklubb. Det kan förväntas finnas ca 150 personer i lokalen³⁸. Som tidigare nämnts förväntas besökarna vara påverkade av alkohol. Enligt avsnitt 5.3 sattes besluts- och reaktionstiden till 3 minuter med en variation på +/- 2 minuter. Varseblivningstiden sätts till 60 sekunder. Eftersom scenariot inträffar på kvällstid kommer övriga byggnaden att vara folktom vid simuleringen.

Det tog ungefär 390 sekunder att utrymma lokal 8. I figur 5.4 ses hur många personer som är kvar i lokalen vid en viss tidpunkt.



Figur 5.3 Personer i lokal 8 som funktion av tiden

5.5.5 Utrymningssimulering av hela Köpstaden, samtliga scenarier

Under dagtid kan hela Köpstaden antas vara fylld med människor. Simulex användes för att beräkna tider till total utrymning av Köpstaden. Vid utrymningssimuleringarna för hela Köpstaden var individerna jämnt fördelade i alla publika utrymnen med en persontäthet på 0,2 personer per m². Olika simuleringar genomfördes beroende på vilken lokal som förutsattes brinna. I samtliga simuleringar användes båda huvudingångarna och de tre stora nödutgångarna, samt nödutgångarna genom lagret i brandrummet. Varseblivningstid samt besluts- och reaktionstid ansätts enligt avsnitt 5.3 och 5.5. I scenarierna definierades individernas vägval, så att de inte utnyttjade gångstråk utanför brandrummet, då brandgaser antas blockera gångstråket utanför lokalen där det brinner. Beroende på vilken lokal som förutsattes brinna varierade den totala utrymningstiden. I det mest gynnsamma fallet skedde en total utrymning av Köpstaden på 540 sekunder. I det värsta fallet tog det 660 sekunder. Det kan alltså förutsättas att hela Köpstaden kan evakueras på ungefär 9-11 minuter, oavsett hur utrymningssimuleringen genomförs.

³⁸ Glenn Frost, 2005

5.5.6 Utrymning av klätterställning i atriet

Ingen utrymningssimulering har gjorts på tiden det tar att evakuera klätterställningen som är placerad i atriet. Detta är svårt att bedöma, och beror till stor del på personalens agerande vid en brand. Enligt avsnitt 5.5.5 tar det 9-11 minuter att utrymma hela Köpstaden. Dessa tider bygger på att samtliga personer i Köpstaden påbörjar en utrymning när utrymningslarmet aktiveras. Det är fullt möjligt att tiden det tar att utrymma klätterställningen överstiger den beräknade tiden det tar att utrymma hela Köpstaden. Därför kan den verkliga tiden det tar att utrymma Köpstaden kanske vara den tid det tar att utrymma de personer som befinner sig i klätterställningen vid en utrymningssituation. För att få exaktare resultat bör en utrymningsövning av klätterställningen genomföras.

5.5.7 Sammanställning av simulerade utrymningstider

Scenario	Tid till samtliga är utrymda (sekunder)
1 (Lokal 13)	190
2 (Lokal 26)	160
3 (Lokal 8, dagtid)	190
4 (Lokal 8, kvällstid)	390
Hela Köpstaden	540-660

Tabell 5.1 *Simulerade utrymningstider*

6. Känslighetsanalys

En känslighetsanalys genomförs för att hitta eventuella variabler som påverkar slutresultatet mest. I analysen studeras variablerna var för sig, för att utreda hur den varierade variabeln påverkar slutresultatet.

6.1 Känslighetsanalys av fallet då sprinkler inte aktiverar

Lokal 8, 13 och 26 är helsprinklade. Om sprinklersystemet inte aktiveras kommer branden att tillväxa och uppnå sin maximala effekt då branden blir ventilationskontrollerad. Detta kommer att resultera i en högre maximal effekt. Effektkurvorna då sprinklern inte aktiverar finns redovisade i bilaga 2 och 3 för respektive scenario och lokal. I punkterna nedan finns redovisat vad den maximala effekten för respektive lokal blir, då sprinklern inte aktiverar, och tiderna till kritiska förhållanden inträffar.

- Lokal 13 blir ventilationskontrollerad vid en effekt på 24 MW. Detta simuleras i CFAST enligt avsnitt 4.3. I detta fall är brandgaslagrets höjd den avgörande parametern, kritiska förhållanden inträffar efter 280 sekunder.
- Lokal 26 blir ventilationskontrollerad vid en effekt på 41,5 MW. Detta simuleras i CFAST enligt avsnitt 4.4. I detta fall är brandgaslagrets höjd den avgörande parametern, kritiska förhållanden inträffar efter 270 sekunder.
- Lokal 8 blir ventilationskontrollerad vid en effekt på 24 MW. Detta simuleras i CFAST enligt avsnitt 4.5. I detta fall är brandgaslagrets höjd den avgörande parametern, kritiska förhållanden inträffar efter 330 sekunder.

Tabell 6.1 visar en jämförelse av tiderna då kritiska förhållanden för utrymning uppstår.

Lokal	Kritisk tid för utrymning i grundscenario med sprinkler i CFAST (s)		Kritisk tid för utrymning utan sprinkler i CFAST (s)	Kritisk tid för utrymning i det helt omblandade fallet utan sprinkler (s)
	Tidig aktivering	Sen aktivering		
13	300	280	280	230
26	310	270	270	220
8	360	360	330	300

Tabell 6.1 Jämförelse av tider till kritiska förhållanden

Det kan konstateras att tiden till utrymning inte påverkas mycket beroende på om sprinklersystemet aktiverar eller inte. I samtliga fall rör det sig om 20-30 sekunder.

6.2 Känslighetsanalys av snabbare brandtillväxt i lokal 8

I lokal 8 har samtliga simuleringar gjorts med en α^2 -kurva som ligger mellan medium och fast. För att analysera hur brandens tillväxthastighet påverkar tiden till kritiska förhållanden genomförs ytterligare simuleringar med en brandtillväxt enligt en fastkurva. Tidig sprinkleraktivering sker i detta fall efter 174 sekunder och sen sprinkleraktivering efter 306 sekunder. Den kritiska tiden för utrymning inträffar i dessa fall efter 330 vid snabb sprinkleraktivering och efter 280 sekunder vid sen sprinkleraktivering.

Det fullt omblandade fallet analyseras också med en snabb brandtillväxt. Detta sker enligt samma beräkningsmetod som i avsnitt 4.5.5. Den kritiska tiden för utrymning blir i detta fall 232 sekunder. Tabell 6.2 visar en jämförelse av tider till kritiska förhållanden uppnås.

	Kritisk tid för utrymning i grundscenariot (s)	Kritisk tid för utrymning med en snabb brandtillväxt (s)
Lokal 8, tidig sprinkleraktivering	360	330
Lokal 8, sen sprinkleraktivering	360	280
Lokal 8, väl omblandat	300	230

Tabell 6.2 Jämförelse av tider till kritiska förhållanden, lokal 8

Om branden tillväxer enligt en fastkurva i lokal 8 kommer tiden till kritiska förhållanden att variera mellan 30 – 80 sekunder.

Lokal 13 och 26 kommer inte att simuleras med en brandtillväxt enligt en ultrafast-kurva. Detta görs inte eftersom ultrafast är en orimligt snabb brandtillväxt i en klädbutik.

6.3 Känslighetsanalys av tid tills kritiska förhållanden i atrium och gångstråk inträffar

I detta avsnitt utförs beräkningar i gångstråk och atrium när sprinklersystemet inte aktiverar. Beräknade tider till kritiska förhållanden uppnås jämförs med tidigare beräknade tider när sprinklersystemet aktiverar.

6.3.1 Lokal 13 och 26

Samma beräkningar som används i avsnitt 4.7 genomförs på lokal 13 och 26 utan sprinkleraktivering. Detta ger kritiska tider till rökfylld av gångstråk om sprinklersystemet inte aktiveras. Beräkningar genomförs både med CFAST och enligt det helt omblandade fallet. I tvåzons-modellen är det brandgaslagrets höjd som är den avgörande variabeln för tiden till kritiska förhållanden. Tabell 6.3 redovisar resultat och jämförelse med tider beräknade då sprinklersystemet aktiverar.

Brand i Lokal	Tid för kritiska förhållanden i gångstråk och atrium, beräknade i CFAST med sprinkleraktivering		Tid för kritiska förhållanden i gångstråk och atrium, beräknade i CFAST utan sprinkleraktivering	Tid för kritiska förhållanden i gångstråk och atrium, beräknade enligt helt omblandat fall med sprinkleraktivering		Tid för kritiska förhållanden i gångstråk och atrium, beräknade enligt helt omblandat fall utan sprinkleraktivering (s)
	Tidig sprinkler (s)	Sen sprinkler (s)		Tidig sprinkler (s)	Sen sprinkler (s)	
13	>1200	>1200	1140	1060	570	510
26	>1200	1000	720	1540	670	520

Tabell 6.3 Jämförelse av kritiska tider i gångstråk och atrium, lokal 13 och 26

Tiderna i tabell 6.3 varierar mycket, för det helt omblandade fallet är det viktigt att sprinklersystemet aktiverar tidigt. En brand i lokal 13 och 26 har en snabb brandtillväxt och det finns mycket brännbart material, potentialen till en stor brand finns. Därför är det viktigt med ett fungerande sprinklersystem i lokaler med snabb brandtillväxt och mycket brännbart material.

6.3.2 Lokal 8

Samma beräkningar som används i avsnitt 4.7 genomförs på lokal 8 utan sprinkleraktivering. Detta ger kritiska tider till rökfyllnad av atrium om sprinklersystemet inte aktiveras. Beräkningar genomförs både med CFAST och enligt det helt omblandade fallet. I tvåzonsmodellen är det brandgaslagrets höjd som är den avgörande variabeln för tiden till kritiska förhållanden. Tabell 6.4 redovisar resultat och jämförelse med tider beräknade då sprinklersystemet aktiveras.

Lokal	Tid för kritiska förhållanden i atrium, beräknade i CFAST med sprinkleraktivering		Tid för kritiska förhållanden i atrium, beräknade i CFAST utan sprinkleraktivering (s)	Tid för kritiska förhållanden i atrium, beräknade enligt helt omblandat fall med sprinkleraktivering		Tid för kritiska förhållanden i atrium, beräknade enligt helt omblandat fall utan sprinkleraktivering (s)
	Tidig sprinkler (s)	Sen sprinkler (s)		Tidig sprinkler (s)	Sen sprinkler (s)	
8	400	400	400	720	620	460

Tabell 6.4 Jämförelse av kritiska tider i gångstråk och atrium, lokal 8

Sprinklersystemet kommer att vara viktigt för att förlänga tiden till kritiska förhållanden vid beräkningar enligt det helt omblandade fallet. Vid beräkningar i CFAST påverkar sprinklersystemet inte tiden till kritiska förhållanden. Sprinklersystemet kommer dock att kyla brandgaserna, vilket leder till att de förlorar en del av sin termiska stigkraft. Det är troligt att en eventuell skiktning i atriet kommer att bildas i detta fall.

6.4 Känslighetsanalys av utrymningslarmets funktion

Då tiderna för kritiska förhållanden i gångstråk och atrium är nära tiderna för total utrymning av Köpstaden, är det viktigt att utrymningslarmet fungerar. En förlängd varseblivningstid kan resultera i att utrymning inte kan ske tillfredställande. Det är osäkert när personer kommer att påbörja utrymning då utrymningslarm saknas.

6.5 Känslighetsanalys Simulex

Simuleringar gjordes i Simulex med antagandet att den största utgången (huvudentrén) från brandrummet var blockerad. Personer i lokalen tvingas alltså använda sig av nödutgångarna. Dessutom gjordes en simulering där persontätheten i lokal 8 ökades till det dubbla, då 150 personer i en nattklubb av denna storlek kan tänkas vara för lite.

Simuleringar genomfördes enligt resonemanget i avsnitt 5.5. Resultatet av simuleringarna för respektive lokal redovisas i tabell 6.5.

Scenario	Utrymningstid, grundscenario (s)	Utrymningstid, blockerad huvudentré (s)	utrymningstid, dubbla persontätheten (s)
1 (lokal 13)	190	230	
2 (lokal 26)	160	170	
3 (lokal 8, dagtid)	190	190	
4 (lokal 8, kvällstid)	390	380	420

Tabell 6.5 Jämförelse av kritiska tider, lokal 13, 26 och 8

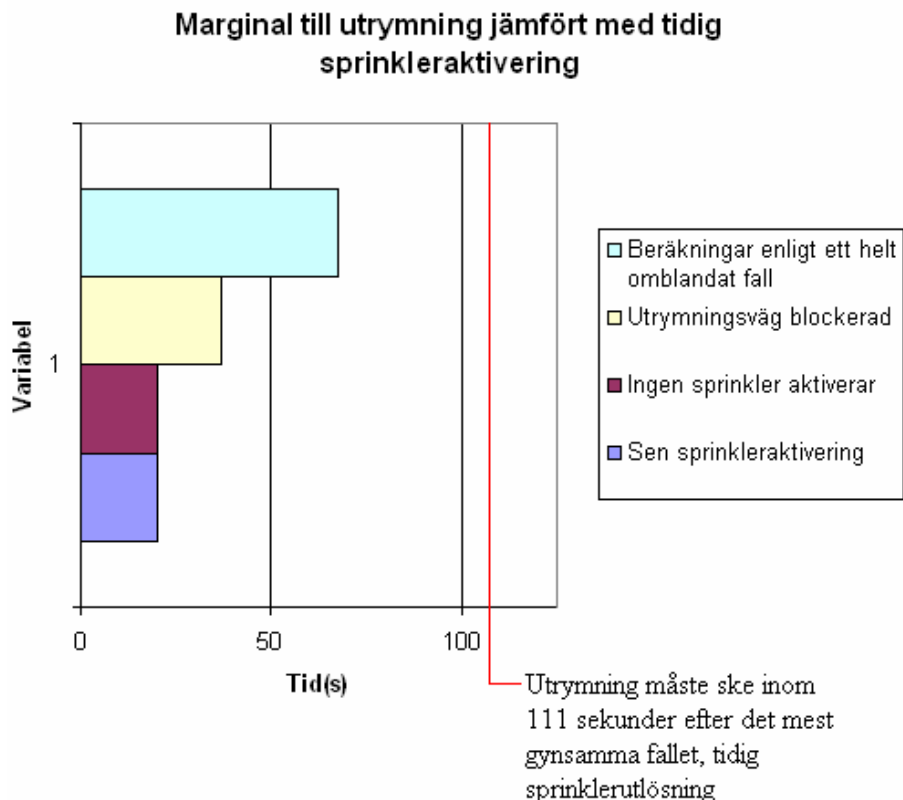
Tabell 6.5 visar att lokalerna har goda utrymningsmöjligheter. Då huvudentréerna är blockerade tar utrymningen inte mycket längre tid. I lokal 8 kvällstid, blir utrymningstiden till och med något kortare då huvudentrén är blockerad. Detta tyder på att utrymningsvägarna verkar ha tillräcklig kapacitet samt vara placerade på ett sådant sätt att utrymningen kan genomföras på ett smidigt och säkert sätt.

Då dubbla persontätheten i lokal 8 antas blir utrymningstiden endast en halv minut längre. Detta tyder på att lokalen har kapacitet för ett större antal besökare än 150 personer som angivits av ägaren. För att effektivisera en utrymning skall nödutgångarna användas i större utsträckning och varseblivningstid samt beslut- och reaktionstid bör försöka kortas ner. Detta kan åstadkommas med väl synliga och attraktiva nödutgångar, samt utbildad personal som hjälper till vid utrymningen.

6.6 Tornadodiagram

För att åskådliggöra känslighetsanalysen beskrivs resultaten i så kallade tornadodiagram. I dessa diagram har tidsmarginalen för utrymning visats med ett streck. Det fall som använts som referens är det mest gynnsamma fallet, det vill säga det fall då en tvåzons-skiktning med tidig sprinkleraktivering uppstår och inga utgångar är blockerade. Endast en variabel ändras från detta scenario. Enligt denna metod kan effekten av att variera olika variabler åskådliggöras. Detta ger ett mått på huruvida en utrymning kommer att kunna genomföras eller ej, samt vilken variabel som påverkar marginalen till säker utrymning mest.

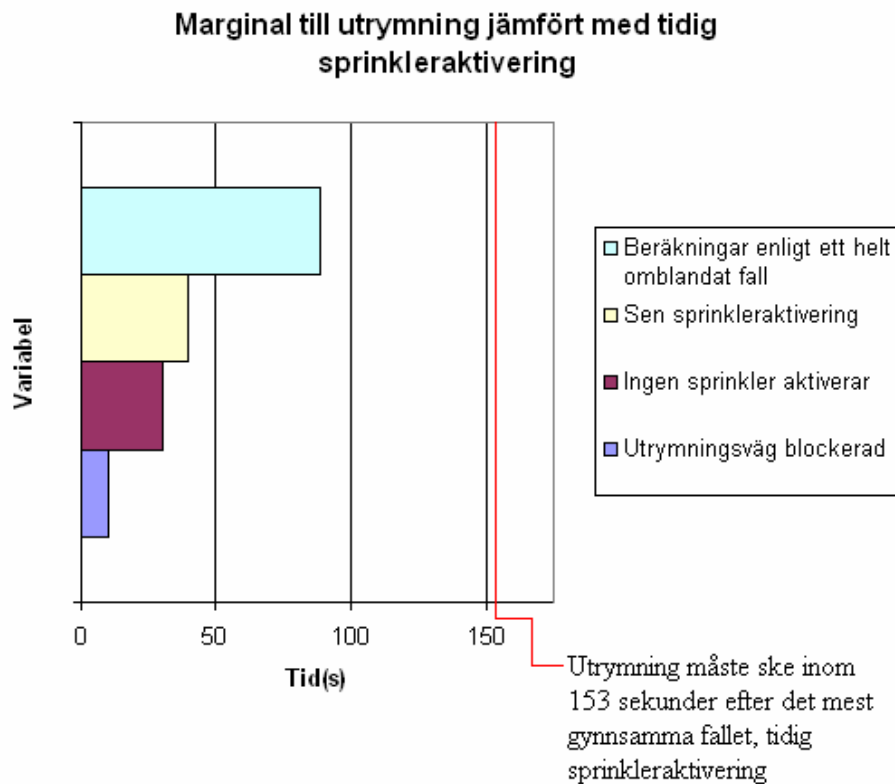
6.6.1 Scenario 1, lokal 13



Figur 6.1 Tornadodiagram, lokal 13

I tornadodiagrammet kan det konstateras att en utrymning kommer att kunna genomföras innan tiden för kritiska förhållanden uppstår, oavsett vilken variabel i känslighetsanalysen som varieras. Den största skillnaden sker beroende på om scenariot beräknas enligt en tvåzons-modell eller enligt ett helt omblandat fall.

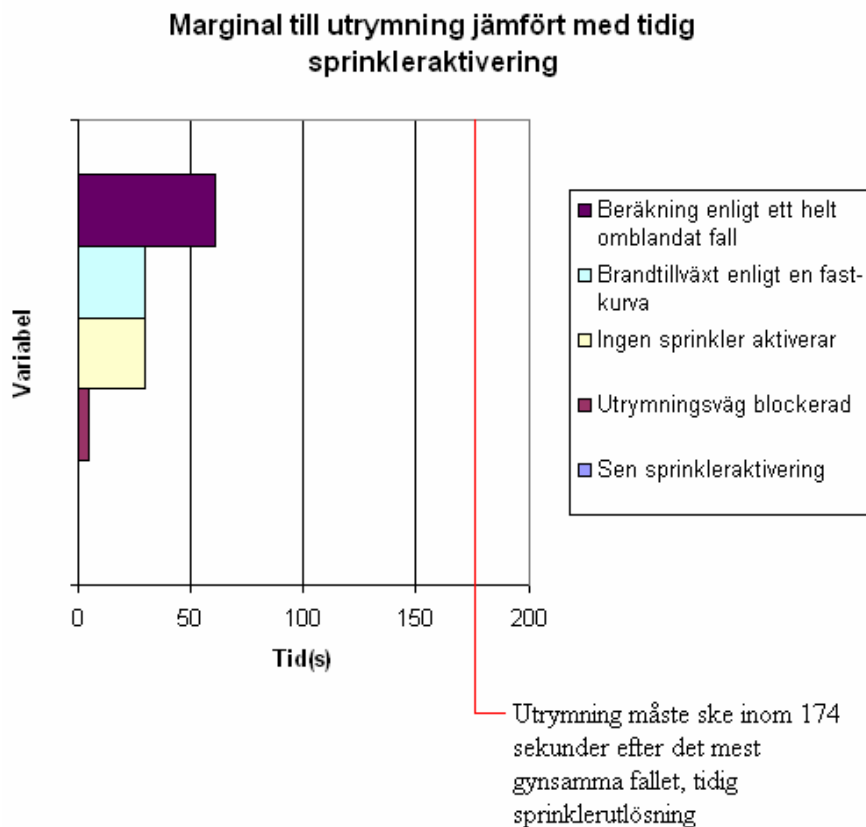
6.6.2 Scenario 2, lokal 26



Figur 6.2 Tornado diagram lokal 26

I tornodiagrammet kan det konstateras att en utrymning kommer att kunna genomföras innan tiden för kritiska förhållanden uppstår, oavsett vilken variabel i känslighetsanalysen som varierar. Den största skillnaden sker beroende på om scenariot beräknas enligt en tvåzons-modell eller enligt ett helt omblandat fall.

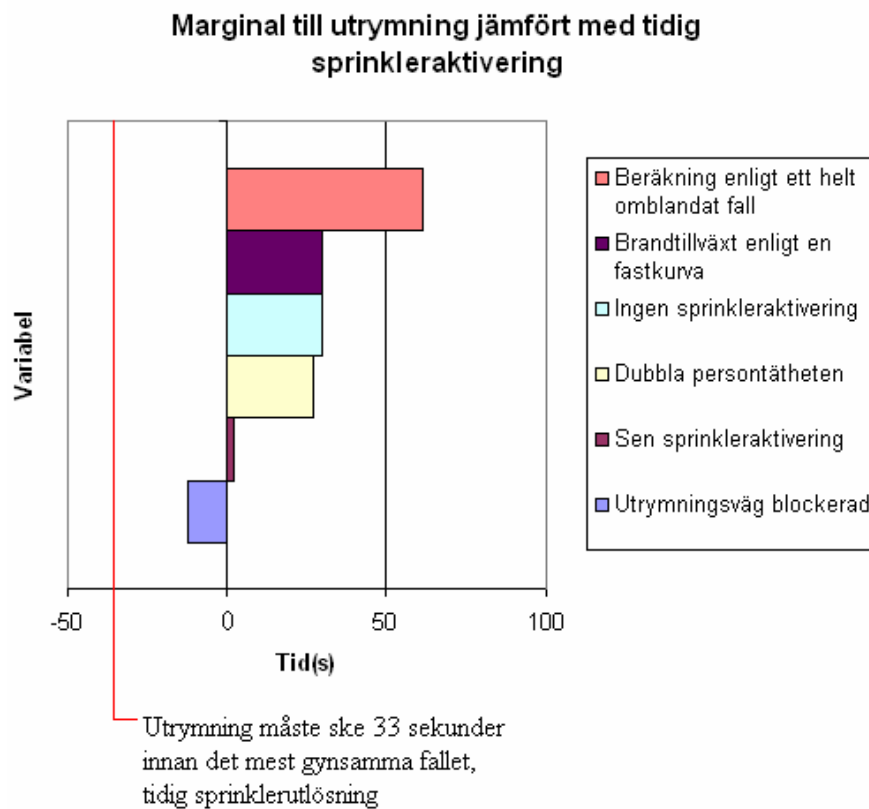
6.6.3 Scenario 3, lokal 8 dagtid



Figur 6.3 Tornado diagram, lokal 8 dagtid

I tornadodiagrammet kan det konstateras att en utrymning kommer att kunna genomföras innan tiden för kritiska förhållanden uppstår, oavsett vilken variabel i känslighetsanalysen som varieras. Den största skillnaden sker beroende på om scenariot beräknas enligt en tvåzons-modell eller enligt ett helt omblandat fall.

6.6.4 Scenario 4, lokal 8 nattetid



Figur 6.4 Tornadodiagram lokal 8, nattetid

I tornadodiagrammet ovan kan det konstateras att en tillfredställande utrymning inte kommer att kunna ske ur lokal 8 nattetid, oavsett hur variablerna i känslighetsanalysen varierar. Det kan också konstateras att utrymningen kommer att gå snabbare om huvudentrén är blockerad. Detta kan bero på att det är kortare avstånd till övriga utrymningsvägar.

6.7 Resultat av känslighetsanalys för rökspridning i atriet och gångstråken

Dessa resultat är svåra att presentera i ett tornadodiagram. Det visar sig i avsnitt 6.3 att den kritiska tiden för rökfyllnad av atrium och gångstråk till stor del kommer att bero på huruvida sprinklersystemet aktiverar eller inte. Detta gäller främst lokaler med snabb brandtillväxt och stor mängd brännbart material. Detta kommer att påverka möjligheten att utrymma hela Köpstaden.

7. Resultat och bedömning av utrymningssäkerheten

I detta avsnitt redovisas resultat och bedömning av utrymningssäkerheten vid en brand i objektet.

7.1 Resultat och bedömning av brandrum

I tabell 7.1 jämförs beräknade tider för att uppnå kritiska förhållanden i de olika lokalerna med simulerade tider till utrymning. Dessa tider skall inte ses som absoluta sanningar utan som riktvärden som kan användas vid bedömningen av den potentiella risken i respektive lokal. Det kan konstateras att tiden för utrymning generellt sett är betydligt kortare än tiden det tar att uppnå kritiska förhållanden. I samtliga fall bortses från eventuell förbrinntid, den kritiska tiden är därför konservativ. I ett verkligt fall kommer tiden till kritiska förhållanden uppnås med stor sannolikhet att vara längre än nedan redovisade tider.

Brandscenario	Kritisk tid	Simulerad tid för utrymning
Klädbutik, lokal 13	230-300 sek	180 sek
Klädbutik, lokal 26	220-310 sek	160 sek
Nöjesetablissemang dagtid, lokal 8	300-360	180 sek
Nöjesetablissemang kvällstid, lokal 8	300-360	400 sek

Tabell 7.1 Jämförelse av kritiska tider och utrymningstider

7.1.1 Scenario 1, klädbutik lokal 13

Tiden det tar för en brand att åstadkomma kritiska förhållanden i lokal 13 är betydligt längre än den simulerade tiden det tar att utrymma lokalen. Dessutom kommer tiden det tar att uppnå kritiska förhållanden förmodligen att vara längre än beräknade värden eftersom en något överdrivet snabb tillväxthastighet valdes vid simulering av brandförloppet. Lokalen som skall utrymmas saknar mellanväggar och dörrar, dessutom är den uppförd i ett plan. Huvudentrén är stor och det finns dessutom utrymningsvägar. En utrymning ur lokalen kommer således att vara relativt enkel och oproblematiske. Därför bedöms den simulerade utrymningstiden som rimlig. Vid en känslighetsanalys utförd på lokalen, se avsnitt 6.4.1, kunde det också konstateras att en utrymning kommer att kunna ske oavsett vilken variabel som varierar.

Slutsats:

Samtliga ovanstående fakta talar för att lokal 13 är säker vid en brand.

7.1.2 Scenario 2, klädbutik lokal 26

Tiden för utrymning av lokal 26 är betydligt kortare än tiden det tar att uppnå kritiska förhållanden. Lokal 26 och lokal 13 påminner mycket om varandra. På grund av lokalens utformning kommer en utrymning att kunna ske på ett tillfredsställande sätt. Vid känslighetsanalys på denna lokal, se avsnitt 6.4.2, konstateras att en utrymning kommer att kunna ske oavsett vilken variabel som varierar.

Slutsats:

Lokal 26 påminner mycket om lokal 13. Utförda simuleringar talar för att lokal 26 är säker vid en brand.

7.1.3 Scenario 3, nöjesetablissemang lokal 8, dagtid

Tiden för utrymning av lokal 8, dagtid, är betydligt kortare än tiden det tar att uppnå kritiska förhållanden. Eftersom en utrymning kan ske så snabbt kommer brandtillväxt, sprinkleraktivering och detektionstid att vara av mindre betydelse, vilket ses i känslighetsanalysen avsnitt 6.4.3. Det konstateras också att en utrymning kommer att kunna ske oavsett vilken variabel som varierar.

Slutsats:

Med anledning av ovanstående resonemang bedöms lokal 8 vara säker vid en brand.

7.1.4 Scenario 4, nöjesetablissemang lokal 8, kvällstid

I detta scenario är tiden för utrymning längre än tiden det tar för kritiska förhållanden att uppnås. Detta beror på att det är svårt att bedöma besluts- och reaktionstiden hos berusade människor. Efter konsultation med Håkan Frantzich antogs en besluts- och reaktionstid på 3 minuter +/- 2 minuter. Detta betyder att den sista personen i lokalen kommer att påbörja en utrymning efter 6 minuter ($T_{\text{varseblivning}} + T_{\text{beslut+reaktion}}$). Detta är ett konservativt antagande. Eftersom det efter sex minuter kommer vara ett två meter tjockt brandgaslager vid taket. Om en besökare är berusad kommer denne förmodligen att inse att det brinner i lokalen under dessa förhållanden. Besluts- och reaktionstiden kommer därför troligen att bli mindre än 5 minuter. Det bör dock nämnas att denna lokal har bättre utrymningsmöjligheter än de andra nattklubbar som rapportskrivarna har sett. I känslighetsanalysen, avsnitt 6.4.4, konstateras att utrymningstiden minskar då endast nödutgångarna används.

Slutsats:

Det går inte att garantera säkerheten vid en brand i lokal 8 under kvällstid. Det är svårt att bedöma onyktra människors beteende. Att utrymningstiden minskar då endast nödutgångarna används tyder på att väl strukturerade rutiner vid utrymning förbättrar möjligheterna för att uppnå tillfredställande utrymning. Därför är personalens beteende vid en brand viktigt.

7.1.5 Scenario 5, minigolfanläggning lokal 1

Detta scenario har genom en kvalitativ ingenjörsmässig bedömning konstaterats vara säkert vid en brand. (Avsnitt 3.8.3) Det bör dock betonas att det mest önskvärda vore att genomföra materialförsök på vägg och takbeklädnader innan denna lokal helt kan avfärdas som potentiellt farlig.

Slutsats:

Denna rapport bedömer inte att det finns någon uppenbar risk för personsäkerheten vid en brand i lokal 1. I avsnitt 4.7.3 konstaterades att ett sprinklersystem inte påverkar utrymningssäkerheten nämnvärt då brandtillväxten och mängden brännbart material är låg. Med nuvarande verksamhet bedöms inte ett sprinklersystem behövas, ändras verksamheten kan ett sprinklersystem vara kritiskt för utrymningssäkerheten.

7.2 Resultat och bedömning av atrium och gångstråk

Det är besvärligt att bedöma hur rök kommer att sprida sig i atriet och gångstråken. Enligt utförda beräkningar kommer tiden det tar att rökfylla atriet och gångstråken att variera mellan 10-20 minuter. En komplett utrymning av köpcentrat kommer enligt beräkningar utförda i Simulex att ta 9-11 minuter. Tiden det tar att utrymma hela Köpstaden är nära den kortaste simulerade tiden det tar att uppnå kritiska förhållanden. I avsnitt 4.7.3 diskuteras de erhållna tiderna för kritiska förhållanden, där konstaterades att dessa är konservativa. Vid en utrymning bildas flaskhalsar vid utgångarna. Det finns alltid utgångar som är belägna långt ifrån branden och kritiska förhållanden kommer med stor sannolikhet uppstå vid dessa utgångar betydligt senare än de beräknade tiderna, enligt avsnitt 4.7.3. En utrymning av hela Köpstaden kommer att kunna ske innan gångstråken rökfylls. Detta gäller dock inte klätterställningen, där osäkerheten är stor, vilket diskuteras i avsnitt 7.2.1. Tabell 7.2 redovisar beräknade kritiska tider i gångstråk och atrium vid brand i lokal 13, 26 eller 8.

		Lokal 13	Lokal 26	Lokal 8
Väl omblandat fall	Tidig sprinkleraktivering	1060 s	1540 s	720 s
	Sen sprinkleraktivering	570 s	670 s	620 s
Tvåzons-modell (CFAST)	Tidig sprinkleraktivering	>1200 s	>1200 s	450 s*
	Sen sprinkleraktivering	1150 s	1000 s	400 s*

* Tiden till dess att brandgaslagret når översta delen av klätterställningen, 14 m
Tabell 7.2 Beräknade kritiska tider i gångstråk och atrium

Slutsats:

För de personer i Köpstaden som inte befinner sig i klätterställningen anses byggnaden vara säker vid en brand, enligt resonemanget ovan.

7.2.1 Bedömning av klätterställningen

I avsnitt 4.7 beräknades tiden för kritiska förhållanden att uppnås i gångstråk och atrium. Dessa tider varierade mellan 400 – >1200 sekunder. Enligt tabellen ovan varierar tiden för rökfyllnad i atriet mellan ca 10-20 minuter, enligt det fullt omblandade fallet. Om en tvåzons-skiktning uppstår i atriet visar det sig att brandgaserna redan efter 400 sekunder kan nå översta delen på klätterställningen. Detta är en kort tid, vilket gör att man måste utrymma snabbt. Dock sjunker brandgaserna aldrig lägre än 6 m, kan man få ner barnen tillräckligt långt ner bör man kunna vinna lite tid. Det är dock svårt att förutse om det blir en tvåzons-skiktning, helt omblandat eller om brandgaserna bildar en skiktning någonstans i mitten av atriet. Med hänsyn till diskussionen ovan är det därför inte otroligt att atriet kommer att rökfyllas under tiden det fortfarande finns barn kvar i klätterställningen. Det har också konstaterats att sprinkleraktiveringen har stor betydelse för rökutvecklingen. Vidare är det också viktigt att det är tydligt vad personalen skall göra i händelse av brand.

Slutsats

Det går inte att garantera säkerheten i klätterställningen vid en brand.

8. Förslag till förbättringar och helhetsbedömning av utrymningssäkerheten

Här presenteras förslag för att förbättra personsäkerheten i Köpstaden. Dessa förslag indelas i åtgärder som skall utföras och åtgärder som bör utföras.

8.1 Åtgärder som skall genomföras

Nedan presenteras förslag som skall utföras för att förbättra personsäkerheten.

- Säkerställa att nödutgångar och manuell släckutrustning ej är blockerade
- Säkerställa rutiner för underhåll av nödutgångsskyltar
- Tydligare markering av nödutgångar
- Varor får inte lagras så att sprinklerverkan försämras

8.1.1 Säkerställa att nödutgångar och manuell släckutrustning ej är blockerade

Vid besök på objektet observerades många blockerade nödutgångar, detta måste åtgärdas. Nödutgångar som är blockerade kan hindra utrymning i stor utsträckning. Om branden skulle uppstå nära huvudentrén och denna blir blockerad så är det nödvändigt att nödutgångarna kan utnyttjas. Enligt BBR 5:34 skall utrymningsvägar utformas med sådan rymlighet och framkomlighet att de kan betjäna det antal personer de är avsedda för³⁹. En blockerad utrymningsväg uppfyller inte detta krav. För att det skall vara lätt att använda och hitta den manuella släckutrustningen får denna inte vara blockerad. Manuell släckutrustning kan förhindra att en brand växer och skapar kritiska förhållanden.

Utrymningssimuleringarna gjorda i rapporten bygger på att alla utrymningsvägar i Köpstaden används. Om detta förslag till förbättring inte genomförs är det inte säkert att alla utrymningsvägar används, vilket leder till att rapportens slutsatser inte är giltiga. Detta resonemang gäller även för avsnitt 8.1.2 och 8.1.3, utförda utrymningssimuleringar bygger på att utrymningsvägarna används.

8.1.2 Säkerställa rutiner för underhåll av nödutgångsskyltar

Vid besöket på objektet konstaterades att många lampor i nödutgångsskyltar var trasiga. Detta skall åtgärdas för att underlätta upptäckt av utrymningsvägar. En utrymningsväg som är väl utmärkt är mer attraktiv och syns bättre då rök finns i lokalen. En attraktiv nödutgång kommer att användas i större utsträckning och därmed skynda på utrymningen. Detta kan ses i avsnitt 6.5, där den simulerade utrymningstiden inte blir mycket längre trots att endast nödutgångar användes. I ett fall blev utrymningstiden dessutom kortare. Enligt BBR 5:35 skall skyltar utgöras av belysta eller genomlysta gröna skivor med tydliga, vita symboler⁴⁰. Det är alltså styrt av lagen att skyltarna skall ha fungerande belysning.

8.1.3 Tydligare markering av nödutgångar

För att kunna säkerställa en snabb utrymning skall vissa utrymningsvägar försees med tydligare skyltning. Detta gäller främst de tre stora utrymningsgångarna. Dessa utrymningsgångar har stor kapacitet och kan förkorta utrymningstiden avsevärt. Idag är det en av dessa som inte är utmärkt korrekt. Att göra dessa utrymningsvägar mer attraktiva kommer med stor sannolikhet att förenkla en utrymning. Utrymningssimuleringarna gjorda i rapporten bygger på att alla utrymningsvägar i Köpstaden användes.

³⁹ BBR, 2002

⁴⁰ BBR, 2002

8.1.4 Varor skall inte lagras så att sprinklerverkan försämras

Vid besöket på objektet konstaterades att det fanns varor staplade på ett sådant sätt att sprinklerns funktion försämrades. För att garantera att sprinklern klarar av att spruta vatten på den tilltänkta verkningsytan och för att fylla sin funktion i händelse av brand, får varor inte lagras för nära ett sprinklerhuvud. Enligt SS-EN 12845:2004 avsnitt 12.1.2⁴¹, skall det vara minst 0,5 meter till ett sprinklerhuvud. Denna rapport bygger på att sprinklern kontrollerar branden. Detta antagande bygger på studerade rapporter och samtal med sakkunniga personer, se bilaga 2 och 3. Om sprinklerns funktion försämras är det inte säkert att branden kontrolleras. Att sprinklern kontrollerar branden har visats vara viktigt för att förlänga utrymningstiden för hela Köpstaden, detta visades i känslighetsanalysen, avsnitt 6. Om detta förslag till förbättring inte genomförs så är rapportens slutsatser inte giltiga.

8.2 Åtgärder som bör genomföras

Nedan presenteras förslag som bör utföras för att förbättra personsäkerheten.

- Nödutgångar bör ha trycke eller panikslag
- Plant undertak bör monteras i samtliga lokaler med sprinkler
- Säkerställa personalens rutiner vid utrymning av klätterställning i atriet
- Säkerställa personalens rutiner vid utrymning av lokal 8 då den används som nattklubb

8.2.1 Nödutgångar bör ha trycke eller panikslag

För att det inte skall blidas kö vid nödutgångar bör det finnas trycken eller panikslag för att underlätta öppning av nödutgångarna.

8.2.2 Plant undertak bör monteras i samtliga lokaler med sprinkler

För att säkerställa att sprinklersystemet aktiveras och för att få en snabbare sprinkleraktivering bör ett plant undertak monteras in i samtliga sprinklade lokaler. I beräkningarna har det visats att en tidig sprinkleraktivering är viktig för utrymningen av hela Köpstaden, då detta gör att tiden till det att kritiska förhållanden uppstår i gångstråk och atrium blir längre. I USA har försäkringsbolagen redan anammat detta och ställer det som krav för att försäkra en byggnad⁴².

8.2.3 Säkerställa personalens rutiner vid utrymning av klätterställning i atriet

Enligt avsnitt 7.2.1 går det inte att garantera säkerheten för personer som befinner sig i klätterställningen. Det är svårt att bedöma huruvida klätterställningen är säker eller inte. Det finns inga lämpliga verktyg för att göra en sådan bedömning. För att förbättra förutsättningarna vid en utrymningsituation bör det finnas tydliga rutiner, för personalen, för utrymning av klätterställningen i atriet. Utrymningsövningar bör genomföras på klätterställningen. Personalen bör också veta hur många personer som befinner sig i klätterställningen. Vid ett brandtillbud skall det inte uppstå situationer där det är oklart om hela klätterställningen är utrymd eller inte. Att personalen har tydliga rutiner för utrymning av klätterställningen kommer att skynda på en utrymning, då alla vet precis hur de ska agera.

8.2.4 Säkerställa personalens rutiner vid utrymning av lokal 8 då den används som nattklubb

Om en brand uppstår när lokal 8 används som nattklubb bör musiken stängas av och ljuset i lokalen tändas. Detta är viktigt för att så fort som möjligt göra besökarna uppmärksamma på

⁴¹ European Committee for Standardization, 2004

⁴² Göran Holmstedt, 2005

att en brand har uppstått. Om musiken fortsätter att spela och ljuset fortsätter att vara släckt kommer det bli svårare för besökarna att förstå att en utrymning måste påbörjas. Att vidta dessa åtgärder kommer alltså att förkorta varseblivningstiden och därmed utrymningstiden. Tydlig information om att en brand har uppstått bör spridas via högtalarsystemet. Detta bör göras för att gästerna skall veta hur de ska agera. Detta förkortar besluts- och reaktionstiden, vilket gör att utrymningstiden blir kortare. Personalen bör dessutom hjälpa till att dirigera vid utrymningen och på så sätt fördela personerna som finns i lokalen till alla möjliga utrymningsvägar. Att alla utrymningsvägar utnyttjas optimerar utrymningen och även detta förkortar utrymningstiden. Lokalen uppfyller kraven för en samlingslokal enligt BBR⁴³, med avseende på gångavstånd, dörrbredd och dylikt och är därför enligt lag godkänd. Det bör dessutom tilläggas att denna lokal har bättre förutsättningar för en tillfredställande utrymning än andra nattklubbar enligt våra erfarenheter. Eftersom den befinner sig i markplan, har tre utrymningsvägar och är lättöverskådlig. Med de genomförda beräkningarna går det inte att visa att lokalen är säker, men vår bedömning är att den är säkrare än många andra nattklubbar. Utförs de ovan presenterade förslagen kommer dessutom förutsättningarna för en tillfredställande utrymning att bli bättre.

8.3 Helhetsbedömning av utrymningssäkerheten av Köpstaden

I rapporten har det förutsatts att alla skallkraven är uppfyllda. Om dessa inte genomförs kan giltigheten i rapporten inte garanteras, då andra scenarier inte har studerats. Om skallkraven genomförs är vår bedömning att personsäkerheten i Köpstaden är tillfredställande vid en brand. Säkerheten för de personer som befinner sig i klätterställningen kan dock inte garanteras. Det kan heller inte garanteras att lokal 8 kommer att hinna utrymmas när den används som nattklubb, men det bör tilläggas att den uppfyller reglerna enligt BBR⁴⁴ och bedöms ha bättre utrymningsförutsättningar än de flesta andra nattklubbar, se avsnitt 8.2.4.

⁴³ BBR, 2002

⁴⁴ BBR, 2002

9. Referenslista

Rapporter/Handböcker

Abrahamsson, Markus (1997) *Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler*. Examensarbete. Avdelningen för Brandteknik, LTH, Lund

Andersson, Berit (1985) *Fire behaviour of beds and upholstered furniture- an experimental study*. Avdelning för Brandteknik, LTH, Lund

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

Boverket. (2004) *Utrymningsdimensionering*. Boverket. Karlskrona

Brandskyddshandboken. Rapport 3117, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 2002

DeLauter, L. A & Lee, J & Roadarmel, G. L. (2001) *Fire Test of Men`s Suits on Racks*. National Institute of Standards and Technology U.S. Department of Commerce. Gaithersburg,

European Committee for Standardization. (2004) *SS-EN 12845:2004* SIS Förlag AB, Stockholm

Fire Safety in Shopping Centers (1998), Fire code reform research program, Victoria, Australien.

Hansson, Christian (2003) *Sprinkler för personskydd*. Examensarbete. Avdelningen för Brandteknik, LTH, Lund

Persson, Henry. *Sprinkler protection of warehouse-A new method classification of commodities*. SP, Borås

Shields, T.J. & Boyce, K.E. (2000) "A study of evacuation from large retail stores". *Fire Safety Journal*. 35. 2000. Page 25-49

Society of Fire Protection Engineering. (2002) *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (3rd ed.). Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association

Särdqvist, Stefan (1993). *Initial Fires*. Avdelning för Brandteknik, LTH, Lund

Ångpanneföreningen (2005), Ombyggnad Fame World/etapp C Playan, Spa Köpstaden Axvalla, Ingelstorp 1:16 Skara kommun Ombyggnation-brandskyddsdokumentation. Göteborg

Ångpanneföreningen (2000). Ombyggnad, Köpstaden Axvalla, Ingelstorp Skara kommun. Ombyggnation-brandskyddsdokumentation. Göteborg

Böcker

Drysdale, Dougal (2004) *An Introduction to Fire Dynamics*. John Willey & Sons Ltd

Karlsson, B. & Quintiere, J. (2000) *Enclosure fire dynamics*. CRC Press

Särdqvist, Stefan (2002) *Vatten och andra släckmedel*. Räddningsverket. Karlstad

Samtal

Arvidsson, Magnus. SP, Borås. November 2005

Ekstrand, Kent. CE Sprinkler. Oktober 2005

Frantzich, Håkan. Universitetslektor vid avdelningen för Brandteknik, LTH. November 2005

Frost, Glenn. Fastighetsskötare Köpstaden. September 2005

Gojkovic, Daniel. universitetsadjunkt vid avdelningen för Brandteknik, LTH.
Oktober/November 2005

Holmstedt, Göran. Professor vid avdelningen för Brandteknik, LTH. Oktober/November 2005

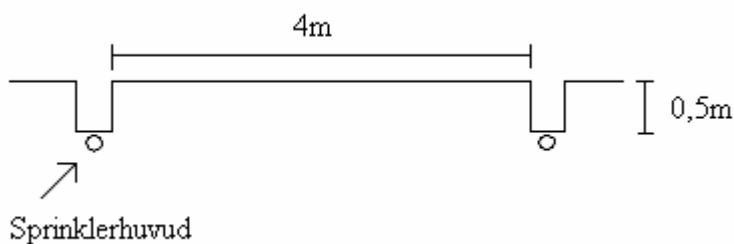
Elektroniska källor

Statens Räddningsverk (SRV) Insatsstatistik Brand i Byggnad.

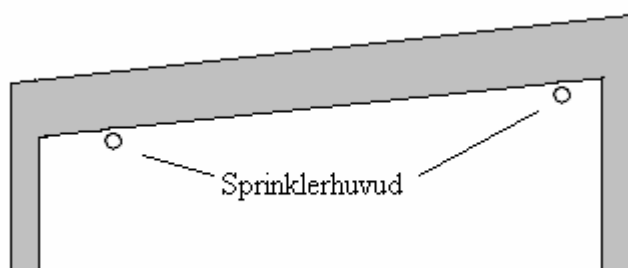
http://www.srv.se/templates/SRV_ExternalPage_____1098.aspx Hämtad 2005-09-25

Bilaga 1 – Tid för sprinkleraktivering

Figur 1 visar innertaket i Köpstaden samt placering av sprinklerhuvuden. Taket består av betong, med betongbalkar som stöttar taket. Sprinklersystemet är placerat nedanför betongbjälklaget. Eftersom innertaket inte är plant är tiden för sprinkleraktivering svår att beräkna med de metoder och program som idag finns tillgängliga. Resultat beräknade med simuleringsprogrammet Detact T2 är inte tillförlitliga eftersom detta program förutsätter ett plant undertak och påverkan på sprinkler via ceiling jets. Eftersom taket dessutom sluttar enligt figur 2 kommer beräkningar att bli än mer osäkra. Brandgaser kommer troligen att nå ett fack för att sedan följa takets lutning uppåt.



Figur 1 Sprinklerplacering, snitt



Figur 2 Sprinklerplacering, profil

För att få en uppfattning om aktiveringstiden för sprinklersystemet används två olika metoder.

Metod ett:

Denna metod följer ett resonemang av Göran Holmstedt⁴⁵, där tiden det tar att rökfylla spalterna mellan bjälklaget beräknas med CFAST.



Figur 3 Röken fyller först spalterna innan sprinklern nås

⁴⁵ Göran Holmstedt, 2005

Till denna tid adderas aktiveringstiden beräknad med Detact T2. Detta resonemang förutsätter att brandgaserna nu sprider sig som ceiling jets under det i spalten bildade brandgaslagret. Formeln för beräkning av aktiveringstid kommer då att bli:

$$T_{\text{Aktivering}} = T_{\text{Rökfyllnad}} + T_{\text{Detact T2}}$$

Tiden som beräknats med denna metod kommer inte att vara helt korrekt. På grund av dess osäkerhet bör den beräknade tiden antas variera med 50%.

Metod två:

Metod två beräknar sannolikheten att brandplymen träffar ett sprinklerhuvud på sin väg upp till taket. Detta medför alltså att plymen aldrig behöver bli en ceiling jet utan själva plymen gör att sprinklern aktiverar direkt. I detta fall har det alltså ingen betydelse att det finns balkar i taket och att sprinklern är belägen 0,5 meter under taket. Det är dock bara intressant att studera denna sannolikhet fram till dess att kritiska förhållanden uppstår. Nedan visas inte beräkningsgången, bara resultaten. Heskestads plymmodell har använts och formlerna finns beskrivna i Enclosure Fire Dynamics⁴⁶. Sannolikheten att brandplymen träffar ett sprinklerhuvud beräknas enligt formeln nedan:

Sannolikheten vid tiden $t = (\text{plymens area}) / (\text{sprinklerns verkningsarea})$

Som exempel kan sannolikheten beräknas i lokal 8. Denna lokal har samma takhöjd som resten av lokalerna och samma sprinklertäthet. Branden tillväxer enligt en α^2 -kurva med ett α -värde på 0,022 kW/s².

Tid (min)	Effektutveckling (kW)	Plym area, takhöjd. (m ²)	Sannolikhet (%)
1	77	1,4	12
3	705	1,75	15
5	1967	2,24	19
7	3862	2,82	24
9	6391	3,49	29

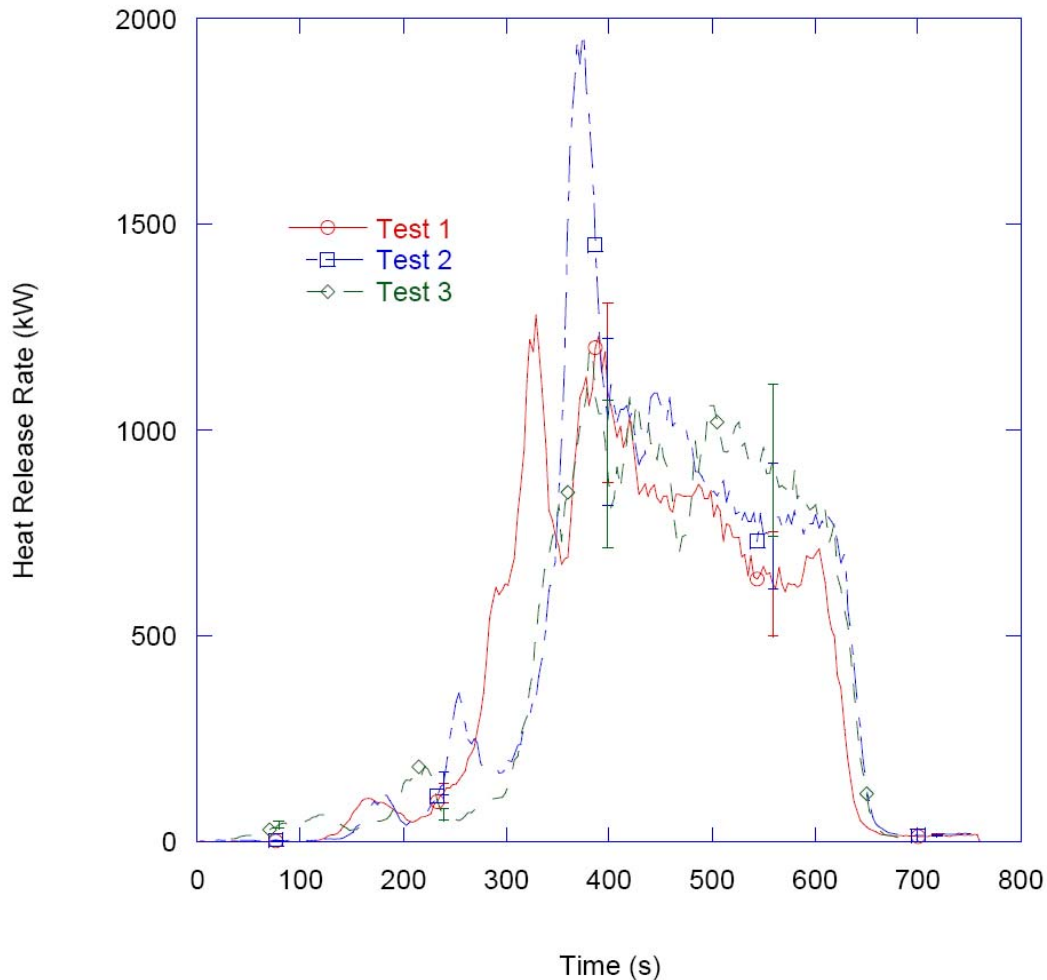
Tabell 1 Sannolikhet att en brandplym träffar ett sprinklerhuvud

I tabell 1 kan utläsas att sannolikheten att brandplymen träffar ett sprinklerhuvud inte är särskilt hög, trots att branden har hög effektutveckling. Det beräknade exemplet kommer inte att skilja sig avsevärt från resultat av beräkningar i övriga lokaler, på grund av liknande geometri. Metod två kan därmed avfärdas då sannolikheten är så pass låg att detta scenario inte är troligt.

⁴⁶ Karlsson & Quintiere, 2000

Bilaga 2 – Effektkurva klädbutik lokal 13 och 26

Huvuddelen av det brännbara materialet i lokal 13 och 26 utgörs av kläder. Försök gjorda på fritt brinnande kläder tyder på en brandtillväxt enligt en αt^2 -kurva, vilket kan ses i figur 1. Värdet på konstanten α är något över standardvärdet för en mediumkurva diskuterad i avsnitt 3.4.



Figur 1 Effektkurva för fritt brinnande kläder⁴⁷

Marcus Abrahamsson föreslår en tillväxthastighet mellan medium och fast för blandade kläder⁴⁸

Brännbart material i lokalen. exempel	ΔH_c (MJ/kg)	Avgiven värmeeffekt. ex (kW)	Tillväxthastighet (S.M.F.UF)
Kläder i garderob	15-20 (Bomull) 20-27 (Ylle) 30-32 (Nylon) 30 (Acryl)	3000 (100 jackor, bomull, polyester) ³ 6000 (Fem klädställ, 1.3*0.6*1.0, blandat mtrl) ⁴	M, F

Figur 2 Brandtillväxt för tyg enligt Abrahamsson

⁴⁷ Stroup, DeLauter m.fl. 2001

⁴⁸ Abrahamsson, 1997

Enligt källorna ovan kan en brand i kläder antas tillväxa enligt en αt^2 -kurva med ett α -värde mellan medium och fast. Beroende på hur stora bränslepaketet är, och dess inbördes placering, kommer kurvan att få olika utseende. Många små bränslepaket kommer att ge en långsam spridning som bygger på strålning mellan flamma och övriga bränslepaket. För att få en ventilationskontrollerad brand med tillväxthastighet enligt en fast αt^2 -kurva i lokal 26 krävs 510 kg kläder enligt beräkningarna nedan. I klädbutiker kan det finnas enskilda bränslepaket som överstiger denna vikt och kläderna är dessutom ofta staplade i höjdded. Om ett sådant bränslepaket antänder kommer branden att spridas snabbt inom detta. Det kan tyckas troligare med en brand enligt en mediumkurva som sprider sig från bränslepaket till bränslepaket, men potentialen för en brandtillväxt enligt en fastkurva finns. Därför väljs en brandtillväxt enligt en fastkurva, för lokal 13 och 26, då det är klart att tillväxthastigheten inte blir snabbare än detta enligt ovan presenterad information.

Ingen sprinkleraktivering lokal 13:

För att kontrollera om branden blir ventilations- eller bränslekontrollerad används följande formel⁴⁹:

$\dot{m} = 0,5 \cdot A \sqrt{H}$, där \dot{m} är massflödet luft in i byggnaden i kg/s, A är tilluftsöppningens area i m² och H är höjden på tilluftsöppningen i m.

för lokal 13 är H = 2,5 m och A = 10 m², enligt ovanstående formel blir massflödet luft in i lokalen $0,5 \cdot 10 \sqrt{2,5} = 7,9 \text{ kg/s}$

Luft består av 23 massprocent syre och ger en ungefärlig energimängd av 13,1 MJ/kg förbränt syre, då kolväten brinner⁵⁰. Effekten som kan uppnås innan branden blir ventilationskontrollerad blir då:

$$7,9 \text{ kg/s} \cdot 0,23 \cdot 13,1 \text{ MJ/kg} = 23,8 \text{ MW} \approx 24 \text{ MW}$$

Branden i lokal 13 tillväxer enligt $\dot{Q} = \alpha t^2$ med ett α -värde på 0,047 kW/s², denna kurva kommer att nå en effekt på 24 MW efter ungefär 710 sekunder. Efter detta kommer branden att bli ventilationskontrollerad och hålla en konstant effekt på 24 MW. En effekt av 24 MW kan verka stor, fullskaleförsök designade för att överensstämna med köpcentrum har dock visat att effekten för bränder i butiker kan ligga mellan 25-40 MW⁵¹. Därför är antaget värde inte orimligt. Det bör också nämnas att denna modell förutsätter att all luft som tränger in i butiken kommer att förbrännas, detta kommer inte att ske. För att få ett absolut värsta scenario antas dock att allt syre förbränns. Denna effektutvecklingskurva representerar en brand då sprinklern inte aktiverar.

Ett genomsnittligt värde på förbränningsvärmnet, ΔH_c , för tyg är enligt figur 2 omkring 25500 kJ/kg.

⁴⁹ Karlsson & Quintiere, 2000

⁵⁰ Karlsson & Quintiere, 2000

⁵¹ Scientific Services Laboratories, 1998

Energimängden, Q (kJ), som frigörs då branden tillväxer enligt effektkurvan, diskuterad ovan, tills det att den blir ventilationskontrollerad kan beräknas enligt följande:

$$Q = \int_0^{710} \alpha t^2 dt = \frac{0,047 \text{ kW/s}^2 \cdot 710 \text{ s}^3}{3} = 5607272 \text{ kJ}, \text{ med ett } \Delta H_c \text{ för tyg ger detta att det}$$

måste finnas $\frac{5607272 \text{ kJ}}{25500 \text{ kJ/kg}} = 219 \text{ kg}$ tyg. Denna mängd tyg finns i lokal 13 varför effektutvecklingskurvan är rimlig. Effektutvecklingskurvan då sprinkler inte aktiverar visas i figur 3.

Sprinklern aktiverar lokal 13:

I dessa beräkningar följs metod 1 beskriven i bilaga 1, takhöjden är 5,5 meter.

Beräkning, rökfyllnad av spalt med CFAST

Vid simuleringar i CFAST tar det 30 sekunder att rökfylla spalterna mellan balkarna.

Beräkning, Detact T2

För att beräkna aktiveringstid för sprinklerna används datorprogrammet DetactT2. Sprinklerleverantören⁵² tillhandahöll information om sprinklerna enligt följande:

- $RTI = 180 \text{ (ms)}^{1/2}$
- Sprinklertäthet = $1/12 \text{ m}^2$
- Aktiveringstemperatur = 68°C
- Flöde = 70 l/min
- Vattentäthet $5,8 \text{ l/(min} \cdot \text{m}^2)$

Dessa värden ger en aktiveringstid på 220 sekunder om branden tillväxer enligt en fast αt^2 -kurva.

Totala aktiveringstiden beräknas:

$$T_{\text{aktivering}} = 30 + 220 = 250 \text{ s}$$

En osäkerhetsfaktor på 50% ger:

$$T_{\text{aktivering}} = 250 \cdot 1,5 = 375 \text{ s}$$

Aktiveringstiden kan antas variera mellan tiden beräknad med Detact T2 och ovan beräknade tid, det vill säga 220 – 375 sekunder.

Dessa tider svarar mot en effektutveckling på 2,3 – 6,6 MW, om branden följer en fast αt^2 -kurva. Med ett α -värde på $0,047 \text{ kW/s}^2$.

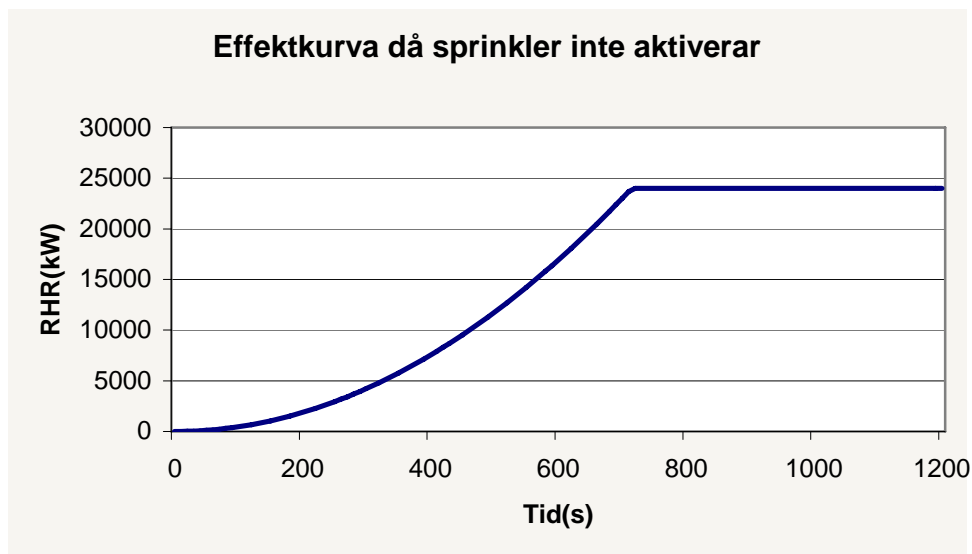
⁵² CE-Sprinkler, 2005

Tidig sprinkleraktivering:

Då sprinklern aktiverar tidigt har branden en effekt på 2,3 MW. Det är svårt att bedöma om sprinklersystemet kommer att släcka branden, kontrollera branden eller vara oförmögen att kontrollera branden. I detta fall bedöms sprinklersystemet kontrollera branden^{53,54,55}. Då sprinklersystemet aktiverar tidigt kommer branden att anta en konstant effekt på 2,3MW, enligt figur 4.

Sen sprinkleraktivering:

Då sprinklern aktiverar sent har branden en effekt på 6,6 MW. I detta fall antas sprinklersystemet väta bränslepaket nära branden¹³. Dessa kommer inte att antändas när de är blöta. Detta leder till att branden kommer att anta en konstant effekt på 6,6MW, enligt figur 5.

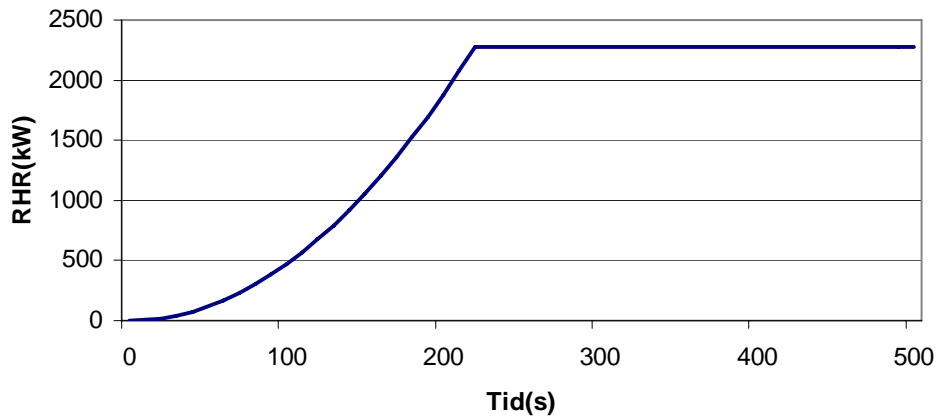
Effektkurvor lokal 13:

Figur 3 Effektkurva lokal 13 då sprinkler inte aktiverar

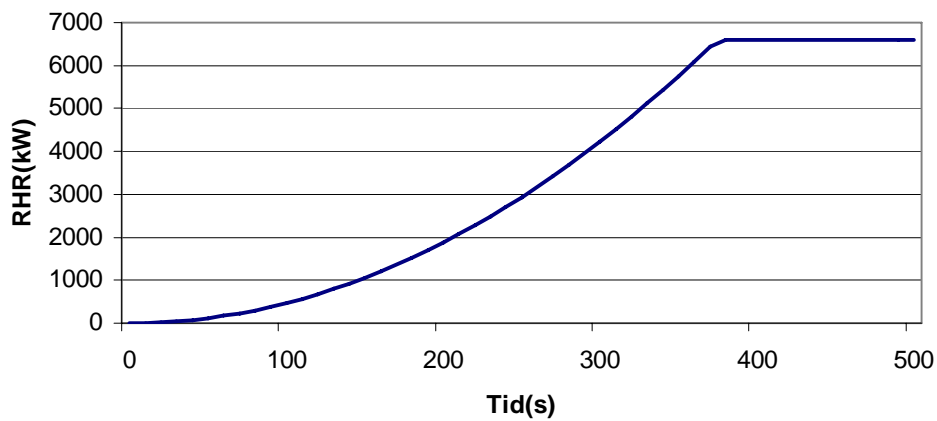
⁵³ Hansson, 2003

⁵⁴ Persson

⁵⁵ Arvidsson, 2005

Effektkurva vid tidig sprinkleraktivering

Figur 4 Effektkurva lokal 13 då sprinkler aktiverar tidigt

Effektkurva vid sen sprinkleraktivering

Figur 5 Effektkurva lokal 13 då sprinkler aktiverar sent

Ingen sprinkleraktivering lokal 26:

För att kontrollera om branden blir ventilations- eller bränslekontrollerad används följande formel⁵⁶:

$\dot{m} = 0,5 \cdot A \sqrt{H}$, där \dot{m} är massflödet luft in i byggnaden i kg/s, A är tilluftsöppningens area i m² och H är höjden på tilluftsöppningen i m.

för lokal 13 är H = 2,5 m och A = 17,5 m², enligt ovanstående formel blir massflödet luft in i lokalen $0,5 \cdot 17,5 \sqrt{2,5} = 13,8 \text{ kg/s}$

Luft består av 23 massprocent syre och ger en ungefärlig energimängd av 13,1MJ/kg förbränt syre, då kolväten brinner⁵⁷. Effekten som kan uppnås innan branden blir ventilationskontrollerad blir då:

$$13,8 \text{ kg/s} \cdot 0,23 \cdot 13,1 \text{ MJ/kg} = 41,5 \text{ MW}$$

Branden i lokal 26 tillväxer enligt $\dot{Q} = \alpha t^2$ med ett α -värde på 0,047 kW/s², denna kurva kommer att nå en effekt på 41,5 MW efter ungefär 940 sekunder. Efter detta kommer branden att bli ventilationskontrollerad och hålla en konstant effekt på 41,5 MW. En effekt av 41,5 MW kan verka stor, fullskaleförsök designade för att överensstämna med köpcentrum har dock visat att effekten för bränder i butiker kan ligga mellan 25-40 MW⁵⁸. Därför är antaget värde inte orimligt. Det bör också nämnas att denna modell förutsätter att all luft som tränger in i butiken kommer att förbrännas, detta kommer inte att ske. För att få ett absolut värsta scenario antas dock att allt syre förbränns. Denna effektutvecklingskurva representerar en brand då sprinklern inte aktiverar.

Ett genomsnittligt värde på förbränningsvärmets, ΔH_c , för tyg är enligt figur 2 omkring 25500kJ/kg.

Energimängden, Q (kJ), som frigörs då branden tillväxer enligt effektkurvan, diskuterad ovan, tills det att den blir ventilationskontrollerad kan beräknas enligt följande:

$$Q = \int_0^{710} \alpha t^2 dt = \frac{0,047 \text{ kW/s}^2 \cdot 940 \text{ s}^3}{3} = 13012483 \text{ kJ}, \text{ med ett } \Delta H_c \text{ för tyg ger detta att det}$$

måste finnas $\frac{13012483 \text{ kJ}}{25500 \text{ kJ/kg}} = 510 \text{ kg}$ tyg. Denna mängd tyg finns i lokal 26 varför effektutvecklingskurvan är rimlig. Effektutvecklingskurvan då sprinkler inte aktiverar visas i figur 6.

⁵⁶ Karlsson & Quintiere, 2000

⁵⁷ Karlsson & Quintiere, 2000

⁵⁸ Scientific Services Laboratories, 1998

Sprinklern aktiverar lokal 26:

I dessa beräkningar följs metod 1 beskriven i bilaga 1, takhöjden är 5 meter.

Beräkning, rökfyllnad av spalt med CFAST

Vid simuleringar i CFAST tar det 30 sekunder att rökfylla spalterna mellan balkarna.

Beräkning, Detact T2

För att beräkna aktiveringstid för sprinklerna används datorprogrammet DetactT2. Sprinklerleverantören⁵⁹ tillhandahöll information om sprinklerna enligt följande:

- $RTI = 180 \text{ (ms)}^{1/2}$
- Sprinklertäthet = $1/12 \text{ m}^2$
- Aktiveringstemperatur = 68°C
- Flöde = 70 l/min
- Vattentäthet $5,8 \text{ l/(min} \cdot \text{m}^2)$

Dessa värden ger en aktiveringstid på 180 sekunder om branden tillväxer enligt en fast α^2 -kurva.

Totala aktiveringstiden beräknas:

$$T_{\text{aktivering}} = 30 + 180 = 210 \text{ s}$$

En osäkerhetsfaktor på 50% ger:

$$T_{\text{aktivering}} = 210 \cdot 1,5 = 315 \text{ s}$$

Aktiveringstiden kan antas variera mellan tiden beräknad med Detact T2 och ovan beräknade tid, det vill säga 210 – 315 sekunder.

Dessa tider svarar mot en effektutveckling på 1,5 – 4,7 MW, om branden följer en fast α^2 -kurva. Med ett α -värde på $0,047 \text{ kW/s}^2$.

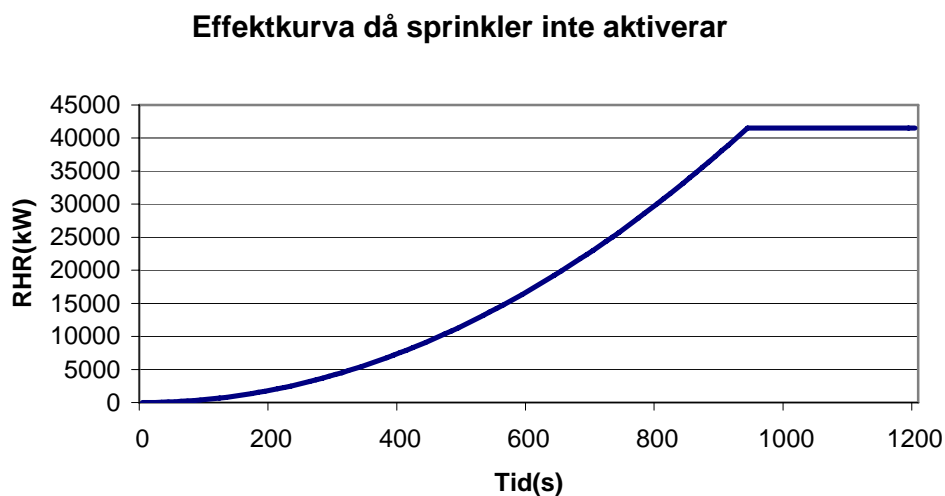
⁵⁹ CE-Sprinkler, 2005

Tidig sprinkleraktivering:

Då sprinklern aktiverar tidigt har branden en effekt på 1,5 MW. Det är svårt att bedöma om sprinklersystemet kommer att släcka branden, kontrollera branden eller vara oförmögen att kontrollera branden. I detta fall bedöms sprinklersystemet kontrollera branden^{60,61,62}. Då sprinklersystemet aktiverar tidigt kommer branden att anta en konstant effekt på 1,5 MW, enligt figur 7.

Sen sprinkleraktivering:

Då sprinklern aktiverar sent har branden en effekt på 4,7 MW. I detta fall antas sprinklersystemet väta bränslepaket nära branden¹³. Dessa kommer inte att antändas när de är blöta. Detta leder till att branden kommer att anta en konstant effekt på 4,7 MW, enligt figur 8.

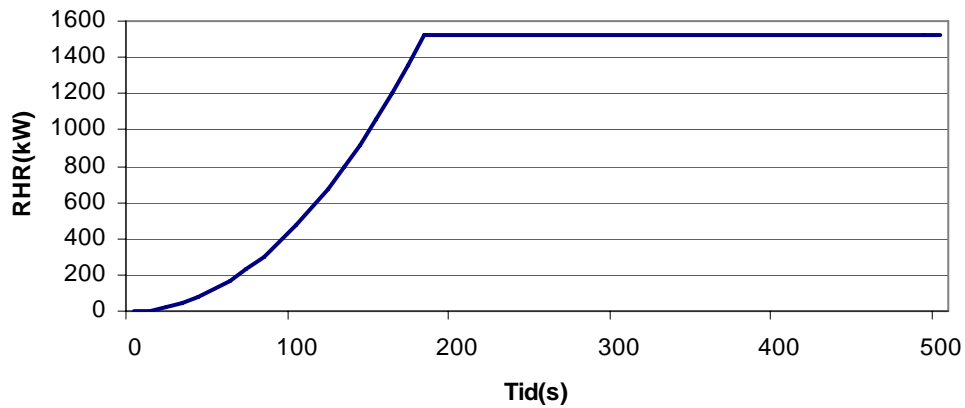
Effektkurvor lokal 26:

Figur 6 Effektkurva lokal 26 då sprinkler inte aktiverar

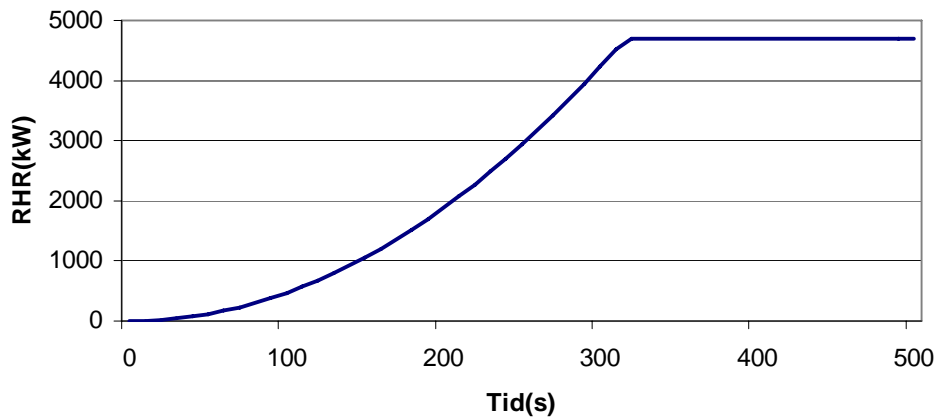
⁶⁰ Hansson, 2003

⁶¹ Persson

⁶² Arvidsson, 2005

Effektkurva vid tidig sprinkleraktivering

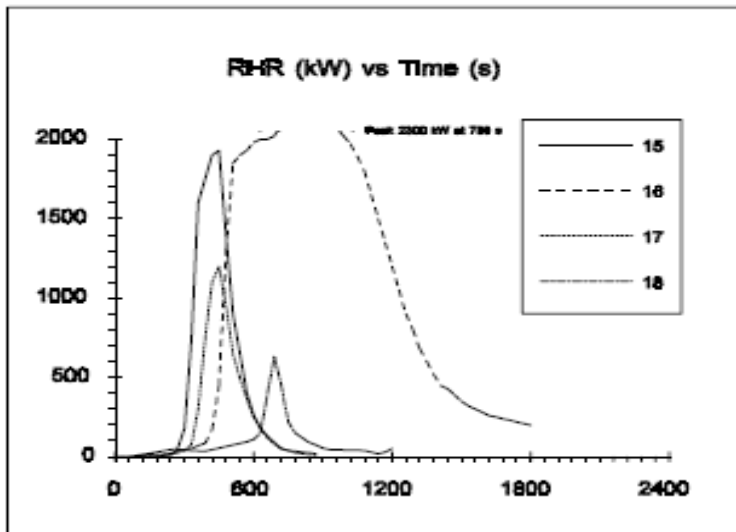
Figur 7 Effektkurva lokal 26 då sprinkler aktiverar tidigt

Effektkurva vid sen sprinkleraktivering

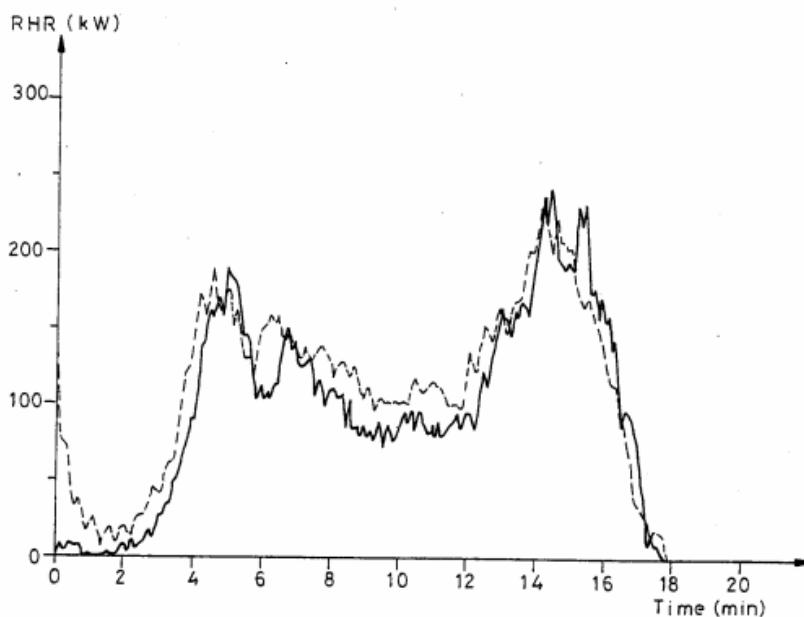
Figur 8 Effektkurva lokal 26 då sprinkler aktiverar sent

Bilaga 3 – Effektkurva nöjesetablissemang, lokal 8

Huvuddelen av det brännbara materialet i lokal 8 utgörs av tjockmattor. Dessa tjockmattor har dimensionerna 13 x 4,7 x 0,5 m och antas vara gjorda av polyuretan, som är ett vanligt material i denna typ av madrasser, enligt två av Sveriges största återförsäljare av tjockmattor^{63,64}. En brand med polyuretanskum som bränsle tillväxer enligt en αt^2 -kurva vilket kan ses i figurerna nedan.



Figur 1 Effektkurva i polyuretanmadrasser⁶⁵



Figur 2 Effektkurva i polyuretanmadrasser⁶⁶

⁶³ Nordic Sport, 2005

⁶⁴ Rantzows Sport, 2005

⁶⁵ Särqvist, 1993

⁶⁶ Andersson, 1985

Kurvan i figur 1 har ett α -värde på ungefär 0,015 vilket är något högre än en medium kurva. Kurvan i figur 2 har ett α -värde på ungefär 0,005 vilket motsvarar en slow kurva. Drysdale⁶⁷ föreslår att en fastkurva skall användas för effektutvecklingen i polyuretan. Detta avser polyuretan som inte är flamskyddsbehandlat. Idag är de flesta material behandlade varför Särdaqvists och Anderssons värden kan ses som mer troliga. Ett medelvärde av dessa tre värden ger ett α -värde på 0,022 vilket ligger mellan medium och fast. Detta värde kommer att användas vid brandsimuleringar i lokal 8. Värdet är något högre än vad som uppmätts av Särdaqvist och Andersson och anses därför vara ett något konservativt värde.

Ingen sprinkleraktivering lokal 8:

För att kontrollera om branden blir ventilations- eller bränslekontrollerad används följande formel⁶⁸:

$\dot{m} = 0,5 \cdot A \sqrt{H}$, där \dot{m} är massflödet luft in i byggnaden i kg/s, A är tilluftsöppningens area i m² och H är höjden på tilluftsöppningen i m.

för lokal 8 är H = 2,5 m och A = 10 m², enligt ovanstående formel blir massflödet luft in i lokalen $0,5 \cdot 10 \sqrt{2,5} = 7,9 \text{ kg/s}$

Luft består av 23 massprocent syre och ger en ungefärlig energimängd av 13,1MJ/kg förbränt syre, då kolväten brinner⁶⁹. Effekten som kan uppnås innan branden blir ventilationskontrollerad blir då:

$$7,9 \text{ kg/s} \cdot 0,23 \cdot 13,1 \text{ MJ/kg} = 23,8 \text{ MW} \approx 24 \text{ MW}$$

Branden i lokal 8 tillväxer enligt $\dot{Q} = \alpha t^2$ med ett α -värde på 0,022 kW/s², denna kurva kommer att nå en effekt på 24 MW efter ungefär 1045 sekunder. Efter detta kommer branden att bli ventilationskontrollerad och hålla en konstant effekt på 24 MW. En effekt av 24 MW kan verka stor, fullskaleförsök designade för att överensstämna med köpcentrum har dock visat att effekten för bränder i butiker kan ligga mellan 25-40 MW⁷⁰. Därför är antaget värde inte orimligt. Det bör också nämnas att denna modell förutsätter att all luft som tränger in i butiken kommer att förbrännas, detta kommer inte att ske. För att få ett absolut värsta scenario antas dock att allt syre förbränns. Denna effektutvecklingskurva representerar en brand då sprinklern inte aktiverar.

Ett genomsnittligt värde på förbränningsvärmnet, ΔH_c , för polyuretan är ungefär 25000 kJ/kg⁷¹.

Energimängden, Q (kJ), som frigörs då branden tillväxer enligt effektkurvan, diskuterad ovan, tills det att den blir ventilationskontrollerad kan beräknas enligt följande:

⁶⁷ Drysdale, 2004

⁶⁸ Karlsson & Quintiere, 2000

⁶⁹ Karlsson & Quintiere, 2000

⁷⁰ Scientific Services Laboratories, 1998

⁷¹ SFPE Fire protection handbook, 2002

$$Q = \int_0^{1045} \alpha t^2 dt = \frac{0,022 kW / s^2 \cdot 1045 s^3}{3} = 8368551 kJ, \text{ med ett } \Delta H_c \text{ för polyuretan ger detta att}$$

det måste finnas $\frac{8368551 kJ}{25000 kJ / kg} = 335 kg$ polyuretan. Denna mängd polyuretan finns i lokal 8

varför effektutvecklingskurvan är rimlig. Effektutvecklingskurvan då sprinkler inte aktiverar visas i figur 3.

Sprinklern aktiverar lokal 8:

I dessa beräkningar följs metod 1 beskriven i bilaga 1.

Beräkning, rökfyllnad av spalt med CFAST

Vid simuleringar i CFAST tar det 30 sekunder att rökfylla spalterna mellan balkarna.

Beräkning, Detact T2

För att beräkna aktiveringstid för sprinklerna används datorprogrammet DetactT2. Sprinklerleverantören⁷² tillhandahåller information om sprinklerna enligt följande:

- RTI = 50 (ms)^{1/2}
- Sprinklertäthet = 1/12 m²
- Aktiveringstemperatur = 68°C
- Flöde = 70 l/min
- Vattentäthet 5,8 l/(min · m²)

Dessa värden ger en aktiveringstid på 230 sekunder om branden tillväxer enligt definierad αt^2 -kurva.

Totala aktiveringstiden beräknas:

$$T_{\text{aktivering}} = 30 + 230 = 260 \text{ s}$$

En osäkerhetsfaktor på 50% ger:

$$T_{\text{aktivering}} = 260 \cdot 1,5 = 390 \text{ s}$$

Aktiveringstiden kan antas variera mellan tiden beräknad med Detact T2 och ovan beräknade tid, det vill säga 230 – 390 sekunder.

Dessa tider svarar mot en effektutveckling på 1,2 – 3,3 MW, om branden tillväxer enligt definierad αt^2 -kurva.

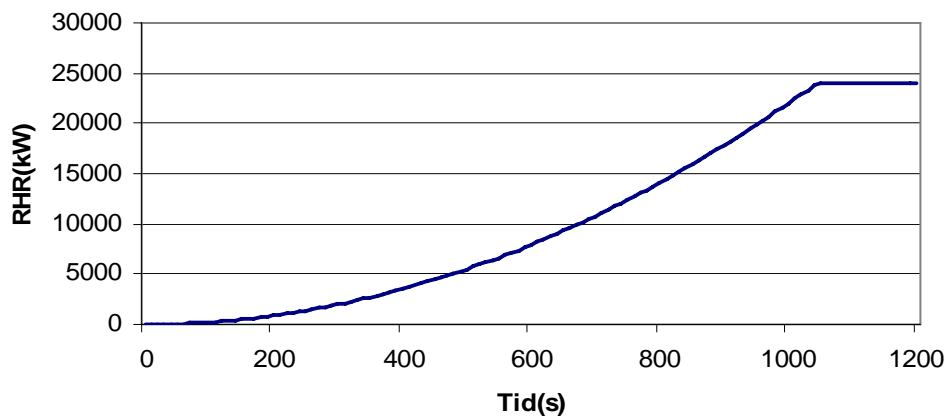
⁷² CE-Sprinkler, 2005

Tidig sprinkleraktivering:

Då sprinklern aktiverar tidigt har branden en effekt på 1,2 MW. Det är svårt att bedöma om sprinklersystemet kommer att släcka branden, kontrollera branden eller vara oförmögen att kontrollera branden. I detta fall bedöms sprinklersystemet kontrollera branden^{73,74,75}. Då sprinklersystemet aktiverar tidigt kommer branden att anta en konstant effekt på 1,2MW, enligt figur 4.

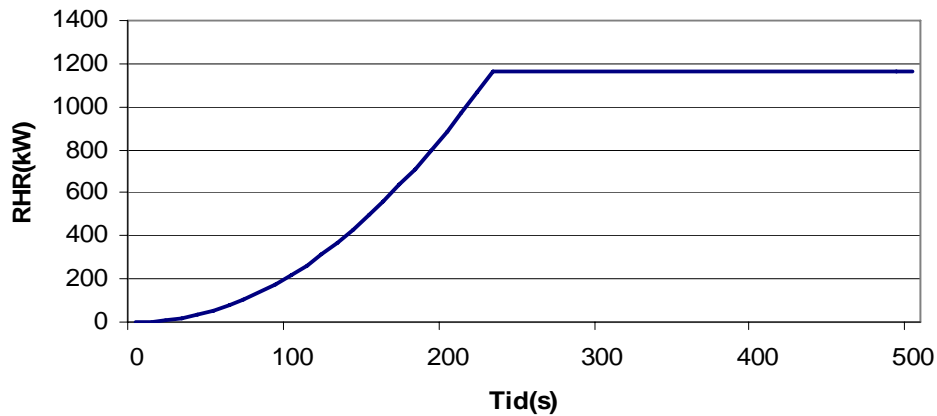
Sen sprinkleraktivering:

Då sprinklern aktiverar sent har branden en effekt på 3,3 MW. I detta fall antas sprinklersystemet väta bränslepaket nära branden¹³. Dessa kommer inte att antändas när de är blöta. Detta leder till att branden kommer att anta en konstant effekt på 3,3MW, enligt figur 5.

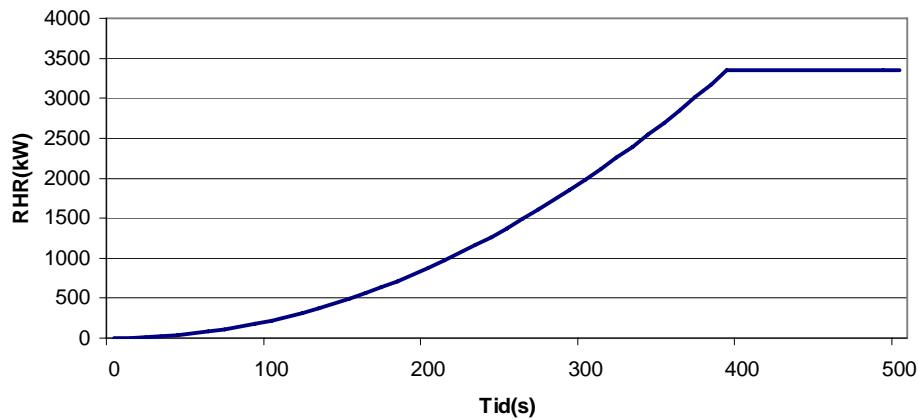
Effektkurvor lokal 8:**Effektkurva då sprinkler inte aktiverar**

Figur 3 Effektkurva för lokal 8 då sprinkler inte aktiverar

⁷³ Hansson, 2003⁷⁴ Persson⁷⁵ Arvidsson, 2005

Effektkurva vid tidig sprinkleraktivering

Figur 4 Effektkurva lokal 8 då sprinkler aktiverar tidigt

Effektkurva vid sen sprinkleraktivering

Figur 5 Effektkurva för lokal 8 då sprinkler aktiverar sent

Bilaga 4 – Brandspridning och effektutveckling i golfanläggning, lokal 1

Brandspridning i lokal 1

För att få en uppfattning om kamouflagenätet bidrar till brandspridningen i lokal 1 genomfördes ett brännbarhetsförsök. Kamouflagenätet hängdes på en ställning och placerades under en huv som suger ut förbränningsgaserna. Dessa analyseras sedan och en effektutveckling beräknas. Figur 1 visar försöksuppställningen. Som tändkälla användes en gasolbrännare



Figur 1 Försöksuppställning vid brännbarhetsförsök

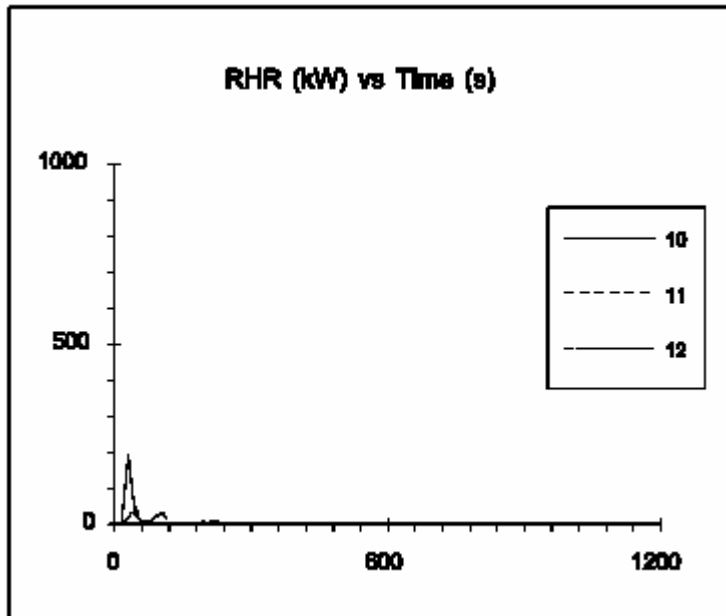
Vid försöket konstateras att kamouflagenätet inte brinner utan tillförd effekt. När brännaren placerades mot nätet började det att pyrolyseras. När brännaren avlägsnas upphör pyrolyseringen momentant. Det är alltså rimligt att anta att nätet inte kommer att bidra till brandspridning i större utsträckning. Vid en analys av brandgaserna konstaterades att effektutvecklingen från nätet var mycket låg. Figur 2 visar nätet när det utsätts för en flamma.



Figur 2 Nätet utsätts för en flamma

Effektutveckling i lokal 1

Det brännbara materialet i lokal 1 utgörs till största delen av flamskyddade plastväxter. Effektförsök gjorda på 1 meter höga flamskyddade plastväxter visar på en låg effektutveckling. Figur 1 visar detta.



Figur 1 *Effektutvecklingskurvor för flamskyddade plastväxter*⁷⁶

Bristen på brännbart material, lokalens utformning samt utförda försök tyder på att effektutveckling och brandspridning kommer att bli begränsad. Spridningen mellan olika bränslepaket (i det här fallet plastväxter) begränsas på grund av avstånden mellan växterna. Dessa fakta talar för att en brand kommer att följa en långsam αt^2 -kurva.

⁷⁶ Särdaqvist, 1993

Bilaga 5 – Indata CFAST

Scenario 1, lokal 13, tidig sprinkleraktivering:

```
VERSN,6,CFAST Simulation
!!
!!Environmental Keywords
!!
TIMES,1200,-50,0,10,10
EAMB,293.15,101300,0
TAMB,293.15,101300,0,50
LIMO2,10
WIND,0,10,0,16
CJET,WALLS
!!
!!Compartment keywords
!!
COMP,Butik 1,16,17.2,5.75,0,0,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM
COMP,Butik 2,16,17.2,4.65,16,0,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM
COMP,Butik 3,16,17.2,5.75,0,17.2,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM
COMP,Butik 4,16,17.2,4.65,16,17.2,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM
!!
!!vent keywords
!!
HVENT,1,2,1,17.2,4.65,0,1,0,0,2,1
HVENT,1,3,1,16,5.55,0,1,0,0,3,1
HVENT,3,4,1,17.2,4.65,0,1,0,0,2,1
HVENT,2,4,1,16,4.45,0,1,0,0,3,1
HVENT,3,5,1,4,2.5,0,1,8.8,0,4,1
!!
!!fire keywords
!!
OBJECT,Kapahl,2,8,8.6,0,1,1,0,0,0,1
```

Scenario 1, lokal 13, sen sprinkleraktivering:

VERSN,6,CFAST Simulation

!!

!!Environmental Keywords

!!

TIMES,1200,-50,0,10,10

EAMB,293.15,101300,0

TAMB,293.15,101300,0,50

LIMO2,10

WIND,0,10,0.16

CJET,WALLS

!!

!!Compartment keywords

!!

COMPA,Butik 1,16,17.2,5.75,0,0,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Butik 2,16,17.2,4.65,16,0,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Butik 3,16,17.2,5.75,0,17.2,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Butik 4,16,17.2,4.65,16,17.2,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

!!

!!vent keywords

!!

HVENT,1,2,1,17.2,4.65,0,1,0,0,2,1

HVENT,1,3,1,16,5.55,0,1,0,0,3,1

HVENT,3,4,1,17.2,4.65,0,1,0,0,2,1

HVENT,2,4,1,16,4.45,0,1,0,0,3,1

HVENT,3,5,1,4,2.5,0,1,8.8,0,4,1

!!

!!fire keywords

!!

OBJECT,Kapahl,2,8,8.6,0,1,1,0,0,0,1

Scenario 2, lokal 26, tidig sprinkleraktivering

VERSN,6,CFAST Simulation

!!

!!Environmental Keywords

!!

TIMES,1200,-50,0,10,10

EAMB,293,101300,0

TAMB,293,101300,0,50

LIMO2,10

WIND,0,10,0

CJET,WALLS

!!

!!Compartment keywords

!!

COMPA,Science world 1,18,14.5,5,0,0,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Science world 2,18,14.5,5,0,14.5,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Science world 3,18,14.5,5,0,29,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

!!

!!vent keywords

!!

HVENT,1,2,1,18,5,0,1,0,0,3,1

HVENT,2,3,1,18,5,0,1,0,0,3,1

HVENT,1,4,1,2,2.5,0,1,7,7,2,1

HVENT,2,4,1,3,2.5,0,1,7,7,2,1

HVENT,3,4,1,2,2.5,0,1,7,7,2,1

!!

!!fire keywords

!!

OBJECT,Science world ,2,9,7,0,1,1,0,0,0,1

Scenario 2, lokal 26, sen sprinkleraktivering

VERSN,6,CFAST Simulation

!!

!!Environmental Keywords

!!

TIMES,1200,-50,0,10,10

EAMB,293,101300,0

TAMB,293,101300,0,50

LIMO2,10

WIND,0,10,0

CJET,WALLS

!!

!!Compartment keywords

!!

COMPA,Science world 1,18,14.5,5,0,0,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Science world 2,18,14.5,5,0,14.5,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Science world 3,18,14.5,5,0,29,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

!!

!!vent keywords

!!

HVENT,1,2,1,18,5,0,1,0,0,3,1

HVENT,2,3,1,18,5,0,1,0,0,3,1

HVENT,1,4,1,2,2.5,0,1,7,7,2,1

HVENT,2,4,1,3,2.5,0,1,7,7,2,1

HVENT,3,4,1,2,2.5,0,1,7,7,2,1

!!

!!fire keywords

!!

OBJECT,Science world ,2,9,7,0,1,1,0,0,0,1

Scenario 3 och 4, lokal 8, tidig sprinkleraktivering:

VERSN,6,CFAST Simulation

!!

!!Environmental Keywords

!!

TIMES,1200,-50,0,10,10

EAMB,293.15,101300,0

TAMB,293.15,101300,0,50

LIMO2,10

WIND,0,10,0.16

CJET,WALLS

!!

!!Compartment keywords

!!

COMPA,Sektion 4,11.6,13.8,4.49,29.8,26.4,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Sektion 5,11.2,7.8,5.27,18.6,26.4,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Sektion 6,11.2,6.5,27.18,6.34,2.0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Sektion 7,18.6,13.8,5.98,0,26.4,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Sektion 1,16.2,13.2,5.75,9,0,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Brandsektion,16.2,13.2,5.75,9,13.2,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Sektion 2,16.2,13.2,4.65,25.2,0,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Sektion 3,16.2,13.2,4.65,25.2,13.2,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

!!

!!vent keywords

!!

HVENT,5,9,1,4,2.5,0,1,2,0,4,1

HVENT,5,6,1,16.2,5.55,0,1,0,0,3,1

HVENT,5,7,1,13.2,4.65,0,1,0,0,2,1

HVENT,6,8,1,13.2,4.65,0,1,0,0,2,1

HVENT,7,8,1,16.2,4.45,0,1,0,0,3,1

HVENT,8,1,1,11.6,4.49,0,1,0,0,1,1

HVENT,8,2,1,4.6,4.65,0,1,6.6,0,1,1

HVENT,6,2,1,6.6,5.27,0,1,0,0,1,1

HVENT,2,1,1,7.8,4.49,0,1,0,0,4,1

HVENT,4,3,1,6.5,27,0,1,0,0,4,1

HVENT,4,2,1,0.9,2.4,0,1,2,0,4,1

HVENT,4,2,2,0.9,2.4,0,1,5,0,4,1

!!

!!fire keywords

!!

OBJECT,bunsen,6,8.1,6.6,0,1,1,0,0,0,1

Scenario 3 och 4, lokal 8, sen sprinkleraktivering:

VERSN,6,CFAST Simulation

!!

!!Environmental Keywords

!!

TIMES,1200,-50,0,10,10

EAMB,293.15,101300,0

TAMB,293.15,101300,0,50

LIMO2,10

WIND,0,10,0.16

CJET,WALLS

!!

!!Compartment keywords

!!

COMPA,Sektion 4,11.6,13.8,4.49,29.8,26.4,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Sektion 5,11.2,7.8,5.27,18.6,26.4,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Sektion 6,11.2,6.5,27.18.6,34.2,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Sektion 7,18.6,13.8,5.98,0,26.4,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Sektion 1,16.2,13.2,5.75,9,0,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Brandsektion,16.2,13.2,5.75,9,13.2,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Sektion 2,16.2,13.2,4.65,25.2,0,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Sektion 3,16.2,13.2,4.65,25.2,13.2,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

!!

!!vent keywords

!!

HVENT,5,9,1,4,2.5,0,1,2,0,4,1

HVENT,5,6,1,16.2,5.55,0,1,0,0,3,1

HVENT,5,7,1,13.2,4.65,0,1,0,0,2,1

HVENT,6,8,1,13.2,4.65,0,1,0,0,2,1

HVENT,7,8,1,16.2,4.45,0,1,0,0,3,1

HVENT,8,1,1,11.6,4.49,0,1,0,0,1,1

HVENT,8,2,1,4.6,4.65,0,1,6.6,0,1,1

HVENT,6,2,1,6.6,5.27,0,1,0,0,1,1

HVENT,2,1,1,7.8,4.49,0,1,0,0,4,1

HVENT,4,3,1,6,5.27,0,1,0,0,4,1

HVENT,4,2,1,0.9,2.4,0,1,2,0,4,1

HVENT,4,2,2,0.9,2.4,0,1,5,0,4,1

!!

!!fire keywords

!!

OBJECT,bunsen,6,8.1,6.6,0,1,1,0,0,0,1

Gångstråk och atrium scenario 1, lokal 13, tidig sprinkleraktivering:

VERSN,6,CFAST Simulation

!!

!!Environmental Keywords

!!

TIMES,1200,-50,0,10,10

EAMB,293.15,101300,0

TAMB,293.15,101300,0,50

LIMO2,10

WIND,0,10,0.16

CJET,WALLS

!!

!!Compartment keywords

!!

COMPA,Butik 1,16,17.2,5.75,64,0,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Butik 2,16,17.2,4.65,80,0,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Butik 3,16,17.2,5.75,64,17.2,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Butik 4,16,17.2,4.65,80,17.2,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Gångstråk,64,64,10,0,0,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

!!

!!vent keywords

!!

HVENT,1,2,1,17.2,4.65,0,1,0,0,2,1

HVENT,1,3,1,16,5.55,0,1,0,0,3,1

HVENT,3,4,1,17.2,4.65,0,1,0,0,2,1

HVENT,2,4,1,16,4.45,0,1,0,0,3,1

HVENT,3,5,1,4,2.5,0,1,8.8,0,4,1

HVENT,5,6,1,64,0.3,0,1,0,0,4,1

!!

!!fire keywords

!!

OBJECT,Kapahl,2,8,8.6,0,1,1,0,0,0,1

Gångstråk och atrium scenario 1, lokal 13, sen sprinkleraktivering:

VERSN,6,CFAST Simulation

!!

!!Environmental Keywords

!!

TIMES,1200,-50,0,10,10

EAMB,293.15,101300,0

TAMB,293.15,101300,0,50

LIMO2,10

WIND,0,10,0.16

CJET,WALLS

!!

!!Compartment keywords

!!

COMPA,Butik 1,16,17.2,5.75,64,0,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Butik 2,16,17.2,4.65,80,0,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Butik 3,16,17.2,5.75,64,17.2,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Butik 4,16,17.2,4.65,80,17.2,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Gångstråk,64,64,10,0,0,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

!!

!!vent keywords

!!

HVENT,1,2,1,17.2,4.65,0,1,0,0,2,1

HVENT,1,3,1,16,5.55,0,1,0,0,3,1

HVENT,3,4,1,17.2,4.65,0,1,0,0,2,1

HVENT,2,4,1,16,4.45,0,1,0,0,3,1

HVENT,3,5,1,4,2.5,0,1,8.8,0,4,1

HVENT,5,6,1,64,0.3,0,1,0,0,4,1

!!

!!fire keywords

!!

OBJECT,Kapahl,2,8,8.6,0,1,1,0,0,0,1

Gångstråk och atrium scenario 2, lokal 26, tidig sprinkleraktivering:

VERSN,6,CFAST Simulation

!!

!!Environmental Keywords

!!

TIMES,1200,-50,0,10,10

EAMB,293,101300,0

TAMB,293,101300,0,50

LIMO2,10

WIND,0,10,0

CJET,WALLS

!!

!!Compartment keywords

!!

COMPA,Science world 1,18,14.5,5,64,0,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Science world 2,18,14.5,5,64,14.5,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Science world 3,18,14.5,5,64,29,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Gångstråk,64,64,10,0,0,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

!!

!!vent keywords

!!

HVENT,1,2,1,18,5,0,1,0,0,3,1

HVENT,2,3,1,18,5,0,1,0,0,3,1

HVENT,1,4,1,2,2.5,0,1,7,7,4,1

HVENT,2,4,1,3,2.5,0,1,7,7,4,1

HVENT,3,4,1,2,2.5,0,1,7,7,4,1

HVENT,4,5,1,64,0.3,0,1,0,0,1,1

!!

!!fire keywords

!!

OBJECT,Science world ,2,9,7,0,1,1,0,0,0,1

Gångstråk och atrium scenario 2, lokal 26, sen sprinkleraktivering:

VERSN,6,CFAST Simulation

!!

!!Environmental Keywords

!!

TIMES,1200,-50,0,10,10

EAMB,293,101300,0

TAMB,293,101300,0,50

LIMO2,10

WIND,0,10,0

CJET,WALLS

!!

!!Compartment keywords

!!

COMPA,Science world 1,18,14.5,5,64,0,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Science world 2,18,14.5,5,64,14.5,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Science world 3,18,14.5,5,64,29,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Gångstråk,64,64,10,0,0,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

!!

!!vent keywords

!!

HVENT,1,2,1,18,5,0,1,0,0,3,1

HVENT,2,3,1,18,5,0,1,0,0,3,1

HVENT,1,4,1,2,2.5,0,1,7,7,4,1

HVENT,2,4,1,3,2.5,0,1,7,7,4,1

HVENT,3,4,1,2,2.5,0,1,7,7,4,1

HVENT,4,5,1,64,0.3,0,1,0,0,1,1

!!

!!fire keywords

!!

OBJECT,Science world ,2,9,7,0,1,1,0,0,0,1

Atrium scenario 3, lokal 8, tidig sprinkleraktivering:

VERSN,6,CFAST Simulation

!!

!!Environmental Keywords

!!

TIMES,1200,-50,0,10,10

EAMB,293.15,101300,0

TAMB,293.15,101300,0,50

LIMO2,10

WIND,0,10,0.16

CJET,WALLS

!!

!!Compartment keywords

!!

COMPA,Sektion 4,11.6,13.8,4.49,54,46.4,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Sektion 5,11.2,7.8,5.27,42.8,46.4,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Sektion 6,11.2,6.5,27,42.8,54.2,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Sektion 7,18.6,13.8,5.98,24.2,46.4,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Sektion 1,16.2,13.2,5.75,33.2,20,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Brandsektion,16.2,13.2,5.75,33.2,33.2,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Sektion 2,16.2,13.2,4.65,49.4,20,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Sektion 3,16.2,13.2,4.65,49.4,33.2,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMPA,Atrium,33.2,33.2,15,0,0,0,GLASS,OFF,GYPSUM

!!

!!vent keywords

!!

HVENT,5,9,1,4,2.5,0,1,2,0,4,1

HVENT,5,6,1,16.2,5.55,0,1,0,0,3,1

HVENT,5,7,1,13.2,4.65,0,1,0,0,2,1

HVENT,6,8,1,13.2,4.65,0,1,0,0,2,1

HVENT,7,8,1,16.2,4.45,0,1,0,0,3,1

HVENT,8,1,1,11.6,4.49,0,1,0,0,1,1

HVENT,8,2,1,4.6,4.65,0,1,6.6,0,1,1

HVENT,6,2,1,6.6,5.27,0,1,0,0,1,1

HVENT,2,1,1,7.8,4.49,0,1,0,0,4,1

HVENT,4,3,1,6.5,27,0,1,0,0,4,1

HVENT,4,2,1,0.9,2.4,0,1,2,0,4,1

HVENT,4,2,2,0.9,2.4,0,1,5,0,4,1

HVENT,9,10,1,10,10,0,1,23.2,0,4,1

HVENT,9,10,2,10,10,0,1,0,0,1,1

!!

!!fire keywords

!!

OBJECT,bunsen,6,8.1,6.6,0,1,1,0,0,0,1

Atrium scenario 3, lokal 8, sen sprinkleraktivering:

VERSN,6,CFAST Simulation

!!

!!Environmental Keywords

!!

TIMES,1200,-50,0,10,10

EAMB,293.15,101300,0

TAMB,293.15,101300,0,50

LIMO2,10

WIND,0,10,0.16

CJET,WALLS

!!

!!Compartment keywords

!!

COMP, Sektion 4,11.6,13.8,4.49,54,46.4,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMP, Sektion 5,11.2,7.8,5.27,42.8,46.4,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMP, Sektion 6,11.2,6.5,27,42.8,54.2,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMP, Sektion 7,18.6,13.8,5.98,24.2,46.4,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMP, Sektion 1,16.2,13.2,5.75,33.2,20,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMP, Brandsektion,16.2,13.2,5.75,33.2,33.2,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMP, Sektion 2,16.2,13.2,4.65,49.4,20,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMP, Sektion 3,16.2,13.2,4.65,49.4,33.2,0,CONCRETE,OFF,GYPSUM

COMP, Atrium,33.2,33.2,15,0,0,0,GLASS,OFF,GYPSUM

!!

!!vent keywords

!!

HVENT,5,9,1,4,2.5,0,1,2,0,4,1

HVENT,5,6,1,16.2,5.55,0,1,0,0,3,1

HVENT,5,7,1,13.2,4.65,0,1,0,0,2,1

HVENT,6,8,1,13.2,4.65,0,1,0,0,2,1

HVENT,7,8,1,16.2,4.45,0,1,0,0,3,1

HVENT,8,1,1,11.6,4.49,0,1,0,0,1,1

HVENT,8,2,1,4.6,4.65,0,1,6.6,0,1,1

HVENT,6,2,1,6.6,5.27,0,1,0,0,1,1

HVENT,2,1,1,7.8,4.49,0,1,0,0,4,1

HVENT,4,3,1,6.5,27,0,1,0,0,4,1

HVENT,4,2,1,0.9,2.4,0,1,2,0,4,1

HVENT,4,2,2,0.9,2.4,0,1,5,0,4,1

HVENT,9,10,1,10,10,0,1,23.2,0,4,1

HVENT,9,10,2,10,10,0,1,0,0,1,1

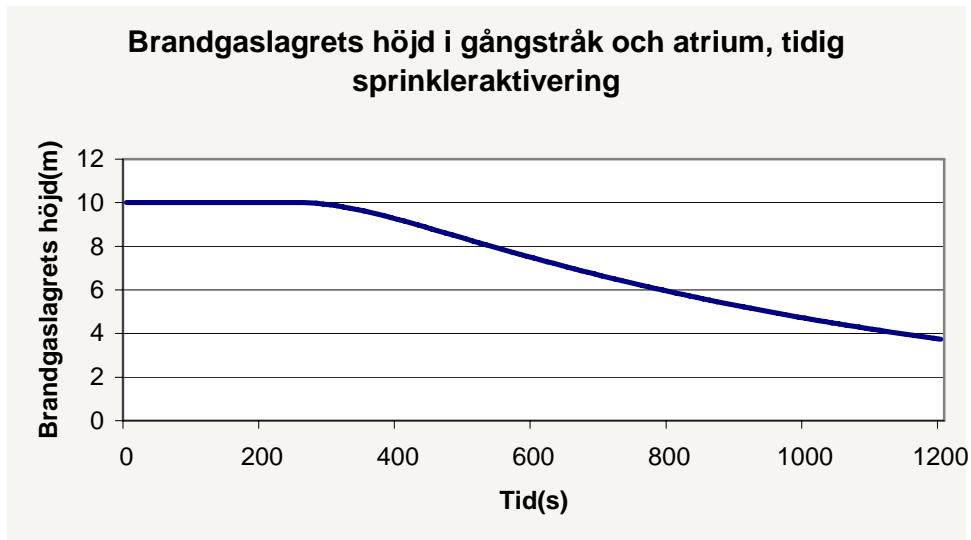
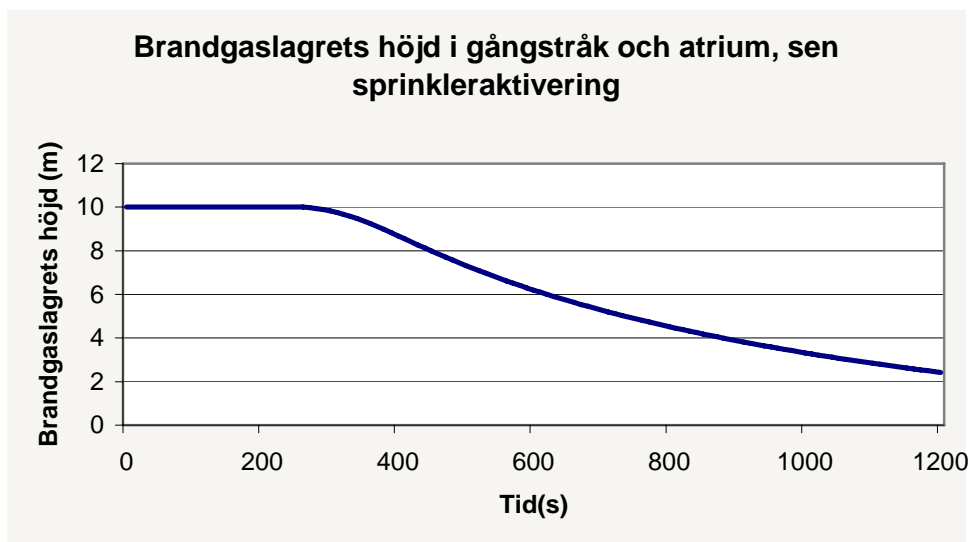
!!

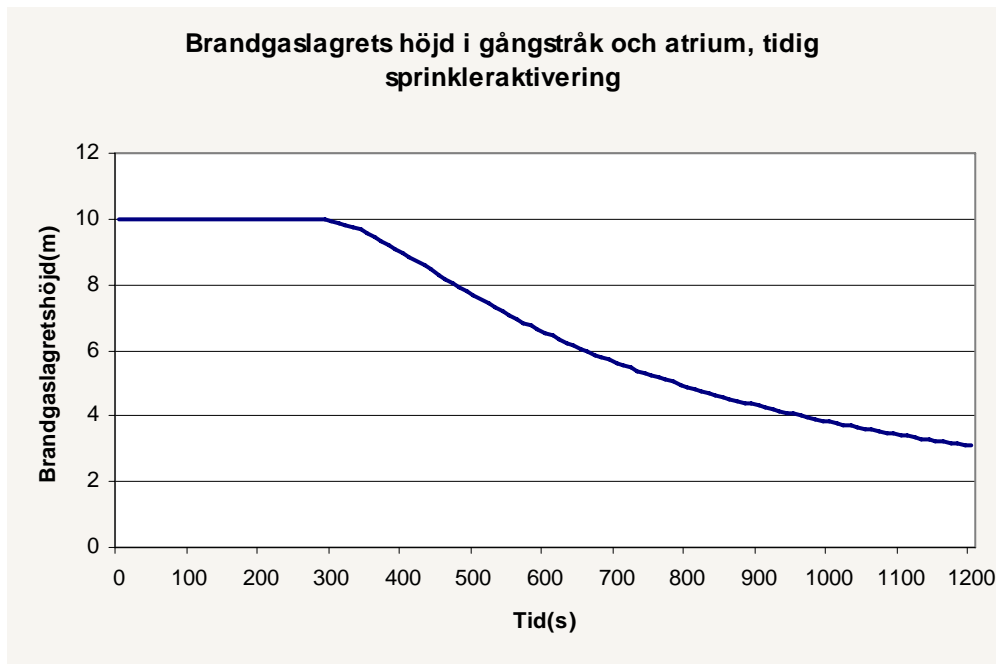
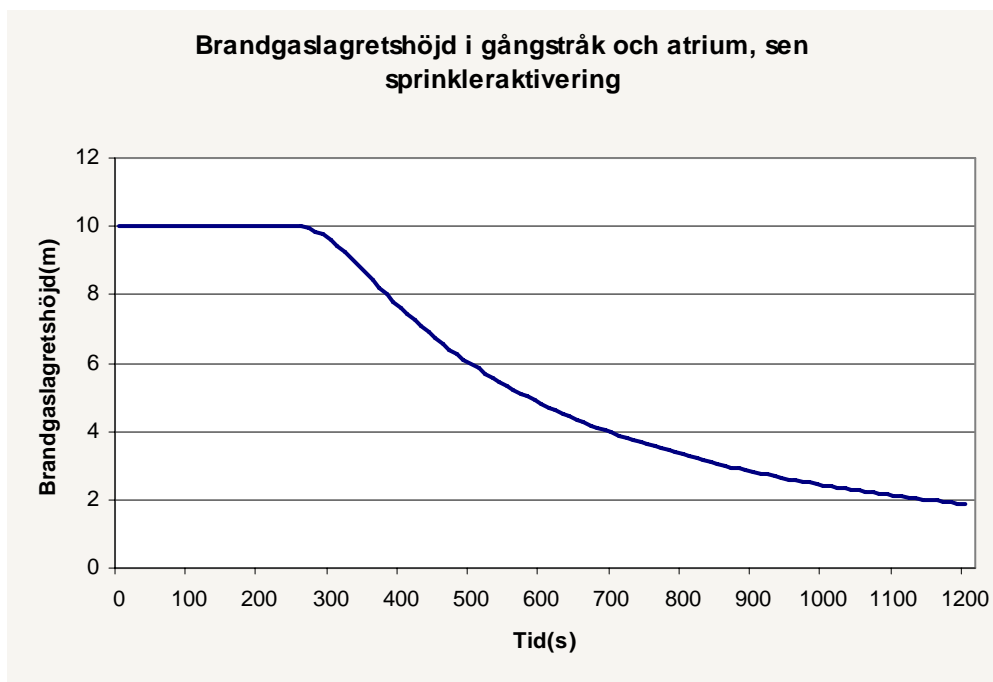
!!fire keywords

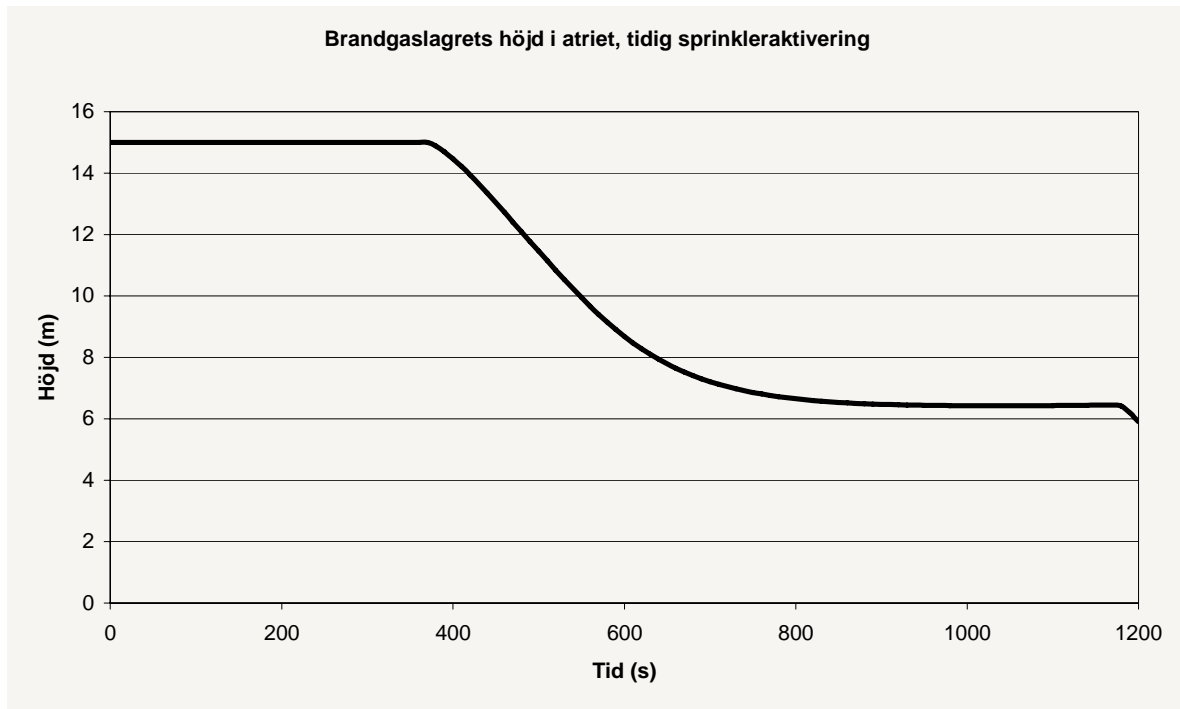
!!

OBJECT,bunsen,6,8.1,6.6,0,1,1,0,0,0,1

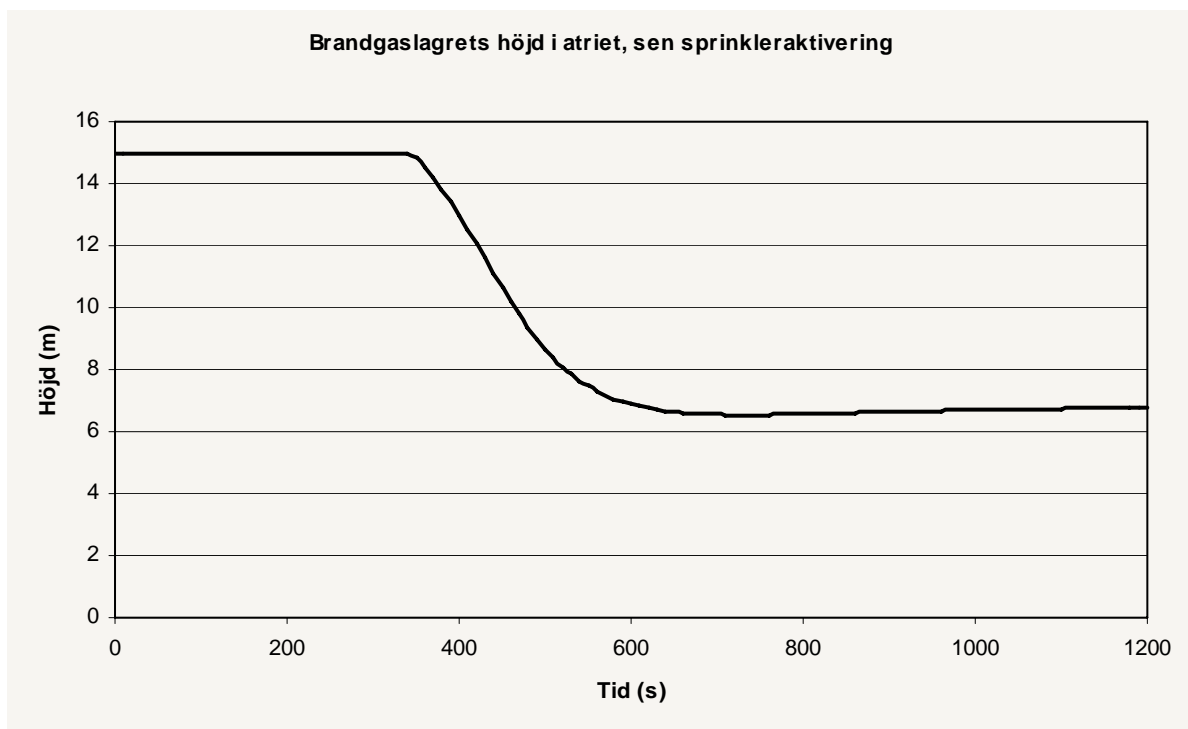
Bilaga 6 – Resultat från CFAST för kritiska tider i gångstråk och atrium

Figur 1 *Brand i lokal 13*Figur 2 *Brand i lokal 13*

Figur 3 *Brand i lokal 26*Figur 4 *Brand i lokal 26*



Figur 5 Brand i lokal 8



Figur 6 Brand i lokal 8

Bilaga 7 – Beräkningar för kritiska tider i gångstråk och atrium helt omblandat fall

Helt omblandat fall:

Efter en viss tid börjar brandgaser att strömma ut genom öppningen till atriet och gångstråken, detta försämrar sikten i atriet. Enligt kraven i avsnitt 4.2 får sikten inte understiga 10 meter vid utrymning, detta motsvarar en optisk täthet per meter $DL = 1$ obscura. I metoden som används ses atriet och brandrummet som två skilda volymer. I brandrummet antas en tvåzons-skiktning och i atriet och gångstråken antas ett fullt omblandat fall. Direkt när brandgaser börjar strömma ut i atriet och gångstråken antas det att all den avbrunna massan i brandrummet, från den tidpunkten och framåt, transporteras ut i atriet och gångstråken. Att en del av den avbrunna massan, från tidpunkten då brandgaser börjar strömma ut, stannar kvar i brandrummet bortses alltså ifrån. En siktberäkning utförs.

Tid till kritiska förhållanden i atriet då det brinner i lokal 8 och sprinklern aktiverar tidigt:

I detta fall antas att alla brandgaser stannar i atriet, gångstråkens volym tas alltså inte med i denna beräkning.

Atriet: Area 1100 m², medelhöjd 15 m, volym 16500 m³

PUR-skum: Rökpotential, $D_0 = 0,96 \text{ ob m}^3/\text{g}$ ⁷⁷, förbränningsvärme $\Delta H_c = 24\,500 \text{ kJ/kg}$ ⁷⁸

I brandrummet når brandgaslagret en höjd på 2,5 meter efter 370 sekunder. Se avsnitt 4.5.3
Då har branden en konstant effekt på 1,2 MW.

Siktberäkning:

Beräkning av massa avbrunnet bränsle som behöver komma ut i atriet för att orsaka kritiska förhållanden fås genom omskrivning av formeln nedan:

$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m}$, där D_0 är rökpotentialen i $\text{ob m}^3/\text{g}$, D_L är den optiska tätheten per meter i ob , V är volymen i m^3 och m är massan avbrunnet bränsle i g . För kritiska förhållanden ska D_L vara 1 ob .

$$m = D_L \cdot \frac{V}{D_0} = 1 \text{ ob} \cdot \frac{16500 \text{ m}^3}{0,96 \text{ ob m}^3 / \text{g}} = 17187 \text{ g} \approx 17,2 \text{ kg}$$

I formeln ovan har endast volymen på atriet använts. Med antagandet att all avbrunnen massa efter tidpunkten 370 sekunder transporteras ut i atriet, kan tiden för kritiska förhållanden beräknas enligt formlerna nedan. För att kritiska förhållanden i atriet skall uppstå måste alltså 17,2 kg bränsle avbrinna från den tidpunkt då brandgaser börjar strömma ut ur brandrummet.

$$17,2 \text{ kg PUR frigör en energi motsvarande } Q = \Delta H_c \cdot m = 24500 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot 17,2 \text{ kg} = 421400 \text{ kJ}$$

Energien som ska utvecklas efter tidpunkten 370 sekunder är alltså 421400 kJ och tidpunkten för kritiska förhållanden kan beräknas med hjälp av formeln nedan.

$$Q = \int_{370}^t 1200 dt = 1200t - 1200 \cdot 370 = 421400 \text{ kJ}$$

Detta medför en kritisk tid för atriet på ungefär 720 sekunder.

⁷⁷ Drysdale, 2004

⁷⁸ Drysdale, 2004

Tid till kritiska förhållanden i atriet då det brinner i lokal 8 och sprinklern aktiverar sent:

I detta fall antas att alla brandgaser stannar i atriet, gångstråkens volym tas alltså inte med i denna beräkning.

Atriet: Area 1100 m², medelhöjd 15 m, volym 16500 m³

PUR-skum: Rökpotential, $D_0 = 0,96 \text{ ob m}^3/\text{g}^{79}$, förbränningsvärme $\Delta H_c = 24\,500 \text{ kJ/kg}^{80}$

Enligt avsnitt 4.5.4 når brandgaslagret en höjd på 2,5 m efter 340 sekunder. Branden tillväxer

enligt: $\dot{Q} = 0,022 \cdot t^2$, där t är tiden i s, \dot{Q} är effekten i kW och konstanten 0,022 har enheten kW/s². När branden når 3,3 MW (efter 387 sekunder) har sprinklern aktiverat och branden har då denna konstanta effekt under resten av brandförloppet.

Siktberäkning:

Beräkning av massa avbrunnet bränsle som behöver komma ut i atriet för att orsaka kritiska förhållanden fås genom omskrivning av formeln nedan:

$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m}$, där D_0 är rökpotentialen i ob m³/g, D_L är den optiska tätheten per meter i ob, V är volymen i m³ och m är massan avbrunnet bränsle i g. För kritiska förhållanden ska D_L vara 1 ob.

$$m = D_L \cdot \frac{V}{D_0} = 1 \text{ ob} \cdot \frac{16500 \text{ m}^3}{0,96 \text{ ob m}^3 / \text{g}} = 17187 \text{ g} \approx 17,2 \text{ kg}$$

I formeln ovan har endast volymen på atriet använts. Med antagandet att all avbrunnen massa efter tidpunkten 340 sekunder (tiden då brandgaslagret når ovankanten av öppningen till brandrummet) transporteras ut i atriet, kan tiden för kritiska förhållanden beräknas enligt formelerna nedan. För att kritiska förhållanden i atriet skall uppstå måste alltså 17,2 kg bränsle avbrinna från den tidpunkt då brandgaser börjar strömma ut ur brandrummet.

$$17,2 \text{ kg PUR frigör en energi motsvarande } Q = \Delta H_c \cdot m = 24500 \text{ kJ / kg} \cdot 17,2 \text{ kg} = 421400 \text{ kJ}$$

Energien som ska utvecklas efter tidpunkten 340 sekunder är alltså 421400 kJ och tidpunkten för kritiska förhållanden kan beräknas med hjälp av formeln nedan.

$$Q = \int_{340}^{387} 0,022 \cdot t^2 dt + \int_{387}^t 1200 dt = 0,022 \cdot \left(\frac{387^3}{3} - \frac{340^3}{3} \right) + 1200 \cdot (t - 387) = 421400 \text{ kJ}$$

Detta medför en kritisk tid för atriet på ungefär 620 sekunder.

⁷⁹ Drysdale, 2004

⁸⁰ Drysdale, 2004

Tid till kritiska förhållanden i gångstråk och atrium då det brinner i lokal 13 och sprinklern aktiverar tidigt:

Atriet: Area 1100 m², medelhöjd 15 m

Gångstråk: Area 3000 m², medelhöjd 10 m

Total volym: $V = V_{\text{gångstråk+atrium}} = 3000 \cdot 10 + 1100 \cdot 15 = 46500 \text{ m}^3$

Kläder: Rökpotalential, $D_0 = 0,6581 \text{ ob m}^3/\text{g}$, förbränningsvärme $\Delta H_c = 25\,500 \text{ kJ/kg}$

I brandrummet når brandgaslagret en höjd på 2,5 m efter 270 sekunder. Se avsnitt 4.3.3 Då har branden en konstant effekt på 2,3 MW.

Siktberäkning:

Beräkning av massa avbrunnet bränsle som behöver komma ut i atriet för att orsaka kritiska förhållanden fås genom omskrivning av formeln nedan:

$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m}$, där D_0 är rökpotalentialen i $\text{ob m}^3/\text{g}$, D_L är den optiska tätheten per meter i ob , V är volymen i m^3 och m är massan avbrunnet bränsle i g . För kritiska förhållanden ska D_L vara 1 ob .

$$m = D_L \cdot \frac{V}{D_0} = 1 \text{ ob} \cdot \frac{46500 \text{ m}^3}{0,65 \text{ ob m}^3/\text{g}} = 71538 \text{ g} \approx 71,5 \text{ kg}$$

I formeln ovan har volymen för gångstråken och atriet använts. Med antagandet att all avbrunnen massa från och med tidpunkten 270 sekunder (tiden då brandgaslagret når ovankanten av öppningen till brandrummet) transporteras ut i atriet, kan tiden för kritiska förhållanden beräknas enligt formlerna nedan. För att kritiska förhållanden i gångstråk och atrium skall uppstå måste alltså 71,5 kg bränsle avbrinna från den tidpunkt då brandgaser börjar strömma ut ur brandrummet.

71,5 kg kläder frigör en energi motsvarande

$$Q = \Delta H_c \cdot m = 25500 \text{ kJ/kg} \cdot 71,5 \text{ kg} = 1823250 \text{ kJ}$$

Energien som ska utvecklas efter tidpunkten 270 sekunder är alltså 1823250 kJ och tidpunkten för kritiska förhållanden kan beräknas med hjälp av formeln nedan.

$$Q = \int_{270}^t 2300 dt = 2300t - 2300 \cdot 270 = 1823250 \text{ kJ}$$

Detta medför en kritisk tid för atriet och gångstråken på ungefär 1060 sekunder.

⁸¹ SFPE Fire protection handbook, 2002

Tid till kritiska förhållanden i gångstråk och atrium då det brinner i lokal 13 och sprinklern aktiverar sent:Atriet: Area 1100 m², medelhöjd 15 mGångstråk: Area 3000 m², medelhöjd 10 mTotal volym: $V = V_{\text{gångstråk+atrium}} = 3000 \cdot 10 + 1100 \cdot 15 = 46500 \text{ m}^3$ Kläder: Rökpotalential, $D_0 = 0,6582 \text{ ob m}^3/\text{g}$, förbränningsvärme $\Delta H_c = 25\,500 \text{ kJ/kg}$

Enligt avsnitt 4.3.4 når brandgaslagret en höjd på 2,5 m efter 260 sekunder. Branden tillväxer

enligt: $\dot{Q} = 0,047 \cdot t^2$, där t är tiden i s, \dot{Q} är effekten i kW och konstanten 0,047 har enheten kW/s². När branden når 6,6 MW (efter 375 sekunder) har sprinklern aktiverat och branden har då denna konstanta effekt under resten av brandförloppet.

Siktberäkning:

Beräkning av massa avbrunnet bränsle som behöver komma ut i atriet för att orsaka kritiska förhållanden fås genom omskrivning av formeln nedan:

$$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m}$$

där D_0 är rökpotalentialen i $\text{ob m}^3/\text{g}$, D_L är den optiska tätheten per meter i ob , V är volymen i m^3 och m är massan avbrunnet bränsle i g. För kritiska förhållanden ska D_L vara 1 ob .

$$m = D_L \cdot \frac{V}{D_0} = 1 \text{ ob} \cdot \frac{46500 \text{ m}^3}{0,65 \text{ ob m}^3/\text{g}} = 71538 \text{ g} \approx 71,5 \text{ kg}$$

I formeln ovan har volymen för gångstråken och atriet använts. Med antagandet att all avbrunnen massa från och med tidpunkten 270 sekunder (tiden då brandgaslagret når ovankanten av öppningen till brandrummet) transporteras ut i atriet, kan tiden för kritiska förhållanden beräknas enligt formlerna nedan. För att kritiska förhållanden i gångstråk och atrium skall uppstå måste alltså 71,5 kg bränsle avbrinna från den tidpunkt då brandgaser börjar strömma ut ur brandrummet.

71,5 kg kläder frigör en energi motsvarande

$$Q = \Delta H_c \cdot m = 25500 \text{ kJ/kg} \cdot 71,5 \text{ kg} = 1823250 \text{ kJ}$$

Energien som ska utvecklas efter tidpunkten 260 sekunder är alltså 1823250 kJ och tidpunkten för kritiska förhållanden kan beräknas med hjälp av formeln nedan. Sprinklern aktiveras efter 375 sekunder.

$$Q = \int_{260}^{375} 0,047 \cdot t^2 dt + \int_{375}^t 6600 dt = 0,047 \cdot \left(\frac{375^3}{3} - \frac{260^3}{3} \right) + 6600 \cdot (t - 375) = 1823250 \text{ kJ}$$

Detta medför en kritisk tid för atriet och gångstråken på ungefär 570 sekunder.

⁸² SFPE Fire protection handbook, 2002

Tid till kritiska förhållanden i gångstråk och atrium då det brinner i lokal 26 och sprinklern aktiverar tidigt:

Atriet: Area 1100 m², medelhöjd 15 m

Gångstråk: Area 3000 m², medelhöjd 10 m

Total volym: $V = V_{\text{gångstråk+atrium}} = 3000 \cdot 10 + 1100 \cdot 15 = 46500 \text{ m}^3$

Kläder: Rökpotalential, $D_0 = 0,6583 \text{ ob m}^3/\text{g}$, förbränningsvärme $\Delta H_c = 25\,500 \text{ kJ/kg}$

I brandrummet når brandgaslagret en höjd på 2,5 m efter 330 sekunder. Se avsnitt 4.4.3 Då har branden en konstant effekt på 1,5 MW.

Siktberäkning:

Beräkning av massa avbrunnet bränsle som behöver komma ut i atriet för att orsaka kritiska förhållanden fås genom omskrivning av formeln nedan:

$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m}$, där D_0 är rökpotalentialen i $\text{ob m}^3/\text{g}$, D_L är den optiska tätheten per meter i ob , V är volymen i m^3 och m är massan avbrunnet bränsle i g . För kritiska förhållanden ska D_L vara 1 ob .

$$m = D_L \cdot \frac{V}{D_0} = 1 \text{ ob} \cdot \frac{46500 \text{ m}^3}{0,65 \text{ ob m}^3/\text{g}} = 71538 \text{ g} \approx 71,5 \text{ kg}$$

I formeln ovan har volymen för gångstråken och atriet använts. Med antagandet att all avbrunnen massa från och med tidpunkten 330 sekunder (tiden då brandgaslagret når ovankanten av öppningen till brandrummet) transporteras ut i atriet, kan tiden för kritiska förhållanden beräknas enligt formlerna nedan. För att kritiska förhållanden i gångstråk och atrium skall uppstå måste alltså 71,5 kg bränsle avbrinna från den tidpunkt då brandgaser börjar strömma ut ur brandrummet.

71,5 kg kläder frigör en energi motsvarande

$$Q = \Delta H_c \cdot m = 25500 \text{ kJ/kg} \cdot 71,5 \text{ kg} = 1823250 \text{ kJ}$$

Energien som ska utvecklas efter tidpunkten 330 sekunder är alltså 1823250 kJ och tidpunkten för kritiska förhållanden kan beräknas med hjälp av formeln nedan.

$$Q = \int_{330}^t 1500 dt = 1500t - 1500 \cdot 330 = 1823250 \text{ kJ}$$

Detta medför en kritisk tid för atriet och gångstråken på ungefär 1540 sekunder.

⁸³ SFPE Fire protection handbook, 2002

Tid till kritiska förhållanden i gångstråk och atrium då det brinner i lokal 13 och sprinklern aktiverar sent:Atriet: Area 1100 m², medelhöjd 15 mGångstråk: Area 3000 m², medelhöjd 10 mTotal volym: $V = V_{\text{gångstråk+atrium}} = 3000 \cdot 10 + 1100 \cdot 15 = 46500 \text{ m}^3$ Kläder: Rökpotential, $D_0 = 0,6584 \text{ ob m}^3/\text{g}$, förbränningsvärme $\Delta H_c = 25\,500 \text{ kJ/kg}$

Enligt avsnitt 4.3.4 når brandgaslagret en höjd på 2,5 m efter 280 sekunder. Branden tillväxer

enligt: $\dot{Q} = 0,047 \cdot t^2$, där t är tiden i s, \dot{Q} är effekten i kW och konstanten 0,047 har enheten kW/s². När branden når 4,7 MW (efter 315 sekunder) har sprinklern aktiverat och branden har då denna konstanta effekt under resten av brandförloppet.

Siktberäkning:

Beräkning av massa avbrunnet bränsle som behöver komma ut i atriet för att orsaka kritiska förhållanden fås genom omskrivning av formeln nedan:

$$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m}$$

där D_0 är rökpotentialen i $\text{ob m}^3/\text{g}$, D_L är den optiska tätheten per meter i ob , V är volymen i m^3 och m är massan avbrunnet bränsle i g. För kritiska förhållanden ska D_L vara 1 ob .

$$m = D_L \cdot \frac{V}{D_0} = 1 \text{ ob} \cdot \frac{46500 \text{ m}^3}{0,65 \text{ ob m}^3/\text{g}} = 71538 \text{ g} \approx 71,5 \text{ kg}$$

I formeln ovan har volymen för gångstråken och atriet använts. Med antagandet att all avbrunnen massa från och med tidpunkten 280 sekunder (tiden då brandgaslagret når ovankanten av öppningen till brandrummet) transporteras ut i atriet, kan tiden för kritiska förhållanden beräknas enligt formlerna nedan. För att kritiska förhållanden i gångstråk och atrium skall uppstå måste alltså 71,5 kg bränsle avbrinna från den tidpunkt då brandgaser börjar strömma ut ur brandrummet.

71,5 kg kläder frigör en energi motsvarande

$$Q = \Delta H_c \cdot m = 25500 \text{ kJ/kg} \cdot 71,5 \text{ kg} = 1823250 \text{ kJ}$$

Energien som ska utvecklas efter tidpunkten 280 sekunder är alltså 1823250 kJ och tidpunkten för kritiska förhållanden kan beräknas med hjälp av formeln nedan. Sprinklern aktiveras efter 315 sekunder.

$$Q = \int_{280}^{315} 0,047 \cdot t^2 dt + \int_{315}^t 4700 dt = 0,047 \cdot \left(\frac{315^3}{3} - \frac{280^3}{3} \right) + 4700 \cdot (t - 315) = 1823250 \text{ kJ}$$

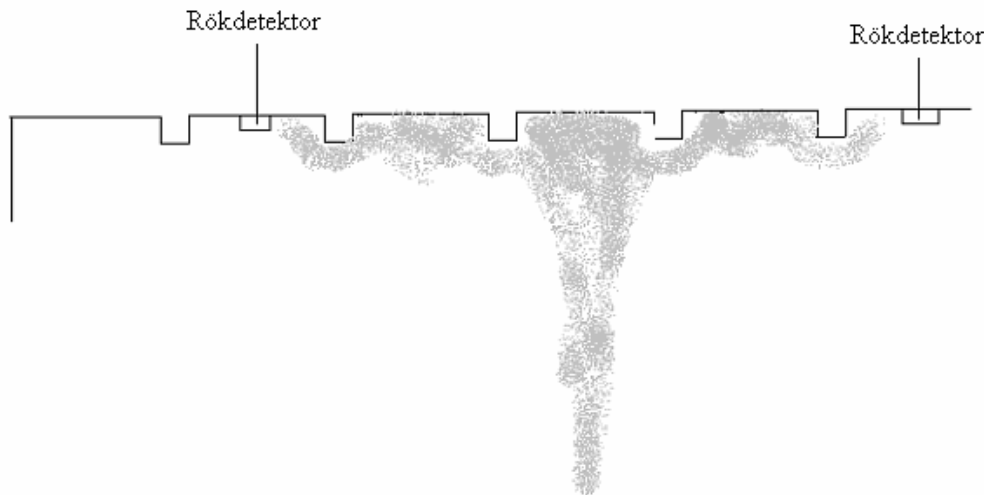
Detta medför en kritisk tid för atriet och gångstråken på ungefär 670 sekunder.

⁸⁴ SFPE Fire protection handbook, 2002

Bilaga 8 – Aktiveringstid för rökdetektorer

Automatisk aktivering av utrymningslarm

Lokalen är utrustad med en rökdetektor per 300m². Detektorerna är placerade mellan takbalkarna. Detta kommer att leda till samma problematik som vid bedömning av sprinkleraktiveringstiden. Det är fullt möjligt att rök från en brand kommer att fylla ett fack mellan takbjälkarna där det saknas rökdetektor. När röken väl når en rökdetektor kommer detektorn att utlösa relativt omgående. Figur 1 visar denna problematik.



Figur 1 *Aktivering av rökdetektorer*

Vid simuleringar i CFAST tar det ungefär 30 sekunder att fylla ett fack med rök. Rökdetektorerna är placerade i vart fjärde fack. Det värsta tänkbara scenariot blir att röken fyller tre fack för att sedan nå ett fack med en rökdetektor. Det kommer att ta ungefär 90 sekunder för att fylla de tre första facken, sedan kommer röken att nå en detektor.

Efter 90 sekunder har brandgaslagret sjunkit minst 0,5 meter vid beräkningar i CFAST, oavsett vilken lokal som simuleras. Det är alltså rimligt att anta att rökdetektorerna aktiveras inom 90 sekunder.

Manuell aktivering av utrymningslarm

Utrymningslarmet kan aktiveras manuellt med hjälp av larmknappar placerade i lokalen. En manuell aktivering kan komma att förkorta aktiveringstiden för utrymningslarmet avsevärt, då personer i brandrummet kommer att känna röklukt innan en rökdetektor aktiveras. Det skall dock inte förutsättas att någon aktiverar larmet manuellt. Personalen kan tänkas prioritera bekämpning av branden eller bistå kunderna vid en utrymning. Då det är osäkert om manuell aktivering av utrymningslarmet kommer att ske bör en utrymning kunna genomföras utan manuell aktivering av personal.

