



**LUNDS TEKNISKA
HÖGSKOLA**
Lunds universitet

Rapport nr: 9213
Ht-2003

Brandteknisk riskvärdering av

Bålsta Center

Frida Eiman

Kajsa Jönsson

Katja Månsson

Gunilla Nilsson

Emma Nordwall

Avdelningen för Brandteknik
Lunds Tekniska Högskola
Box 118
221 00 LUND

Department of Fire Safety Engineering
Lund Institute of Technology
Box 118
S-221 00 LUND

Report nr: 9013

Titel / Title:

"Brandteknisk riskvärdering av Bålsta Center"
"Fire Safety Evaluation of Bålsta Centre"

Av / By:

Frida Eiman
Kajsa Jönsson
Katja Månsson
Gunilla Nilsson
Emma Nordwall

Brandingenjörsprogrammet Lunds Tekniska Högskola, December 2003.
Fire Protection Engineering Programme, Lund University, December 2003.

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

Abstract:

This report contains a fire safety evaluation of Bålsta centre in the community of Håbo, Sweden. The centre is a shopping mall that includes about 30 stores of different kinds.

The evaluation concerns the evacuation of 2000 people in the building during a possible fire situation. To be able to find out if the fire safety is good enough, different methods have been used. First a visit at the Bålsta Centre was made, where discussion with the owner of the property and instructor from Bålsta fire station took place and three possible fire scenarios were decided. Measurements of the geometry were also taken. Then with these decisions and facts, calculations for the evacuation time, smoke filling, gas temperature etc. could be estimated for possible fire scenarios.

To evaluate the egress safety Simulex was used, and to evaluate time to smoke filling CFAST was mainly used. One scenario was also made in a CFD-model to compare the results and reliability for the two-zone model.

The existing fire safety protection and the egress strategy were evaluated, which turned out to be satisfying. Some minor improvement such as installation of a pre-recorded spoken egress message is though still required.

Keywords:

Shopping mall, Smoke filling, Evacuation, CFAST, Simulex, FDS, Critical condition.

Förord

Under arbetets gång har flera personer varit till stor hjälp. Framför allt vill vi tacka vår handledare Daniel Gojkovic, universitetsadjunkt vid avdelningen för Brandteknik, som guidat oss i alla situationer och alltid varit tillmötesgående.

Tack även till Richard Westning på Håbo Räddningstjänst, Ann-Katrin Rundberg och Ove Holm på Rodamco samt Jörgen Johansson på Hallén Arkitekter AB.

Sammanfattning

Bålsta center är ett affärskomplex, se bilaga A, i Håbo kommun med ca. 30 butiker som dagligen besöks av 5000-9000 personer. I detta arbete har en utredning och dokumentation av personsäkerheten i Bålsta center tagits fram för att utvärdera vad som skulle inträffa vid en brand.

Vid objektsbesöket bestämdes tre troliga brandscenarier vilka sedan har legat som grund för den brandtekniska riskvärderingen. Med hjälp av handberäkningar, se bilaga B, simuleringsprogram och författarnas egna resonemang har värden på parametrar som effektutveckling, utrymningstid och kritiska förhållanden tagits fram. Detta för att kunna se vilka förhållanden som personer i byggnaden tvingas utrymma under vid en eventuell brand, och för att se om centrets nuvarande utrymningsvägar till antalet är tillfredsställande.

Som simuleringsprogram för brändernas effekter har tvåzonsmodellen CFAST 3.17, se bilaga C, och CFD-modellen FDS, se bilaga D, använts. Tid för utrymning har simulerats i Simulex 2.0, se bilaga E.

De tre valda brandscenarierna, se kap 3, skiljs åt med allt från brandens placering och brinnande materiel till brandgaslagrets höjd och temperatur. De valda scenarierna är:

- *Scenario 1* - Brand i pappersbalar på matvaruaffären ICA belägen på bottenplan. Branden resulterar i dålig sikt i en del av butiken efter drygt 8 min.
- *Scenario 2* - Brand i jackor på en vägg intill utrymningsväg på sportbutiken Intersport. Butiken är belägen på övre plan. Branden resulterar i kritisk brandgaslagerhöjd i butiken efter drygt 5 min.
- *Scenario 3* - Brand i klädställ utanför klädesbutiken Go West, intill huvudatriet, på bottenplan. Branden ger inga kritiska förhållanden inne i butiken.

Det bör dock tilläggas att dålig sikt, kritisk brandgaslagerhöjd och temperatur ej behöver resultera i kritiska förhållanden. För att kritiska förhållanden skall uppstå måste brandgaslagrets höjd, temperatur, sikt och toxicitet jämföras, se kap. 5.1.

För att få en bild av hur simuleringarna påverkas av indatan har känslighetsanalyser tagits fram för att påvisa känsligheten av bedömda parametrar, se kap 6. Eftersom Bålsta center i största delen av byggnaden är sprinklad har det i simuleringar antagits att sprinkler aktiveras efter ställda krav och normer. Som känslighetsanalys gjordes därför simuleringar då sprinkler ej aktiveras. Resultatet visar att tid till kritiska förhållanden då sjunker markant. Vid utrymningssimuleringar ökades besökarantalet från 2000 till 3000 personer som känslighetsanalys, och resultatet blev en utrymningstid på 11 min. istället för drygt 8 min.

Resultaten från simuleringar har legat som grund för förslag på åtgärder som skall respektive bör genomföras. I dagsläget är utrymningssäkerheten på objektet i sin helhet bra. Dock bör vissa justeringar och tillägg göras för att säkerheten skall bli bättre, se kap. 8.

De åtgärder som skall genomföras är i prioritetsordning:

1. Lås skall smörjas eller bytas.
2. Blockeringar skall avlägsnas.
3. Nödbelysning skall finnas.
4. Vilsledande markeringar på golv skall tas bort.

De åtgärder som bör genomföras är i prioritetsordning:

1. Förinspelat talat meddelande bör finnas.
2. Vidareutbildning av personal bör ske.
3. Butiker med endast en utrymningsväg bör kompletteras med annan räddningsutrustning.
4. Utrymningsplaner bör upprättas.

| | |
|--|----|
| 1 INLEDNING..... | 11 |
| 1.1 SYFTE..... | 11 |
| 1.2 METOD..... | 11 |
| 1.3 AVGRÄNSNINGAR..... | 11 |
| 2 OBJEKTSBESKRIVNING..... | 13 |
| 2.1 ALLMÄNT..... | 13 |
| 2.2 BYGGNADEN..... | 13 |
| 2.3 UTBILDNING AV PERSONAL..... | 14 |
| 2.4 BRANDTILLBUD..... | 15 |
| 2.5 BESÖKARE..... | 15 |
| 2.6 BEFINTLIGT BRANDSKYDD..... | 15 |
| 3 BESKRIVNING AV VALDA BRANDSCENARIER..... | 19 |
| 3.1 BAKGRUND TILL VAL AV BRANDSCENARIER..... | 19 |
| 3.2 BRANDSCENARIO 1 - BRAND PÅ ICA..... | 20 |
| 3.3 BRANDSCENARIO 2 - BRAND PÅ INTERSPORT..... | 21 |
| 3.4 BRANDSCENARIO 3 - BRAND PÅ GO WEST..... | 23 |
| 4 UTRYMNING..... | 25 |
| 4.1 MÄNSKLIGA REAKTIONER..... | 25 |
| 4.2 BÅLSTA CENTERS UTRYMNINGSVÄGAR..... | 26 |
| 4.3 UTRYMNINGSSIMULERING..... | 28 |
| 5 BEDÖMNING AV BRANDFÖRLOPPET..... | 35 |
| 5.1 KRITISKA FÖRHÅLLANDEN..... | 35 |
| 5.2 DISKUSSION KRING CFASTS GILTIGHET VID SPRINKLERAKTIVERING..... | 36 |
| 5.3 RESULTAT KRITISKA FÖRHÅLLANDEN..... | 36 |
| 5.4 FELKÄLLOR..... | 38 |
| 6 KÄNSLIGHETSANALYS..... | 41 |
| 6.1 KÄNSLIGHETSANALYS AV CFAST..... | 41 |
| 6.2 KÄNSLIGHETSANALYS AV SIMULEX..... | 45 |
| 7 VÄRDERING AV SÄKERHETSNIVÅ..... | 47 |
| 7.1 ALLMÄNT..... | 47 |
| 7.2 BRANDSCENARIO 1 - BRAND PÅ ICA..... | 48 |
| 7.3 BRANDSCENARIO 2 - BRAND PÅ INTERSPORT..... | 48 |
| 7.4 BRANDSCENARIO 3 - BRAND PÅ GO WEST..... | 49 |
| 8 FÖRSLAG TILL ÅTGÄRDER..... | 51 |
| 9 SLUTSATS..... | 55 |
| REFERENSER..... | 57 |
| NOMENKLATURLISTA..... | 59 |
| BILAGA A - ÖVERSIKTSKARTA..... | 61 |
| A 1 ÖVERSIKT ÖVER BÅLSTA CENTER..... | 63 |
| BILAGA B - HANDBERÄKNINGAR..... | 65 |
| B 1 BRANDSCENARIO 1 - BRAND PÅ ICA..... | 67 |
| B 2 BRANDSCENARIO 2 - BRAND PÅ INTERSPORT..... | 70 |
| B 3 BRANDSCENARIO 3 - BRAND PÅ GO WEST..... | 73 |

| | |
|---|-----|
| B 4 JÄMFÖRELSE AV TEMPERATUR MELLAN HAND- OCH CFAST-BERÄKNINGAR | 75 |
| BILAGA C - CFAST | 77 |
| C 1 PROGRAMMET CFAST 3.1.7..... | 79 |
| C 2 FÖRENKLINGAR..... | 80 |
| C 3 REDUCERADE EFFEKTUTVECKLINGSKURVOR | 82 |
| C 4 KRISTISKA FÖRHÅLLANDEN | 84 |
| BILAGA D - FDS..... | 91 |
| D 1 FIRE DYNAMICS SIMULATOR (FDS)..... | 93 |
| D 2 INDATA | 93 |
| D 3 UTDATA | 95 |
| D 4 RESULTAT | 95 |
| D 4.1 KRITISKA FÖRHÅLLANDEN MED SPRINKLERAKTIVERING | 95 |
| D 5 VERIFIERING AV SIMULERINGENS GILTIGHET | 96 |
| BILAGA E - SIMULEX | 99 |
| E 1 PROGRAMMET SIMULEX | 101 |
| E 2 INDATA..... | 101 |
| E 3 BILDER FRÅN SIMULEXSIMULERINGEN..... | 104 |
| BILAGA F - RTI-BESTÄMNING | 107 |
| F 1 SPRINKLER LABORATION..... | 109 |

1 Inledning

I detta kapitel beskrivs arbetets syfte, tillvägagångssätt och avgränsningar.

1.1 Syfte

Syftet med rapporten är att undersöka personsäkerheten på köpcentret Bålsta center vid ett eventuellt brandtillbud. Med hjälp av beräkningar och simuleringar undersöks om utrymning av personal och kunder hinner ske innan kritiska förhållanden p.g.a. dålig sikt, toxicitet, kritisk brandgaslagerhöjd, temperatur etc. uppstår.

I arbetet ingår krav och förslag på förbättringar och åtgärder som skall respektive bör genomföras, se kap.8.

1.2 Metod

Underlag till rapporten har tagits fram genom olika arbetsätt och metoder. Det mesta har varit av problembaserad karaktär, där information och kunskap har tagits fram efter de enkla direktiv som getts av kursprogram och kursansvarig.

I arbetets början gjordes ett objektsbesök på Bålsta center. Här studerades objektet i helhet och diverse mätningar av byggnadens geometri, golv- och takhöjd samt utgångarnas dimensioner dokumenterades. Efter resonemang och diskussioner kom författarna fram till tre brandscenarier, se kap 3. Dessa bedöms vara troliga samtidigt som de kan ge allvarliga konsekvenser för utrymmande personer.

Vid besöket gjordes även kontroll över utrymningsförhållanden, d.v.s. om utrymningsvägarna var fria, användbara etc. Viss information gavs också vid diskussion med Håbo räddningstjänst och personal på Bålsta center.

De tre valda brandscenarierna har legat som grund för det fortsatta arbetet. Med hjälp av simuleringsprogram gällande brandutveckling och utrymning samt egna handberäkningar har rimliga resultat och slutsatser arbetats fram.

Vid objektsbesöket uppmärksammades ett antal brister gällande utrymningssäkerheten vid brand. För att eliminera dessa brister samt förbättra utrymningssäkerheten ges förslag på åtgärder i slutet av arbetet, se kap 9.

1.3 Avgränsningar

Brandteknisk riskvärdering av Bålsta center innefattar endast personsäkerheten vid ett eventuellt brandtillbud. Rapporten begränsas till att kontrollera om kritiska förhållanden uppstår innan utrymning av byggnaden är slutförd.

En noggrann genomgång av ventilationssystemet har uteslutits då det saknas dokument och ritningar över det samma. Ventilationen har dock stor betydelse för brandgasspridningen och det bör tilläggas att inga antaganden om att ventilationen är tillfredsställande har antagits i

arbetet. Mellan de rum som ett och samma ventilationssystem betjänar riskerar brandgasspridning att ske om rummen och ventilationssystemet utgör gemensam brandcell. Vid sprinkleraktivering kommer dock den brandgasspridning som kan tänkas ske i byggnaden att begränsas p.g.a. sprinklernas kylande effekt. Trots detta kan det inte bortses ifrån ventilationen och samtidigt sägas att en konservativ bedömning görs. Viss spridning kan alltså komma att ske, men detta har det dock bortsetts ifrån i rapporten.

Försäkringskassan och ett datorföretag på våning 2 har uteslutits ur den brandtekniska riskvärderingen, för butiksplacering se bilaga A. Dessa utgör egna brandceller och förväntas ej påverka resultaten nämnvärt då endast ett begränsat antal personer med god lokalkännedom förväntas befinna sig i utrymmena.

Arbetet har också avgränsats i och med valet att endast studera tre brandscenarier. Dessa scenarier har valts då de anses vara troliga samtidigt som de förväntas ge relativt allvarliga konsekvenser jämfört med andra troliga bränder som kan tänkas drabba byggnaden. De allvarliga konsekvenserna som de valda bränderna förväntas ge i jämförelse med andra möjliga bränder beror på valet av deras placering och det material som antas brinna.

2 Objektsbeskrivning

I detta kapitel beskrivs staden Bålsta och dess räddningstjänst samt byggnaden och dess befintliga brandskydd.

2.1 Allmänt

Bålsta ligger 45 km nordväst om Stockholm och är en del av Håbo kommun. Invånarantalet uppgår idag till ca. 17 000 i kommunen¹. Bålstas invånarantal var inte särskilt högt fram till mitten av 1960-talet, då en expansion av bostadsbyggande och service inleddes². Numera följer utvecklingen i Bålsta Sveriges normala utveckling.

Näringslivet i Håbo kommun domineras av både små och medelstora företag.

Räddningstjänsten har en körsträcka på ca. 4 km till köpcentret. Dagtid är brandstationen bemannad och räddningstjänsten förväntas vara på plats inom 5 min. På kvällar och helger fungerar brandstationen som en deltidsstation varför insatstiden ökas till 10 min. Till dessa tider bör ytterligare 5 min läggas för att lokalisera brand och göra klart för insats.³

2.2 Byggnaden

Bålsta center är ett affärskomplex med ca. 30 st butiker och serveringar, se bilaga A. Köpcentret byggdes år 1975 och 1991 var en genomgripande om- och tillbyggnad färdig. Fasaden består av tegel och plåt på en stomme av betong. Taktäckningen är utförd i gummiduk på mineralull.

Bålsta center består av två våningsplan. Mellan den norra och södra huvudingången finns ett atrium som sträcker sig upp genom båda planen. I detta atrium finns rulltrappor och hiss upp till andra våningen. Bottenplanet inrymmer flera olika sorters affärer bl.a. för kläder, skor och leksaker. Dessutom ligger en till ytan stor ICA-affär, med öppen planlösning, i direkt anslutning till atriet. På andra våningen finns Intersport, Lindex, Försäkringskassan och ett datorföretag. Försäkringskassan och datorföretaget har det bortsetts ifrån i bedömningen då dessa ej förväntas påverka resultaten nämnvärt, för närmre motivering se kap 1.3.

I anslutning till köpcentret finns en kundparkering, ett sjuvåningsbostadshus med kontor på första plan, en skola, och en vårdcentral. Räddningstjänsten kan utan problem ta sig runt huset och brandposter finns utplacerade med jämna mellanrum.

Den totala ytan är 16 500 m², varav 12 000 m² på plan 1.⁴

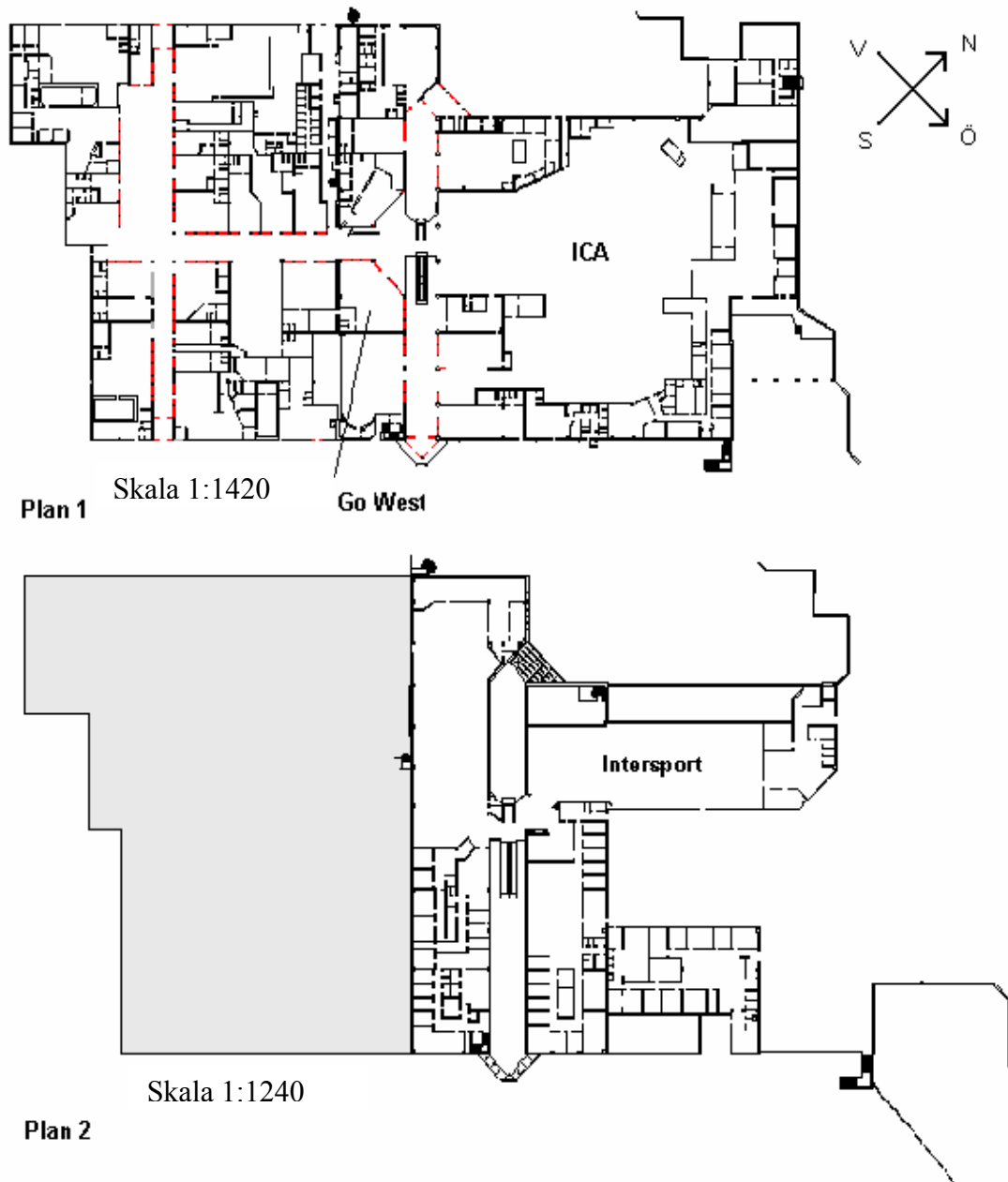
Nedan visas byggnadens plan 1 och plan 2, där tre butiker markeras. Dessa tre, Go West, ICA och Intersport, är markerade då de senare i arbetet kommer att vara de platser där tre troliga bränder uppstår, se kap 3. För ytterligare butiksplacering, se bilaga A.

¹ www.habo.se/insida.htm

² www.balstaguiden.com/kundsidor/haabo/index.html

³ Enligt samtal med Richard Westning, Håbo Räddningstjänst

⁴ Öst, J-E.



Figur 1: Bålsta Center

2.3 Utbildning av personal

I dagsläget har personalen ingen utbildning i brand- och utrymningssäkerhet. En "Manual för säkert centrum" har tryckts upp av ägaren Rodamco Sverige, och i denna finns information om brand- och utrymningssäkerhet. Om denna används eller ej är i rapporten inte utrett. I övrigt är det upp till varje butik att utbilda sin personal.⁵

⁵ Enligt samtal med fastighetsskötare Ove Holm, Rodamco AB.

2.4 Brandtillbud

Bålsta center har haft fyra brandtillbud varav två falsklarm från rökdetektorer. Vid de andra två tillfällena var det en kompressor i fläktrummet som börjat brinna p.g.a. tekniskt fel.⁶ Branden spred sig aldrig från startföremålet och släcktes med hjälp av befintlig vattenslang i fläktrummet. Brandkåren ventilerade ut röken.⁷



Bild 1: Kompressor i fläktrummet.

2.5 Besökare

Antalet besökare per dag i Bålsta center är en vanlig dag ca. 5000-9000 personer.⁸ Vid speciella tillfällen som julhandel och realisationer kan dock personantalet höjas markant.

2.6 Befintligt brandskydd

I detta avsnitt beskrivs byggnadens passiva och aktiva system.

2.6.1 Passiva system

Passiva system är permanenta byggnadstekniska lösningar som bidrar till ökad brandsäkerhet.

2.6.1.1 Brandcellsindelning

Bålsta center är i stort sett helsprinklat, vilket innebär att olika verksamheter finns i samma brandcell.⁹ Dock finns brandcellsgränser där osprinklade områden avskiljs från sprinklade, samt där utrymningsvägarna är säkrade.

Följande utrymmen utgör egna brandceller¹⁰ (se figur 2 för brandcellsindelning, plan 1 där de markeras med fetstil):

Plan 1:

- ICA:s kontor, omklädningsrum, wc och dusch
- Fläktrum vid ICA
- Utrymningskorridor vid ICA
- Kylt soprum på ICA
- Hiss och hissmaskinrum belägen vid fläktrum vid ICA
- Trapphus 101 vid ICA
- Före detta soprum, numera Lindex lager, belägen invid restaurang Bifrost
- Elcentral belägen invid restaurang Bifrost

Plan 3:

- Fläktrum

⁶ Enligt samtal med brandingenjör Richard Westning, Håbo Räddningstjänst.

⁷ SOS Alarmering

⁸ Statistik över besökare på Bålsta center, från Rodamco.

⁹ Öst, J-E.

¹⁰ Konstruktionsritningar.

2.6.1.2 Brandcellsskiljande konstruktioner

Brandcellsgränserna bedöms vara utförda i minst EI 30 (A30, obrännbart material). Trapphus 101 och hiss är utförd i EI 60 (A60). Dörrar som sitter i anslutning till brandcellsgräns är utförda i samma brandtekniska klass som väggen i övrigt. Dessutom är dessa dörrar utrustade med självstängare¹¹.

2.6.2 Aktiva system

I denna del presenteras objektets aktiva system såsom rökluckor och sprinklersystem.

2.6.2.1 Brandgasventilation

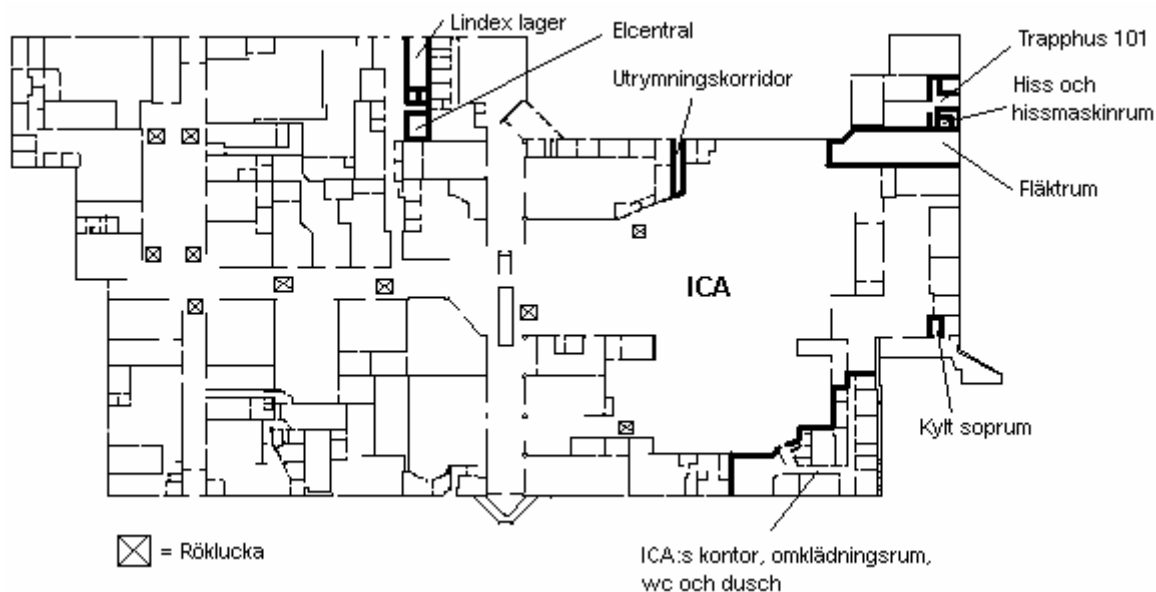
På plan 1 finns brandgasventilation, i form av rökluckor, monterade. Placeringen av dessa visas i tabell 1. Rökluckorna är ca. 1 m² stora och styrs manuellt från sprinklercentralen. De är avsedda att underlätta brandförsvarets insats och öppnas manuellt av räddningstjänsten. Hisschakt är inte försedda med brandgasventilation.

Tabell 1: Antalet brandgasluckor.

| Plats | Antal |
|-----------------------------|-------|
| ICA | 2 |
| Huvudatrie | 1 |
| Västra atriet | 5 |
| Passage mellan inomhusgator | 2 |



Bild 2: Röklucka, sedd från yttertak.



Figur 2: Brandcellsindelning och rökluckors placering på plan 1.

¹¹ Öst, J-E.

2.6.2.2 Ventilationssystemets inverkan på brandskyddet

Ventilationssystemet utvärderas ej ingående i rapporten p.g.a. bristande tillgång till ventilationsritningar. Ventilationssystemet är dock en viktig del vid skydd mot brand- och brandgasspridning. Som tidigare nämnts i kap 1.3, kommer dock ventilationssystemet påverka brandens konsekvenser. Stora delar av byggnaden utgör samma brandcell och spridning via ventilationen är därför trolig. Mängden brandgaser som sprids kommer förmodligen att vara begränsad vid brand i de stora och öppna utrymmena. Brandgaserna kommer där att ha lättare att tränga ut genom öppningar etc. istället för att tränga in i ventilationssystemet. Vid brand i mindre, stängda utrymmen kommer dock brandgasspridningen ske lättare genom ventilationssystemet då det kan bildas ett större övertryck i brandrummet.

Sprinklern minskar brandgasernas temperatur vilket innebär att vid en eventuell brandgasspridning via ventilationssystemet uppstår ej samma risk för brandspridning till angränsande rum som i fallet då icke kyllda brandgaser sprids.

Det är svårt att säga hur stor inverkan ventilationen har på resultatet då inga kvalitativa bedömningar kan göras. Det kan dock ej sägas att en konservativ bedömning gjorts då det bortses från ventilationssystemet.

2.6.2.3 Automatiskt brandlarm

I byggnaden är automatiskt brandlarm med utrymningslarm installerat. Syftet med larmet är att underlätta utrymningen samt att ge ett tidigt larm till räddningstjänsten.

Brandlarmet är kopplat till sprinkleranläggningen och detektion sker huvudsakligen genom denna. De delar som inte är försedda med sprinkler är försedda med rökdetektorer. Det finns även möjlighet för kunder och personal att manuellt aktivera brandlarmet genom att trycka på någon av de fyra larmknappar som finns utplacerade i byggnadens olika delar. Samtliga larm är vidarekopplade till räddningstjänsten. Centralapparaten för brandlarmet är placerad i anslutning till sprinklercentralen vid norra entrén.



Bild 3: Larmknapp.

2.6.2.4 Utrymningslarm

Utrymningslarmet består i nuläget av en tydlig signal som ska efterföljas av ett talat meddelande, vilket någon ur personalen talar ut i högtalarsystemet. Det finns dock inga rutiner för vem som är ansvarig för denna procedur. Mikrofonen finns i ett speciellt rum i västra delen av köpcentret.

2.6.3 Sprinkler

Sprinklersystemet finns i stort sett över hela centret. Sprinklerna aktiveras vid ca. 68°C och har ett ungefärligt RTI-värde på $220 \text{ m}^{0.5} \text{ s}^{0.5}$, se bilaga F. Sprinkleranläggningen är uppdelad i två sektioner, en för norra delen och en för södra delen. Det kommunala vattennätet står för vattenförsörjningen av sprinklersystemet.

2.6.4 Nödbelysning

Nödbelysning finns ej.

3 Beskrivning av valda brandscenarier

I detta kapitel beskrivs bakgrunden till valen av brandscenarier och hur respektive brandscenario ser ut.

3.1 Bakgrund till val av brandscenarier

Vid objektsbesöket beaktades byggnadens utformning och eventuella brandbelastning på ett par platser. Ett flertal troliga brandscenarier resonerades fram och geometri, brännbart material, lokalisering etc. noterades.

De möjliga brandscenierna som observerades var:

1. Brand i pappersbalar på ICA - skulle ge konsekvenser p.g.a. stort personantal i butiken.
2. Brand på café Valhall - skulle ge rökfyllnad i atriet.
3. Brand i klädställ vid entré på Go West - skulle ge rökfyllnad i atriet samt entrén blockerad av brand.
4. Brand i vinterjackor på Intersport - nödutgång skulle blockeras.
5. Brand i klädställ på Dressman - skulle ge konsekvenser p.g.a. hög brandbelastning.

Efter diskussioner och resoneringar mellan författarna uteslöts brand på café Valhall samt brand på Dressman. Detta motiveras med att café Valhall ligger mitt emot Go West och har bord och stolar av massivt trä som skulle vara mycket svårantändliga. Ett brandtillbud i caféet skulle inte ge lika stora konsekvenser som vid brand på Go West där även den enda ingången skulle blockeras av branden. Brand på Intersport och Dressman skulle ge i stort sett liknande konsekvenser, dock anses branden på Intersport ge ett värre brandscenario eftersom en av de två utrymningsvägarna skulle blockeras av branden. Med detta som grund uteslöts även brand på Dressman.

De valda brandscenierna skall ligga till grund för bedömningen av personsäkerheten vid brand på Bålsta center. Antalet dimensionerade brandscenarier är tre till antalet då detta anses vara tillräckligt med hänsyn till att de är troliga samtidigt som de representerar fall då konsekvenserna blir allvarliga jämfört med andra troliga bränder som kan drabba byggnaden.

De brandscenarier och händelseförlopp som har tagits fram har analyserats med hänsyn till antändning, tillväxt, skyddssystem och öppningar. Bedömningen att brandscenierna kan ge allvarliga konsekvenser grundas bland annat på butikernas höga brandbelastning, centrets relativt höga besökarantal samt brändernas placering.

Varje dag rör sig ett stort antal människor från olika sociala grupper i lokalerna. Med avseende på brand kan ett stort antal händelser inträffa i köpcentret, både p.g.a. den mänskliga och tekniska faktorn. Enligt statistik över brand i allmänna byggnader i Sverige år 2002 visar det att brandorsaken är anlagd brand i 25 % av fallen och tekniskt fel i 14 % av fallen.¹²

Val av antändningskälla i brandscenierna har baserats på statistik ovan, varför två av dem har antändningskällan anlagd brand och den tredje tekniskt fel. I butiken Go West sker anlagd brand i klädställning utanför entrén och på ICA sker anlagd brand i toalettpappersbalar mitt i

¹² www.srv.se/statistiktabeller

lokalen. På Intersport står en värmefläkt väldigt nära en vägg med ett stort antal upphängda jackor. Trolig antändningskälla till brand är därför tekniskt fel i värmefläkten.

3.2 Brandscenario 1 - Brand på ICA

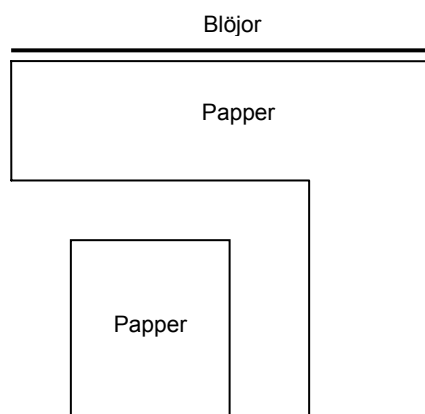
I detta kapitel förklaras brandscenariet på ICA ingående genom att beskriva brandens lokalisering samt den dimensionerade brandens tillväxt.

3.2.1 Beskrivning

Branden på ICA antas starta på pappersavdelningen i närheten av kassorna. Konsekvenserna av en brand förväntas här bli som värst eftersom branden kan komma att hindra viss utrymning genom kassorna, vilka är ett naturligt val av utrymningsväg. Branden startar p.g.a. anlagd brand. Pappret står lagrat dels på lastpallar på golvet och dels på hyllor runt pallen, se bild 4. Spridningsrisken från hyllorna till pallen i mitten anses vara stor p.g.a. det korta avståndet samt den höga strålningen, varför även pallen innefattas i brandarean. Hyllornas bakstycke avskiljer pappersavdelningen från blöjavedelningen och är gjorda av målade spånskivor samt direkt under tak av en röd plåtskiva. Bakstycket bidrar marginellt till brandens effektutveckling då avbrinningshastigheten för trä är långsam och då mängden trä är relativt liten i förhållande till pappersmängden. Däremot kommer bakstycket att hindra brandens spridning till blöjavedelningen under begränsad tid. Vid en eventuell spridning till blöjavedelningen skulle effektutvecklingen ökas ytterligare. Detta bedöms dock ej ske, med hänsyn till den röda plåt som sitter direkt under taket vilken hindrar flamspridning samt att byggnaden är sprinklad. Sprinklern kommer att aktiveras före det att bakstycket har tappat sin avskiljande förmåga.

3.2.2 Effektutveckling

Brandarean på pappersavdelningen beräknas innefatta maximalt ca. 9 m². Papperslagret antas brinna med en lika stor effektutveckling per kvadratmeter som fulla postsäckar då dessa består av liknande material samt är luftigt packade. Effektutvecklingen per kvadratmeter är då 400 kW/m².¹³ Detta resulterar i en maximal effektutveckling på 3,6 MW.



Figur 3: Översikt pappersavdelningen på ICA.



Bild 4: Brandplats på ICA.

¹³ Karlsson, B. och Quintiere, J.

Pappret antas brinna enligt en snabb (fast) αt^2 -kurva upp till maxeffekt. Rekommendationen är att använda ultra fast tillväxt för köpcenter, men det påpekas också att detta endast är förslag och hänsyn bör tas till känsligheten av valet genom ingenjörsmässiga bedömningar.¹⁴ Ultra fast brand anses dock vara väl tilltagen tillväxthastighet för den tänkta branden. Detta grundas dels på att byggnaden är sprinklad, vilket innebär att valet av så snabb tillväxthastighet som möjligt inte är det mest konservativa valet, då det leder till att sprinklern aktiveras i ett tidigare skede. Tanken är att dimensionera branden efter det material som finns på platsen samtidigt som bedömningen skall vara konservativ. Det beslutas därför att den dimensionerade branden skall tillväxa enligt en fast tillväxthastighet. Att branden tillväxer enligt en αt^2 -kurva beror på att det har visats att bränder ofta följer detta samband för att sedan anta en maximal effektutveckling¹⁵

Branden kommer inte att bli ventilationskontrollerad under någon del av brandförloppet vilket visas med hjälp av beräkningar i bilaga B 1. I diagram 1 visas den dimensionerade effektutveckling som branden på ICA kommer att följa. Denna kurva används som indata i brandförloppsimuleringen i programmet CFAST för att få fram tiden till sprinkleraktivering.

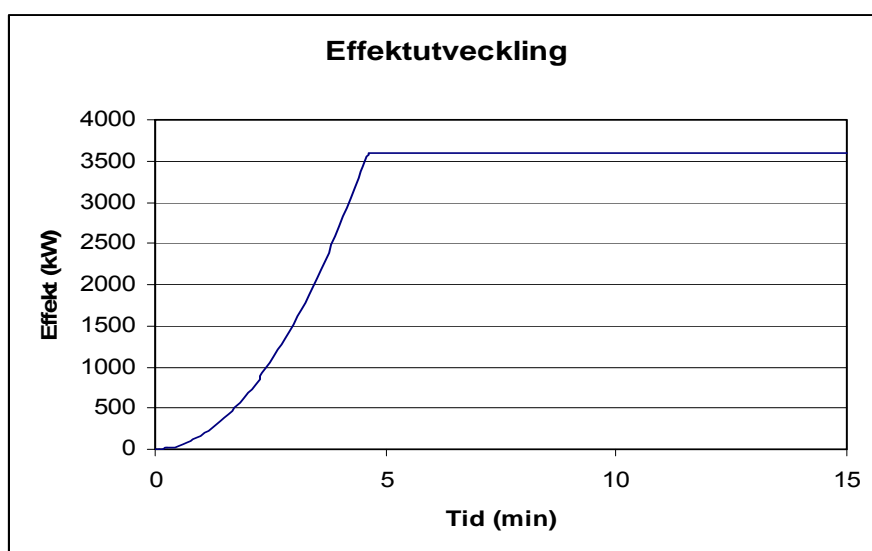


Diagram 1: Den dimensionerande brandens effektutveckling på ICA.

3.3 Brandscenario 2 - Brand på Intersport

I detta kapitel förklaras brandscenariet på Intersport ingående genom att beskriva brandens lokalisering samt den dimensionerade brandens tillväxt.

3.3.1 Beskrivning

Butiken säljer sportartiklar och kläder. På några av väggarna hänger det kläder och jackor från golv till tak. På väggen vid nödutgången hänger jackor, och framför nödutgången står en värmebläkt placerad. Lokalen är stor och rymlig med breda gångar mellan klädställen.

¹⁴ Karlsson, B. och Quintiere, J.

¹⁵ Holmstedt, G. och Nilsson, D.



Bild 5 och 6: Värmebläktens placering på Intersport.

3.3.2 Effektutveckling

Den dimensionerade branden på Intersport antas starta genom att en fläkt, belägen bredvid en vägg på vilken det hänger jackor, överhettas. En av jackorna antänds och branden sprids snabbt utmed väggen. Som dimensionerande brand för detta brandscenario har en α^2 -kurva med tillväxthastigheten fast-ultrafast använts, där $\alpha = 0,1185 \text{ kW/s}^2$ vilket motsvarar ett α -värde mellan 0,047 och 0,19 (vilka är värdena för fast respektive ultrafast effektutveckling).

Att branden tillväxer enligt en α^2 -kurva beror på att det har visats att bränder ofta följer detta samband för att sedan anta en maximal effektutveckling.¹⁶

Rekommendationen är att använda ultra fast tillväxt för köpcenter, men det påpekas också att detta endast är förslag och hänsyn bör tas till känsligheten av valet genom ingenjörsmässiga bedömningar.¹⁷ Ultra fast anses dock vara väl tilltagen tillväxthastighet även för brandscenario två. Detta grundas dels på att byggnaden är sprinklad, vilket innebär att valet av så snabb tillväxthastighet som möjligt inte är det mest konservativa valet då det leder till att sprinklern aktiveras i ett tidigare skede. Tanken är att dimensionera branden efter det material som finns på platsen samtidigt som bedömningen skall bli konservativ. Valet av tillväxthastighet minskas därför något men inte fullt så långt som i brandscenario ett. Detta p.g.a. att brandspridningen på Intersport sker både horisontellt och vertikalt längs en vägg.

På väggen hänger som mest ca. 100 jackor, vilka antas ge en maximal effektutveckling på ca. 3 MW. Enligt utförda strålningsberäkningar, se bilaga B 2, antänds närstående kläder. Den maximala effektutvecklingen kan då uppgå till 3,5 MW och uppnås efter ca. 170 s. Valet av maxeffekt grundar sig på ett experiment där 110 jackor antändes och gav en maximal effektutveckling på ca. 3,5 MW.¹⁸ Väggen på vilken jackorna hänger antas ej bidra till ökad effektutveckling då den består av betong klädd med svårantändlig tunn, hård och oporös träpanel.

¹⁶ Holmstedt, G. och Nilsson, D.

¹⁷ Karlsson, B., och Quintiere, J.

¹⁸ Johansson, B.

Syretillgången i butiken är stor och kommer därför ej att begränsa branden, vilket styrks med hjälp av beräkningar i bilaga B. Nedan visas i diagramform den dimensionerade effektutveckling branden på Intersport kommer att följa. Denna kurva används som indata i brandförloppsimuleringen i programmet CFAST för att få fram tiden till sprinkleraktivering.

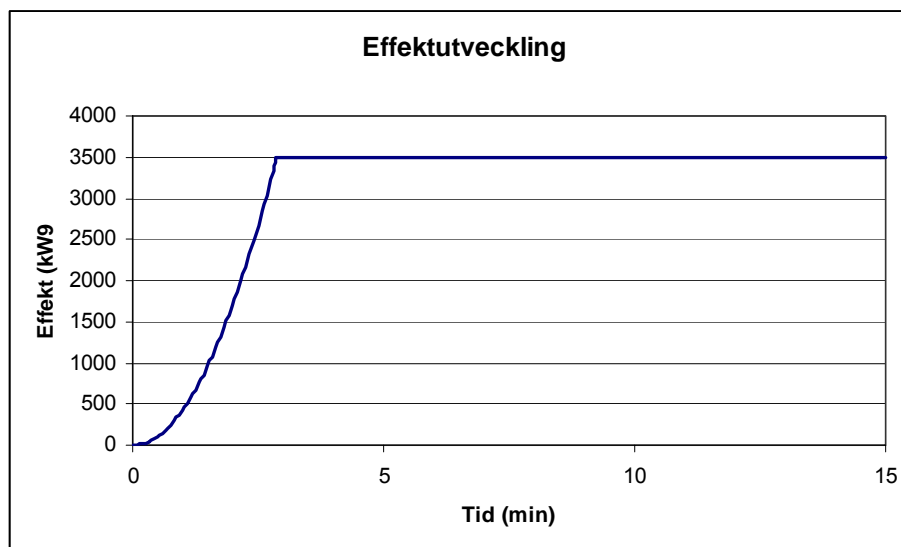


Diagram 2: Den dimensionerande brandens effektutveckling på Intersport.

3.4 Brand på Go West

I detta kapitel förklaras brandscenariet på Go West ingående genom att beskriva brandens lokalisering samt den dimensionerade brandens tillväxt.

3.4.1 Beskrivning

Längs skyltfönsterna samt i butikens enda utrymningsväg står klädställ, se bild 7. Branden antas starta i det klädställ som står precis utanför butikens entré, och sprider sig sedan vidare till angränsande klädställ. En trolig brandorsak är anlagd brand.

Butiken har en relativt liten yta varför personantalet förväntas vara begränsat. Om sprinklerna, av okänd anledning, ej skulle aktivera vid brand kan utrymning från butiken Go West omöjliggöras då butiken endast har en utrymningsväg, samt utrymning från närliggande butiker/café försvåras.



Bild 7 och 8: Klädställ utanför respektive inne på Go West.

3.4.2 Effektutveckling

Den dimensionerande branden antas tillväxa exponentionellt med tiden, enligt en α^2 -kurva. Detta p.g.a. att det har visats att bränder ofta följer detta samband för att sedan anta en maximal effektutveckling.¹⁹ Branden förutsätts tillväxa med ett α -värde på $0,0295 \text{ kW/s}^2$. Detta motsvarar ett α -värde som ligger mellan $0,012$ och $0,047 \text{ kW/s}^2$ (vilka är värden för medium respektive fast effektutveckling). Detta värde anses rimligt då branden här kommer att spridas långsammare än på Intersport där en vertikal spridning sker. Några exakta värden hos tillväxthastighet för klädställ har ej kunnat tas fram. En madrass bestående av bomull och polyester brinner dock med en medium tillväxt, och dessa material stämmer överens med tänkbara klädmaterial i klädställen.²⁰ Tillväxthastigheten har sedan ökat något med hänsyn till rekommendationen att i köpcenter dimensionera efter en ultrafast tillväxthastighet.

Maximala effektutvecklingen på Go West ansätts till $2,5 \text{ MW}$.²¹ Något som ytterligare styrker den ansatta effektutvecklingen är det experimentet som nämndes i kap 3.3.2. där en brand i 110 jackor gav en maxeffekt på $3,5 \text{ MW}$. Då mängden klädesplagg som brinner på Go West är färre är det rimligt med en maxeffekt som understiger $3,5 \text{ MW}$. Maximal brandeffekt kommer att uppnås efter knappt fem minuter, se bilaga B 3, och förblir därefter konstant. Eftersom branden startar i gångstråket utanför butiken kommer syretillgången att bli obegränsad.

Nedan visas i diagramform den dimensionerade effektutvecklingen branden på Go West kommer att följa. Denna kurva används som indata i brandförloppsimuleringen i programmet CFAST för att få fram tiden till sprinkleraktivering

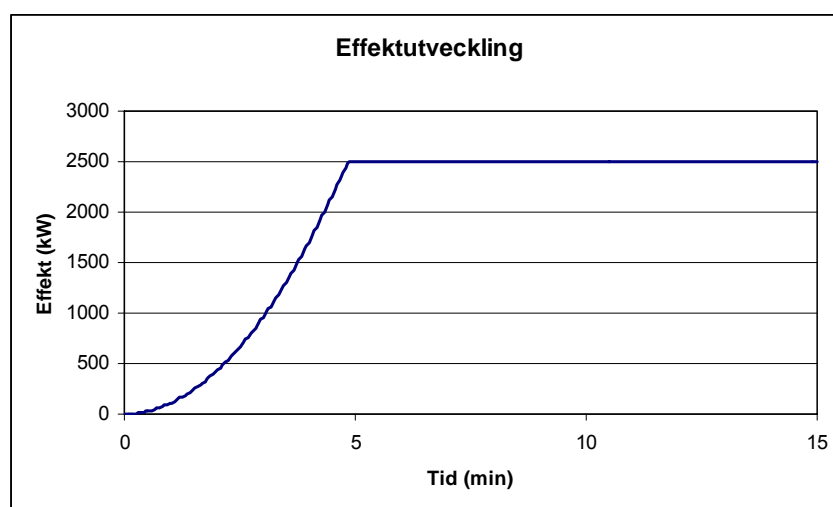


Diagram 3: Den dimensionerande brandens effektutveckling utanför Go West.

¹⁹ Holmstedt, G. och Nilsson, D.

²⁰ Karlsson, B., och Quintiere, J

²¹ Abrahamsson, M.

4 Utrymning

I detta kapitel beskrivs allmän teori gällande utrymning såsom mänskliga reaktioner samt grundläggande begrepp gällande utrymning.

4.1 Mänskliga reaktioner

Vid dimensionering av utrymningsvägar, gångavstånd och bredder, är det viktigt att tänka på att utrymning är en obekant handling under förhållanden som är onormala, samtidigt som det finns ett hot. Många faktorer gör att det inte är så lätt att utrymma en lokal. Allt från ålder, kön och fysisk förmåga hos personerna till byggnadens belysning, utrymningslarm samt brandens värme- och brandgasproduktion spelar stor roll. Utrymning skall ske innan tiden för kritiska förhållanden uppnås.²² Kritiska förhållanden innebär inte att utrymningen helt upphör och att folk svävar i livsfara, utan att utrymningen ej längre kan ske på ett säkert och tillfredsställande sätt.

De flesta besökarna på Bålsta center befinner sig på nedre plan, då övre plan endast innefattar två butiker. Utrymning kommer försvåras p.g.a. de många småbutikerna vilka gör att översiktbarheten av lokalen försämras samtidigt som den totala ytan är stor. För rullstolsbundna finns det bara ett sätt att ta sig ned från övre plan, och det är med hiss. Denna får dock ej användas vid brand, vilket medför att de rullstolsbundna personerna behöver hjälp i rulltrappan och då ev. orsakar köbildning. Rulltrapporna stannar vid detektion av brand. Dagligen besöks köpcentret av människor i alla åldrar, både av personer som har god lokalkännedom och av personer med sämre. Eftersom Bålsta center är det enda köpcentret i Bålsta, kan antagande om att de flesta besökarna kommer dit regelbundet och känner till byggnaden väl göras. Större delen av personerna antas vara kapabla att själva ta sig ut ur byggnaden, dock måste förekomsten av handikappade och ev. alkoholpåverkade personer vägas in.

Utrymningsprocessen består av tre delmoment vilka tar olika lång tid:

- varseblivning
- reaktion och beslut
- evakuering

4.1.1 Varseblivningstid

Varseblivningstid är den tid det tar för människorna i byggnaden att bli varse om att brand uppstått. Varseblivningstiden varierar beroende av bl.a. personernas ålder, tidigare erfarenhet, personalens agerande vid brand och byggnadens larmsignal. Kortast varseblivningstid erhålls oftast om automatiskt utrymningslarm i form av talat meddelande finns installerat. Ytterligare en faktor som kommer att påverka varseblivningstiden är situationen i de utrymmen där höga hyllor eller dylikt försämrar möjligheten att se brand/rök.

Automatiskt utrymningslarm i form av sirener finns installerat, dock finns inget talat meddelande installerat. Vid fara skall istället någon av personalen, via högtalarsystem, ge ett talat meddelande. Detta är dock en relativt omständlig process för att göra människorna i

²² Abrahamsson, M.

byggnaden varseblivna om brand. Först skall någon av personalen uppmärksamma brand, ta sig till mikrofonen och sedan tala meddelandet. Proceduren kommer att förlänga varseblivningstiden. I många fall drar sig personalen också för att starta utrymningsprocessen, eftersom det vid falsklarm skulle ge konsekvenser i form av minskad försäljning och skrämda kunder etc. som de ej vill ta ansvar för.

4.1.2 Reaktions- och beslutstid

Reaktions- och beslutstiden är den tid det tar för människorna i byggnaden att påbörja utrymning från det att de fått kännedom om brand. Denna tid varierar stort från situation till situation p.g.a. att människor ofta väntar på att få mer information eller tills de själva har sett brand eller rök. I vissa fall försöker de även släcka branden och rädda andra innan utrymning sker.²³

Reaktions- och beslutstiden kan förkortas om t.ex. personal utbildas och övas för dessa situationer, samt om ett förinspelat röstmeddelande som ger tillfredsställande information om situationen finns. Många av köpcentrets besökare kommer dit i sällskap med någon eller i grupp, t.ex. föräldrar och barn, vilket medför att de vid brandsituation ofta letar efter varandra innan de tar sig ut.

4.1.3 Evakueringstid

Evakueringstiden är den tid det tar för människorna i byggnaden, från att de börjat utrymma tills det att de befinner sig ute i det fria eller på annan säker plats. Tiden det tar att utrymma beror bl.a. på hur personerna är fördelade i byggnaden och deras hjälpbehov. Ofta vill människor vid utrymning ta sig ut samma väg som de kom in. De är då medvetna om vad som finns utanför byggnaden och att den vägen tar dem till en säker plats. En okänd utgång ger inte samma trygghet. Detta medför att många av människorna i köpcentret ej kommer att välja närmsta vägen ut.

4.2 Bålsta centers utrymningsvägar

I detta kapitel beskrivs de befintliga utrymningsvägarna från plan 1 och plan 2, och visas i bild 4 och 5.

4.2.1 Butiker på plan 1

Från butiker (med undantag för ICA) på nedre plan, sker utrymning via något av de fem entrépartier som leder till det fria. Största delen av människorna i byggnaden tar sig in i byggnaden genom södra huvudentrén. Detta kan vid utrymning skapa problem, eftersom människor instinktivt vill ta sig ut samma väg de kom in. Utrymningsväg direkt ut till det fria finns även i Brio-butiken och på restaurang Bifrost.²⁴ Vid objektsbesöket var dock utrymningsvägen på Brio blockerad av ett dockhus samt utrymningskorridoren från Dressman delvis blockerad av ett klädställ.

²³ Shields, T.J. och Boyce, K.E.

²⁴ Öst, J-E.

4.2.1.1 ICA

Utrymning via utrymningsvägar till det fria sker via ingången ut till någon av de stora entréerna i atriet, från butik genom kontor till yttre dörr, från butik genom lager och kontor till yttre dörr samt från butik via avskild passage till yttre dörr. Utrymning kan även ske genom kassorna och vidare genom atriet ut till det fria. På ICA:s lager finns tejpmarkeringar på golvet för att leda utrymmande personer till utrymningsvägarna. Vid objektsbesöket var markeringarna dock vilseledande och ledde på vissa ställen in i en vägg. Det bör också uppmärksammas att utrymningsvägen från lagret till kontoret, var blockerad av diverse lös inredning.

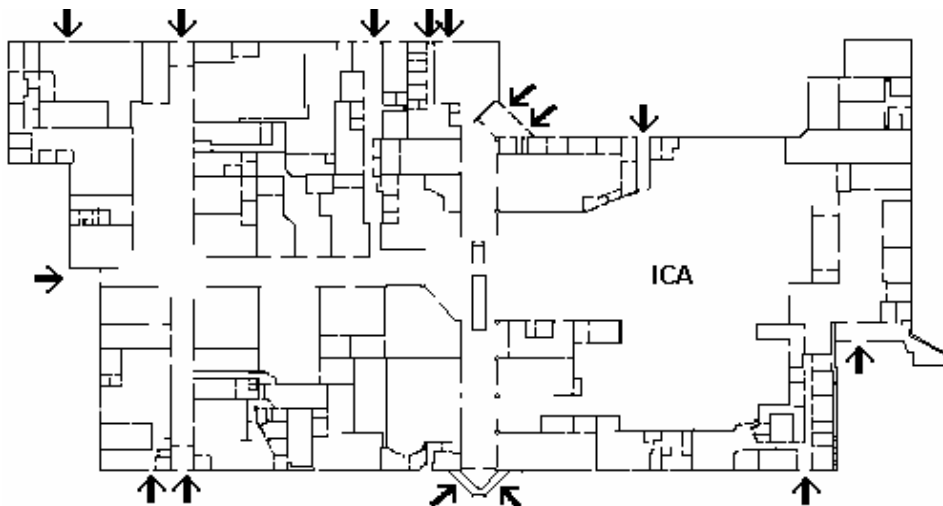
4.2.2 Butiker på plan 2

4.2.2.1 Intersport

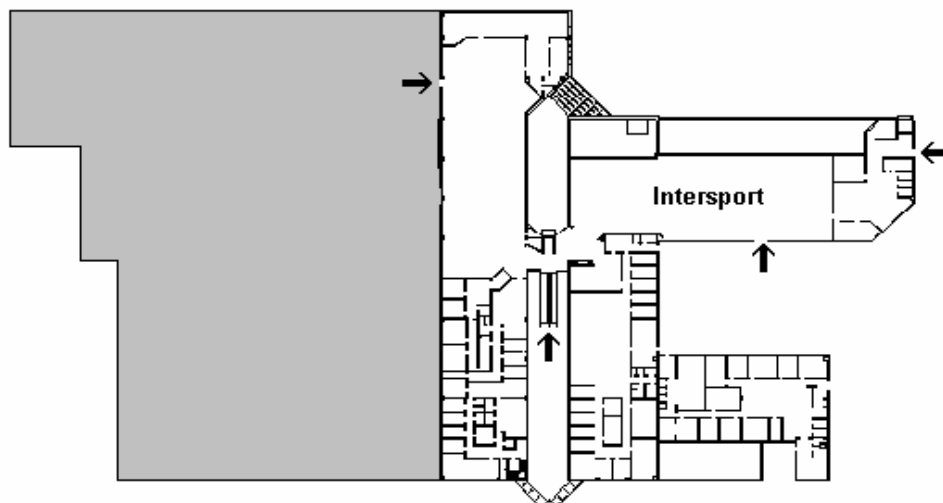
Utrymning från Intersport sker antingen via butiksentré och rulltrappa till plan 1 och därefter till det fria, eller via dörr ut över tak och vidare till mark via utvändig spiraltrappa. Vid objektsbesöket uppmärksammades att den gallerdörr som finns vid trappans nedre del ej hade tillfredsställande funktion. Låset var trögt vilket medförde att dörren var svåröppnad. Rulltrappan är dock, som ovan nämnts, ett problem för handikappade. Dessutom är det viktigt att gångvägen på taket under vintertid snöröjs samt i övrigt hålls fri från löv etc. Anmärkning på dörr ut över tak bör göras, då denna vid objektsbesöket var blockerad av en värmefläkt.

4.2.2.2 Lindex

Utrymning från Lindex ut till det fria sker via butiksentré och trappa till markplan, eller via dörr ut över tak och vidare till mark via utvändig trappa. Även här krävs underhåll av gångväg på tak.



Figur 4: Utrymningsvägar på plan 1.



Figur 5: Utrymningsvägar på plan 2.

4.3 Utrymningssimulering

I denna del redovisas hur utrymningen av Bålsta center kan modelleras med hjälp av simuleringsprogrammet Simulex samt resultat av denna. För vidare information om programmet hänvisas läsaren till bilaga E.

4.3.1 Personfördelning

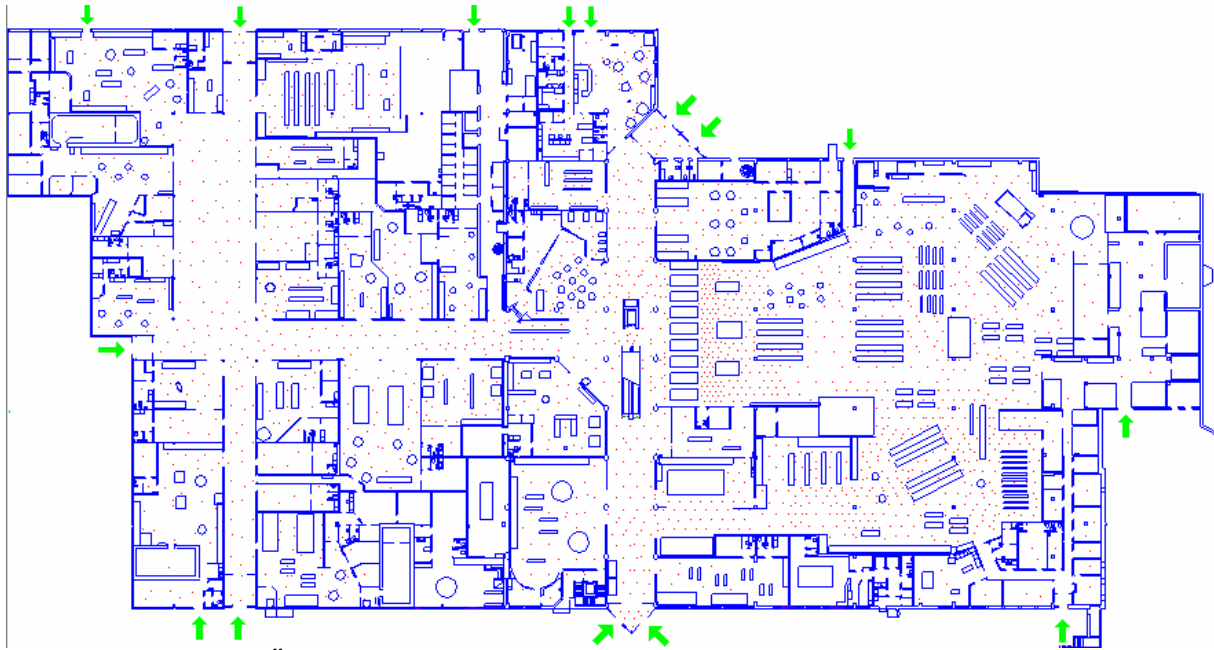
Antalet personer som samtidigt vistas i köpcentret är ett medelvärde mellan en dag med högt antal besökare och en dag med normalt antal, vilket resulterar i ca. 2000 personer. Ett exempel på en dag med stort antal besökare är t.ex. under julhandeln då ca. 3000 personer passerar in/ut genom huvudingångarna, medan det en vanlig dag är ca. 1000 personer.²⁵ Mätutrustningen kan ej ange från vilket håll personerna passerar varför 2000 personer blir ett konservativt och rimligt antagande. I tabell 2 visas antaganden om hur dessa personer är fördelade i centret. Denna fördelning är använd i utrymningssimuleringen.

Tabell 2: Personfördelning i byggnaden.

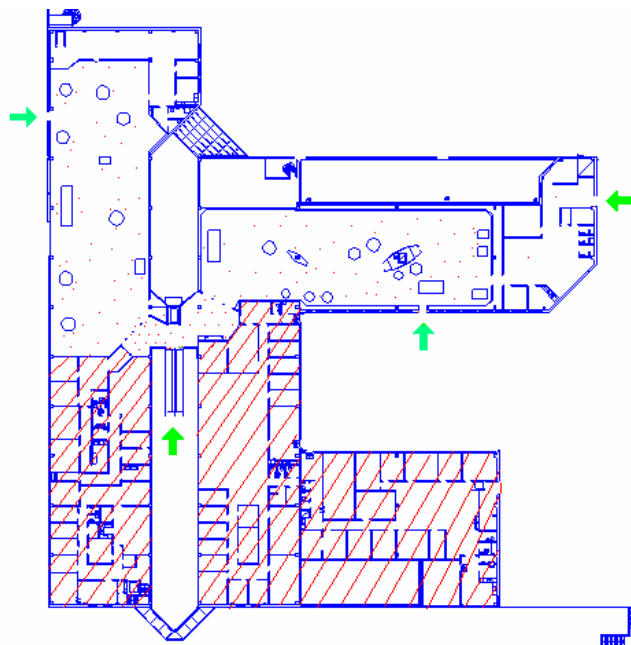
| | | | |
|--------------------------------|----|----------------------------|----|
| A small world (barnkläder) | 20 | Intersport | 50 |
| Abattes kemtvätt sko & nycklar | 5 | Just in (kläder) | 20 |
| Apoteket | 50 | Lindex | 50 |
| Briobutik (leksakeraffär) | 30 | Lyssna & njut (radiobutik) | 30 |
| Bålsta optik | 15 | Mahzone sy & inredning | 5 |
| Café Valhall | 40 | Nordea | 30 |
| Centrum blommor | 15 | Randi foto & ur | 10 |
| Dressman | 35 | Restaurang Bifrost | 60 |
| Etos (presentartiklar) | 30 | SEB | 30 |
| Glas & porslin | 20 | Skandia mäklaren | 5 |

²⁵ Statistik över besökare på Bålsta center, Rodamco.

| | | | |
|---------------------------|-----|-----------------------|-----|
| Go West (kläder) | 20 | Skoparet (skoaffär) | 20 |
| Godishjärtat (godisbutik) | 25 | Smycka (guldsmed) | 15 |
| Highlight (kläder) | 30 | Systembolaget | 60 |
| Hårteam (frisör) | 5 | Widgars parfym & väsk | 15 |
| Hälsotek och Thébutik | 10 | Gångstråk | 450 |
| ICA | 800 | | |



Figur 6: Översikt över personfördelning på våning 1 innan utrymning startat.



Figur 7: Översikt över personfördelning på våning 2 innan utrymning startat.

4.3.2 Gånghastighet och reaktionstid

I simuleringen har samtliga personer fått en slumpmässig gånghastighet och responstid efter vilken karaktär som valts. De flesta personerna är kunder och har en given gånghastighet enligt programmet och responstid beroende på placering i byggnaden. Gånghastigheten ges som 1,5 m/s och responstiden ligger mellan 1-5 min, med en standard avvikelse på $\pm 0,5$ m/s respektive $\pm 15-30$ s. Med en standardavvikelse som en normalfördelning blir det en bra spridning på variationen. Resterande personer i centret är personal. Dessa har en större kunskap om utrymningsvägar än kunderna och får på så sätt en snabbare gånghastighet som ligger på 1,5 m/s med samma standardavvikelse som ovan. Utvalda personer, t.ex. restauranggäster, har även fått fördröjd responstid på 15-25 s i jämförelse med de andra personerna eftersom dessa är upptagna med sin mat. Föremål och fasta inventarier har utplacerats som hinder under simuleringen för att efterlikna verkliga förhållanden.

4.3.3 Allmän simulering

Den första utrymningssimuleringen är en allmän simulering som syftar till att visa var flaskhalsar uppkommer och hur lång tid det skulle ta att utrymma 2000 personer från Bålsta center utan blockerade utrymningsvägar och lång responstid. Simuleringen visar hur lång tid det tar att utrymma centret med de befintliga utrymningsvägar som centret är dimensionerat för.

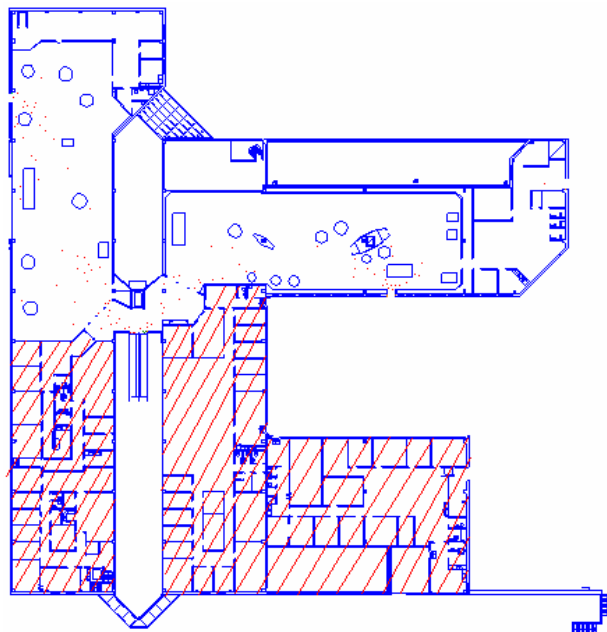
Simuleringen ger en ungefärlig ram för hur lång tid det uppskattningsvis skulle ta att utrymma centret vid t.ex. ett bombhot.

Utrymningen av centret tog enligt simuleringen 3 min. och 30 s. Tiden börjar då den första personen reagerar och påbörjar utrymning. Vid ett verkligt brandscenario kan det antas genom konservativ bedömning att varseblivningstiden och responstiden för första personen är ca. 5 min, vilket resulterar i en utrymningstid på 8-9 min. Efter 5 min. antas någon ha tryckt på en av de manuella larmknapparna eller att en mindre brand har nått det stadiet att detektorn larmar. (Detektortiden för de valda brandscenarierna ligger på drygt 2 min.). Annars blir utrymningstiden ännu längre vid ett sådant fall. I indatan valdes att majoriteten av personerna i köpcentret väljer huvudingångarna före de nödutgångar som finns i butikerna. Flaskhalsar uppkommer vid utgångarna i atriet och vid nödutgången på ICA, vilket främst beror på det stora personantal som utrymmer via dessa vägar.



Figur 8: Översikt våning 1 när utrymning startat.

Utrymning av våning 2 tar ca. 6 min och den enda kö som har betydelse är den som uppstår vid rulltrappan ner till bottenvåningen. En fördel är dock att rulltrapporna vid larm stängs av, vilket gör att utrymmande personer även kan använda den rulltrappa som i vanliga fall går uppåt. Personerna som utrymmer till vån 1 hamnar i köerna vid utgångarna i atriet.



Figur 9: Översikt våning 2 när utrymning startat.

4.3.4 Simulering vid brand på valda scenarier

Vid brandscenarier på Intersport och Go West blockeras en av utrymningsvägarna, och på ICA kan utrymning störas eftersom branden befinner sig i närheten av kassorna. Utrymmande

personer tvingas därför, om möjligt, välja andra utrymningsvägar än den ev. närmsta. Personer i närheten av branden kommer att reagera tidigare än personer som befinner sig i andra delar av centret då dessa reagerar först då utrymningslarmet aktiveras eller då de ser andra personer utrymma. Utrymningen, i de valda brandscenarierna, påbörjas därför ej samtidigt i centrets samtliga delar. Personerna i byggnadens västra del blir dock aldrig påverkade av kritiska förhållanden eftersom de väljer att utrymma via det mindre atriet i den västra delen istället för via huvudatriet. Vid den tid de blir varseblivna om att utrymningslarmet beror på ett brandtillbud blir valet att utrymma genom huvudatriet oattraktivt p.g.a. det stora antal utrymmande personer som finns där samt eventuella brandgaser.

Det avgörande för den totala utrymningstiden för hela byggnaden är varseblivnings- och reaktionstiden för de personer som befinner sig i byggnadens västra del. I vissa fall hinner en stor del av personerna i den östra delen utrymma innan de som befinner sig i byggnadens västra del. Det som är viktigt i avseende på utrymning är dock att personer som befinner sig i de brandpåverkade delarna av byggnaden hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår. Dock måste det tilläggas att de flaskhalsar som uppstod i det allmänna fallet bildas på samma ställe även i brandscenariefallen fast i mindre skala.

4.3.4.1 Brandscenario 1 - Brand på ICA

När det brinner i toalettpappersbalarna på ICA försvåras utrymningen genom kassorna och ingången. Detta beror främst på att personantalet är så pass stort i butiken och att branden ligger i nära anslutning till kassorna som är ett naturligt val av utrymningsväg. Personerna ser branden under ett tidigt stadium och börjar utrymma snabbare än de andra personerna på centret hinner reagera. Branden i pappersbalarna tillväxer snabbt och besökare tvingas välja en utrymningsväg på betryggande avstånd från den. Detta leder till att de två största utgångarna blir delvis blockerade. Köerna ut från butiken via dessa två utgångar minskar en aning, vilket gör att personer i huvudatriet kan utrymma snabbare. En del av personerna i butiken tvingas utrymma genom nödutgången vid charken eller bli visade av personal ut till det fria via nödutgång på kontor/lager. En del av personerna kan även på betryggande avstånd utrymma genom ingång och kassorna. Utrymningstiden för de berörda delarna blir drygt 5,5 min. Anledningen till att tiden blir något kortare än i det allmänna fallet beror på de minskade köerna i huvudatriet. Dels beror detta på den snabba reaktionstiden för personerna på ICA i jämförelse med andra delar av centret och dels på valet av utrymningsväg. I alla simuleringar är det dessa köer som begränsar utrymningstiden, se figur 8. Hela byggnaden är utrymd efter drygt 8min. Detektorn larmar efter drygt 2,5 min.

4.3.4.2 Brandscenario 2 - Brand på Intersport

Nödutgången i Intersport är obrukbar p.g.a. en brinnande värmebläkt som blockerar den samt strålning från brinnande jackor. Personerna i butiken tvingas välja mellan de andra två vägarna ut istället. Eftersom personantalet bara antas vara 50 st. i affären bildas inga direkta köer vid rulltrapporna, se figur 9. Resultatet blir att förhållandena inte blir mer kritiska än i fallet med tre utvägar och tiden för utrymning av de påverkade delarna blir ca. 6 min. Tiden beror på att personer på undervåningen har svårt att uppfatta en brand på övervåningen och inte börjar utrymma förrän detektorn larmar och personer på övervåningen börjar komma ner från rulltrapporna. Köerna vid huvudutgångarna i atriet är de som påverkar tiden negativt. Personerna inne på Lindex uppfattar branden en aning senare än de inne på Intersport då de

inte direkt ser branden medan de inne på Intersport i ett tidigt stadie börjar utrymma. Hela byggnaden är utrymd efter 9min. Detektorn larmar efter 2 min.

För att säkra utrymningen ytterligare bör någon av personalen visa kunder ut till det fria via utrymningsvägen genom lagret.

4.3.4.3 Brandscenario 3 - Brand utanför Go West

Vid brand i klädställen på Go West blir utrymningstiden för de påverkade delarna liknande som vid brand på ICA, ca. 6 min, (förutsatt att personerna hinner ut ur butiken innan ingången blockeras av brand). Personerna inne i butiken och runt omkring upptäcker branden direkt, medan andra personer först reagerar när detektorn larmar.

Detta beror på att branden är svår att upptäcka för personer inne i de andra butikerna i centret. Tiden blir dock något längre än vid brand på ICA då personerna uppfattar branden senare i detta fall än när branden var belägen på ICA. Det är i huvudsak personerna inne på ICA som skapar kö vid huvudingången, se figur 8. Hela byggnaden är utrymd efter 9min. Detektorn larmar efter drygt 2 min.

4.3.5 Resultat

Nedan visas tiden tills utrymning är slutförd för det allmänna fallet och för respektive brandscenario.

Tabell 3: Tid till utrymning.

| Förutsättning | Detektionstid (min) | Varseblivningstid och reaktionstid majoritet (min) | Utrymningstid av påverkade delar (min) | Utrymningstid hela byggnaden (min) |
|------------------------------|--------------------------------------|--|--|------------------------------------|
| 2000 personer (allmänt fall) | När någon aktiverar utrymningslarmet | 5,0 | 8,5 | 8,5 |
| Brand på ICA | 2,8 | 3,0 | 5,5 | 8,5 |
| Brand på Intersport | 2,0 | 2,5 | 6,0 | 9,0 |
| Brand på Go West | 2,2 | 3,0 | 6,0 | 9,0 |

De flesta personer väljer att utrymma via huvudingångarna. Minoriteten av kunderna samt personalen väljer att ta andra utvägar och nödutgångar. Detta beror på att dessa utgångar är färre och svårare att lokalisera än de stora huvudingångarna. Effekten blir snabbt köer vid huvudingångarna som hindrar personer från alla delar av centret att ta sig ut, se figur 8. Huvudingångarna är enda vägen ut från vissa delar av byggnaden. Personer som använder de andra utvägarna kommer snabbare ut än de som väljer huvudingångarna. Framst beror flaskhalsarna på det stora personantalet på ICA och i den delen av centret i jämförelse med andra delar. Det beror på att södra huvudingången ligger ut mot parkeringen. Sannolikt har besökare kommit in på centret genom denna ingång och har sin bil parkerad på parkeringen utanför. Utrymningen från våning 2 går snabbt eftersom rulltrapporna stängs av vid brand och att båda sidorna kan användas för utrymmande personer mot bottenvåningen.

4.3.6 Felkällor

Den största felkällan i Simulexsimuleringen är antaganden gjorda av handhavaren. Största delen av indatan i programmet grundas på statistik, erfarenhet och egna åsikter. Parametrarna som införs är bl.a. personantal och egenskaper. Ett ökat antal personer och fördröjd responstid ger naturligt längre utrymningstid. Utplacerade hinder har också en stor betydelse för vilken väg som väljs av programmet.

Noggrannhet vid rensning eller ritning av 2D-bilden av byggnaden är viktig. Ytterligare en felkälla som bör tas upp är programmets begränsningar angående hur många distanskartor programmet klarar av att bearbeta samtidigt. En distanskarta anger avståndet till en vald utgång i alla delar i byggnaden. Begränsningen ligger vid tio ingångar, vilket leder till att i de fall då fler än tio ingångar finns måste flera av dem sammankopplas till en och samma distanskarta. På så sätt fås inte samma variationsmöjligheter, vid ett stort som vid ett mindre objekt, att bestämma var personerna ska utrymma.

4.3.7 Slutsats

Åtgärd för att få en snabbare och säkrare utrymning är att få personalen att visa fler kunder till de mindre utgångarna. Köerna kommer då att minska och utrymningen gå snabbare. På Go West skulle en eventuell brand vid ingången eventuellt stänga in kunderna i butiken och ingen utrymning är möjlig. För besökare på restaurangerna krävs en tydlig och bestämd uppmaning att lämna lokalen för att minska reaktionstiden. Personer med serverad mat är ofta ovilliga att lämna den.²⁶ Som det är nu hamnar kunderna på restaurangen längst bak i kön vid utgångarna. Vid snabbare reaktionstid skulle de kunna vara tidigt ute och fylla ut tomrummet i början då personer från andra delar av köpcentret ännu ej nått utgången.

²⁶ Föreläsning med Håkan Frantzich.

5 Bedömning av brandförlopp

I detta kapitel beskrivs begreppet kritiska förhållanden och vad det har för kriterier. Resultatet från simuleringarna i programmet CFAST redovisas för att ge en bild av hur lång tid det tar för objektets olika delar att få kritiska förhållanden vid de dimensionerade bränderna. För närmare beskrivning av programmet CFAST och de beräkningar som där utförts hänvisas till bilaga C.

5.1 Kritiska förhållanden

För att utrymning skall kunna ske under acceptabla förhållanden måste nedanstående kriterier uppfyllas:

- Temperaturen får ej överstiga 80 °C där utrymmande personer befinner sig.
- Strålningsnivån får ej överstiga 2,5 kW/m²
- Brandgaslagret höjd får ej understiga 1,6+(0,1*h), där h är höjden mellan golv och tak.
- Sikten skall ej understiga 10 m, motsvarande 1 obscura.
- Toxiciteten får ej bli högre än nedanstående kriterier
 - CO < 2000 ppm
 - CO₂ < 5 %
 - O₂ > 15 %

Den kritiska brandgaslagerhöjden är inte kritisk om dess temperatur, sikt eller toxicitet ej är kritisk. Denna jämförelse är därför nödvändig för framtagning av samtliga kritiska faktorer. Först åskådliggörs brandgaslagrets höjd (det övre lagrets höjd i CFAST) och när den beräknas vara på den kritiska nivå då utrymningen ej längre kan ske. Vid denna tid kan utrymning dock fortfarande ske om innehållet i det övre brandgaslagret ej innehar kritiska förhållanden. Detta värde måste därför jämföras med den tid då kritisk temperatur, sikt eller toxicitet uppstår i övre lagret. Först vid den tidpunkten då någon av ovan nämnda faktorer är kritiska är förhållandet i rummet kritiskt för utrymning. Utrymningen beror därför ej endast på den simulerade brandgaslagerhöjden utan alla faktorer spelar roll och måste jämföras med varandra. Utrymningen kommer dock att påverkas av det övre lagrets höjd då människor inte gärna utrymmer genom rök trots att kritiska förhållanden ej råder i brandgaslagret. En jämförelse i kap. 6 görs därför även mellan tid till utrymning och det övre lagrets höjd, trots att det inte är kritiskt alla gånger, för att på så sätt kontrollera i hur stor grad detta kan komma att påverka utrymningen.

5.1.1 Kritisk rökfyllnad

För att beräkna kritisk rökfyllnad har formeln 1,6+(0,1*H) använts. Brandgaserna får ej understiga denna höjd. Kritisk höjd i atriet för personer på våning 2 är ej densamma som för personer på våning 1. Kritisk höjd måste beräknas från respektive vånings golvnivå. Detta leder till att för våning 2 har den kritiska höjden beräknats genom att först beräkna kritisk brandgaslagerhöjd för våning 2 (där H är atriets höjd från våning 2) och sedan lägga till höjden på våning 1, för att få H därifrån.

Det resultat som ges av föregående formel har legat till grund för att ta ut tid till kritiska förhållanden i CFAST. Endast de första 15 minuterna efter att branden startat har undersökts. Denna tid anses vara tillräcklig eftersom utrymning har slutförts och räddningstjänstens insats

påbörjats. Tabell 4-9 visar en sammanställning av resultaten från beräkningar av kritiska förhållanden. I vissa fall inträffar inte kritiska förhållanden inom denna tid, detta är då märkt med "-" i tabellerna.

5.1.2 Kritisk toxicitet

Ur utrymningssimuleringen fås tid till utrymning för respektive butik. Vid denna tidpunkt avläses CO, CO₂ och O₂-halten i CFAST. Kritiska förhållanden gällande toxiciteten hade dock ej vid denna tidpunkt uppnåtts i någon del av centret. Därför redovisas toxiciteten ej i den sammanställande tabellen.

5.1.3 Kritisk sikt

För att beräkna sikten används programmet CPLOT, för tillvägagångssätt, se bilaga C. Sikten i det övre och det undre lagret simuleras sedan var för sig. Detta innebär att sikten för samtliga lager tas fram och jämförs med kritisk brandgaslagerhöjd.

5.1.4 Kritisk temperatur

För att undersöka tid till kritisk temperatur avlästes resultat från CFAST.

5.2 Diskussion kring CFASTs giltighet vid sprinkleraktivering

Något som programmet CFAST ej tar hänsyn till är att brandgaserna vid sprinkleraktivering rörs om och fyller större delen av rummet. Det övre och undre lagrets tjocklek i resultatet efter sprinkleraktivering är därför ej korrekt. Tvåzonsmodellen är ej då längre giltig. Det tas ej heller någon hänsyn till vattnets kylande effekt av brandgaserna. I simuleringarna och därmed i resultaten har detta påverkat så till vida att några utdata för brandrummet ej redovisats då dessa ej är tillförlitliga. Sprinklern har även viss effekt på omgivande rum, resultaten från dessa redovisas men är dock något osäkra. De faktorer som talar för att resultatet är konservativt är bl.a. att temperaturen i brandgaslagret blir högre i simuleringen än i verkligheten. Siktförhållandena blir däremot sämre, den termiska stigkraften minskar hos de kylda brandgaserna. Sprinklerns omrörning försämrar även sikten.

5.3 Resultat kritiska förhållanden

I detta kapitel visas resultat från CFAST-simuleringarna i form av diagram för respektive brandscenario.

För zonindelning se bilaga C 2.2-2.4.

5.3.1 Brandscenario 1 - Brand på ICA

Nedan visas tid till kritiska förhållanden i tabellform för brand på ICA. Tid då kritiska förhållanden uppstår har markerats med grått.

Tabell 4: Tid (min) till kritiska förhållanden på ICA, med sprinklern aktiverad vid tiden 170 s.

| Zon | Brandgaslagrets höjd | Temperatur | Sikt |
|---------|---|------------|------|
| 1 övre | 12,5 | - | 7,0 |
| 1 undre | | | - |
| 2 övre | 7,0 | - | 8,5 |
| 2 undre | | | - |
| 3 övre | 11,0 | - | 3,0 |
| 3 undre | | | - |
| 4 övre | - | - | 2,0 |
| 4 undre | | | - |
| 5 övre | Brandrummet uppfyller inte tvåzonsmodellen då sprinklern aktiverats | | |
| 5 undre | | | |
| 6 övre | - | - | 2,0 |
| 6 undre | | | - |
| 7 övre | - | - | 2,5 |
| 7 undre | | | - |

Kritiska förhållanden uppstår vid tiden 12,5 min. i zon 1, 8,5 min. i zon 2 och 11,0 min. i zon 3.

5.3.2 Brandscenario 2 - Brand på Intersport

Nedan visas tid till kritiska förhållanden i tabellform för brand på Intersport. Tid då kritiska förhållanden uppstår har markerats med grått.

Tabell 5: Tid (min) till kritiska förhållanden på Intersport, med sprinklern aktiverad vid tiden 135 s.

| Zon | Brandgaslagrets höjd | Temperatur | Sikt |
|-----------------|---|------------|------|
| 1 övre | 6,5 | - | 0,5 |
| 1 undre | | | - |
| 2 övre | 7,0 | 2,0 | 0,5 |
| 2 undre | | - | - |
| 3 övre | Brandrummet uppfyller inte tvåzonsmodellen då sprinklern aktiverats | | |
| 3 undre | | | |
| 4 övre | 5,0 | - | 3,0 |
| 4 undre | | | - |
| 5 övre | 6,5 | - | 2,0 |
| 5 undre | | | - |
| 6 övre | 7,5 | 1,5 | 0,5 |
| 6 undre | | - | - |
| Atriet fr vån 1 | - | - | - |

Kritiska förhållanden uppstår vid tiden 6,5 min. i zon 1, 7,0 min. i zon 2, 5,0 min i zon 4, 6,5 min. i zon 5 och 7,5 min. i zon 6.

5.3.3 Brandscenario 3 - Brand utanför Go West

Nedan visas tid till kritiska förhållanden i tabellform för brand utanför Go West.

Tabell 6: Tid (min) till kritiska förhållanden utanför Go West, med sprinklern aktiverad vid tiden 135 s.

| Zon | Brandgaslagrets höjd | Temperatur | Sikt |
|-----------------|---|------------|------|
| 1 övre | 5,5 | - | - |
| 1 undre | | | |
| 2 övre | Brandrummet uppfyller inte tvåzonsmodellen då sprinklern aktiverats | | |
| 2 undre | | | |
| 3 övre | 4,5 | - | - |
| 3 undre | | | |
| 4 övre | 4,5 | - | - |
| 4 undre | | | |
| 5 övre | - | - | - |
| 5 undre | | | |
| 6 övre | 3,0 | - | - |
| 6 undre | | | |
| Atriet fr vån 2 | 1,5 | - | - |

Kritiska förhållanden uppstår inte då sprinklern aktiverat vid brand utanför Go West. Utrymning kan ske trots att brandgaslagrets höjd är lågt.

5.4 Felkällor

Med avseende på de förenklingar som gjorts finns det vissa självklara felkällor. Geometrin på zonerna stämmer ej överens med verkligheten, då programmet endast hanterar rektangulära zoner. Eftersom CFAST gör beräkningar för respektive zon, kan detta medföra att brandgaslagrets höjd varierar stort mellan de olika zonerna. Vid avläsning av resultaten är det svårt att se vilken höjd som är den mest verklighetstrogn, varför resultaten måste avläsas med försiktighet.

Tvåzonsmodellen utgår från att rumsvolymen delas in i ett kallt och ett varmt lager. Modellen stämmer först då temperaturskillnaden är 30°C.²⁷ Denna skillnad uppnås sällan i simuleringarna p.g.a. att vissa zoner är belägna på ett stort avstånd från brandzonen.

Vid sprinkleraktivering blandas brandgaser med övrig luft vilket innebär att zonen i stort sett blir rökfylld. Detta tas ingen hänsyn till i CFAST. Istället kvarstår tvåzonsskiktning, vilket innebär att det övre lagrets höjd inte påverkas av sprinklerns omrörning.

I simuleringarna aktiveras sprinklern efter viss tid, vilket leder till att effektutvecklingen minskar för att slutligen helt upphöra. Det är dock konservativt med avseende på sikt, temperatur etc. att låta branden fortskrida ytterligare ett tag. Effektutvecklingen manipulerades därför manuellt genom att reduceras till hälften vid tidpunkt för

²⁷ Abrahamsson, M.

sprinkleraktivering och därefter hållas konstant, se bilaga C diagram 4-6.²⁸ Endast de reducerade effektutvecklingskurvorna redovisas, ty det är de som legat som grund för simuleringarna.

Inte heller någon hänsyn till vattnets kylande effekt av brandgaserna tas.

De faktorer som talar för att det är konservativt att ej ta hänsyn till vattnets kylande effekt är bl.a. att temperaturen i brandgaslagret blir högre i simuleringen än i verkligheten.

Siktförhållandena blir dock sämre då den termiska stigkraften hos de kylda brandgaserna minskar. Sprinklernas omrörning försämrar även den sikten. Siktberäkningar som utförts i programmet kan därför ej anses tillförlitliga i brandrummen.

²⁸ Föreläsning med Fredrik Nystedt.

6 Känslighetsanalys

I detta kapitel görs känslighetsanalyser av både CFAST-simuleringarna och Simulex-simuleringarna.

6.1 Känslighetsanalys av CFAST

I denna del beskrivs enkelt tillvägagångssätt och resultat i tabellform för känslighetsanalyserna gjorda för CFAST-resultaten.

6.1.1 Dubblerad effektutveckling och ändring av tillväxthastighet

För att undersöka känsligheten i valda parametrar dubblades den dimensionerande effektutvecklingen i samtliga brandscenarier. I programmet CFAST aktiveras sprinklern vid en viss temperatur oavsett maxeffekt. Detta innebär att de slutgiltiga effektkurvorna ej påverkas av vald maxeffekt.

Ändring av tillväxthastigheten påverkade ej heller resultaten nämnvärt.

6.1.2 Sprinkler aktiveras ej

Tyngden i känslighetsanalysen har lagts på om sprinklern fungerar eller ej. För samtliga scenarier har dimensionerande effektutvecklingskurvor simulerats i CFAST utan sprinkleraktivering. Detta resulterade i att tiden till kritiska förhållanden minskade markant.

På ICA uppstår kritiska förhållanden snabbare och i större delar av butiken, likaså på Intersport och Go West då sprinkler ej aktiveras. Detta medför att utrymning ej kan slutföras innan kritiska förhållanden uppstår.

6.1.3 Resultat

Toxiciteten har ej inkluderats i känslighetsanalysen. Detta p.g.a. att den i princip aldrig uppnår kritiska förhållanden. Endast i ett scenario uppgår den till kritiska förhållanden. Det är inne i Intersportbutiken efter ca. 13 min, då sprinklern ej aktiveras. En jämförelse är därför överflödig i känslighetsanalysen. Dessutom är centret utrymt inom 13 min.

Tiden till utrymning är ej densamma i fallet med respektive utan sprinkler. Detta beror på att personer som befinner sig på platser där de varken kan se branden eller se andra personer som påbörjat utrymning får en längre responstid. Utrymningslarmet startar nämligen vid sprinkleraktivering.

Nedan redovisas i tabellform en jämförelse mellan tid till kritiska förhållanden med och utan sprinkler, samt tiden tills utrymning av respektive zon är slutförd. Då kritiska förhållanden uppstår markeras det med grått i tabellerna. De rutor som är helt gråmarkerade visar tiden då kritiska förhållanden uppstår med sprinkleraktivering, medan de rutor som är delvis gråmarkerade visar tiden utan sprinkleraktivering. Zoner markerade med kryss är de zoner där branden befinner sig vid sprinkleraktivering.

6.1.3.1 Brandscenario 1 - Brand på ICA

I tabell nedan redovisas tiderna till kritiska förhållanden i respektive zon vid brand i pappersbalar på ICA.

I det övre lagret i zon 1 blir temperaturen ej kritisk inom 15 min. i fallet utan sprinkleraktivering. Sikten blir kritisk efter 7,2 min, men brandgaslagrets höjd blir dock ej kritiskt förrän efter 8,2 min. vilket medför att det är brandgaslagrets höjd som är den avgörande parametern. På samma sätt avläses tabellen för de andra zonerna.

Vid fallet med sprinkler hinner ej brandgaslagret sjunka till kritisk nivå någon gång under utrymning. Utrymningen då sprinkler ej aktiveras kan dock vara längre än den redovisade utrymningstiden, eftersom utrymmande personer kan känna visst obehag för att utrymma genom rök.

Tabell 7: Tid (min) till kritiska förhållanden vid brand på ICA.

| Zon | Brandgaslagrets höjd | | Temperatur | | Sikt | | Utrymning | |
|---------|----------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| | med sprinkler | utan sprinkler | med sprinkler | utan sprinkler | med sprinkler | utan sprinkler | med sprinkler | utan sprinkler |
| 1 övre | 12,5 | 8,2 | - | - | - | 7,2 | 5 | 8 |
| 1 undre | | | | | - | - | | |
| 2 övre | 7 | 5,7 | - | - | - | 8,6 | 5,5 | 8,5 |
| 2 undre | | | | | - | - | | |
| 3 övre | 11 | 7,2 | - | - | 3 | 3 | 5 | 5 |
| 3 undre | | | | | - | - | | |
| 4 övre | - | 13,8 | - | 4,7 | 2,2 | 2,1 | 3,5 | 3,5 |
| 4 undre | | | | - | - | | | |
| 5 övre | X | - | X | 2 | X | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| 5 undre | | | | - | | - | | |
| 6 övre | - | - | - | 4,2 | 2,1 | 2,1 | 3,5 | 3,5 |
| 6 undre | | | | - | - | | | |
| 7 övre | - | - | - | - | 2,5 | 2,5 | 3,5 | 3,5 |
| 7 undre | | | | | - | - | | |

6.1.3.2 Brandscenario 2 - Brand på Intersport

I tabell nedan redovisas tiderna till kritiska förhållanden i respektive zon vid brand i jackor på Intersport.

I det övre lagret i zon 1 blir temperaturen kritisk efter 2,7 min. i fallet utan sprinkleraktivering. Sikten blir kritisk efter 0,7 min, men brandgaslagrets höjd blir dock ej kritiskt förrän efter 4,0 min. vilket medför att det är brandgaslagrets höjd som är den avgörande parametern. På samma sätt avläses tabellen för de andra zonerna.

Tiden till kritiska förhållanden sjunker markant då sprinklern inte aktiveras. Utrymningen hinner dock slutföras innan kritiska förhållanden uppstår.

Tabell 8: Tid (min) till kritiska förhållanden vid brand på Intersport

| Zon | Brandgaslagrets höjd | | Temperatur | | Sikt | | Utrymning | |
|------------------|----------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| | med sprinkler | utan sprinkler | med sprinkler | utan sprinkler | med sprinkler | utan sprinkler | med sprinkler | utan sprinkler |
| 1 övre | 6,8 | 4 | - | 2,7 | 0,7 | 0,7 | 1,5 | 1,5 |
| 1 undre | | | - | - | - | - | | |
| 2 övre | 7,2 | 4,4 | 2 | 2 | 0,5 | 0,5 | 2 | 2 |
| 2 undre | | | - | - | - | - | | |
| 3 övre | X | 5,2 | X | 1,7 | X | 0,4 | 1,5 | 1,5 |
| 3 undre | | | | - | | - | | |
| 4 övre | 5,4 | 4,1 | - | - | 3,2 | 2,9 | 2,5 | 2,5 |
| 4 undre | | | - | - | - | - | | |
| 5 övre | 6,5 | 4,5 | - | 3,1 | 2,1 | 2,1 | 2,5 | 2,5 |
| 5 undre | | | - | - | - | - | | |
| 6 övre | 7,8 | 4,7 | 1,8 | 1,8 | 0,5 | 0,5 | 1,5 | 1,5 |
| 6 undre | | | - | - | - | - | | |
| Atriet fr. vån 1 | - | 8,8 | - | - | - | - | 6 | 7 |

6.1.3.3 Brandscenario 3 - Brand utanför Go West

I tabell nedan redovisas tiderna till kritiska förhållanden i respektive zon vid brand i klädställ på Go West.

Tabell 9: Tid (min) till kritiska förhållanden vid brand på Go West.

| Zon | Brandgaslagrets höjd | | Temperatur | | Sikt | | Utrymning | |
|-----------------|----------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| | med sprinkler | utan sprinkler | med sprinkler | utan sprinkler | med sprinkler | utan sprinkler | med sprinkler | utan sprinkler |
| 1 övre | 5,5 | 3,8 | - | 4,8 | - | 3 | 1,5 | 1,5 |
| 1 undre | | | | - | | - | | |
| 2 övre | X | 5,6 | X | 2 | X | 1,8 | 1,5 | 1,5 |
| 2 undre | | | | - | | - | | |
| 3 övre | 4,5 | 3,3 | - | - | - | 3,5 | 1,5 | 1,5 |
| 3 undre | | | | | | - | | |
| 4 övre | 4,5 | 3,2 | - | - | - | 3,6 | 1 | 4,5 |
| 4 undre | | | | | | - | | - |
| 5 övre | - | 4,8 | - | 4,5 | - | 2,6 | 2,5 | 2,5 |
| 5 undre | | | | - | | - | | |
| 6 övre | 3 | 2,8 | - | - | - | 5,1 | 5 | 8 |
| 6 undre | | | | | | - | | - |
| Atriet fr vån 2 | 1,5 | 1,4 | - | - | - | 5,1 | 4 | 7 |

I det övre lagret i zon 1 blir temperaturen kritisk efter 4,8 min. i fallet utan sprinkleraktivering. Sikten blir kritisk efter 3,0 min, men brandgaslagrets höjd blir dock ej kritiskt förrän efter 3,8 min. vilket medför att det är brandgaslagrets höjd som är den avgörande parametern. På samma sätt avläses tabellen för de andra zonerna.

I fallet med sprinkler hinner brandgaslagrets höjd nå kritisk nivå i zon 6 och i atriet från våning 2 innan utrymningen är slutförd. Detta kan medföra något längre tid till slutförd

utrymning, men då det ej blir kritisk gällande sikt eller temperatur inom 15 min. bedöms utrymning kunna ske säkert. Vid fallet utan sprinkler kommer utrymning att fördröjas och tvingas utföras på ett otillfredsställande sätt p.g.a. höjden på brandgaslagret samt att kritiska förhållanden uppstår.

6.1.4 FDS-simulering

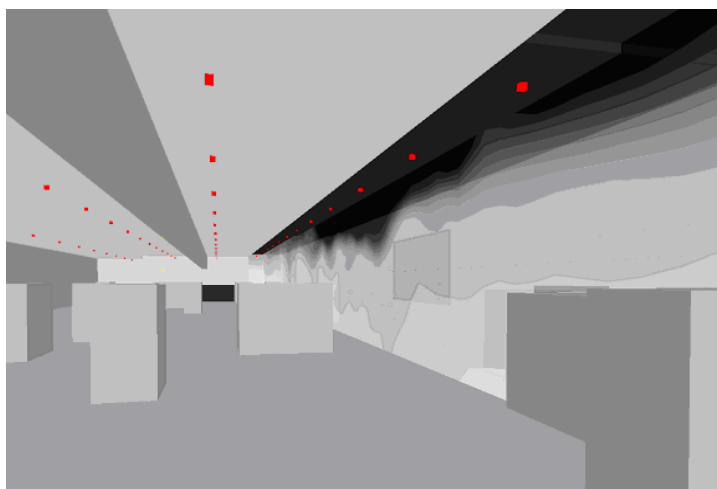
För att verifiera resultaten från CFAST valdes att göra en känslighetsanalys med programmet FDS. Dock har endast brandscenario 2, brand på Intersport, ingått i känslighetsanalysen. Valet av brandscenarier grundas på brandens placering, då den i detta brandscenario är placerad på väggen. I CFAST förekommer en förenkling som innebär att bränder alltid antas vara på golvnivå, detta förekommer ej i FDS utan där placeras branden på den verkliga brandplatsen. Ytterligare en anledning att välja FDS-simulering för brandscenario 2 är för att undersöka om en tvåzonsmodell verkligen uppstår med tanke på brandens placering. Vetskap finns om att FDS-simuleringarna ger mer korrekta värden än CFAST-simuleringarna då tvåzonsmodell ej uppstår, se bilaga D.

Simuleringar gjordes för fallen med respektive utan sprinkler.

6.1.4.1 FDS-simulering med sprinkleraktivering

Första sprinkler aktiveras efter 136 s. i FDS-simuleringen och efter 135 s. i CFAST-simuleringen. Kritiska förhållanden uppstår p.g.a. dålig sikt efter 2-5 min. enligt beräkningar i FDS, medan kritiska förhållanden uppstår efter 5-8 min. enligt beräkningar i CFAST, se tabell 8. Skillnaden beror på att CFAST ej tar hänsyn till sprinklernas omrörning av brandgaser, varför resultaten från CFAST bör tas med stor försiktighet gällande tid till kritisk sikt. För detaljerade resultat över FDS-simuleringar, se bilaga D tabell 21.

Bilden nedan visar, vid brand på Intersport efter 6 min., att då sprinkler aktiveras blandas varma och kalla brandgaser vilket medför att det ej längre är en tvåzonsmodell i rummet. De svarta partierna närmst taket representerar de varma brandgaserna och de ljusare partierna den svalare luften. Som synes finns ingen markant gräns mellan det övre och undre lagret, utan de är omblandade, d.v.s. ingen tvåzonsmodell finns.

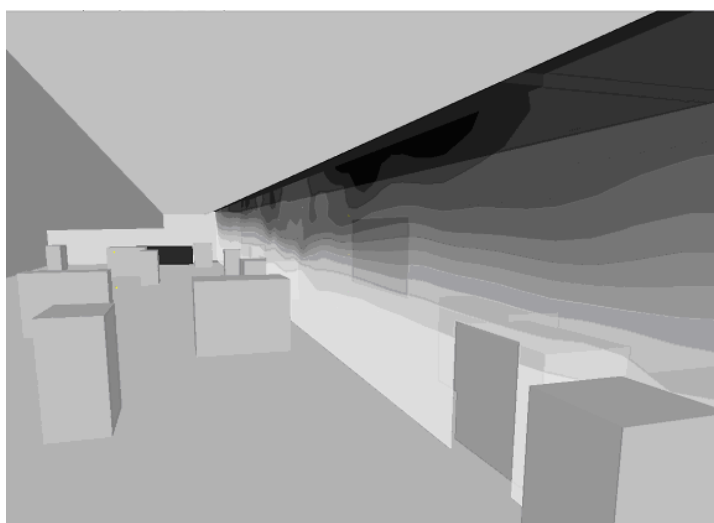


Figur 10: Temperaturprofil efter 6 min. vid brand på Intersport med sprinkleraktivering.

6.1.4.2 FDS-simulering utan sprinkleraktivering

Kritiska förhållanden uppstår p.g.a. dålig sikt efter 2-5 min enligt beräkningar i FDS, medan kritiska förhållanden uppstår efter 4-5 min enligt beräkningar i CFAST, se tabell 8. Skillnaden i resultaten utan sprinkleraktivering blir mindre än de med sprinkleraktivering. För detaljerade resultat över FDS-simuleringar, se bilaga D tabell 22.

Bilden nedan visar, vid brand på Intersport efter 6 min., att då sprinkler ej aktiveras blandas inte varma och kalla brandgaser. Detta medför att det grovt sett uppstår en tvåzonsmodell i rummet, d.v.s. resultaten från CFAST bör vara korrekta. De svarta partierna närmst taket representerar de varma brandgaserna och de ljusare partierna den svalare luften. Som synes finns en gräns mellan det övre och undre brandgaslagret, vid ungefär mitten av rummet, d.v.s. en tvåzonsmodell finns.



Figur 11: Temperaturprofil efter 6 min. vid brand på Intersport utan sprinkleraktivering.

6.2 Känslighetsanalys av utrymningssimulering

I denna del görs en känslighetsanalys genom att kontrollera det allmänna fallet, med 2000 personer, mot ett högre personantal, med 3000 personer.

6.2.1 Högre personantal

Då 3000 personer befinner sig i centret blir resultatet fler köer och mer trängsel. Detta har vid minst ett tillfälle inträffat.²⁹ Fler besökare väljer nu nödutgångar och de utgångar som endast personalen känner till eftersom köerna vid huvudutgångarna tvingar personer längst bak i kön att leta efter andra utrymningsvägar. Utrymningen tar istället 11 min mot drygt 8 min i det allmänna fallet med 2000 personer.

Detta motsvarar 3 min längre utrymningstid av de brandpåverkade delarna i byggnaden för de valda brandscenarierna på ICA (8,5 min), Intersport och GoWest (9,0 min).

²⁹ Statistik över besökare på Bålsta Center, från Häbo Räddningstjänst.

Vid jämförelse mellan tid till utrymning och kritiska förhållanden visas att alla även i detta fall hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår, se tabell 10-12.

Dock kan personer som befinner sig långt bak i kön vid brandscenariot på ICA komma under kritiska förhållanden innan utrymningen är avklarad om oförutsägbara incidenter inträffar.

7 Värdering av säkerhetsnivå

I detta kapitel värderas säkerhetsnivån vid utrymning med tid till kritiska förhållanden och utrymningstider som underlag.

7.1 Allmänt

Vid en brand kommer brandgaserna först fylla upp lokalen där branden befinner sig till en viss höjd och sedan leta sig ut i atriet. Brandgaserna kyls på vägen upp i atriet vilket medför att sprinklerna i atriet ej kommer att aktiveras. Brandgasluckorna öppnas manuellt och används endast för att underlätta räddningstjänstens arbete och kommer därför ej påverka brandförlopps- simuleringarna. Detta leder till att brandgaslagret ökar med tiden beroende på hur länge branden fortgår och när sprinklern inne i brandrummet aktiveras. Samtidigt som sprinklern minskar massavbrinningen kyler den också brandgaserna och pressar ner dem mot golvet. Detta beror på att den termiska stigkraften minskar med minskad temperatur och densitetsskillnad som i sin tur leder till minskad rörelsemängd. P.g.a. svårigheten att förutse hur siktbarhet kommer att se ut efter en sådan påverkan har den aspekten valts att bortses ifrån i brandrummet. Detta har ej stor betydelse eftersom personerna som utrymmer byggnaden vid sprinkleraktivering har hunnit så pass långt bort från branden att sikten ej är påverkad av omrörningen.

I beräkningen av varseblivningen och reaktionstiden för personerna är tiden beroende på var man befinner sig i byggnaden. Personerna kan ha olika svårt att upptäcka branden beroende på var de befinner sig i butikerna och på vilken våning. Utrymningstiden ändras beroende på var branden uppkommer. Resultaten visar att en brand är svårast att upptäcka på andra våningen eller om branden är skymd, eftersom den största delen av personerna befinner sig på första våningen. Längst tid tar det att utrymma om utrymningslarmet inte aktiveras vid en liten skymd brand, bombhot eller om larmet är ur funktion, vilket medför att någon måste trycka på en av larmknapparna. Dock kan detta allmänna fall anses vara ovanligt då hela byggnaden är sprinklad samt att en liten brand snabbt kan bekämpas med befintlig släckutrustning. Endast ett fåtal små bränder ger dessutom kritiska förhållanden så det påverkar utrymningen.

Vid bedömning av personsäkerheten på Bålsta center måste kraven för en säker utrymning uppfyllas vid alla tänkbara brandscenarier. Begränsningarna har satts till att titta på valda brandscenarier på ICA, Intersport och Go West som är troliga samt ger allvarliga konsekvenser i jämförelse med andra möjliga bränder.

I Simulex- och CFAST-simuleringarna har kravet för en säker utrymning främst begränsats av höjden på brandgaslagret, omgivningstemperatur, toxicitet och sikt. Kritisk strålningsnivå uppstår aldrig eftersom brandgaslagrets temperatur ej blir tillräckligt hög. Tid till kritiska förhållanden redovisas i jämförelse med tiden för utrymning, för att kunna ange om personerna i centret vid någon tidpunkt befinner sig i fara. Tid till kritiska förhållande har bestämts av den parameter som först blir kritisk.

I värderingen av säkerheten har endast den närmaste omgivningen kring branden samt atriet studerats. När brandgaserna transporteras bort från branden blandas luft in som kyler

brandgaserna. I andra delar av centret är brandgaserna utblandade och avkylda vilket då inte påverkar utrymmande personer till den grad att det uppstår fara.

7.2 Brandscenario 1 - Brand på ICA

Nedan redovisas i tabellform en jämförelse mellan tid till utrymning och tid till kritiska förhållanden. Tid för utrymning är den totala tiden för varseblivning, reaktion och förflyttning. För zonindelning se bilaga C, fig. 14-16.

Tabell 10: Jämförelse mellan tid till kritiska förhållanden och tid för utrymning vid brand på ICA.

| Zon | Tid till detektion (min) | Tid till varseblivning och reaktion (min) | Tid för utrymning totalt (min) | Tid till kritiska förhållanden (min) |
|------------------------|--------------------------|---|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1, Atriet vid kassorna | 2,8 | 2,0 | 5,0 | 12,5 |
| 2, Atriet vid ingången | 2,8 | 2,0 | 5,5 | 8,5 |
| 3, ICA entré | 2,8 | 2,0 | 5,0 | 11,0 |
| 4, ICA | 2,8 | 2,0 | 3,5 | - |
| 5, ICA, brandzon | 2,8 | 1,0 | 1,5 | - |
| 6, ICA | 2,8 | 2,0 | 3,5 | - |
| 7, ICA kassorna | 2,8 | 2,0 | 3,5 | - |

De brandpåverkade delarna är utrymda efter 5,5 min och hela byggnaden är utrymd efter 9,0 min. Detta medför att samtliga personer i byggnaden hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår. När räddningstjänsten anländer finns inga personer kvar i byggnaden.

7.3 Brandscenario 2 - Brand på Intersport

Nedan redovisas i tabellform en jämförelse mellan tid till utrymning och tid till kritiska förhållanden. Tid för utrymning är den totala tiden för varseblivning, reaktion och förflyttning. För zonindelning se bilaga C, fig. 14-16.

Tabell 11: Jämförelse mellan tid till kritiska förhållanden och tid för utrymning vid brand på Intersport.

| Zon | Tid till detektion (min) | Tid till varseblivning och reaktion (min) | Tid för utrymning totalt (min) | Tid till kritiska förhållanden (min) |
|------------------------|--------------------------|---|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1, Intersport | 2,0 | 1,0 | 1,5 | 6,5 |
| 2, Intersport | 2,0 | 1,0 | 2,0 | 7,0 |
| 3, Intersport brandzon | 2,0 | 1,0 | 1,5 | - |
| 4, Atriet fr. vån 2 | 2,0 | 1,5 | 2,5 | 5,0 |
| 5, Intersport entré | 2,0 | 1,5 | 1,5 | 6,5 |
| 6, Intersport | 2,0 | 1,0 | 1,5 | 7,5 |
| 7, Atriet fr. vån 1 | 2,0 | 3,0 | 6,0 | - |

De brandpåverkade delarna är utrymda efter 6,0 min och hela byggnaden är utrymd efter 9,0 min. Detta medför att samtliga personer i byggnaden hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår. När räddningstjänsten anländer finns inga personer kvar i byggnaden

7.4 Brandscenario 3 - Brand på Go West

Nedan redovisas i tabellform en jämförelse mellan tid till utrymning och tid till kritiska förhållanden. Tid för utrymning är den totala tiden för varseblivning, reaktion och förflyttning. För zonindelning se bilaga C, fig. 14-16.

Tabell 12: Jämförelse mellan tid till kritiska förhållanden och tid för utrymning vid brand utanför Go West.

| Zon | Tid till detektion (min) | Tid till varseblivning och reaktion (min) | Tid för utrymning totalt (min) | Tid till kritiska förhållanden (min) |
|----------------------|--------------------------|---|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1, Go West | 2,3 | 1,0 | 1,5 | - |
| 2, Go West, brandzon | 2,3 | 1,0 | 1,5 | - |
| 3, Go West | 2,3 | 1,0 | 1,5 | - |
| 4, Go West | 2,3 | 1,5 | 1,0 | - |
| 5, Gångstråk | 2,3 | 1,5 | 2,5 | - |
| 6, Atriet | 2,3 | 1,0 | 5,0 | - |

De brandpåverkade delarna är utrymda efter 5,0 min och hela byggnaden är utrymd efter 9,0 min. Detta medför att kritiska förhållanden ej uppnås innan utrymningen är slutförd. När räddningstjänsten anländer finns inga personer kvar i byggnaden.

Då branden finns vid ingången finns risk för att personer som befinner sig inne i butiken hindras från att ta sig ut genom ingången. Detta kan ske både vid och utan sprinkleraktivering.

8 Förslag till åtgärder

I kapitlet redovisas förslag till åtgärder för att öka personsäkerheten vid utrymning. Som underlag till förslagen jämförs utrymningssimuleringar, utförda med respektive utan förslagen åtgärd.

Nedan följer förslag på åtgärder som dels skall genomföras och dels bör genomföras. De krav som skall åtgärdas utgör en fara för utrymmande personer och kan ge förödande konsekvenser som vilseledning och svårframkomlighet vid ett ev. brandtillbud. De åtgärder som bör genomföras är endast en rekommendation från författarna för att öka säkerheten vid utrymning. Åtgärderna bör dock utföras då det skulle underlätta utrymningen avsevärt.

Samtliga krav/förslag står i prioritetsordning och riktas till ägaren och innehavaren. Räddningstjänstens nuvarande rutiner är tillfredsställande ur utrymningssynpunkt.

Åtgärder som skall utföras:

1. Lås skall smörjas eller bytas.

Spiraltrappan som går från taket ner till markplan, vilken används som utrymningsväg från andra våningen, har en dörr på marknivå. Låsvredet till denna skall bytas eller smörjas då det vid besöket ej hade tillfredsställande funktion.

2. Blockeringar skall avlägsnas.

De blockeringar av handbrandsläckare samt nödutgångar som på vissa ställen finns, måste tas bort. Ingen lös inredning får finnas i utrymningsvägarna. Vid objektsbesöket var utrymningskorridoren från Dressmanbutiken delvis blockerad, utrymningsväg från Intersport blockerad samt en av nödutgångarna på ICA:s lager blockerad, se bild 9-10.



Bild 9 och 10: Blockerad handbrandsläckare respektive nödutgång på ICA:s lager.

3. Nödbelysning skall finnas.

Nödbelysning finns ej i dagsläget. Istället finns utrymningsskyltar som lyser samt efterlysande markeringar i gångar och runt dörrar. Vid strömavbrott skall dock utrymning kunna säkerställas med avseende på belysning. Även i rulltrappan och längs utrymningsvägarna på taket skall det finnas nödbelysning.

4. Vilsledande markeringar på golv skall tas bort.

Genom ICA:s lager går utrymningsvägar markerade med tejp på golvet. Dessa markeringar stämmer dock ej alltid överens med de vägar utrymnande personer skall följa ut till det fria. För att utrymnings säkerheten skall vara tillräcklig skall vilsledande markeringar tas bort.

Åtgärder som bör utföras:

1. Förinspelat talat meddelande bör finnas.

Utrymningslarmet bör utgöras av ett informativt förinspelat talat meddelande. Nuvarande system där personal skall tala ett meddelande i mikrofon är bristfällig eftersom enskilda individer kan dra sig för att starta utrymning då det vid falsklarm ger konsekvenser av stora proportioner. Om detta installeras kommer varseblivnings- och beslutstid förkortas avsevärt. Såväl besökare som personal får tillräcklig information för att starta en utrymning i ett tidigt skede. Detta ger även personalen mer tid till att organisera en utrymning. Ett förinspelat talat, informativt meddelande är därför en bra och kostnadseffektiv investering.

2. Vidareutbildning av personal bör ske.

Personalen bör vidareutbildas i hur de skall agera vid brand. Ju bättre organiserad utrymning desto effektivare blir den. Personalen skall hänvisa besökare till närmsta nödutgång för att förhindra köbildning vid entréerna då detta är besökarnas naturliga val av utgång. En utgång är ej attraktiv om man inte vet vart den leder. Det har även visats att besökare fortare påbörjar utrymning och väntar inte på vidare information om de av personalen blir tillsagda att utrymma lokalen³⁰. I dagsläget finns endast broschyren "Manual för säkert center" som information för personalen.

3. Butiker med endast en utrymningsväg bör kompletteras med annan räddningsutrustning.

I de butiker där det endast finns en väg ut, bör en handbrandsläckare finnas i butiken. Ett annat alternativ, eller komplement, är att sätta in glashammare så att nödutrymning kan ske via glasväggar ut i gångstråket utanför. En brand vid butikens ingång, leder annars till att personer i butiken inte kan ta sig ut på annat sätt än att ta sig genom branden.

4. Utrymningsplaner bör upprättas.

Utrymningsplaner bör upprättas och anslås på lämpliga platser t.ex. vid varje entré samt på våning två. För personer som ej har vistats i centret innan och som ej är bekanta med lokalerna är utrymningsplanerna ett säkert sätt att få reda på var utgångarna finns samt vart de leder.

Resultatet av åtgärderna blir en snabbare och framförallt säkrare utrymning. Ju snabbare personerna kommer ut i det fria desto mindre risk har de att hamna under kritiska förhållanden. Den tid som skilde mellan utrymnings simuleringarna med respektive utan åtgärd var en halv till en minut.

³⁰ Föreläsning med Håkan Frantzich.

I tabell 13 visas tid till utrymning utan respektive med blockering, utbildning och förinspelat meddelande.

Tabell 13: Tid till utrymning.

| | Allmänna fallet, 2000 personer tid (min) | |
|-----------------------------------|---|------------|
| | Utan | Med |
| Blockering | 8,5 | 9,0 |
| Förinspelat meddelande | 8,5 | 7,5 |
| Utbildning | 8,5 | 8,0 |

9 Slutsats

I det stora hela är brandsäkerheten bra på Bålsta center. Byggnaden är sprinklad, vilket medför att en eventuell brand kommer att begränsas relativt snabbt och utrymning slutförs innan kritiska förhållanden uppstår. Utrymningsvägar är tillfredsställande i antal.

I de tre valda brandscenarierna kommer ej kritiska förhållanden att uppstå innan utrymning är avslutad. Detta förutsätter dock att besökare samt personal på Go West slår ner branden (då handbrandsläckare finns i butiken) eller hinner ut innan branden täcker ingången.

Vägledande markeringar är genomlysta eller belysta skyltar som är väl synligt placerade. Detta innebär att personer som befinner sig i byggnaden lätt kommer att hitta ut vid brandtillbud. Vägledande markeringar i ICA-butiken sitter på lagom höjd, vilket underlättar då varor är högt staplade. Även brandredskap är markerade med högt sittande skyltar. För att vägledande markeringar ska bli helt tillfredsställande måste dock utrymningsanvisningar på golvet på ICA:s lager ändras, se kap. 8.

Förslaget att installera ett förinspelat, talat utrymningsmeddelande medför en förkortad utrymningstid. Meddelandet bör vara informativt då det minskar tveksamheten hos personer som skall utrymma, såväl besökare som personal. Som tidigare nämnts är det en omständig process för personal att ta sig till mikrofonen, och vid brandtillbud bör utrymningsmeddelandet höras i högtalarna snarast efter det att brand uppstått. Om dessutom personalen är utbildad och kan hjälpa besökare vid kritiska situationer, kommer utrymningstiden att minska.

Utrymningsplanerna som bör upprättas i centret förutsätter att samtliga utrymningsvägar hålls fria och är i skick att använda. I de fall då utrymningsvägarna är helt eller delvis blockerade kommer tid för utrymning att öka och människor blir disorienterade. Det är därför av största vikt att de hålls fria. Likaså är det väldigt viktigt att lås på dörrar etc. är funktionsdugliga.

När de åtgärder som skall genomföras görs, blir utrymningssäkerheten i det stora hela bra. Dock bör det ej glömmas att det i vissa fall kan uppstå kritiskt läge, som t.ex. vid julhandel. I dessa fall är det viktigt att extra säkerhetsåtgärder genomförs, d.v.s. att även "bör-åtgärderna" blir genomförda.

Ett förinspelat utrymningsmeddelande, aktuella markeringar, fungerande dörrar, fria utrymningsvägar och korrekt räddningsutrustning gör Bålsta center till en säker byggnad för utrymning vid brand.

Referenser

Litteratur

1. Öst, J-E., *Brandskyddsbeskrivning Bålsta Centrum*, Brandskyddslaget, Botab AB. Stockholm, 1998.
2. Abrahamsson, M., *Scenariotänkande vid brandsyn - utrymning av samlingslokaler*, SRV Rapport P21-235/98, Räddningsverket, Karlstad, 1998.
3. Shields, T.J., & Boyce, K.E., *A study of evacuation from large retail stores*, Fire Safety Journal 35, 2000.
4. Karlsson, B., Quintiere, J., *Enclosure fire dynamics*, CRC Press LLC, 1999.
5. SOS Alarmering, *Insatsrapporter*, Ärendenummer: 020930-00469
030216-00034
030406-00208
030407-00047
6. Särdaqvist, S. *Vatten och andra släckmedel*, U30-617/02 Räddningsverket 2002 ISBN:91-7253-145-2
7. *Statistik över besökare på Bålsta Center*, från Rodamco, 2003.
8. *Konstruktionsritningar över Bålsta Center*, Halléns Arkitekter AB, 2001.
9. *Society of Fire Protection Engineers Handbook of fire protection engineering*, 2nd edition. Section 3 NFPA, 1995.
10. *Enclosure Fire Dynamics, Smoke management systems in malls, atria and large areas*, NFPA 92B, Quincy, MA, USA, 1991.
11. Hultquist, H., *Simulating visibility in HAZARD / CFAST*, Report 7010, 2000.
12. McGrattan, K.B. m.fl., *Fire Dynamics Simulator (Version 3) - User's guide*, NIST 2002.
13. Drysdale, D., *An Introduction to Fire Dynamics 2nd edition*, University of Edinburgh, England, John Wiley & Sons, 1998.
14. Holmstedt, G., Nilsson, D., *Brandteknisk dimensionering*, LTH, 2003.

Muntliga källor

14. Westning, Richard. Brandingenjör Håbo räddningstjänst (Bålsta 2003).
15. Gojkovic, Daniel. Universitetsadjunkt vid Brandteknik, LTH (2003).
16. Holmstedt, Göran. Professor vid Brandteknik, LTH (2003).
17. Frantzieh, Håkan. Universitetslektor vid Brandteknik, LTH (2003).
18. Nystedt, Fredrik. Doktorand vid Brandteknik, LTH (2003).
19. Holm, Ove. Fastighetsskötare, Rodamco AB (Bålsta 2003).
20. Johansson, Björn. Brandingenjörsstuderande, LTH (2003).

Internet

21. www.balstaguident.com/kundsidor/haabo/index.html. 2003-10-09, kl.11.50.
22. www.habo.se/insida.htm. 2003-11-05, kl.10.20.
23. www.srv.se/statistiktabeller. 2003-09-29, kl.15.30.
24. www.ies4d.com. 2003-11-06, kl.10.10.

Nomenklaturlista

- \dot{Q} - effektutveckling (kW)
 \dot{m}_p - massflöde brandgaser (kg/s)
 z_o - verkliga källan (m)
 z - höjd till brandgaslager (m)
 \dot{m}_{O_2} - massflöde syre (kg/s)
 \dot{m}_a - massflöde luft (kg/s)
- A - brandarean (m²)
 D - brandens diameter (m)
 L - flamhöjd (m)
 P - perimeter (m)
 A_o - dörröppningens area (m²)
 H_o - dörröppningens höjd (m)
 B_o - dörröppningens bredd (m)
 T_g - temperatur brandgaser (K)
 T_0 - temperatur omgivning (K)
 ΔT - temperatur differens
 ΔH_c - förbränningsvärme (J/kg)
 c_p - specifika värmekapaciteten (J/gK)
 α - konstant som symboliserar brandens tillväxthastighet (kW/s²)
 W_L - massa förbränt ämne (kg)
 D_0 - rökpotential (obm³/kg)
 D/L - optisk densitet per meter (ob)
 χ - förbränningseffektivitet
 t - tid (s)
- Q - effektutveckling (Btu/s)
 m - massflöde i plymen (lb/s)
 W - plymens bredd då den stöter mot balkongen (ft)
 z_b - höjd till brandgaslager ovanför balkong (ft)
 H_b - höjd till balkong från bränslekälla (ft)
- q - strålning (kW)
 ε - emissiviteten
 Φ - synfaktorn
 σ - Stefan Boltzmanns konstant (W/m²K⁴)
 h - konvektiva värmeöverföringstalet (W/m²K)
- v - hastighet (m/s)
RTI - Response Time Index
 T_{akt} - sprinklernas aktiveringstemperatur

Bilaga A - Översiktskarta

A 1 Översikt över Bålsta center



Bild 11: Översikt Bålsta Center.

Bilaga B - Handberäkningar

B 1 Brandscenario 1 - Brand på ICA

I denna bilaga redovisas handberäkningar på flamhöjd, massflöde, brandgastemperatur och syretillgång gjorda för brandscenario 1, ICA.

B 1.1 Allmänt

Handberäkningar är utförda för att beräkna tid till maxeffekt samt för att verifiera och jämföra de resultat som fås fram genom simuleringar i CFAST.

Brandgastemperaturen är den parameter som används vid jämförelsen mellan handberäkningar och simuleringsresultat, se bilaga B 4. För att beräkna denna krävs en rad andra parametrar, och beräkningsgången är som följer:

1. Flamhöjden beräknas för att ge vägledning om vilken plymmodell som bör användas för att beräkna massflöde.
2. Med lämpligt vald plymmodell beräknas massflöde.
3. Brandgastemperaturen beräknas och ett antagande om adiabatiska förhållanden görs, eftersom det är svårt att säga hur stor del av värmen som bortförs från brandgaslagret. Antagandet tas dock hänsyn till i jämförelsen mellan simuleringsresultat och handberäkningar.

B 1.2 Tid till maxeffekt

Branden på ICA antas få en maxeffekt på 3,6 MW. Effektutvecklingen tillväxer enligt en snabb α^2 -kurva, med α 0,047 kW/s².³¹

Tid till maxeffekt:

$$t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{3600}{0,047}} = 277 \text{ s} = 4,6 \text{ min}$$

B 1.3 Flamhöjd

Brandens diameter vid antagandet att den är cirkulär.

$$D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 4}{\pi}} = 3,39 \text{ m}$$

Flamhöjden:

$$L = 0,235 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1,02 \cdot D = 0,235 \cdot 3600^{2/5} - 1,02 \cdot 3,39 = 2,76 \text{ m}$$

³¹ Karlsson, B. och Quintiere, J.

B 1.4 Massflöde

Flamhöjden är mindre än brandens diameter och därför ansätts Thomas plymmodell för att beräkna massflödet i plymen.

$$\dot{m}_p = 0,188 \cdot P \cdot z^{3/2}$$

Perimeter är omkretsen och beräknas enligt nedan.

$$P = \pi \cdot D = \pi \cdot 3,39 = 10,6 \text{ m}$$

Pappret står staplat från golvet upp till ca. 1,5 m. Branden förutsätts starta ovanpå denna stapel. Nollplanet läggs därför 1,5 m ovanför golvet. Avståndet mellan nollplan och sprinkler, där massflödet är intressant, är 2,1 m. Detta är z . Massflödet används till att räkna ut temperaturen vid sprinklerna.

$$\dot{m}_p = 0,188 \cdot 10,6 \cdot 2,1^{3/2} = 6,08 \text{ kg / s}$$

B 1.5 Gastemperatur

Temperaturdifferansen mellan omgivningen och brandgaserna beräknas med hjälp av antagandet att adiabatiska förhållanden i plymen gäller. Detta är dock inte konservativt, eftersom temperaturen runt sprinklern inte kommer att bli så hög som beräkningarna visar. Detta resulterar i att sprinklern kommer aktiveras senare än beräknat.

$$\Delta T = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_p \cdot c_p} = \frac{3600}{6,08 \cdot 1,0} = 592 \text{ K}$$

$$c_p = 1,0 \text{ kJ / (kg} \cdot \text{K)}$$

B 1.6 Brandens syretillgång

Kontrollberäkning av ventilationsförhållandena om huruvida branden blir ventilationskontrollerad eller ej.

Frigörelsen av energi vid förbränning, oavsett bränsle, anses vara konstant per kilogram syre som deltagit i förbränningsprocessen. Denna konstant uppskattas till 13,1 MJ/kg.³²

Massflödet syre som krävs för att hålla en 3,6 MW-brand vid liv.

$$\dot{Q} = 13,1 \cdot \dot{m}_{O_2} \Rightarrow \dot{m}_{O_2} = \frac{3,6}{13,1} = 0,27 \text{ kg / s}$$

Luft innehåller 23 vikt % syre. Nedan omvandlas massflödet syre till massflödet luft.

$$\dot{m}_{O_2} = 0,23 \cdot \dot{m}_a \Rightarrow \dot{m}_a = \frac{0,27}{0,23} = 1,19 \text{ kg / s}$$

³² Karlsson, B., och Quintiere, J.

Den minsta öppningsarean som butiken behöver för att undvika att branden blir ventilationskontrollerad är beräknad nedan. Höjden på öppningarna in till ICA är 2,8 m.

$$\dot{m}_a = 0,5 \cdot A_o \cdot \sqrt{H_o} \Rightarrow A_o = \frac{1,19}{0,5 \cdot \sqrt{2,8}} = 1,43 \text{ m}^2$$

Bredden på öppningen.

$$B_o = \frac{A_o}{H_o} = \frac{1,43}{2,8} = 0,5 \text{ m}$$

Bortsett från att lokalen är så stor (volymen är ca 12480 m³) krävas en öppningsbredd på 0,5 m. Branden blir därför ej ventilationskontrollerad under någon del av brandförloppet.

Brandgaslagrets höjd beräknas ej p.g.a. lokalens storlek. Avkylningsytorna är så stora att det inte är sannolikt att det blir en tvåzonsmodell för hela lokalens utbredning. Brandgaslagret kommer att vara tjockare precis i anslutning till branden.

B 1.7 Siktberäkningar

För att se när kritiska siktförhållanden inträffar integreras massavbrinningen över tiden och beräkningar genomförs för att se när 1obscura uppnås. Brandgaserna antas spridas homogent i hela rumsvolymen.

$$D_0 = \frac{D}{L} \cdot \frac{V}{W_L}$$

$$W_L = \int_0^t m dt$$

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

$$W_L = \frac{\alpha t^3}{3 \cdot \Delta H_c \cdot \chi}$$

Kombineras ekvationerna för D₀ och W_L kan tiden räknas ut enligt nedan.

$$t = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot \Delta H_c \cdot \chi \cdot V}{D_0 \cdot \alpha} \cdot \frac{D}{L}}$$

$$\Delta H_c = 17,5 \text{ MJ/kg}$$

$$\alpha = 0,047 \text{ kW/s}^2$$

$$D_0 \approx 0,2 \text{ obm}^3/\text{kg} \text{ (uppskattat värde mellan plywood (D}_0=0,17 \text{ obm}^3/\text{kg) och } \alpha\text{-cellulosa (D}_0=0,22 \text{ obm}^3/\text{kg))}$$

$$V = 60 \times 52 \times 4 \text{ m}^3 = 12480 \text{ m}^3 \text{ (hela volymen på lokalen)}$$

$$D/L = 1 \text{ obscura}$$

$$\chi = 0,7$$

Tid till kritiska siktförhållanden för utrymning baserat på 10 m sikt.

$$t = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 17,5 \cdot 10^6 \cdot 0,7 \cdot 12480}{0,2 \cdot 0,047 \cdot 10^3}} \cdot 1 = 3654 \text{ s} \approx 60 \text{ min}$$

B 2 Brandscenario 2 - Brand på Intersport

I denna bilaga redovisas handberäkningar i form av flamhöjd, massflöde, brandgastemperatur, strålningsberäkning, syretillgång och siktberäkning gjorda för brandscenario 2, Intersport.

B 2.1 Flamhöjd och massflöde

Vid beräkning av temperatur i brandgaslagret har Thomasplymen använts. Vid efterforskningar visar det sig att Thomasplymen är den plym som bäst stämmer överens med det valda brandscenariet.³³ Thomasplymen är en stark plymmodell och gäller då diametern på branden är större än höjden på flammorna. I detta fall sitter sprinklerna på en höjd av 2,8 m över branden, d.v.s. $z = 2,8 \text{ m}$.

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

$$P = \pi \cdot D = 10,0 \text{ m}$$

$$\dot{m}_p = 0,188 \cdot P \cdot z^{3/2} = 8,8 \text{ kg/s}$$

$$z = 2,8 \text{ m}$$

Då flamman är belägen invid en vägg antas halva massflödet vara realistiskt.³⁴ Detta leder till ett massflöde på 4,4 kg/s.

B 2.2 Gastemperatur

Vid beräkning av temperaturen har adiabatiska förhållanden ansatts, detta p.g.a. att inga exakta beräkningsmetoder för det aktuella fallet finns. Adiabatiska förhållanden ger dock en kortare tid till sprinkleraktivering eftersom man då antar att all värme stannar i brandgaslagret. Resultatet skall även jämföras med simulerade värden.

Beräkning av temperaturen:

$$\dot{Q} = \dot{m}_p \cdot c_p \cdot \Delta T = 3,5 \text{ MW}$$

$$\dot{m}_p = 4,4 \text{ kg/s}$$

$$c_p = 1,0 \text{ J/gK}$$

$$\Delta T = 795 \text{ K}$$

Brandgaslagrets temperatur är därmed 815°C.

³³ Karlsson, B. och Quintiere, J.

³⁴ Samtal med professor Göran Holmstedt.

B 2.3 Strålningsberäkningar

I brandscenariot på Intersport brinner det ursprungligen i värmefläkten som är i direkt kontakt med jackorna på väggen. Dessa brinner med en maxeffekt på 3 MW. Med en så pass stor effekt och hög temperatur (ca. 1000 °C) medför det att föremål som finns på nära avstånd kan antändas av strålningen. Närmast branden på ett avstånd av 1,8 m finns en hängställning med jackor av samma modell som jackorna på väggen. För att se om de antänder tas temperaturen för jackorna vid brand fram med hjälp av en strålningsberäkning.³⁵

$$q = \Phi \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4 \text{ (W)}$$

$\varepsilon = 0,8$ (att värdet 0,8 är valt beror på att jackorna och klädesplaggen förväntas ha en relativt robust yta)

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ K}^4$$

$$T = 1273 \text{ K}$$

En brandarea på 8 m² ger 1,415 x 1,415 m² bitar.

$$\alpha = 0,6$$

$$S = 1 \Rightarrow \Phi = 0,428$$

$$q = 51 \text{ kW}$$

Jämviktstemperaturen för jackorna som tar emot strålningen räknas ut med:

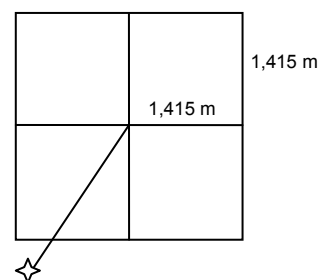
$$q = 2h(T - T_0) + 0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot T^4$$

$$h = 5 \text{ till } 25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$\Rightarrow T_{h=5} = 719^\circ \text{C}$$

$$T_{h=25} = 573^\circ \text{C}$$

Typiska värde på h (W/m² K) för fri konvektion ligger mellan 5-25 W/m²K. Eftersom jackornas h-värde ej är känt, har det valts att undersöka vilken temperatur 5 respektive 25 W/m²K skulle ge. Resultatet visar att oavsett val kommer antändning av jackor att ske p.g.a. den höga temperaturen. Slutsatsen grundas på att trä antänder med hjälp av en pilotflamma vid 300 - 400 °C samt självantänder vid en temperatur på 600°C. Då jackorna på den motstående ställningen är mer lättantändliga än trä bland annat p.g.a. dess höga porositet kommer jackorna att antändas. Detta leder till att effekten ökar till 3,5 MW.



Figur 12: Illustration över brandarea och syndfaktor.

B 2.4 Brandens syretillgång

Massflödet syre som krävs för att hålla en 3,5 MW-brand vid liv.³⁶

$$\dot{Q} = 13,1 \cdot \dot{m}_{O_2} \Rightarrow \dot{m}_{O_2} = \frac{3,5}{13,1} = 0,267 \text{ kg / s}$$

Luft innehåller 23 vikt % syre. Nedan omvandlas massflödet syre till massflödet luft.

³⁵ Drysdale, D.

³⁶ Karlsson, B. och Quintiere, J.

$$\dot{m}_{O_2} = 0,23 \cdot \dot{m}_a \Rightarrow \dot{m}_a = \frac{0,267}{0,23} = 1,16 \text{ kg/s}$$

Den minsta öppningsarean som butiken behöver för att undvika att branden blir ventilationskontrollerad är beräknad nedan. Höjden på öppningarna in till Intersport är 3,1 m.

$$\dot{m}_a = 0,5 \cdot A_o \cdot \sqrt{H_o} \Rightarrow A_o = \frac{1,16}{0,5 \cdot \sqrt{3,1}} = 1,32 \text{ m}^2$$

Bredden på öppningen

$$B_o = \frac{A_o}{H_o} = \frac{1,32}{3,1} = 0,42 \text{ m}$$

Detta betyder att branden på Intersport inte blir ventilationskontrollerad då öppningarna har en bredd på 5 m.

B 2.5 Siktberäkningar

För den dimensionerande branden i jackor på Intersport gäller följande värden:

$$\Delta H_c = 30 \text{ MJ/kg}$$

$$\alpha = 0,1185 \text{ kW/s}^2$$

$$D_0 \approx 0,4 \text{ obm}^3/\text{kg} \text{ (uppskattat värde mellan bomull och plastmaterial för att få ett värde för materialet i jackorna)}^{37}$$

$$V = 2230 \text{ m}^3 \text{ (volymen av hela rummet, } B \cdot H(\text{medelvärde}) \cdot L \text{ } 13,6 \cdot \frac{4,06 + 3,75}{2} \cdot 42 \approx 2230 \text{ m}^3)$$

$$D/L = 1 \text{ obscura}$$

$$\chi = 0,7$$

Följande formel har använts för framtagning av tid till kritiska förhållanden.

$$t = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot \Delta H_c \cdot \chi \cdot V}{D_0 \cdot \alpha} \cdot \frac{D}{L}} \approx 1436 \text{ s} = 24 \text{ min}$$

Kommentar: Detta är en ganska lång tid vid utrymning. Efter 24 min. har alla personer som befinner sig i köpcentret utrymt.

³⁷ NFPA.

B 3 Brandscenario 3 - Brand på Go West

I detta kapitel redovisas handberäkningar i form av flamhöjd, massflöde, brandgastemperatur, syretillgång och brandgaslagrets höjd gjorda för brandscenario 3, Go West.

B 3.1 Flamhöjd

Flamhöjd beräknas med följande formel:³⁸

$$L = 0,235 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1,02 \cdot D = 0,235 \cdot 2500^{2/5} - 1,02 \cdot 2,76 = 2,56 \text{ m}$$

B 3.2 Massflöde

I denna del beräknas massflöde dels för gångstråket och dels för atriet utanför butiken.

B 3.2.1 Gångstråk

Thomas plymekvation valdes eftersom avbrinningsområdet antas vara relativt stort i förhållande till flamhöjden ($D > L$). Massflödet skall beräknas på den höjd som sprinklerna sitter på. I detta fall sitter sprinklerna på en höjd av 2,6 m över golv, d.v.s. $z = 2,6 \text{ m}$. Bränslearean antas vara cirkulär och 6 m^2 . Detta medför att diametern är 2,76 m. Dessa värden ger:

$$\dot{m}_p = 0,59 \cdot P \cdot z^{3/2} = 0,59 \cdot 2,76 \cdot 2,6^{3/2} = 6,83 \text{ kg / s}$$

B 3.2.2 Atrium

Eftersom brandgaserna rör sig vidare ut i atriet, används följande ekvation för balkongplym³⁹:

$$m = 0,124 \cdot (\dot{Q} \cdot W^2)^{1/3} \cdot (Z_b + 0,3 \cdot H) \cdot [1 + 0,063(Z_b + 0,6 \cdot H)/W]^{2/3}$$

$$\dot{Q} = 2500 \cdot 1,055056 \text{ Btu / s} = 2637,6 \text{ Btu / s}$$

$$W = 2,5 \cdot 3,2808 \text{ ft} = 8,2 \text{ ft}$$

$$Z_b = 9,4 \cdot 3,2808 \text{ ft} = 30,8 \text{ ft}$$

$$H = 4,3 \cdot 3,2808 \text{ ft} = 14,1 \text{ ft}$$

$$m = 0,124 \cdot (2637,6 \cdot 8,2^2)^{1/3} \cdot (30,8 + 0,3 \cdot 14,1) \cdot [1 + 0,063 \cdot (30,8 + 0,6 \cdot 14,1)/8,2]^{2/3} = 291,3 \text{ lb / s}$$

$$\dot{m}_p = 291,3 \cdot 0,4535 \text{ kg / s} = 132,1 \text{ kg / s}$$

Brandgaserna kommer att spridas båda i gångstråk samt till atriet. Då branden inträffar nära atriet och brandgaserna är varma med hög stigningskraft, är det rimligt att ca 60 % av det totala massflödet söker sig upp i det kalla atriet. Detta medför att

$$\dot{m}_p = 0,6 \cdot 132,1 \text{ kg / s} = 79,3 \text{ kg / s}$$

³⁸ Karlsson, B., och Quintiere, J.

³⁹ NFPA.

B 3.3 Gastemperatur

I denna del beräknas brandgaslagrets temperatur dels i gångstråket och dels i atriet utanför butiken.

B 3.3.1 Brandgaslagrets temperatur i gångstråk

Heskestads plymekvation är en stark plymekvation som används för att beräkna brandgaslagrets temperatur.⁴⁰ Då vi har en stor brand som ger stora temperaturskillnader är det en stark plymekvation som bör användas. Heskestad antar i sin formel att all energi kommer från en punktkälla. Då detta inte är fallet i branden utanför Go West, korrigerar man z-värdet så att punktkällan antas befinna sig en bit under golvet. Detta medför att brandarean i golvnivå stämmer bättre överens med den verkliga brandarean.

$$z_0 = 0,083 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1,02 \cdot D = 0,083 \cdot 2500^{2/5} - 1,02 \cdot 2,76 = -0,92 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \Delta T_0 &= 9,1 \cdot \left(\frac{T_\infty}{g \cdot c_p^2 \cdot \rho_\infty^2} \right)^{1/3} \cdot \dot{Q}_c^{2/3} \cdot (z - z_0)^{-5/3} = \\ &= 9,1 \cdot \left(\frac{293}{9,81 \cdot 1^2 \cdot 1,2^2} \right)^{1/3} \cdot (0,7 \cdot 2500)^{2/3} \cdot (2,6 + 0,917)^{-5/3} = 446^\circ \text{C} \end{aligned}$$

$$T_g = \Delta T_0 + T_\infty = 446 + 20 = 466^\circ \text{C}$$

B 3.3.2 Brandgaslagrets temperatur i atriet

Följande formel gäller för brand i atrium. Branden utanför Go West befinner sig dock inte i atriet men dess brandgaser kommer efterhand att sprida sig dit. För att korrigera formeln för brand i atrium, används massflödet som räknades ut med hjälp av balkongplymen.

Ytterligare förenklingar gjordes då termen för värmeförluster till väggar och tak ej togs med i beräkningarna.

$$T_g = T_a + \frac{\dot{Q}}{c_p \cdot m_e + h \cdot A_w} = 293 + \frac{2500}{1,0 \cdot 79,3} = 325 \text{ K} = 52^\circ \text{C}$$

B 3.4 Brandens syretillgång

För att se om branden blir bränsle- eller ventilationskontrollerad görs följande kontroll inne i Go West butiken. Beräkningarna är gjorda för utrymmet inne i Go West-butiken. Om det visar sig att en brand ej är ventilationskontrollerad där, kommer en brand precis utanför butiken ej heller vara det. Detta beror på att butiken är relativt liten och har en begränsad tillgång till syre, medan en brand utanför dörren i stort sett kommer att ha obegränsad tillgång till syre.

Massflödet syre som krävs för att hålla en 2,5 MW-brand vid liv.

⁴⁰ Karlsson, B. och Quintiere, J.

$$\dot{Q} = 13,1 \cdot \dot{m}_{O_2} \Rightarrow \dot{m}_{O_2} = \frac{2,5}{13,1} = 0,19 \text{ kg / s}$$

Luft innehåller 23 vikt % syre. Nedan omvandlas massflödet syre till massflödet luft.

$$\dot{m}_{O_2} = 0,23 \cdot \dot{m}_a \Rightarrow \dot{m}_a = \frac{0,19}{0,23} = 0,83 \text{ kg / s}$$

Den minsta öppningsarean som butiken behöver för att undvika att branden blir ventilationskontrollerad är beräknad nedan. Höjden på öppningarna in till Go West är 2,38 m.

$$\dot{m}_a = 0,5 \cdot A_o \cdot \sqrt{H_o} \Rightarrow A_o = \frac{0,83}{0,5 \cdot \sqrt{2,38}} = 1,08 \text{ m}^2$$

Bredden på öppningen

$$B_o = \frac{A_o}{H_o} = \frac{1,08}{2,38} = 0,45 \text{ m}$$

För att branden skall bli ventilationskontrollerad ska öppningen vara mindre än 0,45 m bred. Go West's befintliga öppningsbredd är 1,57 m, vilket medför att branden istället kommer bli bränslekontrollerad.

B 3.5 Brandgaslagrets höjd

Eftersom röken har mycket stora arealer att breda ut sig över kan inte brandgaslagrets höjd i atriets eller i gångstråket beräknas. Det kan dock konstateras att precis ovanför brandkällan är brandgaslagrets höjd lägre än vad den är längre ifrån källan.

B 3.6 Siktbarhet

Av samma anledning som nämnts ovan, kan siktbarheten ej beräknas.

B 4 Jämförelse av temperatur mellan hand- och CFAST-beräkningar

Tabell 14 visar att handberäknade värden skiljer sig mycket åt från CFAST-beräkningarna. En av de stora anledningarna är att adiabatiska förhållanden har antagits vid handberäkningarna, vilket innebär att branden inte har någon värmeförlust. Detta antagande är väldigt grovt och felaktigt, med är dock det enda sätt handberäkningar kan göras på eftersom ett flertal parametrar är okända. Dessutom skulle beräkningarna bli alltför komplicerade om inte denna förenkling gjordes. CFAST tar däremot hänsyn till förluster till väggar, ut genom öppningar o.s.v. Detta gör att temperaturen i handberäkningarna blir högre än i CFAST.

I handberäkningarna beräknas temperaturen i brandgaserna precis ovanför branden, medan CFAST simulerar över hela rumsytan. I CFAST används en förenkling som innebär att temperaturen är homogen i det övre- respektive undre lagret i hela det simulerade rummet.

I tabell 14 visas brandgaslagrets temperatur vid maximal effektutveckling, beräknat i CFAST och genom handberäkningar, över den zon som innefattar branden. Att temperaturen är lika i hela det övre brandgaslagret gör att det blir en lägre temperatur än den som är precis ovanför branden. Vid den tidpunkt då värdet är avläst (vid maxeffekt) har temperaturförluster dessutom hunnit ske till omkringliggande zoner. Handberäkningarna redovisar alltså återigen mycket högre temperatur än CFAST då inga förluster är medräknade.

Sammanfattningsvis kan sägas att skillnaden mellan handberäkningar och CFAST totalt blir mycket stor och är inte acceptabel. Den stora skillnaden beror på att många och grova förenklingar ofta måste göras vid handberäkningar. Detta medför att CFAST ger resultat som är mest rimliga mot hur det skulle vara vid ett verkligt brandtillbud.

Tabell 14: Temperaturjämförelse mellan handberäkningar och CFAST.

| Scenario | Temperatur (°C) | |
|------------|-----------------|-------|
| | Handberäkningar | CFAST |
| ICA | 612 | 201 |
| Intersport | 815 | 206 |
| Go West | 466 | 162 |

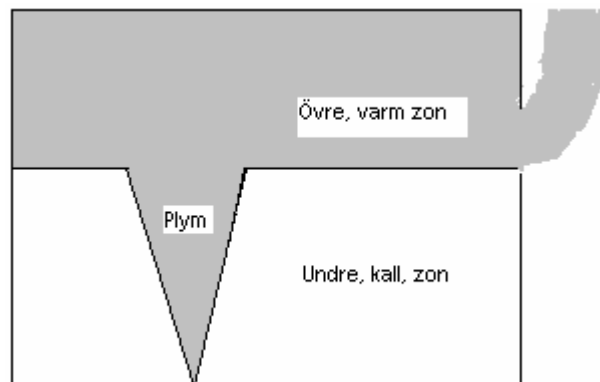
Bilaga C - CFAST

C 1 Programmet CFAST 3.1.7.

C 1.1 Allmänt

CFAST är framtaget av NIST (National Institute of Standards and Technology) i Washington DC, och är en del av HAZARD 1.⁴¹ Programmet är en två-zonsmodell som används för att beräkna brandtillväxt och brandgasspridning för en specifik brand. Temperaturer och brandgaslagrets höjd är andra faktorer som kan tas fram. Programmet delar in den aktuella lokalen i två zoner, en övre varm zon och en undre kall zon. Varje zon är homogen och väl omblandad, och all form av förbränning antas ske i den undre zonen. Programmet kan hantera ett brandförlopp med upp till 30 rum.⁴²

Tvåzonsmodellen innebär, som ovan nämnts, en övre och en undre zon. På grund av termisk stigningskraft stiger de varma brandgaserna och lägger sig ovanpå den svalare rumstempererade luften. Varje zon behandlas var för sig med ekvationerna för bevarande av massa och energi. Den tänkta branden anses vara en pump som för energi och massa genom brandplymen från den undre zonen till den övre. I det övre lagret sprids brandgaserna momentant i hela rummet.



Figur 13: Tvåzonsmodell.

C 1.2 Indata

Användaren bestämmer själv brandeffekten och kan reglera effektutvecklingskurvan efter hand. För att CFAST ska kunna genomföra en simulering måste även tryck och temperatur i och utanför byggnaden vara kända, liksom byggnadens konstruktionsmaterial, ventilation och rumsgeometri.

⁴¹ Abrahamsson, M.

⁴² Simuleringsföreläsning med Daniel Gojkovic.

C 1.3 Utdata

För varje rum ges, som en funktion av tiden, bl.a. temperatur i zoner och väggar, brandgaslagrets höjd från golvet, trycket i brandrummet och syrekoncentration.

C 1.4 Begränsningar

För att programmet skall vara relativt enkelt att använda, måste en del förenklingar och begränsningar göras.

- Branden måste bilda en tvåzonsskiktning. För att uppfylla detta skall skillnaden i temperatur mellan de två skikten överstiga ca. 20 °C.
- Det antas att det övre och undre brandgaslagret ej blandas. Detta sker ej i verkligheten.
- Rummen måste vara rätvinkliga. I de fall då rummen ej är rätvinkliga, måste ofta grova förenklingar göras vilket medför att resultatet kan bli missvisande.
- Resultaten från CFAST stämmer ej efter det att övertändning skett, d.v.s. då temperaturen i brandgaslagret överskrider 500-600 °C.
- Brandgaserna anses spridas momentant i hela rummet. Detta stämmer ej med verkligheten då det tar en viss tid för brandgaserna att sprida sig från branden.
- CFAST tittar bara på globala effekter i brandrummet, t.ex. hur hela rummets temperatur förändras då sprinklerna aktiveras.
- När en sprinkler aktiveras påverkas ej brandgaslagrets höjd utan en tvåzonsmodell förutsätts fortfarande. Endast effektutvecklingen påverkas och minskar.

C 2 Förenklingar

C 2.1 Indata

Med hänsyn till att rummen måste vara rätvinkliga har en del förenklingar gjorts för respektive scenario. Samtliga butiker har delats in i mindre volymer (se fig. 4-6). Detta har gjorts för att få en mer realistisk bild av hur brandgastemperatur och brandgasmängd ändras i lokalen, eftersom CFAST endast visar förändringar i vertikalled och ej horisontalled. Öppningar mellan dessa volymer är gjorda från golv till tak för att påverka den verkliga geometrin så lite som möjligt. Brandens och sprinkler koordinater matades in manuellt.

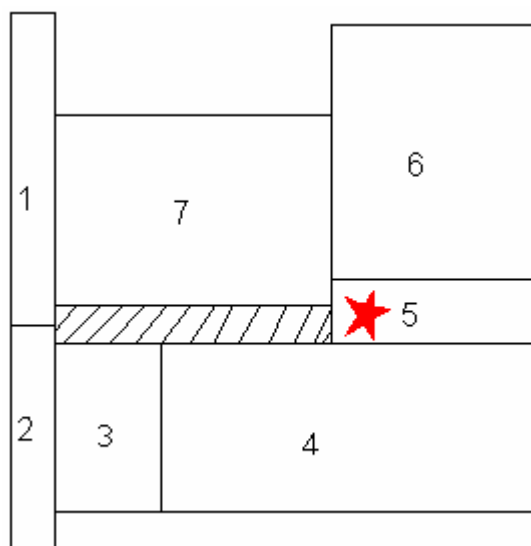
Vid simulering med sprinkler slocknar branden efter viss tid. För att få en konservativ effektutvecklingskurva tas tiden till sprinkleraktivering fram, därefter manipuleras effektutvecklingen manuellt genom att den vid tidpunkten för aktivering minskas till hälften och därefter hålls konstant, se effektutvecklingskurvor för respektive scenario. Sprinklern tas sedan bort från indatan och en ny slutgiltig simulering görs.

I samtliga tre scenarier sattes betong som material i omslutande ytor, då det är den huvudsakliga beståndsdel i konstruktionen. I taket på ICA-butiken och i ariet finns rökluckor. Dessa har dock ej tagits med i simuleringen i CFAST eftersom de öppnas manuellt av räddningstjänsten då de kommer till platsen, och endast är till för att underlätta deras

arbete. Ventilationsluckorna hinner därför ej påverka branden under den tid som är väsentlig för utrymning.

Atriet mäter en höjd på 13,7 m och butikerna 4,0 m. I atriets båda ändar finns en entré med måtten 2,0 x 2,1 m (bxh). Brandrummen markeras med stjärna.

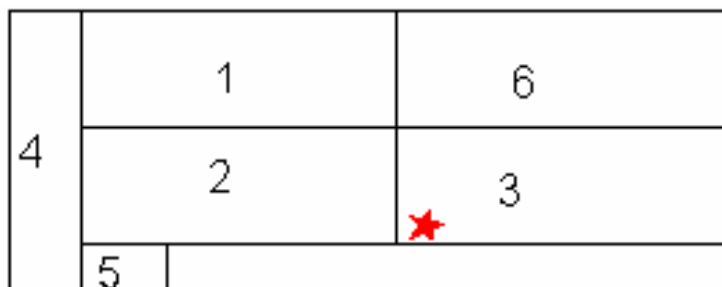
C 2.2 Brandscenario 1 - Brand på ICA



Figur 14: Zonindelning på ICA i CFAST.

Zon 3, 4, 5, 6 och 7 representerar ICA-butiken och zon 1 och 2 atriet. Öppningarna mellan zonerna sträcker sig i samtliga fall, med undantag för öppning mellan zon 3 och 4, från golv till tak. Mellan zon 3 och 4 används objektets befintliga öppning, d.v.s. en ingång med måtten 3,8 x 4,0 m (bxh). Det streckade utrymmet är ett återvinningsrum som ej har tagits med i beräkningarna. Ingång till detta rum sker från atriet.

C 2.3 Brandscenario 2 - Brand på Intersport

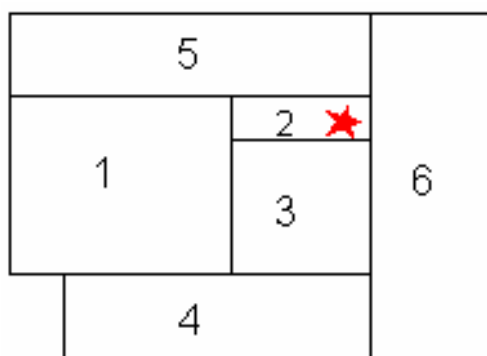


Figur 15: Zonindelning på Intersport i CFAST.

Zonerna 1, 2, 3 och 6 representerar Intersportbutiken, zon 4 atriet och zon 5 den zon som finns mellan atriet och butikens ingång. I horisontalled mellan zon 1 och 2, samt mellan 6 och

3 har en nivåskillnad på 0,25 m lagts in. Detta p.g.a. att taket lutar, och i CFAST påverkar det resultatet positivt då det fördröjer rökspridningen så att det blir mer verklighetstroget. Öppningarna mellan zonerna sträcker sig i samtliga fall, med undantag för öppning mellan zon 2 och 5, från golv till tak. Mellan zon 2 och 5 används objektets befintliga öppning, dvs. en ingång med måtten 5,0 x 3,1 m (b x h).

C 2.4 Brandscenario 3 - Brand utanför Go West



Figur 16: Zonindelning på Go West i CFAST.

Zonerna 1, 3 och 4 representerar Go West-butiken. Zon 2 är utrymmet precis utanför butikens entré där branden startar, zon 5 är ett horisontellt gångstråk med samma takhöjd som butiken, och zon 6 är atriet. Öppningarna mellan zonerna sträcker sig i samtliga fall, med undantag för öppning mellan zon 2 och 3, från golv till tak. Mellan zon 2 och 3 används objektets befintliga öppning, dvs. en ingång med måtten 1,57 x 2,38 m (bxh).

C 3 Reducerade effektutvecklingskurvor

I detta kapitel beskrivs varför och hur effektutvecklingskurvorna reducerats för hand, samt redovisas de reducerade effektutvecklingskurvorna i diagramform.

C 3.1 Tillvägagångssätt

I samtliga simuleringar har följande tillvägagångssätt följts:

Vid första simuleringen sattes den dimensionerade brandens effektutveckling in. Även den sprinkler som satt direkt ovanför branden och de som satt närmst runt den sattes in i simuleringen. Simuleringen startades och sprinklern aktiverade efter viss tid. Programmet CFAST släcker efter viss tid branden med sprinklern. Då detta ej är konservativt gjordes ytterligare en simulering, vilken blev den som användes vid framtagning av kritiska förhållanden. I denna slutliga simulering togs sprinklern bort och vid den tidpunkt som den skulle aktiverats minskas istället effektutvecklingen manuellt för att några sekunder senare bli hälften så stor och därefter hållas konstant resten av brandförloppet. De slutliga effektutvecklingskurvorna som lades in i simuleringen blev då enligt diagram 4-6.

C 3.2 Brandscenario 1 - Brand på ICA

Första sprinklern aktiverades efter 171 s. Då reducerades effektutvecklingen till hälften.

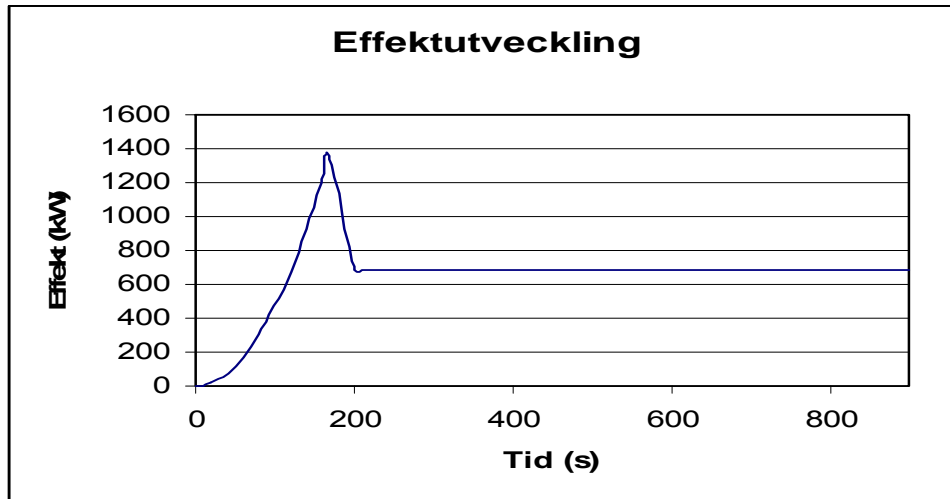


Diagram 4: Slutgiltiga effektutvecklingen för ICA butiken.

C 3.3 Brandscenario 2 - Brand på Intersport

Första sprinklern aktiverades efter 135 s. Då reducerades effektutvecklingen till hälften.

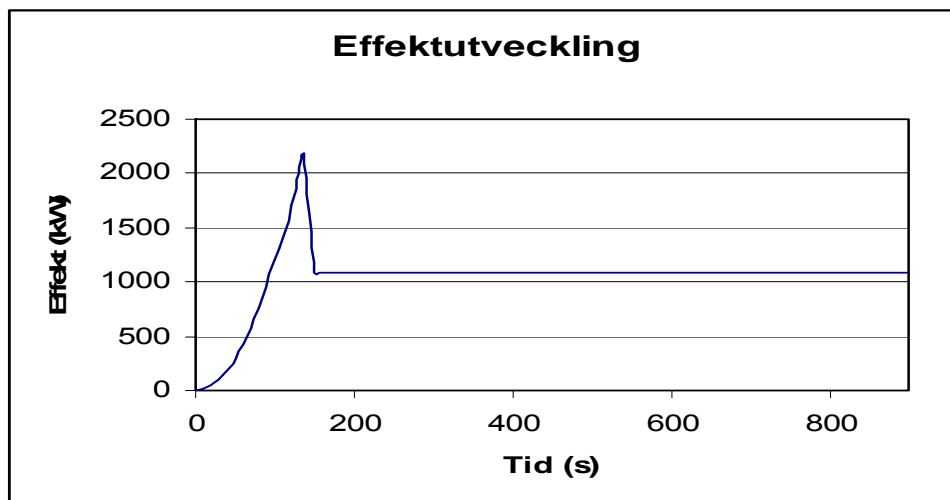


Diagram 5: Slutgiltiga effektutvecklingen för Intersport butiken.

C 3.4 Brandscenario 3 - Brand utanför Go West

Första sprinklern aktiverades efter 135 s. Då reducerades effektutvecklingen till hälften.

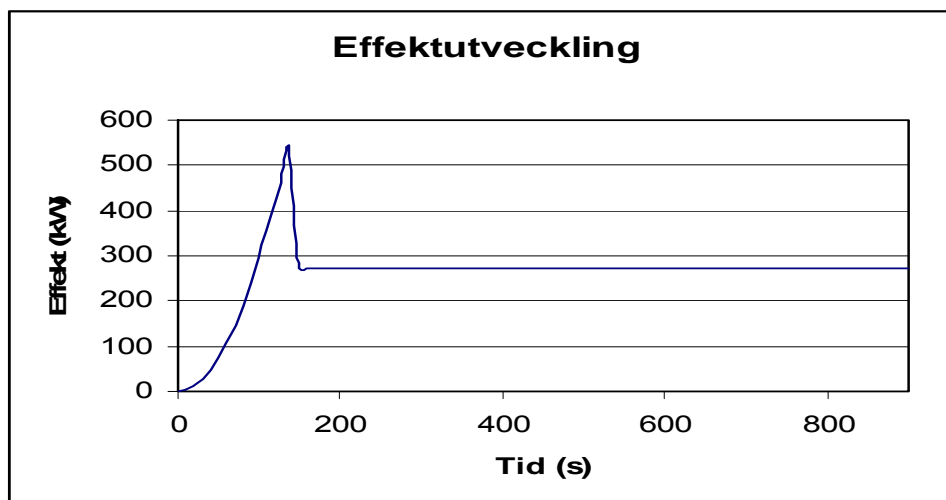


Diagram 6: Slutgiltiga effektutvecklingen för GoWest butiken.

C 4 Kritiska förhållanden

I detta kapitel visas i diagram- och tabellform resultat över kritiska förhållanden för respektive brandscenario.

C 4.1 Kritisk rökfyllnad

Diagram 7-12 visar brandgaslagrets höjd under de första 15 minuterna efter att branden startat. Denna tid anses vara tillräcklig eftersom utrymning har slutförts samt att räddningstjänstens insats då har påbörjats.

För att få en bättre överblick över brandgaslagrets höjd i de olika rummen, har varje scenario två diagram. Ett visar brandgaslagrets höjd i butiken och ett visar brandgaslagrets höjd i angränsande utrymmen.

Tabellerna visar tid till kritisk brandgaslagerhöjd i de olika rummen. Då kritiska förhållanden inte inträffar inom de första 15 minuterna är detta markerat med "-" i tabellerna.

C 4.1.1 Brandscenario 1 - Brand på ICA

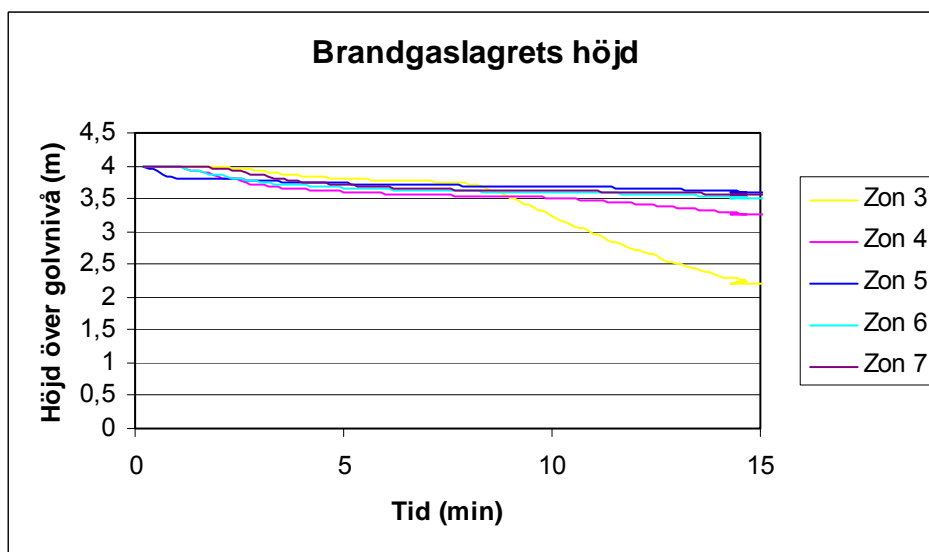


Diagram 7: Brandgaslagrets höjd över golvnivå för ICA.

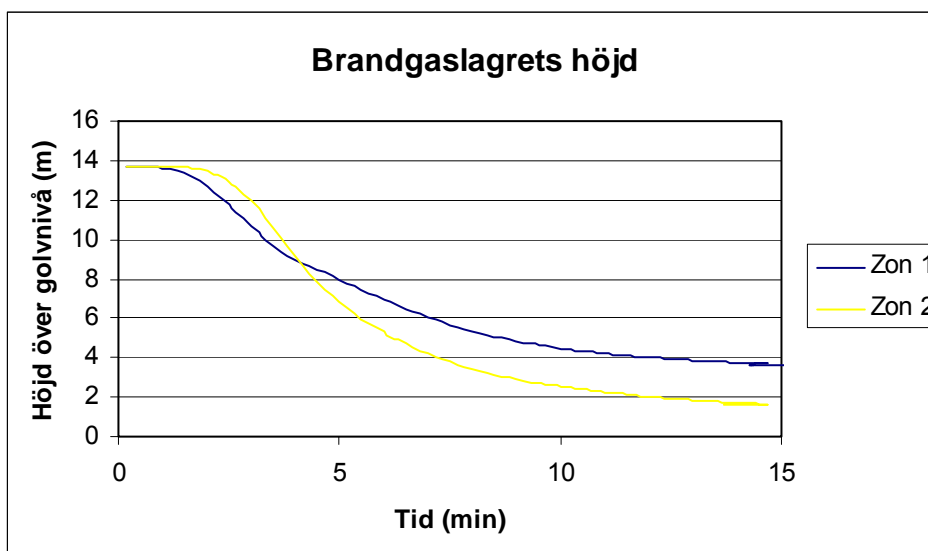


Diagram 8: Brandgaslagrets höjd över golvnivå för atriet.

Tabell 15: Kritiska förhållanden i berörda zoner.

| Zon | Takhöjd (m) | Kritisk brandgas-lagerhöjd (m) | Tid till kritiska förhållanden (min) |
|---------------------|-------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1, Atriet | 13,7 | 3,0 | 12,5 |
| 2, Atriet | 13,7 | 3,0 | 7,0 |
| 3, ICA entré | 4,0 | 2,0 | 11,00 |
| 4, ICA | 4,0 | 2,0 | - |
| 5, ICA brandzon | 4,0 | 2,0 | - |
| 6, ICA | 4,0 | 2,0 | - |
| 7, ICA kassor | 4,0 | 2,0 | - |
| Atriet fr. våning 2 | 9,4 | 7,0 | 5,5 |

C 4.1.2 Brandscenario 2 - Brand på Intersport

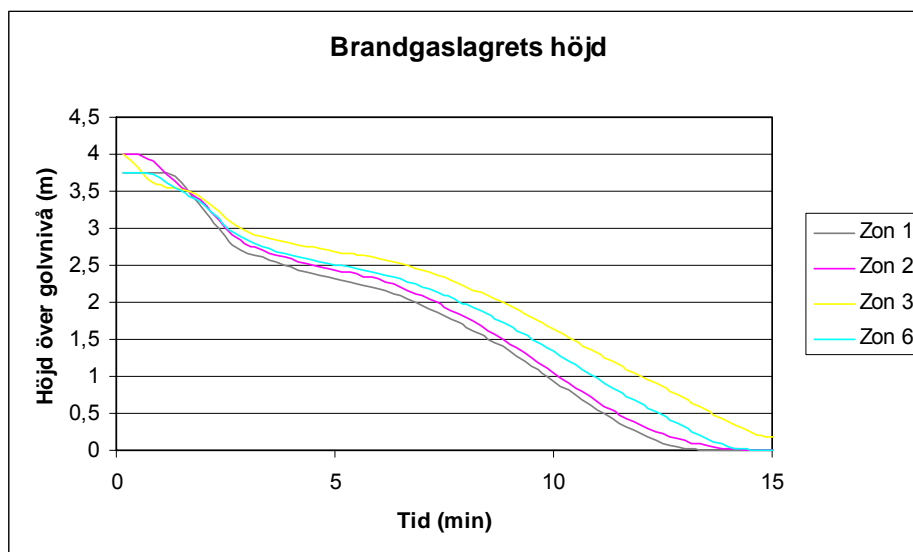


Diagram 9: Brandgaslagrets höjd över golvnivå för Intersport.

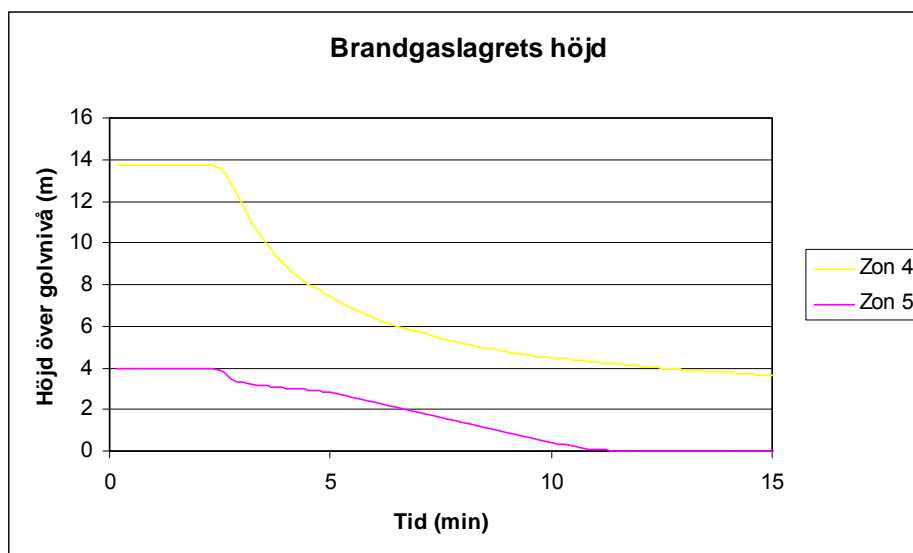


Diagram 10: Brandgaslagrets höjd över golvnivå för entré till Intersport och atriet.

Tabell 16: Kritiska förhållanden i berörda zoner.

| Zon | Takhöjd (m) | Kritisk brandgas-lagerhöjd (m) | Tid till kritiska förhållanden (min) |
|------------------------|-------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1, Intersport | 3,75 | 2,0 | 6,5 |
| 2, Intersport | 4,0 | 2,0 | 7,0 |
| 3, Intersport brandzon | 4,0 | 2,0 | 8,5 |
| 4, Atriet fr. våning 2 | 9,4 | 7,0 | 5,0 |
| 5, Intersport entré | 4,0 | 2,0 | 6,5 |
| 6, Intersport | 3,75 | 2,0 | 7,5 |
| Atriet fr. våning 1 | 13,7 | 3,0 | - |

C 4.1.3 Brandscenario 3 - Brand utanför Go West

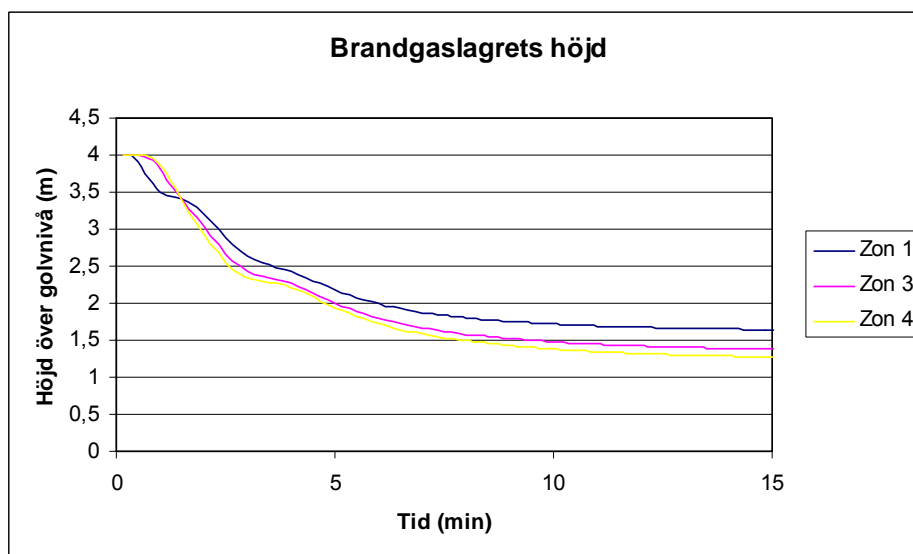


Diagram 11: Brandgaslagrets höjd över golvnivå för Go West.

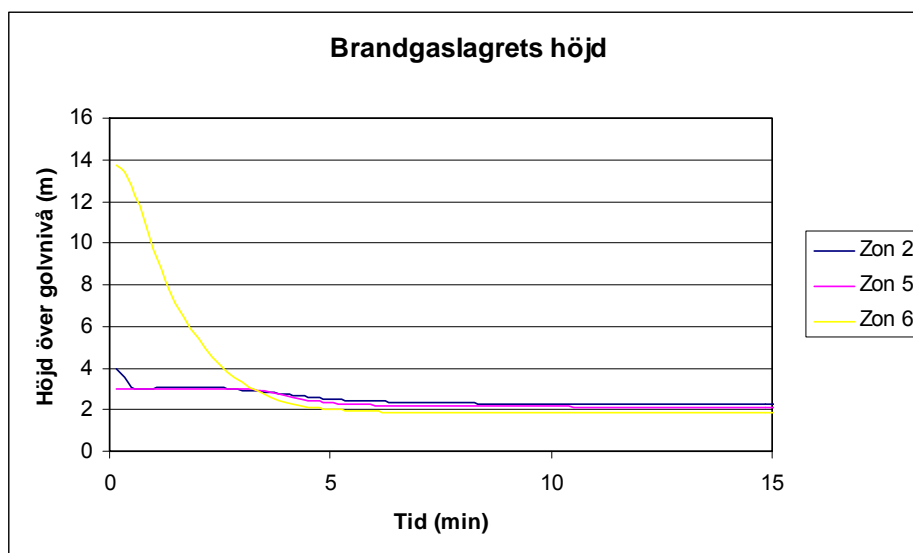


Diagram 12: Brandgaslagrets höjd över golvnivå för entré, gångstråk samt atrie utanför Go West.

Tabell 17: Kritiska förhållanden i berörda zoner.

| Zon | Takhöjd (m) | Kritisk brandgas-lagerhöjd (m) | Tid till kritiska förhållanden (min) |
|---------------------|-------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1, Go West | 4,0 | 2,0 | 5,5 |
| 2, Go West brandzon | 4,0 | 2,0 | - |
| 3, Go West | 4,0 | 2,0 | 4,5 |
| 4, Go West | 4,0 | 2,0 | 4,5 |
| 5, Gångstråk | 4,0 | 2,0 | - |
| 6, Atriet | 13,7 | 3,0 | 3,0 |
| Atriet fr. våning 2 | 9,4 | 7,0 | 1,5 |

C 4.2 Toxicitet

I detta kapitel visas resultat från CFAST över toxiciteten, i form av tabeller över respektive brandscenario. För varje brandscenario redovisas mängd CO, CO₂ samt O₂ för varje zon.

C 4.2.1 Brandscenario 1 - Brand på ICA

Tabell 18: Toxiciteten på ICA vid slutförd utrymning.

| Zon | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| ppm CO | 80 | 60 | 210 | 460 | 470 | 470 | 460 |
| vol % CO ₂ | 0,28 | 0,20 | 0,70 | 1,53 | 1,57 | 1,56 | 1,53 |
| vol % O ₂ | 22,7 | 22,8 | 22,3 | 21,4 | 21,4 | 21,4 | 21,4 |

Detta innebär att kritiska förhållanden gällande toxiciteten ej uppstår innan utrymningen är slutförd.

C 4.2.2 Brandscenario 2 - Brand på Intersport

Tabell 19: Toxiciteten på Intersport vid slutförd utrymning.

| Zon | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| ppm CO | 680 | 680 | 720 | 290 | 430 | 690 |
| vol % CO ₂ | 2,25 | 2,26 | 2,41 | 0,96 | 1,42 | 2,31 |
| vol % O ₂ | 20,7 | 20,7 | 20,5 | 22,0 | 20,7 | 20,7 |

Detta innebär att kritiska förhållanden gällande toxiciteten ej uppstår innan utrymningen är slutförd.

C 4.2.3 Brandscenario 2 - Brand utanför Go West

Tabell 20: Toxiciteten på Go West vid slutförd utrymning.

| Zon | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| ppm CO | 150 | 170 | 150 | 150 | 130 | 100 |
| vol % CO ₂ | 0,50 | 0,57 | 0,49 | 0,49 | 0,42 | 0,33 |
| vol % O ₂ | 22,5 | 22,4 | 22,5 | 22,5 | 22,6 | 22,7 |

Detta innebär att kritiska förhållanden gällande toxiciteten ej uppstår innan utrymningen är slutförd.

C 4.3 Kritiska siktförhållanden

Framtagning av siktförhållanden har utförts i CPLOT.⁴³ För detta krävs följande indata:

\dot{m} = massflöde (kg/s), vilket ges av effektutvecklingskurvan och förbränningsvärmnet

⁴³ Hultquist, H.

$$\frac{m_{\text{väte}}}{m_{\text{kol}}} = \text{massa väte genom massa kol i bränslet (g/g)}$$

$$\frac{m_{\text{C}}}{m_{\text{CO}_2}} = \text{massa kol genom massa koldioxid i förbränningsprodukterna (g/g)}$$

För materialet på ICA och Go West ansätts värdena för trä och på Intersport scenariot ansätts polyester.⁴⁴

$$\left(\frac{m_{\text{H}}}{m_{\text{C}}}\right)_{\text{trä}} = \frac{1,7 \cdot 1,008}{12} = 0,1428$$

$$\left(\frac{m_{\text{C}}}{m_{\text{CO}_2}}\right)_{\text{trä}} = \frac{0,015}{1,27} = 0,0118$$

$$\left(\frac{m_{\text{H}}}{m_{\text{C}}}\right)_{\text{polyester}} = \frac{1,4 \cdot 1,008}{12} = 0,1176$$

$$\left(\frac{m_{\text{C}}}{m_{\text{CO}_2}}\right)_{\text{polyester}} = \frac{0,091}{1,65} = 0,0552$$

Ovanstående värden läggs in under "Fire Specifications" i CFAST och efter beräkningar i CPLOT fås siktbarheten (Optical Density, OD) som utdata. Denna är då inte angiven i obscura utan som k (m^{-1}). För att räkna om till obscura används följande formel:

$$\text{obscura} = \frac{k}{2,303} \cdot 10$$

⁴⁴ "SFPE-handboken."

Bilaga D - FDS

D 1 Fire dynamics simulator (FDS)

D 1.1 Allmänt ⁴⁵

FDS är en "computational fluid dynamics" (CFD) modell, specialiserad för att modellera bränder och dess effekt, utvecklad av NIST. CFD-modellen modellerar strömningslära och används vid beräkningar för t.ex. flygplan och motorer.

FDS använder olika kontinuitetsekvationer för massa, energi och rörelsemängd. Ekvationerna gör det möjligt att simulera brandgasspridning, värmeutveckling, strålning, värmeflöde genom väggar från branden m.m. För att värdena skall bli korrekta, delas den avsedda rumsvolymen in i små kontrollvolymmer, d.v.s. kuber som tillsammans motsvarar rumsvolymen. I var och en av dessa kuber används de olika kontinuitetsekvationerna för att räkna ut önskad fakta. Tillsammans med FDS används programmet Smokeview som efter simulering visuellt visar de resultat som FDS-simuleringarna beräknat.

D 2 Indata

D 2.1 Brand

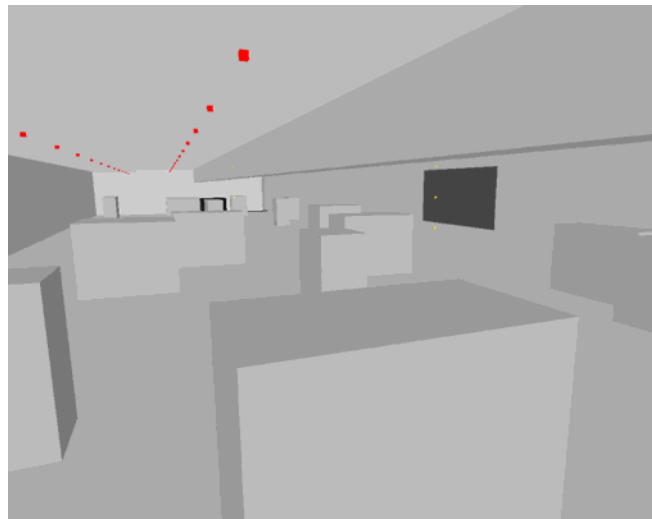
Användaren bestämmer själv effektutveckling, brandens tillväxt och position. Branden antas följa en αt^2 -kurva med förutbestämd effektutveckling/m². Arealen på branden som befinner sig på en av väggarna på Intersport, antas vara 8 m² och effektutvecklingen antas vara 375 kW/m². Branden på väggen bedöms spridas till ett klädställ som så småningom också antänder och brinner som en αt^2 -kurva, med effektutvecklingen 208 kW/m² och med arean 2,4 m². Total effektutveckling i simuleringen ligger med dessa fakta på ca. 3,5 MW.

D 2.2 Geometri och material

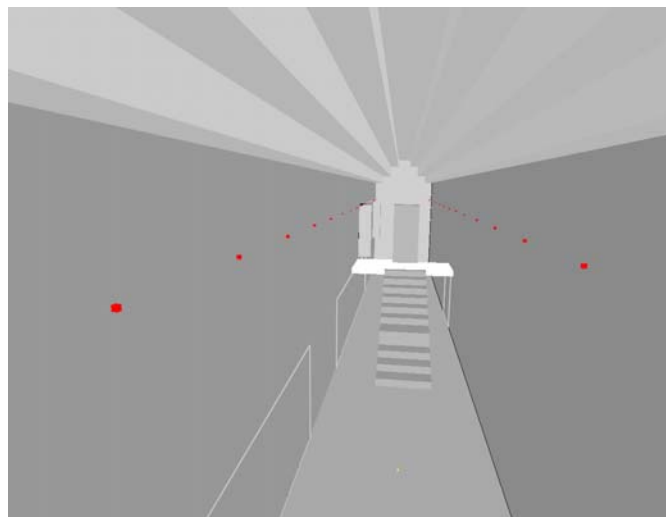
Användaren beskriver objektets geometri med väggar, dörrar, fönster, möbler, trappor o.s.v. Byggnadsmaterial och möblers material skrivs in i indatafilen tillsammans med en länk till en databas. På detta sätt kan programmet få olika materialegenskaper från databasen och med den informationen sedan simulera. För att göra simuleringen mer verklighetstrogen har ett antal klädställ placerats på Intersport (dock ej så många som fanns vid objektsbesöket), rulltrappa samt hiss har placerats in i atriet samt har trappsteg placerats ut i taket både i atriet och butiken för att simulera att taken lutar.

Fig. 17-18 visar hur Intersport respektive atriet ser ut i FDS-simuleringen. Den mörka rutan på högra väggen på Intersport representerar brandarean. Markeringarna i taket representerar sprinkler. Kuberna på golvet symboliserar hinder i form av klädställ.

⁴⁵ McGrattan, K.B.



Figur 17: Butiken Intersport i FDS-simulering.



Figur 18: Atriet utanför Intersport i FDS-simulering.

D 2.3 Sprinkler

Ur en databas väljer användaren vilken typ av sprinkler FDS ska använda. I databasen finns ett antal olika sprinklersorter med olika k-faktorer, RTI-värden, aktiveringstemperaturer m.m. I databasen fanns dock ingen sprinklersort med aktiveringstemperatur $68\text{ }^{\circ}\text{C}$ som är den sort som finns på objektet. En sprinkler med aktiveringstemperatur på $74\text{ }^{\circ}\text{C}$ fick därför användas. Detta är dock konservativt eftersom sprinklern i verkligheten kommer aktivera tidigare än den gör i simuleringen. Sprinklern som valdes ur databasen heter K-11 och har ett RTI-värde på 148.

D 2.4 Förenklingar

I indatafilen har vissa förenklingar gjorts på objektets geometri. Bl.a. har lagret bakom Intersport förenklats genom att antas vara rektangulärt. Detta bör dock ej förändra simuleringens resultat då arean fortfarande är densamma.

Dessutom har simuleringarna begränsats till att enbart behandla Intersports lokaler samt atriet utanför. Inte heller detta bör förändra resultatet av simuleringen då de öppningar som finns i atriet och som leder till andra utrymmen skrivs in i indatafilen. Objektets samtliga väggar antas vara av betong då detta är huvuddelen av konstruktionsmaterialet på objektet. I atriet består takmaterialet dock av glas, men detta bör ej påverka resultatet eftersom temperaturen aldrig höjs nämnvärt i atriet.

Ytterligare en förenkling är att hissen i atriet samt klädställ på Intersport antas vara inerta kuber som inte tar upp någon värme. Detta stämmer inte i verkligheten, men bör inte förändra resultatet nämnvärt eftersom temperaturen vid hiss och klädställ ej överstiger 45 °C.

D 3 Utdata

Användaren måste i indatafilen definiera vad programmet skall spara i utdatafilen. Genom att mata in önskad utdata, såsom temperatur, sikt och toxicitet vid olika punkter i objektet kan programmet samla in information motsvarande ett temperatur-, sikt- och toxicitetsträd. Som nämnts ovan kan, vid användning av Smokeview, dessutom en visuell utdatafil från simuleringen tas fram. Denna används bl.a. till att ge s.k. slice files som visar snitt på önskad data genom rummet.

Detta är en liten del av FDS. Programmet har kapacitet till att ge flera olika utdata, beroende på vad användaren söker.

D 4 Resultat

I denna del presenteras resultaten från FDS-simuleringen över brandscenario 2, brand på Intersport.

D 4.1 Kritiska förhållanden med sprinkleraktivering

Totalt aktiveras cirka 10 st. sprinkler vid branden i butiken, där den första aktiveras efter 136 s.

Nedan visas i tabellform tid till kritiska förhållanden för temperatur, sikt och toxicitet, då den kritiska höjden för utrymning har satts till 2 m. över golvnivå.

De parametrar som först blir kritiska markeras med grått. Utrymning från butiken Intersport är dock slutförd inom 2 min., vilket innebär att kritiska förhållanden aldrig uppstår under utrymningen.

Tabell 21: Tid till kritiska förhållanden (min) med sprinkleraktivering.

| Plats | Temperatur | Sikt | Toxicitet (CO ₂) |
|-------------------------|------------|------|------------------------------|
| Vid dörren till atriet: | | | |
| 2 m över golvnivå | - | 5,3 | - |
| 1 m över golvnivå | - | 9,2 | - |
| Vid branden: | | | |
| 2 m över golvnivå | - | 2,3 | 8,6 |
| 1 m över golvnivå | - | 3,2 | 8,4 |
| Mitt i rummet: | | | |
| 2 m över golvnivå | - | 3,8 | - |
| 1 m över golvnivå | - | 4,5 | - |

Atriet finns ej med i tabellen då kritiska förhållanden ej uppstår där innan utrymning är slutförd. Enligt Simulex simuleringarna har alla människor utrymt från plan 2 efter ca. 3 min.

D 4.2 Kritiska förhållanden utan sprinkleraktivering

Nedan visas i tabellform tid till kritiska förhållanden för temperatur, sikt och toxicitet, då den kritiska höjden för utrymning har satts till 2 m. över golvnivå.

De parametrar som först blir kritiska markeras med grått. Utrymning från butiken Intersport är dock slutförd inom 2 min., vilket innebär att kritiska förhållanden aldrig uppstår under utrymningen.

Tabell 22: Tid till kritiska förhållanden utan sprinkleraktivering.

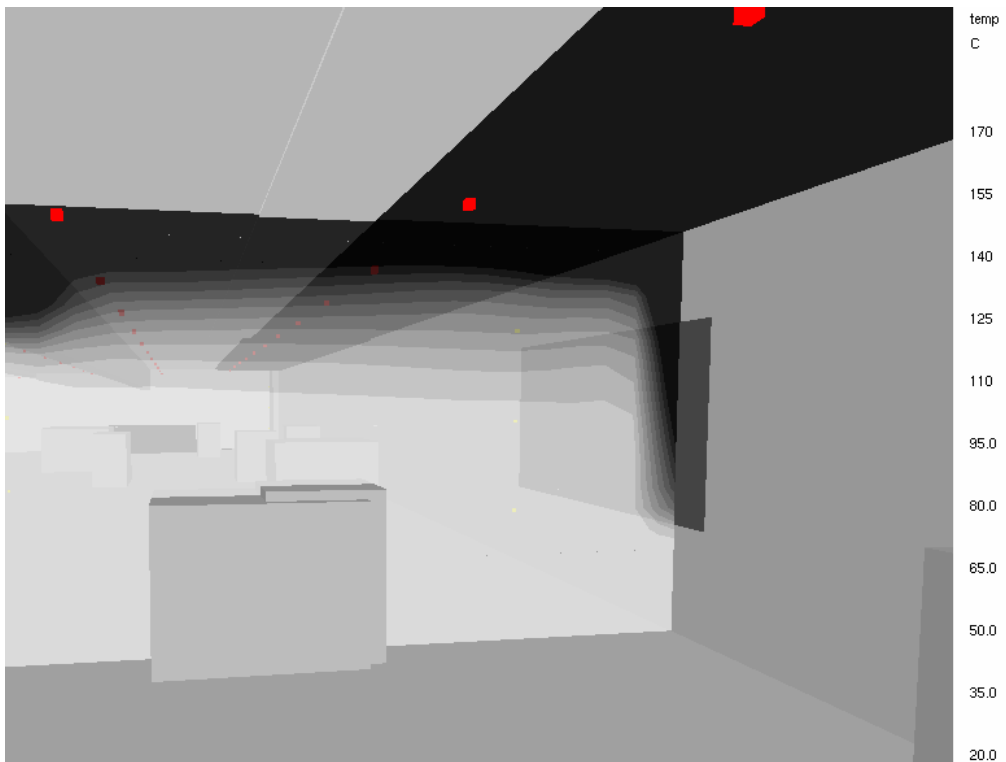
| Plats | Temperatur | Sikt | Toxicitet (CO ₂) |
|-------------------------|------------|------|------------------------------|
| Vid dörren till atriet: | | | |
| 2 m | - | 5,5 | - |
| 1 m | - | 8,1 | - |
| Vid branden: | | | |
| 2 m | 7 | 2,3 | 8,6 |
| 1 m | - | 4,6 | 8,4 |
| Mitt i rummet: | | | |
| 2 m | 7,4 | 4,1 | - |
| 1 m | - | 6 | - |

Atriet finns ej med i tabellen då kritiska förhållanden ej uppstår där innan utrymning är slutförd. Enligt Simulex simuleringarna har alla människor utrymt från plan 2 efter ca. 6 min.

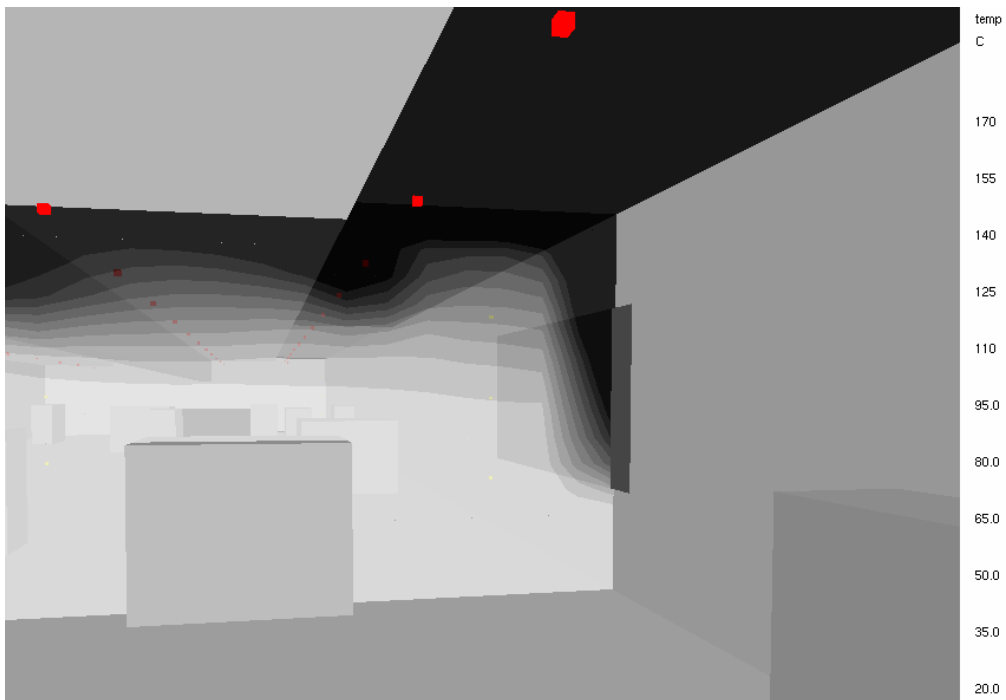
D 5 Verifiering av simuleringens giltighet

De framtagna resultaten verifierades genom en undersökning för att se om kontrollvolymernas storlek påverkar resultatet. Verifieringen genomfördes genom att två simuleringar gjordes, vars indata var identisk med undantag för kontrollvolymernas storlek. De simuleringarna som används i arbetet har större kontrollvolymstorlek än den simulering som utfördes för

verifiering. Verifieringen görs för att undersöka om temperaturen påverkas av kontrollvolymstorleken. Av figur 19-20 framgår att temperaturen ej förändras nämnvärt med kontrollvolymstorleken, vilket betyder att resultatet av simuleringarna är rimliga.



Figur 19: Temperaturprofil efter 3 minuter vid liten kontrollvolymstorlek.

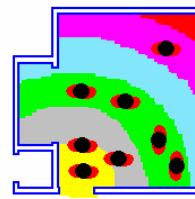


Figur 20: Temperaturprofil efter 3 minuter vid stor kontrollvolymstorlek,

Bilaga E - Simulex

E 1 Programmet Simulex

I denna bilaga presenteras utrymningsprogrammet Simulex samt vilka förutsättningar och indata som använts vid simuleringarna.



Figur 19: Distansskarta i Simulex.

E 1.1 Allmänt om Simulex

Simulex är ett simuleringsprogram utvecklat av Edinburgh University Scotland och Lunds Universitet, Sverige och är användbart vid simulering av utrymning.⁴⁶ Programmet hjälper användaren att få en bild av hur det kommer att se ut och hur lång tid en utrymning tar vid de förhållanden som avses studeras.⁴⁷ Med hjälp av en 2D-bild eller CAD-ritning av lokalen eller byggnaden som simuleras kan de hinder och länkar som anses finnas vid verkliga förhållanden placeras ut. Med länkar avses trappor, utgångar och andra tillfälliga passager, som hinder avses t.ex. inredning. Tillsammans med trapporna i byggnaden länkas eventuella våningar ihop med varandra och en helbild av byggnadens utrymningsmöjligheter i 3D fås fram. Med hjälp av statistik och rimliga antaganden kan det antal personer som kan finnas i varje del av byggnaden placeras ut. Varje enskild person kan även få den karaktär de ska ha under simuleringen. Valen av karaktär är:

- Responstid
- Gånghastighet
- Kön och egenskaper
- Val av utrymningsväg och utgång

I valet av utrymningsväg och utgång krävs det olika avståndskartor för olika utgångar. I valet anges vilken karta som personen avser följa. Genom att placera ut en slumpvald person i en avståndskarta beräknad för alla befintliga utgångar visas också vilken som är den närmsta vägen ut ur alla delar av byggnaden.

Fördelen med programmet är att det kan konstateras var "flaskhalsar" och köer vid utrymning uppstår. På så sätt visas var krav på förbättringar krävs och var personer kan komma i kritiska lägen.

Under tiden programmet simulerar finns möjlighet att spela in händelseförloppet och även göra en paus. Utdatan och händelseförloppet kan sparas för vidare dokumentering. Med möjligheten att stoppa simuleringen vid vilken tidpunkt som helst, kan fel och brister enkelt korrigeras under tiden. Allt för att efterlikna verkliga förhållanden så mycket som möjligt.

E 2 Indata

På nedanvåningen finns det tretton utrymningsvägar ut till det fria och på övervåningen finns det fyra, varav en är rulltrappan. Atriernas ingångar benämns som huvudingångar, där den södra vetter mot parkeringen, och atriets förbi ICA benämns som huvudatriet, se fig. 4, kap. 4.

⁴⁶ Abrahamsson, M.

⁴⁷ www.ies4d.com

Nedan beskrivs besökares och personalens fördelning på utrymningsvägar från samtliga butiker vid brandtillbud, vilket motsvarar indata för simuleringen.

E 2.1 Plan 1

För personfördelning och utrymningsvägar, se fig. 20-21.

ICA - Personer i butiken har fem olika utrymningsvägar att välja mellan. En nödutgång från affären, två via lager/kontor och två utgångar till atriet (via ingång och kassor). Personalen på lager och kontor förutsätts ha god kännedom om byggnaden och får på så sätt snabbare gånghastighet än kunder. Två personer från personalen visar kunder från affären in på lagret och kontoren för att utrymning skall ske så snabbt som möjligt. Detta kan antas då "Manual för säkert center" har tryckts upp av Rodamco, Sverige.

De personer som befinner sig vid kassorna och ingången väljer att utrymma via atriet och dess huvudingångar. Majoriteten av dessa utrymmer genom södra huvudingången mot parkeringen vilket skapar stor kö ut från butiken. Vid södra huvudingången mot parkeringen möter utrymmande personer från ICA utrymmande personer från övriga delar av köpcentret och skapar en fördröjning.

Etos presentartiklar - Personer i butiken utrymmer genom södra huvudingången.

Go West - Personerna fördelas på huvudingångarna i atriet.

Café Valhall - Restaurangbesökarna har en fördröjd responstid då tidigare erfarenheter visar att de som serverats sin mat är ovilliga att lämna den. Detta medför att de börjar utrymma ca. 15 s. senare än övriga besökare.⁴⁸

Restaurang Bifrost - Se resonemanget ovan. Responstid har antagits till ca. 25 s. då sikten ut mot atriet är begränsad i jämförelse med personerna på Café Valhall. Från lokalen finns fyra utrymningsvägar, en i köket, två till atriet och en direkt till det fria. Några av personalen i köket väljer dörren där, övriga personer väljer de andra utrymningsvägarna.

Godishjärtat - Besökare utrymmer genom norra huvudingången.

Randi Foto & Ur, Skoparet, Bålsta guld & silver och Highlight - Besökarna fördelas på köpcentrets fem ingångar. Majoriteten utrymmer genom huvudingångarna och några blir visade av personal ut via nödutgången bakom Café Valhall.

Dressman - En nödutgång i butikens bakre del leder till den södra ingången. Vid besöket fanns ett klädställ som blockerade halva utrymningsbredden. Detta medför att endast ett fåtal personer kan utrymma den vägen. Besökare fördelas på denna och övriga utrymningsvägar.

Duka och Bålsta Optik - Besökare väljer någon av de tre ingångarna i det mindre atriet.

Mahzoni, Skandia mäklaren, SE Banken och A small world - Besökare väljer närmsta väg ut genom det mindre atriet.

⁴⁸ Utrymningsföreläsning med Håkan Frantzich.

Lyssna och Njut - En nödutgång är belägen i verkstadsdelen och nyttjas av en del av personalen. Övriga personer utrymmer genom södra ingången.

Centrumblommor, Abattes Kemtvätt, Nordea, Widgards parfym & väsk, Hälsotek & Väskbutik och Systembolaget - Besökare utrymmer genom de tre närmsta ingångarna.

Brio Leksaker - I butikens bakre del finns en nödutgång direkt till det fria. Besökare fördelas på denna och ingången närmst butiken.

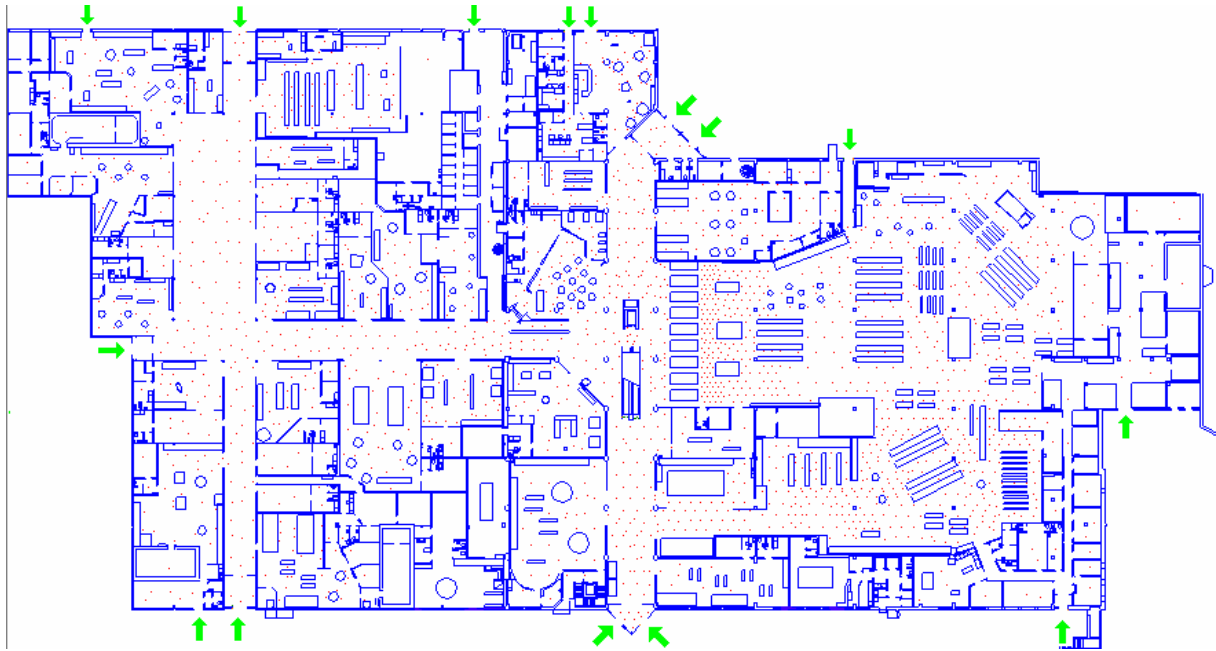
E 2.2 Plan 2

Lindex - Personerna utrymmer huvudsakligen genom butikens nödutgång, vilken leder ut till taket och därifrån vidare ner via trappa till parkeringen. Övriga personer väljer rulltrappan ner till undervåningen och därifrån vidare ut genom huvudingångarna.

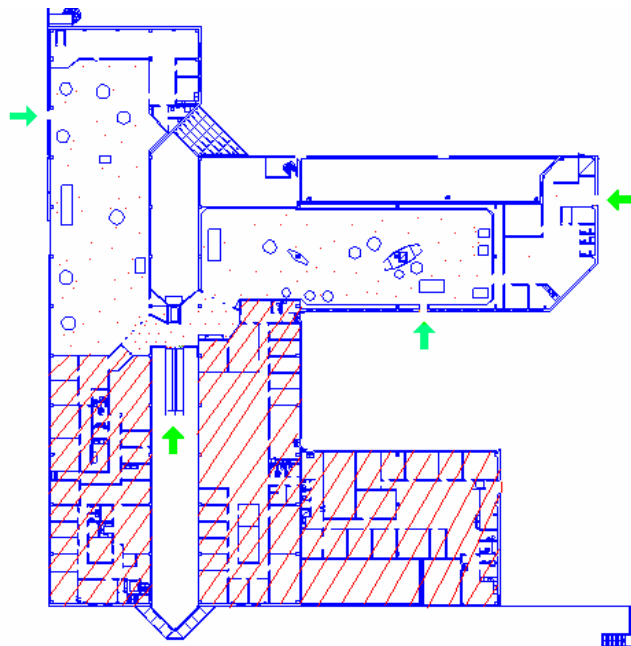
Intersport - Personerna i butiken fördelas på tre olika vägar ut, vilka är via rulltrappan, via nödutgången i butiken och via en utgång på lagret. Utgången på lagret används enbart av personal beroende på att dörren in till lagret var stängd vid besöket och ingen utrymningsskylt var placerad där.

Besökare som befinner sig mellan Lindex och Intersport tar rulltrappan ner till bottenplan.

E 3 Bilder från Simulexsimuleringen



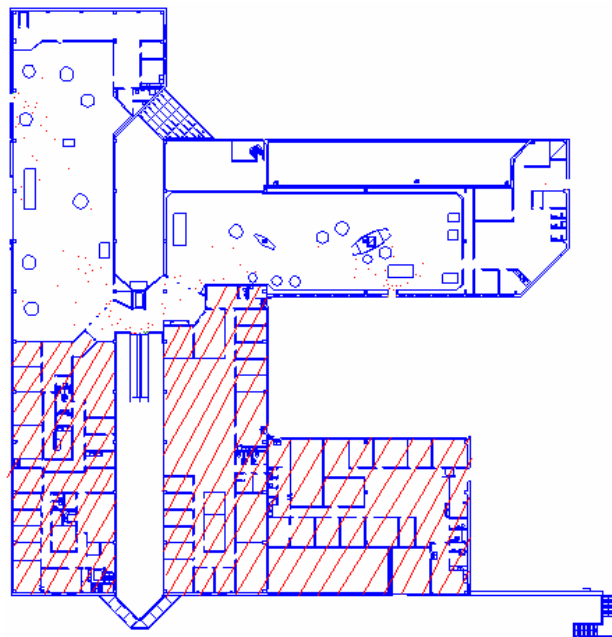
Figur 20: Översiktsbild över personfördelning på vån. 1 innan utrymning startat.



Figur 21: Översikt över personfördelning på vån. 2 innan utrymning startat.



Figur 22: Översikt vån. 1 när utrymningen är igång.



Figur 23: Översikt vån. 2 när utrymningen är igång.

Bilaga F - RTI-bestämning

F 1 Sprinkler laboration

F 1.1 Syfte

I brandskyddsdocumentationen är intervallet på sprinklernas RTI-värde stort (100-300). Detta ger en osäkerhet på hur snabbt sprinklern aktiverar. Därför utfördes ett test för att ta reda på det verkliga RTI-värdet.

F 1.2 Utförande

Sprinklern sätts ned i en vindtunnel med ett gasflöde med känd hastighet och temperatur för att mäta sprinklernas aktiveringstid. Bulben är fast gängad i ett rör med vatten för att få realistiska konduktiva förluster. Temperaturen på vattnet i röret är 20 °C (T_0 , rumstemperatur) precis som bulben. Tiden tas från det att sprinklern sätts ner i vindtunneln tills det att den aktiverar.

F 1.3 Beräkningar

I vindtunneln mättes hastighet och temperaturen upp till:

$$v = 2 \text{ m/s}$$

$$T_g = 192 \text{ °C}$$

Det faktum att sprinklernas bulb är röd ger en aktiveringstemperatur på 68 °C (T_{akt}).⁴⁹

Sprinklernas aktiveringstid:

$$t = 51 \text{ s}$$

För att få fram RTI-värdet används följande formel:⁵⁰

$$RTI = - \frac{t \sqrt{v}}{\ln \left[1 - \frac{(T_{akt} - T_0)}{(T_g - T_0)} \right]} = - \frac{51 \cdot \sqrt{2}}{\ln \left[1 - \frac{(68 - 20)}{(192 - 20)} \right]} = 220 \text{ m}^{0,5} \text{ s}^{0,5}$$

F 1.4 Resultat

Sprinklern var monterad så att de varma gaserna strömmade direkt mot glasbulben. Detta gör att det "bästa" värdet, med den snabbaste aktiveringstiden, fås fram. Alltså fås ett lågt RTI-värde jämfört med om flera tester skulle gjorts med bulben i olika lägen i förhållande till gasströmmen. Bygeln bulben sitter i gör att bulben kommer i "lä" och aktiveringstiden ökar. Det resulterande RTI-värdet var 220.



Figur 24:
Sprinklerhuvud.

⁴⁹ Särqvist, S.

⁵⁰ Särqvist, S.