



Rapport 9212

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Lunds universitet

Brandteknik

Brandteknisk riskvärdering av varuhuset Oden, Trollhättan



Författare:

Tobias Dahl Hansson
Theres Möller
Rasmus Nilsson
Veronica Ögren

December 2003

Kontaktpersoner:

Fredrik Nystedt,
Öresund Safety Advisers
Sofia Haglund,
Norra Älvsborgs
Räddningstjänstförbund

Avdelningen för Brandteknik

Lunds Tekniska Högskola

Box 118

221 00 Lund

Department of Fire Safety Engineering

Lund University

Box 118

S-221 00 Lund

Titel

Brandteknisk riskvärdering av varuhuset Oden, Trollhättan

Title

Fire Safety Evaluation of Oden Shopping mall, Trollhättan

Av/By

Tobias Dahl Hansson

Theres Möller

Rasmus Nilsson

Veronica Ögren

Brandingenjörsprogrammet, Lunds Tekniska Högskola, 2003

Fire Safety Engineering Program, Lund University, 2003

Abstract:

This report contains a fire safety evaluation of Oden 8, a shopping mall located in Trollhättan, Sweden. The evaluation is based on Swedish laws and regulations, manual calculations, fire modelling using CFAST 3.1.7 and egress simulations using Simulex 2.0. The results have been evaluated with a sensitivity analysis. Conclusions drawn using these results has been used to present suggestions to improve the fire safety regarding the safety of people.

This report is part of the course *Fire safety design and risk evaluation* on Lund University, Department of Fire Safety Engineering. The course is compulsory for third year students studying *Fire protection engineering*.

Keywords:

evacuation, egress, smokefilling, fire safety evaluation, simulex, CFAST, Oden, Oden8, Trollhättan

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.

Förord

Denna rapport är framtagen som en del i kursen Brandteknisk riskvärdering för årskurs 3 på brandingenjörsprogrammet vid LTH, Lund. Under arbetets gång har ett antal personer bidragit med information och goda råd.

Tack till:

Fredrik Nystedt, vår kontaktperson och klippa från Öresund Safety Advisers

Peter Hall, vår mycket hjälpsamma fastighetstekniker vid varuhuset Oden

Sofia Haglund, en kontaktperson vid Norra Älvsborgs räddningstjänstförbund

Mats Balder, Norra Älvsborgs räddningstjänstförbund

Personalen på Avdelningen för Brandteknik för att ha svarat på frågor

Liera AB för utlåning av kamera

Personalen på Oden som mötte oss med vänlighet

Max Faye-Wevle för hjälp vid datorproblem

Sammanfattning

Denna rapport innehåller en brandteknisk riskvärdering av varuhuset Oden i Trollhättan med förslag på förbättringar. Personsäkerheten och utrymningsmöjligheterna för olika tänkbara brandscenarier ligger i fokus genom hela rapporten. Byggnaden består av två butiksplan, parkeringsdäck på taket samt en källare för lagerhållning och är uppdelad i två separata delar, Oden 7 och Oden 8. Endast de publika delarna i Oden 8 har utvärderats i denna rapport.

Med hjälp av datorprogrammen CFAST och Simulex har tre olika brandscenarier simulerats för att utreda hur brandskyddet och utrymningsorganisationen fungerar under värsta sannolika förhållanden. Brandscenarierna har diskuterats fram efter ett besök på objektet samt möte med räddningstjänsten i Trollhättan, och har valts för att utvärdera byggnadens brandskydd och utrymningsorganisation.

För att bidra till bättre förståelse innehåller rapporten utförliga beskrivningar av byggnaden och de simuleringsmodeller som använts, samt ett kapitel kring hur utrymning kan ske i byggnaden. Säker utrymning har definierats till att tiden till kritiska förhållanden skall understiga den tid det tar för personerna i byggnaden att upptäcka branden och ta sig ut. I Oden används automatiskt brandlarm, brandutbildning av personal och talat utrymningslarm för att underlätta en säker utrymning. Resultaten av simuleringarna visar dock att utrymning av byggnaden i dagsläget inte är helt tillfredställande, framför allt med tanke på utrymmande från andra våningsplanet. Vissa förändringar måste utföras för att säkerheten ska anses vara god. Rapporten yrkar därför att följande uppfylls:

- att tiden till aktiverat utrymningslarm skall förkortas.
- att personalen skall kunna delta mer aktivt i en utrymningssituation.
- att låsanordningarna till utrymningsvägarna skall uppgraderas.

Den befintliga larmlagringen skulle med fördel kunna ersättas av tvådetektorsystem för att förkorta tiden tills utrymningen påbörjas. Om samtlig personal utbildas regelbundet kan de delta mer aktivt i utrymningsarbetet. Dessa båda åtgärder kommer att leda till ett betydligt effektivare utrymningsförlopp än vad den nuvarande situationen tillåter. Genom detta kommer Oden att kunna betraktas som säkert.

Innehållsförteckning:

1 INLEDNING	11
1.1 BAKGRUND	11
1.2 SYFTE	11
1.3 METOD	11
1.3.1 Arbetsgång	11
1.3.2 Val av metod	11
1.3.3 Känslighetsanalys	12
1.4 AVGRÄNSNINGAR	12
2 OBJEKTSBESKRIVNING	13
2.1 BYGGNAD	13
2.1.1 Verksamhet	13
2.1.2 Konstruktion	14
2.1.3 Tillbudshistorik	15
2.1.4 Översiktsplan	15
2.2.1 Sprinklersystem	16
2.2.2 Detektionssystem	16
2.2.3 Brandlarmsystem	16
2.2.4 Utrymningslarm	16
2.2.5 Ventilation	17
2.2.6 Släckutrustning	17
2.2.7 Punktskydd	17
3 BRANDSCENARIER	19
3.1 MÖJLIGA BRANDSCENARIER	19
3.1.1 Nedre plan	19
3.1.2 Övre plan	19
3.2 DISKUSSION	20
3.2.1 Sannolikhet och konsekvens	20
3.2.2 Nedre plan	20
3.2.3 Övre plan	20
3.3 VALDA BRANDSCENARIER	21
4 UTRYMNING	23
4.1 ALLMÄNT	23
4.2 UTRYMNINGSVÄGAR	24
4.3 TID FÖR UTRYMNING	25
4.3.1 Varseblivning	26
4.3.2 Beslut och reaktion	26
4.3.3 Förflyttning	26
4.4 KRITERIUM FÖR SÄKER UTRYMNING	26
5 SIMULERINGSMODELLER	27
5.1 CFAST 3.1.7	27
5.1.1 Allmänt	27
5.1.2 Antaganden och begränsningar	27
5.1.3 Indata	28
5.1.4 DetAct-T2	29
5.2 SIMULEX 2.0	29
5.2.1 Allmänt	29
5.2.2 Antal personer	29
5.2.3 Besluts-, reaktions- och förflyttningstid	29
5.2.4 Antaganden och begränsningar	30

6 ICA	31
6.1 BRAND PÅ ICA - SCENARIO 1	31
6.2 EFFEKTUTVECKLING	31
6.3 SIMULERING I CFAST	32
6.4 SIMULERING I SIMULEX	34
6.5 JÄMFÖRELSE OCH SLUTSATSER	34
7 LINDEX	35
7.1 BRAND PÅ LINDEX LAGER - SCENARIO 2	35
7.2 EFFEKTUTVECKLING	36
7.3 SIMULERING I CFAST	37
7.4 SIMULERING I SIMULEX	40
7.5 JÄMFÖRELSE OCH SLUTSATSER	40
8 JC	41
8.1 BRAND PÅ JC - SCENARIO 3	41
8.2 EFFEKTUTVECKLING	41
8.3 SIMULERING I CFAST	42
8.4 SIMULERING I SIMULEX	43
8.5 JÄMFÖRELSE OCH SLUTSATSER	44
10 SAMMANFATTANDE DISKUSSION OCH FÖRSLAG PÅ FÖRBÄTTRINGAR	49
10.1 IAKTTAGELSER FRÅN OBJEKTSBESÖKET	49
10.2 SLUTSATSER FRÅN BRANDSCENARIERNA	50
10.3 FÖRSLAG TILL FÖRBÄTTRINGAR	50
11 SLUTDISKUSSION	53
BILAGOR:	55
HANDBERÄKNINGAR	56
Handberäkning av strålning från brandgaslager	56
Handberäkning av minimalt avstånd från flamma	56
VAL AV EFFEKTKURVOR	57
KÄNSLIGHETSANALYS	59
Ica känslighetsanalys	59
Lindex känslighetsanalys	60
JC Känslighetsanalys	61
IN- OCH UTDATA TILL DATOR SIMULERINGAR	63
CFAST	63
SIMULEX	65

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Denna rapport ingår i kursen Brandteknisk riskvärdering 10 poäng vid Lunds Tekniska Högskola. Kursen ges under tredje utbildningsåret och arbetet utförs i grupp om fyra personer. Grupperna tilldelas olika objekt som tagits fram av räddningstjänster runt om i Sverige. Under arbetets gång har studenterna tillgång till handledning av utsedd kontaktperson från Lunds tekniska högskola samt från aktuell räddningstjänst.

1.2 Syfte

Denna rapport är en brandteknisk riskvärdering av varuhuset Oden i Trollhättan med inriktning på personsäkerheten. Det huvudsakliga syftet är att klargöra hur brandskyddet och utrymningsorganisationen skulle fungera vid brand. Ett sekundärt syfte är att ge rekommendationer till förbättringar, vilket är tänkt att ligga till grund för det fortsatta säkerhetsarbetet kring Oden. Målgruppen för rapporten består främst av de personer som är involverade i detta säkerhetsarbete. Sammanfattningsvis syftar rapporten till att besvara följande frågor:

- Är varuhuset Oden tillräckligt säkert med avseende på personskyddet vid brand?
- Vilka åtgärder kan genomföras för att ytterligare förbättra brandskyddet?

1.3 Metod

1.3.1 Arbetsgång

Arbetet utförs i två delar. Den första delen består av insamling av erforderlig information, den andra av själva analysen. Första delen innebär noggranna studier av dokumentationer samt ritningar. Dessutom görs ett objektsbesök där fastighetstekniker, brandsyneförrättare samt personal intervjuas. Öppningar och takhöjd mäts och viktiga delar av objektet fotograferas.

Den andra delen består av att ta fram och analysera scenarier som representerar de värsta tänkbara bränder som kan uppkomma i Oden. Genom simuleringarna och beräkningarna upptäcks eventuella brister. Utifrån detta kan förslag på förbättringar utarbetas.

För att se hur de valda brandscenarierna påverkar utrymningssäkerheten tas tiden till kritiska förhållanden fram med simuleringsprogrammet CFAST 3.1.7. Kriterierna för kritiska förhållanden hämtas ur Boverkets Byggregler, BBR. Resultaten från CFAST jämförs sedan med den tid det tar att utrymma byggnaden, vilket simuleras med datorprogrammet Simulex 2.0. Därigenom kan utrymningssäkerheten bedömas, och utifrån resultaten ges förslag på förbättringar och åtgärder.

Under framtagandet av rapporten skedde kontinuerlig handledning av Fredrik Nystedt vid Öresund Safety Advisers.

1.3.2 Val av metod

Rapportens innehåll och slutsatser bygger främst på de tre scenarier som simulerats i Simulex och CFAST men även av litteraturstudier, intervjuer och objektsbesöket. Dataprogrammens uppbyggnad, begränsningar och reliabilitet redovisas i kapitel 5. Valet av programmen motiveras med att de ger tillräckligt valida resultat till en rimlig arbetsbörda. Andra alternativ

till dessa program har valts bort eftersom de är för tidskrävande och resurskrävande. Simuleringarna har därefter kompletterats med känslighetsanalyser.

1.3.3 Känslighetsanalys

För att säkerställa att scenarierna utgör goda representanter för värsta sannolika fall genomförs känslighetsanalyser vilket innebär att viktiga parametrar varieras och utvärderas. Många av de viktiga ingångsvärdena är behäftade med osäkerheter som måste hanteras, vilket gör det nödvändigt att undersöka hur resultaten förändras med olika förutsättningar. Speciellt har följande granskats:

- Viktiga indata till CFAST
- Varierande maxeffekter
- Varierande tillväxthastigheter
- Öppningars storlekar varieras

1.4 Avgränsningar

Då Odenvaruhuset består av två sammanbyggda varuhus (Oden 7 och Oden 8) på vardera ca 14 000 m² har rapporten begränsats till att endast innefatta de allmänna utrymmena i Oden 8. Denna begränsning har gjorts utifrån diskussion med brandskyddsför rättare och handledare samt genom undersökning av befintligt brandskydd. Brandskyddet i Oden 7 samt i källaren och garageplanet i Oden 8 anses ha relativt hög brandsäkerhet vilka uppfyller dagens brandskyddskrav (se nedanstående stycke). Brandskyddet i de allmänna utrymmena i Oden 8 anses däremot behöva granskas mer ingående.

Oden 7 är försedd med automatiskt brandlarm samt utrymningslarm. Butikslokalerna i Oden 7 är försedda med automatisk vattensprinkleranläggning (RTI 50 ms^{1/2} och utlösningstemperatur på 68°C). Trapphusen i Oden 7 är försedda med brandgasventilation i form av brandgasfläktar som uppfyller kraven i BBR samt alternativa rökluckor. Källaren i Oden 8 är försedd med automatisk vattensprinkleranläggning. Valet av begränsning förutsätter att brandskyddet underhålls och fungerar i Oden 7 samt i källaren i Oden 8.

Avgränsningen har gjorts vid den brandavskiljande väggen (REI-M 120) mellan Oden 7 och Oden 8, mellan källaren och vån 1 samt mellan vån 2 och det öppna garageplanet på taket. Utrymmande personer anses säkra när de kommer ut till det fria, upp på det öppna garageplanet eller över till Oden 7 (annan brandcell).

Rapporten avgränsas vidare, som tidigare nämnts, till att endast behandla personsäkerhet vid brand. Egendomsskador, dvs. ekonomiska förluster samt miljöpåverkan behandlas ej.

2 Objektsbeskrivning

2.1 Byggnad

2.1.1 Verksamhet

Objektet som behandlas är varuhuset Oden som ligger beläget mitt i centrala Trollhättan och omfattar ett helt kvarter. Oden byggdes i mitten av 70-talet och var ursprungligen två separata byggnader, Oden 7 och Oden 8. Dessa byggdes senare samman genom en förbindelse mellan de två fastigheterna. Eftersom arbetet är avgränsat till Oden 8 kommer Oden 7 endast att beskrivas då det är motiverat ur tydlighetssynpunkt.

Oden 8 utgörs av fyra plan, två butiksplan, en källare och ett parkeringsdäck. Källarplanet består av lager- och förrådsutrymmen, sprinklercentral, två skyddsrum och utrymmen för fastighetsskötsel. Det finns två våningsplan med butiker samt ett parkeringsdäck på taket. Parkeringsdäcket är gemensamt för båda fastigheterna.



Bild 1. Huvudentrén till Oden 8.

Markplanet består av 16 butiker som alla ligger placerade runt ett gemensamt utrymme/butikstorg där även de centrala rulltrapporna finns. Undantaget är butiken Bogart som inte har någon kontakt med övrig verksamhet utan endast har åtkomst från det fria. För butikslokalisering se översiktsplanen i kapitel 2.1.4. Entrébutiken och McDonalds har förutom öppningarna till butikstorget dessutom dörrar till det fria. Utöver de centrala rulltrapporna finns öppning i bjälklaget till det övre planet även för rulltrappan i Hennes & Mauritz, som har butik i båda planen.

Det övre planet är uppbyggt på samma sätt som markplanet, med butikerna runt omkring rulltrapporna. Här finns 11 butiker samt ett café. Mitt i butikstorget finns omkring 130 sittplatser tillhörande serveringen.

Det gemensamma utrymmet är dagtid sammankopplat med Oden 7. Från markplan leder öppningen till butiksdelen i Oden 7, medan öppningen på övre planet leder till det undre parkeringsdäcket i Oden 7. När flertalet butiker stängt stängs även brandskjutportarna mellan fastigheterna. Detta för att ICA och McDonalds i Oden 8 har öppet betydligt längre än butikerna i Oden 7.

Vid ingången till Oden 7 finns fyra hissar som betjänar allmänheten från markplan till det öppna parkeringsdäcket. Där finns också ett trapphus som även det går till parkeringen.

Arean för Oden 8 uppgår till ca 6 800 m² per plan, varav ca 5 600m² per plan utgörs av butiker med lager samt allmänna publika utrymmen.

2.1.2 Konstruktion

Byggnaden är i huvudsak uppförd i betong. Ytterväggar, tak och golv utgörs av betong, medan väggarna mellan butiksutrymmen utgörs av lättväggar. Detta för att relativt enkelt kunna ändra butiksgeometrierna när hyresgästerna skiftar. I taknivå både mellan olika butiker och mellan butiker och butikstorget finns 60 cm galler, i vissa fall är det 120 cm, se bild 2 nedan. Detta fungerar som del i ventilationssystemet, men finns dock inte mellan alla butiker.



Bild 2 Galler i taknivå i vägg.

Undertaket i butikerna består av plattor av obrännbart material och sitter på 3,5 m höjd. Ovanför plattorna är det ytterligare 1,4 m upp till bjälklaget. Detta utrymme är del i ventilationsanläggningen som en sugkammare för frånluft. I det centrala utrymmet är takhöjden 3,5 m med en liten förhöjning på några decimetrar alldeles ovanför rulltrapporna. Mellan de två fastigheterna finns brandklassad vägg i form av EI 240 samt brandskjutportar i klass EI 120. Med undantag för vissa utrymningsvägar, trapphus och fläktrummet omfattas hela byggnaden av samma brandcell. Byggnaden är utrustad med nödbelysning vars styrka

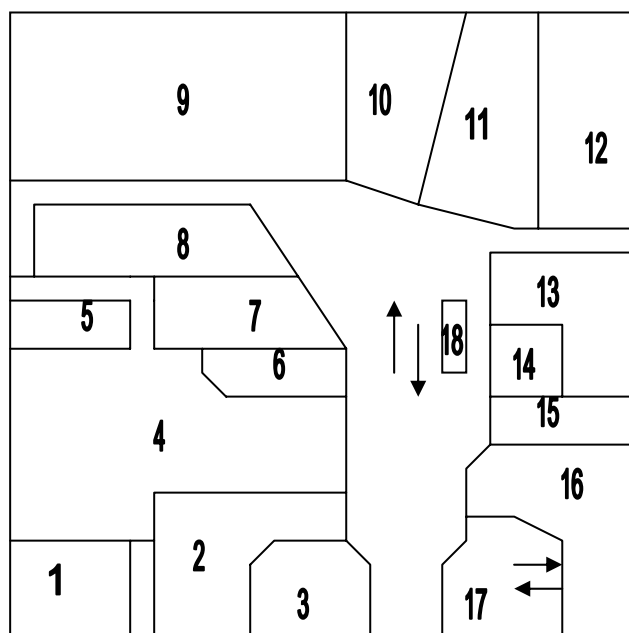
uppgår till 20 % av normal belysning. Dieselgeneratoren som fungerar som reservkraftverk i byggnaden startar automatiskt vid strömbortfall.

2.1.3 Tillbudshistorik

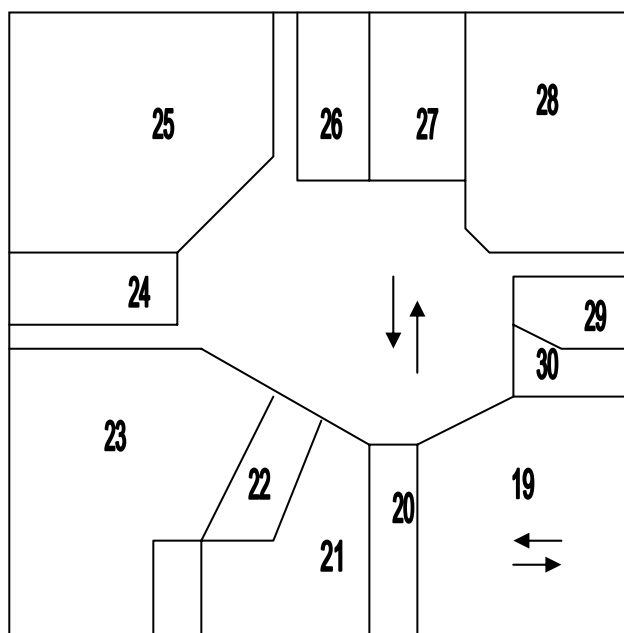
Objektet har haft fyra tillbud de senaste fem åren. Dessa har varit bränt bröd i ICA matmors lokaler, rökutveckling från en av de centrala rulltrapporna p.g.a. av läckande olja, brand i en mikro i ett personalutrymme samt brand i en fritös tillhörande Caféet. Det har inte varit något större problem med onödiga automatiska brandlarm från varuhuset.

2.1.4 Översiktsplan

En grov översikt över de två våningsplanen i Oden 8 visas nedan med tillhörande tabell som anger hyresgäster och övriga utrymmen.



Plan 1



Plan 2

1	Bogart	9	ICA	17	H&M	25	Cassels
2	McDonalds	10	Duka	18	Mr Minit	26	Gina Tricot
3	Entrébutiken	11	Gallerix	19	H&M	27	Din sko
4	Lindex	12	Exit	20	Handskmakaren	28	JC
5	Lindex-lager	13	Optiker Liljelood	21	Dvd Norden.se	29	Petronellas
6	Parfymeri Denise	14	Guldfynd	22	Jack & Jones	30	Stjärnurmakarna
7	Tom butik	15	Kodak	23	Intersport		
8	Köksboden	16	Bokia	24	Café		

Pilarna anger de centrala rulltrapporna samt rulltrappor inne i H&M.

2.2 Aktiva system

2.2.1 Sprinklersystem

I fastigheten finns det endast sprinklersystem i källarplanet, men eftersom källarplanet faller utanför avgränsningen undersöks inte sprinklerfunktionen närmare här.

2.2.2 Detektionssystem

I Oden finns ett flertal olika sätt att detektera en brand. Totalt finns 230 rökdetektorer placerade i 32 sektorer. Maximalt avstånd mellan två detektorer är ca sju meter. I vissa utrymmen där rökdetektorer visat sig olämpliga finns istället värmedetektorer. Exempel på detta är ovanför lastkajen, i fläktrummen och i vissa personalutrymmen. Samtliga detektorer i Oden byts ut med femårsintervaller. Brandlarmet utlöser även vid aktivering av sprinkler i källarplanet. Dessutom finns endast en larmknapp för direkt larm till SOS Alarm, den återfinns på lastkajen.

2.2.3 Brandlarmsystem

Ett förvarningslarm finns installerat i form av brandlarmsklockor och sirener i ett heltäckande system som hörs klart och tydligt i samtliga delar av byggnaden. Avsikten med larmet är att personalen ska börja förbereda för utrymning och stängs därför av automatiskt efter ca 5 min. För personalens uppgifter se vidare kapitel 4.1. I fastigheten finns sex brandförsvarsledare, dessa är de två fastighetsteknikerna samt fyra butiksanställda. Vid förlarm går även ett larm till deras personsökare, vilket gör att de kan undersöka var det brinner och vid behov starta utrymningslarmet. Centralapparaten är belägen i anslutning till lastkajen vid ICA:s lager. I samband med förvarningslarmet stannar rulltrappor och ventilation. Stekbord, fritöser och liknande stängs av automatiskt i restaurangerna. Brandskjutportarna mot Oden 7 stängs. Hissarna stannar inte vid brandlarm, men vid eventuellt strömbortfall går hissarna ned till markplan. Samtidigt som förlarmet ljuder larmas också räddningstjänsten i Trollhättan via SOS Alarm. Vid brandlarm larmas även vaktbolaget Securitas som har god lokalkännedom och därigenom blir en resurs för räddningstjänsten.

2.2.4 Utrymningslarm

I nuläget måste utrymningslarmet startas manuellt vid centralapparaten av någon av brandförsvarsledarna. Den automatiska aktiveringen är i dagsläget ifrånkopplad. Det finns även en utrymningslarmknapp i Åhléns i Oden 7, men aktiverat larm hörs endast i den byggnad som larmar. Utrymningslarmet inleds med utrymningssignal "Omedelbar fara" som varar i 10 sekunder. Meddelandet är förinspelat och ges både på svenska och engelska, och upprepas. När utrymningen är klar ska brandförsvarsledaren möta upp räddningstjänsten och lämna rapport till brandbefälet. Angående ljudnivån på utrymningslarmet är informationen blandad, se vidare kap 9 "Intervjuer med butikspersonal".



Bild 3. Utrymningslarmknapp.

2.2.5 Ventilation

Byggnaden är inte försedd med någon brandgasventilation. Det finns dock två rökluckor i källarplan, men om dessa har någon större verkan är oklart. Det normala ventilationssystemet är kopplat till brandlarmet så att från- och tilluften stängs av automatiskt vid larm. De två fläktrummen är placerade på det övre planet. Frånluften sker genom innertaket och är på så sätt oberoende av skiftande butiksgeometrier. Pga. de stora volymerna som brandgaserna kan spridas i är det inte troligt att någon större tryckupbyggnad kommer att ske i lokalerna. Att brandspridning skulle ske genom ventilationssystemet bedöms därför som osannolikt.

2.2.6 Släckutrustning

De större butikerna är utrustade med en eller ett par brandsläckare, synligt placerade och tydligt utmärkta. I ett par fall var dessa dock blockerade med kläder eller klädställningar. I de mindre butikerna saknades ofta släckutrustning. I gemensamma utrymmen samt i vissa utrymningsvägar finns brandposter utplacerade, det finns 5-6 brandposter per plan. Dessutom finns handbrandsläckare i vissa personalutrymmen.



Bild 4. Dold brandsläckare.



Bild 5. Tydligt utmärkt brandsläckare på Intersport.

2.2.7 Punktskydd

Punktskydd i form av koldioxidanläggning finns vid stekbordet i Caféet på övre plan. Detta kan utl  sas både manuellt och genom sensor i fläktkåpan. McDonalds har samma släcksystem i samtliga sina restauranger oavsett vilket land det gäller. Det har levererats av företaget Ansul och   r ett gasformigt släckmedel placerat vid fritösen på markplanet, detta kan endast utl  sas manuellt.

3 Brandscenarier

3.1 Möjliga brandscenarier

Under besöket på objektet identifierades ett antal troliga brandscenarier. Tre av de troliga brandscenarierna valdes att simuleras och utvärderas medan resterande scenarier endast diskuterades. Nedan följer de sex identifierade brandscenarierna:

- butiksbrand på HM
- lagerbrand på Lindex
- anlagd brand på Ica
- brand i Jack & Jones personalrum
- klädbrand i Cassels butik
- anlagd brand på JC

För butikslokalisering se kapitel 2.1.4.

3.1.1 Nedre plan

Butiksbrand på H&M

En brand på H&Ms kosmetikaavdelning vid entrén på nedre plan skulle kunna sprida sig snabbt till övre plan och blockera den största och mest använda utrymningsvägen (entréingången). Branden hindrar troligtvis även utrymning via centrallulltrapporna.

Lagerbrand på Lindex

En brand som startar på Lindex lager, nedre plan, skulle antagligen omöjliggöra utrymning via centrallulltrapporna men att den förhindrar utrymning via entrén är inte lika självklart.

Anlagd brand på Ica

En anlagd brand på Ica skulle antagligen medföra en mycket omfattande brand med stor brandgasproduktion.

3.1.2 Övre plan

Brand i Jack & Jones personalrum/lager

En brand som startar i Jack & Jones lager/personalutrymme skulle troligtvis omöjliggöra utrymning via centrallulltrapporna. Detta p.g.a. att butiken inte har någon ventilationsförbindelse till de andra butikerna vilket medför att all rök tvingas ut i det gemensamma utrymmet.

Klädbrand på Cassels

En brand i Cassels butik skulle sannolikt medföra en omfattande brand med stor brandgasproduktion men eftersom butiken är stor skulle antagligen inte röken förhindra utrymning via centrallulltrapporna.

Anlagd brand på JC

En anlagd brand på JC förhindrar troligtvis utrymning till garageplanet samt rökfyller det gemensamma utrymmet och förhindrar på så sätt utrymning via centrallulltrapporna.

3.2 Diskussion

3.2.1 Sannolikhet och konsekvens

De diskuterade scenarierna valdes ut genom att jämföra konsekvenserna av en brand och sannolikheten att branden ska kunna inträffa. På detta sätt rangordnades bränderna och tre scenarier kunde därefter väljas ut.

Brandorsak och startföremål

Enligt Räddningsverkets statistik¹, stod handeln för ca 13 % av alla bränder i allmänna byggnader 2002. Av samtliga bränder i handeln var de främsta orsakerna; tekniskt fel 30 %, anlagd brand 26 % samt värmeöverföring 10 %. De primära startföremålen för bränder i allmänna byggnader utgörs av; lös inredning 10 %, lysrör 9 %, samt elinstallationer såsom kaffebruggare, kyl/frys, transformatorer etc. 15 %.

I enlighet med räddningsverkets statistik utsågs brandorsakerna till de tre scenarierna att vara två anlagda bränder och en orsakad av tekniskt fel. Vidare anses det mycket troligt att startföremålen är lös inredning samt lysrör, även det i enlighet med ovannämnd statistik.

Placering

Valet av placeringen grundar sig mestadels på hur stora konsekvenser branden medför i utrymningssynpunkt men även här har sannolikheten en viss betydelse. De placeringar av branden som medför de allvarligaste hindren vid utrymning är de scenarier som blockerar de mest använda utrymningsvägarna. Blockering av de normalt använda utgångarna tvingar utrymmande människor att använda sig av de okända bakre nödutgångarna vilket fördröjer utrymningen. Det är även viktigt att sprida ut de dimensionerande bränderna så att inte konsekvenserna av händelsen blir de samma i alla scenarierna.

Eftersom en brand på nedre plan antas få allvarligare konsekvenser ur utrymningssynpunkt väljs två dimensionerande bränder från detta plan. Från andra plan väljs en dimensionerande brand som antas täcka in samtliga värsta sannolika scenarier på andra plan.

3.2.2 Nedre plan

Den stora skillnaden mellan en brand på H&M och en brand på Lindex är att branden på Lindex antagligen får ett snabbare brandförlopp, samt att omfattningen antas bli större för en klädbrand. Dessa scenarier antas få ganska likartade konsekvenser med avseende på utrymning förutom att en brand på Lindex är mer sannolik och att rökutvecklingen antas bli större. Att Lindex bedöms som en mer sannolik brand beror till största del på oordningen och lagringshöjden inne på lagret.

Branden på Ica skiljer sig däremot från de två scenarierna ovan. Mestadels genom att placeringen av branden medför andra konsekvenser avseende utrymning men även p.g.a. att det är annat material som kan brinna, t.ex. papper och blöjor.

3.2.3 Övre plan

Skillnaden mellan scenarierna är att en brand på Jack&Jones antagligen skulle omöjliggöra utrymning via centralrulltrapporna medan en brand på Cassels till största del enbart skulle påverka utrymningen i själva butiken. En brand på JC medför däremot allvarligare

¹ Se www.srv.se under fliken "Statistik"

konsekvenser i utrymningssynpunkt eftersom den troligtvis försvårar utrymning både via centralrulltrapporna och till garageplanet.

3.3 Valda brandscenarier

Enligt föregående diskussion valdes följande tre scenarier:

- **Scenario 1: Brand i Ica-butiken - kap 6**
- **Scenario 2: Brand på Lindex lager - kap 7**
- **Scenario 3: Brand i JC butiken - kap 8**

4 Utrymning

4.1 Allmänt

På Oden har alla butiksinnehavare skyldighet att informera samtliga anställda om vilka rutiner som gäller vid en utrymningssituation och vad som krävs av personalen². När förvarningslarmet ljuder ska personalen stänga av den egna ljudanläggningen så att ev. utrymningslarm kan höras tydligt. Dessutom ska de kontrollera att utrymningsvägarna är fria från varor, kundvagnar o.d. Brandlarmsklockorna sitter placerade i hela byggnaden och hörs klart och tydligt överallt. När utrymningslarmet utlöses ska personalen kontrollera:

- att meddelandet uppfattas av alla
- att ingen finns kvar i provhytter, toaletter eller liknande
- att ingen använder hissarna vid utrymning
- att utrymningsvägarna inte blockeras av att de utrymda stannar precis utanför dörrarna.
- samt hjälpa rörelsehindrade att utrymma

När personalen vidtagit dessa åtgärder ska all personal samlas på den förutbestämda återsamlingsplatsen för att lämna information till brandförvarsledaren

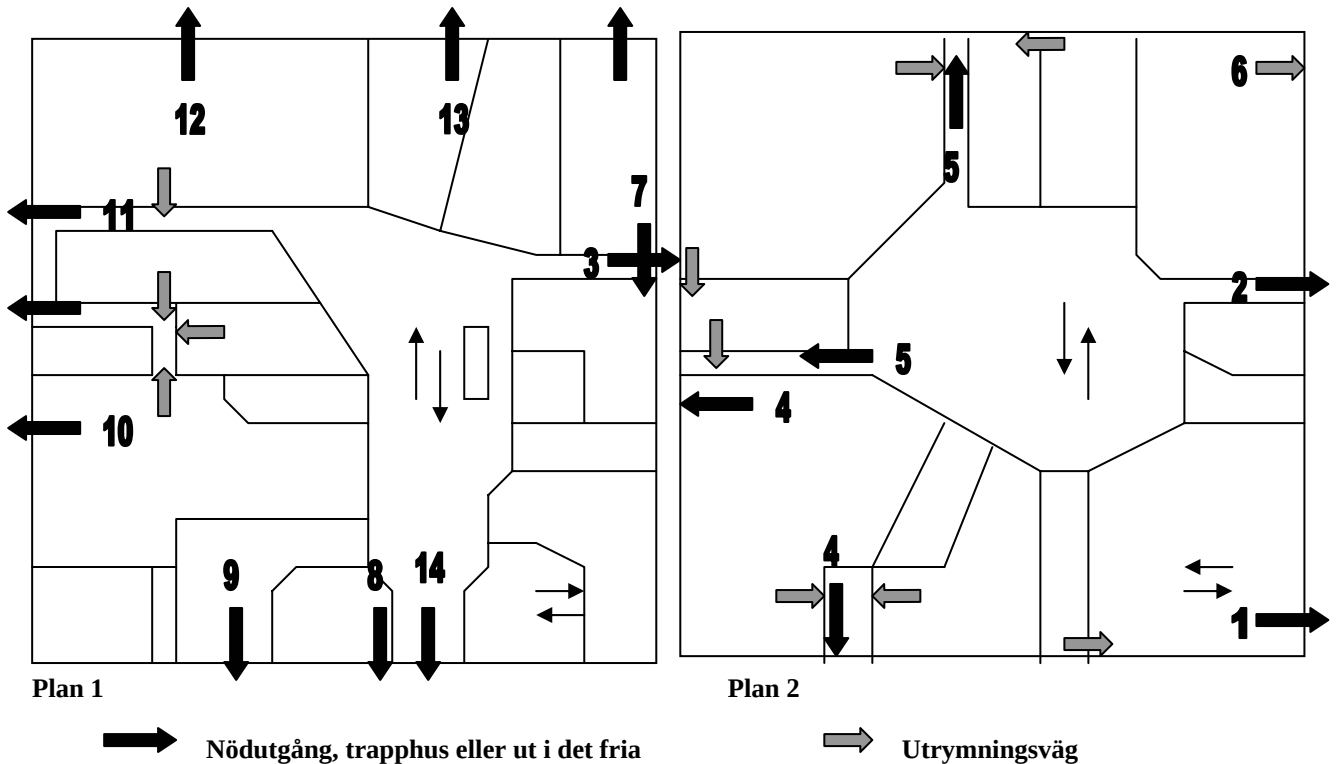


Bild 6. Tydligt utmärkt nödutgång.

² Enligt uppgifter från fastighetsförvaltaren

4.2 Utrymningsvägar

Det är rimligt att anta att flertalet av besökarna i första hand kommer att söka sig till de bekanta utgångarna, vilka i detta fall är huvudentrén samt de utgångar som leder till parkeringsdäcken. Oden har på senare år, efter inrådan från räddningstjänsten, byggt in fler utrymningsvägar från andra våningen. Detta för att utrymningssituationen inte varit helt tillfredställande. I dagsläget får tillgången till utrymningsvägar anses vara relativt god. De utrymningsvägar som leder ut i det fria är låsta nattetid och låses upp i samband med varuhusets öppnande av Securitas.



Det finns tre utrymningsvägar som leder till annan brandcell, Oden 7:

- 1 Från inre hörnet på H&M till parkeringdäcket och till utrymningstrapphus i Oden 7. Denna dörr är 1,20 m bred och väl utmärkt.
- 2 Från övre plan till parkeringsdäcket på Oden 7. När brandporten är stängd är denna dörr 0,90 m bred.
- 3 Från nedre plan till butiksdelen i Oden 7. När brandporten är stängd är denna dörr 0,90 m bred.

Trapphusen från det övre planet i Oden 8 leder ut i markplanets yttre delar av byggnaden och är följande:

- 4 Från Intersport finns två utrymningsvägar som leder ut till det fria, varav den ena är en spiraltrappa som är väl utmärkt och leder ut i Oden 8:s kortsida. Den andra kommer ner mellan Bogart och McDonalds i markplanet och går även att komma till ifrån Dvd Norden. Båda dörrarna till trapphusen har en dörrbredd på 1,20 m.
- 5 Från butikstorget finns tillgång till två utrymningstrapphus, antingen vid Caféet eller mellan Cassels och Gina Tricot. Där den första leder ut bakom Lindex lager och den senare kommer ned vid centralapparaten som är belägen vid ICAs lager/lastkajen. Båda dörrarna till dessa trapphus har en dörrbredd på 1,20 m.

- 6 Från lagerkorridor bakom JC vid varuhissarna leder ett trapphus ner mot lastkajen. Denna dörr är 0,90 m bred.
- 7 Från nedre plan, via övre plan, leder ett trapphus upp till parkeringsdäcket på taket. Denna dörr är 0,90 m bred.

Från nedre plan leder ett antal dörrar ut i det fria, dessa är:

- 8 Från Entrébutiken finns en 0,90 m bred dörr.
- 9 Från McDonalds servering samt via dess varumottagning, båda dessa dörrar är 0,90 m breda.
- 10 Från inre delen av Lindex leder en 1,55 m bred dörr.
- 11 Från korridoren mellan Köksboden och ICA är dörren 1,80 m bred.
- 12 Från ICAs lager mot lastkajen är dörren 1,20 m bred.
- 13 Från Duka till lastkajen är dörren 1,20 m bred.
- 14 Från butikstorget på markplan via huvudentrén, dörren är 2,0 m bred.

Utrymningsvägarna var överlag i bra ordning och ingen dörr till utrymningsväg var vid besöket blockerad. De två fastighetsteknikerna har ett mycket högt säkerhetstänkande och är mycket väl insatta i brandskyddet. Vid belamring av korridorer och liknande ser de till att detta flyttas bort. Det är deras arbete som gör att varuhuset ger ett gott och välstädat intryck

Låsanordningarna till dörrarna i utrymningsvägarna visar mycket stor variation. Exempel på detta är låsvred med plastkåpa över, vanligt låsvred med handtag, panikregel eller lås som normalt kräver passerkort men även kan öppnas genom en nödöppningsknapp.



Bild 7. Icke rekommenderat låsvred med plastkåpa.

4.3 Tid för utrymning

För att lättare kunna bedöma utrymningstiden delas den normalt in i tre delar

- Varseblivning
- Beslut och reaktion
- Förflyttning

Den sammanlagda tiden för de tre stegen gör den totala utrymningstiden. Denna tid ska understiga den tid det tar för kritiska förhållanden att uppstå för att utrymningsdimensioneringen ska vara tillfredställande.³ Den svåraste parametern att uppskatta, och som minst forskning är gjord på, är beslut och reaktion. Detta för att mänskliga

³ Frantzich, (2001), "Tid till utrymning"

reaktioner varierar beroende på hur varje enskild person uppfattar en situation. Därför har mycket tid lagts på att diskutera och ta fram rimliga tider för detta.

4.3.1 Varseblivning

Varseblivning består av tiden det tar från att branden startar till personen i fråga inser att det inträffat något som inte hör till det normala. Det kan ske genom exempelvis brandlarm, utrymningslarm eller att personen ser branden eller röken. Annat sätt att bli varse om händelsen är att personal informerar om att byggnaden måste utrymmas eller genom andra människors aktiviteter.

4.3.2 Beslut och reaktion

Under besluts- och reaktionsfasen finns alla aktiviteter som personen gör innan den målmedvetet rör sig mot en nödutgång. Exempel kan vara att personen söker information, försöker släcka branden, äter upp sin mat eller letar efter en anhörig. För att förkorta denna fas används i Oden ett talat utrymningslarm för att ge information om att utrymning ska ske. Dessutom har personalen som uppgift att hjälpa till vid utrymningen. Vid samtal med fastighetsteknikern Peter Hall uppskattade han tiden från utlöst brandlarm till manuellt aktiverat utrymningslarm till 3-4 minuter.

4.3.3 Förflyttning

Under den sista fasen ryms den tid det tar för personen att förflytta sig från sin position till att befinna sig på en säker plats. Tiden bestäms till största delen av persontätheten i byggnaden, mycket folk kan betyda långa köer vid vissa utgångar. Smala trappor kan helt stoppa personflödet om t.ex. någon faller eller har rörelsehinder.

4.4 Kriterium för säker utrymning

Som krav för att utrymning ska anses säker och att personerna i fråga inte utsätts för kritiska förhållanden, anges fem parametrar att ta hänsyn till. Dessa är temperatur, strålning, brandgaslagrets höjd, sikt samt toxicitet⁴.

- Personer ska inte utsättas för temperaturer högre än 80°C under utrymning.
- Kortvarigt kan strålningen tillåtas vara så hög som 10kW/m². Den långvariga strålningen bör inte överstiga 2.5kW/m², vilket ungefär motsvarar strålningen från ett brandgaslager med temperaturen 210°C.⁵
- Brandgaslagret bör inte sjunka lägre än 1.6 m plus 10 % av lokalens takhöjd. För Oden innebär detta att brandgaslagret inte bör understiga 1.95 m från golvet räknat.
- Sikten bör vara minst fem meter i brandrummet och tio meter i utrymningsvägarna.
- För att personerna inte ska utsättas för giftiga gaser eller syrebrist under utrymning har följande gränsvärden angetts i brandskyddshandboken:

CO < 2000 ppm

CO₂ < 5 %

O₂ > 15 %

⁴ Brandskyddshandboken (2002), sid 183

⁵ Se bilagan "Handberäkningar"

5 Simuleringsmodeller

5.1 CFAST 3.1.7

5.1.1 Allmänt

CFAST⁶ står för "**C**onsolidated **F**ire **A**nd **S**moke **T**ransport" och är ett beräkningsprogram som arbetar enligt en så kallad tvåzonsmodell. Detta innebär att volymen delas in i en övre och en undre zon. Programmet löser sedan en mängd ekvationer mellan de två kontrollvolymerna över tiden. Parametrar som beräknas är t.ex. brandgaslagrens höjd och temperatur, syrehaltens inverkan på effekten, sikt, toxicitet samt strålning från brandgaslagret. Flera rum kan länkas ihop och på så vis kan mer invecklade brandgasspridningar simuleras. Modellen är konstruerad och validerad för 1-3 rum enligt NIST⁷, som utvecklat modellen.

En viktig funktion är underprogrammet DetAct-T2 (**D**etector **A**ctuation **T**ime Squared), som beräknar hur snabbt detektorerna aktiveras, se avsnitt 5.1.4.

5.1.2 Antaganden och begränsningar

Följande antaganden ligger till grund för CFAST och är viktiga att känna till eftersom de leder till begränsningar och osäkerheter:

- Homogena värden och perfekt blandning i de olika zonerna. Detta är en rimlig uppskattning i förhållandet mellan det varma övre och kalla under brandgaslagret då tydlig skiktning sker. Att perfekt blandning antas betyder även att transporttiderna för brandgaserna i samma zon försummas. Detta gör att rökfyllnadsprocessen riskerar att ske för snabbt i simuleringarna.
- Tydlig skiktning mellan zonerna är en förutsättning. För temperaturskillnader mellan övre och undre zonen som understiger 20-30 K är det rimligt att anta att skiktning inte sker⁸.
- Branden betraktas som en punktkälla av energi och massa. CFAST simulerar inte själva branden, utan konsekvenserna av branden med avseende främst på brandgasspridning. Hur flammorna sprider sig och interagerar med väggar, tak och brandgaslager tas inte hänsyn till i programmet, vilket leder till osäkerheter. Strålningen från flammorna försummas, och den beräknade strålningen som redovisas i programmet bygger endast på beräkningar av brandgaslagrets temperatur.
- CFAST ger en god uppskattning för ett mindre antal rum, men vid mer invecklade rumsgeometrier ökar osäkerheterna.
- Rumsgeometrierna uppskattas med rätvinkliga rektanglar. Hur detta påverkar rökfyllnadsprocessen är svårt att uppskatta. Beroende av vilken parameter som är av störst intresse väljs indata olika. Se avsnitt 5.1.3 för att se hur indata valts för de scenarier som simulerats i rapporten.

⁶ Fakta har främst hämtats från kap 10 i Karlsson/Quintiere, (2000) "Enclosure Fire Dynamics"

⁷ National Institute of Standards and Technology, se även <http://fast.nist.gov/cfast.html>

⁸ Hultquist Hans, (2000) "Simulating visibility in Hazard 1/CFAST", sid 7

Många av de fenomen som uppträder vid brand är fortfarande inte kartlagda och går därför inte att beräkna. I praktiken betyder detta att CFAST inte serverar användaren några sanningar, utan snarare ger riktvärden. Att programmet använts trots alla begränsningar beror på att det i dagsläget inte finns något program som klarar att simulera så avancerade byggnader som Oden på ett komplett sätt. De förtjänster andra program ger står i detta fall inte i proportion med den tid, kunskap och datorkraft som krävs.

5.1.3 Indata

De indata som behövs för programmet är:

- Brandens effektutveckling⁹
- Geometrin för de utrymmen som ingår i simuleringen
- Värmeledningsförmågan hos väggar och tak
- Ventilationsöppningar mellan olika rum och till det fria
- Förhållandena H/C samt CO/CO₂ (behövs för siktberäkningar.¹⁰)

Beroende på hur scenariot ser ut är det viktigt att välja lämpliga uppskattningar av verkligheten. Ofta måste verkligheten förenklas för att passa in i programmet. Rumsindelningen i programmet är ett exempel på detta, eftersom CFAST endast arbetar med rektangulära geometrier. I simuleringarna med CFAST nedan har rummens indelning gjorts så att simuleringen ska spegla ett verkligt brandförlopp så bra som möjligt. Golvareorna har för de olika utrymmena bibehållits i högsta möjliga grad för att ge en bra uppskattning av brandgaslagrets höjd. Vad gäller takhöjden valdes i samtliga scenario höjden till innertaket till 3,5 meter vilken uppmättes vid objektsbesöket.

Vid simuleringarna i CFAST har antalet simulerade rum begränsats till 8 st., vilket innebär att de flesta butikerna inte ingår i simuleringen. Detta beror på att sannolikheten för felaktiga resultat ökar kraftigt ju fler rum som används. Att simulera samtliga butiker i Oden är i dagsläget en i princip omöjlig uppgift oavsett vilket program som väljs. Därför valdes de utrymmen som har störst inverkan på utrymningsförloppet, dvs. rummen närmast branden samt butikstorget. Öppningar till det fria har gjorts för att simulera tillkommande luft från uteslutna butiker.

Värmeledningsförmågan hos omslutningsareorna har definierats genom tabeller i programmet för att kompensera för värmeförluster via ledning. Här valdes gips i taket, och betong för väggar i enlighet med verkligheten.

Ventilationsöppningarna för varje scenario har diskuterats noggrant och dessutom prövats med känslighetsanalys för respektive scenario. För att ta hänsyn till brandgasernas transporttider och få en mer realistisk rökfyllnadsprocess har även takbalkar lagts in mellan rummen i de olika scenarierna. Höjden av dessa var 10 % av totala öppningens höjd. Detta gäller även de ventilationsöppningar som utgörs av galler, vilket innebär att öppningarna hamnar 35 cm ner från taket.

Vid val av H/C- samt CO/CO₂-förhållandena har de mest realistiska värdena med tanke på respektive scenario valts.

⁹ Se bilaga "Val av effektkurvor" för mer utförliga diskussioner och beräkningar

¹⁰ H/C samt CO/CO₂ är tabellvärden för hur förhållandet mellan väte och kolatomer i bränslet samt förhållandet mellan koloxid och koldioxid då bränslet förbränns.

5.1.4 DetAct-T2

DetAct-T2 är en del av CFAST och används för att simulera tiden det tar tills att en detektor utlöser. Programmet fungerar bäst på värmedetektorer och sprinklers eftersom en av variablerna är RTI värdet, vilket beskriver termisk tröghet. Efter diskussion antogs detta värde till $0,5 \text{ ms}^{1/2}$ för att få en uppskattning av när rökdetektorerna utlöser. Utlösningstemperaturen sattes till 38°C och maximalt avstånd mellan detektorerna (7 m) användes. Resultaten för DetAct-T2 bör betraktas som grova uppskattningar av de verkliga utlösningstiderna vid en brand.

Scenario	Aktiveringstid (min)	Uppnådd effekt (kW)
ICA	1,9	280
Lindex	0,9	570
JC	1,5	350

Tabell 1. Aktiveringstid för rökdetektorer enligt DetAct-T2

5.2 Simulex 2.0

5.2.1 Allmänt

För att simulera utrymning av hela Oden 8 under pågående brandförlopp har programmet Simulex 2.0 använts. Simulex är ett grafiskt program där byggnadsritningar från programmet AutoCAD används. Flera våningsplansritningar kan sammanbindas med hjälp av trappor i Simulex. I ritningarna kan individer placeras ut och ges olika egenskaper. Exempelvis kan individerna påbörja en utrymning vid olika tidpunkter, de kan tvingas använda en viss utrymningsväg eller de kan välja den utrymningsväg som ligger dem närmast. De kan också ges olika karaktärer, t.ex. pensionärer, barn, konsumenter, kontorsanställda etc. Valet av karaktär påverkar gånghastigheten. Som karaktärer för individerna vid simuleringen av utrymningen av Oden 8 har karaktären konsumenter, "Shoppers" valts, vilket innebär att alla ålderskategorier finns representerade.

5.2.2 Antal personer

Varuhuset Oden (Oden 7 och 8) har ungefär 4 miljoner besökare per år. En mer exakt siffra för antalet besökare per dag och tidpunkt lämnades inte ut då en konkurrenssituation finns i orten. För simuleringarna i detta arbete har det antagits att det är mycket folk i lokalerna när brandtillbuden inträffar, motsvarande exempelvis julhandel. I BBR 5:371 anges ett riktvärde på 0.5 personer per kvadratmeter. Om hänsyn togs till den area som besökare faktiskt kan vistas på, undantaget exempelvis montrar och klädställ, har det ansetts rimligt att anta 0.25 personer per kvadratmeter för butiksareor och andra allmänna utrymmen. För kaféservningen på andra plan finns ett angivet antal sittplatser och där har dessa värden använts. Denna diskussion innebär att 2100 personer befinner sig i Oden 8 vid simuleringarna, vilket anses vara ett konservativt antal.

5.2.3 Besluts-, reaktions- och förflyttningstid

Simulex simulerar endast förflyttningstiderna. Varseblivningstiderna samt besluts- och reaktionstiderna för olika individer måste anges till programmet. Detta är en viktig del för att få en trovärdig utrymningssimulering, därför har stor vikt lagts för att uppskatta dessa tider. Aktiveringstiden för detektorerna, enligt tabell 1 ovan, blir varseblivningstiden i simuleringarna.

Som grundtider¹¹ för besluts- och reaktionstid användes $3,5 \text{ min} \pm 45 \text{ s}$ efter det att brandlarmet utlöser (endast ringklocka, inget talat meddelande) för de individer som inte bedöms se branden. Att tiderna för endast ringklocka använts beror på att det i dagsläget tar alltför lång tid innan utrymningslarmet startas. När det talade meddelandet startas har utrymningen redan påbörjats pga. larmklockorna. För de individer som förväntas se branden är grundtiden $1,5 \text{ min} \pm 30 \text{ s}$. Grundvärdena har sedan korrigerats för de lokaler där kritiska förhållanden uppstår innan individerna påbörjat utrymning, enligt de tider som användes som utgångspunkt. Dessa tider har satts till de tidpunkter då folk förväntas inse att en allvarlig brand pågår i lokalerna och att detta kan bli ett hot för deras hälsa. Det anses inträffa när stora mängder rök börjar strömma in i lokalen där individen befinner sig eller när lågornas strålning blir så intensiv att obehag upplevs¹².

5.2.4 Antaganden och begränsningar

Simulex är en datormodell som är beroende av ett antal uppskattade och antagna indata. Detta medför att resultaten endast kan beaktas som simuleringar och inte ett verkligt fall.

Utrymningstiderna bör därför ses som en fingervisning av hur det skulle kunna se ut vid en verklig utrymning under en pågående brand.

Följande parametrar gör simuleringarna osäkra

- Innan simuleringen startar tilldelas varje utrymmande person en speciell avståndskarta till en förutbestämd utgång. Skulle köbildning eller stora folksamlingar uppstå är det uppenbart att besökare i verkligheten skulle välja att gå vidare till en annan utgång. I Simulex är det inte möjligt att under programmets gång ändra riktning på personerna. Det är däremot, som tidigare nämnt, möjligt att styra folk till förutbestämda utgångar innan simuleringen startar. Detta har gjorts för att undvika alltför lång köbildning och för att styra personer bort från utgångar som ligger nära branden.
- Eftersom det befinner sig 2100 personerna i Oden vid simuleringstillfället är det en omöjlighet att tilldela varje enskild person varsin specifik varseblivningstid. Istället ansätts generella varseblivningstider för grupper. Detta medför att vissa personer står kvar medan andra grupper utrymmer genom deras lokal
- Programmet tolkar alla linjer på ritningen som opasserbara hinder för de utrymmande personerna. Detta medför att ritningarna måste vara relativt rena från linjer för att inte personerna ska "fastna" i dessa linjer under simuleringen.
- Endast raka trappor kan simuleras i programmet. Detta medför att spiraltrappor, trappor med svåra geometrier m.m. istället får göras till längre raka trappor. I Oden finns en spiraltrappa, den har i simuleringen gjort så smal att det inte är möjligt att gå två personer i bredd.

¹¹ Frantzich, (2001) "Tid till utrymning"

¹² Se bilagan "Handberäkningar"



6 ICA

6.1 Brand på ICA - Scenario 1

ICA är en medelstor matvarubutik och har längre öppettider än övriga butiker i varuhuset. Butiken är belägen på markplanet i Oden 8. En stor del av varorna kan klassas som obrännbara, t.ex. konserver, glasförpackningar, gurkor o.d. Dock kan brandbelastningen i pappersavdelningen anses vara hög. Förutom utgången vid kassorna finns även utrymningsvägar genom lagret samt till korridoren mot Köksboden.

Branden antas uppkomma genom att en person anlägger en brand i blöjor, papper eller liknande inne i butiken. Branden antas sprida sig för att snart involvera ca 6 m² brännbart material. Maxeffekten antas bli mycket stor p.g.a. omfattningen av branden samt energiinnehållet i materialet som brinner. Tillväxtheten antas vara medium/fast ($\alpha = 0.021$ kW/s²) och brandgasspridning kan snabbt ske via ventilationsöppningar i takhöjd.

6.2 Effektutveckling

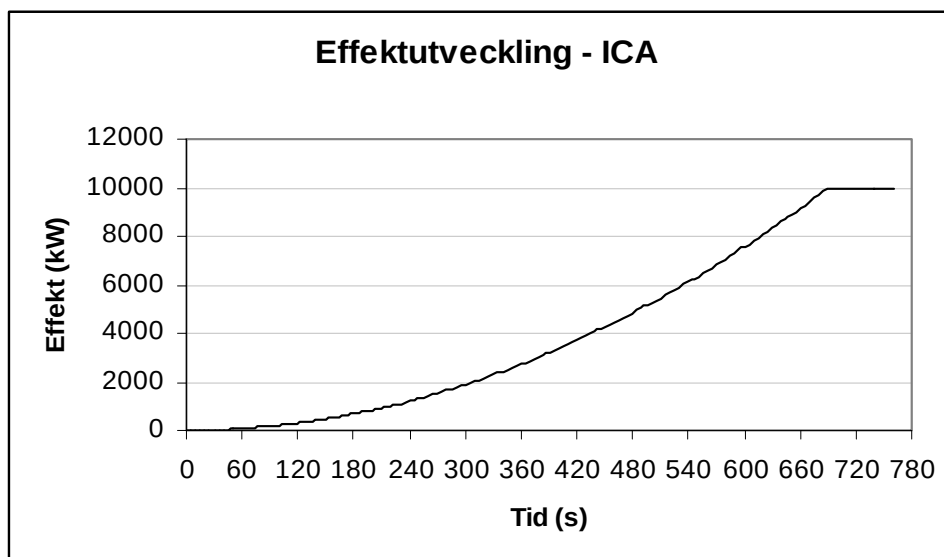
I enighet med rapporten "Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler"¹³ ansätts värmeeffekten till 1700 kW/m². Om branden involverar 6 m² ger detta en maxeffekt på 10 MW. I valet av tillväxtkurva har α -värdet 0,021 kW/s² valts efter att studerat Angerds rapport¹⁴ som anger ett α -värde som anges stämma bättre för en matvarubutik än de traditionella tillväxtkurvorna. Värdet bygger på antagandet att branden startar i papper/kartong vilket kan tänkas motsvara blöjor eller toapapper. Detta medför, enligt nedanstående beräkning, att branden når maxeffekt efter ca 11 min.

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{10000}{0,021}} = 690s$$

$\dot{Q}$ är effektutvecklingen i kW,
 α är en tillväxtfaktor kW/s²
 t är tiden i sekunder.

¹³ Abrahamsson, (1997) "Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler", sid 77

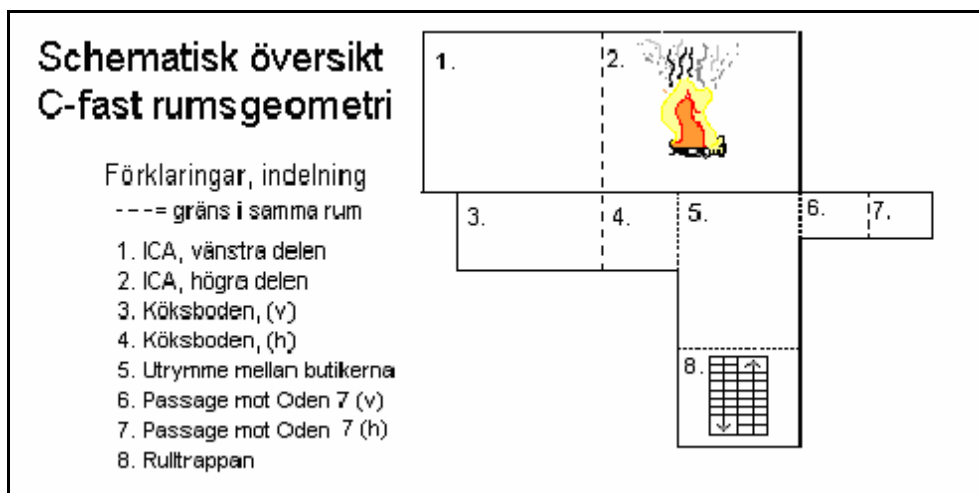
¹⁴ Angerd, (1999) "Är utrymningsschablonerna vid brandteknisk dimensionering säkra?", sid 122



Figur 1.

6.3 Simulering i CFAST

Med hjälp av CFAST har bl.a. brandgaslagrets höjd, temperatur och optiska densitet simulerats för de olika rummen, enligt scenariobeskrivningen ovan. Värdena har jämförts med kriterierna för kritiska förhållanden enligt BBR, se kapitel 4.4. Brandgaslagrets höjd samt dålig sikt är de dominerande faktorerna i samtliga utrymmen.



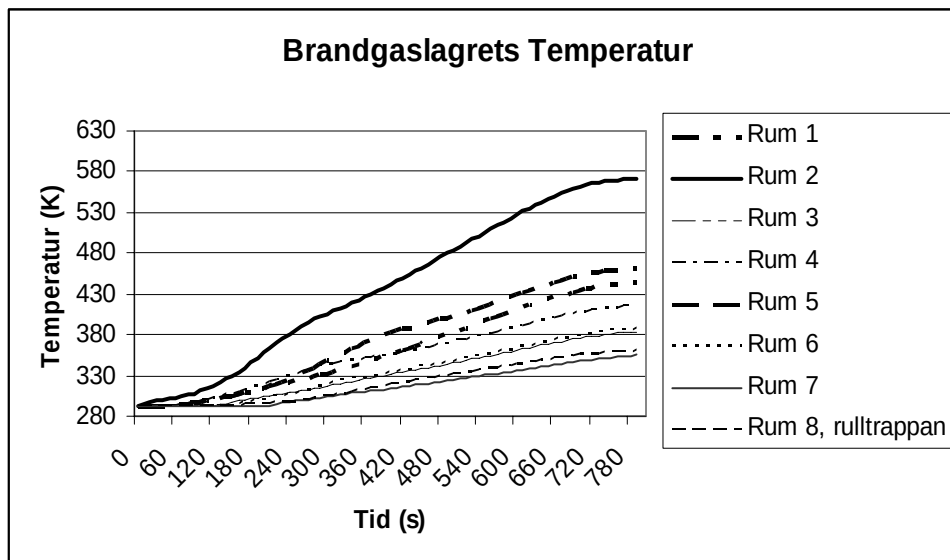
Figur 2.

Det huvudsakliga hotet mot en säker utrymning har utgjorts av att brandgaslagret understiger 2 m. Temperaturen i det övre brandgaslagret blir, då kritiska förhållanden uppstår, 40-120 grader beroende på avståndet från branden, se figur 3 nedan. Detta medför att brandgaslagret i de flesta fall kan anses som välskiktat¹⁵. Strålningen från brandgaslagret blir inte så hög att utrymning försvåras. Temperaturen i det undre brandgaslagret blir heller aldrig så hög att kritiska förhållanden kan uppstå, skillnaden blir ca 5-10 grader högre än normal rumstemperatur. I brandrummet blir dock strålningen från det övre brandgaslagret det snabbast uppfyllda dimensionerande kriteriet, eftersom temperaturen här överstiger 210°C.¹⁶ Här är det viktigt att erinra sig att CFAST inte simulerar strålningen från flammen.

¹⁵ Hultquist Hans, (2000) "Simulating visibility in Hazard 1/CFAST", sid 7

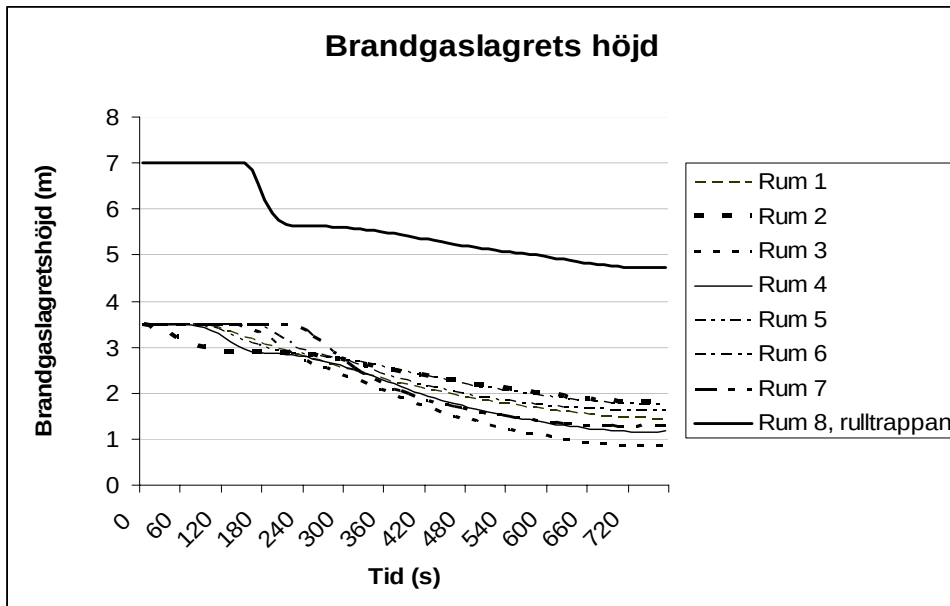
¹⁶ Se Bilaga "Handberäkningar", avsnitt "Strålning från brandgaslagret"

I verkligheten blir denna så omfattande att kritiska förhållanden uppstår inom 5-6 m från branden¹⁷. Utrymningssäkerheten hotas dock inte av detta.



Figur 3. Se figur 2 ovan för rumsindelning, observera att rum 2 är brandrummet.

Temperaturen i brandgaslagret är avgörande för om skiktning kommer att ske i de olika rummen. Eftersom temperaturskillnaden överstiger 30 grader över rumstemperatur kommer skiktning att ske.



Figur 4. Se figur 2 ovan för rumsindelning.

En viktig fråga som studerades är om brandgaserna sprider sig till andra våningen via de centrala rulltrapporna, vilket kunde konstateras, se figur 4 ovan. Utrymning via dessa rulltrappor omöjliggörs således, vilket gör att utrymmande från övre plan tvingas till alternativa utrymningsvägar. Tider till kritiska förhållanden redovisas nedan i tabell 2.

¹⁷ Se Bilaga "Handberäkningar", avsnitt "Minimalt avstånd till flaman"

Simuleringen har även kompletterats med en känslighetsanalys med avseende på hur de kritiska förhållandena varierar med olika brandförlopp, se bilagan känslighetsanalys. Genom att variera brandförloppets tillväxthastighet och maxeffekt kunde det konstateras att resultaten som redovisas är okänsliga för vilken maxeffekt som ansätts. Skillnaderna i tid till kritiska förhållanden mellan en medium brand och en fast brand mot den valda brandutvecklingen var ca ($\pm$) 60 sekunder. Vilket får anses som relativt stora skillnader.

6.4 Simulering i Simulex

Resultaten från CFAST användes för att kvantifiera utrymningen som simulerats med Simulex. Hänsyn har tagits i största möjliga utsträckning till troligt beteende vid utrymning, speciellt med tanke på reaktionstider. Rapporten "Tid för utrymning"¹⁸ har används som utgångspunkt.

Vid ICA-scenariot beräknas fullständig utrymning ta ca 8 minuter efter att branden har startat, vilket innebär att byggnaden med största sannolikhet är utrymd när räddningstjänsten påbörjar sin insats. De enskilda värdena för respektive utrymme redovisas i tabell 2 nedan.

Störst problem med trängsel blir det på andra våningen mot parkeringsdäcket i Oden 7, men troligtvis uppstår inte kritiska förhållanden här även om stora volymer av brandgaser kan strömma upp vid de centrala rulltrapporna. Däremot ökar sannolikt stressen markant för de utrymmande, vilken effekt detta har är svårt att uppskatta.

6.5 Jämförelser och slutsatser

Genom att jämföra tiden för kritiska förhållanden t (krit) med tiden för utrymning t (ut) blir resultaten överskådliga. Rummens nummer syftar här till indelningen som gjordes i CFAST, se figur 2. Tiderna är räknade från antändningsögonblicket.

Rum	t (krit), s	t (ut), s	Marginal, s
1	430	220	210
2	440	220	220
3	370	240	130
4	400	240	160
5	540	360	180
6	450	340	110
7	400	340	60

Tabell 2. Förhållandet mellan resultat från CFAST, t (krit), och Simulex, t (ut).

Resultaten i tabell 2 antyder att utrymningen av det valda scenariot kommer att lyckas med god marginal. Tiderna som redovisas är resultaten från den valda effektkurvan (10 MW, $\alpha = 0,021 \text{ kW/s}^2$) som diskuterades i avsnitt 6.2. Det bör dock hållas i minnet att känslighetsanalysen gav en variation på t (krit) på ($\pm$) 60 sekunder, vilket gör att om brandförloppet sker snabbare än det valda, kan ett gränsfall uppstå i rum 7. Rum 7 motsvarar den inre delen av korridoren till Oden 7. Detta brandförlopp bör dock betraktas som osannolikt, och även om det skulle inträffa kan utrymning genomföras på ett säkert sätt. Att marginalen är obefintlig kan fortfarande innebära säker utrymning utan personskador.

¹⁸ Frantzych, (2001) "Tid till utrymning"



7 Lindex

7.1 Brand på Lindex lager - Scenario 2

Lindex är en klädbutik som säljer allt från underkläder till vinterjackor. Butiken är belägen nära den stora entrén på markplanet och en brand skulle eventuellt kunna blockera både huvudentrén och utrymning från övre plan via rulltrapporna. I den yttre delen av lagret, där branden antas äga rum, lagras underkläder från golv till tak, se bild 10 nedan. Lagret har som enda öppning ut i butiken en dörr som normalt hålls stängd. I innersta hörnet av lagret finns ett mindre kontorsutrymme, som periodvis är bemannat. Förutom butiksentrén finns även utrymningsvägar i bakre kant av butiken samt vid lagret i mitten av butiken.

I detta scenario antas ett tekniskt fel orsaka en brand i den angränsande lagerlokalen till Lindex. Ett trasigt lysrör eller elfel antas ge upphov till en brand i de lagrade kläderna, vilken inte upptäcks av butikspersonalen förrän dörren till lagret öppnas. Branden antas få tillväxa ostört under ca två och en halv minut och när dörren till branden öppnas sprids den och brandgaserna snabbt ut i butiken. Brandens storlek medför att släckning inte kommer att kunna ske utan räddningstjänstinsats.



Bild 8. På Lindex lager förvaras stora mängder polyestermaterial, t.ex. stringtrosor.

7.2 Effektutveckling

I utrymmen där det finns begränsad syretillgång kan maxeffekten uppskattas genom att syretillförseln beräknas. Det kan inte utvecklas mer effekt än syretillförseln tillåter. Denna typ av beräkning är lämplig för scenario 2, som börjar i ett tillstängt lager. Syre avger ca 13,1 MJ/kg vid förbränning.¹⁹ Den maximala mängden luft som kan läcka in i på lagret beräknas enligt²⁰:

$$\dot{m}_{Luft} = 0,5 A_0 \cdot \sqrt{H_0} = 0,5 \cdot 1,8 \cdot \sqrt{2} \text{ kg/s} = 1,27 \text{ kg/s}$$

$\dot{m}_{Luft}$ = beräknade massflödet av luft

A_0 = öppningsarea = 0,9m x 2m = 1,8 m²

H_0 = öppningshöjd = 2m

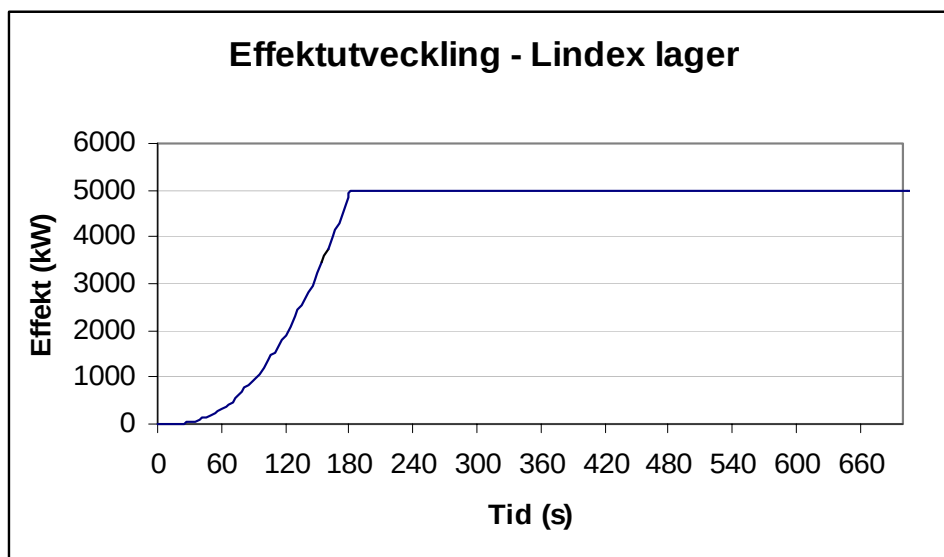
Effekten blir då:

$$\dot{Q}_{max} = \dot{m}_{Luft} \cdot vol\%_{ox} \cdot \Delta H_{ox} = 1,27 \text{ kg/s} \cdot 0,23 \cdot 13100 \text{ kJ/kg} = 3834 \text{ kJ/s} \approx 4 \text{ MW}$$

Beräkningsmodellen förutsätter att stationära förhållanden uppstår. Det finns tillräckligt material på lagret för att komma upp till och bibehålla denna effekt enligt effektkurvan nedan. Med tanke på att materialet till stor del består av syntet och bomullsblandningar, som är luftigt lagrade, kan brandförloppet ske extremt snabbt. Det är troligt att plastmaterial smälter och droppar neråt och således bidrar till en snabb brandspridning. För att möta detta scenario valdes $\alpha = 0,19 \text{ kW/s}^2$, vilket motsvarar ett standard värde för ultrafast effektutveckling. Förbrinntiden antas vara 20 sekunder. Branden når då sin maxeffekt efter 145 s + förbrinntid. För att säkerställa att branden blir ventilationskontrollerad i simuleringen väljs maxeffekt 5 MW, d.v.s. högre än det beräknade värdet.

¹⁹ Karlsson/Quintiere, (2000) "Enclosure Fire Dynamics", sid 29

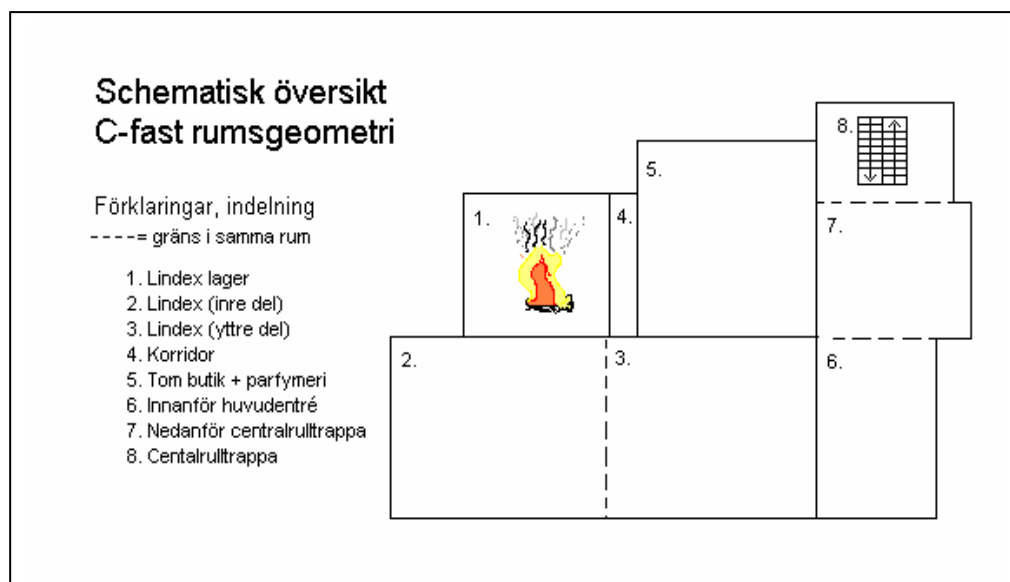
²⁰ Karlsson/Quintiere, (2000) "Enclosure Fire Dynamics", sid 100



Figur 5.

7.3 Simulering i CFAST

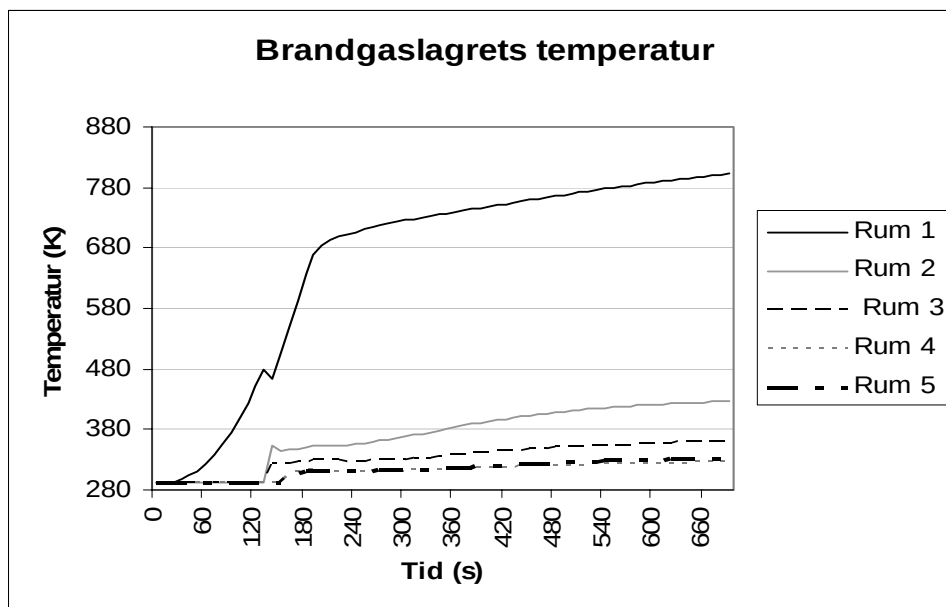
Simuleringen av branden på Lindex lager visar att när dörren öppnas kommer det att strömma ut mörka brandgaser. Dessa kommer sedan att sprida sig efter taket tills de har kylts ner så mycket att de inte längre kan hålla sig skiktade utan sprids i hela det berörda utrymmets volym. Denna temperatur är $20\text{--}30^{\circ}\text{C}$ ²¹ vilket är en mycket grov uppskattning. Under vissa förhållanden kan det bildas skiktning även med temperaturskillnader på under 10°C . De stora lokalerna som de varma gaserna sprids i leder till att de blandas ut med stora kalla luftvolymmer (rumstempererade) vilket ger ett relativt kallt brandgaslager. Det når aldrig upp i de 210°C ²² som motsvarar 2.5 kW/m^2 strålning, vilket är gränsvärdet för kritiska förhållanden, se figur 7.



Figur 6.

²¹ Hultquist Hans, (2000) "Simulating visibility in Hazard 1/CFAST", sid 7

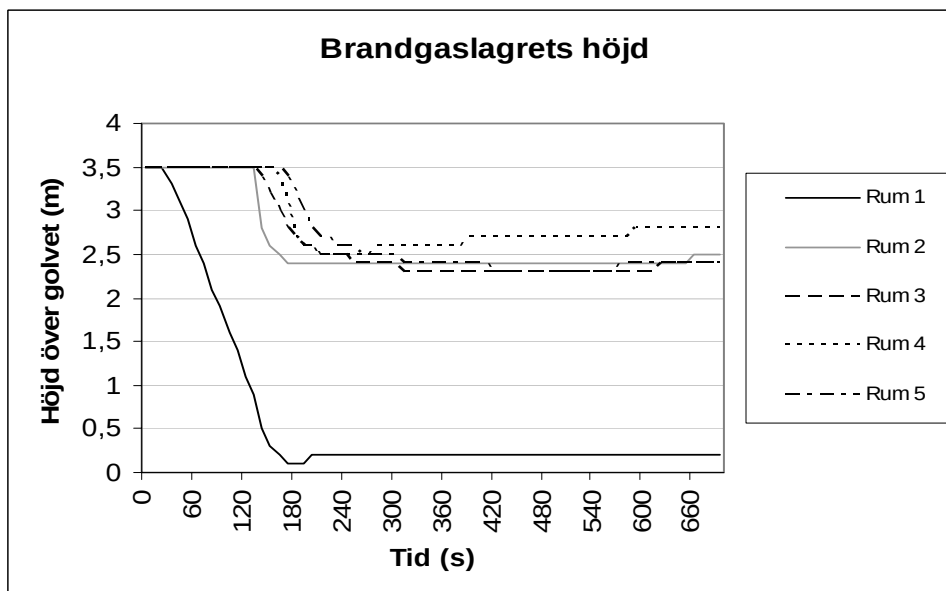
²² Se bilagan "Handberäkningar"



Figur 7. Brandgaslagrets temperatur i de rum där temperaturskillnaden mellan rumstemperaturen och brandgaserna är så stor att två skikt kan bildas, Se figur 6 ovan för rumsindelning.

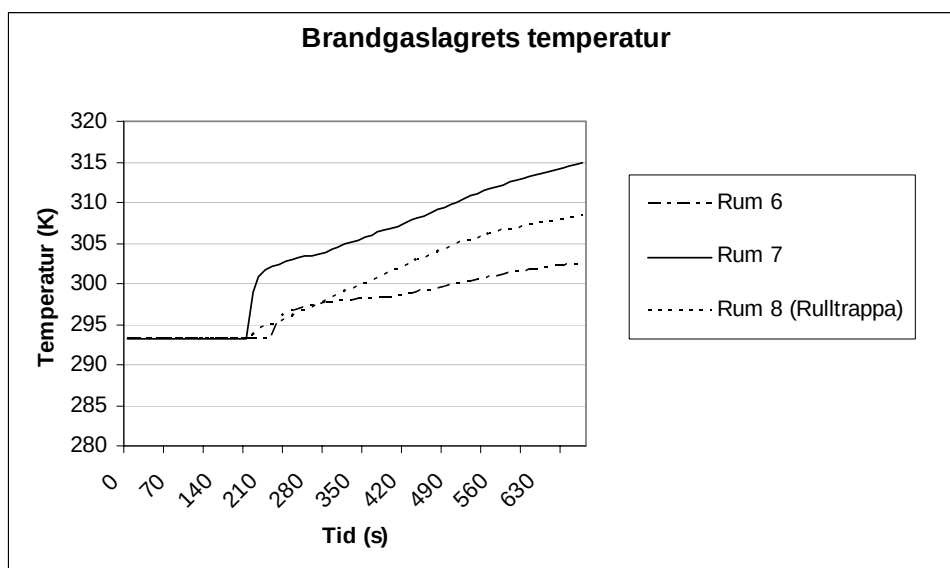
I brandrummet finns risk för att övertändning kommer att inträffa. Detta skedde inte i simuleringarna men det är troligt att övertändning inträffar före räddningstjänsten påbörjat sin insats.

I de lokaler där temperaturen i brandgaslagret är så hög att ett övre brandgaslager bildas är utströmningen till andra lokaler så stor att lagret håller sig över 2 m från marken, vilket är gränsvärdet för kritiska förhållanden. Temperaturen i det undre brandgaslagret blir endast marginellt högre än rumstemperatur, ca 2-5°C. Detta ligger långt under den temperatur på 80°C som ger kritiska förhållanden.



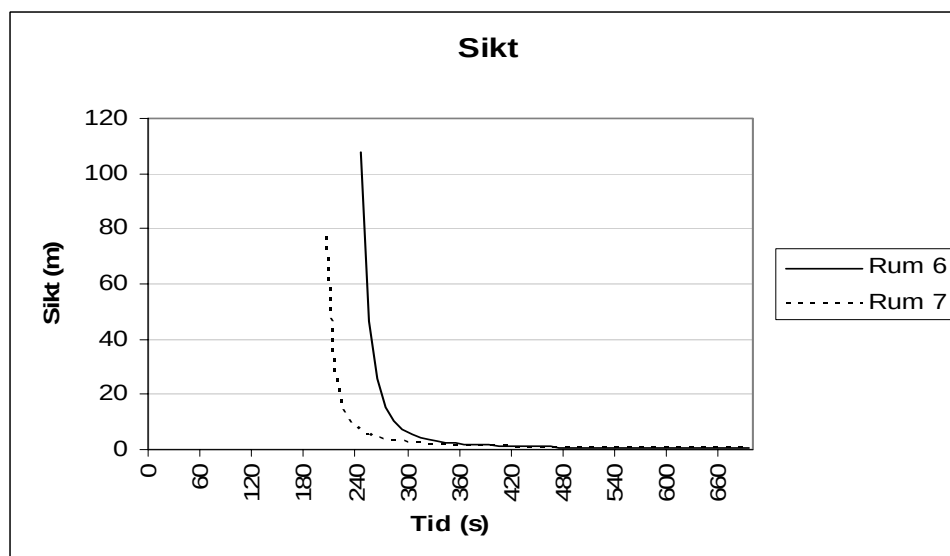
Figur 8. Se figur 6 ovan för rumsindelning.

Brandgaslagrets höjd når inte ned till kritiska förhållanden förutom i brandrummet. I de rum där temperaturen i brandgaserna blir så låga att de antas spridas i hela volymen, blir sikt och toxicitet de faktorer som kan orsaka kritiska förhållanden. Antas istället att skiktning inträffar medför detta att kritiska förhållanden inte uppstår under den tid som utrymningen pågår.



Figur 9. Brandgasernas temperatur i de utrymmen där brandgaserna förväntas fördela sig över hela volymen. Se figur 6 ovan för rumsindelning.

Från CFAST fås ett k-värde som kan räknas om till sikt i lokalen²³. I figur 10 nedan framgår att när de mörka brandgaserna väl når lokalerna i fråga försämras sikten mycket snabbt. Knappt 5 min efter att branden startar är sikten 10 m innanför huvudentrén och efter knappt 4 min är sikten 10 m nedanför huvudrulltrapporna, vilket innebär kritiska förhållanden.



Figur 10. Se figur 6 ovan för rumsindelning.

Efter 7,5 min börjar brandgaserna som tar sig upp till andra våningen att bli mörka. Dessa brandgaser kommer på andra våningen att spädas ut med luften där, vilket gör att siktförhållandena på den våningen blir svåra att uppskatta. Sikten kommer dock att vara sämst närmast rulltrapporna och sedan successivt bli bättre med ökande avstånd till trapporna. De toxiska gränserna för kritiska förhållanden är för CO 2000 ppm och för CO₂ 5 %²⁴. Värdena som CFAST ger på CO- och CO₂-nivåerna ligger under dessa värden. De hamnar på i storleksordningen halva gränsvärdena.

²³ Hultquist Hans, (2000) "Simulating visibility in Hazard 1/CFAST", sid 4

²⁴ Jönsson mfl; "Brandskyddshandboken" (2002), sid 183

7.4 Simulering i Simulex

Vid simuleringen av utrymningen under branden på Lindex lager har huvudrulltrappan inte använts. Detta beror på att när människorna på övervåningen börjar utrymma strömmar det redan upp rök från undervåningen. Det har inte ansetts troligt att människor utrymmer ner i röken om det finns alternativ. Nödutgången inne på Lindex som leder in i en korridor bakom Lindex lager har inte heller använts eftersom denna har ansetts ligga för nära dörren till Lindex lager där flammor slår ut. Trappan och rulltrappan inne på H&M har bara använts av de som utrymmer i ett tidigt skede eftersom det kan anses troligt att rök i viss mån även kommer komma upp här efter en tid under utrymningsförloppet.

Under utrymningsförloppet uppstår inga större problem. Det bildas dock några proppar på övervåningen beroende på att centralrulltrapporna inte kan användas. Vid utrymningsvägen mot Oden 7 på andra våningen, utrymningsvägen som leder ner till ICA:s lager samt utrymningsvägen som leder ner till korridoren bakom Lindex lager uppstår flaskhalsproblematik efter ca 5 min. Dessa problem upphör efter ca 7 min.

7.5 Jämförelse och slutsatser

Eftersom branden har fått växa bakom stängd dörr blir förloppet häftigt när dörren väl öppnas. De mängder mörka brandgaser som väller ut har visat sig bli den kritiska faktorn. Spridningsförloppet av brandgaserna blir snabbt. När brandgaserna väl når ut till butikstorget har de fått så låg temperatur att de fördelas i hela rumsvolymen och ger upphov till kritiska förhållanden.

Rum	t(krit)	t(ut)	marginal
1	ej relevant	-	-
2-3	-	210	-
4	-	-	-
5	-	260	-
6	280	300	-20
7	220	280	-60

Tabell 3. Förhållandet mellan resultat från CFAST, t(krit), och Simulex, t(ut).

Kritiska förhållanden uppstår ej i rum 2-5, detta beror på att ett steady-state inträffar. I rum 6 och 7 överstiger t (ut) t (krit), vilket betyder att folk inte hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår. Mörka brandgaser börjar spridas till ovanvåningen efter ca 7.5 min. Flaskhalsproblematiken på ovanvåningen löser sig efter ca 7 min då ovanvåningen i princip är helt utrymd. Detta visar att kritiska förhållanden inte uppstår där innan folk har hunnit utrymma. Det mest kritiska utrymnet blir butikstorget mellan butikerna på bottenplanet enligt tabell 3. Besökare som befinner sig i butiker utan bakre utrymningsväg t.ex. Guldfynd och Bokia tvingas utrymma via butikstorget. Dessa individer upptäcker inte röken förrän den redan har börjat fylla butikstorget. Därefter är förloppet snabbt och det kan bli svårt att hinna ut innan kritiska förhållanden uppstår, vilket skedde i simuleringarna. Det är på grund av detta som det är viktigt att utrymningen börjar så tidigt som möjligt även i de lokaler där det varken kan ses rök eller flammor.

Resultaten från känslighetsanalysen visar att den enda känsliga parametern är värdena för H/C och C/CO₂. Genom att ändra från polyester till standardvärden blev sikten markant bättre. Detta är inte realistiskt med tanke på att det är mestadels syntetiska material som brinner.



8 JC

8.1 Brand på JC - Scenario 3

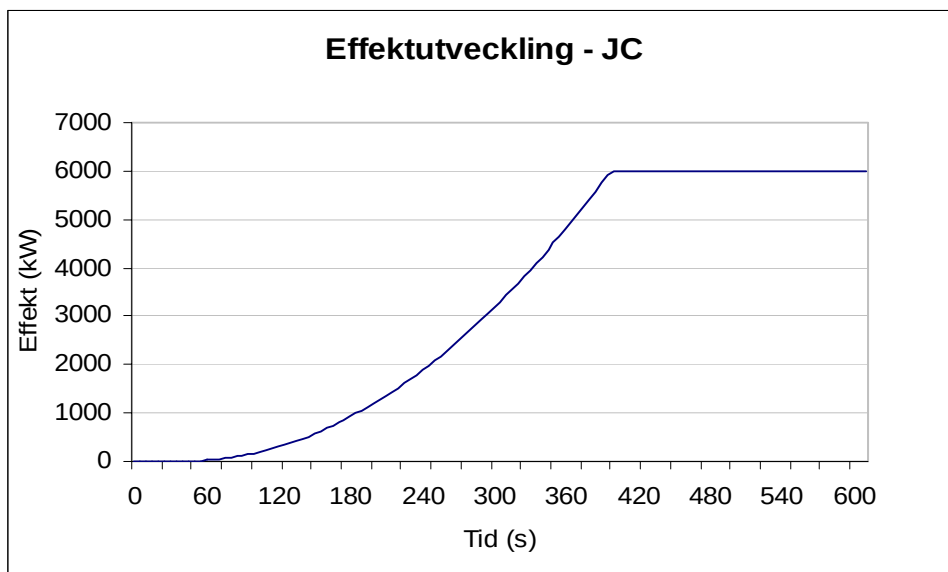
JC är en klädbutik som i huvudsak säljer tröjor, byxor och jackor. Butiken är belägen på den andra våningen med entrén till butiken nära rulltrapporna. Butiken har även 60 cm galler i den översta delen av den vägg som också är del i korridoren mot parkeringen och Oden 7. Då en brand i den yttre delen av butiken skulle kunna tänkas blockera både utrymningsvägen mot Oden 7 och utrymning via rulltrapporna, bedömdes detta vara ett värsta sannolika scenario för brand på plan två. Speciellt då dessa två utrymningsvägar är de enda vägar ut från varuhuset som besökarna kan antas vara bekanta med sedan tidigare. Utöver butiksentrén finns även utrymningsväg i bakre kant av butiken.

Eftersom anlagda bränder blir alltmer vanliga i Sverige anses det förhållandevis troligt med en anlagd brand på JC. Branden antas starta i jackor som hänger på en "karusell" ganska nära ingången till butiken. Branden sprider sig snabbt till flera karuseller och snart involveras ca 100 jackor i branden. Tillväxthastighet antas vara snabb vilket gör att släckning i ett tidigt skede troligen kommer misslyckas. Brandgaserna kan sprida sig snabbt ut till det gemensamma utrymmet genom öppningarna vid taket.

8.2 Effektutveckling

Efter diskussionen som följer av bilagan "Val av effektkurvor" bedömdes en maximal effekt på 6 MW för brand i ett hundratal jackor vara rimlig. Den valda effekten jämfördes med det fullskaleförsök som utförts av Björn Johansson²⁵, där 110 jackor ingick i försöket. Resultatet visade tillräckligt bra överensstämmelse för att motivera 6 MW. Förbrinntiden är satt till 40 sek. och tillväxthastigheten $0,05 \text{ kW/s}^2$.

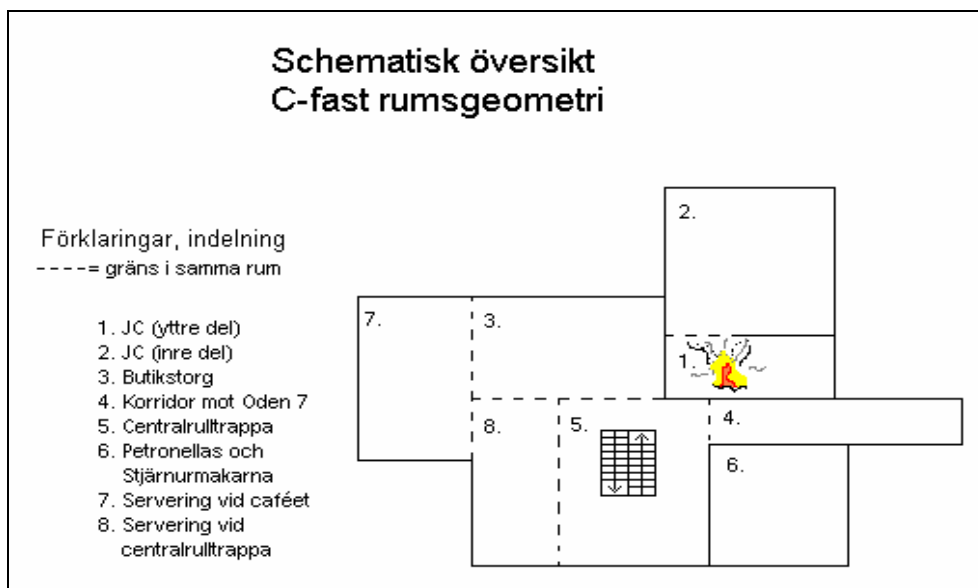
²⁵ Försöket är vid tryckningen av denna rapport ännu inte publicerat



Figur 11.

8.3 Simulering i CFAST

Vid simuleringen delades JC och de gemensamma öppna ytor in i åtta rum, detta för att fördröja brandgasspridningen som i CFAST annars sker momentant i hela rummet, se bilden nedan. Rummen är i butikstorget helt öppna mot varandra förutom en balk vid taket på 35 cm. För att även bromsa brandgasspridningen i butiker där galler finns har dessa i CFAST flyttas ned 35 cm.

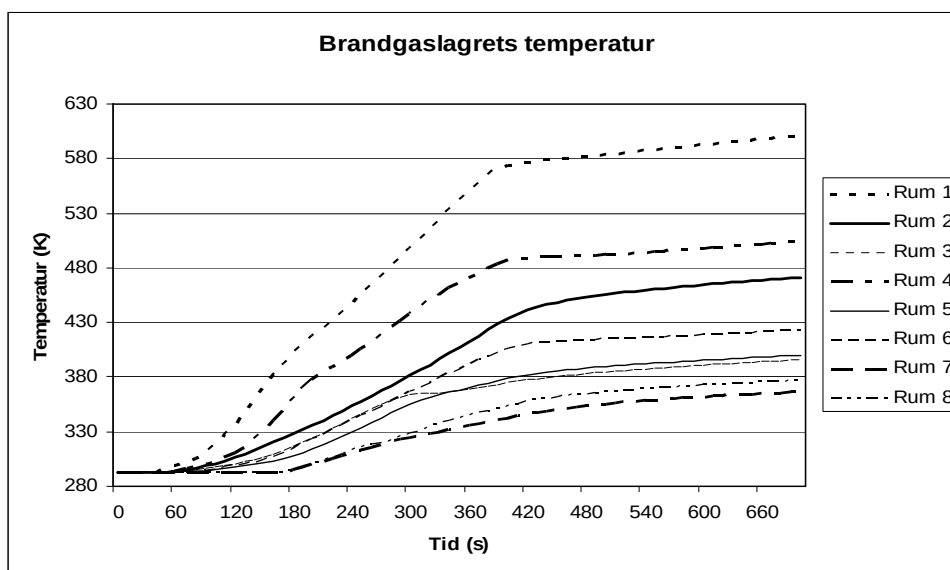


Figur 12.

För att bedöma om kritiska förhållanden uppstår har värden simulerats fram för brandgaslagrets höjd, temperaturer, strålning, optisk densitet och mängden CO, CO₂ samt O₂. För förhållandet mellan H/C och C/CO₂ har värdet för polyester använts i simuleringen, 0,1175 respektive 0,08²⁶. Polyester ger betydligt mörkare brandgaser än exempelvis papper och kommer att försvåra siktförhållandena. Utdata från simuleringen ger att mängden CO,

²⁶ Hultquist Hans, (2000) "Simulating visibility in Hazard 1/CFAST", sid 6

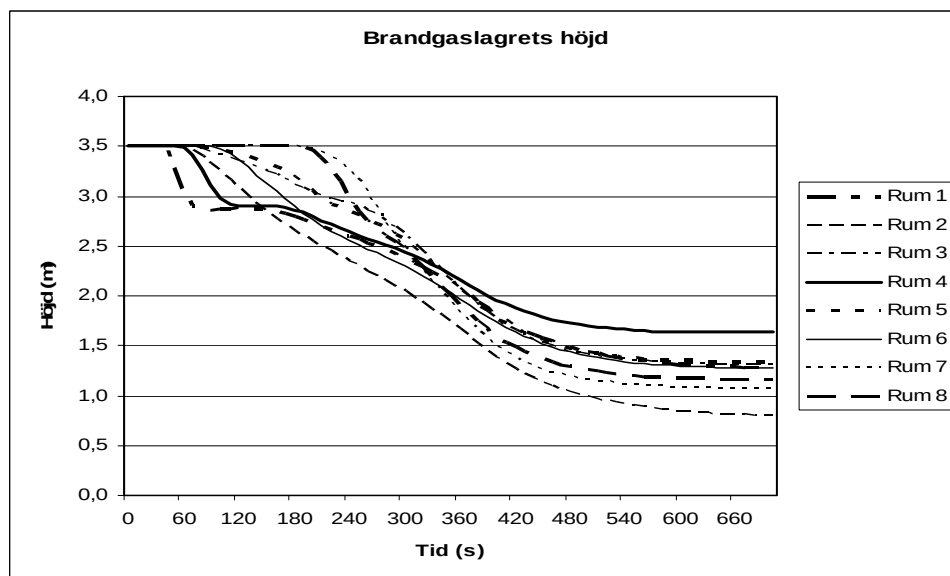
CO₂ och O₂ inte kommer att påverka en utrymning, då samtliga värden håller sig med marginal från kritiska förhållanden. Ej heller kommer strålningen att bli problem vid utrymning.



Figur 13. Se figur 12 ovan för rumsindelning.

Temperaturhöjningen i det undre brandgaslagret kommer endast att bli några enstaka grader för samtliga rum utom själva brandrummet där skillnaden blir något högre.

Temperaturskillnaden mellan det övre och undre brandgaslagret kommer att ge upphov till skiktning.



Figur 14. Se figur 12 ovan för rumsindelning.

Brandgaslagrets höjd når kritiska förhållanden efter 5 - 6,5 min. Se tabell 4 nedan.

8.4 Simulering i Simulex

För Scenariot JC har utrymningsvägen mot Oden 7 inte använts eftersom brandgasspridningen dit sker i princip omedelbart även om kritiska förhållanden inte uppstår här förrän efter långt senare. Dessutom anses det mindre troligt att utrymning sker i riktning

mot branden. Utrymningen av markplanet kommer inte att påverkas av branden eller de som utrymt från andra våningsplanet i detta scenario.

Två simuleringar har genomförts. Den första angav att hälften av besökarna på det övre planet skulle välja centralrulltrappan och andra hälften skulle välja den närmaste utgången. Detta resulterade i långa köer vid rulltrapporna och att de sista personerna lämnade det övre planet via rulltrapporna efter omkring 8,5 min. Resultatet är omöjligt då kritiska förhållanden i butikstorget inträtt långt tidigare och dessutom sker utrymningen i så fall mycket nära den ursprungliga branden.

Den andra simuleringen angav att de som utrymmer innan utrymningslarmet satts igång väljer rulltrapporna eller någon av de två utrymningsvägarna från butikstorget (vid Caféet eller mellan Cassels och Gina Tricot). Övriga besökande utrymmer genom utrymningsvägar inne i butikerna. Detta motiveras med de förhållanden som hunnit uppstå innan utrymningslarmet satts igång. Dessutom antas utrymmande i verkligheten inte ställa sig i en lång kö när andra alternativ finns. För butiker som saknar utgång inne i själva butiken måste dock utrymning ske via butikstorget, exempel på butiker är Jack & Jones och Gina Tricot. Vid tiden för kritiska förhållanden i butikstorget används ej rulltrapporna längre. I detta fall har båda våningsplanen utrymt efter ca 8,5 min. Det övre våningsplanet är utrymt 7 minuter efter brandens start.

8.5 Jämförelser och slutsatser

Den snabba spridningen av brandgaser ut i butikstorget beror på galleröppningarna som finns i takhöjd på flertalet butiker. Det finns där ingenting som hindrar och håller kvar brandgaserna i själva brandrummet, därför kommer påverkan på övriga delar av varuhuset att bli stora vid en brand.

Rum	t(krit)	t(ut)	marginal
1	260*	110	150
2	310	215	95
3	370	360	10
4	400	410	-10
5	370	370 [#]	0
6	370	260	110
7	340	380	-40
8	350	370	-20

Tabell 4. Förhållandet mellan resultat från CFAST, t(krit), och Simulex, t(ut).

* - Kritiska förhållanden uppstår tidigare för de som befinner sig inom 5 m från flamman²⁷.

- Utrymningsvägen kommer troligtvis att användas så länge förhållandena medger det.

Problem kan uppstå i butikstorget där utrymningen ej är avslutad innan kritiska förhållanden uppstår. I rum 3 och 7 återfinns de resterande två utrymningsvägarna som leder från butikstorget till brandklassade trapphus. Det kan innebära stora problem eftersom flera av butikerna måste utrymma genom butikstorget när kritiska förhållanden uppstått för att nå dessa utgångar. Resultaten visar att utrymningssituationen inte är tillfredställande i sin nuvarande form.

²⁷ Se bilaga "handberäkningar"

Resultat från känslighetsanalysen visar att effektutvecklingens påverkan på brandgaslagrets höjd är i princip obefintlig. Oavsett om 4, 6 eller 8 MW väljs följer kurvorna varandra. Större skillnad kunde konstateras när tillväxthastigheten varierades. För tillväxthastigheterna medium och ultrafast hamnar brandgaslagrets höjd på kritisk nivå ± 100 sek jämfört med den valda fastkurvan. Detta skulle kunna innebära att kritiska förhållanden uppstår i de flesta rum före utrymningen är avslutad, om tillväxthastigheten är snabbare än den ansatta kurvan. Att tillväxthastigheten skulle ske snabbare än fastkurvan bedöms inte som helt orimligt eftersom kläder ofta innehåller syntetiska material. Variation av öppningarnas storlekar visade sig ha mycket liten påverkan på brandgaslagrets höjd. För utförligare diskussion se bilaga "Känslighetsanalys".

9 Intervjuer med butikspersonal

För att få en bild av personalens kunskap om hur de ska gå till väga vid en utrymningsituation, ställdes ett antal frågor till personal i ett femtontal av butikerna. Frågorna var:

- Har du fått någon brandutbildning? Och i så fall när?
- Har du hört hur utrymningslarmet låter?
- Hur är ljudnivån på utrymningslarmet?
- Vet du var närmaste släckutrustning finns?

Utbildningsnivån och kunskapen varierar oroväckande mycket beroende på vilken personal som tillfrågas. I någon enstaka butik är kunskapen imponerande och personalen kan svara på samtliga frågor utan minsta betänketid. I övriga butiker ser det betydligt värre ut på utbildningsfronten.

Vid frågan om personalens brandutbildning hänvisades intervjuaren ofta till en speciell person i butiken. Denna person har genomgått brandutbildning och är en av få i butiken som kan svara på samtliga ställda frågor. Detta visar på att det bara är enstaka personer i varje butik som fått utbildning. Denna kurs har olika intervall för deltagande beroende på vilka och hur många från butiken som går. Det vanligaste svaren var att det gått 2-4 år sedan senaste tillfället. En stor del av de anställda har dock inte fått någon utbildning alls. I en butik finns anställda som jobbat i över tio år, men fortfarande inte gått någon kurs.

Utrymningslarmet har i princip all personal hört, detta i samband med ett test som hölls före butikerna öppnat för dagen. Testet hölls relativt nyligen. Flertalet de anställda bekräftar att de vet vad som sägs.

Frågan om ljudnivån på det talade meddelandet gav upphov till blandade svar. I några av de större butikerna har personalen svårt att höra meddelandet överhuvudtaget. I de övriga butikerna var svaret att meddelandet hörs klart och tydligt. Ljudnivån har justerats, men det är oklart om personalen hört meddelandet före eller efter justeringen.

Även vad gäller kunskapen om släckutrustning blev svarsresultatet blandat för de olika butikerna. Där brandsläckare eller brandpost finns inne i själva butiken, vet personalen var dessa är placerade. Däremot är det få som har vetskap om var släckutrustning utanför butikerna är placerad. Detta gäller speciellt för de butiker där släckutrustning saknas. I ett fall fick en butiksanställd ringa till sin chef när frågan ställdes.

Vid ett samtal med en anställd framkom att det är stora skillnader i hur allvarligt personalen i varuhuset tar på brandlarmet. Personal tillhörande några av de större kedjorna följer genast de, för varuhuset, gemensamma rutinerna gällande larm och utrymning. Detta medan många av den resterande personalen inte tar larmet på lika stort allvar.

Det kan vara värt att förtydliga att det är de enskilda butiksägarnas ansvar att dess personal (inklusive nyanställda) fått tillräcklig brandskyddsutbildning.

10 Sammanfattande diskussion och förslag på förbättringar

10.1 Iakttagelser från objektsbesöket

Under besök på varuhuset Oden gjordes en del iakttagelser.

- **Fastighetsteknikerna** – De två fastighetsteknikerna Peter och Roy besitter en imponerande kunskap om objektet och dess brandskydd. De är därför en stor resurs både för räddningstjänst och för butikspersonal. De ser även till att varuhuset är välstädat och att utrymningsvägar inte blockeras av varor och skräp.
- **Butikspersonalen** - En stor del av personalen vet inte vad de förväntas göra om brandlarmet går igång. Utbildningen för personalen visar brister i antalet utbildad personal samt i uppföljningen av kunskaperna.
- **Låsanordningar** - Låsanordningarna är inte enhetliga utan det finns ett flertal olika varianter. Många uppfyller inte rekommendationerna i BBR. Exempel på detta är de låsvred med plastkåpa.
- **Manuella system** – En stor del av de brandtekniska systemen i varuhuset idag är beroende av manuella åtgärder, t.ex. upplåsning av utrymningsvägar, aktivering av utrymningslarm, avstängning av musik o.d. Den mänskliga faktorn kan orsaka stora problem om det skulle brista i någon punkt.
- **Öppningar mellan butiker** - Det finns stora öppningar mellan de flesta butiker i taknivå. Detta leder till att rök lätt kan sprida sig över större delarna av varuhuset med personskador och materiella skador som följd.
- **Brandsläckare och utrymningsskyltar** - Utrymningsskyltarna är i de flesta fall stora och tydliga. Några enstaka undantag finns där utrymningsskyltarna vid besöket var skymda. Även Brandsläckare är i de flesta fall väl utmärkta men undantag finns (se bild 4 kap 2.2.6).



Bild 9. Dold utrymningsskylt på ICA.

- **Dörrar** - Dörren som leder från andra våningen till Oden 7 genom brandporten är endast 90 cm bred. Detta har visat sig i Simulex (se vidare kap. 10.2 nedan) leda till trängsel och proppbildning. Dörren som leder ut från Köksboden till korridoren bakom Lindex lager kan inte öppnas fullt då grannbutikens utrymmer. Detta beror på att utrymningsvägarna krockar på ett olyckligt sätt.



Bild 10. Två utrymningsvägar som blockerar varandra. I öppet läge blockerar utrymning från dörrhålet till höger i bild.



Bild 11. Samma dörr som i bild 10. Det kommer utrymmande från både höger och vänster innanför dörröppningen.

10.2 Slutsatser från brandscenarierna

Det befintliga brandskyddet i Oden 8 skulle i dagsläget inte kunna möta de scenarier som simulerats och diskuterats i kapitel 6-8 på ett tillfredsställande sätt med avseende på utrymningssäkerheten. Mycket har gjorts för att förbättra situationen på olika sätt, vilket inte ska försummas. Det finns dock fortfarande ett behov av ytterligare förbättringar av brandskyddet och utrymningsmöjligheterna. Följande problem har noterats:

- Fördröjning av utrymningen uppstår då utrymmet vid centralrulltrappan hamnar under kritiska förhållanden och därmed inte kan användas.
- Tiden från att branden startar tills det att människorna börjar förflytta sig mot utgångarna är lång. Vilket visat sig vara den dominerande faktorn i de fall där folk inte hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår.
- Brandgaserna kan sprida sig okontrollerat i hela Oden 8 med risk både för personskador och stora materiella skador.
- Risk för trängsel föreligger på övre plan i utrymningsvägen mot Oden 7, flaskhalsproblematik uppstår lätt här.

10.3 Förslag till förbättringar

I det stora hela är utrymningssituationen relativt bra. Det finns gott om utrymningsvägar och de flesta är tydligt markerade. Det finns dock, som redovisats ovan, en del saker som kan och **bör** förbättras. En del brister är ganska allvarliga och dessa **skall** förbättras.

Förbättringar som **skall** göras:

- Larmorganisationen skall effektiviseras. Som situationen är nu tar det 3-4 min från brandlarmet utlöser till det talade utrymningsmeddelandet aktiveras, vilket är en onödig fördröjning. I simuleringarna har det konstaterats att detta är en avgörande faktor för om folk hinner utrymma i tid. Besökare, även de som varken ser brand eller rök, måste börja utrymma så tidigt som möjligt. Ju tidigare det talade utrymningsmeddelandet startar desto snabbare kommer lokalerna att utrymmas. Detta kan exempelvis göras genom att komplettera den manuella aktiveringen med en automatisk aktivering av utrymningslarmet med tvådetektorberoende.
- Personalen skall delta aktivt i utrymningsarbetet. De måste uppmuntra kunderna att utrymma. Detta kan göras genom att öppna samtliga utrymningsvägar och muntligen informera besökarna i butikerna att utrymma. Det är viktigt att utrymningsvägarna i butikernas bakkant används för att utrymningen ska fungera tillräckligt bra. Detta görs effektivast med personalens hjälp. Samtlig personal måste erhålla den utbildning, som i dagsläget endast ges till ett fåtal per butik, så att de vet vad som krävs av dem vid en eventuell brand.
- Låsanordningarna till utrymningsvägarna skall förändras så att de följer föreskrifterna i BBR. 5.3
- Brandsläckare skall vara tydligt utmärkta och får inte döljas eller täckas för. Detsamma gäller för utrymningsskyltarna. Detta måste understrykas under personalens utbildning.

Förbättringar som **bör** göras:

- Vissa av de manuella systemen bör ersättas med automatiska system. T.ex. kan belysningen i varuhuset kopplas till låsen på utrymningsvägarna så att det inte går att tända lyset i butikerna om dörrarna är låsta. Strömmen till butikernas ljudanläggningar bör brytas automatiskt vid brandlarm så att eventuellt utrymningslarm hörs tydligt.
- Dörren i Brandporten som leder mellan Oden 7 och Oden 8 på andra våningen bör breddas för att förhindra köbildning och trängsel där. Även dörren i brandporten på första våningen mellan Oden 7 och Oden 8 bör ses över avseende bredd.
- Behovet av brandgasventilering bör utredas särskilt med avseende på att detta kan göra centralrulltrapporna och butikstorget på andra våning användbart för utrymning under pågående brand. Detta kommer även att underlätta en räddningstjänstinsats och göra denna effektivare. Dessutom minskar de materiella skadorna till följd av en brand om brandgaserna kan ventileras ut.
- Dörrupphängningen bör ses över för utrymningsdörren från Köksboden till korridoren bakom Lindex lager. Dörren blockerar utrymning från den tomma butiken bredvid Köksboden, se bild 10 och 11.

10.4 Effekter av förbättringar

Det är svårt att ange kvantitativt exakt hur stora förtjänsterna av de föreslagna förbättringarna blir. Det står dock klart att vinsterna blir stora. Om det talade utrymningsmeddelandet startar direkt när branddetektorerna aktiveras innebär detta att folk som inte ser branden börjar utrymma ca 2 minuter tidigare än vad de skulle göra idag. För de som ser branden ligger vinsten av snabbare utrymning i storleksordningen 30 sekunder.²⁸

Om personalen handlar snabbt och korrekt och om utrymningsvägar är korrekt utformade och tydliga underlättar detta en eventuell utrymning avsevärt. Denna vinst är dock än svårare att kvantifiera. Det skulle dock leda till att fler skulle använda utrymningsvägar som de inte är bekanta med. Detta medför att köbildning kan undvikas vid de utgångar som är välkända. Detta i sin tur leder till ett effektivare utrymningsförlopp och mindre risk för personskador.

Den största negativa marginalen från simuleringarna är 1 minut. Detta innebär att om de föreslagna förbättringarna genomförs kommer ca 2 minuter att sparas in och utrymningen kommer därigenom att kunna genomföras på ett säkert sätt med ca 1 minut till godo. Dock kan det tyckas att en marginal på 1 minut är liten då resultaten förutsätter att flertalet av utrymningsvägarna används. Detta motiverar en vidare utredning av brandgasventilation.

Att brandsläckare är tydligt utmärkta och lätta att finna leder till att en brand som upptäcks i ett tidigt skede med större sannolikhet kan släckas. Därigenom kan ett livshotande brandförlopp helt undvikas.

Om förbättringarna som är föreslagna i denna rapport genomförs anses det med stöd av resultaten i rapporten att utrymningssäkerheten är tillräckligt god. En total utrymning av ett folktätt Oden 8 under en pågående brand skulle kunna genomföras på ett säkert och tillfredsställande sätt.

²⁸ Frantzych, (2001) "Tid för utrymning" tabell 33 sidan 93

11 Slutdiskussion

I denna rapport har personsäkerheten i Oden 8 vid en eventuell brand utvärderats. Scenarierna som behandlats har varit konservativa, i form av relativt omfattande bränder med snabba tillväxthastigheter. I scenario 2 och 3 har det antagits att polyester brinner, vilket ger en mörk och toxisk rök. Varuhuset har i simuleringarna haft en stor persontäthet, motsvarande julhandeln. Att det är mycket folk leder i verkligheten till att branden har större chans att upptäckas i tid och därmed kunna släckas i ett tidigt skede. På grund av de stora volymerna behövs en stor brand för att kritiska förhållanden skall uppstå.

Säkerheten vid brand är i dag inte helt tillfredsställande och behöver åtgärdas på vissa punkter.

I denna rapport har enkla och kostnadseffektiva sätt att förbättra säkerheten redovisats. I första hand skall larmorganisationen effektiviseras och tiden till aktiverat utrymningslarm förkortas. Detta kan ske genom automatiskt utrymningslarm med tvådetektorberoende som komplement till dagens manuella utlösning. I andra hand skall utbildningen av personalen ses över så att samtlig personal utbildas regelbundet. Personalen ska besitta kunskap om vilka åtgärder som skall vidtas vid utrymning och delta aktivt i utrymningsarbetet. Personalens viktigaste uppgifter bör vara att öppna alla nödutgångar, muntligen uppmana besökarna att utrymma genom dessa och hjälpa exempelvis rörelsehindrade och äldre. Om dessa två åtgärder uppfylls till fullo anses säkerheten vara tillfredsställande.

Räddningstjänsten i Trollhättan har framfört önskemål om installerad brandgasventilation som en åtgärd för att höja säkerheten och möjliggöra en effektiv släckinsats. Installation av brandgasventilation skulle troligen underlätta utrymning genom att hålla butikstorget fritt från brandgaser. Detta skulle dock innebära en kostsam ombyggnation. Nödvändigheten av detta bör utredas vidare.

Referenser:

Abrahamsson, (1997) "Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler"
Avdelningen för Brandteknik LTH, Lund
Rapport 5007

Angerd, (1999) "Är utrymningsschablonerna vid brandteknisk dimensionering säkra?"
Avdelningen för Brandteknik LTH, Lund
Rapport 5028 ISSN:1402-3504

Boverket (2002) "Boverket Byggregler"
Boverket
ISBN 91-7147-718-7

Canter D (1985) "Studies of human behaviour in fire: empirical results and their implications for education and design"
Building Research Establishment (BRE)
ISBN 0-85125-343-1

Drysdale, (1998) "An Introduction to Fire Dynamics"
John Wiley & Sons Ltd, Chichester
ISBN 0-471-97291-6

Frantzich, (2001) "Tid till utrymning"
Räddningsverket, Karlstad
ISBN 917253-092-8

Hultquist Hans, (2000) "Simulating visibility in Hazard 1/CFAST",
Avdelningen för Brandteknik LTH, Lund
Rapport 7008 ISSN: 1102-8246

Jönsson mfl., "Brandskyddshandboken" (2002),
Avdelningen för Brandteknik LTH, Lund
Rapport 3117 ISSN:1402-3504

Karlsson/Quintiere, (2000) "Enclosure Fire Dynamics",
CRC Press, Boca Raton
ISBN 0-8493-1300-7

Purser et al,(1995) "SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA, , 2nd ed

www.srv.se

www.nist.gov

BILAGOR:

Handberäkningar

Handberäkning av strålning från brandgaslager

Beräkningen ger temperaturen i det övre brandgaslagret när kritiska förhållanden uppstår pga. strålning. Formeln som har använts är²⁹:

$$E = \varepsilon \sigma T^4$$

ε antas vara 0.8 och är ett mått på hur effektivt en strålkälla strålar. Emissiviteten för en svartkroppstrålar är 1 vilket innebär en perfekt strålar. Brandgaslagrets emissivitet är inte en lika effektiv strålkälla, därför antas värdet 0,8. Detta värde är fortfarande konservativt.

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ och är Stefan-Boltzmanns konstant.

$E = 2.5 \text{ kW/m}^2$ vid gränsen för kritiska förhållanden enligt SFPE handboken.

Ommöblering och insättning i formeln ovan ger:

$$T = \sqrt[4]{\frac{E}{\varepsilon \sigma}} = \sqrt[4]{\frac{2500}{0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}}} \approx 485 \text{ K} \approx 210^\circ \text{ C}$$

Handberäkning av minimalt avstånd från flamma

Beräkningen ger minsta tillåtna avstånd från flaman för att en person inte utsätts för strålning över 2.5 kW/m^2 . Formeln som har använts är³⁰:

$$\dot{q}'' = \phi \varepsilon \sigma T^4 \text{ kW/m}^2$$

$\dot{q}''$ antas vara 2.5 kW/m^2 enligt gränsen för kritiska förhållanden.

ε antas vara 0,8, se ovanstående resonemang.

σ är $5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$.

T antas vara 1200-1300 K.

D är avstånd från en strålkälla till en punkt som utsätts för strålning.

Storleken på flaman som slår ut genom dörren uppskattas till höjden 2m och bredden 1 m.

Ommöblering och insättning i formeln ger ett värde på synfaktorn ϕ :

$$\phi = \frac{\dot{q}''}{\varepsilon \sigma T^4} = \frac{2500}{0,8 \cdot 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot 1200^4} = 0,026$$

$$\phi = \frac{\dot{q}''}{\varepsilon \sigma T^4} = \frac{2500}{0,8 \cdot 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot 1300^4} = 0,019$$

Detta ger ett värde på $D^{31} = 4.7 \text{ m}$ för 1200 K och $D = 5.3 \text{ m}$ för 1300 K

²⁹ Drysdale, (1998) "An Introduction to Fire dynamics", sid 33

³⁰ Drysdale, (1998) "An Introduction to Fire dynamics", sid 33

³¹ Drysdale (1998) "An Introduction to Fire Dynamics", Table 2.7 sid. 59

Val av effektkurvor

Scenario 3 - Jeans and Clothes

Det är onekligen svårt att uppskatta effektkurvorna på ett vetenskapligt exakt sätt. Hur hög maxeffekten blir kan uppskattas enligt³²:

$$\dot{Q}_{\max} = \chi \times H_c \times A \times \dot{m}$$

χ = Förbränningseffektivitetskoefficient

H_c = värmeinhåll kJ/kg

A = brandarea m²

$\dot{m}$ = massavbrinningshastigheten kg/s

I rapporten "Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler"³³ har en uppskattningsberäkning gjorts för brand i ett cirkulärt klädställ enligt ovanstående metod. Abrahamssons beräkningar resulterar i en 6 MW brand, och rapporten föreslår att effektutvecklingen beskrivs enligt:

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

$\dot{Q}$ är effektutvecklingen i kW,

α är en tillväxtfaktor kW/s²

t är tiden i sekunder.

Genom att välja $\alpha = 0,0469 \text{ kW/s}^2$, vilket motsvarar ett standardvärde för fast tillväxt, beräknade Abrahamsson tiden till maxeffekt till 360 sekunder (6 min).

Ett mer verklighetsanknutet alternativ till ovanstående är att använda experimentella data för att uppskatta effektutvecklingen. I rapporten "Fire safety on intercity and interregional multiple trains"³⁴ har experiment utförts som beskriver hur jackor brinner. Experimenten visar att varje jacka ger en maxeffekt på ca 50 kW. Experimentet visar att branden växer till 77kW på 75 sekunder, vilket kan omsättas till $\alpha = 0,014 \text{ kW/s}^2$. α -värdet från denna beräkning bör dock betraktas som mindre tillförlitligt eftersom inverkan av förbrinntiden försummas.

I valet av effektkurvor för dimensionerande brand i kläder på JC har följande resonemang förts. Antag att branden involverar 100 jackor samtidigt, vilket kan tänkas motsvara den värsta sannolika brandbelastningen i en affär som JC. Maxeffekten blir då $100 \times 50 \text{ kW} = 5 \text{ MW}$. Detta kan jämföras med 15 m² kläder som brinner med en avbrinningshastighet på 0,02 kg/s; ett värmeinhåll på 30 kJ/kg och en förbränningseffektivitetskoefficient på 0,7³⁵. Formeln nedan medför en maxeffekt på 6 MW.

$$\dot{Q}_{\max} = \chi \times H_c \times A \times \dot{m} = 0,7 \times 30 \text{ kJ/kg} \times 15 \text{ m}^2 \times 0,02 \text{ kg/s} \approx 6 \text{ MW}$$

³² Drysdale, (1998) "An Introduction to Fire Dynamics", sid 12

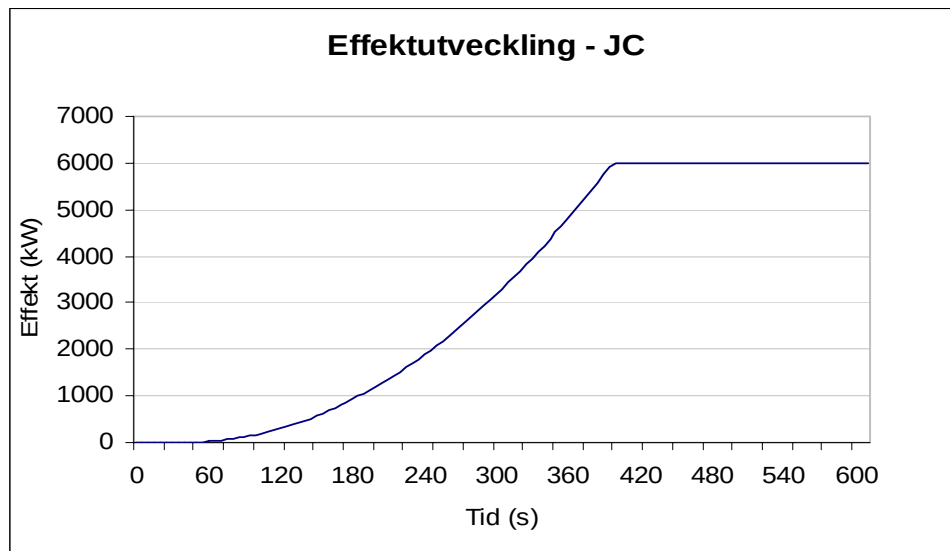
³³ Abrahamsson, (1997) "Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler", sid 77

³⁴ Kangedal/Nilsson (2002) "Fire safety on intercity and interregional multiple trains", sid 95

³⁵ Abrahamsson, (1997) "Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler", sid 77

De värden som har valts här kan motiveras genom att ha studerat "Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler"³⁶ samt äldre BTR-rapporter³⁷. Eftersom ursprungskällan inte framgår av ovanstående rapporter, har endast en gällande värdesiffra redovisats.

Maxeffekten i scenario 1 väljs således till 6MW. Vad gäller tillväxthastigheten har efter diskussion bestämts till $\alpha = 0,05 \text{ kW/s}$. Detta bör ses som konservativt med tanke på de värden som valts, framförallt i jämförelse med experimentdata. En förbrinntid på 40 sekunder kunde utläsas ur experimenten, vilket tas med i vår effektutvecklingskurva.



³⁶ Abrahamsson, (1997) "Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler"

³⁷ BTR 9041, BTR 9083, BTR 9193

Känslighetsanalys

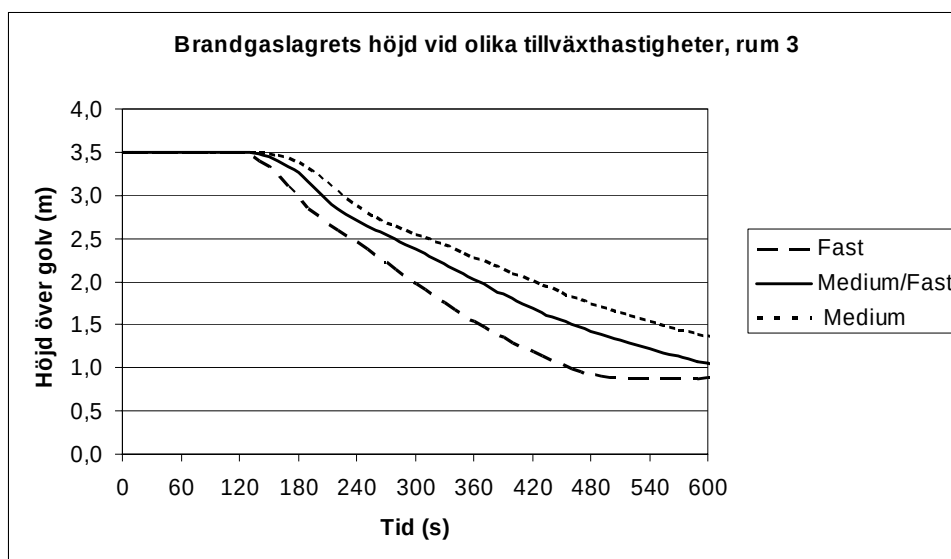
För att få högre kvalitet på resultaten har känslighetsanalyser gjorts genom att undersöka hur olika parametrar påverkar konsekvenserna av branden och därigenom utrymningssäkerheten.

Ica känslighetsanalys

Utgångspunkten är 10 MW maxeffekt och tillväxthastighet medium/fast ($\alpha = 0,021 \text{ kW/s}^2$). Följande parametrar har varierats och jämförts med valt brandscenario:

- Maxeffekt på 8 MW respektive 12 MW
- Tillväxthastighet $\alpha = 0,012 \text{ kW/s}^2$ (medium) respektive $\alpha = 0,0469 \text{ kW/s}^2$ (fast)³⁸
- Olika ventilationsförhållanden
- Standard värden på H/C och C/CO₂, gentemot värdena för trä³⁹

Skillnaden mellan tiden till kritiska förhållanden för de olika brandförloppen varierade med ($\pm$) 60 sekunder gentemot 10 MW branden. Detta innebär att tiden till kritiska förhållanden och tiden till utrymning sammanfaller i korridoren mot Oden 7. Sammanfattningsvis kan det sägas att utrymning i ICA-scenariot kan ske säkert vid den valda tillväxthastigheten. Vid snabbare tillväxthastighet är detta osäkert.



Kortast tid till kritiska förhållanden uppkom i samtliga simuleringar i rum 3, Köksbodens inre del, vilket motiverade att denna undersöktes närmare. De dimensionerande kriteriet var här brandgaslagrets höjd enligt kap. 4.4 ovan⁴⁰.

Vad gäller ventilationsförhållandena krävdes orimliga antaganden för att resultaten skulle skilja sig åt markant.

Värdena på H/C och C/CO₂ gav heller inga större förändringar vad gäller de kritiska kriterierna dvs. i detta fall brandgaslagrets höjd, även om sikten blev något bättre.

³⁸ Karlsson/Quintiere, (2000) "Enclosure Fire Dynamics", sid 41

³⁹ Trä valdes då detta bäst motsvarar den kemiska sammansättningen hos papper.

Se även: Hultquist Hans, (2000) "Simulating visibility in Hazard 1/CFast", sid 6

⁴⁰ se även Jönsson/Frantzich, (2002), "Brandskyddshandboken", sid 93

Lindex känslighetsanalys

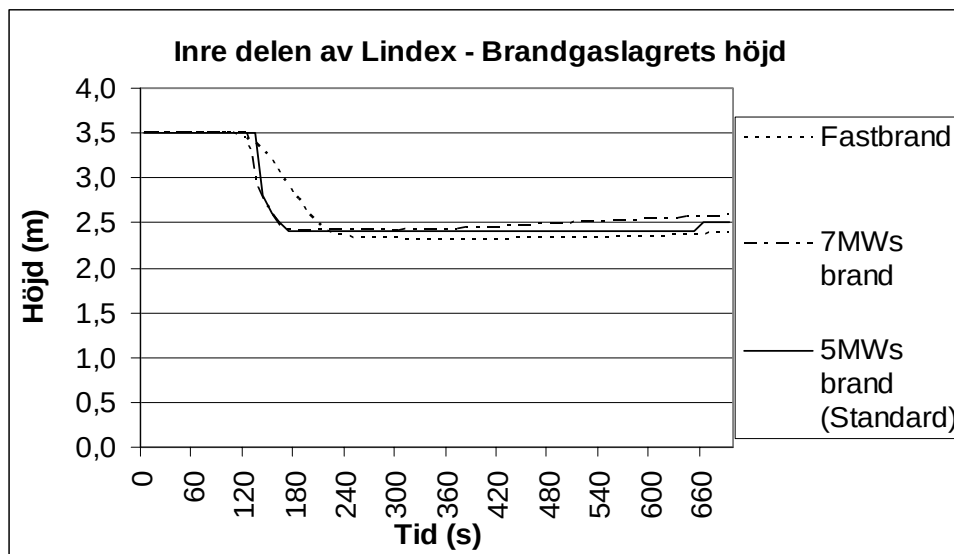
Utgångspunkten är 5 MW maxeffekt och tillväxthastighet ultrafast ($\alpha = 0,19 \text{ kW/s}^2$). Följande parametrar har varierats och jämförts med valt brandscenario:

- Tillväxthastighet fast
- 7 MW brand
- Olika antal och storlekar på öppningar
- Helt utan öppningar till det fria
- Med standardvärden på H/C och C/CO₂ (ej värdena för polyester⁴¹)

De iakttagelser som gjorts är att storlek och antal öppningar ut till det fria påverkar brandgaslagrets temperatur och höjd över golvet förvånansvärt lite. När det inte finns några öppningar alls till det fria uppnås det dock kritiska förhållanden i samtliga rum genom att brandgaslagret sjunker till golvet efter en viss tid. Tiden det tar tills brandgaslagret når under 2 m (kritiska förhållanden) sker dock inte markant snabbare än det tar för brandgaslagren att nå stabila höjder. Dessutom anses detta scenario som högst orimligt.

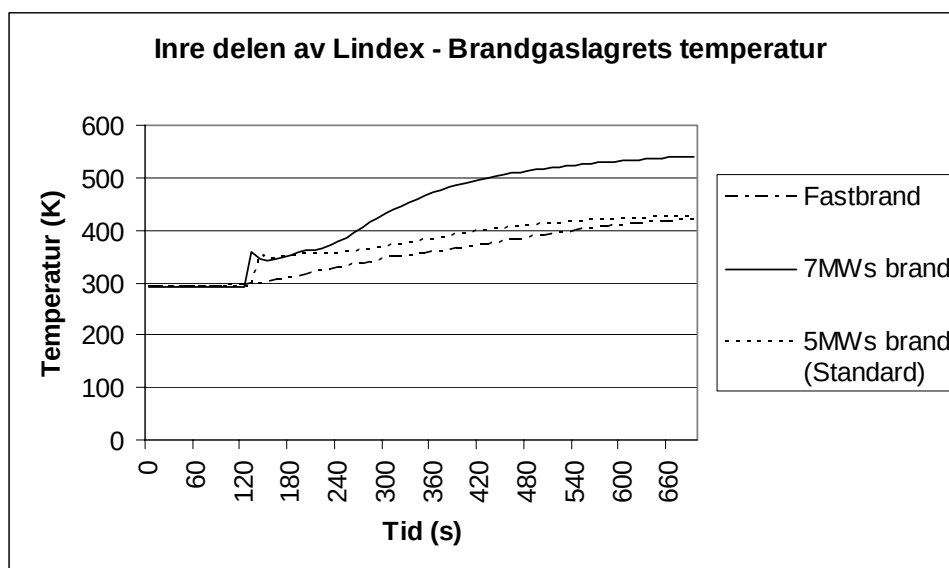
Förändringen av H/C och C/CO₂ ger en knappt märkbar skillnad för brandgaslagrets höjd och temperatur. Det påverkar dock sikten i brandgaslagret markant på så sätt att förhållandena blir mer gynnsamma.

Den lokal där fastbranden och 7 MW branden ger störst skillnad i förhållande till standard 5 MWs branden är den inre delen av Lindex.



Skillnaden för brandgaslagrets höjd blir försumbar.

⁴¹ Hultquist Hans, (2000) "Simulating visibility in Hazard 1/CFast", sid 6



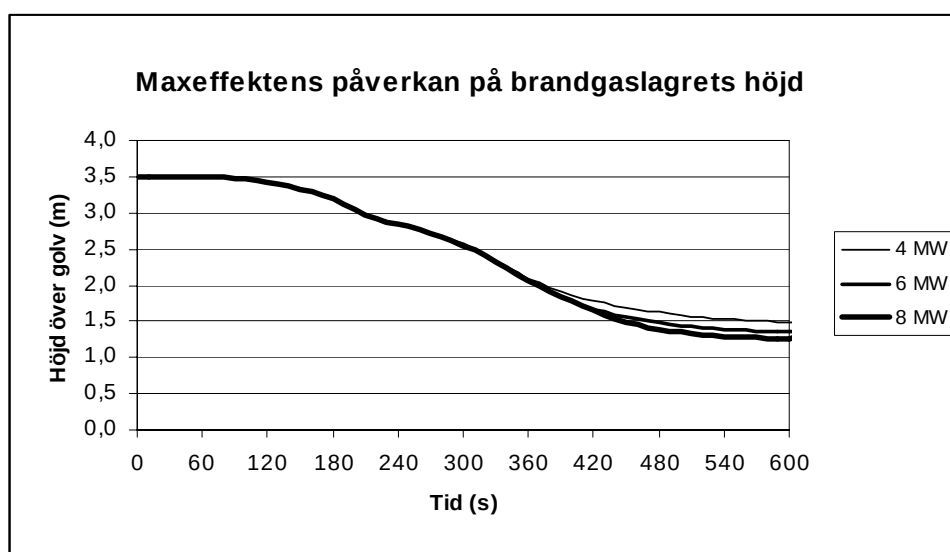
Brandgaslagrets temperatur blir ca 100°C högre för 7 MW branden. Observera dock att detta är i det rum där temperaturskillnaden blir högst. Detta innebär att för en 7MW brand uppstår kritiska förhållanden i denna lokal p.g.a. brandgaslagrets temperatur. Lindex är utrymt när detta sker vilket medför att utrymningen inte påverkas.

JC Känslighetsanalys

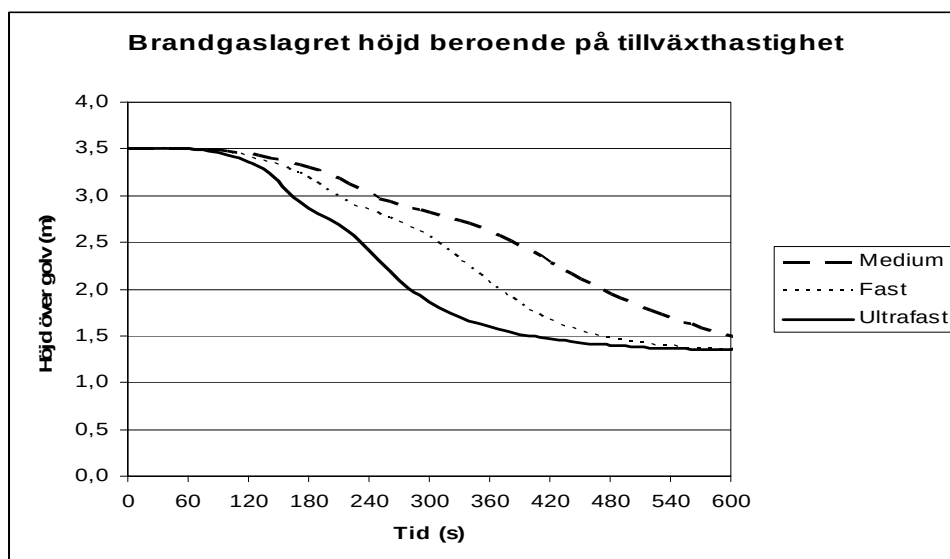
Utgångspunkten är 6 MW maxeffekt och tillväxthastighet fast ($\alpha = 0,05 \text{ kW/s}^2$). Följande parametrar har varierats och jämförts med valt brandscenario:

- 4 MW och 8 MW brand.
- Tillväxthastighet medium och ultrafast.
- Öppningarnas storlek

Känslighetsanalysen har utförts på brandgaslagrets höjd då detta tidigare konstaterats vara den faktor som uppnår kritiska förhållanden först. Det rum som valts att undersöka skillnaderna för är rum 5, där de centrala rulltrapporna finns och som troligtvis kommer att ha störst påverkan på en utrymningssituation

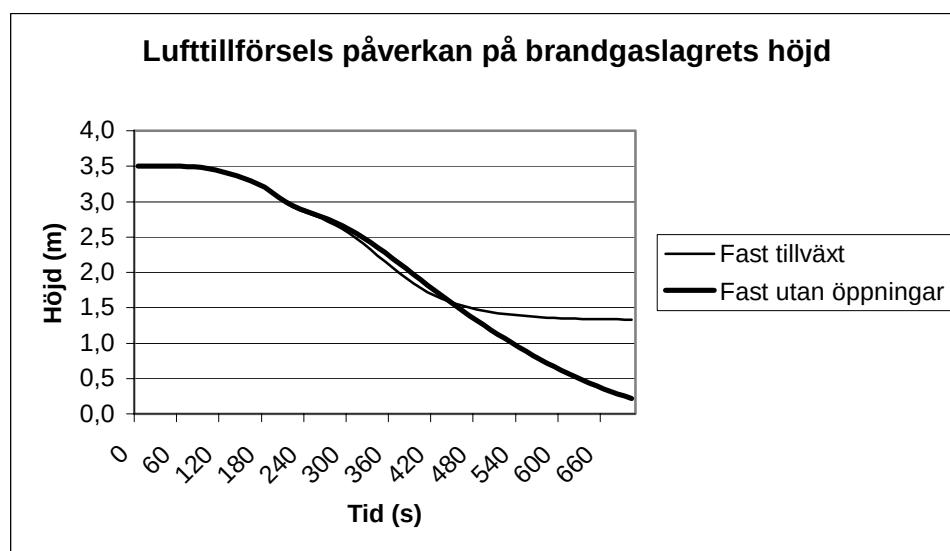


Som synes är skillnaden mer eller mindre obefintlig med avseende på vilken effekt som valts. Simuleringar har även skett för tillväxthastighet medium och ultrafast.



Vid snabbare tillväxt (ultrafast) inträder kritiska förhållanden omkring 100 s tidigare än för den dimensionerande branden. Detta skulle kunna leda till stora svårigheter i en utrymningssituation, då förhållandena kan omöjliggöra utrymningen vid ett betydligt tidigare skede. Att branden skulle kunna följa en snabbare tillväxt bedöms inte som helt orimligt eftersom kläder ofta innehåller syntetiska material, som har en snabbare tillväxthastighet.

Dessutom har simuleringar skett med och utan öppningar mot det fria, vilket ska simulera extra luft från de andra butiker som inte finns med i simuleringen.



Här syns tydligt att öppningarnas storlek endast påverkar vilken höjd brandgaslagret stabiliserar sig på. Skillnaderna framträder dock först efter ca 8 min, då utrymningen troligtvis är avslutad.

In- och utdata till dator simuleringar

CFAST

Indata är hämtad från scenario 1 - ICA

```

VERSN      3User Defined Base Case
#VERSN 3 User Defined Base Case
TIMES      800      0      10      20      0
DUMPR ICA10.HIS
ADUMP ICA10.XLS N
TAMB 293.150      101300. 0.000000
EAMB 293.150      101300. 0.000000
HI/F 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
WIDTH 18.6000 18.6000 9.00000 9.00000 13.0000 3.70000 3.70000 8.00000
DEPTH 22.5000 22.5000 15.0000 11.0000 19.0000 10.0000 10.0000 9.00000
HEIGH 3.50000 3.50000 3.50000 3.50000 3.50000 3.50000 3.50000 7.00000
CEILI GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM
WALLS GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM
FLOOR CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
#CEILI GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM
#WALLS GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM
#FLOOR CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
HVENT 1 2 1 18.6000 3.15000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 1 2 1 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000
HVENT 1 3 1 15.0000 3.15000 2.55000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 1 3 1 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000
HVENT 2 4 1 10.0000 3.15000 2.55000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 2 4 1 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000
HVENT 2 5 1 13.0000 3.15000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 2 5 1 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000
HVENT 3 4 1 8.00000 3.15000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 3 4 1 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000
HVENT 4 5 1 4.40000 2.20000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 4 5 1 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000
HVENT 5 6 1 3.70000 3.15000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 5 6 1 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000
HVENT 5 8 1 9.00000 3.15000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 5 8 1 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000
HVENT 6 7 1 3.70000 3.15000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 6 7 1 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000
HVENT 6 9 1 2.00000 2.50000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 6 9 1 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000

```

Varuhuset Oden, Trollhättan

```

HVENT 8 9 1 9.00000 6.50000 5.00000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 8 9 1 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
HVENT 8 9 2 9.00000 6.50000 5.00000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 8 9 2 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
HVENT 8 9 3 9.00000 3.00000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 8 9 3 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
HVENT 8 9 4 9.00000 6.50000 5.00000 0.000000 0.000000 0.000000
CVENT 8 9 4 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000 1.00000
CHEMI 16.0000 50.0000 10.0000 1.95000E+007 293.150 493.150 0.300000
LFB0 2
LFBT 2
CJET OFF
FPOS -1.00000 -1.00000 0.000000
FTIME 76.0000 152.000 228.000 304.000 380.000 456.000
532.000 608.000 690.000 790.000 791.000 792.000 793.000
794.000 795.000 796.000 797.000 798.000 800.000
FMASS 0.000000 0.00656241 0.0262497 0.0590615 0.104998 0.164061
0.236247 0.321558 0.419995 0.512821 0.512821 0.438230 0.346255
0.265102 0.194769 0.135256 0.0865641 0.0486922 0.0216410 0.000000
FQDOT 0.000000 127967. 511869. 1.15170E+006 2.04747E+006 3.19918E+006
4.60682E+006 6.27039E+006 8.18990E+006 1.00000E+007 1.00000E+007 8.54548E+006
6.75198E+006 5.16949E+006 3.79799E+006 2.63749E+006 1.68800E+006 949498.
421999. 0.000000
HCR 0.0800000 0.0800000 0.0800000 0.0800000 0.0800000 0.0800000 0.0800000
0.0800000 0.0800000 0.0800000 0.0800000 0.0800000 0.0800000 0.0800000
0.0800000 0.0800000 0.0800000 0.0800000 0.0800000 0.0800000 0.0800000
OD 0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000
0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000
0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000
CO 0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000
0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000
0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000 0.0300000
SELECT 2 3 8
#GRAPHICS ON
DEVICE 1
WINDOW 0. 0. -100. 1280. 1024. 1100.
LABEL 1 970. 960. 0. 1231. 1005. 10. 15 00:00:00 0.00 0.00
GRAPH 1 100. 50. 0. 600. 475. 10. 3 TIME HEIGHT
GRAPH 2 100. 550. 0. 600. 940. 10. 3 TIME CELSIUS
GRAPH 3 720. 50. 0. 1250. 475. 10. 3 TIME FIRE_SIZE(kw)
GRAPH 4 720. 550. 0. 1250. 940. 10. 3 TIME O|D2|O()
HEAT 0 0 0 0 3 1 U
HEAT 0 0 0 0 3 2 U
HEAT 0 0 0 0 3 3 U
HEAT 0 0 0 0 3 4 U
HEAT 0 0 0 0 3 5 U
HEAT 0 0 0 0 3 6 U
HEAT 0 0 0 0 3 7 U
HEAT 0 0 0 0 3 8 U
TEMPE 0 0 0 0 2 1 U
TEMPE 0 0 0 0 2 2 U
TEMPE 0 0 0 0 2 3 U
TEMPE 0 0 0 0 2 4 U
TEMPE 0 0 0 0 2 5 U
TEMPE 0 0 0 0 2 6 U
TEMPE 0 0 0 0 2 7 U
TEMPE 0 0 0 0 2 8 U
INTER 0 0 0 0 1 1 U
INTER 0 0 0 0 1 2 U
INTER 0 0 0 0 1 3 U
INTER 0 0 0 0 1 4 U
INTER 0 0 0 0 1 5 U
INTER 0 0 0 0 1 6 U
INTER 0 0 0 0 1 7 U
INTER 0 0 0 0 1 8 U

```



```
02      0 0 0 0 4    1 U
02      0 0 0 0 4    2 U
02      0 0 0 0 4    3 U
02      0 0 0 0 4    4 U
02      0 0 0 0 4    5 U
02      0 0 0 0 4    6 U
02      0 0 0 0 4    7 U
02      0 0 0 0 4    8 U
```

Simulex

Datafilen är hämtad från scenario 1 - ICA

```
Number of Floors = 2
Number of Staircases = 10
Number of Exits = 12
Number of Links = 20
Number of People = 2100
```

```
-----
plan1 (DXF file: oden8vån1.dxf ) (Size: 116.063,100.000 metres)
Number of People Initially in This Floor = 1032
huvudrull1nere : (51.10,26.00 m), 90.00 degrees, 1.20 m wide, connected to huvudrull1
huvudrull2nere : (49.45,41.95 m), -90.00 degrees, 1.10 m wide, connected to Huvudrull2
HMrullnere : (56.40,13.70 m), 0.00 degrees, 1.10 m wide, connected to HMrull
HMrappanere : (58.79,11.48 m), 0.00 degrees, 1.80 m wide, connected to HMrappa
trappalastkaj : (74.40,67.60 m), 90.00 degrees, 1.20 m wide, connected to JC-lastkaj
trappagaragenere : (74.05,38.80 m), -90.00 degrees, 0.90 m wide, connected to trappagarage
trappaintersportUT : (20.15,1.75 m), 90.00 degrees, 1.50 m wide, connected to Trappaintersport
spiralbaldernere : (3.75,26.80 m), 0.00 degrees, 1.20 m wide, connected to spiralBalder
trappatunnelnere : (18.80,38.70 m), -90.00 degrees, 1.20 m wide, connected to Trappatunnel
trappaICAnere : (39.15,71.30 m), 90.00 degrees, 0.90 m wide, connected to TrappaICA
Huvudentré : (50.15,1.90 m), 90.00 degrees, 2.70 m wide
McDonald's : (31.35,0.15 m), 90.00 degrees, 1.00 m wide
Lindex : (0.10,23.40 m), 0.00 degrees, 1.50 m wide
Balder : (0.20,27.65 m), 0.00 degrees, 0.90 m wide
Tunnel : (1.20,39.55 m), 0.00 degrees, 0.90 m wide
ICA, tunnel : (1.20,41.80 m), 0.00 degrees, 1.80 m wide
ICA lastkaj : (43.55,69.30 m), 178.41 degrees, 1.80 m wide
Lastkaj 1 : (59.45,67.85 m), -90.00 degrees, 1.80 m wide
Lastkaj 2 : (67.40,67.75 m), -90.00 degrees, 1.80 m wide
utBogart : (20.20,0.15 m), 90.00 degrees, 1.40 m wide
-----
```

```
plan2 (DXF file: oden8plan2.dxf ) (Size: 116.063,100.000 metres)
Number of People Initially in This Floor = 1068
hyvudrull1uppe : (51.40,39.40 m), -90.00 degrees, 1.20 m wide, connected to huvudrull1
huvudrull2uppe : (49.80,28.68 m), 90.00 degrees, 1.20 m wide, connected to Huvudrull2
HMrulluppe : (70.28,13.60 m), 180.00 degrees, 1.10 m wide, connected to HMrull
HMrappauppe : (69.45,11.48 m), 180.00 degrees, 1.80 m wide, connected to HMrappa
trappaJC : (74.20,67.80 m), 90.00 degrees, 0.90 m wide, connected to JC-lastkaj
trappagarageuppe : (74.72,38.70 m), -90.00 degrees, 0.90 m wide, connected to trappagarage
trappaintersport : (25.63,6.46 m), 180.00 degrees, 1.50 m wide, connected to Trappaintersport
spiralbalderuppe : (6.00,27.70 m), 176.63 degrees, 1.00 m wide, connected to spiralBalder
trappatunneluppe : (19.27,38.55 m), -90.00 degrees, 1.20 m wide, connected to Trappatunnel
trappaICAuppe : (40.45,73.68 m), 0.00 degrees, 1.20 m wide, connected to TrappaICA
ExitHMuppe : (78.88,4.63 m), -180.00 degrees, 1.20 m wide
Utden7 : (78.99,40.73 m), 180.00 degrees, 0.90 m wide
-----
```

```
huvudrull1 (Size: 0.900,16.000 metres)
Number of People Initially in This Stair = 0
huvudrull1nere : (0.50,16.00 m), 90.00 degrees, 1.20 m wide, connected to plan1
hyvudrull1uppe : (0.40,0.00 m), 270.00 degrees, 1.20 m wide, connected to plan2
-----
```

```
Huvudrull2 (Size: 0.900,16.000 metres)
Number of People Initially in This Stair = 0
huvudrull2nere : (0.50,16.00 m), 90.00 degrees, 1.10 m wide, connected to plan1
huvudrull2uppe : (0.40,0.00 m), 270.00 degrees, 1.20 m wide, connected to plan2
-----
```

```
HMrull (Size: 0.900,16.000 metres)
Number of People Initially in This Stair = 0
HMrullnere : (0.60,16.00 m), 90.00 degrees, 1.10 m wide, connected to plan1
HMrulluppe : (0.65,0.00 m), 270.00 degrees, 1.10 m wide, connected to plan2
-----
```

```
HMrappa (Size: 1.800,16.000 metres)
Number of People Initially in This Stair = 0
HMrappanere : (0.95,16.00 m), 90.00 degrees, 1.80 m wide, connected to plan1
```

Hmtrappapuppe : (0.85,0.00 m), 270.00 degrees, 1.80 m wide, connected to plan2

JC-lastkaj (Size: 1.800,16.000 metres)
Number of People Initially in This Stair = 0
trappalastkaj : (1.00,16.00 m), 90.00 degrees, 1.20 m wide, connected to plan1
trappaJC : (0.90,0.00 m), 270.00 degrees, 0.90 m wide, connected to plan2

trappagarage (Size: 1.800,16.000 metres)
Number of People Initially in This Stair = 0
trappagaragenere : (1.00,16.00 m), 90.00 degrees, 0.90 m wide, connected to plan1
trappagarageuppe : (0.75,0.00 m), 270.00 degrees, 0.90 m wide, connected to plan2

Trappaintersport (Size: 1.800,16.000 metres)
Number of People Initially in This Stair = 0
trappaintersportUT : (1.00,16.00 m), 90.00 degrees, 1.50 m wide, connected to plan1
trappaintersport : (0.90,0.00 m), 270.00 degrees, 1.50 m wide, connected to plan2

spiralBalder (Size: 0.800,16.000 metres)
Number of People Initially in This Stair = 0
spiralbaldernere : (0.45,16.00 m), 90.00 degrees, 1.20 m wide, connected to plan1
spiralbalderuppe : (0.40,0.00 m), 270.00 degrees, 1.00 m wide, connected to plan2

Trappatunnel (Size: 1.800,16.000 metres)
Number of People Initially in This Stair = 0
trappatunnelnere : (0.85,16.00 m), 90.00 degrees, 1.20 m wide, connected to plan1
trappatunneluppe : (1.00,0.00 m), 270.00 degrees, 1.20 m wide, connected to plan2

TrappaICA (Size: 1.800,16.000 metres)
Number of People Initially in This Stair = 0
trappaICAnere : (0.90,16.00 m), 90.00 degrees, 0.90 m wide, connected to plan1
trappaICAuppe : (0.85,0.00 m), 270.00 degrees, 1.20 m wide, connected to plan2

All people reached the exit in 8:03.4.