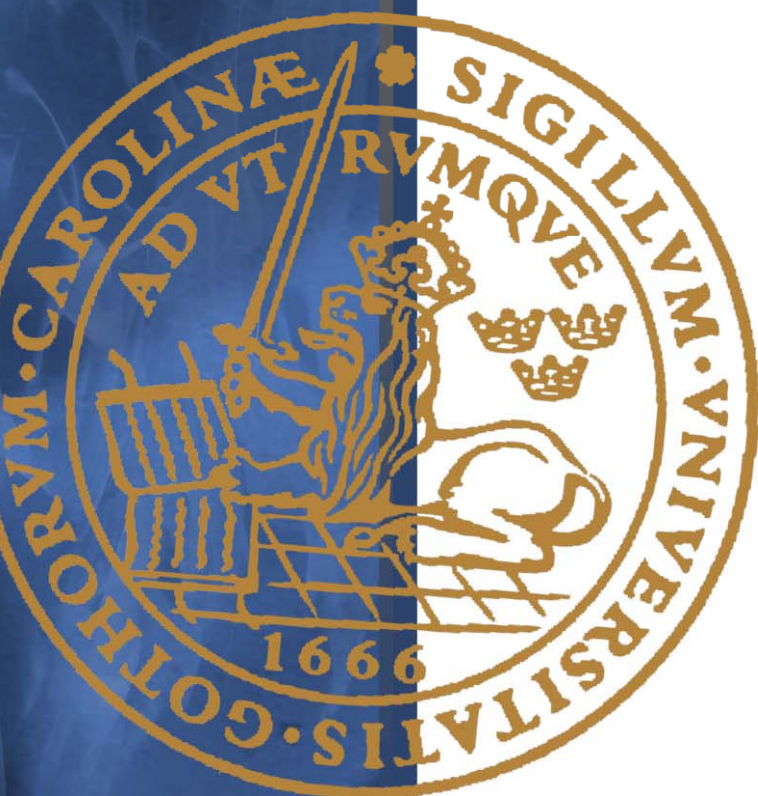


Brandteknisk riskvärdering av **Center Syd, Löddeköpinge**

Källström, Johan
Lund, David
Reuterberg, Andreas
Vestin, Gunnar

Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety
Faculty of Engineering LTH
Lund University
Avdelningen för brandteknik och riskhantering
Lunds Tekniska Högskola

Rapport 9323, Lund 2007



Brandteknisk riskvärdering av Center Syd, Löddeköpinge

**Johan Källström
David Lund
Andreas Reuterberg
Gunnar Vestin**

Lund 2007

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.

Avdelningen för brandteknik och riskhantering

Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund
Telefon: 046-222 73 60
E-post: brand@brand.lth.se

Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety

Faculty of Engineering LTH
Lund University
P.O. Box 118
S-211 00 Lund, Sweden
Telephone: +46 46 222 73 60
E-mail: brand@brand.lth.se

Titel

Brandteknisk riskvärdering av Center Syd, Löddeköpinge

Title

Fire Safety Evaluation of Center Syd, Löddeköpinge

Rapport/Report

9323

Av/By

Johan Källström
David Lund
Andreas Reuterberg
Gunnar Vestin

Abstract

This report is a fire safety evaluation of Center Syd shopping centre in Löddeköpinge, Sweden. The aim was to evaluate the safety of humans in the event of a fire. Property loss, structural damage and environmental effect have not been evaluated. Four scenarios representing the most critical fires to occur were evaluated. Fire modelling has been carried out using hand calculations for the well mixed case, and the two-zone computer model FAST/CFAST for the stratified case. Egress analysis was executed using the computer model Simulex as well as hand calculations. The spread of smoke and fire gases over the ventilation system was calculated by hand and with the computer program PFS. Comparisons of the fire modelling and egress analysis in combination with engineering judgements based on observations and assumptions, result in the conclusion that evacuation can be carried out safely before critical conditions occur. The report does however include suggestions of improvements to the overall fire safety of Center Syd.

Nyckelord

Brandteknisk riskvärdering, köpcentrum, Center Syd, utrymning, CFAST, Simulex, rökfyllnad, kritiska förhållanden, personsäkerhet, brandgasspridning, ventilationssystem

Keywords

Fire safety evaluation, shopping centre, shopping mall, Center Syd, evacuation, CFAST, Simulex, smoke filling, critical condition, human safety, smoke spread, ventilation system

Språk/Language

Svenska/Swedish

Sammanfattning

Denna rapport är en brandteknisk riskvärdering av köpcentret Center Syd i Löddeköpinge. Rapporten syftar till att utvärdera personsäkerheten vid brand.

Byggnaden som består av ca 85 butiker och upptar ca 37 000 kvm. De publika delarna är utförd som en brandcell vilket ställer höga krav på utrymningsmöjligheter vid brand. Center Syd är helsprinklat och det finns gott om breda utrymningsvägar.

Objektet besöktes i ett tidigt skede i kursen för att undersöka vilka brandscenarier som skulle komma att bli dimensionerande för hela köpcentret. Det kom att väljas 14 möjliga scenarier vilka skars ner till fyra dimensionerande scenarier. Dessa är brand i; butik, butikslager, allmän yta/gångstråk samt soprum.

Personsäkerheten har utvärderats genom brandmodellering i datorprogrammet CFAST samt handberäkningar som jämförts med utrymningssimuleringar utförda för hand eller i datorprogrammet Simulex. Möjligheten till brandgasspridning via ventilationssystem har undersökts med handberäkningar och datorprogrammet PFS.

Baserat på resultaten, observationer samt ingenjörsmässiga bedömningar dras slutsatsen att köpcentret är säkert ur personsäkerhetsperspektiv vid brand. Rapporten ger även förslag på förbättringar samt vad som förutsätts för att rapporten skall gälla.

Åtgärder som skall genomföras för att rapportens resultat och slutsatser skall vara giltiga:

- Utrymningsvägar skall hållas fria, d v s inte på något sätt vara blockerade
- Utrymningslarmet samt sprinklersystemets funktion skall regelbundet kontrolleras
- Vägledande markeringars funktion, utformning och synlighet skall regelbundet kontrolleras så att utrymningsvägar är lätta att hitta och identifiera
- Utrymningsvägar skall vara utformade så att de inte hindrar utrymning, d v s dörrar skall vara utåtgående i utrymningsriktningen, lätt öppningsbara och lätt identifierbara som utgångar

Åtgärder som bör genomföras för att förbättra brandsäkerheten:

- Personalen bör utbildas i brandsäkerhet och rutiner för brandsäkerhet upprättas
- Detektorer bör installeras under innertak där sådant finns
- Sprinklerbulber med lägre RTI-värde bör installeras, förslagsvis RTI 50 eller lägre
- Utrymningsövning bör ske i samarbete med räddningstjänst

1. INLEDNING	1
1.1. SYFTE	1
1.2. METOD	1
1.3. AVGRÄNSNINGAR	2
1.4. MÅLGRUPP	2
1.5. DISPOSITION	2
2. OBJEKTSBESKRIVNING	3
2.1. HISTORIA OCH VERKSAMHET	3
2.2. BYGGNADEN	3
2.3. BEFINTLIGT BRANDSKYDD	4
2.4. VENTILATIONSSYSTEM	6
3. BRANDSCENARIER	7
3.1. VALDA SCENARIER	7
4. ANVÄNDA METODER FÖR SIMULERING AV BRANDFÖRLOPP	9
4.1. DIMENSIONERANDE BRAND OCH EFFEKTUTVECKLINGSKURVOR	9
4.2. TVÅZONS-MODELLERING MED CFAST	10
4.3. HELT OMBLANDAT FALL	12
4.4. DETEKTOR- OCH SPRINKLERAKTIVERINGSTIDER	12
4.5. BRANDGASSPRIDNING VIA VENTILATIONSSYSTEM	12
5. UTRYMNING	13
5.1. UTRYMNINGSDIMENSIONERING	13
5.2. KRITISKA FÖRHÅLLANDEN VID UTRYMNING	13
5.3. VARSEBLIVNINGSTID	13
5.4. BESLUTS- OCH REAKTIONSTID	14
5.5. FÖRFLYTTNINGSTID	14
5.6. UTRYMNINGSBETEENDEN	14
5.7. TID FÖR UTRYMNING	15
6. BRANDSCENARIO 1 – BRAND I LEKSAKSbutik	16
6.1. LOKALBESKRIVNING	16
6.2. DIMENSIONERANDE BRAND	17
6.3. FÖRUTSÄTTNINGAR CFAST	18
6.4. FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR UTRYMNINGSBERÄKNINGAR	19
6.5. RESULTAT ORDINARIE SCENARIO	19
6.6. KÄNSLIGHETSANALYS	20
6.7. SLUTSATS	22
7. BRANDSCENARIO 2 – BRAND I BUTIKSLAGER	24
7.1. LOKALBESKRIVNING	24
7.2. DIMENSIONERANDE BRAND	24
7.3. FÖRUTSÄTTNINGAR CFAST	26
7.4. FÖRUTSÄTTNINGAR SIMULEX	26
7.5. RESULTAT ORDINARIE SCENARIO	26
7.6. KÄNSLIGHETSANALYS	28
7.7. SLUTSATS	29
8. BRANDSCENARIO 3 – BRAND I GÅNGSTRÅK	31
8.1. LOKALBESKRIVNING	31
8.2. DIMENSIONERANDE BRAND	32
8.3. FÖRUTSÄTTNINGAR CFAST	33
8.4. FÖRUTSÄTTNINGAR SIMULEX	33
8.5. FÖRUTSÄTTNINGAR FULLT OMBLANDAT FALL	34
8.6. RESULTAT ORDINARIE SCENARIO	34
8.7. KÄNSLIGHETSANALYS	35
8.8. SLUTSATS	37
9. BRANDSCENARIO 4 – BRAND I SOPRUM	38
9.1. LOKALBESKRIVNING	38
9.2. DIMENSIONERANDE BRAND	38

9.3.	FÖRUTSÄTTNINGAR PFS-SIMULERINGAR	38
9.4.	RESULTAT	39
9.5.	KÄNSLIGHETSANALYS	40
9.6.	SLUTSATS	41
10.	SLUTSATSER OCH SLUTUTVÄRDERING AV PERSONSÄKERHETEN	43
11.	ÅTGÄRDSFÖRSLAG	45
11.1.	FRIA UTRYMNINGSVÄGAR	45
11.2.	UTRYMNINGSLARMETS OCH SPRINKLERSYSTEMETS FUNKTION	45
11.3.	VÄGLEDANDE MARKERINGARS FUNKTION, UTFORMNING OCH SYNlighet	46
11.4.	UTFORMNING AV UTRYMNINGSVÄGAR	46
11.5.	UTBILDNING AV PERSONAL	46
11.6.	RÖKDETEKTORER UNDER INNERTAK	46
11.7.	SPRINKLERBULBER MED LÄGRE RTI-VÄRDE	47
11.8.	UTRYMNINGSÖVNING	47
REFERENSER		48
<u>BILAGA A – VAL AV BRANDSCENARIER</u>		<u>A1</u>
<u>BILAGA B – EKVATIONER FÖR BERÄKNINGAR</u>		<u>B1</u>
<u>BILAGA C – BRANDFÖRLOPP</u>		<u>C1</u>
<u>BILAGA D – UTRYMNING</u>		<u>D1</u>
<u>BILAGA E – BRANDSCENARIO 1 - BRAND I LEKSAKSAFFÄR</u>		<u>E1</u>
<u>BILAGA F – BRANDSCENARIO 2 - BRAND I BUTIKSLAGER</u>		<u>F1</u>
<u>BILAGA G – BRANDSCENARIO 3 - BRAND I GÅNGSTRÅK</u>		<u>G1</u>
<u>BILAGA H – BRANDSCENARIO 4 - BRAND I SOPRUM</u>		<u>H1</u>
<u>BILAGA I – VALIDERINGSBERÄKNINGAR</u>		<u>I1</u>

1. Inledning

Detta inledande kapitel ger rapportens syfte, metod, avgränsningar, målgrupp och disposition.

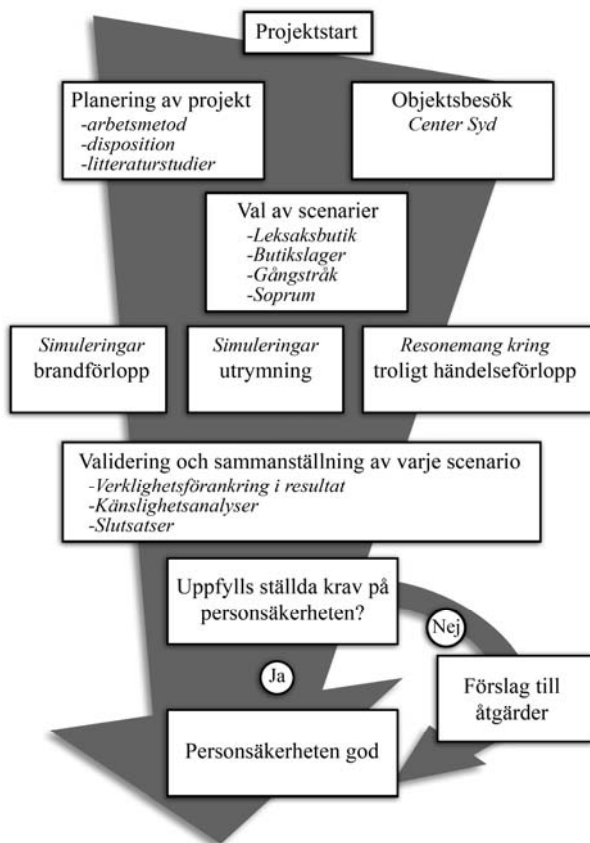
1.1. Syfte

Rapporten syftar i att utvärdera personsäkerheten vid en eventuell brand i shoppingcentrat Center Syd i Löddeköpinge. Rapporten är en del i kursen *Brandteknisk riskvärdering VBR054*, som ges för blivande brandingenjörer vid Lunds tekniska högskola. I kursprogrammet ställs studenterna inför följande uppgiftsformulering:

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

1.2. Metod

Inledningsvis gjordes ett objektsbesök som resulterade i valet av fyra dimensionerande brandscenarier utifrån vilka personsäkerheten har utvärderats. Scenarierna simulerades, med avseende på brandförlopp och utrymning, dels med datorprogram som CFAST, Simulex, DETACT-T2 och PFS, dels med handberäkningar. Ett resonemang fördes kring verklighetsanknytning och relevans hos resultaten som gavs med de olika simuleringsmetoderna. Utifrån resultat och resonemang utvärderades den totala personsäkerheten vid brand. Slutligen framarbetades olika förslag till åtgärder för att ytterligare förbättra personsäkerheten. Arbetsgången återges i figur 1.1.



Figur 1.1 Projektarbetets använda arbetsgång.

1.3. Avgränsningar

Den brandtekniska riskvärderingen av Center Syd Shoppingcenter avser endast bedöma personsäkerheten i händelse av brand. Dock har toxisk inverkan från brandgaser inte beaktats i rapporten. Rapporten kommer inte att behandla egendomsskador, miljöpåverkan, byggnadens bärförmåga eller räddningstjänstens säkerhet.

Då Center Syd Shoppingcenter under åren 2007/2008 undergår större om- och nybyggnationer har det beslutats att den brandtekniska riskvärderingen kommer att utgå utifrån förutsättningarna vid platsbesöket som genomfördes den 17 september 2007, varför resultaten från denna rapport inte nödvändigtvis är giltiga efter nybyggnationen. Vidare hade författarna vid platsbesöket ej tillträde till alla utrymmen varför dessa inte har beaktats i urvalsprocessen av brandscenarier.

1.4. Målgrupp

Rapportens innehåll är främst skrivet och anpassat för brandingenjörsstudenter med bakgrundskunskaper motsvarande två helårsstudier eller mer på brandingenjörslinjen vid Lunds tekniska högskola. Författarna hoppas även att objektsägaren kan dra nytta av rapportens innehåll och dess slutsatser för att ytterligare förbättra Center Syds personsäkerhet i händelse av brand.

1.5. Disposition

För att tydliggöra tanken bakom rapportens disposition ges här en översikt av rapportens struktur.

I *kapitel 2* ges en objektsbeskrivning och redovisning av befintligt brandskydd, för att sätta in läsaren i objektet och verksamheten.

I *kapitel 3* presenteras tillvägagångssättet för hur de fyra brandscenarier som rapportens slutsatser bygger på valdes ut. En kortare motivering till valen ges också.

I *kapitel 4* beskrivs de metoder som använts för simuleringen av brandförloppet i de valda scenarierna. Kapitlet är av mer beskrivande karaktär men här återfinns även motiveringar och antaganden som är av vikt för rapportens resultat och slutsatser.

I *kapitel 5* ges grundläggande teori för utrymningsdimensionering. Kapitlet är av mer beskrivande karaktär men här återfinns även motiveringar och antaganden som är av vikt för rapportens resultat och slutsatser.

I *kapitel 6* till och med *kapitel 9* presenteras resultat och dragna slutsatser av gjorda brand- och utrymningsmodelleringar för de valda brandscenarierna. I respektive kapitel ingår även en känslighetsanalys.

I *kapitel 10* ges en sammanvägning av Center Syds personsäkerhet vid brand.

I *kapitel 11* ges åtgärdsförslag för att förbättra Center Syds personsäkerhet

Sist i rapporten ges en *referenslista* över den litteratur som det hänvisats till i texten.

2. Objektsbeskrivning

I detta kapitel ges en överblick av objektets verksamhet, konstruktion och befintligt brandskydd.

2.1. Historia och verksamhet

Center Syd är ett köpcenter som ligger utmed Europaväg 6 mellan Landskrona och Lund. Med sina 3,7 miljoner besökare per år omsätter de idag ca 1 miljard kronor per år. Tillströmningen av kunder sker i första hand genom biltransport till centret. Center Syd är en del av ett större handelsområde på ca 240 000 kvm. (Center Syd, Internetkälla)

Köpcentret invigdes den 26 september 1991. Byggnaden är i dagsläget under ombyggnad och dess befintliga yta på 37 000 kvm skall utökas till 50 000 kvm, delvis i ett nytt våningsplan. Innan ombyggnadens start fanns 85 hyresgäster med totalt 600 anställda. Då konstruktionsplatsen flyttas under ombyggnadstiden är det oklart hur många hyresgäster som finns vid en given tidpunkt, och förhandlingar med hyresgäster till de nya lokalerna sker kontinuerligt. (Center Syd, Internetkälla)

2.2. Byggnaden

Här följer en beskrivning av byggnadens konstruktion. Följande uppgifter baseras på egna observationer och information från Jonas Røjås, brandkonsult Fire AB och vid tillfället involverad i ombyggnationen av centrat. Viss information har även tagits från den aktuella brandskyddsbeskrivningen (BSB ombyggnad Center Syd version 6, ändrad 2007-08-10) utförd av Fire AB i samband med ombyggnationen.

Byggnaden består av ett trekantsformat gångstråk, för närvarande i ett plan, med angränsande butiker på ut- och insida. De flesta lokaler i byggnaden saknar innertak och innerväggarna ansluter generellt bara till yttertaket då väggen fungerar brandcellsavskiljande. Vissa utrymningsvägar och diverse apparatrum avskiljs från yttertak med brandklassat undertak. Denna konstruktion gör att det fria utrymmet över centrats butikslokaler mm sträcker sig över stora delar av byggnaden. I utrymmet finner man bl.a. allmänventilationen för försäljningslokaler och gångstråk.

Den nuvarande byggnaden är uppförd i brandteknisk klass Br3. Detta betyder att det inte finns några brandtekniska krav på bärlighet hos den del som inte berörs av tillbyggnaden. Den nya delen kommer att uppföras i högsta brandtekniska klass Br1. Nuvarande brandcellavskiljande byggnadsdelar är av typen EI 60.

- Byggnadens area är för närvarande 37 000 kvm. Efter tillbyggnad kommer den att uppgå till ca 50 000 kvm.
- Grunden är en platta på mark. Bortsett från nybyggnationen är byggnaden utförd i ett plan.
- Stommen består av pelare i betong och balksystem är i stål av fackverkskonstruktion.
- Yttertaket består av takduk med underliggande isolering uppbyggt av profilplåt.

2.3. Befintligt brandskydd

I kommande avsnitt redovisas Center Syds befintliga brandskydd. Som underlag för detta ligger objektets aktuella brandskyddsbeskrivning (BSB ombyggnad Center Syd version 6, ändrad 2007-08-10), egna observationer, CAD-ritningar och samtal med fastighetsköparen Hamza "Hasse" Abu-Hajar.

2.3.1. Brandcellsindelning

Samtliga publika delar, dvs. butiker, restauranger och gångstråk, är konstruerade som en stor gemensam brandcell. Utöver detta utgör brandtekniskt klassade utrymningsvägar, ett flertal tekniska utrymmen samt enstaka lagerutrymmen egna brandceller. Brandcellsgränserna bedöms vara utförda i klass EI60. Dörrar i brandcellsgränser är självstängande.

Vid objektsbesöket kunde det konstateras att ett antal brandcellsgränser, i händelse av brand, inte kommer fungera brandtekniskt avskiljande. I samband med ombyggnationen upptäcktes genomföringar som lämnats otätade samt dörrar i brandcellsgränser som lämnats uppställda med kil eller andra föremål.

2.3.2. Utrymningsvägar

Alla brandceller, med undantag från vissa utrymmen där personer endast vistas tillfälligt, har minst två av varandra oberoende utrymningsvägar. Utrymningsvägarnas passagemått är minst 1.2 meter. Samtliga observerade utrymningsvägar och nödutgångar hade utrymningsskyltar med genomlysande funktion. Större brandtekniskt avskiljda utrymningsvägar återges i figur 3.1 i kapitel 3.

Utrymningsplaner med information om utrymningsvägar, placering av släckutrustning och manuella larmknappar, samt instruktion om vad som skall göras vid händelse av brand, finns tydligt placerade vid alla huvudingångar samt inne i köpcentret.

Brandskyddsbeskrivningen för den pågående ombyggnaden fastställer att utrymningssäkerheten för personer i som vistas i Center Syd skall säkerställas under hela byggskedet. Skulle någon utrymningsväg tillfälligt stängas, skall likvärdiga alternativa utrymningsvägar anordnas.

Vid objektsbesöket kunde det konstateras att framkomligheten till och i vissa utrymningsvägar var kraftigt begränsad. Detta observerades såväl i anslutning till ombyggnationsområden som i butiker.

2.3.3. Automatiskt brand- och utrymningslarm

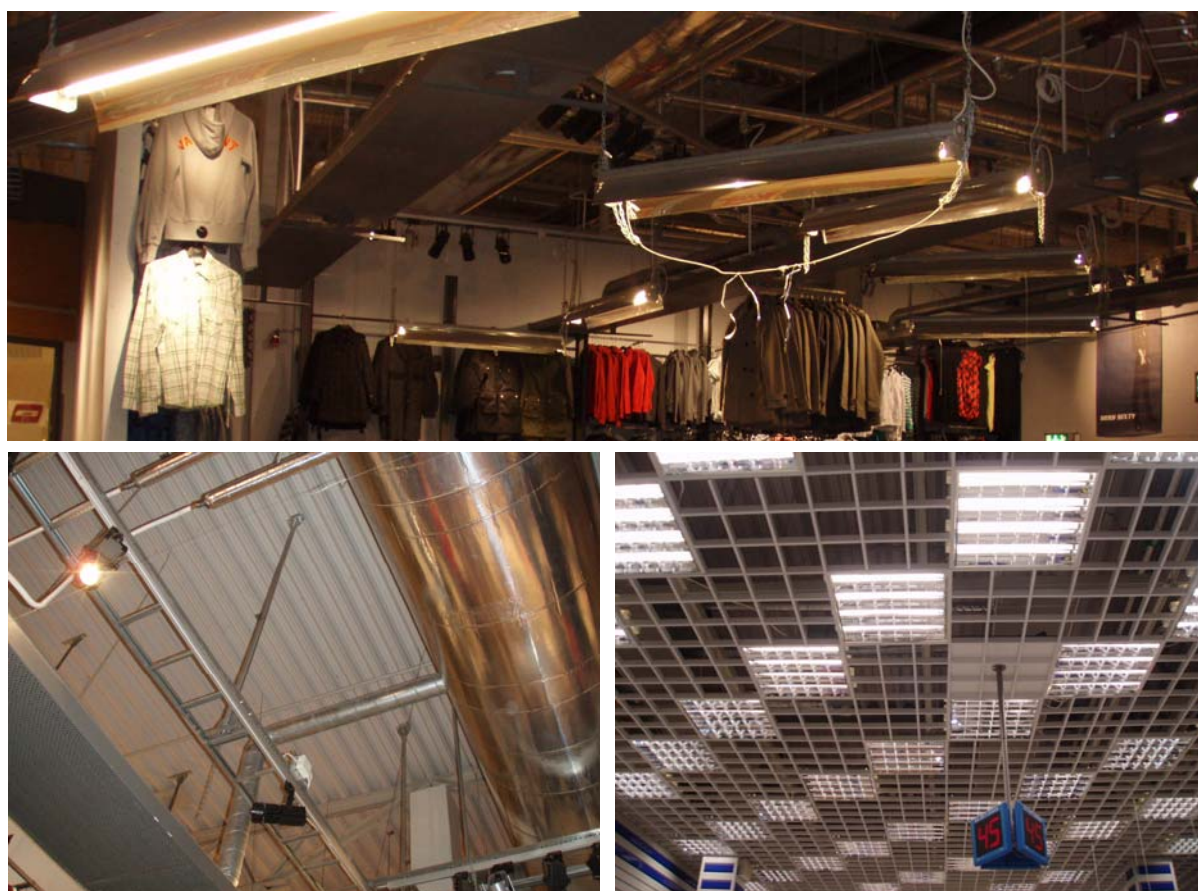
Ett automatiskt adresserbart brandlarmssystem med larmlagringsfunktion finns installerat i byggnaden. Detektion sker med hjälp av optiska rökdetektorer, men brandlarmet aktiveras även vid sprinklerutlösning eller via manuella larmknappar. Ett utlöst larm lagras i maximalt 60 sekunder (tiden inkluderar både kvittering och undersökningstid) innan räddningstjänsten larmas. Larmlagring tillämpas inte då brandlarmet aktiveras via manuella larmknappar eller vid sprinklerutlösning.

I händelse av brandlarm aktiveras byggnadens utrymningslarm för brand. Vid utlösning av enbart en rökdetektor ges ett förberedande meddelande om utrymning via högtalarsystemet. Om flera rökdetektorer utlöses används ett utrymningslarm som kombinerar ett talat meddelande med en akustisk signal i de publika delarna av byggnaden. Utrymningslarmet bedöms vara av informativ typ (Nilsson, 2006). Fastighetsskötaren beskrev utrymningsmeddelandet vara uppbyggt i tre delar. I den första delen begärs uppmärksamhet, varpå information om vad som hänt ges i del två. Den tredje delen innehåller instruktioner om vilka åtgärder som ska vidtas i den givna situationen. I de icke publika delarna av byggnaden används endast en akustisk signal.

2.3.4. Sprinklersystem

Center Syd är helsprinklat. Sprinklerna är främst placerade på sex meters höjd men finns även placerade under innertaket i de butiker med mer täckande innertak. Sprinklernas RTI-värde är $100 \text{ (ms)}^{1/2}$ och aktiveringstemperaturen är 70°C (Vallenström, 2007). Egen bassäng finns för att täcka delar av sprinklerbehovet vid aktivering. Bassängen är kopplad till det kommunala vattennätet.

På flertalet platser runt om Center Syd bedöms sprinklerna i yttertaket, de på sex meters höjd, ha en starkt reducerad effekt på grund av efterinstallationer i form av ventilation, ljusarmaturer med mera. Problemet exemplifieras i figur 2.1.



Figur 2.1 Exempel på situationer där installationer bedöms påverka sprinklereffekten negativt.

2.3.5. Brandgasventilation

Brandgasventilationen aktiveras manuellt från en panel intill brandlarmets centralapparat. Rökluckorna, som styrs via oskyddad kabel, försätts i öppet läge om strömmen bryts. Vid brand stängs all vanlig ventilation av byggnaden av.

Då brandgasventileringen sker manuellt och förväntas öppnas först då räddningstjänsten anländer, se kommande avsnitt 2.3.7, kommer hänsyn ej att tas till deras inverkan på ett brandförlopp.

2.3.6. Manuell släckutrustning

I gångstråken och en del butiker finns fasta brandposter. Kök är försedda med kolsyresläckare. Övriga butiker och lokaler har handbrandsläckare.

2.3.7. Räddningstjänstens förutsättningar

Räddningstjänsten i Löddeköpinge har en framkörningstid som normalt understiger 10 minuter och insatstiden 15 minuter. Då räddningstjänsten i Löddeköpinge ofta åker på förstärkningslarm till Lund, kan framkörnings- och insatstiden förlängas. Center Syd är tillgängligt från det allmänna vägnätet och framkörningsmöjligheterna är goda.

Utrymningsvägar är tillika angreppsvägar. Insatsplaner finns hos räddningstjänsten. Vatten för släckning tas från kommunala nätet. Kapaciteten från enskild brandpost är 1200 liter/minut.

Då utrymning av Center Syd bedöms understiga 15 minuter förutsätter rapporten att utrymning av Center Syd sker utan assistans av räddningstjänsten.

2.4. Ventilationssystem

På grund av byggnadens stora volym och dess öppna konstruktion kommer en eventuell brand i publika delar inte resultera i någon nämnvärd tryckuppbyggnad. Till- och frånluftsdon som ombesörjer allmänventilationen i publika delar mynnar ut i det öppna utrymmet under yttertak. Rapporten kommer därför ej behandla brandgasspridning via ventilationssystemet för de publika delarna. Brandgasspridning via ventilationssystem kommer istället att undersökas för ett mer begränsat utrymme. Ventilationsförutsättningarna för undersökningen kommer att ges i det aktuella scenariot.

3. Brandscenarier

Vid utvärdering av personsäkerheten för byggnader bör ett antal scenarier som på olika sätt kan representera den aktuella byggnadens olika säkerhetsrisker väljas. I detta kapitel presenteras bl a de scenarier som denna brandtekniska riskvärdering bygger på.

3.1. Valda scenarier

Center Syd består av ett stort antal lokaler men ett begränsat antal olika verksamheter. Statistik från Räddningsverket (Räddningsverket, Internetkälla) visar att försäljningslokaler är en av de mer tillbudsdrabbade verksamheterna vad gäller brand i publika byggnader. Vid valet av representativa brandscenarier konstaterade författarna av denna rapport att en mer heltäckande utredning av personsäkerheten kunde fås om dimensionerande brandscenarier från olika typer av verksamheter valdes. Vid objektsbesöket grovsållades därför 14 stycken troliga brandscenarier med risk för stora konsekvenser ut. Dessa 14 jämfördes sedan inbördes för att begränsas till ett, inom givna tidsramar, hanterbart antal dimensionerande scenarier. Vid jämförelsen, som återges mer detaljerat i bilaga A, togs nedan punktlistade brandrelaterade egenskaper i beaktning:

- Brandbelastning - Baserad på uppskattad mängd bränsle och energiinnehåll
- Brandtillväxt - Uppskattad tillväxthastighet
- Personantal - Bedömt personantal och persontäthet i brandens närhet.
- Detektion av brand - Detekteringstid, bedömd utifrån detektorers placering och tid till eventuell upptäckt av personer.
- Sprinklerfunktion - Lokalens bedömda sprinklerfunktion. Här vägdes en tänkt aktiveringstid och åtkomlighet in.
- Utrymning - Tillgången till utrymningsvägar från utsatta lokaler. Avstånd till utrymningsväg inom lokaler. Utrymningsvägens användbarhet vad gäller utformning och markering.

De fyra scenarier som slutligen valdes ut och utgör grunden till de slutsatser som ges i denna rapport blev:

- Scenario 1 – Försäljningslokal – Brand i leksaksaffär
- Scenario 2 – Lagerutrymme – Brand i butikslager
- Scenario 3 – Allmän yta – Brand i gångstråk
- Scenario 4 – Avfallshantering – Brand i soprum

Samtliga betänkta scenarier återges i figur 3.1.

3.1.1. Scenario 1 – Brand i leksaksaffär

Leksaksaffären framstod snabbt som det mest dimensionerande scenariot vad avser försäljningsverksamheten. Butiken varuhåller stora mängder plast- och textilbaserade varor vilket talar för en snabb brandtillväxt, hög brandbelastning och kraftig rökutveckling. Fullskaleförsök (Bennetts et al., 1997) bekräftar detta och visar att en brand i leksaksaffär representerar en av de mest allvarliga sprinklade och osprinklade bränder som kan uppstå i ett köpcentrum. Kombinationen av brännbara plastartiklar i hyllor gav mycket höga temperaturer

och kraftig brandgasproduktion. Försöken gav en uppskattad maximal effektutveckling på 25 MW utan sprinklerinverkan. Ytterligare en faktor som gör leksaksaffären intressant är att den har ett lågt innertak som snabbt kan ge mycket ogynnsamma utrymningsförhållanden.

3.1.2. Scenario 2 – Brand i butikslager

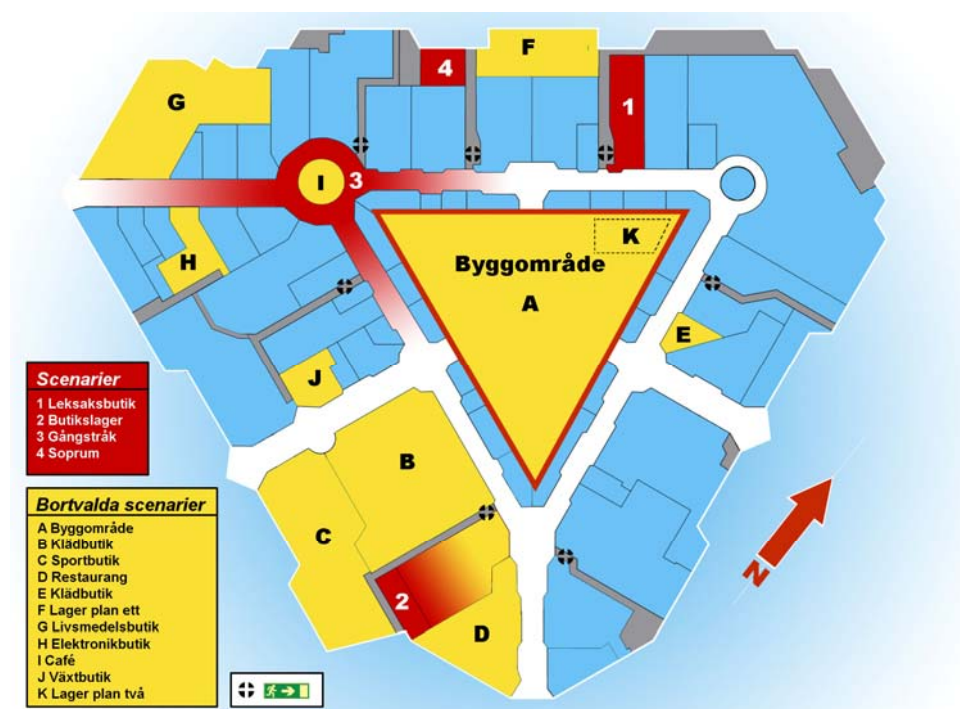
Även om det finns andra mer renodlade lager på centrat, är dessa placerade avsides med låg personnärvaro. Det valda lagret ligger i direkt anslutning till en försäljningslokal vilket gör det mer intressant vad avser personsäkerheten vid brand. Fullskaleförsök (Bennetts et al., 1997) visar att en brand i exempelvis ett osprinklat skolager kan nå effektutvecklingar uppåt 40 MW. Branden i de icke cellulosebaserade materialen gav slutsatser som att en sådan brand, även om den tillväxte långsamt och därför kan tänkas upptäckas i tid, representerar en av de mest allvarliga bränder som kan uppstå i ett köpcentrum.

3.1.3. Scenario 3 – Brand i gångstråk

Torgytan, innefattande café med servering, kommer att utredas främst på grund av dess centrala placering. Scenariot kommer att resultera i en möjlighet att titta på bränder i gångstråk i allmänhet. Syftet är att kunna ge en bild av hur personsäkerheten påverkas oavsett var i centrats gångstråk man befinner sig. Persontätheten kan här vid vissa tillfällen tänkas bli hög vilket skulle kunna resultera i svårigheter vid utrymning.

3.1.4. Scenario 4 – Brand i soprum

Scenariot ger oss möjlighet att studera brandgasspridning via ventilationssystem, vilket är ett krav i kursprogrammet för kursen *Brandteknisk riskvärdering VBR054*. Soprummet utgör en egen brandcell, men brandgasspridning till intilliggande utrymningsväg och lagerlokal utgör en möjlig risk.



Figur 3.1 Centrumkarta med valda och bortvalda scenarier. I figuren återges även de större brandtekniskt avskiljda utrymningsvägarna. (Modifierad centrumkarta, Center Syd, Internetkälla)

4. Använda metoder för simulering av brandförlopp

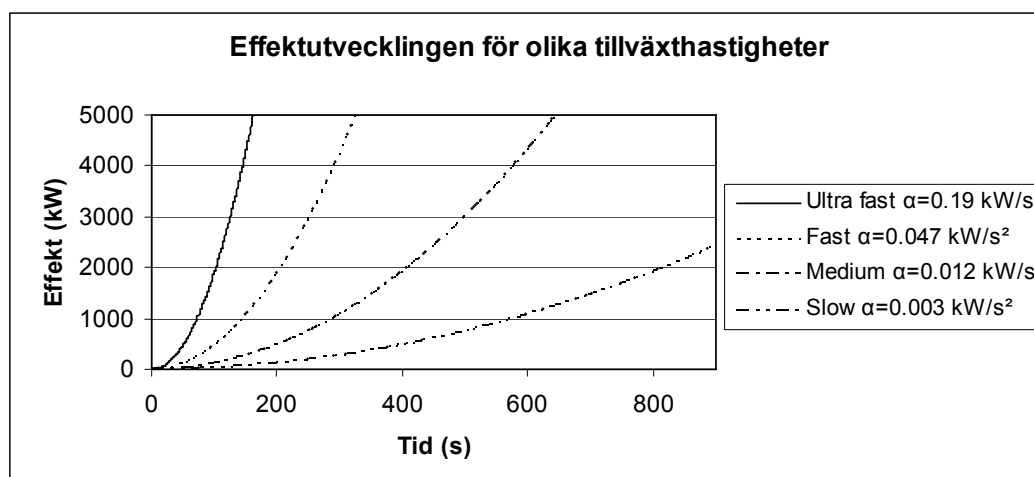
I detta kapitel ges en genomgång av de metoder och antaganden som använts för att simulera brandförloppet i de respektive brandscenerierna.

4.1. Dimensionerande brand och effektutvecklingskurvor

Då effekten kan vara den enskilt mest avgörande faktorn för utgången av ett brandtillbud, är det viktigt att förstå de metoder och antaganden som använts vid framtagningen av effektutvecklingskurvorna.

4.1.1. α^2 -branden

För alla scenarier i denna rapport antas tillväxtfasen för de dimensionerande bränderna följa sambandet α^2 (α i kW/s^2 , tiden i sekunder). Sambandet är en förenklad modell men har i experimentella försök visat sig ha en bra överrensstämmelse med början av ett verkligt brandförlopp. För modellen har fyra standardvärden tagits fram och deras påverkan på effektutvecklingen kan ses i figur 4.1.



Figur 4.1 Effektutvecklingen med α^2 -sambandet för fyra standardvärden.

Karlsson & Quintiere (2000) föreslår tillväxthastigheten *ultra fast* för köpcentra, men skriver samtidigt att brandkonstruktören måste använda ett ingenjörssomdöme och utföra känslighetsanalyser för att kontrollera sannolikheten i lösningen.

Förbrinntiden kommer inte beaktas vid framtagningen av effektutvecklingskurvor i denna rapport. Förbrinntiden är svår att uppskatta och beror av såväl bränslet i sig som hur det antänts. Generellt utvecklas det lite energi under förbrinntiden samtidigt som glödande bränsle kan producera tillräckligt med rökgaser för att aktivera exempelvis rökdetektorer. Dessutom ger förbrinntiden personer en möjlighet att uppmärksamma och bekämpa branden i ett tidigt skede (Karlsson & Quintiere, 2000). Ovan förda resonemang om att förbrinntiden negligeras, kommer att ge resultat som ligger på den säkra sidan om man ser till personsäkerheten.

En osäkerhet med α^2 -modellen är att den ursprungligen utvecklades för laborietester och då bara validerades för relativt låga effekter i jämförelse med dem som uppnås i denna rapport. Användandet av modellen motiveras här med att framtagna bränders effekter troligen

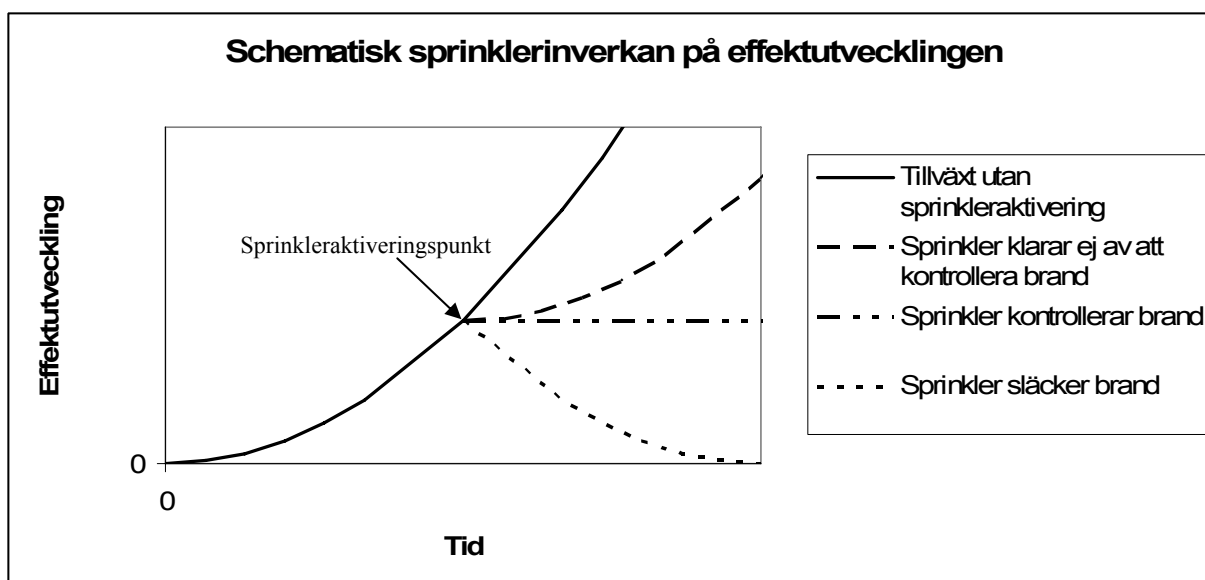
kommer att vara högre än en brand med en mer verklig tillväxt. Resultat och slutsatser kommer därför att ligga på den säkra sidan om man ser till personsäkerheten.

4.1.2. Inverkan av sprinkler

Vid en brand i Center Syd kan sprinklersystemet komma att aktiveras och beroende på systemets utformning och funktion kan utfallet komma att bli något av följande:

- Sprinklersystemet aktiverar ej
- Sprinklersystemet klarar ej av att kontrollera brand
- Sprinklersystemet kontrollerar branden, varvid branden antar en konstant effektutveckling
- Sprinklersystemet släcker branden

De ovan presenterade utfallens inverkan på en brands effektutveckling åskådliggörs i figur 4.2.



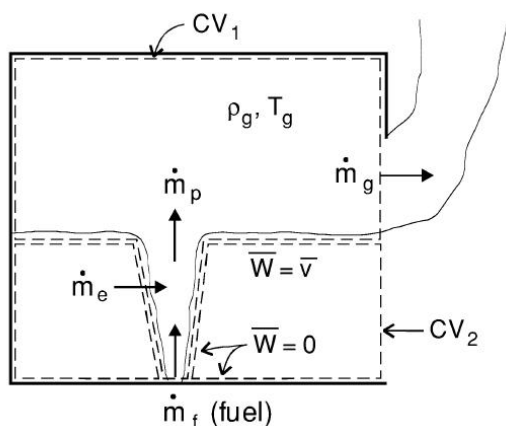
Figur 4.2 Schematisk sprinklerinverkan på en brands effektutveckling.

NFPA (NFPA 92B 3-2.2.1, 1995) gör gällande att om det inte finns skäl att tro att en brand sprider sig efter sprinkleraktivering, så kan den dimensionerande branden konstrueras utifrån att branden slutar växa då sprinkler utlöser. Med andra ord uppnås den dimensionerande brandens maximala effekt vid sprinkleraktivering. Vidare rekommenderas det att en dimensionerande brand, som utgår från att sprinklers utlöser, endast bör antas kontrolleras om inte bekräftade försök visar att branden kan bekämpas. För de scenarier där sprinklersystemet förutsätts aktivera, kommer denna rekommendation att följas.

4.2. Tvåzons-modellering med CFAST

CFAST är ett datorprogram som använder en tvåzons-modell för att simulera ett brandförlopp i en inneslutning. Programmet presenterar användaren med utdata i form av bl a temperaturer, brandgaslagrets höjd, strålning, optisk densitet i övre brandgaslager, samt tid till sprinkler- och rökdetektoraktivering.

Tvåzons-modellen tillåter användaren att lösa konserveringsekvationer för massa, energi och rörelsemängd i två separata kontrollvolym (Nilsson & Holmstedt, 2007), se figur 4.3. I CFAST används även en egen kontrollvolym för plymen i brandrummet (Jones et al., 2006).



Figur 4.3 Schematisk tvåzons-modell (Karlsson & Quintiere, 2000).

Tvåzons-modellen förutsätter att det bildas en tydlig skiktning mellan det varma brandgaslagret och det undre kallare lagret. Skiktningen är beroende av temperaturen och om inte temperaturskillnaden är tillräcklig mellan de två lagren kan ett omblandat fall uppstå vilket förklaras längre fram. Vidare antas det i tvåzons-modellen att brandgaserna momentant sprider sig över hela takytan och att transporttider negligeras. De två brandgaslagren antas även ha homogena egenskaper genom hela volymen. Dessa antaganden ger både för- och nackdelar vad avser personsäkerheten vid simulering av brand. Å ena sidan fås större marginaler då kritiska förhållanden troligen uppstår tidigare än i verkligheten. Å andra sidan kan exempelvis CFAST förse användaren med detektionstider som är kortare än i verkligheten.

Vid simuleringarna i CFAST har ett antal geometriska begränsningar beaktats. Antalet rum har vid en enskild simulering aldrig överstigit 30 (Peacock et al., 2005), och rummen har som ett börkrav inte överstigit sex stycken i serie från brandrummet (Gojkovic, 2007).

Vidare har simulerade utrymmen anpassats för att följa nedanstående geometriska gränser, där B är rummets bredd, L är rummets längd, A är produkten av B och L , H är rummets höjd och \dot{Q} är den totala avgivna effektutvecklingen i utrymmet. Anpassningen har gjorts för att överkomma begränsningar i tvåzons-modellen (ISO/WD 13390, 1995). I uttrycken nedan ges geometriska värden i metrar och effektutvecklingen i kW.

$$L / B \leq 3$$

$$L / H \leq 3$$

$$B / H \leq 0.4$$

$$\dot{Q} \geq 5 \cdot A \cdot H^{0.5}$$

(ISO/WD 13390, 1995)

I CFAST finns möjligheten att simulera sprinklers och rökdetektorers aktiveringstid. Även siktförhållanden kan simuleras. Sprinklers simulerades utifrån de förutsättningar som getts i avsnitt 2.3.4. För simulering av rökdetektorer sattes aktiveringstemperaturen till 13°C över rumstemperaturen (Evans D.D & Stroup D.W., 1985). Siktförhållanden, i form av optisk

densitet, simulerades genom att ange bränslesammansättningen förhållande mellan C/CO₂ samt H/C (Hultqvist, 2000).

4.3. Helt omblandat fall

Det helt omblandade fallet bygger, till skillnad från tidigare beskriven tvåzon, på teorin om en homogen zon av brandgaser. Det helt omblandade fallet kan uppstå om brandgaserna inte har tillräcklig termisk stigningskraft för att bilda en tvåzons-modell. I en del scenarier har handberäkningar gjorts för att bedöma tiden till dess att förhållandena försämrats så pass att en säker utrymning inte längre är möjlig på grund av denna omblandning. I dessa siktberäkningar antas att inga brandgaser lämnar den undersökta volymen och att brandgaserna är jämnt fördelade i densamma. Tillvägagångssättet för dessa beräkningar ges i bilaga B.2.

4.4. Detektor- och sprinkleraktiveringstider

Generellt har detektor- och sprinkleraktiveringstider erhållits genom simuleringar i CFAST. I vissa scenarier har även DETACT-T2, version 1.0, använts för jämförelse. En kortare programbeskrivning av DETACT-T2 ges i bilaga C.1.

4.5. Brandgasspridning via ventilationssystem

Brandgasspridning via ventilationssystem är ett vanligt sätt för brandgaserna att sprida sig i en brandutsatt byggnad (Jensen, 2002). Brandgaserna medför inte bara risken för brandspridning utan kan även utgöra ett fysiskt och psykiskt hot vid i en utrymningsituation. För beräkningar av brandgasspridning i ventilationssystem har handberäkningar och simuleringar i datorprogrammet PFS, version 1.0, använts. En kortare programbeskrivning av PFS ges i bilaga C.2.

5. Utrymning

I detta kapitel ges grundläggande teori för utrymningsdimensionering vid scenarioanalys samt en beskrivning av använda metoder för utrymningsdimensionering i denna rapport. Slutligen presenteras en kortare beskrivning av beteenden vid brand som är av vikt för resultaten i utrymningsdimensioneringarna.

5.1. Utrymningsdimensionering

Boverkets byggregler (Boverket, 2006a) fastställer att en byggnad skall utformas så att en tillfredställande utrymning kan ske vid brand. Som underlag för dimensionering av detta kommer nedanstående modell för beskrivning av utrymningsförloppet att användas (Boverket, 2006b).

$$t_{\text{krit.}} > t_{\text{utrymning}} = t_{\text{varseblivning}} + t_{\text{beslut\&reaktion}} + t_{\text{förflyttning}}, \text{ där}$$

$t_{\text{krit.}}$	= Tiden till att kritiska förhållanden uppstår, s.
$t_{\text{utrymning}}$	= Tiden för utrymning, s.
$t_{\text{varseblivning}}$	= Varseblivningstid, s.
$t_{\text{beslut\&reaktion}}$	= Besluts- och reaktionstid, s.
$t_{\text{förflyttning}}$	= Förflyttningstid, s.

Uttrycket responstid kommer också att användas i senare delar av rapporten. Responstiden används i datorsimulering och avser summan av varseblivningstiden och besluts- och reaktionstiden.

5.2. Kritiska förhållanden vid utrymning

Kritiska förhållanden är de gränsvärden för vilka utrymning inte längre kan ske under acceptabla förhållanden. Detta behöver dock inte innebära personskador eller förlust av människoliv. (Brandskyddshandboken, 2005).

Vid värdering av kritiska förhållanden brukar normalt gränsvärdet för parametrar som siktbarhet, värmestrålning och temperatur samt kombinationer av dessa beaktas enligt:

- Högst 80°C lufttemperatur.
- En maximal strålningsintensitet på 2,5 kW/m² eller en kortvarig strålningsintensitet på max 10 kW/m², samt en maximal strålningsenergi på 60 kJ/m² utöver energin från en strålning på 1 kW/m².
- Siktbarhet på minst 10 meter i okänd miljö.
- En brandgasnivå på lägst 1,6 + (0,1 x H) meter, där H är rumshöjden, förutsatt brandgaserna innehåller kritiska värden inom några av de andra parametrarna.

(Boverket, 2006a, 5:361)

(Brandskyddshandboken, 2005)

5.3. Varseblivningstid

Varseblivningstiden är den tid det tar för en person att nå av informationen att en brand brutit ut i byggnaden. Informationen kan exempelvis fås genom direkt observation av brandsignaturer eller via det automatiska brandlarmet. Informationen tolkas olika av olika

personer bli beroende på om personen känner sig hemma i lokalen samt vilken roll personen är i (Brandskyddshandboken, 2005). Detta gör att varseblivningstiden kan komma att variera kraftigt för Center Syds besökare, beroende på var de befinner sig i förhållande till branden. En skillnad i varseblivningstiden kommer göras beroende på om personen befinner sig i brandrummet eller inte. För personer i brandrummet kommer en varseblivningstid att uppskattas utifrån brandens tillväxthastighet och utdata från CFAST-simuleringar. För personer i utrymmen som inte direkt ansluter till brandrummet kommer varseblivningstiden att likställas med tiden för aktivering av utrymningslarmet med eventuell larmlagringstid inberäknad. Detta görs för att vara på säkra sidan vid beräkningar, även om författarna uppskattar att personer i anslutande lokaler till brandrummet skulle kunna bli varse om branden innan utrymningslarmet aktiveras.

5.4. Besluts- och reaktionstid

Besluts- och reaktionstiden är den tid som förflyter mellan det att en person nåtts av informationen om en brand fram till att denne målmedvetet börjar förflytta sig mot säkerhet. Besluts- och reaktionstiden kan bli utgöras av en rad tankeprocesser kring branden och utrymningslarmet, tid för att hjälpa andra, försök till att bekämpa elden och förberedelser inför utrymningen. Tiden för beslut och reaktion är därför högst individuell och svår att uppskatta (Brandskyddshandboken, 2005). I denna rapport kommer rekommendationer från Boverket (Boverket, 2006b) att användas som underlag för val av besluts- och reaktionstider. För personer i brandrummet har en besluts- och reaktionstid på 60 ± 15 sekunder valts då dessa förväntas se och höra brandens signaturer. För personer utanför brandrummet har en besluts- och reaktionstid på 60 ± 15 sekunder valts med hänsyn till det informativa utrymningsmeddelandet. Variationerna för besluts- och reaktionstiderna används för att få ett mer realistiskt händelseförlopp där bli grad av vakenhet, utbildning och tidigare erfarenheter påverkar. Variationerna kommer att normalfördelas på populationen för att efterlikna ett grupp beteende, läs mer i avsnitt 5.6, mer än vad en slumpmässig variation hade gjort.

5.5. Förflyttningstid

Förflyttningstiden är den tid tar för en person att fysiskt förflytta sig till säkerhet. Förflyttningstider kan handberäknas men vid ett större antal personer i lokalen lämpar sig datorprogram bättre. Förflyttningstiderna kommer inte presenteras separat i denna rapport utan kommer att ingå som en del av den totala utrymningstiden som beskrivs i avsnitt 5.7.

5.6. Utrymningsbeteenden

Ett vanligt beteende vid utrymning är att personer väljer att utrymma samma väg som de kom in i lokalen. Man väljer de utgångar som redan är bekanta även om det finns andra vägar som är betydligt närmare. (Frantzich, 2001). Detta kommer senare att försöka simuleras i såväl handberäkningsmodellen som Simulex, se vidare resonemang i bilaga D.1. Det är också vanligt att se en viss villrådighet och obeslutsamhet i större grupper av människor. När utrymning väl påbörjats tenderar den att ske i samverkande grupper (Nilsson, 2007). Detta är grunden för valet av en normalfördelad tidsvariation av besluts- och reaktionstiden, där några individer initierar utrymningen och allt fler ansluter.

5.7. Tid för utrymning

Den totala tiden för utrymning är tiden från det att en brand uppstår till dess att berörda personer kommit i säkerhet, och utgör således summan av ovanstående beskrivna parametrar. Tiden för utrymning har beräknats med handberäkningsmodeller för enklare geometrier och med simuleringar i datorprogrammet Simulex, version 2007.2.0.0, för mer komplicerade geometrier och stora personantal. I bilaga D ges de generella förutsättningar som ligger grund för beräknade utrymningstider. Bilagan innehåller även en kortare programbeskrivning av Simulex.

6. Brandscenario 1 – Brand i leksaksbutik

Scenariot har såsom tidigare beskrivits, valts som ett representativt scenario för en butiksbrand i Center Syd.

6.1. Lokalbeskrivning

Den undersökta lokalen är en leksakaffär med försäljning av leksaker, spel och maskeradkläder, se figur 6.1. Med tanke på målgruppen kan det antas vara många barn i butiken.

Lokalen har en större huvudentré på 2.7 m i bredd där den oftast bemannade kassan ligger. Vid kassan finns en manuell larmknapp och en handbrandsläckare. En nödutgång, 1.5 m bred, som leder direkt till en brandtekniskt avskiljd utrymningsväg finns i butikens bakre del utmed långsidan. Nödutgången är målad i en röd färg som smälter in i den övriga butikens inredning och är dessutom prydd med en stor företagslogotyp, se figur 6.2. Denna kombination gjorde att utgången nästan gick förbi obemärkt av författarna. Nödutgången är utmärkt med genomlyst vägledande markering. I anslutning till nödutgången finns en brandpost.

Lokalen har ett sprinklerförsedd semipermeabelt innertak av stål, se figur 6.3, på 3 m höjd. Det finns 30 stycken sprinklerhuvuden i innertaket, jämnt utplacerade över butiksytan. Två rökdetektorer och ytterligare sprinklers sitter på 6.3 m höjd i yttertaket.

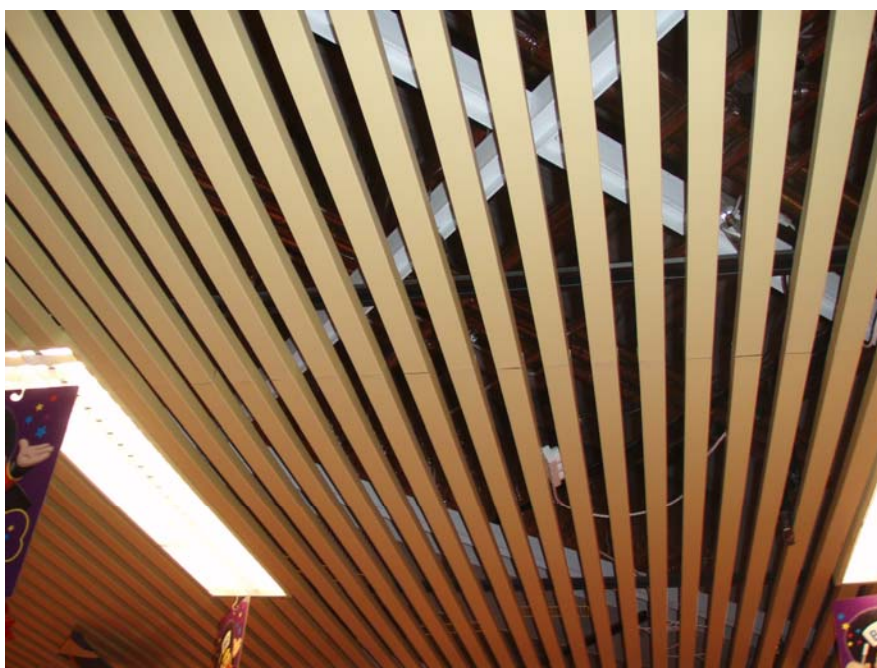
Väggarna består av gips och regelverk av trä. På golvet ligger en heltäckningsmatta.



Figur 6.1 Butiksvy inifrån leksakaffären. Bilden tagen i riktning mot entrén från butikens bakre del.



Figur 6.2 Den bakre nödutgången i leksaksaffären.



Figur 6.3 Innertaket i leksaksaffären. Ett sprinklerhuvud i innertaket skymtar i bildens nedre högra del.

6.2. Dimensionerande brand

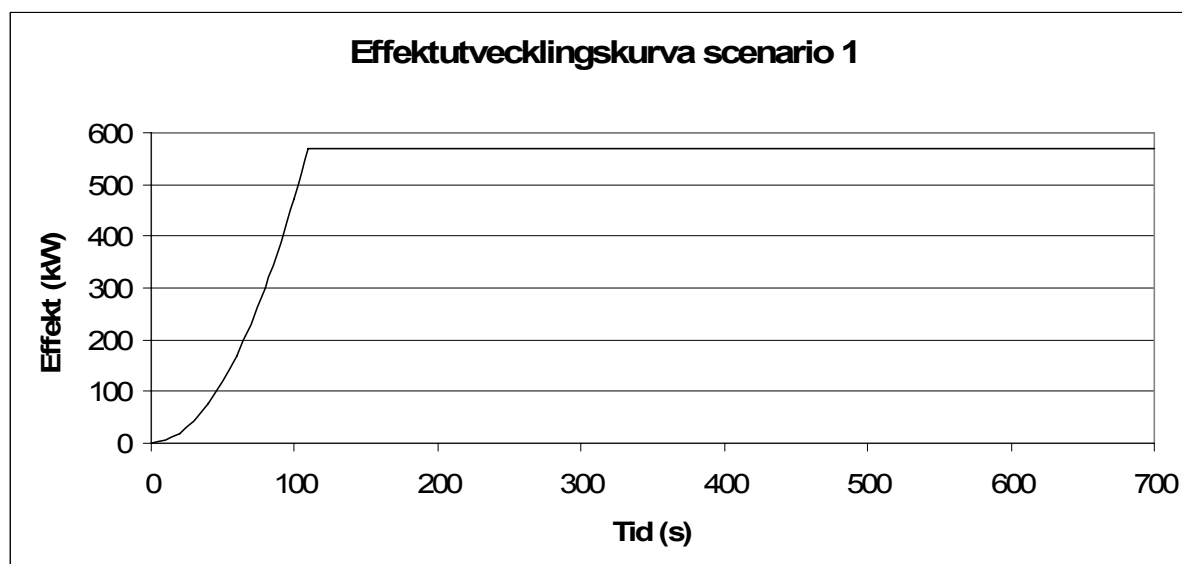
Bränslet utgörs främst av plastprodukter, textilier och andra cellulosebaserade material. Bränslet är energirikt och relativt tätt placerat vilket ger en potentiell hög brandbelastning och snabb brandtillväxt. Bränslet antas i beräkningarna, viktmässigt, bestå av 60 % polyester och 40 % cellulosa. I beräkningarna antas polyester utgöra huvudkomponenten plast i de produkter som är eller delvis är plastbaserade. En mer vanligt förekommande plast i exempelvis dockor kan dock antas vara polyeten. Då polyester kan liknas vid polyeten och i

vissa avseende vara värre i brandsammanhang, exempelvis högre rökpotential (SFPE, 2002), används polyester uteslutande i beräkningarna.

Barnleksaker skall vara CE-märkta för försäljning i Sverige, vilket bl a ställer krav på deras antändlighet (Konsumentverket, 1999). Den svårare antändningen antas ingå i förbrinntiden, varför den ej beaktas i rapporten. Antändligheten gör att en anlagd brand är den mest trolig orsaken till brandtillbud.

Branden antas starta i butikens främre del. Sannolikheten för uppkomst av brand i denna del kan anses mindre än för övriga delar om man ser till upptäckt av brand. Dock kan en brand här ge större konsekvenser, då brandens placering skulle kunna blockera entrén och då förlänga utrymningstiden avsevärt.

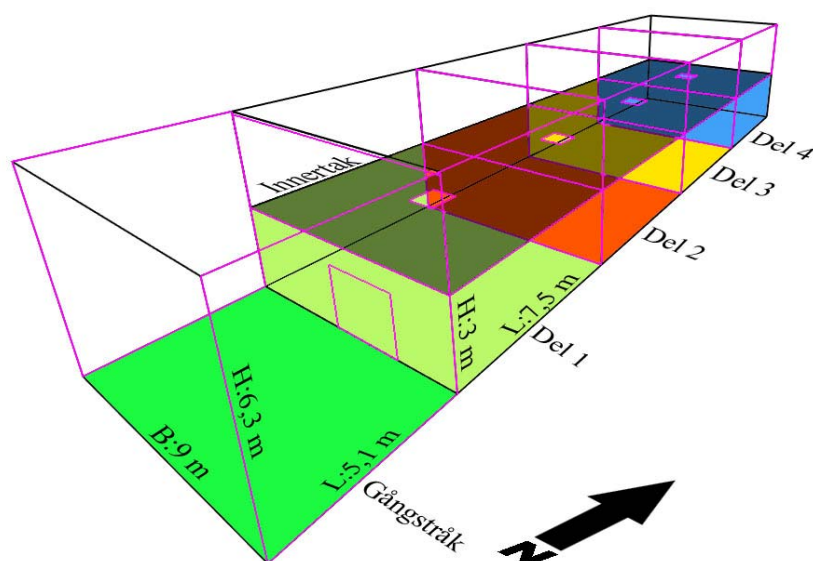
Branden antas tillväxa enligt en α^2 -kurva med tillväxthastighet *fast* (NFPA 92B tabell B-3, 1995). Branden förutsätts vara sprinklerkontrollerad och når en maximal effektutveckling på ungefär 600 kW. I figur 6.4 presenteras den framtagna effektkurvan. Tillvägagångssättet ges mer utförligt i bilaga E.1.



Figur 6.4 Effektutvecklingskurva för scenario 1, brand i leksaksbutik.

6.3. Förutsättningar CFAST

Då lokalen har geometriska förhållanden som medför att den inte bör simuleras direkt i CFAST, delas butiken upp i fyra mer passande delutrymmen enligt figur 6.5.



Figur 6.5 Butiksindelningen i CFAST, scenario 1.

Branden placerades i delutrymme 1, se figur 6.5. Brandens effektutveckling valdes enligt avsnitt 6.2. För att få en mer realistisk optisk densitet sattes förhållandet mellan C/CO₂ och H/C till 0.08 respektive 0.1175 (Hultquist, 2000). De valda förhållandena motsvarar enbart polyester, varför de givna siktförhållandena borde bli värre än i verkligheten. Sprinklers och rökdetektorer placerades så likt verkligheten som möjligt. Innertaket simulerades som 25 stycken brandgasluckor i vardera delutrymme, totalt 100 stycken, motsvarande innertaket totala öppningsarea. Huruvida CFAST tar hänsyn till en genomsläpplighetskoefficient samt behandlar innertaket mer allmänt är oklart.

6.4. Förutsättningar för utrymningsberäkningar

De generella förutsättningarna för utrymning, givna i bilaga D.1, gäller för detta scenario. Utrymning tillåts i det ordinarie scenariot genom butikens båda utrymningsvägar. Varseblivningstiden valdes till 60 sekunder och grundas på författarnas egna bedömningar utifrån observationer av fullskaleförsök (Bennetts et al., 1997 – videoupptagning av fullskaleförsök). Dessutom visar simuleringar i CFAST att brandgaslagret är ungefär 0,5 meter tjockt en minut in i brandförloppet, vilket borde vara mer än tillräckligt för att bli varse om uppkommen fara för de som ej ser den faktiska branden. Besluts- och reaktionstiden valdes till 60 sekunder utifrån rekommendationer från Boverket (Boverket, 2006b). Då lokalens geometri är simpel har utrymningsberäkningarna valts att göras för hand.

6.5. Resultat ordinarie scenario

Resultaten från simuleringar i CFAST och utrymning med handberäkningsmodell, presenteras i tabell 6.1. Handberäkningarna återges i bilaga E.3.

Tabell 6.1 Resultat av CFAST-simuleringar och utrymningsberäkningar för scenario 1.

<i>Aktiva system</i>	<i>Tid (min)</i>
Detektoraktivering 6.3 m höjd	1.9
Sprinkleraktivering 3.0 m höjd	1.9
<i>Kritiska förhållanden</i>	<i>Tid (min)</i>
Strålning (2.5 kW/m ²)	Uppnås ej
Brandgaslagrets höjd (1.6 + 0.1H m)	Uppnås ej
Temperatur (80°C)	-
Siktbarhet (<10 m)	-
<i>Utrymning</i>	<i>Tid (min)</i>
Tid för utrymning (handberäkning)	2.9

6.6. Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen avser att göra en bedömning av känsligheten i resultaten, genom att variera ingående variabler i indata. Den utvalda variabeln är det enda som varierar från fall till fall, gentemot det ordinarie scenariot.

6.6.1. Effektutveckling

Eftersom effektutvecklingen utgör den kanske största faktorn för konsekvenserna av en brand har två faktorer som direkt påverkar denna varierats. Dels har α -värdet ökat med 50 % från 0.047 kW/s² till 0.071 kW/s², dels har sprinkleraktiveringstiden förlängts samt helt utelämnats. En ökning av α -värdet resulterar i en snabbare effektutveckling med försämrade utrymningsförhållanden men möjliggör samtidigt en snabbare sprinkleraktiveringstid. En förlängd eller utebliven sprinkleraktivering medför att branden tillväxer under en längre tid. Den effekt vid vilken branden antas ha en konstant effektutveckling blir således högre. Den längre sprinkleraktiveringstiden som använts, 145 s, är den tid som simuleringar i DETACT-T2 gav. Förutsättningarna för denna simulering ges i bilaga E.4. Förseningen motsvarar en ungefärlig dubbling av effekten.

6.6.2. Geometri CFAST

En av de faktorer som troligen kommer ha störst påverkan på resultaten från CFAST är innertaket utformning i CFAST. Därför görs en simulering med ett heltäckande innertak. Om inga brandgaser tillåts passera genom innertaket sjunker brandgaslagret snabbare och förhållandena för utrymning kommer försämrats snabbare. Även i detta fall kommer en förändrad sprinkleraktiveringstid erhållas, troligen tidigare än i det ordinarie fallet.

6.6.3. Begränsad utrymning

I takt med att branden växer, ökar sannolikheten för att en av de två utrymningsvägarna blockeras och då förlänger utrymningstiden. Troligen blir utrymningstiden längst om bara

utrymning genom den bakre utrymningsvägen tillåts varför detta undersöks såväl med handberäkningsmodell som med simulering i Simulex.

6.6.4. Resultat av känslighetsanalys

Resultaten av känslighetsanalysen presenteras i tabell 6.2 och tabell 6.3. Tiderna ges i minuter. Observera att brandgaslagrets höjd i sig inte är ett kritiskt förhållande såvida inte kriterierna för temperatur och sikt är uppfyllda, se avsnitt 5.2.

Tabell 6.2 Resultat av känslighetsanalys, tid till kritiska förhållanden i minuter.

<i>Tider givna i minuter</i>				
Scenario	Brandgaslagrets höjd (1.6 + 0.1H m)		Strålning (2.5 kW/m ²)	Tid till kritiska förhållanden
	Temp. (80°C)	Sikt (<10 m)		
Ordinarie	-		-	Uppnås ej
	-	-		
Högre α -värde 0.071 kW/s ²	3.0		-	Uppnås ej
	-	-		
Heltäckande innertak	2.3		-	2.3
	1.8	-		
Sen sprinkler (145 s)	2.3		-	12.5
	12.5	-		
Utebliven sprinkler	3.0		4.5	3.0
	2.8	5.2		

Tabell 6.3 Resultat av känslighetsanalys. Jämförelse av erhållna tider för kritiska förhållanden och utrymning i minuter.

Tid till kritiska förhållanden i minuter		Tid till avslutad utrymning i minuter		
Scenario	t_{kritisk}	Handberäkning	Handberäkning	Simulex
			(begränsad utrymning)	(begränsad utrymning)
Original	Uppnås ej	2.9	4.2	3.0
Högre α -värde	Uppnås ej			
Heltäckande innertak	2.3			
Sen sprinkler	12.5			
Utebliven sprinkler	3.0			

6.7. Slutsats

I det ordinarie scenariot aktiverar sprinklers och rökdetektorer samtidigt. Att detta sker samtidigt beror på att de två komponenterna är placerade på olika höjd. De två tiderna tyder på att en stor del av de bildade brandgaserna förblir under innertaket. Det bör återigen påpekas att förbrinntiden ej tagits hänsyn till i simuleringarna, vilket skulle kunna ge kortare detektionstider för rökdetektorerna. I det ordinarie scenariot uppstår aldrig kritiska förhållanden innan en säker utrymning genomförs.

En höjning av α -värdet med 50 % visar sig inte ha någon större betydelse för en säker utrymning av butiken. Brandgaslagret når förvisso en kritisk höjdnivå, men uppnår aldrig följdkravet på temperatur eller sikt innan utrymningen är slutförd.

Resultatet av känslighetsanalysen visar att innertaket är en känslig parameter. Simuleringen med ett heltäckande innertak är dock inte ett helt realistiskt scenario för butiken då innertaket de facto har en öppningsarea motsvarande 45 % av takytan, vilket kommer att släppa igenom en del av brandgaserna. Dock är det av intresse att se till denna simulering då det finns butiker med heltäckande innertak i Center Syd. Ett heltäckande innertak medför att en större mängd brandgaser blir kvar på en lägre höjd jämfört med om inget innertak existerat. Denna ansamling medför att kritiska förhållanden uppnås tidigare än i det ordinarie scenariot. Att detta skulle ske i butiker med heltäckande innertak bedöms inte troligt då bränslet i dessa inte har samma, utan bedömt lägre, tillväxthastighet, förbränningsvärme och rökpotential. I butiker med heltäckande innertak är det dock väldigt viktigt med såväl sprinklers som rökdetektorer i innertaket för att säkerställa en säker utrymning.

En längre sprinkleraktiveringstid tillåter en längre tillväxttid för branden varför brandgaslagret når den kritiska höjdnivån tidigare i simuleringarna. Dock tar det ungefär 12 minuter innan brandgaslagret uppnår en kritisk temperatur och utrymning är avklarad långt tidigare. Då sprinklers ej aktiverar kyls aldrig flammorna och brandgaserna varför temperaturen i brandgaslagret blir hög redan innan brandgaslagret når den kritiska höjden. I detta fall uppstår kritiska förhållanden vid ungefär samma tidpunkt som utrymningen är

avslutad. Här, och i fallet med det heltäckande innertaket, skall dock beaktas att varseblivningstiden i utrymningsberäkningarna ansatts till 60 sekunder. Vid denna tidpunkt har brandgaslagret en höjd på ca 2,5 meter ovan golv, det vill säga att brandgaslagret är 0,5 meter tjockt under hela innertakets yta. Det är orealistiskt att människor inte har blivit varse innan detta inträffar. Det är därför rimligt att tro att varseblivningstiden är kortare och människor påbörjat en utrymning tidigare. Det skall även beaktas att CFAST ger en medeltemperatur i brandgaslagret varför det är rimligt att anta att temperaturen är högre nära branden respektive lägre där utrymning sker. Därför är detta scenario säkert med avseende på utrymning.

De fall där utrymning inte är avslutad innan kritiska förhållanden uppstår är då innertaket betraktas som heltäckande samt då sprinklers inte aktiverar. Det visar sig således att det som är avgörande för huruvida kritiska förhållanden uppstår eller inte beror på om sprinklersystemet aktiverar eller till vilken grad innertaket släpper igenom brandgaser. Den stora osäkerheten ligger i innertaket då det finns väldigt få undersökningar på hur brandgaser uppför sig vid genomsläppliga innertak. Författarna skulle här vilja föreslå en vidare undersökning av detta scenario med en CFD-modell om bättre data behövs.

Intressant var att jämföra erhållen tid för utrymning i Simulex med den handberäknade då båda utrymningsvägarna tilläts användas. Författarna bedömer att handberäkningsmodellen överskattar de verkliga utrymningstider något. Utrymningsberäkningarna och simuleringar i Simulex visar på att den bakre nödutgången har god kapacitet även om viss stockning bildas. Det är dock av stor vikt att denna utgång är tydligt markerad och att utrymning inte förhindras av materiell på insidan eller utsidan. Det vore önskvärt att dörren markeras på ett alternativt sätt mot vad den är idag för att förbättra igenkänning av den som en nödutgång.

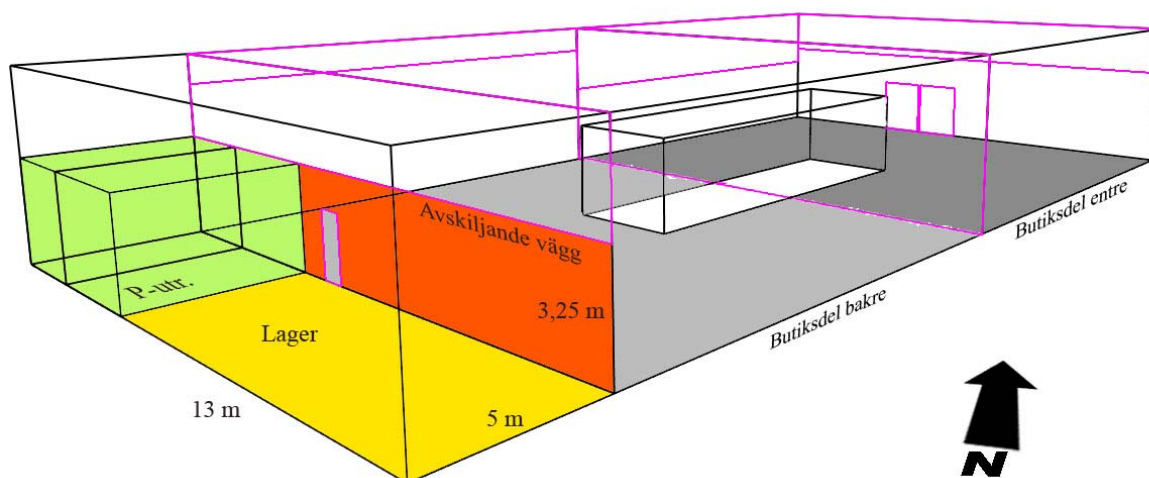
Sammanfattningsvis anser författarna, med ovan givna resonemang och med tyngd på valt ordinarie scenario, att Center Syd har tillfredställande personsäkerhet vid brand i butikslokal. Av större intresse kan det därför vara att undersöka hur en brand påverkar utrymningsförhållandena i publika delar en bit ifrån brandrummet. Här är varseblivningstiden betydligt längre och nedsatt sikt kan uppstå då brandgaserna avsvältnar och tappar höjd. Effekterna av brandgasspridning bortom brandrummet kommer att undersökas i scenarierna 2, 3 och 4.

7. Brandscenario 2 – Brand i butikslager

Många butiker i Center Syd har ett lager placerat i anslutning till försäljningslokalen. Dessa utrymmen är ofta välfyllda och risken för en hög brandbelastning är överhängande. På grund av att Center Syd är konstruerat med ett stort öppet utrymme ovan ingående lokaler och att många innerväggar ej når ända upp till yttertaket, är risken för brandgasspridning till närliggande lokaler en möjlig riskfaktor.

7.1. Lokalbeskrivning

Lagret ligger i bakkdelen av försäljningslokalen och avskiljs endast med en enkel innerväggskonstruktion, se figur 7.1, utan brandtekniska egenskaper. I anslutning till lagret finns personalrum.



Figur 7.1 Översikt av undersökta lokaler, tillika sektionsindelning i CFAST.

Takhöjden i butik och lager är ca 6 meter. Inget innertak finns installerat. Innerväggen mellan lagret och butiksdelen är 3.25 meter hög. Lagerarean är ca $5 \times 13 \text{ m}^2$ i markplanet. I lagret förvaras stora mängder artiklar, dels staplade på varandra i kartonger, men även placerade i hyllsektioner utmed väggarna. Från lagret leder en trätrappa upp till ett utrymme ovanför personalrummen. Detta utrymme nyttjas för extra förvaring.

Butiken har två utrymningsvägar varav den ena går genom lagerdelen och den andra utgörs av butiksentrén. Den främre har en sammanlagd bredd på ca 3.5 m och den bakre en bredd på ungefär 1.4 m. Den sistnämnda bedöms helt blockeras om en brand uppstår i lagret.

Yttertaket är, precis som i resten av centrat, utrustat med sprinklers med RTI 100.

7.2. Dimensionerande brand

Bränslet i lagret består framförallt av textilier förpackade i wellpappkartonger, se figur 7.2. I simuleringar och beräkningar jämföras materialet till en blandning av 50 % vardera cellulosebaserade material och plast. Cellulosebaserade material har valts som råmaterialet i kartonger och textilier. Polystyren antas förenklat utgöra huvudkomponenten plast i vissa

kläder och andra plastprodukter i sortimentet. Polystyren har valts för att materialet, jämfört med andra plaster, har en hög rökpotential vilket kan resultera i dåliga siktförhållanden.



Figur 7.2 En del av lagerlösningen i det undersökta scenariot.

Branden antas tillväxa enligt en α^2 -kurva med tillväxthastigheten *fast* (NFPA 92B Appendix C figur C-3, 1995) vilket baseras på materialet och lagringssättet. Beräkningar visar att den dimensionerande branden inte blir ventilationskontrollerad inom intressant tidsperspektiv. Då senare framtagna utrymningstider visar på att branden aldrig når orimligt höga effekter under det intressanta tidsperspektivet antas branden fortsätta tillväxa oberoende av faktisk bränsletillgång. Detta medför att beräkningarna är oberoende av mängden lagerfört material.

För detta scenario kommer ej hänsyn att tas till aktiva system i form av sprinklers. Anledningen till detta är att sprinklersystemet som är installerat under hela yttertaket i Center Syd sitter förhållandevis högt och i vissa fall blockeras av senare tillförda installationer, se figur 7.2. Risken finns att detta resulterar i en nedsatt veckningsgrad hos systemet eller ingen effekt alls.

På grund av lokalernas stora volymer kommer ett resonemang föras kring två olika händelseutvecklingar. Dels kommer tvåzonsfallet att undersökas och dels kommer ett fullt omblandat fall att studeras. För att en stabil tvåzonsskiktning skall uppstå krävs en viss temperaturskillnad mellan det övre varma brandgaslagret och undre kallare lagret. Denna skillnad kan, för det aktuella scenariot, ifrågasättas och sannolikheten för att ett omblandat fall uppstår är överhängande.

7.3. Förutsättningar CFAST

Då lokalen har geometriska förhållanden som medför att den inte bör simuleras utan modifikationer i CFAST, delas butiken upp i mindre mer passande delutrymmen, se figur 7.1. Lagret modellerades till en del medan butiken delades upp i två lika stora delar.

Personalutrymme fick utgöra en egen volym, som valdes att tillslutas från övriga volymer i simuleringen. Detsamma gäller det mindre lagret i själva butiken. Lager och butik är i verkligheten inte helt inneslutna från omgivningen. En av långsidorna och utrymmet ovanför entrén är öppet mot närliggande butik och gångstråk. Då delar av dessa öppningar blockeras på grund av lagerförvaring har öppningarnas verkliga area minskats i simuleringen. Denna lagerförvaring påverkar främst arean utmed den västra långsidan. För att få en mer realistisk optisk densitet sattes förhållandet mellan C/CO₂ och H/C till 0.046 respektive 0.1288. De valda förhållandena motsvarar en beräknad 50 % blandning av vartdera trä och polyester (Hultquist, 2000). Sprinklers och rökdetektorer placerades så likt verkligheten som möjligt.

7.4. Förutsättningar Simulex

De generella förutsättningarna för utrymning gäller för detta scenario, se bilaga D.1. Antalet personer var vid simuleringens start 280 stycken. Utrymning via den bakre utrymningsvägen på lagret tilläts inte i denna simulering. Responstiden för individer i brandens närhet valdes till totala 160 ± 15 sekunder, varav varseblivningstid 100 sekunder (tid till två aktiverade rökdetektorer), och besluts- och reaktionstid 60 ± 15 sekunder.

7.5. Resultat ordinarie scenario

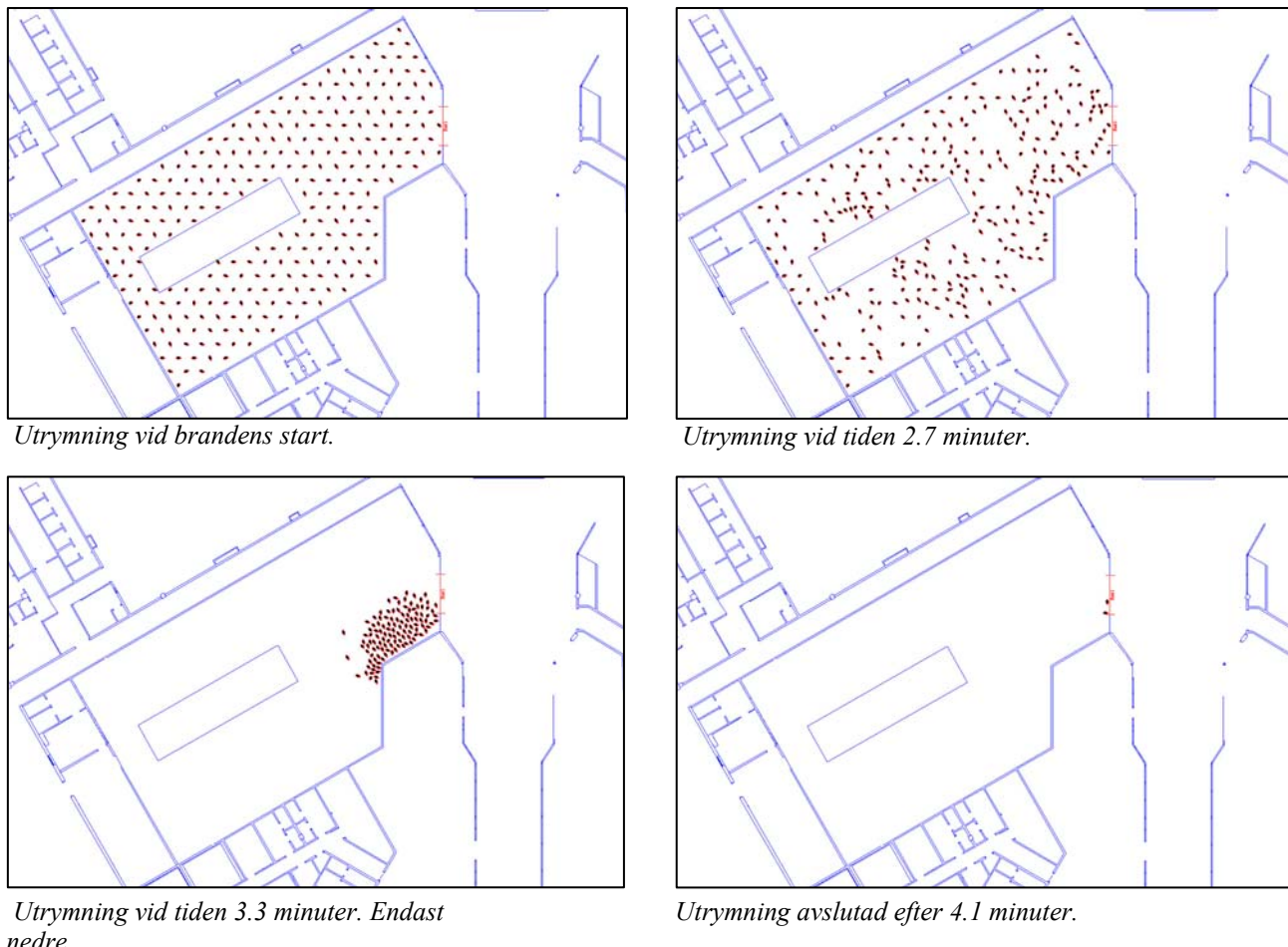
Resultaten från simuleringar i CFAST och Simulex presenteras i tabell 7.1. Resultaten för tvåzons-modellen avser den inre delen av butiken.

Tabell 7.1 Resultat av gjorda simuleringar, ordinarie scenario.

<i>Aktiva system</i>	<i>Tid (min)</i>
Två detektorer aktiverade	1.7
<i>Kritiska förhållanden - Tvåzon</i>	<i>Tid (min)</i>
Strålning (2.5 kW/m ²)	13.3
Brandgaslagrets höjd (1.6 + 0.1H m)	Uppnås ej
Temperatur (80°C)	-
Siktbarhet (<10 m)	-
<i>Kritiska förhållanden - Omblandat</i>	<i>Tid (min)</i>
Siktbarhet (<10 m)	2.0
<i>Utrymning</i>	<i>Tid (min)</i>
Tid för utrymning	4.1

7.5.1. Resonemang kring resultat – ordinarie scenario

Simuleringar i Simulex visar att sista personen lämnar butikslokalen drygt fyra minuter efter uppkomst av brand. Värt att notera är dock att personerna i Simulex utrymmer på ett något orealistiskt sätt. Figur 7.3 visar en orealistisk köbildning då hela entréns bredd ej används. Förflyttningsprocessen går på grund av detta något snabbare i verkligheten.



Figur 7.3 Utrymningsförloppet enligt simuleringar i Simulex.

Simulering av lagerbranden i CFAST visar att inga kritiska förhållanden kommer uppstå under tiden för utrymning.

Om man studerar resultaten från CFAST's tvåzons-modell för den inre delen av butikslokalen framgår det att temperaturdifferensen mellan brandgaslagret och det undre lagret efter ett par minuter fortfarande är relativt låg, se bilaga F.4. Detta innebär att det finns risk att en skiktning uteblir i början av brandförloppet och det blir därmed nödvändigt att studera tider till kritiska förhållanden vid omblandat fall. Då temperaturerna i brandgaslagret i tvåzonsmodellen inte uppstiger till kritiska nivåer (80°C) inom intressant tidsperiod kan slutsatsen dras att kritisk temperatur ej heller kommer uppstå vid omblandat fall.

Temperaturen kommer snarare vara lägre. Inte heller strålningen blir intressant. Tiden till kritiska siktförhållanden för det fullt omblandade fallet beräknades till ca 2 minuter, se bilaga F.1. Jämförs tiden för utrymning enligt Simulex med tiden till kritiska förhållanden framgår det att kritiska siktförhållanden uppstår vid ett mycket tidigt skede av utrymningen. Detta sker ungefär samtidigt som genomsnittspersonen påbörjar sin förflyttning mot utgången. Det finns

dock en hel del som talar emot att detta är en sannolik händelseutveckling. Framförallt finns det logiska resonemang som talar för att utrymningstiden i verkligheten skulle bli kortare. I simuleringen i Simulex antas att varseblivningstiden och reaktionstiden är sammanlagt drygt två och en halv minut. Att personer avvaktar i två minuter, då sikten blir så begränsad som 10 meter, är inte realistiskt. Som tidigare nämnts bör själva förflyttningsproceduren i verkligheten även bli kortare än, det med Simulex framtagna, ca en och en halv minut. Detta beror på den orealistiska köbildning som bildas vid entrén. Vidare tar beräkningarna, för det fullt omblandade fallet, ej hänsyn till att viss skiktning faktiskt kan komma att uppstå. Brandgaskoncentrationen kommer inte att vara homogen, vare sig genom hela höjden eller i de olika delarna av butiken. Sikten kommer vara mer fördelaktig närmre golvet samt längre från brandhärden. Detta ger gynnsammare siktförhållanden i den delen av lokalen där personer blir kvar längst. Hänsyn har heller inte tagits till att alla brandgaser ej blir kvar i butiken. I ett verkligt scenario kommer spridning att ske under större delar av yttertaket till närliggande butiker och gångstråk.

Om man, istället för att strängt se till ett av fallen, väger ihop tvåzonsmodellen med det omblandade scenariot får man ett mer realistiskt utfall. Man får tätare brandgaser ju längre in i butiken man kommer. Personer kommer därför med stor sannolikhet kunna upptäcka brandgaser som läcker ut över skiljeväggen eftersom de där kommer vara tätare än efter viss omblandning. I den inre delen av butiken kommer personer även att reagera på röklukt. Detta resulterar i att personer i den inre delen av butiken kommer få en kortare varseblivningstid. Vidare diskussion om detta kommer att föras i slutsatsen.

7.6. Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen avser att göra en bedömning av känsligheten i resultaten, genom att variera ingående variabler i indata. Den utvalda variabeln är det enda som varieras från fall till fall, gentemot det ordinarie scenariot.

7.6.1. Effektutveckling

Branden i lagret kommer enligt tidigare varken bli ventilations- eller bränslekontrollerad under tiden för utrymning. Detta gör att brandbelastningen ej är föremål för känslighetsanalys. Det som går att variera vad det gäller branden är tillväxthastigheten. Simuleringar görs där tillväxthastigheten ökas med 50 % från 0.047 kW/s^2 till 0.071 kW/s^2 . Den ökade tillväxthastigheten kommer att medföra högre temperaturer, ökad strålning och lägre brandgaslager. Med en brantare tillväxtkurva kommer även tiden till kritiska siktförhållanden för det fullt omblandade fallet att gå något snabbare.

7.6.2. Geometri CFAST

Hela lokalen, lager och butik, är delvis öppna beroende på hur personalen valt att lagra varor och på övrigt sätt utnyttja utrymmet längs den västra långsidan. En känslighetsanalys genomfördes där effekten av att helt tillsluta denna långsida undersöktes. Att tillsluta denna sida förhindrar helt läckaget av brandgaser ut ur lager och butik.

7.6.3. Resultat av känslighetsanalys

Den ökade tillväxthastigheten medför högre temperatur, ökad strålning och lägre brandgaslager i butik. Resultaten från tvåzons-modellen gav mycket marginella skillnader och

kritiska förhållande uppnås fortfarande sent i förhållande till utrymning. För det fullt omblandade fallet uppstår kritiska förhållanden marginellt tidigare, 15 s, än i det ordinarie scenariot. Beräkningarna ges i bilaga F.2.

Genom att helt sluta butikens väggar och styra in alla brandgaser från lager till butik får man på samma sätt som för tillväxthastigheten en kortare tid till kritiska förhållanden, dock sker även dessa sent i förhållande till utrymning. Även med denna förändring har alla personer utrymt innan kritiska förhållanden uppnås. För det omblandade fallet är fullt tillsluten lokal redan antaget och ingen skillnad i resultat erhålls.

Det enda resultat som påverkas är således tiden till kritisk sikt med snabbare effektutveckling i det omblandade fallet.

7.7. Slutsats

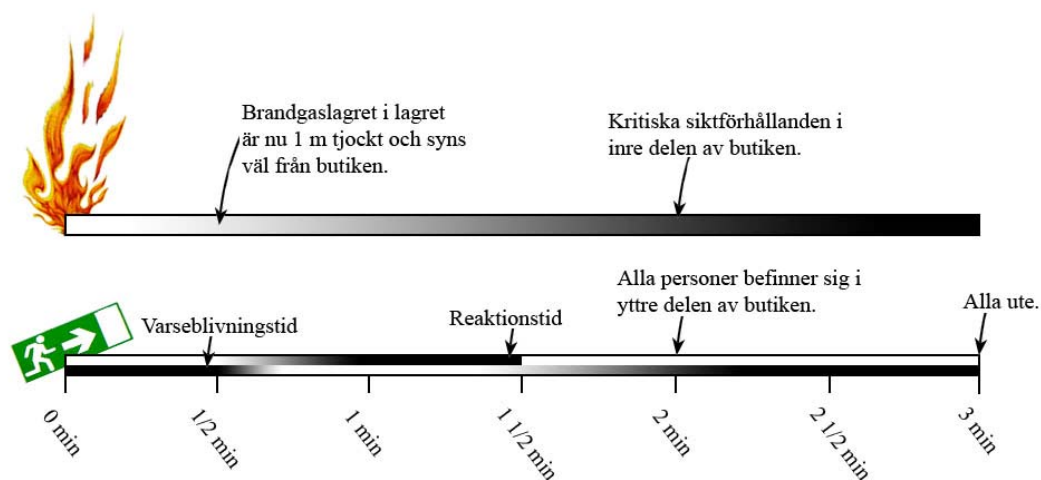
Även om temperaturdifferenserna i större delen av butiken kommer vara så låg att tvåzonsskiktning kan ifrågasättas, kommer man i lagret och nära brandplymen kunna räkna med betydligt högre brandgastemperaturer. Då man studerar brandgaserna i lagret med hjälp av CFAST har man redan efter ungefär en halv minut ett cirka en meter tjockt brandgaslager. Detta kommer att vara synligt för personer i inre delen av butiken. Troligt är att personer vid detta tillfälle även känner av röklukt och har lagt märke till en viss del brandgaser i luften i form av försämrad sikt. Trolig varseblivningstid bedöms därför till runt en halv minut. Räknar man sedan med en reaktionstid på en minut så kommer folk att påbörja förflyttningen mot huvudentrén efter ca en och en halv minut. Varseblivningstiden kan i sig anses vara relativt kort. Man bör dock inte se denna och reaktionstiden som två helt skilda företeelser. Varseblivnings- och reaktionstid kommer att integrera vikt innebär att det är logiskt att förvänta sig en kortare reaktionstid för personer med längre varseblivningstid allteftersom förhållandena förvärras. Med ovan diskuterade tider i åtanke ger Simulex att alla personer efter ca en halv minuts förflyttning, sammanlagt två minuter efter uppkomst av brand, befinner sig i den yttre halvan av butiken, se figur 7.4. Enligt beräkningarna för det ordinarie scenariot är detta även tidpunkten då kritiska siktförhållanden uppstår.



Figur 7.4 Utrymningssituationen vid tidpunkt för kritiska förhållanden.

Med tanke på tidigare resonemang om hur brandgaserna troligtvis kommer att sprida sig i butiken är det sannolikt att siktförhållandena i den yttre halvan av butiken fortfarande är acceptabla. Risken för att personer här kommer få svårigheter med resterande del av

utrymningen bedöms som mycket liten. Ovan givna resonemang om en mer trolig händelseutveckling vid brand återges i figur 7.5.



Figur 7.5 Mer trolig händelseutveckling vid brand i butikslager enligt scenario 2.

Sammanfattningsvis anser författarna, med ovan givna resonemang att Center Syd har tillfredställande personsäkerhet vid brand i butikslager.

8. Brandscenario 3 – Brand i gångstråk

Scenariot har, som tidigare beskrivits, valts som ett representativt scenario för en brand i ett gångstråk och på en torgyta i Center Syd. Scenariot avser att ge läsaren en grov uppfattning om vilken brand som krävs för att uppnå kritiska förhållanden innan en säker utrymning av torgytan och anslutande gångstråk slutförts, eftersom detta inte sker i det ordinarie scenariot.

8.1. Lokalbeskrivning

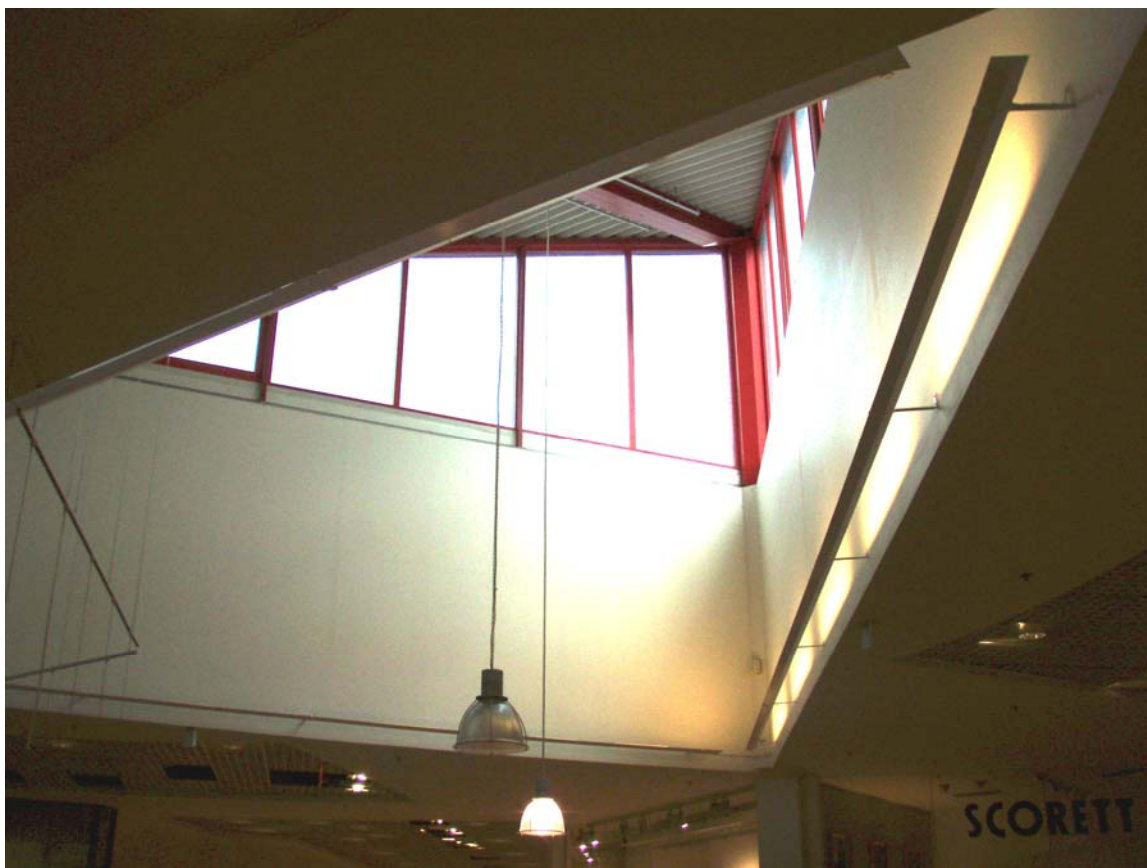
Den undersökta lokalen är ett cirkulärt torg till vilket tre större gångstråk och ett flertal butiker ansluter se figur 8.1. På torget finns en servering med en uppskattad kapacitet för 40 personer. Serveringsytan är omsluten av ett räcke. En manuell larmknapp finns vid serveringens kassa.

Liksom flera andra större torgytor i Center Syd finns ett naturligt ljusinsläpp via ett glasatrium ovanför torgytan, se figur 8.2. Atriumet har en högsta höjd på ca 8 meter. Högst upp i atriumet sitter de sprinklers som främst bedöms kunna påverka en brand på torgytan.

De tre större gångstråken har bredder som varierar mellan 5-7 m och förväntas fungera som de primära utrymningsvägarna. En nödutgång, 1.3 m bred, med en brandtekniskt avskild utrymningsväg direkt till det fria finns i anslutning till torget. Nödutgången är försedd med genomlyst vägledande markering. Bredvid nödutgången finns en brandpost.



Figur 8.1 Vy av torgytan med servering i mitten.



Figur 8.2 Vy av atrium ovanför serveringen.

8.2. Dimensionerande brand

Effekten av en centralt belägen brand skulle kunna ge stora konsekvenser då det kan förväntas vara ett högt personantal på och i närheten av torgytan. Att en brand uppstår bland borden på serveringen är inte särskilt troligt i normala fall, men inte omöjlig om man dekorerar serveringen inför högtider eller evenemang. Då det på torgytan finns väldigt få hinder och många människor, förväntas branden kunna upptäckas och bekämpas i ett tidigt stadium.

Bränslet på Center Syds torgytor och gångstråk är vanligtvis väldigt begränsat och utgörs främst, som på undersökt torg, av cellulosebaserade material. Serveringens kök på det undersökta torget är uppbyggt av gips och kakel. Köket är invändigt försett med sprinklers.

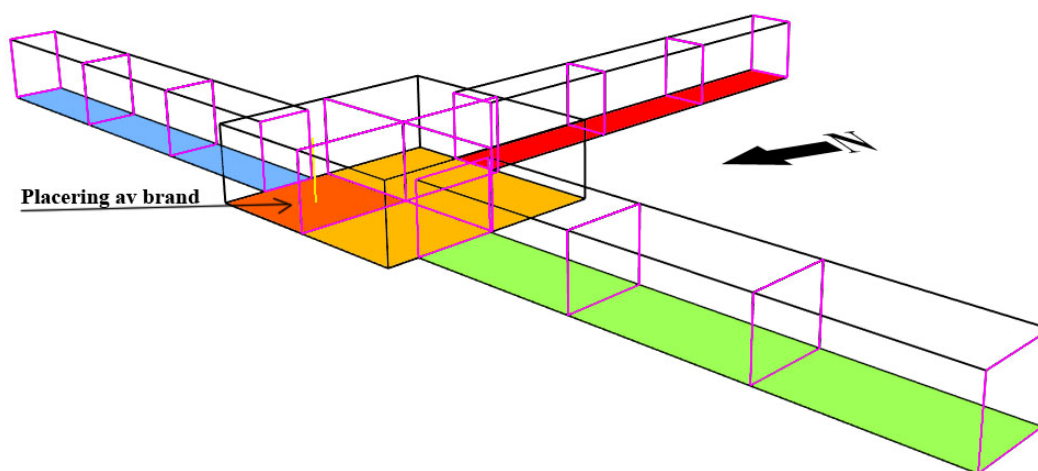
Den dimensionerande branden antas tillväxa enligt en αt^2 -brand med en hastighet motsvarande *medium*, 0.012 kW/s^2 . Karlsson och Quintiere (2000) samt NFPA (NFPA 92B tabell B-3, 1995) anger varierande tillväxthastigheter mellan *medium* och *fast* för cellulosebaserade material. Författarna avser inledningsvis göra simuleringar med tillväxthastigheten *medium*. Simuleringar med hastigheten *fast* och alternativa bränslesammansättningar kommer att utföras i känslighetsanalysen. Branden förväntas ha fri tillgång till syre och antas inte bli bränslekontrollerad. Brandens antas slutligen spridas i sådan omfattning att avbrott i effektutvecklingskurvan ej uppstår vilket för Center Syds torg är ett väldigt överskattat antagande.

Då torgytan är öppen med högt i tak visade inledande simuleringar i CFAST och DETACT-T2 att sprinkleraktivering inträffar sent i brandförloppet. Någon sprinklerinverkan förutsätts därför inte i detta scenario.

8.3. Förutsättningar CFAST

Torget har en cirkulär utformning, men har i CFAST simulerats med en kubisk form på grund av programmets begränsningar. För att ta hänsyn till den extra volym som ges av ariet ovanför serveringen beräknades en genomsnittlig takhöjd på 7 meter fram för hela torgytan. Torgets volym är dock detsamma som i verkligheten.

Då torget och anknäytande gångstråk har geometriska förhållanden som medför att de inte bör simuleras direkt i CFAST, delas de upp i mer passande delutrymmen, se figur 8.3.



Figur 8.3 Utrymmesindelning och brandplacering i CFAST, scenario 3.

Branden antas starta på torgets norra delar, se figur 8.4. För att få en mer realistisk optisk densitet sattes förhållandet mellan C/CO_2 och H/C till 0.012 respektive 0.14 (Hultquist, 2000). De valda förhållandena motsvarar träslaget tall.

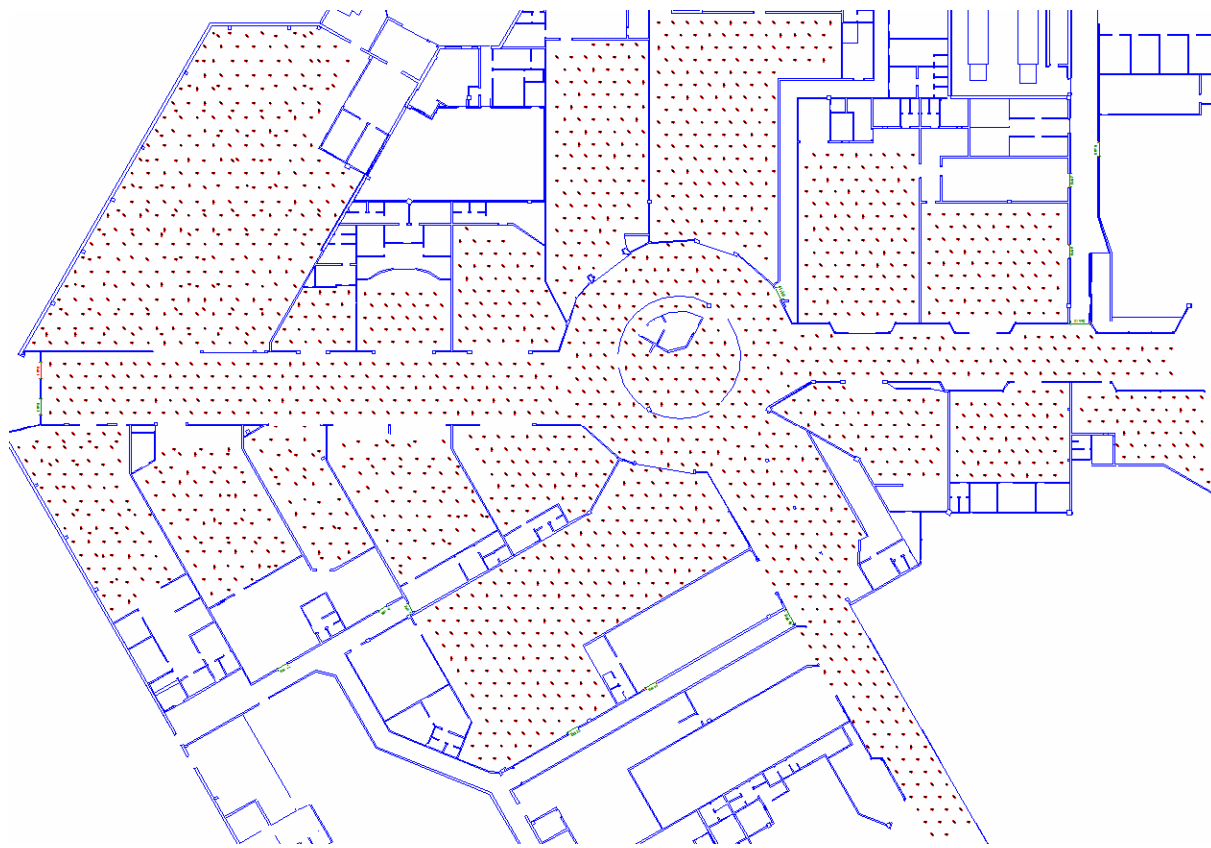
Sprinklers och rökdetektorer placerades så likt verkligheten som möjligt.

Intelligande butiker samt deras volymer har negligerats. Detta medför att resultaten hamnar säkerhetsmässigt på den rätta sidan då de brandgaser som annars skulle ha spridits till denna volym istället blir kvar i den undersökta volymen enligt figur 8.4 och därmed försvårar utrymningen.

8.4. Förutsättningar Simulex

De generella förutsättningarna för utrymning gäller i detta scenario, se bilaga D.1. Antalet personer var vid simuleringens start 2360 stycken, se figur 8.4. Då branden antas starta på torgytan har endast utrymning i riktning från torget tillåts. Responstiden för individer i brandens närhet valdes till totala 120 ± 15 sekunder, varav varseblivningstiden 60 sekunder och besluts- och reaktionstiden 60 ± 15 sekunder. Responstiden för individer bortom brandens

närhet valdes till totala 290 ± 15 sekunder, varav varseblivningstiden 3.8 minuter (tid till två aktiverade rökdetektorer) och besluts- och reaktionstiden 60 ± 15 sekunder.



Figur 8.4 Bild ur Simulex vid brandens starttidpunkt.

8.5. Förutsättningar fullt omblandat fall

Inledande simuleringar i CFAST visade på låga temperaturer i brandgaslagrena för torgytans delutrymmen. I det fall då brandgaserna inte har en tillräckligt hög temperatur för att bilda en tydlig skiktning mellan det övre brandgaslagret och det undre kallare lagret är det troligt att brandgaserna sprider sig och blandas ut med luft. Handberäkningar görs därför för att avgöra om kritiska förhållanden för sikt uppnås under utrymningstiden. Volymen som använts i beräkningarna motsvarar den volym som använts i tvåzons-modelleringen.

8.6. Resultat ordinarie scenario

Resultaten från tvåzonsfallet och det fullt omblandade fallet ges i tabell 8.2. I tabellen ges även den beräknade utrymningstiden för jämförelse. Handberäkningarna för det fullt omblandade fallet återges i bilaga G.1.

Tabell 8.2 Resultat av CFAST-simulering och handberäkning av det fullt omblandade fallet för scenario 3.

<i>Aktiva system</i>	<i>Tid (min)</i>
Två detektorer aktiverade	3.8
<i>Kritiska förhållanden - Tvåzon</i>	<i>Tid (min)</i>
Strålning (2.5 kW/m ²)	15.0*
Brandgaslagrets höjd (1.6 + 0.1H m)	Uppnås ej
Temperatur (80°C)	-
Siktbarhet (<10 m)	-
<i>Kritiska förhållanden - Omblandat</i>	<i>Tid (min)</i>
Siktbarhet (<10 m)	8.0
<i>Utrymning</i>	<i>Tid (min)</i>
Tid för utrymning, torgyta	2.5
Tid för utrymning, simulerad volym	7.0

* Den givna tiden avser det utrymme i figur 6.3, där det kritiska förhållandet för strålning uppnås tidigast. Simulering i CFAST ger, inte helt oväntat, att detta sker på torgytan där branden placerades.

Erhållna resultat visar att kritiska förhållanden inte uppstår i det ordinarie scenariot, innan säker utrymning genomförts.

8.7. Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen avser att göra en bedömning av känsligheten i resultaten i det ordinarie scenariot men även, till skillnad från tidigare scenarier, ge läsaren en grov uppfattning av de förutsättningar som faktiskt ger kritiska förhållanden för utrymmande. Den utvalda ingående variabeln är det enda som varierar från fall till fall, gentemot det ordinarie scenariot. I de fall en förändring påverkat detektionstiden har detta beaktats genom att nya utrymningstider beräknats.

8.7.1. Effektutveckling

Då typen av bränsle på torgytan kan komma att förändras i samband med byte av möblemang eller exempelvis dekorationer av olika slag, har tillväxthastigheten ökat från *medium* (0.012 kW/s²) till *fast* (0.047 kW/s²). Egenskaperna för bränslet, det vill säga cellulosa, behålls dock i övrigt.

8.7.2. Förutsättningar utrymning

Inga förutsättningar har ändrats utifrån originalfallet. Dock kan man konstatera, från resultaten i tabell 8.2, att utrymningslarmet, exempelvis skulle kunna fördröjas uppåt en minut utan att personsäkerheten äventyras.

8.7.3. Förutsättningar fullt omblandat fall

Ett omblandat fall där bränslet inte enbart utgörs av trä kan ge annorlunda förhållanden. Beräkningar för ett omblandat fall har gjorts där bränslet antas bestå av trä och PUR-skum, exempelvis stolar med stoppad dyna. För detta fall har det beaktas och tagits hänsyn till att bränslets egenskaper förändras. Egenskaperna har vägts samman utifrån prövad andel trä och PUR-skum. Ett flertal beräkningar har gjorts för att ge en uppfattning av den andel PUR-skum som, i kombination med trä, ger kritiska siktförhållanden innan avslutad utrymning. Andelen ges i förhållande till det ordinarie scenariot.

8.7.4. Resultat av känslighetsanalys

Resultaten av känslighetsanalysen för tvåzons-modellen presenteras i tabell 8.3. Observera att brandgaslagrets höjd i sig inte är ett kritiskt förhållande såvida inte kriterierna för temperatur och sikt är uppfyllda, se avsnitt 5.2. I tabell 8.4 ges resultaten av känslighetsanalysen för det helt omblandade fallet. Handberäkningarna för det fullt omblandade fallet återges i bilaga G.1.

Tabell 8.3 Resultat av känslighetsanalys. Tid till kritiska förhållanden, tvåzons-modell.

Tider givna i minuter				
Scenario	Brandgaslagrets höjd (1.6 + 0.1H m)		Strålning (2.5 kW/m ²)	Tid till kritiska förhållanden
	Temp. (80°C)	Sikt (<10 m)		
Ordinarie	Uppnås ej		15.0*	15.0
	-	-		
Högre α -värde 0.047 kW/s ²	Uppnås ej		8.0*	8.0
	-	-		

* De givna tiderna avser det utrymme i figur 6.3, där det kritiska förhållandet för strålning uppnås tidigast. Simulering i CFAST ger, inte helt oväntat, att detta sker på torgytan där branden placerades.

Tabell 8.4 Resultat av känslighetsanalys. Tid till kritiska förhållanden och avslutad utrymning, fullt omblandat fall.

Tid till kritiska förhållanden och avslutad utrymning i minuter		
Scenario	Sikt (<10 m)	Utrymning
Ordinarie	8.0	7.0
Högre α -värde 0.047 kW/s ²	5.0	5.5
Trä och PUR-skum blandning ~7.6 mass% PUR-skum	7.0	7.0

8.8. Slutsats

Utförda simuleringar tyder på att det krävs mycket för att uppnå kritiska förhållanden med tvåzonsmodellen inom de ca två och en halv minuter som torget är befolkat. Simuleringarna visar att det även är mycket svårt att nå kritiska förhållanden utanför torgytan med tvåzonsmodellen, vilket till stor del beror på de stora volymerna och Center Syds öppna konstruktion. Detta gör det mer intressant och mer nödvändigt att se till ett fullt omblandat fall.

För det omblandade fallet ges ungefär en minuts marginal till godo mellan en säker utrymning och det kritiska siktförhållandet i det ordinarie scenariot. En minut kan, för det stora personantalet, verka lite men läsaren bör beakta svagheterna i Simulex som enligt tidigare beskrivits i bilaga D.2. Marginalen bör, p g a svagheterna, vara större. Även den underskattade volymen tyder på att tiden till kritiska förhållanden borde vara längre än beräknad.

I känslighetsanalysen visade det sig att kritiska förhållanden uppstod innan en säker utrymning slutförts då α -värdet höjdes från medium till fast. Förhållandena uppstod trots den kortare detektionstiden som den förhöjda effektutvecklingen medförde. För resultaten skall det beaktas att en mindre volym använts i beräkningarna än den verkliga som brandgaserna har att sprida sig i. Sikten kommer även vara mer fördelaktig längre från brandhärden. Detta ger gynnsammare siktförhållanden i de delar där personer blir kvar längst.

Vid känslighetsanalysen av bränslesammansättningen för det fullt omblandade fallet gav upprepade handberäkningar att andelen PUR-skum kan uppgå till ungefär åtta procent av den totala massan, jämfört med ordinarie scenario. Detta ger en fingervisning av hur mycket utrymningsförhållandena kan försämrans som följd av valet av inredning och dekorationer.

För samtliga diskuterade slutsatser är det av vikt att än en gång trycka på de förutsättningar som getts för simuleringar och beräkningar. Bl a har en begränsad volym undersökts vilket leder till överskattade tider till kritiska förhållanden såväl för tvåzonsmodellen som för det fullt omblandade fallet. Vidare antogs det vid framtagandet av den dimensionerande branden att denna tillväxer kontinuerligt under hela utrymningen. Att detta sker i verkligheten är inte särskilt troligt då det finns en begränsad mängd bränsle och att branden inte sprider sig särskilt lätt på den öppna torgytan.

Slutligen vill författarna, med hänsyn till gjorda antaganden och erhållna resultat, konstatera att Center Syd har tillfredställande personsäkerhet vid brand i gångstråk.

9. Brandscenario 4 – Brand i soprum

9.1. Lokalbeskrivning

Lokalen är ett soprum som innehåller två komprimeringscontainrar, för kartong, och sju återvinningskärl, för plastemballage. Det finns även ett kylrum avsett för matavfall. Rummet har en dörr och två större portar för att transportera ut containrarna.

Ventilationen är ett frånluftssystem med förgreningar till soprummet, kylrummet och utrymningsstråket. Frånluftsdonet i utrymningsstråket är försett med ett brandspjäll. Det finns även ett överluftsdon mellan soprummet och ett intilliggande lager.

Väggar och golv är av betong. Lokalen utgör en egen brandcell avskilt i brandklass EI 60.

9.2. Dimensionerande brand

Soporna som slängs i lokalen är plast och kartong. Dessa slängs på två olika ställen vilket ger möjlighet till två olika typer av bränder.

Kartong slängs i containrarna vilka pressar det samman med hydraulik. Öppningsarean i de bägge containrarna är relativt sett mycket små vilket gör att eventuell brand snabbt blir ventilationskontrollerad. Uppgift saknas dessutom om huruvida kartongen kan nås av pilotlåga om någon skulle placera en flamma vid öppningen eller kasta in den genom öppningen.

Plasten förvaras i återvinningskärlen som står öppet i lokalen placerade längs en vägg. Personalen placerar dessutom plast i närheten till återvinningskärlen även om de är fulla då dryga böter utdelas till varje butik som placerar sina sopor i utrymningsstråken på baksidan av butikerna. Återvinningskärlen är av typ HighDensity-polyeten (PWS AB, Internetkälla) och övrigt plastavfall har antagits till polyeten. Branden antas börja i återvinningskärlen och tillväxa med en α^2 -kurva med tillväxthastighet *fast*.

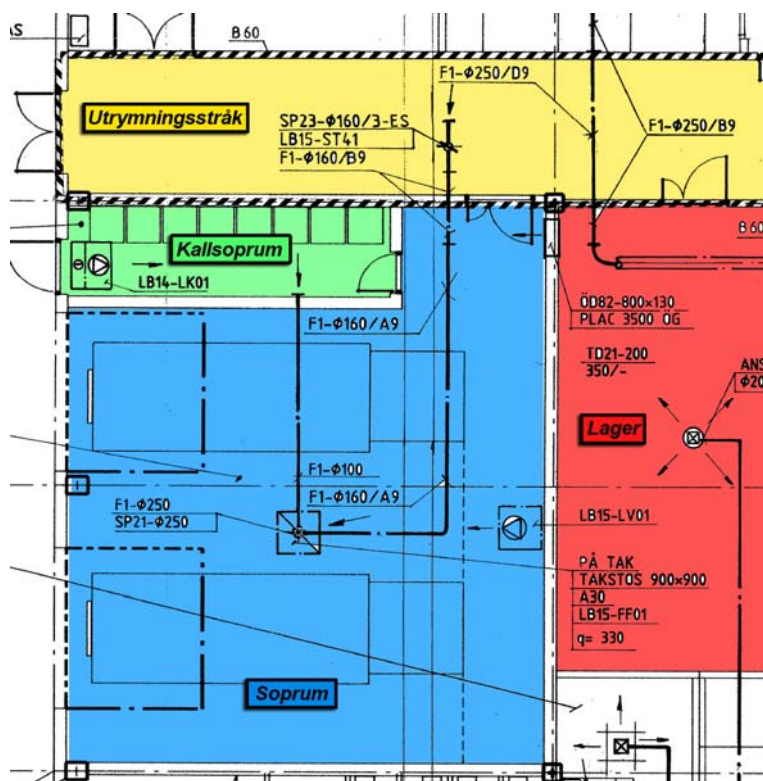
9.3. Förutsättningar PFS-simuleringar

Programmet PFS användes för att simulera flöden och tryck i ventilationssystemet. Brand startar i soprummet sedan studeras, för ett ökat brandflöde, flöden genom fläkt och till övriga kanaler. Brandtrycket i soprummet simuleras också. Programmet tar inte hänsyn till om brandflöde och brandtryck är rimliga för vad lokalen tål utan analys av resultat måste göras med tanke på hur lokalen, och främst dess öppningar, är konstruerad.

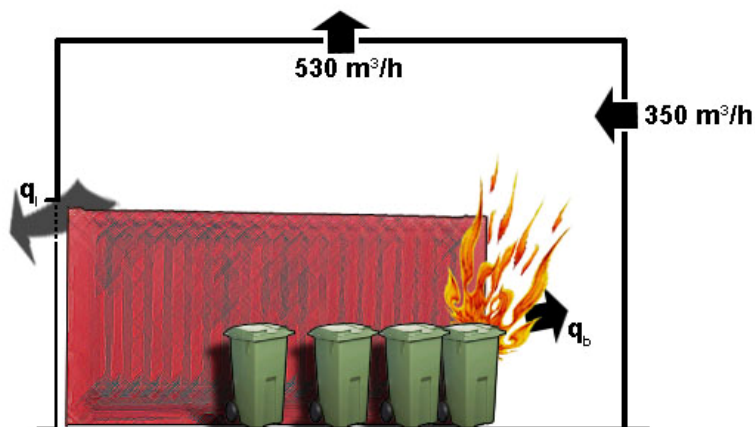
Studien går ut på att undersöka när fläkten inte klarar av brandflödet; Vid vilka brandflöden får vi brandgasspridning och var i systemet sprids de?

Fläkten har en kapacitet på 530 m³/h men har även två andra ventilationskanaler att jobba med, se figur 9.1. Intilliggande lager bidrar med ett flöde på 350 m³/h via ett överluftsdon. En förenklad modell över flöden i rummet visas i figur 9.2.

Tryckfallet över grenrören med don antas till 50 Pa och över stamkanalen och ut i det fria på 100 Pa. Tryckfallet över överluftsdonet antas till 10 Pa (Jensen, 2007).



Figur 9.1 Del av ventilationsritningarna för Center Syd. Soprum med intilliggande utrymmen.



Figur 9.2 Förenklad modell över flödena i soprummet.

I simuleringen sattes brandflödet till $360 \text{ m}^3/\text{h}$ och värden lästes av för en linjär ökning av detta brandflöde. För de olika brandflöden som simulerades erhöles följande värden:

- Flödet i ventilationskanalen mot utrymningsvägen
- Brandtrycket
- Flödet i överluftsdonet mot intilliggande lager
- Tryck och flöde i frånluftsfläkten

9.4. Resultat

Eftersom tryckfallet över överluftsdonet endast var 10 Pa, spred sig brandgaserna till lagret i första hand. Flödet från utrymningsstråket till brandrummet minskade successivt och till slut

fick man ett flöde från brandrummet till utrymningsstråket. Vid detta gränsläge erhöles följande värden i övriga punkter:

Brandflödet = 4300 m³/h

Brandtryck = 2500 Pa

Flödet i fläkt=1900 m³/h

Flödet till lager = 1900 m³/h

Läckage (brandrum+lager)=700 m³/h

Med dessa data behöver man göra ytterligare beräkningar för att besvara följande frågor om rimlighet:

- Kan ett brandflöde på 4300 m³/h uppstå i soprummet?
Enligt beräkningar fås ett maximalt brandflöde på 11880 m³/h. Det finns klart tillräckligt energiinnehåll i de fyllda återvinningskärlen för att skapa detta brandflöde. Beräkningar redovisas i bilaga H.1.
- Klarar rummet av ett brandtryck på 2500 Pa?
En ytterdörr testas för ett tryck på 900 Pa (Jensen, 2007) Det är rimligt att anta att portarna för containerbyte har lägre motståndskraft.

9.5. Känslighetsanalys

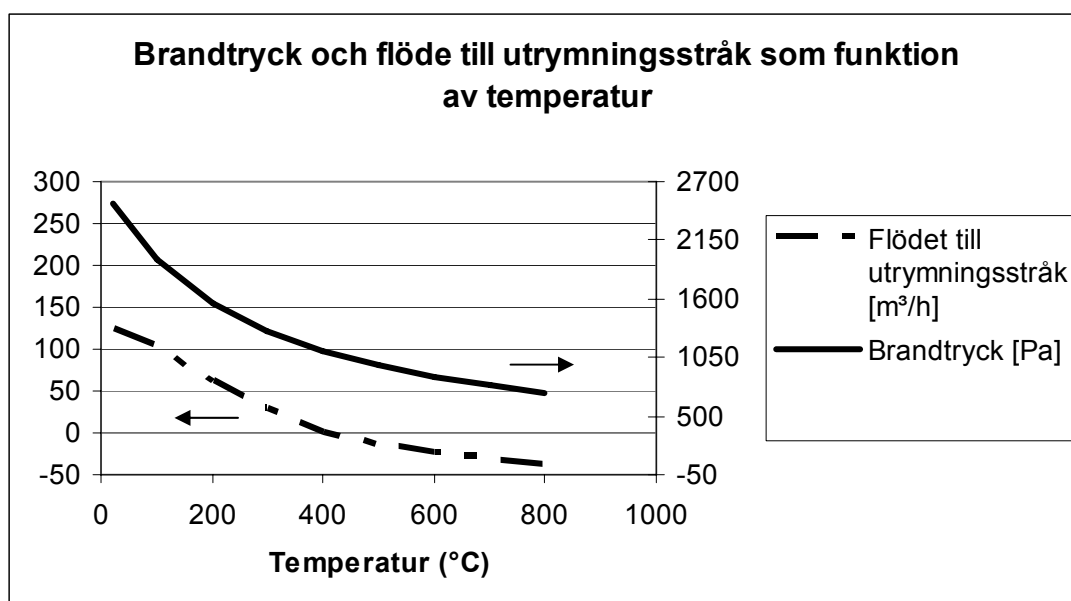
I övriga scenariers känslighetsanalyser ändrades värdet på en ingående variabel för att studera om felaktiga antaganden leder till kritiska förhållanden. Här studeras hur brandtrycket förändras med olika brandtemperaturer i brandrummet.

9.5.1. Förändring i temperatur

Med ökad temperatur minskar brandtrycket i rummet. Detta ökar risken att det faktiskt kan uppstå brandgasspridning i ventilationssystemet, då rummets öppningar inte klarar ett brandtryck på 2500 Pa. Brandflödet som krävs för spridning till utrymningsstråket simulerades enligt tidigare till 4300 m³/h, för en temperatur på 20°C, och därför studerades olika temperaturer för detta flöde. Temperaturen varierades från 20°C till 800°C.

9.5.2. Resultat känslighetsanalys

Resultatet av simulering för olika temperaturer redovisas i figur 9.3.



Figur 9.3 Brandtrycket och flöde till utrymningsstråk som funktion av tiden för simulering i känslighetsanalysen.

Diagrammet visar hur brandtrycket och flödet ut till utrymningsstråket ändras med ökande temperatur. Brandflödet är satt till 4300 m³/h för hela simuleringen. Dörren antas hålla för ett tryck på 900 Pa vilket uppnås vid en temperatur på ca 600°C. Vid denna temperatur visar dock simuleringen att flödet till utrymningsstråket är negativt. Så länge flödet är positivt läcker det ut brandgaser i utrymningsstråket. Diagrammet visar att det inte finns någon risk för brandgasspridning då det inte finns flöde ut i utrymningsstråket samtidigt som brandtrycket är under gränsvärdet för vad branddörren klarar av.

Gränsvärdet för brandtryck gäller endast dörren och inte de bägge portarna till containrarna, som troligtvis har ett lägre gränsvärde. Simuleringen gäller för ett konstant brandflöde på 4300 m³/h. Ökas brandflödet ytterligare stiger brandtrycket och sannolikheten för ett positivt flöde ut i utrymningsstråket.

9.6. Slutsats

Hela scenariot med brandgasspridning ut i utrymningsstråket kan ses som osannolikt. Vid simuleringen har branden fått tillväxa ostört i soprummet för att studera hur ventilationen påverkas utan inblandning av detektion eller sprinklersystem. Även om detta i sig kan vara ett fall för en känslighetsanalys har dessa tagits ur resonemanget. Vid brand stängs även all ventilation av i objektet vilket ytterligare förändrar förutsättningarna för studien. Dessutom finns det ett brandspjäll mellan soprummet och utrymningsstråket. Detta antas även det inte störa spridning av brandgaser. Anledningen till att ventilationssimulering och beräkningar gjorts är helt av studiemässiga skäl då det ingår i kursen. PFS är ett bra hjälpmedel för att studera ventilationsflöden och ger brandingenjörerna en möjlighet att studera flöden i ventilation och även för sprinklersystem.

I ordinarie scenario blev brandflödet 4300 m³/h med ett högt brandtryck i rummet vilket leder till att konstruktionen inte håller. Känslighetsanalysen, där förhöjd temperatur fortfarande

möjliggjorde brandgasspridning, visar att brandtrycket vid 800°C sänkts så pass att rummets dörrar och portar kan klara av det.

Det finns alltså en möjlighet att brandgaser sprids till utrymningsstråket även om detta ses som ytterst osannolikt då hela studien i sig är en känslighetsanalys där alla brandtekniska installationer satts ur funktion som en förutsättning redan från början. Risken att brandgaser sprids från soprummet till intilliggande lager bedöms större och mer sannolik. Ifrån lagret finns möjligheten att brandgaserna sedan sprider sig vidare till följd av den öppna konstruktionen i byggnaden. Dock bedöms påföljderna av detta dimensioneras av de i scenario 3, brand i butikslager, och kommer därför inte att studeras vidare för detta scenario.

Placering av ett överluftsdon mellan lagret och soprummet, som är en egen brandcell, ifrågasättes av författarna då det verkar egendomligt. Att det finns kan bero på att det finns ett brandspjäll, vilket inte framgår av ritningarna. Om ritningarna vilket detta baseras på stämmer bör detta ses över av Center Syds organisation.

10. Slutsatser och slututvärdering av personsäkerheten

De i rapporten redovisade tiderna har och skall betraktas som riktvärden för bedömningar av personsäkerheten i Center Syd. Rapporten tar inte förbrinntiden i beaktning vilket kan anses vara på den säkra sidan då det i verkligheten borde finnas mer tid tillgodo än vad som anges i rapporten. Det är därför osäkert om en dimensionerande brand överhuvudtaget uppstår på grund av tidig upptäckt och bekämpning.

Den genomförda brandtekniska riskvärderingen visar att Center Syd har en god personsäkerhet vid brand. I ordinarie scenarier är utrymning avslutad innan kritiska förhållanden uppstår och det gäller generellt även i de fall som omfattas av känslighetsanalysen. Detta kan till stor del tillskrivas väldimensionerade och tilltagna utrymningsvägar samt ett brandlarmssystem med rökdetektorer och ett informativt talat utrymningsmeddelande. Sprinklersystemet har en betydande roll främst för att begränsa egendomsskador men som visat också för personsäkerheten.

Det finns ett stort antal breda utrymningsvägar i centrat vilket tillåter en snabb och effektiv utrymning. Vägledande markeringar är genomlysta och sitter synligt, vilket gör det lättare för en besökare att orientera sig. De utrymningsvägar som utgår från gångstråken och utgör egna brandceller är i mycket gott skick och fria från hinder, vilket troligtvis beror på det bötessystem som medför att en butik kan beläggas med böter om de bryter mot uppsatta ordningsregler. Skicket på de utrymningsvägar som går igenom butiker är av betydligt mer varierande karaktär då det är upp till varje enskild ägare att hålla efter dessa. Figur 10.1 visar två utrymningsvägar genom butikslager som har mycket dålig tillgänglighet. Det är av yttersta vikt att butiksägaren tar fullt ansvar för att hålla dessa utrymningsvägar fria från hinder för att underlätta utrymning. Utbildning av personal kan öka förståelsen av vikten med fria utrymningsvägar.



Figur 10.1 Exempel på begränsad framkomlighet i utrymningsvägar genom två olika butikers lager.

Rapporten har genomgående förutsatt ett fungerande brand- och utrymningslarm varför det med hänsyn till resultaten är av största vikt att dess funktion och hörbarhet regelbundet kontrolleras.

Byggnaden är helsprinklad med en sprinklerhöjd på ca 6 meter i de flesta utrymmena. Sprinklerhuvuden som är placerade på denna höjd bedöms i ett flertal utrymmen ha en mycket begränsad effekt vid aktivering liksom beskrivits i avsnitt 2.3.4. Sprinklerhuvuden som är placerade i innertak förutspås ha en mycket god möjlighet att släcka eller begränsa en brand vilket ger bättre förutsättningar för en säker utrymning. Center Syds sprinklerhuvuden har i dagsläget ett RTI-värde på $100 \text{ (ms)}^{1/2}$. Ett lägre RTI-värde skulle, under samma förutsättningar, möjliggöra att systemet utlöser tidigare vilket ökar chansen att branden kan bekämpas i ett tidigt stadium. Detta skulle inte bara innebära möjligheten till en säkrare utrymning utan även mindre materiella skador.

Rapporten har ej undersökt huruvida personalen på Center Syd kan inverka positivt på antingen brandförloppet eller utrymningen. Här avses insatser som att exempelvis att aktivera utrymningslarmet manuellt, använda en handbrandsläckare i ett tidigt skede eller att uppmana och hänvisa besökare till närmaste utrymningsväg. Försök från varuhus visar utrymmandes besluts- och reaktionstid kan förbättras vid personals agerande och därmed förkorta den totala utrymningstiden (Frantzich, 2001). Utbildning av personal kan öka förståelsen för den roll de har vid utrymning och vad de positiva effekterna av ett beslutsamt och korrekt agerande kan bli.

11. Åtgärdsförslag

För att förbättra och säkerställa resultaten i denna rapport kommer det härnäst att presenteras råd till ägare och nyttjare, läs lokalnyttjare, av Center Syd. Råden har delats upp i skall och bör för att särskilja råd som måste åtgärdas från dem som borde åtgöras, för att byggnaden skall kunna anses vara säker. Råden kommer nedan att ges i punktform för respektive kategori. Därefter följer ett djupare resonemang kring respektive råd. Råden är genomgående listade i prioritetsordning inom respektive kategori.

För att säkerställa personsäkerheten i Center Syd och resultaten i denna rapport *skall*:

- utrymningsvägar hållas fria, d v s inte på något sätt vara blockerade
- utrymningslarmets samt sprinklersystemets funktion regelbundet kontrolleras
- vägledande markeringars funktion, utformning och synlighet kontrolleras regelbundet så att utrymningsvägar är lätta att hitta och identifiera
- utrymningsvägarna vara utformade så att de inte hindrar utrymning, d v s dörrar skall vara utåtgående i utrymningsriktningen, lätt öppningsbara och lätt identifierbara som utgångar

För att förbättra personsäkerheten i Center Syd och resultaten i denna rapport *bör*:

- personalen utbildas i brandsäkerhet och rutiner för brandsäkerhet upprättas
- rökdetektorer installeras under innertak där sådant finns
- sprinklerbulber med lägre RTI-värde installeras, förslagsvis RTI 50 eller lägre
- utrymningsövning ske i samarbete med räddningstjänst

11.1. Fria utrymningsvägar

Det är av stor vikt att utrymningsvägar hålls fria. En blockerad utrymningsväg kan resultera i ett lägre personflöde alternativt att utrymmande måste välja en ny väg. Båda effekterna leder till längre utrymningstider vilket ökar risken för att personer exponeras för kritiska förhållanden. I värsta fall kan en helt blockerad utrymningsväg beröva utrymmande från alla möjligheter att ta sig ur en lokal. Konsekvenserna av detta talar för sig själva.

I Boverkets byggregler (Boverket, 2006a, 5:341) framgår det att utrymningsvägar skall ha sådan framkomlighet att de kan betjäna det antal personer de är avsedda för. Kravet kan inte anses uppfyllt om utrymningsvägarna ser ut som i figur 10.1, se kapitel 10. Ett sätt att få bukt med problemet kan vara att utbilda personalen och upprätta rutiner för daglig kontroll av brandskyddet.

11.2. Utrymningslarmets och sprinklersystemets funktion

I Boverkets byggregler (Boverket, 2006a, 5:3711) framgår det att samlingslokaler som Center Syd skall förses med utrymningslarm som aktiveras automatiskt eller från bemannad plats vid brandindikation. Utrymningslarmet skall nå personer med information om lämpliga åtgärder vid utrymning i de delar av byggnaden där larmet är installerat. Larmet skall även vara anpassat efter behovet av information till dessa personer. Det talade meddelandet bör utformas enligt SS-EN 60849 (Boverket, 2006a, 5:3542). I de lokaler där personer inte förväntas ha kännedom om utrymningslarmet bör larmet utformas med ljus och ljud, ex. solarier.

Sprinklersystemet kan ha avgörande betydelse för utrymning i butiker med innertak. För att säkerställa personsäkerheten i dessa butiker skall det befintliga sprinklersystemets funktion och kondition ses över och underhållas vid behov.

11.3. Vägledande markeringars funktion, utformning och synlighet

För att besökare ska kunna hitta och identifiera utrymningsvägar krävs att de är tydligt skyltade med vägledande markeringar. En utrymningsväg som ej används ger en mindre effektiv utrymning och utsätter i onödan besökare för eventuellt ohälsosamma förhållanden under en längre tid vid brand.

I Boverkets byggregler (Boverket, 2006a, 5:351) framgår det att vägledande markeringar, utrymningsskyltar, skall finnas då besökare kan förväntas ha dålig lokalkännedom. De skall finnas i sådan omfattning och vara placerade så att besökare inte hindras vid utrymning på grund av orienteringssvårigheter. Skyltar skall vara belysta eller genomlysta gröna skivor med tydliga, vita symboler (Boverket, 2006a, 5:351).

Det är viktigt att butikspersonalen tar ansvar för att de lampor som inte fungerar i butikens utrymningsskyltar byts ut, se figur 10.1. Personalutbildning kan vara nödvändigt för att öka förståelsen för vikten av utrymningsskyltar.

Enligt Frantzich (2001) måste skyltars omgivning beaktas så att inte informationsflödet blir för stort. Exempelvis kan en utrymningsskylt ”drunkna” i färger och bilder, se figur 6.2, vilket kan resultera i att en nödutgång inte upptäcks av besökare.

11.4. Utformning av utrymningsvägar

För att inte hindra utrymning eller skapa köbildning skall dörrar till eller i utrymningsvägar vara utåtgående i utrymningens riktning och vara lätta att identifiera (Boverket, 2006a, 5:342). Dörrar bör därför exempelvis inte gå i omgivningens färger och vara utsmyckad med klistermärken, se figur 6.2, utan snarare avvika från omgivningen i färg och form.

Center Syds dörrar till eller i utrymningsvägar bör kunna öppnas genom enbart ett tryck på dörren eller med ett lättmanövrerat trycke (Boverket, 2006a, 5:342).

11.5. Utbildning av personal

All personal som är anställda vid Center Syd, eller som anställs i framtiden, bör närvara vid någon slags genomgång av exempelvis utrymningsrutiner, utrymningslarmets utformning, utrymningsvägar samt hantering/placering av släckutrustning. Personalens agerande vid brand kan resultera i att branden bekämpas i ett tidigt skede eller att utrymningslarmet utlöses manuellt varpå varseblivningstiden kan förkortas.

Enligt Frantzich (2001) kan utrymning fördröjas om inte meddelandet om utrymning kommer från en person det väntas komma ifrån. I detta fall kan besökare uppfatta en uppmaning om utrymning snabbare om den kommer från personalen kontra en annan besökare. Utbildning kan förstärka förståelsen av den auktoritära roll som personalen kan komma att få i händelse av brand.

11.6. Rökdetektorer under innertak

Det bör installeras rökdetektorer under innertaket i de butiker där sådant finns. Vid brand i Center Syd kommer majoriteten av besökarna inte själva att se branden. Det är därför av stor

vikt att förkorta varseblivningstiden i största möjliga utsträckning genom tidigare detektion. Simuleringar i DETACT-T2, se bilaga I.1 för förutsättningar, visar en tidsvinst mellan en halv till två minuter för rökdetektorer placerade på 3 meter istället för 6 meter.

11.7. Sprinklerbulber med lägre RTI-värde

En tidig sprinkleraktivering möjliggör att en brand kan bekämpas i ett tidigt skede medan effektutvecklingen fortfarande är relativt låg. Detta är inte bara intressant ur personsäkerhetsaspekt utan även för att minimera materiella kostnader. Ett sätt att möjliggöra en tidigare sprinkleraktivering är att installera sprinklerbulbers med lägre RTI-värde.

Center Syd är sprinklat i hela byggnaden. Problem kan dock uppstå då det på många ställen finns byggnadstekniska installationer som effektivt kan hindra vatten från en sprinkler att kyla en brand. Det är orimligt att avlägsna dessa installationer, men ett sätt att öka chanserna för en lyckad släckinsats är att ersätta dagens sprinklerbulber, med RTI-värde 100, mot sprinklerbulber med lägre RTI-värde. Simuleringar i DETACT-T2, se bilaga I.2 för förutsättningar, visar att aktiveringstiden kan minskas med ungefär 30 sekunder om bulber med RTI-värde 50 installeras.

11.8. Utrymningsövning

På grund av objektets storlek och utformning bör räddningstjänsten och Center Syds personal tillåtas skaffa sig en uppfattning om hur det går till i ett skarpt läge genom en större, icke aviserad utrymningsövning under ordinarie öppettider. Har räddningstjänsten praktisk erfarenhet av objektet ökar chansen för en lyckad räddningsinsats och eventuell livräddning. Operativ personal på räddningstjänsten Löddeköpinge har uttryckligen önskat detta.

Referenser

Böcker och rapporter

- Babrauskas, V (2003) *Ignition Handbook - principles and applications to fire safety engineering, fire investigation, risk management and forensic science*. Fire Science Publishers. Issaquah.
- Bennetts, I D (et al.) (1997) *Fire Safety in Shopping Centres*. Broken Hill Proprietary Company. Australien.
- Brandskyddshandboken* (2005). Rapport 3134. Brandteknik, Lunds tekniska högskola. Lund.
- Drysdale, D (2005). *An Introduction to Fire Dynamics*. John Wiley & Sons. Second Edition. Norfolk.
- Evans, D D & Stroup, D W (1985) *Methods to Calculate the Response Time of Heat and Smoke Detectors Installed Below Large Unobstructed Ceilings*. National Bureau of Standards. Gaithersburg.
- Frantzich, H (2001) *Tid för utrymning vid brand P21-365/01*. Räddningsverket. Karlstad.
- Hultqvist, H (2000) *Simulating Visibility in HAZARD I / CFAST*. Rapport 7010. Brandteknik, Lunds tekniska högskola. Lund.
- ISO/WD 13390* (1995). International Organization for Standardization. Genève.
- Jensen, L (2002) *Brandgasspridning via ventilationssystem*. KFS AB. Lund.
- Jones, W W (et al.) (2006) *CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) - Technical Reference Guide*. U.S. Government Printing Office. Washington.
- Karlsson, B & Quintiere, J G (2000) *Enclosure Fire Dynamics*. CRC Press LLC. Boca Raton.
- Flammable toys – Market survey of items such as masks, wigs, costumes and soft toys, 1997* (1999). Rapport 1999:18. Konsumentverket. Stockholm.
- NFPA 92B – Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Areas* (1995). National Fire Protection Association. Quincy.
- Nilsson, D (2006) *Utförning av talade utrymningsmeddelanden*. Rapport 3139. Brandteknik, Lunds tekniska högskola. Lund.
- Nilsson, D & Holmstedt, G (2007) *Kompendium i Aktiva system - Detektion*. Rapport 7030. Brandteknik, Lunds tekniska högskola. Lund.
- Peacock, R D (et al.) (2005) *CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) - Users Guide*. U.S. Government Printing Office. Washington.
- Regelsamling för byggande – Boverkets byggregler, BBR, BFS 1993:57 med ändringar till och med 2006:12* (2006a). Boverket. Karlskrona.
- SFPE – Handbook of Fire Protection Engineering* (2002). Tredje utgåvan. National Fire Protection Association. Quincy.
- Utrymningsdimensionering* (2006b). Boverket. Karlskrona.

Företagsinterna källor

Brandskyddsbeskrivning – Ombyggnad och tillbyggnad av Center Syd Löddeköpinge.
Fire AB. Version-6 ändrad 2007-08-10.

Muntliga källor

Abu-Hajar, H. Fastighetsköpare. Center Syd Shoppingcenter. 2007-09-17.
Gojkovic, D. Universitetsadjunkt. Brandteknik, Lunds tekniska högskola. 2007-09-19.
Föreläsning FAST, VBR054 – Brandteknisk riskvärdering. Lund.
Jensen, L. Professor. Installationsteknik, Lunds tekniska högskola. 2007-11-13. Lund.
Nilsson, D. Doktorand. Brandteknik, Lunds tekniska högskola. 2007-09-25. Föreläsning
Bränder och människors beteende, VBR054 – Brandteknisk riskvärdering. Lund.
Röjås, J. Brandingenjör. Fire AB. 2007-09-17.
Vallenström, G. Sprinklerkonsult. PQR VVS AB. 2007-10-03.

Elektroniska källor

www.bfrl.nist.gov/866/fmabbs.html#DETTACTT2. *BFRL: Fire Modeling Programs.*
NIST. 2007-11-09.
www.boverket.se/templates/Page.aspx?id=1789&epslanguage=SV. *Vad menas med nettoarea
vid utrymningsdimensionering?*. 2007-10-07.
www.centersyd.se. *Center Syd*. 2007-09-25.
www.lund.se/templates/Page___36517.aspx. *Lunds Renhållningsverk - Avfall & återvinning.*
2007-10-12.
www.raddningsverket.se/statistik. *Statistik och IDA*. 2007-11-14.
www.pwsab.se/pwsnordic/show_product.asp?category_id=16&product_id=6.
PWSAB.se. 2007-10-12.

BILAGOR

Bilaga A – Val av brandscenarier

Här följer en beskrivning av övriga intressanta scenarier som valdes ut vid objektsbesöket samt anledningar till varför de ej valts till dimensionerande scenarier. I slutet av denna bilaga ges en översiktsbild, se figur A.1, av Center Syd där valda och tänkta scenarier är markerade. Sist i bilagan presenteras figur A.2 där författarnas egen sammanställning av betänkta scenariers bedömda personrisk vid brand återges.

De butiker som inte nämns nedan anses dimensioneras av scenarierna 1 Brand i leksaksaffär samt 2 Brand i butikslager.

A.1 Klädaffär (E)

En brand i klädaffären valdes bort då butiksytan är väldigt liten och närvarande personer därmed förväntas upptäcka branden i ett tidigt stadium. Branden kommer därför inte utgöra någon fara för personer då dessa kan förväntas ha utrymt innan branden når kritiska nivåer, trots att brandtillväxten anses hög.

De personer som kan tänkas vistas i intilliggande butiker förväntas kunna utrymma utan svårigheter, då en brand i klädaffär (E) inte bedöms kunna blockera utrymningsvägar i den mån att det påverkar personsäkerheten.

A.2 Klädaffär (B)

Denna butik anses dimensioneras av vald butiksbrand. Detta även om butiken ser lite annorlunda ut då den har monterat heltäckande innertak, finns både detektorer och sprinklers installerat under innertaket. Dels på grund av dessa aktiva system, dels på grund av att brandspridningsrisken och brandbelastningen anses vara relativt sett lägre än vald butiksbrand kommer butiken ej utredas vidare.

A.3 Ombyggnadsområde (A)

Verksamheten är inte typisk för ett köpcentrum. Området är avspärrat för personer utan behörighetskrav och brandbelastningen bedöms som låg. De två sistnämnda faktorerna gör att risken för anlagd brand, vilket annars är den vanligaste brandorsaken i köpcentra (Räddningsverket, Internetkälla), bedöms som låg. Heta arbeten är en möjlig antändningskälla för byggområdet. Dock bedöms personsäkerheten vara hög då personalen är utbildad, har god lokalkännedom och är väl medvetna om riskerna för uppkomst av brand på en byggarbetsplats. Vid brand är byggnadsområdet av konstruktionsskäl för tillfället överdimensionerat med avseende på brandgasventilation då stora delar av taket öppnats upp och lyfts för att ge plats åt en andra våning. Ett vanligt problem vid ombyggnationer och renoveringar är att aktiva system tillfälligt kan behöva stängas av. Med ovan förda resonemang gällande personsäkerhet i kombination med brandgasventilationen anses detta tänkbara scenario dock dimensioneras av vald butikslagerbrand.

A.4 Lagerplan ett (F)

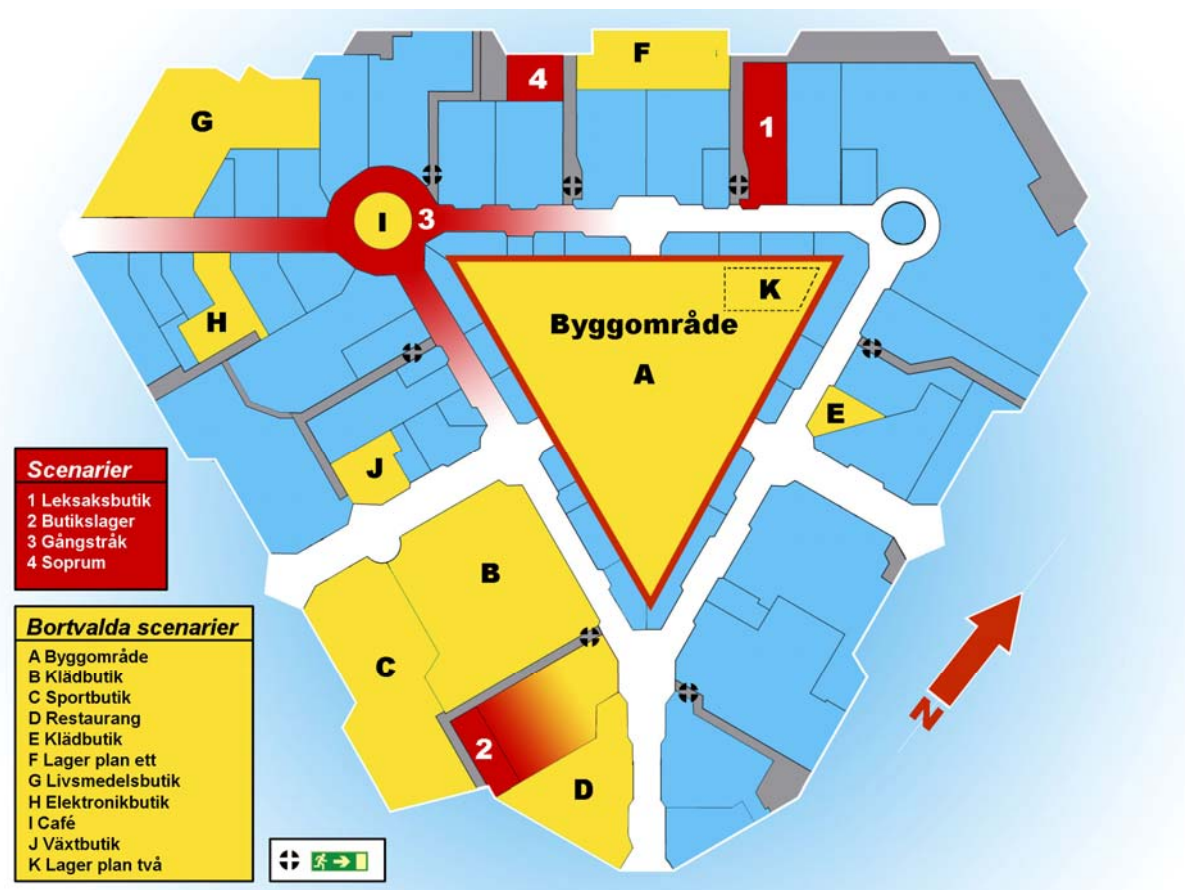
Även om det aktuella lagret har en relativt hög brandbelastning och möjlighet till att branden skulle kunna tillväxa under en längre tid utan upptäckt anses brand här inte utgöra någon överhängande personsäkerhetsrisk. Lagret är avgränsat med en brandklassad vägg till intilliggande butiker och persontätheten är mycket låg. Den personal som vistas i lagret antas ha mycket god lokalkännedom.

A.5 Lager plan två (K)

Vid en brand på plan två har bedömningen gjorts att denna inte kommer att utgöra någon större fara för personsäkerheten på Center Syd i jämförelse med valda brandscenarier. Det vistas väldigt få personer i dessa utrymmen och de som eventuellt vistas här förväntas ha god lokalkännedom. Brandgaserna som kan tänkas bildas här förväntas inte påverka de publika utrymmena i större utsträckning än vad bränder i försäljningslokaler på plan 1 skulle göra.

A.6 Restaurang (D)

Verksamheten skiljer sig från tidigare nämnda möjliga scenarier. Detta skulle kunna innebära ett något annorlunda händelseutveckling vid uppkomst av brand i köket. Här förväntas personalen ha god lokalkännedom och på grund av detta, utan större risk, kunna utrymma säkert. Den del där persontätheten kommer vara högst är dock i serveringsdelen och här kan utrymningsmöjligheterna jämföras med tidigare valda butiker och dess lokalgeometri. Köket är utrustat med koldioxidsläckare.



Figur A.1 Centrumkarta med valda och bortvalda scenarier.
(Modifierad centrumkarta, Center Syd, Internetkälla)

Valda brandscenarier markerade med grå fyllning

Verksamhet	Brandbelastning	Brandtillväxt	Personantal	Detektion	Sprinkler (funktion)	Utrymning	Sammanvägd personfara
Byggnation	Låg	Låg	Låg	Medel	Låg	Hög	Låg
Byggnationsområden	Låg	Låg	Låg	Medel	Låg	Hög	Låg
Förråd/Lager	Hög	Hög	Låg	Medel	Låg	Hög	Låg
Förråd plan 1*	Hög	Hög	Låg	Medel	Låg	Hög	Låg
Förråd plan 2	Hög	Hög	Hög	Medel	Låg	Medel	Hög
Team Sportias lager	Hög	Hög	Hög	Medel	Låg	Medel	Hög
Försäljning	Hög	Hög	Hög	Medel**	Medel**	Medel	Hög
BR leksaker	Hög	Hög	Hög	Hög	Låg	Hög	Medel
Carlings	Medel	Låg	Hög	Hög	Hög	Hög	Medel
HM	Hög	Medel	Medel	Hög	Låg	Hög	Medel
Kjell & Co + lager	Låg	Låg	Hög	Hög	Hög	Hög	Medel
Systembolaget	Medel	Låg	Hög	Medel	Låg	Hög	Låg
Växtriket	Låg	Låg	Hög	Medel	Låg	Hög	Låg
Restaurang	Låg	Låg	Hög	Hög	Låg	Hög	Medel
Graffiti Café***	Låg	Medel	Låg	Hög	Medel	Hög	Låg
McDonald's	Hög	Hög	Låg	Hög	Låg	Hög	Låg
Sopantering	Hög	Hög	Låg	Medel	Låg	Hög	Låg
Soprum	Låg	Låg	Hög	Hög	Låg	Hög	Låg
Allmänna ytor	Låg	Låg	Hög	Hög	Låg	Hög	Låg
Gångstråk plan 1***	Låg	Låg	Hög	Hög	Låg	Hög	Låg

* Placerad vägg i vägg med Malmströms med brandteknisk avskijning. Placerad i anslutning till två större utrymningsvägar, avskilda med självstängande dörrar.

** BR Leksakers innetak har en utformning som gör att en första bedömning av dess genomsläpplighet är mycket svår.

Litterära studier, försök eller handledning behövs.

*** De två lokalerna är sammanvägda till ett scenario kallat "Brand i gångstråk"

Figur A.2 Författarnas egen sammanställning av betänkta scenariernas bedömda personrisk vid brand.

Bilaga B – Ekvationer för beräkningar

I denna bilaga återges beräkningsgången och förklaringar till de ekvationer som använts vid fler än ett scenario. Övriga ekvationer har vid behov beskrivits i de respektive scenarier där de används.

B.1 Ventilationskontroll

För den fullt utvecklade branden kan den maximala effektutvecklingen i en lokal vid ventilationskontroll beräknas enligt nedan.

Flödes hastigheten av luft in genom en öppning kan approximeras med ekvationen

$$\dot{m}_a = 0.5 \cdot A_o \cdot \sqrt{H_o} \quad [kg/s] \quad (\text{ekv B.1})$$

där A_o är öppningens area i m^2 och H_o är öppningens höjd i m.

Om lokalen har fler än en öppning kan en total area och en viktad total höjd beräknas enligt

$$A_o = A_1 + A_2 + \dots + A_n \quad (\text{ekv B.2})$$

$$H_o = (A_1 \cdot H_1 + A_2 \cdot H_2 + \dots + A_n \cdot H_n) / A_o \quad (\text{ekv B.3})$$

Då ett kilo förbränt syre kan utveckla 13.2 MJ/kg och massprocenten syre i luft är 23 %, kan ovanstående ekvationer omskrivas för att ge den maximala effektutvecklingen i lokalen, förutsatt att allt syre förbränns

$$\dot{Q} = 1.518 \cdot A_o \cdot \sqrt{H_o} \quad [MW] \quad (\text{ekv B.4})$$

(Karlsson B & Quintiere J G, 2000)

B.2 Siktberäkningar för det helt omblandade fallet

I en del scenarier har handberäkningar gjorts för att bedöma tiden till en siktbegränsning som motsvarar 10 meter enligt de kritiska förhållandena i som återgetts i kapitel 5. Dessa beräkningar bygger på antagandet om ett helt omblandat fall som en följd av att brandgaserna inte har tillräcklig termisk stigningskraft för att bilda en tvåzons-modell. Vidare antas att inga brandgaser lämnar den undersökta volymen och att brandgaserna är jämnt fördelade i densamma.

En sikt på 10 meter motsvarar en optisk densitet per meter, D_L , på 0.23 [m^{-1}] och har beräknats med formeln

$$sikt = \frac{\ln 10}{D_L}$$

där sikten ges i meter. Den massa bränsle, m , som måste brinna av för att ge detta kritiska förhållande har därefter beräknats med formeln

$$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m} \quad (\text{ekv B.7})$$

där bränslets rökpotential, D_0 , ges i [m^2/g] och undersökt volym, V , ges i m^3 .

(Nilsson D & Holmstedt G, 2007)

Den beräknade massan, m , som resulterar i de kritiska förhållandena har en lagrad mängd energi, Q i kJ, som frigörs enligt

$$Q = m \cdot \Delta H_c \cdot \chi \quad (\text{ekv B.8})$$

där ΔH_c är bränslets förbränningsvärme i [kJ/g] och χ är förbränningseffektiviteten, i beräkningarna antagen till 0.7.

Med kännedom om brandens tillväxt och fortsatta utveckling kan tiden det tar att utveckla denna energi ges av

$$Q = \int_0^{t_1} (\alpha \cdot t^2) dt + Q_{\max} (t_2 - t_1) \quad \Rightarrow \quad Q = \frac{\alpha \cdot t_1^3}{3} + Q_{\max} \cdot (t_2 - t_1) \quad (\text{ekv B.9})$$

Där t_1 är tillväxttiden och där effektutvecklingen är konstant mellan tiden t_1 och t_2 .

Bilaga C – Brandförlopp

C.1 Programbeskrivning DETACT-T2

DETECT-T2 är ett program för beräkning av sprinklers, värmedetektorers och rökdetektorers aktiveringstid. Användaren anger omgivningstemperatur, RTI-värde för detektor/sprinklern, aktiveringstemperatur, takhöjd, avstånd mellan detektorer/sprinklers samt brandens tillväxthastighet enligt sambandet α^2 . De utdata som ges av programmet är aktiveringstid för detektor/sprinklern samt effektutvecklingen vid denna tidpunkt. DETACT-T2 antar att simulerade komponenter är placerade i ett relativt stort utrymme. Vidare antas att komponenterna endast värms upp via konvektion från takstrålen av brandgaser. (NIST, Internetkälla)

Programmet kan användas vid beräkning av aktiveringstid för rökdetektorer. Evans och Stroup (1985) har beskrivit en metod för simulering av rökdetektorer där detektorns RTI-värde skall sättas näst intill noll med en aktiveringstemperatur på 13 grader över rumstemperatur.

C.2 Programbeskrivning PFS

Datorprogrammet PFS används för beräkningar av flödesproblem i godtyckliga flödessystem. Programmet kan användas för dimensionering med givna flöden eller undersökning med okända flöden. Programmet består i huvudsak av en texteditor som kan användas för att variera indata och skapa enkla grafiska flödessystem.

Bilaga D – Utrymning

D.1 Generella förutsättningar för utrymningsberäkningar

Persontäthet

- Persontätheten har för alla publika ytor satts till 0,5 personer/m² nettoarea, utifrån rekommendationer från Boverket (Utrymningsdimensionering, 2006b).
- Inredning har simulerats i de fall de utgörs av fast inredning/byggnadsdelar i form av mellanväggar, pelare mm. Butiksinredning och kassalinjer simuleras ej då Boverket gör skillnad i sin beskrivning av uttrycket nettoarea, se punkt ovan, beroende på om golvyta upptas av fast inredning eller butiksinredning. (Boverket, Internetkälla)
- Personerna antas i simuleringarna/beräkningarna vara jämnt fördelade över studerade ytor.

Val av utrymningsväg

- I de fall andra utrymningsvägar än ordinarie ingångar tillåtits användas för utrymning, antas 75 % av individerna använda sig av större kända ingångar och 25 % använda sig av närmast tillgängliga utrymningsväg. Detta grundas på att försök (Frantzich, 2001) visat att utrymmande gärna söker sig till redan kända utrymningsvägar, t.ex. ingången de kom ifrån eller utgång vid kassor.

Populationssammansättning i Simulex

- Populationssammansättningen i Simulex har valts till den förinställda kategorin ”Shoppers” bestående av 35 % Adult Male, 40 % Adult Female, 15 % Child och 10 % Elderly.

Responsetime (Responstid) i Simulex

- Individernas responsetime har satts till summan av varseblivningstiden respektive besluts- och reaktionstiden. Detta har gjorts för att få ut en resulterande utrymningstid ur Simulex.

D.2 Proqrambeskrivning Simulex

Simulex, version 2007.2.0.0, är ett datorprogram som utvecklats för utrymningssimuleringar. Från programmet kan CAD-ritningar importeras och kompletteras med information om utgångar, trappor och individer för önskat utrymningsscenario. Utifrån denna information visualiserar programmet en utrymning och beräknar förflyttningstider. Individerna kan, i varje scenario, ges olika förutsättningar för utrymning genom att de förses med information om gånghastighet, tidpunkt för påbörjad utrymning och val av utrymningsväg.

Simulex främsta styrkor ligger i:

- Snabba beräkningar av förflyttningstider, även för stora personantal.
- Förprogrammerade gånghastighetsvariationer utifrån individernas ålder, kön, kroppsstorlek, eventuella handikapp och avstånd till framförvarande. Variationerna är baserade på verkliga försök.
- Det grafiska användargränssnittet gör det lättare att identifiera köbildningar och flaskhalsar under en utrymning.

Simulex svagheter ligger i:

- Orealistiska köbildningar tenderar att uppstå kring öppningar och hörn. De simulerade individerna tar inte hänsyn till att utnyttja öppningars fulla bredd. Ingen hänsyn tas till att individer vid långa kötider eventuellt skulle nyttja en alternativ utrymningsväg.
- Individer med långsammare besluts- och reaktionstid kan ibland agera stoppklossar för andra utrymmande då de senare inte alltid rör sig runt ”stoppklossen”. Detsamma kan ske när individer eller grupper möts på väg förbi varandra.
- Noggrann placering av utgångar och länkar för trappor krävs för att individer inte skall ”fastna” och på så sätt förlänga den totala förflyttningstiden.

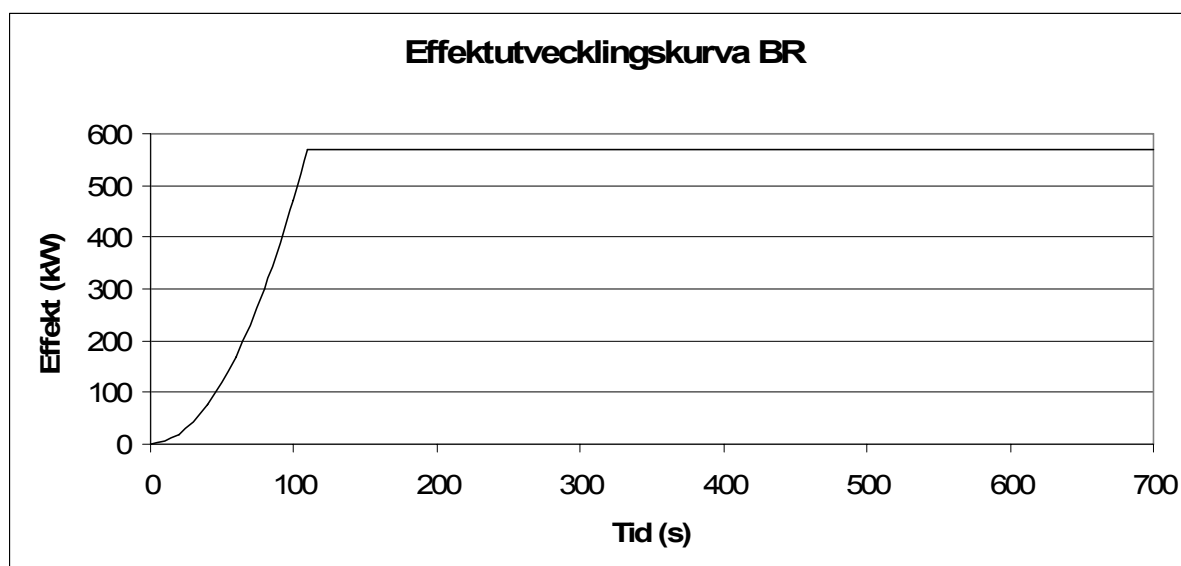
Ovan listade styrkor och svagheter har nyttjats respektive förmildrats för att göra utrymningssimuleringarna i Simulex mer realistiska.

Bilaga E – Brandscenario 1 - Brand i leksaksaffär

E.1 Brandförlopp

Den dimensionerande branden kommer i originalutförande att beskrivas som en αt^2 -brand med ett α -värde motsvarande fast, 0.047 kW/s^2 . Den valda tillväxthastigheten ges dels av litteratur (NFPA 92B tabell B-3, 1995) men även av visuella observationer på inspelade fullskaleförsök (Bennetts et al., 1997 – videoupptagning av fullskaleförsök). För denna brand erhålls en sprinkleraktivering, enligt CFAST, efter 110 sekunder. Detta kommer att resultera i en sprinklerkontrollerad brand med en maximal effektutveckling på ca 570 kW.

Effektutvecklingen antas sedan vara konstant under hela utrymningsförloppet. En bedömning av huruvida det finns tillräckligt med bränsle för att underhålla denna effektutveckling ges lite senare i samband med den ventilationskontrollerade branden. Den framtagna effektutvecklingskurvan för det ordinarie scenariot presenteras i figur E.1.



Figur E.1 Framtagen effektutvecklingskurva för ordinarie scenario, leksaksaffären.

I känslighetsanalysen beräknades sprinklerkontrollerade bränder enligt samma metodik som för originalscenariot. Om sprinklers inte utlöser kommer branden att växa till en maximal effektutveckling som bestäms av bränsle- eller syretillgången.

Den maximala effektutveckling som medges innan ventilationskontrollerade förhållanden uppstår har beräknats till 13.4 MW med ekvation B.4 enligt nedan. Vid beräkningen har det antagits att allt syre som strömmar in i lokalen kommer förbrukas vid förbränningen och att branden endast förses med tilluft via butikens huvudentré.

$$Q = 1.518 \cdot A_o \sqrt{H_o} \quad [MW]$$

där

$$A_o = 2.7 \times 2.2 \text{ m}^2$$

$$H_o = 2.2 \text{ m}$$

Effekten 13.4 MW kommer med valt α -värde, fast, att uppnås efter ungefär 530 sekunder. Branden blir därefter ventilationskontrollerad med en konstant effekt på 13.4 MW.

Den energimängd som frigörs enligt αt^2 -sambandet fram till dess att branden blir ventilationskontrollerad ges av

$$Q = \int_0^{530} \alpha t^2 dt = \left[\frac{\alpha t^3}{3} \right]_0^{530} = \frac{0.047 \text{ kW} / \text{s}^2 \cdot 530^3 \text{ s}^3}{3} = 2332406 \text{ kJ}$$

För att undersöka om branden blir bränslekontrollerad innan ventilationskontroll inträffar har ett antaget värde på förbränningsvärmets för bränslet i BR, $\Delta H_{c, BR}$, beräknats enligt nedan och sedan använts för att se hur stor massa bränsle som behövs för att nå ventilationskontroll.

Bränslesammansättning motiverades i avsnitt 6.2.

$$\Delta H_{c, cellulosa} = 16.09 \text{ kJ} / \text{g} \quad (\text{SFPE, 2002})$$

$$\Delta H_{c, polyester} = 39.85 \text{ kJ} / \text{g} \quad (\text{SFPE, 2002})$$

$$\Delta H_{c, BR} = 0.4 \cdot \Delta H_{c, cellulosa} + 0.6 \cdot \Delta H_{c, polyester} = 30.35 \text{ kJ} / \text{g}$$

Med kännedom om frigjord energimängd, Q , bränslets förbränningsvärme, $\Delta H_{c, BR}$, och en antagen förbränningseffektivitet på 0.7 kan bränslets massa för att uppnå 13.4 MW beräknas enligt

$$Q = m \cdot \Delta H_c \cdot \chi \quad \Rightarrow \quad m = \frac{Q}{\Delta H_c \cdot \chi} = \frac{2332406 \text{ kJ}}{30.35 \text{ kJ} / \text{g} \cdot 0.7} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 110 \text{ kg}$$

Denna mängd finns i butiken varför branden i det osprinklade scenariot kommer bli ventilationskontrollerad före den blir bränslekontrollerad.

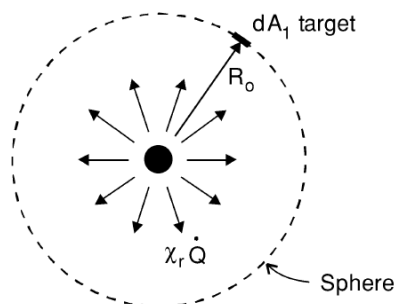
Vid framtagandet av tidigare beskrivna effektkurvor har det antagits att brandspridning sker i sådan utsträckning att det inte blir några uppehåll under tillväxtfasen. För att motivera detta antagande har grova strålningsberäkningar gjorts. Vad som söks är den effektutveckling som krävs för att möjliggöra förhållanden för självantändning av intilliggande bränslepaket, här antaget vara en intilliggande hylla med wellpappkartonger. Denna effektutveckling kan sedan användas för att se om det initiala bränslepaketet innehåller tillräckligt med energi för brandspridningen. Eventuell brandspridning via värmestrålning från flammor till ett specifikt mål har bedömts med hjälp av Modaks förenklade metod enligt nedan. Metoden tar inte hänsyn till att målets omgivning kan avge eller uppta strålning och därmed påverka den emottagna strålningen hos målet.

Målets emottagna strålning, q'' , ges av

$$q'' = \frac{\chi_r \cdot \dot{Q}}{4\pi \cdot R_0^2} \quad \left[\text{kW} / \text{m}^2 \right]$$

där R_0 avståndet till målet från flammans centrum i m, χ_r är andelen strålningsenergi av den totala utvecklade energin \dot{Q} i kW, se figur E.2. Beroende av bränsle kan χ_r variera från 0.15 för lågsotande bränslen upp till 0.60 för högsotande bränslen.

(Karlsson B & Quintiere J G, 2000)



Figur E.2 Förtydligande av ingående parametrar i Modaks förenklade metod.
(Karlsson B & Quintiere J G, 2000)

Beräkningen för det aktuella scenariot utgick från det initiala bränslepaket som i butiken har det minsta energiinnehållet och längsta avstånd till närmaste intilliggande hylla.

$$Q = \frac{q''_{\min} \cdot 4\pi \cdot R_0^2}{\chi_r} \text{ [kW]}$$

där

q''_{\min} = minsta strålningsintensitet som krävs för att wellpapp skall kunna självantända, 17 kW/m² (Babrauskas, 2003)

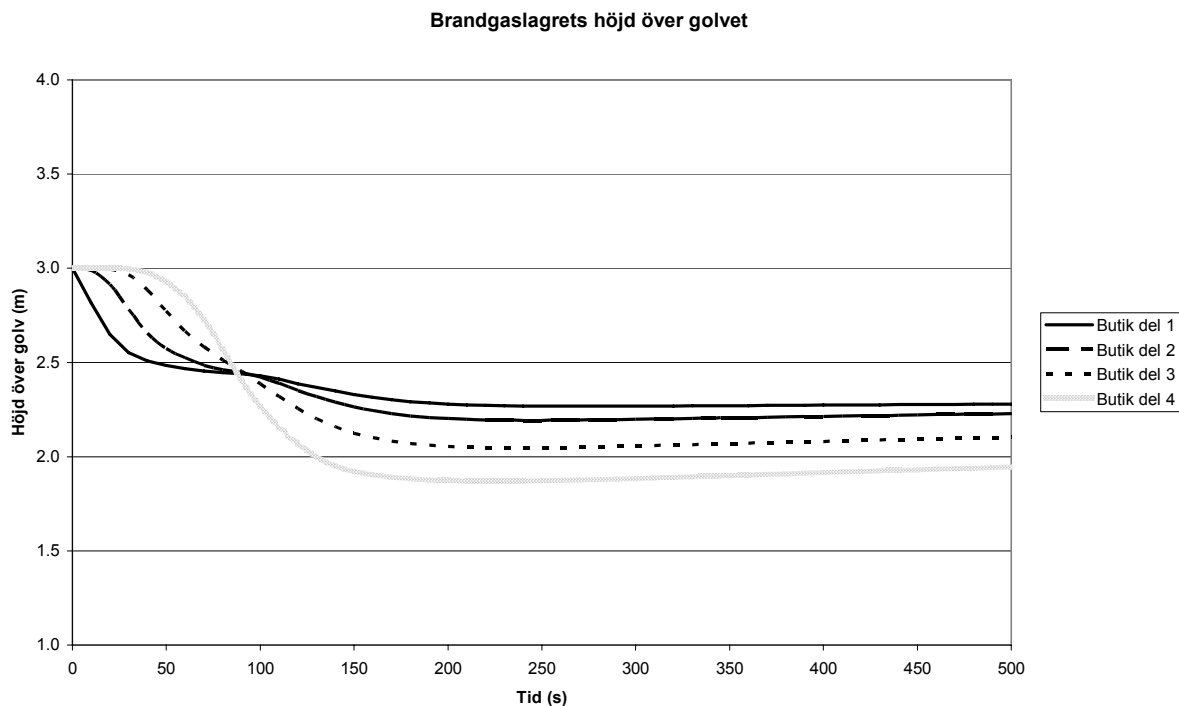
$R_0 = 2$ m

$\chi_r = 0.6$

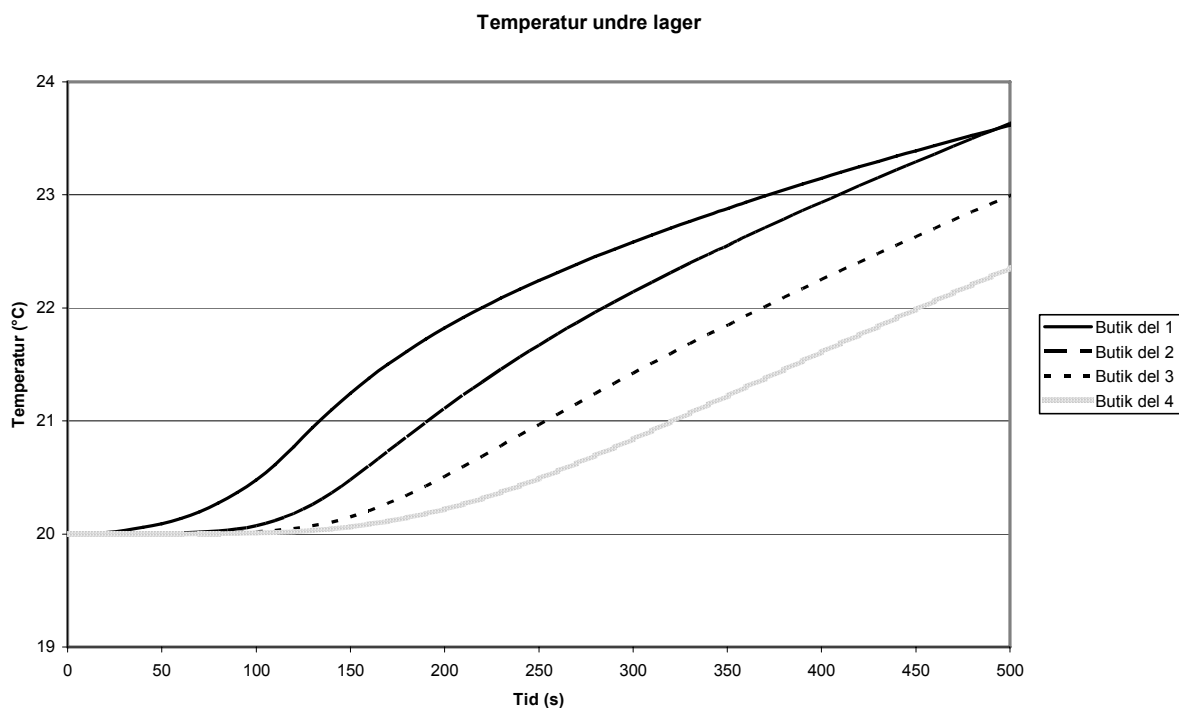
Den lägsta effektutveckling som krävs för att antända detta intilliggande bränslepaket blir med ovanstående värden ungefär 1400 kW. Detta skulle med tidigare beskriven räknegång motsvara energiinnehållet i ungefär 4 kg bränsle, vilket finns i det initiala bränslepaketet. Ovan gjorda strålningsberäkningar kan ge sken om att det intilliggande föremålet börjar brinna vid den tidpunkt då den minsta strålningsintensiteten för antändning uppnås. Egentligen behöver målet ofta utsättas för denna minsta strålningsintensitet under en viss tid för att antända, men det antas här att föremålet antänder direkt.

E.2 Resultat CFAST

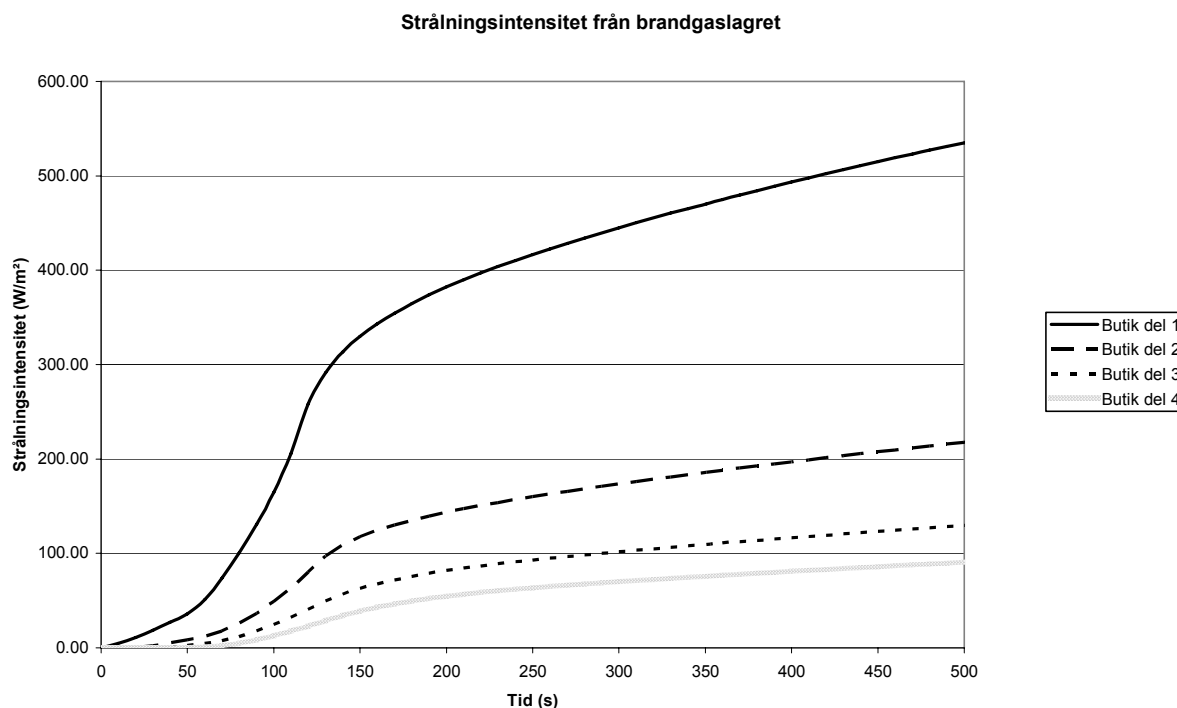
I figurena E.3 till E.5 redovisas erhållna resultat från gjorda simuleringar i CFAST för det ordinarie scenariot. Resultaten ges i form av grafer.



Figur E.3 Brandgaslagrets höjd över golvet som funktion av tiden, scenario 1.



Figur E.4 Temperatur i undre lagret som funktion av tiden, scenario 1.



Figur E.5 Strålningsintensitet som funktion av tiden, scenario 1.

E.3 Utrymningsberäkningar med handmodell

För att handberäkna $t_{\text{förflyttning}}$ har följande beräkningsuttryck använts:

$$t_{\text{förflyttning}} = t_{\text{gång}} + t_{\text{dörr}}$$

där

$$t_{\text{gång}} = \frac{L}{v}$$

$$t_{\text{dörr}} = \frac{N}{B \cdot f}$$

L är avståndet till utgången

v är personens aktuella gånghastighet (1.3 m/s)

N är antalet personer som skall passera en dörr

B är dörrens bredd

f är det dimensionerande personflödet genom dörren (1.1 pers/ms för kända dörrar, 0.75 pers/ms för okända)

(Brandskyddshandboken, 2005)

Då utrymning är möjligt genom såväl huvudentré som bakre nödgång och det antas att 75 % respektive 25 % utrymmer genom vardera, ges den längsta tid det tar för en person att gå till utrymningsvägen av

$$t_{gång} = \frac{L}{v} = \frac{27m}{1.3m/s} = 21s$$

Den längsta tiden för dörrpassage kan visas vara passagen för huvudentrén genom

$$t_{dörr} = \frac{N}{B \cdot f} = \frac{0.75 \cdot 240m^2 \cdot 0.5pers/m^2}{3m \cdot 1.1pers/ms} = 31s$$

Varseblivningstiden och beslut- och reaktionstiden har enligt tidigare, se avsnitt 6.4, satts till 60 sekunder vardera.

Den totala utrymningstiden, $t_{utrymning}$, ges slutligen av

$$t_{utrymning} = t_{varseblivning} + t_{reaktion\&beslut} + t_{förflyttning} = 60 + 60 + 21 + 31 = 2,9 \text{ min}$$

Då utrymning endast är möjligt genom den bakre nödutgången, ges den längsta tid det tar för en person att gå till utrymningsvägen av

$$t_{gång} = \frac{L}{v} = \frac{27m}{1.3m/s} = 21s$$

Den längsta tiden för dörrpassage genom den bakre nödutgången ges av

$$t_{dörr} = \frac{N}{B \cdot f} = \frac{240m^2 \cdot 0.5pers/m^2}{1.5m \cdot 0.75pers/ms} = 107s$$

Den totala utrymningstiden, $t_{utrymning}$, ges slutligen av

$$t_{utrymning} = t_{varseblivning} + t_{reaktion\&beslut} + t_{förflyttning} = 60 + 60 + 21 + 107 = 4,2 \text{ min}$$

E.4 DETACT-T2

Ingångsdata och resultat av DETACT-T2-simuleringen i känslighetsanalysen ges i tabell E.1.

Tabell E.1 Indata och resultat av DETACT-T2 simulering för känslighetsanalys scenario 1.

Tid till sprinkleraktivering i minuter, scenario 1 – Brand i leksaksaffär						
Omgivnings temperatur (°C)	RTI	Aktiverings temperatur (°C)	Takhöjd (m)	Sprinkler avstånd (m)	Effekt utveckling	Aktiverings tid (min)
20	100	70	3	2.9	Fast	2.4

Bilaga F – Brandscenario 2 - Brand i butikslager

F.1 Handberäkningar siktförhållanden, effektutveckling Fast

Tid till kritiska siktförhållanden beräknas enligt följande (för förklaring av formler, ingående variabler, antaganden och beräkningsgång, se bilaga B.2):

Kritisk gräns för siktförhållanden är 10 meter. Detta motsvarar en optisk densitet per meter enligt

$$sikt = \frac{\ln 10}{D_L} \Rightarrow D_L = \frac{\ln 10}{10m} = 0.23m^{-1}$$

Enligt tidigare antaganden har bränslet approximerats till 50 % polystyren, 50 % trä. Vardera ingående förbränningsvärme ΔH_c (Drysdale, 2005) är

$$\Delta H_{c,cellulosa} = 16.1kJ / g$$

$$\Delta H_{c,polystyrene} = 39.85kJ / g$$

Ett genomsnittligt förbränningsvärme blir

$$\Delta H_c = 0.5 \cdot 39.85kJ / g + 0.5 \cdot 16.1kJ / g = 28.0kJ / g$$

Samma procedur genomförs för att ta fram en genomsnittlig rökpotential D_0

$$D_{0,polystyrene} = 1.4m^2 / g$$

$$D_{0,cellulosa} = 0.05m^2 / g$$

(SFPE, 2002) (Drysdale, 2005)

$$D_0 = 0.5 \cdot 1.4m^2 / g + 0.5 \cdot 0.05m^2 / g = 0.73m^2 / g$$

Den förbrända massan m som resulterar i kritiska siktförhållanden ges av

$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m}$ där rumsvolymen $V = 4384m^3$ är den totala volymen av butiksdela och lagerdel exklusive det mindre lagret i butiken och personalutrymme. Massan m blir således

$$m = 0.23m^{-1} \cdot \frac{4384m^3}{0.73m^2 / g} = 1381g$$

Den frigjorda energin Q då 1381 g brunnit ges av

$Q = \Delta H_c \cdot m \cdot \chi = 28.0kJ / g \cdot 1381g \cdot 0.7 = 27068kJ$ där χ är antagen förbränningseffektiviteten vid branden.

Effekten $\dot{Q} = \alpha \cdot t^2$ kW beskriver effektutvecklingen beroende av tiden, $\alpha = 0.047$ är konstant vald för att följa αt^2 -modellens fastkurva.

Med kännedom om brandens tillväxt kan tiden det tar att utveckla energin Q ges av

$$Q = \int_0^t (\alpha \cdot t^2) dt \Rightarrow Q = \frac{\alpha \cdot t^3}{3}$$
 där t är tillväxttiden tills energin avgivits.

$$27068kJ = \frac{0.047 \cdot t^3}{3} \Rightarrow t \approx 2 \text{ min}$$

F.2 Handberäkningar siktförhållanden, effektutveckling 1,5x Fast

Effekten $\dot{Q} = \alpha \cdot t^2$ kW beskriver effektutvecklingens beroende av tiden. α -värdet, medför den snabbare tillväxthastigheten, $\alpha = 1.5 \cdot 0.047$, att effektutvecklingen följer en något brantare tillväxtkurva än *fast*.

Med kännedom om brandens tillväxt kan tiden det tar att utveckla energin Q (samma energimängd som krävdes i ordinarie fall för att uppnå kritisk sikt) ges av

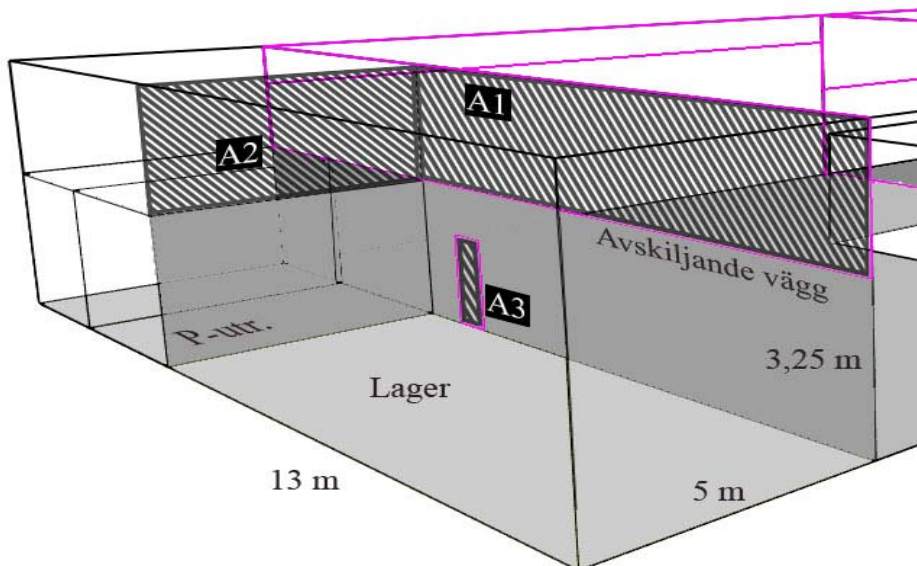
$$Q = \int_0^t (\alpha \cdot t^2) dt \Rightarrow Q = \frac{\alpha \cdot t^3}{3} \text{ där } t \text{ är tillväxttiden tills energin } Q \text{ avgivits.}$$

$$27068kJ = \frac{1.5 \cdot 0.047 \cdot t^3}{3} \Rightarrow t \approx 1.75 \text{ min}$$

Tiden blir alltså marginellt kortare med snabbare tillväxt jämfört med ordinarie scenario.

F.3 Ventilationskontrollerad brand

För den fullt utvecklade branden kan den maximala effektutvecklingen i lagret vid ventilationskontroll beräknas enligt nedan. Brandgaslagret kommer, med simuleringar i CFAST, vid en tvåzonsskiktning aldrig nå ner till avskiljningsväggens övre kant inom intressant tidsperiod. För ekvationer och fullständig beräkningsgång se bilaga B.1.



Figur F.1 Öppningarna A1,A2,A3 där luft tillåts tillströmma vid brand i lagret.

Då lagret har fler än en öppning beräknas en total area och en viktad total höjd

$$A_o = A_1 + A_2 + A_3 = 51.3m^2$$

och

$$H_o = (A_1 \cdot H_1 + A_2 \cdot H_2 + A_3 \cdot H_3) / A_o = 2.73m$$

där A_o är öppningens area i m^2 och H_o är öppningens höjd i m .

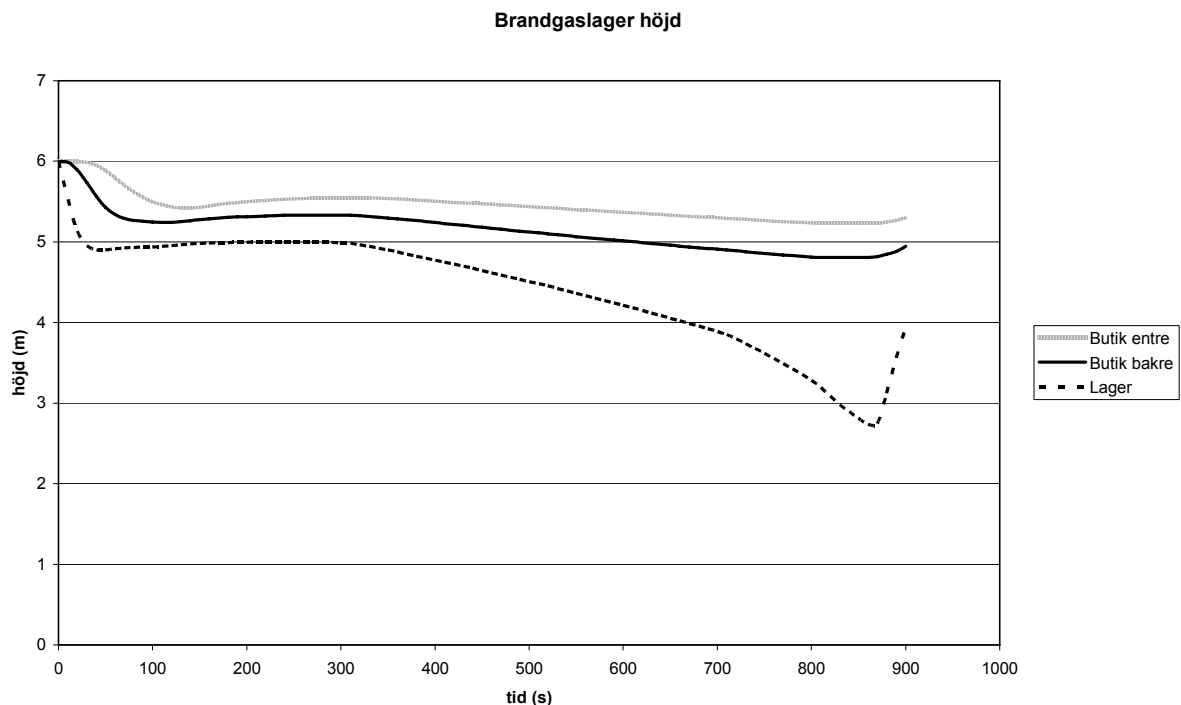
Maximal möjlig effektutveckling innan ventilationskontrollerad brand

$$\dot{Q} = 1.518 \cdot A_o \sqrt{H_o} \approx 129 MW$$

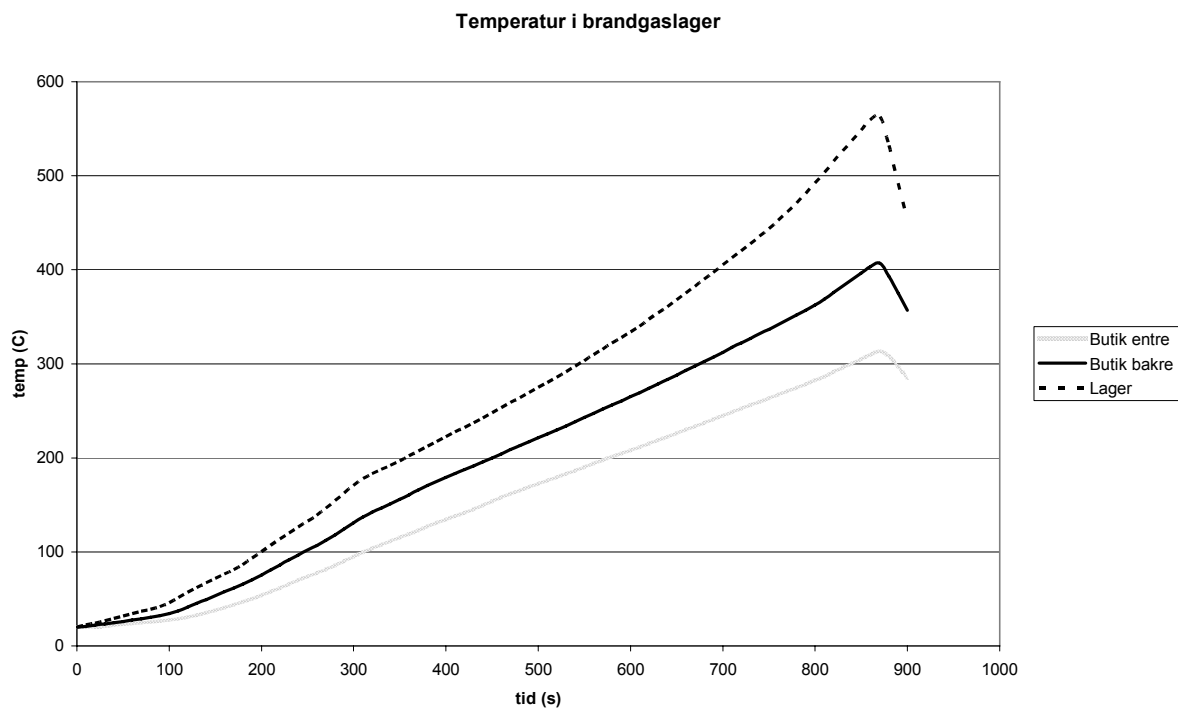
Detta är en mycket hög effektutveckling vilken ej är realistisk med tanke på bränslemängden. Fullskaleförsök (Bennetts et al., 1997) visar att en brand i ett exempelvis ett osprinklat skolager kan nå effektutvecklingar uppåt 40 MW. Branden antas således bli bränslekontrollerad om den får tillväxa fritt. Detta antas i beräkningarna ske efter utrymningen är avslutad.

F.4 Resultat CFAST

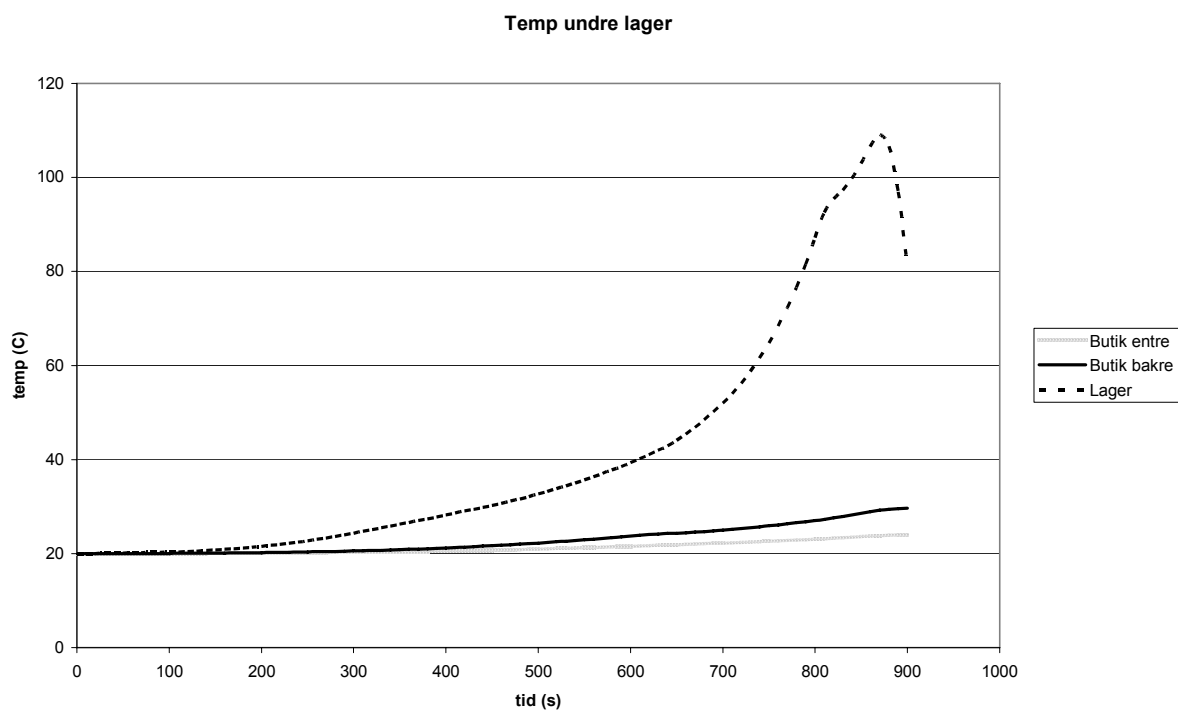
I figurerna F.2 till F.5 redovisas erhållna resultat från gjorda simuleringar i CFAST för det ordinarie scenariot. Resultaten ges i form av grafer.



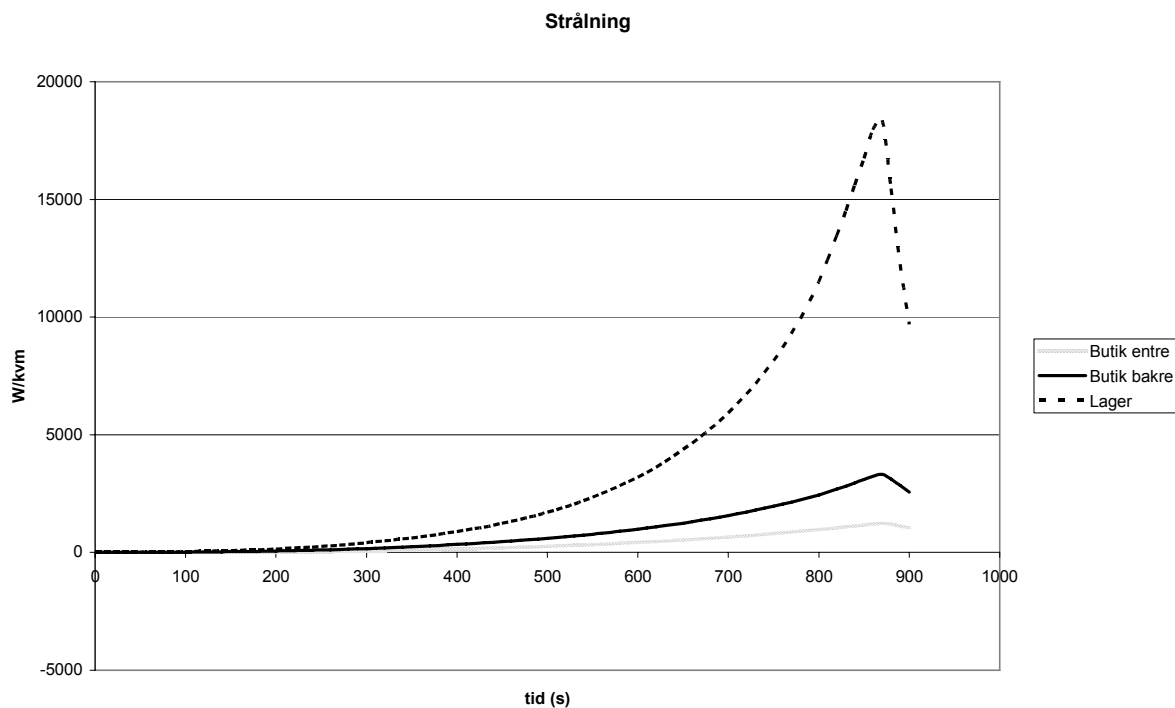
Figur F.2 Brandgaslagrets höjd beroende av tiden.



Figur F.3 Brandgaslagrets temperatur beroende av tiden.



Figur F.4 Undre lagrets temperatur beroende av tiden.



Figur F.5 Strålning från brandgaslagret mot personer i vardera delen av lokalen.

Bilaga G – Brandscenario 3 - Brand i gångstråk

G.1 Beräkningar för det fullt omblandade fallet

I detta avsnitt ges beräkningarna för det fullt omblandade fallet. Lite teori och förklaring av ekvationerna återfinns i bilaga B.2. För nedanstående beräkningar beräknades den undersökta totala volymen till 8369 m^3 . Generellt för beräkningarna gäller därför att

$$D_L = 0.23$$

$$\chi = 0.7$$

$$V_{TOTAL} = 8369 \text{ m}^3$$

För de undersökta materialen trä och PUR-skum gäller att

TRÄ

$$\Delta H_{c,TRÄ} = 16.09 \text{ kJ / kg}$$

$$D_{0,TRÄ} = 0.05 \text{ m}^2 / \text{g}$$

$$\alpha_{TRÄ} = 0.012 \text{ kW / s}^2$$

PUR – skum

$$\Delta H_{c,PUR-skum} = 27.2 \text{ kJ / kg}$$

$$D_{0,PUR-skum} = 0.22 \text{ m}^2 / \text{g}$$

$$\alpha_{PUR-skum} = 0.047 \text{ kW / s}^2 \text{ (antaget)}$$

De ingående materialkonstanterna för trä och PUR skum har hämtats från SFPE handboken (SFPE, 2002) och An Introduction to Fire Dynamics (Drysdale, 2005).

För det ordinarie scenariot med ett α -värde motsvarande medium, 0.012 kW/s^2 och bränslet trä, fås

$$m = \frac{V_{TOTAL} \cdot D_L}{D_0} = \frac{8369 \cdot 0.23}{0.05} = 38497 \text{ g}$$

$$Q = m \cdot \Delta H_c \cdot \chi = 38497 \cdot 16.09 \cdot 0.7 = 433592 \text{ kJ}$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot Q}{\alpha}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 433592}{0.012}} = 476 \text{ s} \approx 8 \text{ min}$$

För scenariot med ett α -värde motsvarande fast, 0.047 kW/s^2 , fås

$$m = \frac{V_{TOTAL} \cdot D_L}{D_0} = \frac{8369 \cdot 0.23}{0.05} = 38497 \text{ g}$$

$$Q = m \cdot \Delta H_c \cdot \chi = 38497 \cdot 16.09 \cdot 0.7 = 433592 \text{ kJ}$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot Q}{\alpha}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 433592}{0.047}} = 302 \text{ s} \approx 5 \text{ min}$$

Ett scenario där bränslet till fullo inte består av cellulosabaserat bränsle kan, beroende på den nya bränslesammansättningen, ge kritiska siktförhållanden i ett tidigare skede. Beräkningen avser ge läsaren en grov uppfattning av den andel PUR-skum som, i kombination med trä, ger kritiska siktförhållanden innan avslutad utrymning jämfört med om bara trä antagits som i det ordinarie scenariot.

$$\alpha_{Tot} = 92.4\% \alpha_{TR\ddot{A}} + 7.6\% \alpha_{PUR-skum} = 0.924 \cdot 0.012 + 0.076 \cdot 0.047 = 0.0147$$

$$\Delta H_{cTot} = 92.4\% \Delta H_{cTR\ddot{A}} + 7.6\% \Delta H_{cPUR-skum} = 0.924 \cdot 16.09 + 0.076 \cdot 27.2 = 16.93$$

$$D_{0,Tot} = 92.4\% D_{0,TR\ddot{A}} + 7.6\% D_{0,PUR-skum} = 0.924 \cdot 0.05 + 0.076 \cdot 0.22 = 0.0629$$

$$Q = \frac{\alpha^3}{3} = \frac{0.0147 \cdot 420^3}{3} = 363031 \text{ kJ}$$

$$m = \frac{Q}{\Delta H_{cTR\ddot{A}} \cdot \chi} = \frac{363031}{16.93 \cdot 0.7} \approx 30633 \text{ g}$$

$$V_{OMBLANDAD} = \frac{m \cdot D_0}{D_L} = \frac{30633 \cdot 0.0629}{0.23} = 8377 \text{ m}^3$$

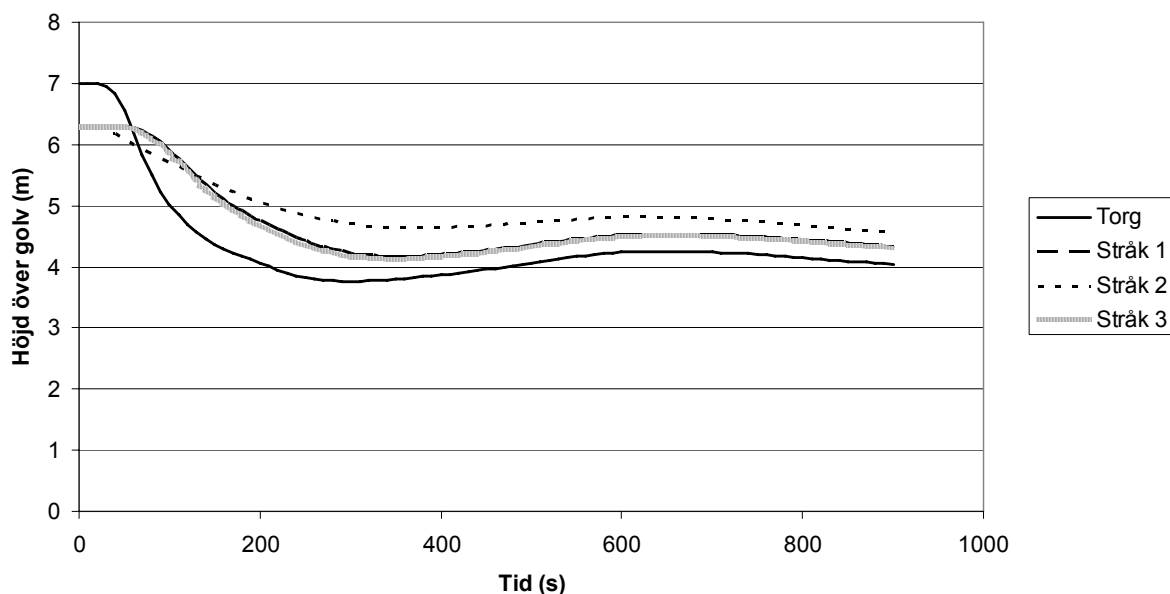
$$\frac{V_{OMBLANDAD}}{V_{TOTAL}} = \frac{8377 \text{ m}^3}{8369 \text{ m}^3} \approx 100\%$$

Andelen PUR-skum, som ger kritiska förhållanden i jämförelse med ordinarie scenario, ligger mellan 7 % och 8 %.

G.2 Resultat CFAST

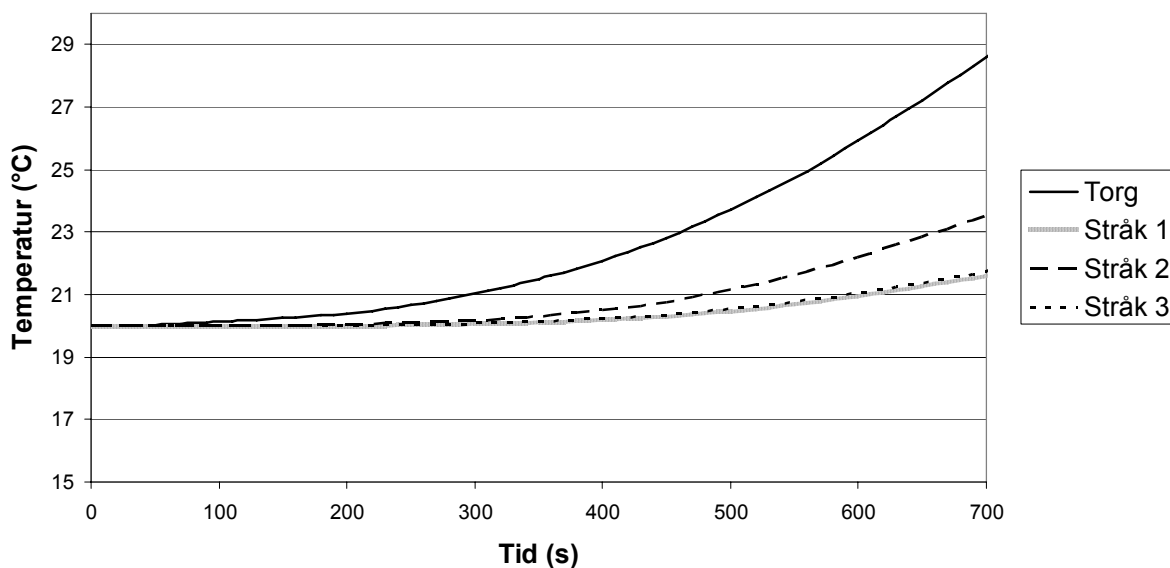
I figurerna G.1 till G.3 redovisas erhållna resultat från gjorda simuleringar i CFAST för det ordinarie scenariot. Resultaten ges i form av grafer.

Brandgaslagrets höjd över golvet



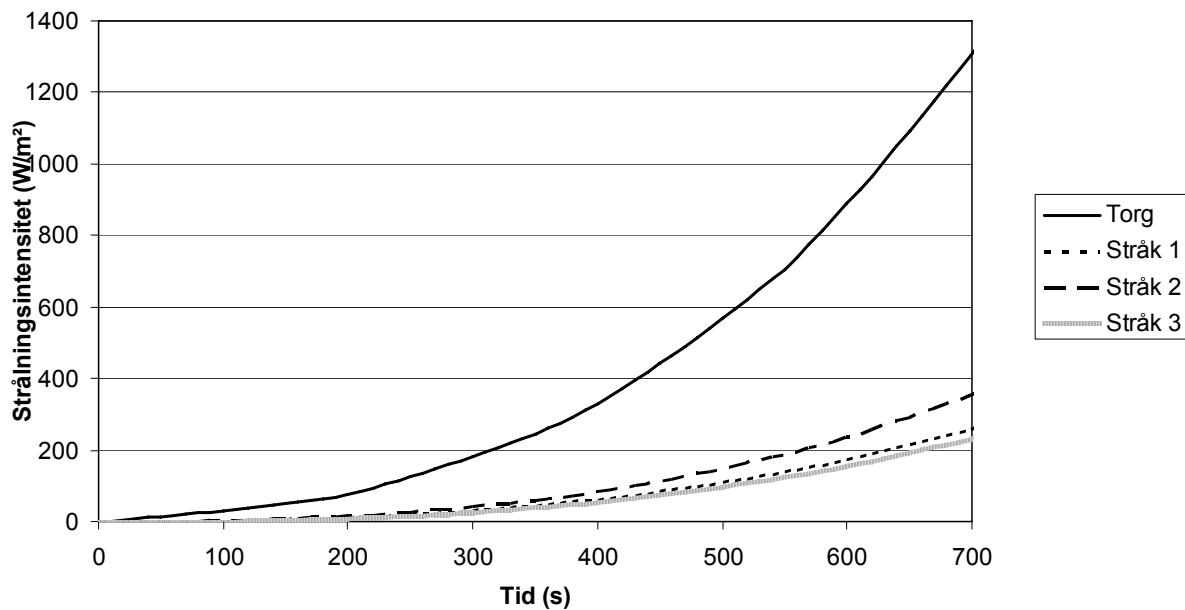
Figur G.1 Brandgaslagrets höjd över golvet som funktion av tiden, scenario 3.

Undre lagrets temperatur



Figur G.2 Undre lagrets temperatur som funktion av tiden, scenario 3.

Strålningsintensitet



Figur G.3 Strålningsintensitet som funktion av tiden, scenario 3.

Bilaga H – Brandscenario 4 - Brand i soprum

H.1 Beräkning av brandflöde och brandbelastning

Det dimensionerande brandflödet bestäms i två steg. Först räknar man fram ett maximalt brandflöde med avseende på rummets egenskaper och brandens tillväxthastighet. Det krävs även att det finns tillräckligt med bränsle.

Brandflödet q_b bestäms på följande sätt:

Den maximala teoretiska effekten som kan fås i rummet ges av

$$P_{\max} = \alpha^{1/3} (3rV/a)^{2/3} \quad (\text{Jensen, 2002})$$

där

α = tillväxthastigheten för brand. Rummet har återvinningskärl i polyetenplast och i dessa slängs plastemballage. Tillväxthastigheten bedöms som *fast* med $\alpha = 0.047 \text{ kW/s}^2$.

r = andel av luftens volym som kan förbrukas av branden, här satt till 0.5. (Jensen, 2002)

V = volymen i brandrummet = 580 m^3 .

$a = 10^{-6}$, då luftbehovet är satt till $1 \text{ m}^3/\text{MJ}$ frigjord energi. (Jensen, 2002)

Beräkningarna ger $P_{\max} = 3.3 \text{ MW}$

Enligt tumregel för brandflöde (Jensen, 2002) motsvarar 1 MW effekt ett brandflöde på $1 \text{ m}^3/\text{s}$, vilket med ovan beräknade maximala effekt ger ett maximalt brandflöde på $11\,880 \text{ m}^3/\text{h}$.

I rummet finns sju återvinningskärl i polyetenplast. Dessa har en vikt på ca 13kg styck (PWS AB, Internetkälla) och kan fyllas med ca 25kg plast (Lunds Renhållningsverk, Internetkälla). Förbränningsvärmets för polyeten är 43 kJ/g (SFPE, 2002) och för en vikt på 266 kg får man ett energiinnehåll på 11 438 MJ. Effektkurvan för en brand beskrivs med

$$P = \alpha t^2$$

För att bestämma energiåtgången för att nå den beräknade maxeffekten löses tiden ut och sedan integrerar man effektkurvan över denna tid.

$$P = \alpha t^2 \Leftrightarrow t = \sqrt{\frac{P}{\alpha}} = \sqrt{\frac{3300}{0.047}} = 264 \text{ s}$$

$$\int_0^{264} \alpha t^2 = \frac{\alpha t^3}{3} = \frac{0.047 \cdot 264^3}{3} = 288 \text{ MJ}$$

Det finns klara förutsättningar för att ett brandflöde på $4300 \text{ m}^3/\text{h}$ ska kunna uppstå.

H.2 Indata för simulering i PFS

Indata för simulering i PFS ges i figur H.1.

```
table 0 10 7 2
```

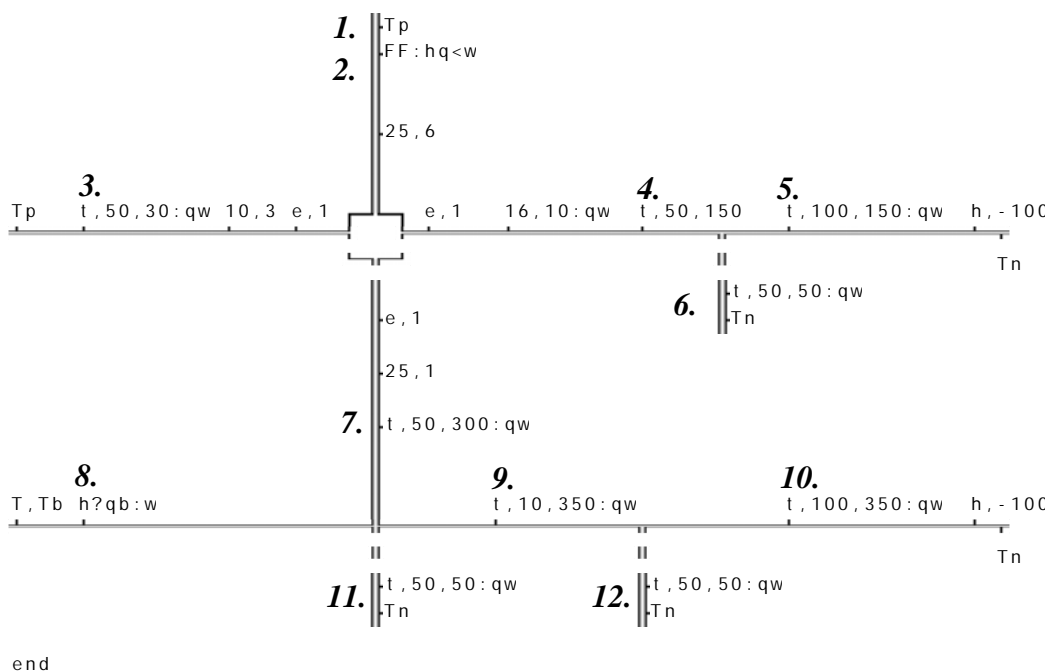
```
program qb m3/h 0 0 4300 4300 4300 4300 4300 4300 4300 4300 4300 4300
program Tb C 0 20 20 100 200 300 400 500 600 700 800
```

```
result 8 /Brandtrycket 8
result /Trycket över fläkten 1
result /Flödet över fläkten 2
result /Flödet från/till kylsoprummet 3
result /Flödet från/till utrymningsstråk 4
result /Tillluft utrymningsstråk 5
result /Läckage i utrymningsstråk 6
result /Flödet från brandrum 7
result /Flödet från/till lager 9
result /Tillluft lager 10
result /Läckage soprum 11
result /Läckage lager 12
```

Siffrorna motsvarar olika mätpunkter i schemat nedan.

```
status
```

```
begin
flow m3/h
pressure Pa
format q 1
control duct=1 dencase=1
fan FF 120:0 100:530 40:1060
set 10=d,100 16=d,160 25=d,250 Tp=T,20:> Tn=T,20:<
```



Figur H.1 Indata för simulering av brandscenario 4.

Bilaga I – Valideringsberäkningar

I.1 Installation av rökdetektorer i innertak

Ingångsdata och resultat av DETACT-T2-simuleringar för rökdetektorer i en butik med och utan heltäckande innertak presenteras i tabell I.1 till I.3. I simuleringarna antas butiken ha en detektorhöjd motsvarande tre meter med innertak och motsvarande sex meter utan. Detektoravståndet har antagits till 15 meter. Simuleringar utfördes även med olika tillväxthastigheter för jämförelse.

Tabell I.1 Indata och resultat av DETACT-T2 simulering, tillväxthastighet slow.

<i>Tid till detektoraktivering i minuter, tillväxthastighet slow</i>						
Omgivnings temperatur (°C)	RTI	Aktiverings temperatur (°C)	Takhöjd (m)	Detektor avstånd (m)	Effekt utveckling	Aktiverings tid (min)
20	1	33	3	15	Slow	7.31
20	1	33	6	15	Slow	9.26

Tabell I.2 Indata och resultat av DETACT-T2 simulering, tillväxthastighet medium.

<i>Tid till detektoraktivering i minuter, tillväxthastighet medium</i>						
Omgivnings temperatur (°C)	RTI	Aktiverings temperatur (°C)	Takhöjd (m)	Detektor avstånd (m)	Effekt utveckling	Aktiverings tid (min)
20	1	33	3	15	Medium	4.26
20	1	33	6	15	Medium	5.26

Tabell I.3 Indata och resultat av DETACT-T2 simulering, tillväxthastighet fast.

<i>Tid till detektoraktivering i minuter, tillväxthastighet fast</i>						
Omgivnings temperatur (°C)	RTI	Aktiverings temperatur (°C)	Takhöjd (m)	Detektor avstånd (m)	Effekt utveckling	Aktiverings tid (min)
20	1	33	3	15	Fast	2.59
20	1	33	6	15	Fast	3.11

I.2 Sprinklerbulber med lägre RTI-värde

Ingångsdata och resultat av DETACT-T2-simuleringar för sprinklerbulber med två olika RTI-värden presenteras i tabell I.4 till I.5. Två sprinklerhöjder motsvarande vanligt förekommande höjder i Center Syd undersöktes. Detektoravståndet har antagits till 4 meter. Simuleringar utfördes även med olika tillväxthastigheter för jämförelse.

Tabell I.4 Indata och resultat av DETACT-T2 simulering, tillväxthastighet medium.

<i>Tid till sprinkleraktivering i minuter, tillväxthastighet medium</i>						
Omgivnings temperatur (°C)	RTI	Aktiverings temperatur (°C)	Takhöjd (m)	Sprinkler avstånd (m)	Effekt utveckling	Aktiverings tid (min)
20	100	70	3	4	Medium	4.49
20	50	70	3	4	Medium	3.97
20	100	70	6	4	Medium	6.13
20	50	70	6	4	Medium	5.68

Tabell I.5 Indata och resultat av DETACT-T2 simulering, tillväxthastighet fast.

<i>Tid till sprinkleraktivering i minuter, tillväxthastighet fast</i>						
Omgivnings temperatur (°C)	RTI	Aktiverings temperatur (°C)	Takhöjd (m)	Sprinkler avstånd (m)	Effekt utveckling	Aktiverings tid (min)
20	100	70	3	4	Fast	2.82
20	50	70	3	4	Fast	2.44
20	100	70	6	4	Fast	3.70
20	50	70	6	4	Fast	3.32

