



LUNDS TEKNISKA
HÖGSKOLA
Lunds universitet

BRANDTEKNISK RISKVÄRDERING AV LINDEN KÖPCENTRUM, NORRKÖPING



Louise Abrahamsson, Daniel Ekström, Andreas Kräling, Lisa Åkesson

**Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Rapport 9210, Lund 2003**

Brandteknisk riskvärdering
av
Linden köpcentrum, Norrköping

Louise Abrahamsson
Daniel Ekström
Andreas Kräling
Lisa Åkesson

Lund 2003

Titel:

Brandteknisk riskvärdering av Linden köpcentrum, Norrköping

Title:

Fire safety evaluation of Linden shopping centre, Norrköping

Av/By:

Louise Abrahamsson, Daniel Ekström, Andreas Kräling och Lisa Åkesson

Rapport/Report: 9210

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--9210--SE

Antal sidor/Number of pages: 93 (inkl. bilagor/incl. appendicies)

Sökord:

Brandteknisk riskvärdering, varuhus, rökfyllnad, utrymning, personsäkerhet, ARGOS V4.4, FAST/CFAST V3.1.7, FDS V3.1, SIMULEX V11.1.3, Linden.

Keywords:

Fire safety evaluation, shopping mall, smoke filling, evacuation, human safety, ARGOS V4.4, FAST/CFAST V3.1.7, FDS V3.1, SIMULEX V11.1.3, Linden.

Abstract:

The report contains an evaluation of the fire safety at Linden shopping centre in Norrköping, Sweden. The evaluation concerns evacuation times, fire development, smoke filling and smoke layer temperatures. The modelling has been executed with the computer models FDS, ARGOS, FAST/CFAST and SIMULEX which were validated with hand calculations. The report includes suggestions for improvement of the buildings fire safety design. The result of the analysis shows that in case of fire the existing manually activated egress alarm does not insure the visitors to be aware the danger in reasonable time. This problem exists mainly because the egress alarm may not be activated at all because of human failure. It is strongly recommended that the activation of the egress alarm should be connected to the sprinkler system. In addition to this recommendation, several other suggestions are made such as to verify the sprinkler water supply and pressure, retrofit emergency door handles and implement a systematic fire safety organization. (In Swedish, 2003).

Språk/Language: Svenska/Swedish

© Copyright: Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2003.

BRANDTEKNIK

Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046-222 73 60
Telefax: 046-222 46 12

DEPARTMENT OF FIRE SAFETY
ENGINEERING
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60
Fax: +46 46 222 46 12

Förord

Under arbetets gång har flera personer varit till stor hjälp och bidragit med information och goda råd. Vi vill därför tacka våra handledare Henrik Johansson, tekn. dr. vid Brandteknik LTH och Ulf Lago, brandingenjör hos Norrköpings räddningstjänst.

Vidare är vi tacksamma för den tillmötesgående hjälp och det goda mottagande vi fick vid objektsbesöket.

Ett stort tack vill vi även ge till Daniel Gojkovic, Brandteknik LTH, som har bistått med datorkapacitet och stått ut med oss vid våra otaliga försök med simuleringarna i Fire Dynamics Simulator.

Lund, 2003-12-01

Louise Abrahamsson

Daniel Ekström

Andreas Kräling

Lisa Åkesson

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.

Sammanfattning

En brandteknisk riskvärdering har genomförts med fokus på personsäkerheten avseende utrymning och de förhållanden som kan uppstå vid brand på Linden köpcentrum i centrala Norrköping. Linden köpcentrum, som ägs av två skilda fastighetsägare, är uppdelat i tre plan varav ett är beläget under mark och där de två andra planen förbinds i öppna delar med rulltrappor. Byggnaden är uppförd 1977 enligt då gällande byggregler. Nya byggregler är vanligtvis inte retroaktiva men med stöd av Räddningstjänstlagen kan högre krav ställas på Linden köpcentrum av myndigheterna.

För att utreda nuvarande nivå på brandskydd och utrymningsmöjligheter har ett objektsbesök genomförts för att studera de rådande förhållandena och få god objektskänning. Genom att inventera och värdera olika brandrisker har två troliga brandscenarier antagits som dimensionerande bränder. Dessa brandscenarier innefattar dels en brand i butik belägen på övre plan samt brand i en bil placerad i utställningssyfte på entréplan i hallen mitt emellan sidoentréerna. Brandscenarierna har simulerats med ett flertal olika datormodeller som Fire Dynamics Simulator, FAST/CFAST och ARGOS vilka sedan har validerats med handräkningsmodeller. Dessutom har utrymningssimulering genomförts med datormodellen SIMULEX.

Resultaten av simuleringar och beräkningar visar på att utrymningen av Linden köpcentrum går att genomföra på en tid som understiger tiden för då en brand utsätter personer i byggnaden för kritiska förhållanden. Detta gäller under förutsättning att utrymningslarmet aktiveras inom cirka fem minuter från det att en brand uppstår. Idag finns dock ingen automatisk aktivering av utrymningslarmet varför detta ej kan säkerställas.

De åtgärder som enligt författarna *skall* genomföras för att en betryggande personsäkerhet skall kunna säkerställas vid utrymning under en brand är (i prioritetsordning):

- Koppla aktivering av utrymningslarm till sprinklersystemet.
- Förbereda organisationen för kommande systematiska brandskyddsarbete (SBA), med särskilt fokus mot utrymningsorganisationen.
- Säkerställa att vattentillgången för sprinklersystemet är tillräcklig.
- Säkerställa bättre ordning i utrymningsvägarna.
- Se över vägledande markeringar i utrymningsvägarna.

De åtgärder som *bör* genomföras är:

- Utredning av ventilationens förmåga att förhindra och begränsa brandgasspridning.
- Utrusta nödutgångar med lätt öppningsbara vred.
- Installera fler manuella larmknappar.
- Överväga lägre RTI-värde för sprinklerbulberna.
- Införa automatiskt stopp av rulltrappor vid utrymning.
- Översyn av lagringshöjder i butikslagen.

Trots det påpekade behovet av förbättringar finns det idag flertalet positiva aspekter gällande personsäkerheten vid brand på Linden. Byggnaden har många utrymningsvägar, det är lätt att orientera sig och varuhuset är helsprinklat. För att en krissituation skall uppstå krävs en stor brand och mycket folk i byggnaden. Även om sådana situationer är ovanliga är det något som organisationen måste planera för.

Med de föreslagna åtgärderna till förbättringar förväntas Linden bli en säker verksamhet som väl kan hantera en utrymning vid brand. Detta baseras på en medvetenhet bland alla anställda som i en lärande organisation fokuserar mot ständiga förbättringar.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	9
1.1	BAKGRUND	9
1.2	SYFTE	9
1.3	FOKUS OCH AVGRÄNSNINGAR	9
1.4	MÅLGRUPP	9
1.5	METOD	10
1.6	TILLÄMPLIGA FÖRESKRIFTER	11
1.7	BEGREPPSDEFINITIONER	11
1.8	DISPOSITION	13
2	OBJEKTSBESKRIVNING	15
2.1	BYGGNADEN	15
2.2	BEFINTLIGT BRANDSKYDD	17
2.3	SAMMANFATTANDE BEDÖMNING AV BEFINTLIGT BRANDSKYDD	22
2.4	TILLBUDSHISTORIK	22
3	BRANDSCENARIER	25
3.1	ALLMÄNT	25
3.2	SCENARIO A - BRAND I BUTIKSLOKAL	26
3.3	SCENARIO B - BRAND I ENTRÉHALL	29
4	SIMULERING AV BRANDFÖRLOPP	33
4.1	ZONMODELLER	33
4.2	FIRE DYNAMICS SIMULATOR (FDS)	38
4.3	STRÅLNINGSBERÄKNING	43
5	UTRYMNING	45
5.1	ALLMÄNT	45
5.2	TILLGÅNG TILL UTRYMNINGSVÄGAR	46
5.3	UTRYMNINGSSITUATIONEN PÅ LINDEN	46
6	SIMULERING AV UTRYMNING	51
6.1	MODELL FÖR UTRYMNING	51
6.2	FAKTORER SOM PÅVERKAR UTRYMNINGEN	52
6.3	DIMENSIONERANDE PERSONANTAL	53
6.4	ALLMÄNT OM SIMULEX	54
6.5	INDATA/SIMULERING	55
6.6	RESULTAT	57
7	OSÄKERHETER	61
7.1	ALLMÄNT OM OSÄKERHETER	61
7.2	OSÄKERHETER I BRANDFÖRLOPPET	62
7.3	OSÄKERHETER FÖR UTRYMNINGEN	64
7.4	BRAND I ANDRA UTRYMMEN	65
7.5	SAMMANFATTANDE SLUTSATS KRING OSÄKERHETER	66
8	VÄRDERING AV PERSONSÄKERHET	67

8.1	ALLMÄNT	67
8.2	BRANDSCENARIO A	67
8.3	BRANDSCENARIO B	68
8.4	ÖVERGRIPANDE VÄRDERING AV PERSONSÄKERHETEN	68
9	FÖRSLAG TILL FÖRBÄTTRINGAR.....	69
9.1	ÅTGÄRDER SOM SKALL GENOMFÖRAS	69
9.2	ÅTGÄRDER SOM BÖR GENOMFÖRAS.....	71
9.3	SLUTKOMMENTAR	72
	BETECKNINGAR.....	73
	FÖRKORTNINGAR.....	75
	REFERENSER.....	77
	BÖCKER	77
	FÖRESKRIFTER, STANDARDER OCH GUIDELINES.....	77
	ARTIKLAR OCH PAPERS	77
	RAPPORTER OCH AKADEMISKA AVHANDLINGAR	78
	DATORPROGRAM	79
	INTERNET.....	79
	ÖVRIGA KÄLLOR	79
	BILAGOR.....	81
	BILAGA I - INDATA TILL FDS, SCENARIO B.....	83
	BILAGA II - STRÅLNINGSBERÄKNING, SCENARIO B	89
	BILAGA III - INNEHÅLL I SBA-DOKUMENTATIONEN	93

1 Inledning

Här redovisas en inledande del av rapporten med bakgrund, syfte och metod. Tillämpliga föreskrifter och ett antal viktiga begreppsdefinitioner återfinns även i detta kapitel.

1.1 Bakgrund

Rapporten är en del i kursen VBR 054 - Brandteknisk riskvärdering som ges av avdelningen för Brandteknik vid Lunds tekniska högskola. Kursen omfattar 10 akademiska poäng och är en obligatorisk kurs för examen till brandingenjör. Ett av kursens mål är att ge studenterna fördjupade kunskaper inom utrymning vid brand i byggnader. Studenterna skall även kunna tillämpa de i byggnormen angivna föreskrifterna avseende anordningar för utrymning vid brand och analysera och kritiskt granska föreskrifterna med tillhörande exempel på lösningar, metoder och allmänna råd.

Utgångspunkten i den brandtekniska riskvärderingen som lärs ut i kursen är att utifrån brandscenarier bedöma verkan på människor av värme, rök och giftiga gaser. Till detta kommer att känna till människors beteende och reaktioner under en utrymning. För detta krävs att studenterna kan tillämpa metoder för beräkning av röktransport och brandspridning samt modeller som beskriver tid för utrymning för olika byggnadstyper.

1.2 Syfte

Syftet med rapporten är att utföra en värdering av personsäkerheten avseende brand på Linden köpcentrum samt ge förslag som leder till förbättringar av brandskyddet.

I kursprogrammet formuleras projektuppgiften enligt följande:

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

1.3 Fokus och avgränsningar

Fokus i hela arbetet ligger på värdering av säkerhetsnivån vid brand för de personer som vistas i byggnaden dagtid, det vill säga främst besökande. Vid värderingen av säkerhetsnivån har endast personsäkerhet beaktats. Därmed ingår inte egendomsskydd eller miljöeffekter vid brand.

Vid värderingen av personsäkerheten vid brand har ingen hänsyn tagits till byggnadens bärförmåga eller ytskikten i byggnaden. Några ytskikt som kan påverka personsäkerheten negativt har ej observerats vid objektsbesöket.

Då inga ritningar över ventilationssystemet har gått att uppbringa har detta område ej behandlats kvantitativt utan istället diskuteras kvalitativt kring ventilationens inverkan på brand- och brandgasspridning.

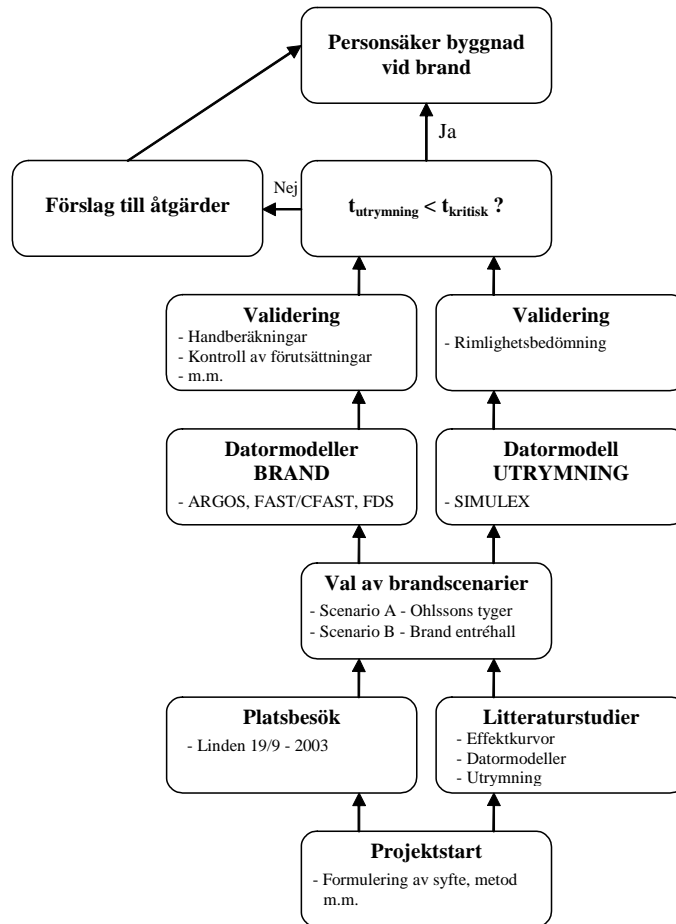
Räddningstjänstens inverkan på en brand har försumrats, då en insats från deras sida inte förväntas påbörjas förrän efter cirka 15 minuter efter det att en brand startat. Däremot kan räddningstjänstens insats vara viktig för påbörjandet av utrymningen i de fall då utrymningslarmet ej aktiverats manuellt innan deras ankomst.

1.4 Målgrupp

Målgrupp för rapporten är objektsägare till Linden köpcentrum, Räddningstjänsten i Norrköping och brandingenjörsstuderande. Rapporten är tänkt att läsas med viss akademisk bakgrund samt grundläggande kunskaper om brand och brandförlopp.

1.5 Metod

För att genomföra en värdering av brandsäkerhetsnivån har scenariometodik använts. Principen för arbetsgången i metoden framgår av figur 1.1.



Figur 1.1: Principbild metod.

Två brandscenarioer har valts ut för att representera allvarigare händelser vid brand i byggnaden. I de två brandscenarioerna har effekterna av brand modellerats med datorprogram vilka har verifierats med handberäkningar. Konsekvenserna av brandgasspridning och värmestrålning har sedan jämförts med utrymningssituationen, vilken simulerats med en datormodell. För att säkerställa en tillfredställande utrymning enligt BBR (Boverket, 2002) skall tiden för utrymning vara kortare än tiden till dess att *kritiska förhållanden* (se kapitel 1.7.1) uppstår.

Litteraturstudier har genomförts för att ta reda på information kring effektkurvor, validering av datormodeller, utrymning med mera.

1.5.1 Platsbesök

Linden köpcentrum besöktes den 19 september 2003, då en noggrann orientering i objektet genomfördes. Vid samma tillfälle fanns även tillfälle för att ställa frågor angående objektet då både fastighetskötare och objektsägare var närvarande. Bland annat besöktes sprinklercentralen där manövrering av sprinkler, utrymningslarm och ventilation kan ske vid händelse av brand.

1.5.2 Datorsimuleringar

I rapporten har flera olika datorprogram använts. För att simulera brandförlopp har ARGOS V4.4 (DIFT, 2003), FAST/CFAST V 3.17 (NIST, 2001) och Fire Dynamics Simulator, FDS V3.1 (NIST, 2003) använts. Genom dessa program har information angående olika förhållanden vid brandgasspridning erhållits, till exempel brandgaslagrets höjd, temperaturer, strålning etc. Dessa program har jämförts med enstaka handberäkningar för att kontrollera att resultaten från datorsimuleringarna verkar rimliga.

Utrymningssimuleringar har gjorts med hjälp av SIMULEX V11.1.3 (IES, 1998) för att ta reda på hur lång förflyttningstiden är för att totalevakuera byggnaden, vilket har använts för att uppskatta hur personsäkerheten ser ut vid de två brandscenarierna. SIMULEX ger en uppfattning om hur fort utrymning kan ske och var i byggnaden det kan uppstå köbildning.

1.6 Tillämpliga föreskrifter

Då byggnaden uppfördes 1977 ansvarade dåvarande Planverket för föreskrifterna kring brandskyddet. Vid byggåret gällde då Svensk Byggnorm (SBN) 1975. Från tiden för uppförandet av byggnaden till denna rapports färdigställande har ett antal olika föreskrifter varit gällande med skillnader i kravbilden. Förutom övergripande lagar är de föreskrifter som varit aktuella under byggnadens livstid:

- Svensk Byggnorm (SBN), 1975, 1980
- Nybyggnadsregler (NR), 1981, 1990, 1991, 1993
- Boverkets byggregler (BBR), 1994, 1998, 2000, 2002

Boverkets byggregler har varit gällande byggnorm sedan 1994 med återkommande uppdateringar. Föreskrifterna gäller inte retroaktivt men vid ombyggnad tillämpas gällande regler, vilket innebär att ett flertal av byggreglerna kan vara tillämpliga på Linden.

Räddningstjänsten har också möjlighet att ställa krav enligt 41 § i Räddningstjänstlagen (SFS 1986:1102):

“41 § Ägare eller innehavare av byggnader eller andra anläggningar skall i skäligen omfattning hålla utrustning för släckning av brand och för livräddning vid brand eller annan olyckshändelse och i övrigt vidta de åtgärder som behövs för att förebygga brand och för att hindra eller begränsa skador till följd av brand.” (SFS 1986:1102).

Paragrafen är identisk med 2 kap. 2 § i Lag om skydd mot olyckor som ersätter Räddningstjänstlagen 2004-01-01. För att bedöma vad som kan anses skäligt enligt denna paragraf kan gällande regler i BBR ofta användas.

Då byggnaden även är en arbetsplats finns även gällande föreskrifter som ges ut av Arbetsmiljöverket som kan påverka kraven på brandskyddet, främst AFS 2000:4, *Arbetsplatsens utformning*.

1.7 Begreppsdefinitioner

Här presenteras ett antal begreppsdefinitioner som är viktiga att läsaren har klart för sig för att kunna ta del av resultaten.

1.7.1 Kritiska förhållanden

Kritiska förhållanden är när förhållandena i en lokal är sådana att en säker utrymning inte längre kan ske. Vid dessa förhållanden riskerar personer bli desorienterade, känna stark oro och känsliga individer kan skadas. Dock är det vid denna tidpunkt ett tag kvar tills dess att dödliga förhållanden uppstår i lokalen. Kriterierna för kritiska förhållanden anges i Boverkets byggregler (BBR) som:

“5:361 Kritiska förhållanden vid utrymning

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

Råd: Vid värdering av kritiska förhållanden bör siktbarhet, värmestrålning, temperatur, giftiga gaser samt kombinationen av temperatur och giftiga gaser beaktas. Därvid kan följande gränsvärden normalt tillämpas:

Siktbarhet: rökgasnivå lägst $1,6 + (0,1 \times H)$ meter, där H är rumshöjden.

Värmestrålning: en kortvarig strålningsintensitet på max. 10 kW/m^2 , en maximal strålningsenergi på 60 kJ/m^2 utöver energin från en strålning på 1 kW/m^2 .

Temperatur: högst 80°C lufttemperatur.” (Boverket, 2002).

1.7.2 Utrymningsväg

Med utrymningsväg menas enligt Boverkets byggregler:

“5:233 Utrymningsväg

En *utrymningsväg* skall vara en utgång direkt till gata eller motsvarande eller en utgång till terrass, gårdsplan e.d. från vilken gata eller motsvarande lätt kan nås. En utrymningsväg kan även vara ett utrymme i en byggnad som leder från en brandcell till en sådan utgång.

Råd: En utrymningsväg kan omfatta förbindelsevägar såsom korridor eller trappa inom en egen brandcell, loftgång och liknande utrymnen utomhus.” (Boverket, 2002).

1.7.3 Aktiva system

Med aktiva system avses här system installerade i byggnaden vilka efter aktivering är avsedda att motverka konsekvenserna vid brand, till exempel ett sprinklersystem. Risk finns att ett aktivt system kan felfungera.

1.7.4 Passiva system

Med passiva system avses system som genom passiv verkan motverkar konsekvenserna vid brand. Exempel på sådana system är avskiljande konstruktion i brandteknisk klass (brandcellsindelning) och väl tilltagna separationsavstånd.

1.7.5 Alternativ utformning

Alternativ utformning innebär att brandskyddet inte uppfyller de detaljkrav som anges i Boverkets Byggregler utan utformas på ett sätt som visats vara lika säkert.

“5:11 Alternativ utformning (BFS 1995:17)

Brandskyddet får utformas på annat sätt än vad som anges i detta avsnitt (*avsnitt 5*), om det i särskild utredning visas att byggnadens totala brandskydd därigenom inte blir sämre än om samtliga aktuella krav i avsnittet uppfyllts. (BFS 1995:17)

Råd: Sådan alternativ utformning kan bl.a. användas, om byggnaden förses med brandskyddstekniska installationer utöver vad som följer av kraven i avsnittet. Den särskilda utredningen redovisas i brandskyddsdocumentation enligt avsnitt 5:12.” (Boverket, 2002).

1.7.6 Analytisk dimensionering

Som alternativ till schablonlösningar och alternativ utformning finns en kravbaserad analyserande dimensioneringsmetod för framtagande av byggnadstekniska lösningar. Analytisk dimensionering benämns ibland som funktionsbaserad dimensionering.

“5:1313 Analytisk dimensionering (BFS 2002:19)

Analytisk dimensionering och vid behov tillhörande riskanalys skall verifiera brand- och utrymnings-säkerheten i byggnader där brand kan medföra mycket stor risk för personskada. Analytisk dimensionering kan vara beräkning, provning eller objektsspecifika försök, samt kombinationer av dessa. Om dimensionering av brandskyddet sker genom beräkning, skall beräkningen utgå från omsorgsfullt valda dimensionerande värden och utföras enligt beräkningsmodell som på ett tillfredsställande sätt beskriver aktuellt fall. Valda beräkningsmodeller skall redovisas. (BFS 2002:19)

Råd: Byggnader där brand kan medföra mycket stor risk för personskada är större komplexa byggnader eller byggnader där det kan vistas ett mycket stort antal personer. Exempel på sådana byggnader kan vara byggnader med fler än 16 våningsplan, byggnader med vissa typer av samlingslokaler, eller vårdanläggningar, samt komplexa byggnader under mark. (BFS 2002:19) Osäkerheten hos valda indata bör redovisas genom gjorda känslighetsanalyser. (BFS 1995:17) (Boverket, 2003).

1.7.7 Samlingslokal

Med samlingslokal menas i Boverkets Byggregler:

“5:241 Samlingslokal

Med *samlingslokal* avses varje lokal eller grupp av lokaler inom en brandcell, där ett större antal personer med mindre god lokalkännedom kan uppehålla sig.

Råd: En samlingslokal förutsätts rymma fler än 150 personer och användas t.ex. som hörsal, biograflokal, kyrka, restaurang, sporthall eller för teater, konserter, dans, studier, fritidsverksamhet eller som varuhus eller annan detaljhandelsanläggning.” (Boverket, 2002).

Begreppet samlingslokal återfinns i SBN 1980 i avsnitt 75:0, även om det då definierades något annorlunda.

1.8 Disposition

Rapportens upplägg är att inledningsvis i första kapitlet presentera bakgrund, syfte och metod. (*kapitel 1*). Här redovisas även viktiga begreppsdefinitioner samt vilka föreskrifter som är tillämplbara kring brandskyddet på Linden. Till detta kommer *kapitel 2* där byggnaden presenteras med allmän objektsbeskrivning och specifikt med befintligt brandskydd.

I *kapitel 3* väljs ett urval av de brandscenarier som skall studeras. Hur dessa har simulerats och vilka resultat som erhållits framgår av *kapitel 4*.

Allmänt om utrymning går att läsa i *kapitel 5*. Här presenteras också hur utrymningssituationen upplevdes på Linden vid objektsbesöket. Hur utrymningen simulerats med en datormodell beskrivs i *kapitel 6*.

I *kapitel 7* diskuteras vilka osäkerheter som finns i analysen och hur variationen i olika parametrar kan ha betydelse för slutresultatet.

Resultaten från brand- och utrymningmodelleringen vägs sedan samman i *kapitel 8*, där personsäkerheten värderas. Slutsatser i form av förslag till förbättringar förs fram i *kapitel 9*. Rekommendationerna är uppdelade i vilka som författarna anser *skall* vidtagas samt vilka som *bör* vidtagas för att en godtagbar säkerhetsnivå skall uppnås.

Rapporten avslutas med en del formalia. Först kommer listor på använda beteckningar och förkortningar innan rapporten avslutas med en förteckning över använda referenser.

Till rapporten finns också tre bilagor där indata till datormodellen FDS, strålningsberäkning och krav på dokumentation i systematiskt brandskyddsarbete (SBA) återfinns.

2 Objektsbeskrivning

I detta kapitel beskrivs byggnaden och dess befintliga brandskydd.

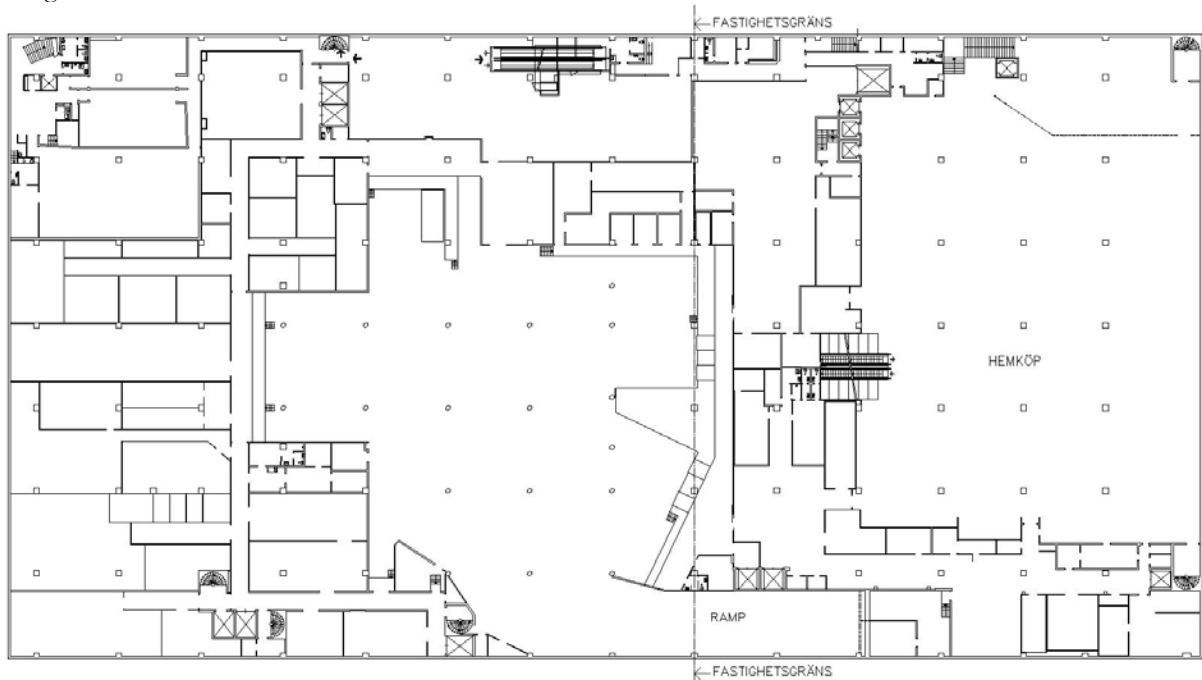
2.1 Byggnaden

Byggnaden som totalt omfattar fem våningsplan är cirka 136 m × 72 m och är belägen i centrala Norrköping med entreér mot Drottninggatan, Prästgatan och Hantverkaregatan. Byggåret är 1977.

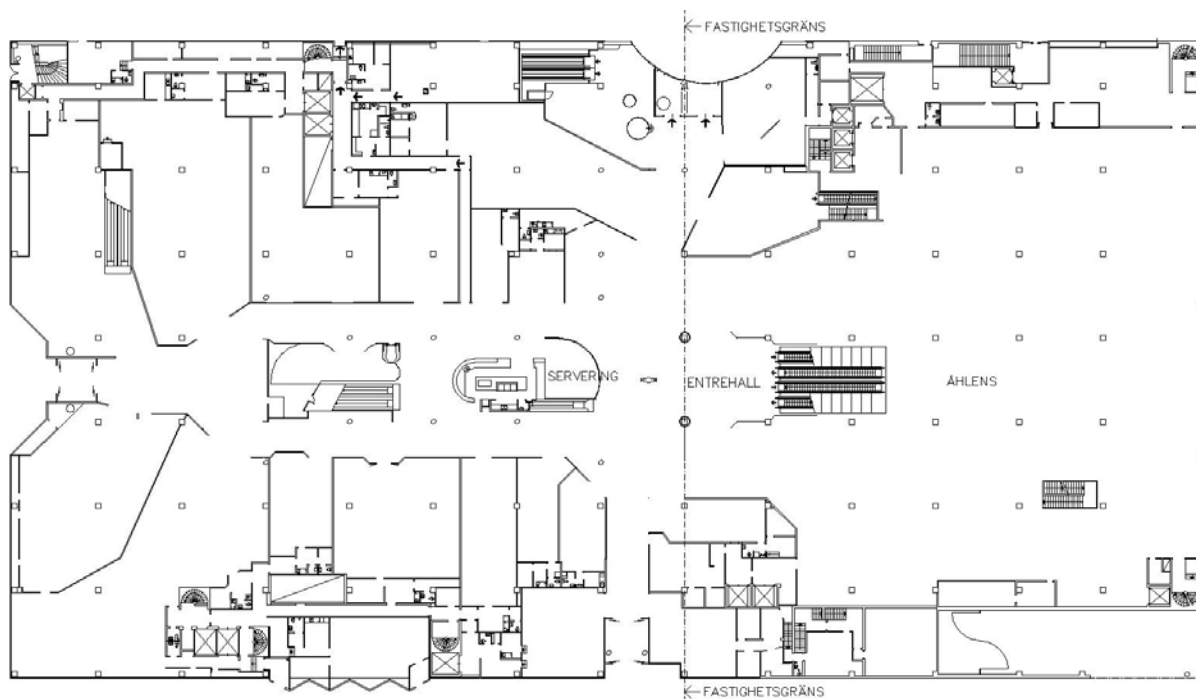


Bild 2.1: Linden köpcentrum.

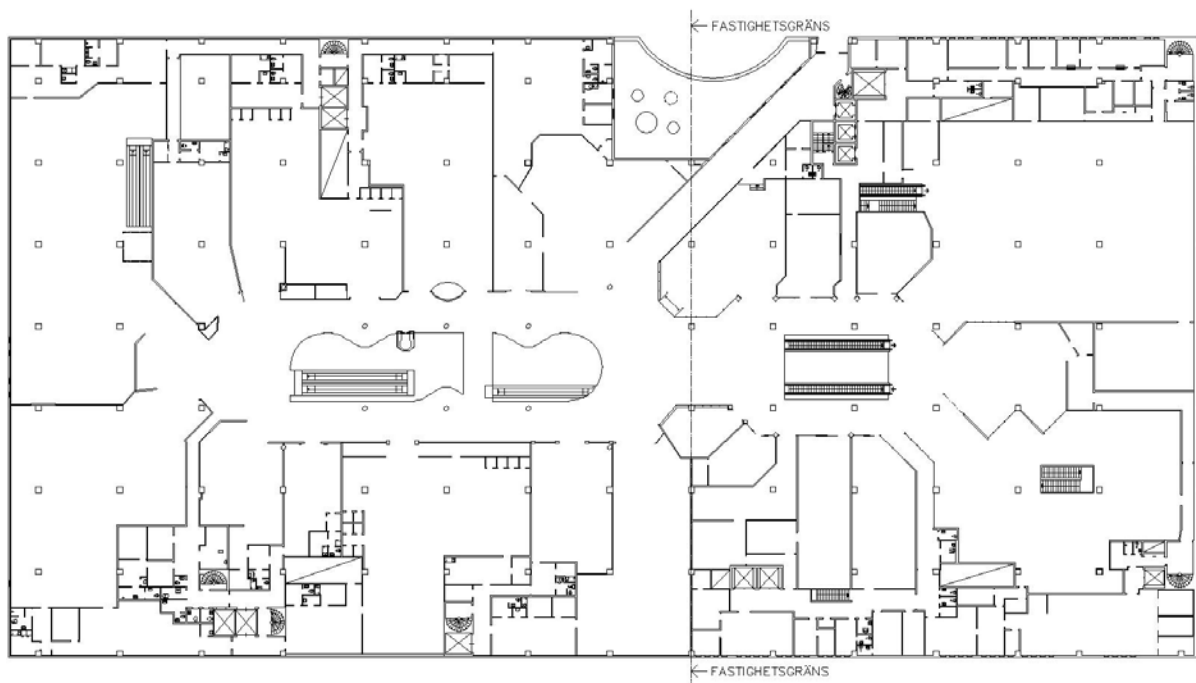
Verksamheten i byggnaden är varuförsäljning i tre plan. Största andelen butiker återfinns på entréplan samt övre plan. Källarplan innehåller endast delvis försäljningsyta, resten är främst lager. Till detta kommer kontor och tekniska installationer på ett fjärde våningsplan. Varuleveranser tas emot under huset via en körbar ramp ner i källarplan. Byggnaden delas av två fastighetsägare, Fastighets AB L E Lundberg (Kv. Linden 13) och Axfast AB (Kv. Linden 14, Åhléns/Hemköp-delen). Fastighets AB L E Lundberg, har fungerat som kontaktpersoner under projektet. Översiktliga ritningsskisser över våningsplanen i byggnaden presenteras i figur 2.1 till 2.3.



Figur 2.1: Källarplan (Plan 1).



Figur 2.2: Entreplan (Plan 2).



Figur 2.3: Övre plan (Plan 3).

2.1.1 Ventilation

Ett osekionerat ventilationssystem försörjer hela byggnaden. Systemet består av både från- och tilluft med värmeåtervinning. Inga ventilationsritningar har funnits att tillgå varför bedömningen av hur ventilationssystemet fungerar vid brand har fått göras på en allmän och övergripande nivå.

I händelse av brand finns manuell kontroll av ventilationssystemet nere i sprinklercentralen. Här kan räddningstjänsten manuellt stänga av och starta från- och tilluftsaggregaten var för sig.

Vid en brand i butikslokal kommer förmodligen inte någon större brandgasspridning ske via ventilationen då lokalerna har mycket stora läckflöden ut i de öppna delarna av varuhuset. Detta innebär att brandgaserna lättare sprids ut i varuhuset än via ventilationen på grund av lägre tryckfall.

Vid en brand i slutna utrymmen som lager, personalutrymmen eller kontor kan mycket väl brandgasspridning ske via ventilationssystemet. Relativt tidigt kommer utspädda, nedkylda brandgaser att spridas via tilluftskanalerna. Detta följs förmodligen senare av spridning även via frånluften där brandgaserna sprids relativt utspädda och varma.

2.2 Befintligt brandskydd

Det befintliga brandskyddet redovisas här kort, uppdelat i aktiva respektive passiva system. Någon dokumentation av brandskyddet (brandskyddsdocumentation) har ej gått att uppbringa.

2.2.1 Aktiva system

Sprinklersystem

Linden köpcentrum är i stort sett helsprinklat. Ett sprinklersystem installeras i en byggnad för att upptäcka och begränsa en brand. Därmed skyddar ägaren sig mot storskador och får ett bättre skydd mot personskador då utrymning blir säkrare med sprinkler än utan. Sprinklersystem kan också installeras för att få lägre försäkringspremier eller för att göra så kallade tekniska byten i brandskyddet, till exempel att slippa brandsektionering, få lättnader i byggnadsklass eller för att få ha längre utrymningsvägar eller färre trapphus.

Hur effektivt ett sprinklersystem är beror av flera faktorer. Till exempel är placeringen av sprinklerna av stor betydelse. Sprinkler ska placeras nära taket för att de ska träffas av en brands heta rökpilm eller takstråle. Funktionen kan förändras då taket lutar eller om sprinklerna är placerade nära brandventilatorer. Om brandventilatorerna öppnas för tidigt, innan sprinklerna har löst ut, kan sprinklernas utlösning försenas kraftigt då de varma gaserna inte når sprinklerna. I ett varuhus som Linden är det också viktigt att veta att då sprinkler utlöser, rörs brandgaserna om och kyls vilket kan resultera i att röken sjunker. Detta kan komma att försvåra utrymning i närheten av branden. Dock har Loughed, McCartney & Taber (2001) visat att rök utan termisk stigkraft normalt uppträder sent i brandförloppet vid sprinklade varuhusbränder och att det knappast påverkar utrymningen nämnvärt.



Bild 2.2: Sprinklercentralen.

Anläggarintyget för sprinkleranläggningen är daterat 1977-03-14, vilket kompletterats med ett intyg för ombyggnation daterat 2003-09-16. Sprinklersystemet är dimensionerat i riskklass N3 enligt då gällande RUS 120. Systemet består av cirka 4 000 sprinklermunstycken fördelade på sex sektioner. Vid utlöst sprinkler sker signalöverföring till Norrköpings Brandförsvär.

Systemet matas med kommunal ringmatad servisledning som 1977 angavs ha en kapacitet på 1 650 l/min (3.06 bar) - 2 025 l/min (2.78 bar). Enligt SBF 120:5 (SBF, 2001) innebär riskklassen N3 en vattentäthet på 5 mm/min och en verkningsyta på 216 m². Det ger ett flöde på 1 080 l/min vilket skall ökas med 50 % för att kompensera för att vattenförsörjningen sker ifrån allmän vattenledning. Det dimensionerande flödet uppgår då till cirka 1 620 l/min vilket skall klaras av sämst belägna verkningsytan i minst 60 minuter. Normalt kan sägas att trycket i en allmän vattenledning bör ligga mellan 3 och 7 bar, annars krävs ofta tryckstegring eller tryckminskning (Jensen, 2001). Dimensioneringen i riskklass N3 innebär att arton sprinkler skall kunna öppna i den sämst belägna verkningsytan. Arton sprinklerhuvuden ger ett väsentligt tryckfall som tillsammans med cirka 10 m höjdskillnad (1 bars tryckfall) och ett antal meter rör skall övervinnas av trycket i den kommunala servisen. Då trycket i systemet vid en första anblick kan tyckas vara något lågt är det viktigt att anläggningsägaren kan visa på att systemet är korrekt utfört. Redovisning av tryckförlustberäkningar *skall* finnas (punkt 6250.13: SBF, 2001), inte minst då systemet nyligen utvidgats väsentligt (punkt 7131: SBF, 2001). Detta *skall* kompletteras med ett fullständigt vattenavtappningsprov minst vart 3:e år (punkt 132, bilaga 2: SBF, 2001).

Vid lagring (förrådshållning och mellanlagring) gäller förmodligen främst lagringskategori L3, vilket innebär en högsta lagringshöjd om 2 m för fristående lagring och plockfack. För staplingsbara pallar, öppna ställningar och ställningar med täta hyllor gäller 1,5 m. Vid högre lagringshöjd hänförs verksamheten till hög riskklass vilket ställer större krav på sprinklersystemet. Det fria utrymmet under en sprinkler får aldrig understiga 0,5 m.



Bild 2.3: Tre olika sprinklermunstycken.

Det finns olika typer av sprinklermunstycken, de vanligaste i Sverige är sprinklermunstycken försedda med temperaturkänsliga glasbulber eller smältbleck. Dessa löser ut då en viss temperatur har uppnåtts. Vid objektsbesöket observerades minst tre olika sprinklermunstycken i olika delar av byggnaden, vilket framgår av bild 2.3. Hur känsligt sprinklermunstycket är beskrivs av den termiska trögheten med dess RTI-värde (Response Time Index) och av utlösningstemperaturen. En typ av sprinklermunstycke från Linden har testats (mitten på bilden) för att bestämma dess RTI-värde. Det testade munstycket var det som var mest frekvent förekommande i de öppna delarna av varuhuset. Testet utfördes med munstycket placerat så att den varma gasströmmen träffade munstycket vinkelrätt mot bygel. Detta ger lägsta möjliga RTI värde.

Ekvation 2.1 och 2.2 har använts för att räkna ut RTI-värdet.

$$RTI = T \times v^{0.5} \quad \text{Ekv. 2.1}$$

där

$$RTI = \text{Response Time Index (m}^{0.5} \text{ s}^{0.5})$$

$$T = \text{tidskonstanten (s)}$$

$$v = \text{lufthastighet (m/s)}$$

$$T_b(t) = e^{-t/T} \times T_b(0) + (1 - e^{-t/T}) \times T_s \quad \text{Ekv. 2.2}$$

där

$$T_b(t) = \text{sluttemperaturen (}^\circ\text{C)} = 68 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_b(0) = \text{starttemperaturen (}^\circ\text{C)} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T = \text{tidskonstanten (s)}$$

$$T_s = \text{omgivningstemperaturen (}^\circ\text{C)} = 194 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t = \text{utlösningstiden (s)} = 36 \text{ s}$$

Med hjälp av ekvation 2.2 fås att $T = 102,5$ s, vilket insatt i ekvation 2.1 med en lufthastighet på 2 m/s ger ett värde på $RTI = 145 \text{ m}^{0.5} \text{ s}^{0.5}$.

Utrymningslarm

När byggnaden uppfördes fanns inga krav på utrymningslarm. Men eftersom Linden numera är att anse som en samlingslokal bör det vara skäligt att nuvarande krav i BBR skall gälla:

“5:3711 Utrymningslarm

Samlingslokaler skall förses med utrymningslarm som aktiveras automatiskt eller från bemannad plats vid brandindikation.” (Boverket, 2002).

Eftersom Linden även är en arbetsplats gäller också AFS 2000:42 vilken anger:

“87 § Larmsignaler skall kunna utlösas manuellt. Om det behövs skall det finnas en anordning som automatiskt utlöser en larmsignal vid brand, gasutströmning, syrebrist eller liknande.” (Arbetsmiljöverket, 2000).

Byggnaden är försedd med talat utrymningslarm. Det har dock ej gått att ta reda på hur meddelandet lyder. Det är tveksamt om Lindens utrymningslarm kan anses uppfylla kraven i BBR, då de bemannade platser som finns idag inte kan antas få någon brandindikation inom godtagbar tid samt att uttalad organisation saknas för vem som skall utlösa larmet. Förutsättningen för att aktivera utrymningslarmet från en bemannad plats bör vara att utbildad personal har överblick över lokalen eller att de varseblivs om branden via ett automatiskt brandlarm.

Enda sättet att aktivera larmet är via de fem knappar för manuell aktivering som är utplacerade i byggnaden eller via sprinklercentralen, se bild 2.4.



Bild 2.4: Aktivering av talat utrymningsmeddelande.

Enligt SBF (2003) rekommenderas att larmknappar placeras så att manuell aktivering skall kunna ske av alla personer som finns i byggnaden. Knappar för manuell utlösning skall då placeras vid alla utgångsdörrar direkt till det fria och i övrigt så att gångavståndet till en larmknapp aldrig överstiger 30 meter.

Enligt Brandskyddshandboken (Brandteknik LTH, 2002) är förutsättning för att endast utsedd personal skall kunna utlösa larmet att det alltid finns utbildad personal på plats som dessutom har översikt över lokalerna. Så kan inte anses vara fallet i Lindens köpcentrum, varför det bör övervägas om larmet skall förses med automatisk aktivering och fler larmknappar placeras ut i byggnaden.

SBF rekommenderar att ett utrymningslarms taluppfattbarhet skall vara 0,7 på CIS skalan (Common Intelligibility Scale) vilket testas enligt SS-EN 60849:1998. Utrymningsmeddelande skall normalt föregås och följas av akustisk signal. Utrymningslarmet skall upprepas kontinuerligt med minsta tidsintervall 30 sekunder. Meddelandet skall alltid innehålla följande tre delar:

- Begäran om uppmärksamhet
- Information om vad som hänt
- Instruktion om vilken åtgärd som skall vidtagas.

Ett fullständigt funktionsprov med avgivande av utrymningslarm i hela byggnaden skall utföras minst en gång per kvartal (SBF, 2003).

Nödbelysning

Eftersom Linden är att betrakta som samlingslokal skall nödbelysning finnas. Uppgifter om detta saknas dock. Om nödbelysning finns kan den vara utformad genom att varannan armatur av normalbelysningen är försedd med reservkraft i form av batteri eller att nödbelysningen förses med kraft från ett centralt beläget diesellaggregat..

Rökluckor

I de flesta trapphusen finns rökluckor installerade vilka kan öppnas av räddningstjänsten med vajer. Rökluckornas funktion har ej bedömts i detta arbete.

Rökjalusier

Vid fastighetsgränsen i byggnaden finns rökjalusier som manuellt kan köras ned för att minska rökspridning. För detta krävs särskild nyckel som vaktmästarna har tillgång till. För att inte påverka utrymningen negativt krävs att jalousierna inte fälls ned ända till golvet förrän det att utrymningen är avslutad.

Brandredskap för manuell släckning

Brandredskap skall finnas i sådan omfattning att det aldrig är längre än 25 meter till närmaste släckutrustning (Boverket, 2002). Dessa skall dessutom lämpligen placeras i närheten av utrymningsvägarna. Kommentarer angående brister kring handbrandsläckare finns i räddningstjänstens protokoll från brandsyn 2001-12-19. All utrustning för manuell brandbekämpning skall hållas fri så den är ej blockerad, vilket dock inte alltid är fallet (se bild 2.5).



Bild 2.5: Blockerade brandredskap.

2.2.2 Passiva system

När det gäller passiva system i Linden köpcentrum är byggnaden i princip byggd som en enda brandcell. Detta innebär att byggnaden inte är brandtekniskt avskiljd i fastighetsgränsen mellan de två objektsägarna. Enligt ritningar finns en utrymningsväg som är brandtekniskt avskiljd från övriga byggnaden i klass EI 60. För denna utrymningsväg är det dock ej fastställt om ventilationen också är brandtekniskt avskiljd. Denna utrymningsväg är placerad på entréplan och leder till en nödutgång mot Prästgatan. Utöver denna utrymningsväg är även trapphus som leder till nödutgångar brandtekniskt avskiljda.

Det är möjligt att det finns fler brandtekniskt avskiljda delar i byggnaden, men det är inget som framgår av de ritningar som funnits tillgängliga över objektet.

2.3 Sammanfattande bedömning av befintligt brandskydd

Linden köpcentrum är en byggnadstekniskt tålig konstruktion som är uppförd huvudsakligen i betong vilket har mycket goda egenskaper ur såväl brand- som bärighetssynpunkt. Byggnaden består av stora ytor som ej är uppdelade i olika brandceller men som i gengäld är helsprinklade. Enligt dagens föreskrifter skulle detta vara en acceptabel lösning för ett så kallat *tekniskt byte*. Tekniska byten är tillåtna avsteg från föreskrifternas schablonlösningar med en lösning som ger ett motsvarande eller bättre skydd.

De stora öppna ytorna gör att brandgaser kan spridas över hela byggnadsvolymen och försvåra utrymningen. Antalet utrymningsvägar och deras kapacitet ger ett intryck av att vara väl tilltagna.

Sprinklersystemet, som konstruerades 1977, dimensionerades med en för den tiden tillgänglig vattenkapacitet i kommunala ledningssystemet. De sprinklermunstycken som är monterade är även av den tidens standard. Detta gör att det finns frågetecken för hur väl sprinklersystemets vatten- och tryckbehov tillgodoses med dagens ledningskapacitet som sedan 1977 förmodligen har fått en högre belastning. Sprinklermunstyckena är till skillnad mot moderna munstycken av en ganska grov konstruktion som gör att deras responstid (RTI) är jämförelsevis lång.

Utrymningslarmet är av typen talat meddelande men saknar automatisk aktivering. Även om krav på utrymningslarm inte fanns när byggnaden uppfördes kan dagens krav ändå kan framföras av räddningstjänsten mot objektsägaren med stöd av att detta är skäligt enligt 41 § i Räddningstjänstlagen.

2.4 Tillbudshistorik

Endast ett brandtillbud har inträffat i byggnaden. Det var en brand i en öppen container för papper/kartong vid lastbryggan till Hemköp. Branden löste ut sex sprinkler och resultatet av branden blev att Åhlensdelen av varuhuset (Kv. Linden 14) rökfylldes men ingen brandspridning skedde utanför containern där branden startade.

Fastighetsägaren för Kv. Linden 13 – Fastighets AB L E Lundberg – har även haft tillbud med anlagd brand i köpcentret Spiralen. Detta köpcentrum ligger inte så långt ifrån Linden och de är i stora drag jämförbara.

För att påvisa att bränder trots allt frekvent uppstår redovisas i tabell 2.1 Räddningsverkets statistik från de kommunala insatsrapporterna över hur många räddningsinsatser (bränder) som förekommer i handeln per år. *Automatlarm, ej brand* är inte med i materialet, utan det baseras på kategorin *brand i allmän byggnad*. Här ses att under de senaste sju åren har cirka 230 bränder inträffat per år i Sverige och att antalet skadade normalt uppgår till ett fåtal per år.

År	Objektstyp	Antal räddningsinsatser	Personskador		
			Antal döda	Antal svårt skadade	Antal lindrigt skadade
2002	Handel	227			5
2001	Handel	246			10
2000	Handel	235			9
1999	Handel	226		1	2
1998	Handel	231	2	1	9
1997	Handel	240			9
1996	Handel	217	okänt		

Tabell 2.1: Antal räddningsinsatser (bränder) i handeln 1996-2002 (SRV, 1997-2003).

Bland större bränder i shoppingcentra i världen kan nämnas Logan Valley Mall, Pennsylvania, som brann natten till den 16 december 1994. Cirka 20 procent av byggnaden totalförstördes och ett värde av cirka \$75 miljoner gick till spillo (Thomas & Miller, 1995). I den delvis sprink-

lade byggnaden förstördes 15 affärer och 9 mindre kiosker. Brandlarmet överfördes inte automatiskt till räddningstjänsten. Branden utreddes bland annat av NFPA. Andra bränder i shoppingcentra som de undersökt är branden i september 1983 i Brunswick Mall (Georgia) och branden i shoppingcentret i University Hills, Denver (Colorado) i november samma år.

Den värsta brandkatastrofen som inträffat i ett shoppingcentrum är förmodligen den som inträffade 2001 i Perus huvudstad Lima. Efter att ett fyrverkeri exploderat startade en enormt snabb brand som resulterade i att över 287 människor omkom och 180 skadades (CNN, 2001).

3 Brandscenarier

I detta kapitel presenteras de två brandscenarier som sedan studeras vidare i kapitel 4 med avseende på hur de påverkar utrymningsituationen i Linden köpcentrum.

3.1 Allmänt

Olika typer av dimensionerande bränder kan väljas utifrån de som bedöms mest sannolika, värsta möjliga eller värsta troliga bränder. I denna rapport väljs de dimensionerande bränderna utifrån vad projektgruppen bedömt som *värsta troliga bränder*. Detta innebär att scenarier medvetet valts med hög brandbelastning och snabba förlopp, men som ändå *kan* inträffa i byggnaden under en rimlig livstid.

De två brandscenarier som studeras är:

- Scenario A: Brand i butikslokalen *Obbssons tyger* på övre butiksplan (plan 3).
- Scenario B: Brand i entréhall på gatuplan (plan 2).

I kapitel 7.4 förs en diskussion varför en undersökning av de valda scenarierna kan anses vara generaliserbar för att övergripande studera hela byggnadens personsäkerhet vid brand.

Gemensamt för de båda scenarierna är att den dimensionerande branden antas utvecklas proportionellt mot tiden i kvadrat, vilket visas i ekvation 3.1 (Karlsson & Quintiere, 1999).

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \quad \text{Ekv. 3.1}$$

där

\dot{Q} = total effektutveckling (kW)

α = brandens tillväxt hastighet (kW/s²)

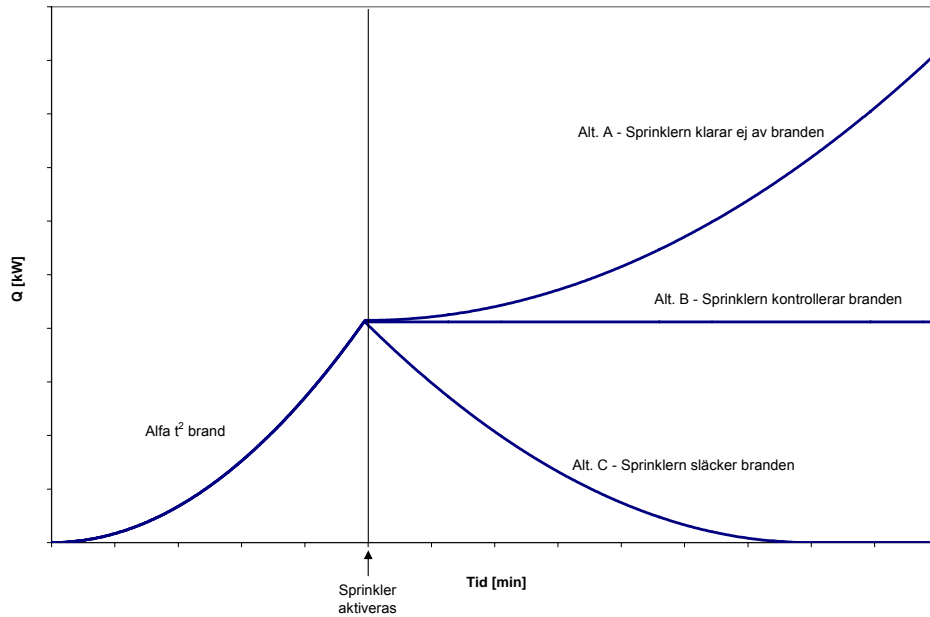
t = tid (s)

Till ekvationen hör olika värden på α för att beskriva olika snabba brandförlopp, enligt nedan:

- Slow, $\alpha = 0,00293 \text{ kW/s}^2$
- Medium, $\alpha = 0,01172 \text{ kW/s}^2$
- Fast, $\alpha = 0,0469 \text{ kW/s}^2$
- Ultrafast, $\alpha = 0,1876 \text{ kW/s}^2$

Innan en brand utvecklas enligt denna ekvation föregås den av en förbrinntid som är mycket svår att bestämma. Denna förbrinntid beror främst på energin i antändningskällan. För en anlagd brand med brandfarlig vätska kan tiden försummas, medan förbrinntiden för en naturlig brandstiftare mycket väl kan uppgå till 10 - 15 minuter, kanske mer. Under denna tid är effektutvecklingen mycket låg och sprinklersystemet kommer inte att reagera för branden. Ett rökdetektorsystem skulle mycket väl kunna aktiveras under denna tid då viss rökproduktion sker. Hur förbrinntiden påverkar utrymningsituationen är i detta fallet helt beroende på hur enskilda människor agerar då det upptäcker en begynnade brand.

Linden köpcentrum är i stort sett helsprinklat, vilket på något sätt måste beaktas i de studerade brandscenarierna. Hur sprinkler påverkar brandförloppet beror på hur sprinklersystemet är dimensionerat i förhållande till brandens tillväxt. I figur 3.1 nedan visas tre typfall av hur sprinklerns inverkan på effektutvecklingen kan behandlas i ett dimensionerande brandscenario. I NFPA 92B (NFPA, 1995) förordas att alternativ B skall tillämpas såvida inte testresultat finns tillgängliga som kan styrka att sprinklersystemet faktiskt kan släcka den tänkta designbranden.



Figur 3.1: Sprinklers inverkan på dimensionerande brand.

Tillförlitligheten för ett sprinklersystem är inte 100 procent vilket motiverar att brandscenarierna även måste studeras utan inverkan av sprinkler.

3.2 Scenario A - Brand i butikslokal

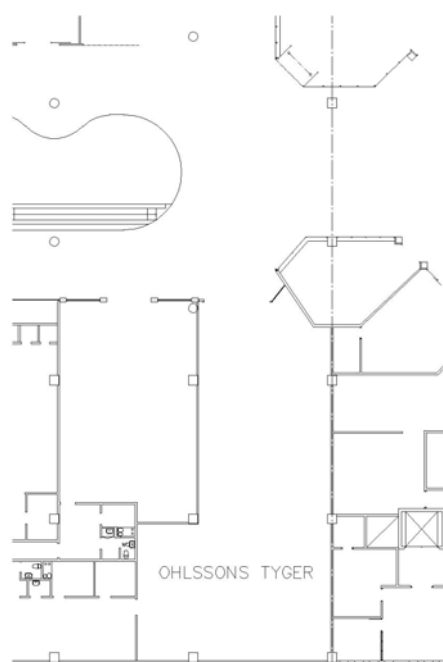
3.2.1 Beskrivning

En brand bryter ut i butikslokalen *Oblssons tyger* som ligger centralt placerat på köpcentrets övre plan. Butiken har valts ut dels för att brandbelastningen är hög och dels på grund av butikens placering, då en brand här kan hindra människor från att vid utrymning passera lokalen och ta sig till de vanliga utgångarna. En brand i butiken kan uppstå av flera anledningar som till exempel anlagd brand eller genom tekniska fel i exempelvis lysrörsarmaturer. Lysrör som glimtänder eller tygrullar nära varma spotlights kan vara tänkbara anledningar till att brand inträffar.

Butikens geometriska förutsättningar:

- Golvarea: 262 m²
- Takhöjd: 3,20 m
- Dörröppning: 4,50 x 2,40 m

Lokalens utformning presenteras i figur 3.2 och bild 3.1.



Figur 3.2: Ohlssons tyger (från CAD-ritning).



Bild 3.1: Ohlssons tyger.

3.2.2 Inverkan av sprinkler

Datorprogrammet DETACT-T2 (Stroup, 1985) har använts för att uppskatta aktiveringstiden för sprinklern i butikslokalen. Förutsättningarna som använts är:

- Omgivningstemperatur: 20 °C
- Aktiveringstemperatur: 68 °C
- Vinkelrätt avstånd mellan sprinklerna: 4,0 m

I SBF 120:5 (SBF, 2001) anges ett vinkelrätt avstånd på 4,0 meter mellan sprinklerrmunstyckena för normal riskklass. I tabell 3.1 visas resultaten av beräkningar med DETACT-T2 för ett antal olika RTI-värden som funktion av tillväxthastighet.

Brandtillväxt	RTI = 50	RTI = 100	RTI = 150	RTI = 200	RTI =250
Slow	6,86 min	7,49 min	8,04 min	8,52 min	8,95 min
Medium	4,00 min	4,52 min	4,93 min	5,28 min	5,58 min
Fast	2,45 min	2,83 min	3,12 min	3,36 min	3,56 min
Ultra-fast	1,56 min	1,83 min	2,02 min	2,18 min	2,32 min

Tabell 3.1: Aktiveringstid för sprinkler från DETACT-T2 vid 4,0 m vinkelrätt avstånd.

Som visats tidigare är ett av Lindens sprinklerrmunstyckes RTI-värde uppmätt till cirka 145 i dess bästa placering i förhållande till gasströmmen. Vid ett RTI-värde på 150 - 200 tillsammans med en tillväxthastighet motsvarande *Fast*, som i kapitel 3.2.3 motiveras till dimensionerande tillväxthastighet, fås en aktiveringstid på 3,1 - 3,3 minuter. Vid denna tidpunkt är effektutvecklingen cirka 1,6 - 1,8 MW.

Sprinklerns aktiveringstid är beräknad för en brand i golvnivå och den sämsta placeringen av branden i förhållande till sprinklerhuvudet, vilket leder till en konservativ skattning av tiden till sprinkleraktivering. Med dessa säkerhetsmarginaler i åtanke har en maximal effektutveckling då sprinkler aktiveras satts till 1,6 MW vid tidpunkten 3,1 minuter. Efter denna tidpunkt antas konstant effektutveckling i enlighet med alternativ B i figur 3.1. Detta är också ett konservativt antagande vilket kan anses lämpligt då ingen ytterligare information om sprinklerns verkliga effekt på branden finns tillgänglig. Till exempel kan fysiska hinder leda till att sprinklervattnet inte når brandhärden.

Den valda effektutvecklingen på 1,6 MW stämmer också ganska bra överens med en artikel av Lougheed, McCartney & Taber (2001) där det anges att deras testade effektutvecklingar på 1 000 kW till 2 500 kW täcker in de allra flesta bränder som uppstår i sprinklade varuhus och att normalt löser maximalt fyra sprinklerhuvuden ut.

3.2.3 Effektkurva

Tillväxthastigheten för den dimensionerande branden antas i detta scenario vara *fast*. Karlsson & Quintiere (1999) anger som föreslagen brandtillväxthastighet i svenska köpcentra en tillväxthastighet motsvarande *ultra-fast*. Detta måste dock ses som mycket konservativt då denna brandtillväxthastighet brukar användas för att beskriva bränder med luftigt packad plast eller brandfarlig vätska. Då brandbelastningen här utgörs av tätt packade tygrullar, täcken m.m. bör tillväxthastigheten *fast* stämma bättre överens med verkligheten än *ultra-fast*.

I det fall då branden ej påverkas av sprinkler fortsätter branden att utvecklas fram till en maximal effektutveckling som bestäms av tillgången på syre eller bränsle. Den effektutveckling som öppningen tillåter maximalt innan branden blir ventilationskontrollerad kan räknas ut enligt ekvation 3.2. Beräkningen bygger på att allt syre som strömmar in i lokalen förbrukas i förbränningen. Detta stämmer dock inte riktigt överens med verkligheten vilket medför att den verkliga maximala effektutvecklingen vid en ventilationskontrollerad brand är lägre än vad som beräknats med ekvation 3.2.

$$\dot{Q} = 1,518 \times A_0 \times \sqrt{H_0} \quad \text{Ekv. 3.2.}$$

där

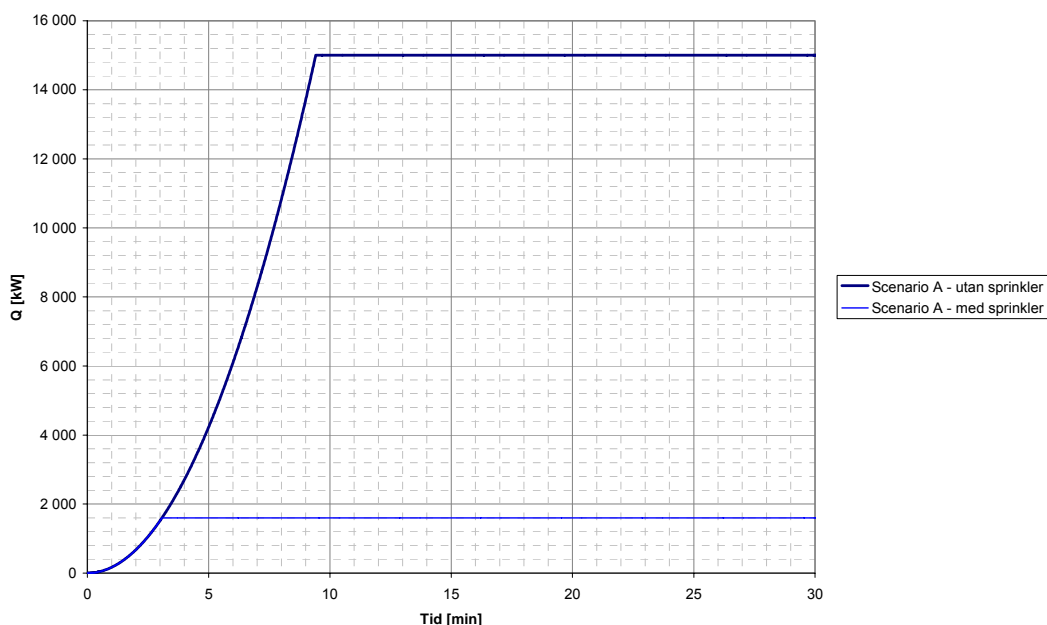
$$\dot{Q} = \text{total effektutveckling (MW)} = 25,4 \text{ MW}$$

$$A_0 = \text{öppningens storlek (m}^2\text{)} = 2,40 \times 4,50 = 10,8 \text{ m}^2$$

$$H_0 = \text{öppningens höjd (m)} = 2,40 \text{ m}$$

Den med ekvation 3.2 beräknade gränsen för en ventilationskontrollerad brand är beräknad till 25,4 MW vilket är väldigt högt. Det kan då antas att tillgången på bränsle kommer att vara avgörande för den maximala effektutvecklingen inne i butiken. Riktlinjerna i NFPA 92B (NFPA, 1995) anger en dimensionerande maximal effektutveckling i butikslokaler till cirka 0,5 MW/m². I butiken Ohlssons tyger kan brandarean grovt uppskattas till cirka 30 m² vilket ger en maximal effektutveckling på cirka 15 MW, vilket också förmodligen ligger närmare den verkliga ventilationskontrollerade effektutvecklingen. Detta är därför det värde som valts som övre gräns för effektutvecklingen. Detta värde är mycket osäkert men kommer förmodligen inte att påverka personsäkerheten nämnvärt då tidpunkten då branden når denna effekt ligger runt 9 minuter. Vid den tiden bör de flesta besökare som befinner sig i närheten av branden ha satt sig i säkerhet.

Sammanfattningsvis har en tillväxthastighet motsvarande *fast* valts med en övre gräns på 1,6 MW då sprinkler aktiveras och 15 MW då sprinklersystemet ej fungerar. De valda effektutvecklingarna som funktion av tiden för brandscenario A med och utan sprinkler redovisas i figur 3.3.



Figur 3.3: Vald effektutveckling för scenario A.

3.3 Scenario B - Brand i entréhall

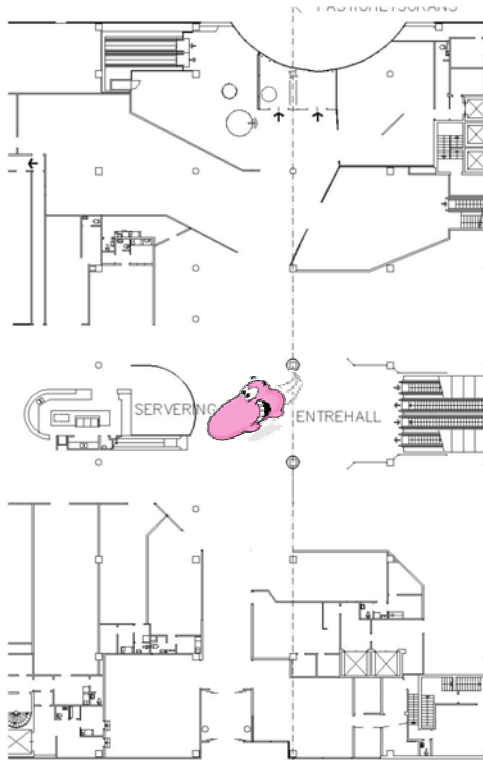
3.3.1 Beskrivning

Brandscenariot motsvarar en brand i entréhallen på markplan mitt emellan de två sidoentréerna. Vid objektsbesöket fanns flera bilar uppställda på olika ställen i köpcentret som skyltexemplar, varför detta har valts som det objekt som brinner. Branden antas vara anlagd då uppställda bilar normalt inte är kända brandstiftare.

Geometriska förutsättningar:

- Takhöjd = 3,60 m

I figur 3.4 visas området där bilen är placerad.



Figur 3.4: Bilens placering i området i entréhallen.

3.3.2 Inverkan av sprinkler

I tabell 3.2 redovisas sprinklersystemets aktiveringstid från beräkningar med DETACT-T2 med samma förutsättningar som i scenario A, dock med ändrad takhöjd till 3,60 m.

Brandtillväxt	RTI = 50	RTI = 100	RTI = 150	RTI = 200	RTI = 250
Slow	7,29 min	7,89 min	8,42 min	8,90 min	9,33 min
Medium	4,21 min	4,72 min	5,13 min	5,48 min	5,79 min
Fast	2,56 min	2,94 min	3,24 min	3,48 min	3,69 min
Ultra-fast	1,63 min	1,89 min	2,09 min	2,25 min	2,39 min

Tabell 3.2: Aktiveringstid för sprinkler från DETACT-T2 vid 4,0 m vinkelrätt avstånd.

Tillväxthastigheten *medium*, som väljs och motiveras i kapitel 3.3.3, innebär att sprinklerna aktiveras efter cirka 5,1 till 5,5 minuter. Då är brandens effektutveckling cirka 1 MW.

Brandhärden i en bil som brinner kan vara mycket svår att nå med vattensprayen från en sprinkler eftersom bilen täcks av takplåt, motorhuv med mera. Sprinklers inverkan har därför bortsetts ifrån i detta scenario.

3.3.3 Effektkurva

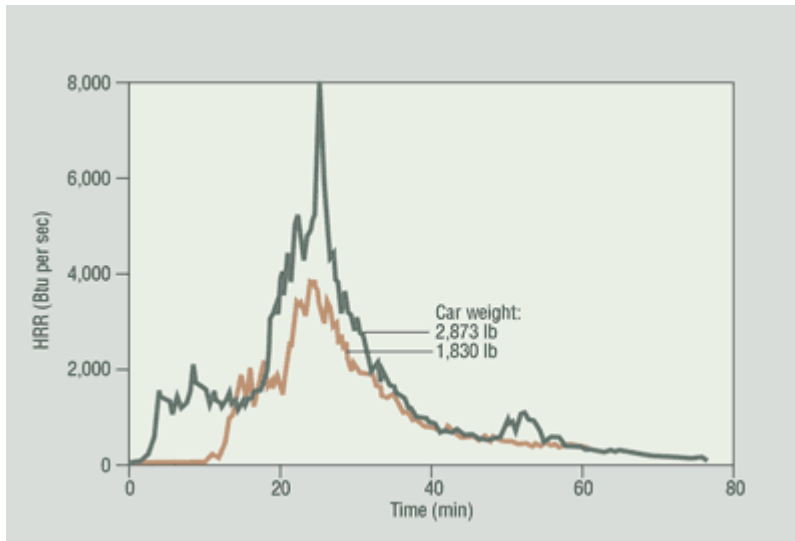
En litteratursökning beträffande effektutvecklingen ifrån en personbil visar på en viss spridning i föreslagna effektutvecklingar.

Dufflé & Marec et al. (1999) anger i sin rapport från branden i Mont Blanc-tunneln att effektutvecklingen från personbilar ligger mellan 2 till 5 MW och att branden normalt varar i ungefär 45 minuter. Vid denna effektutveckling anges rökproduktionen till cirka 20 m³/s.

T&E & ETSC (2003) konstaterar att en brinnande personbil utvecklar 3 – 10 MW och brinner i cirka 10 till 30 minuter.

Resultat från franska tester av Joyeux (1997) (Hämtat från Klote, 2002) visar på att nya bilar brinner med en högre effektutveckling än äldre modeller. Testerna visar på en maximal effekt-

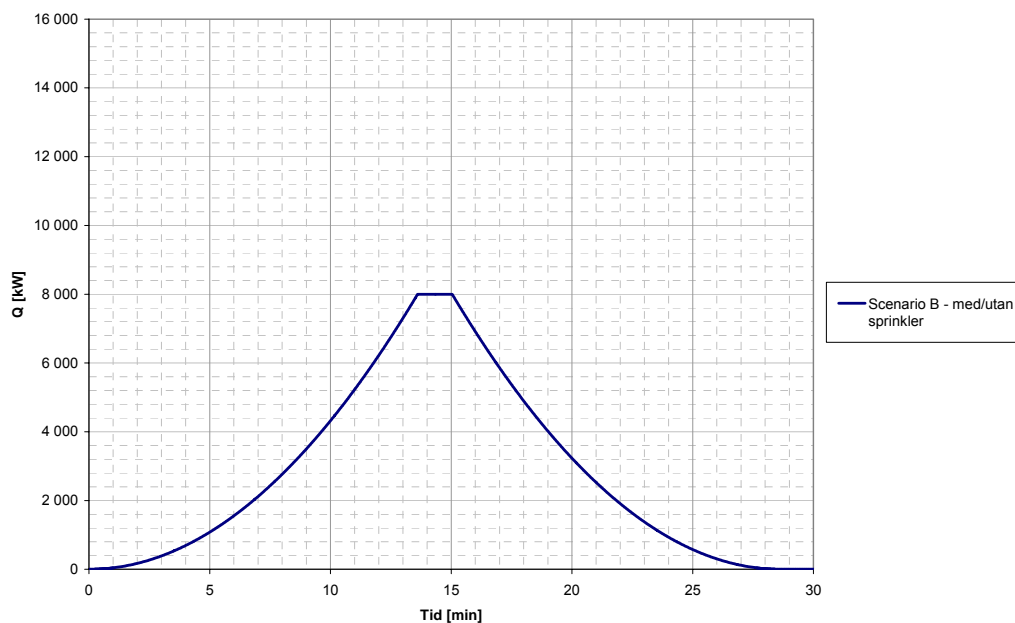
utveckling på ca 4,2 MW för en bil på 830 kg och ca 8,4 MW för en bil på 1 350 kg. I testerna varade branden totalt cirka 60 - 80 minuter och effektutvecklingen var som högst vid tiden kring 25 minuter (se figur 3.5). En slutsats av testerna var att branden kan spridas från en brinnande bil till en närbelägen parkerad bil, men att detta är ovanligt.



Figur 3.5: Joyeux testresultat (hämtad från Klote, 2002).

Även i en artikel av Shipp (2002) används 8 MW för effektutvecklingen från brinnande personbilar med referenser givna till Joyeux (1997) och Mangs & Keski-Rahkonen (1994).

Den valda effektutvecklingen som funktion av tiden för brandscenario B visas i figur 3.6. Tillväxthastigheten antas här vara *medium* ($\alpha=0,012$). Detta stämmer bra överens med Joyeux testresultat om dessa förskjuts cirka tio minuter. Denna förskjutning på tio minuter kan ses som en förbrinntid, vilken om branden är anlagd mycket väl kan vara kortare än i de utförda testerna eftersom en anlagd brand sannolikt tänds med brandfarliga vätskor.



Figur 3.6: Vald effektutveckling för scenario B.

4 Simulering av brandförlopp

I detta kapitel visas hur de två brandscenerierna modellerats samt vilka resultat som erhållits. Två typer av modeller har använts: zonmodell och fältmodell. Till detta kommer handberäkningar som använts för att avgöra om resultaten är rimliga samt för att beräkna strålningen från scenario B.

4.1 Zonmodeller

För simulering av brandscenario A (Ohlssons tyger) har tvåzonsmodellerna ARGOS V4.4 (DIFT, 2003) och FAST/CFAST V.3.17 (NIST, 2001) använts. Branden ger upphov till att varma brandgaser produceras. För att modellera tillväxt och egenskaper hos dessa brandgaser används den s.k. tvåzonsmodellen.

Brandberäkningar utförda med datorprogrammet FAST/CFAST är vanligast och bygger på tvåzonsmodellen som den beskrivs av Quintere (1999). Detta innebär att rummet delas in i två zoner, en övre och en undre. Tvåzonsmodellen utgör ett förenklat sätt att modellera brandgasers beteende. Den övre zonen (övre brandgaslagret) utgör brandgaspåverkad volym vilken kännetecknas av förhöjda värden på temperatur och giftighet samt nedsatt sikt. Den nedre zonen (nedre brandgaslagret) kännetecknas av ren kall luft, som inte kan förväntas påverka människa och egendom nämnvärt.

ARGOS är en nyare modell som även den bygger på tvåzonsmodellen. Modellen är utvecklad av *Danish Institute of Fire and Security Technology* (DIFT) och är ett verktyg för utvärdering av brandrisker genom simulering av rökspridning, temperaturer, strålning osv. Modellen kan hantera upp till 5 rum i en simulering. Till skillnad från FAST/CFAST kan ARGOS simulera bränder i fördefinierade bränslepaket som exempelvis soffor, garderober, pallställage m.m. och dessutom simulera spridning från ett bränslepaket till ett annat genom strålning. Det går även att ange pölbränder som dimensionerande brand vilket även det är specifikt för ARGOS.

4.1.1 Indata

Indata för brandsimulering för samtliga rum redovisas nedan samt att principer för rumsindelning kan utläsas i nedanstående tabeller och figurer.

De förutsättningar som använts redovisas i tabell 4.1.

Golvmaterial	Betong
Väggmaterial	Betong
Takmaterial	Betong
Lokalens totala golvarea	262 m ²
Rumshöjd	3,20 m
Brandrum	Ohlssons tyger
Luckor i tak (frånluft)	Nej
Dörrar i fasad (tilluft)	2,40 x 4,50 m (HxB)
Läckage	Nej
Dimensionerande brand	α^2 -brand i hyllor och ställ med tyg och bolster
Maximal effekt	15 MW
Effektutveckling (α)	α = medium (0,012), fast (0,047), ultrafast (0,19) (kW/s ²)
Simulerad tid	30 minuter
RTI sprinklerhuvud	145 (m ^{0,5} s ^{0,5})

Tabell 4.1: Indata för simulering av brandscenario A.

Enligt tidigare valt brandscenario har en α^2 -brand simulerats med ett α -värde motsvarande *medium*, *fast* och *ultrafast*. Valet av tre tillväxthastigheter är en del i hanteringen av osäkerheter i analysen som genomförs för att tydliggöra vilka skillnader som ett snabbare eller långsammare brandförlopp har på personsäkerheten. Mer om osäkerhet i analysen finns i kapitel 7.

4.1.2 Resultat

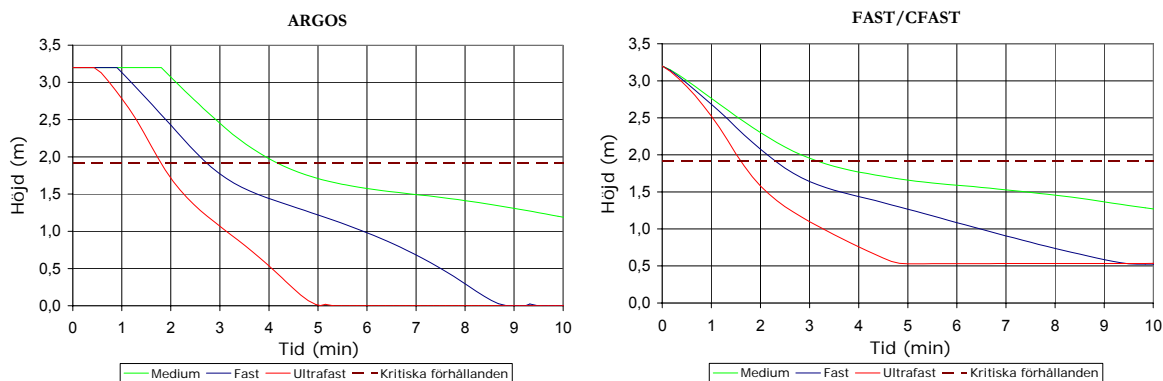
Det resultat som är mest intressant är tiden till dess att kritiska förhållanden uppstår inne i butikslokalen. Den parameter som i samtliga fall avgör när kritiska förhållanden uppstår är brandgaslagrets höjd över golvet, vilken enligt kapitel 1.7.1 beräknats till 1,92 meter. Tiden till när brandgaslagret når 1,92 meter visas i tabell 4.2 för de tre olika brandtillväxthastigheter beräknat med de bägge datormodellerna. Tiderna är beräknade utan inverkan av sprinkler, men då dessa tider infaller innan dess att sprinklern förväntas utlösas påverkas tiden ej nämnvärt om sprinklern aktiveras eller ej.

Tillväxthastighet	ARGOS	FAST/CFAST
Medium	4'07 min	3'10 min
Fast	2'45 min	2'18 min
Ultrafast	1'40 min	1'36 min

Tabell 4.2: Tid till kritiska förhållanden.

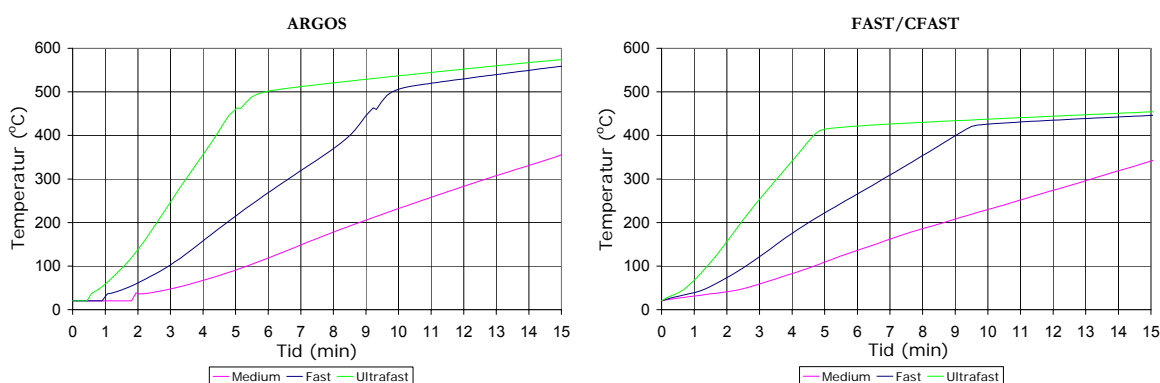
Den tillväxthastighet som i kapitel 3 bedömts som mest rimlig i det aktuella brandscenariet är *fast* där tiden till kritiska förhållanden uppgår till cirka 2,5 minuter.

Resultatet av hur brandgaslagrets höjd beräknats som funktion av tiden utan inverkan av sprinkler visas i figur 4.1.



Figur 4.1: Brandgaslagrets höjd utan inverkan av sprinkler, ARGOS och FAST/CFAST.

Det kan även vara intressant att studera brandgaslagrets temperatur, vilket redovisas i figur 4.2.



Figur 4.2: Brandgaslagrets temperatur som funktion av tid, ARGOS och FAST/CFAST.

Tvåzonsmodellerna har en klar begränsning när det gäller större volymer i byggnaderna vilket gör att det ej går att genomföra en simulering som inkluderar området utanför Ohlssons tyger. Det är givetvis mycket intressant att veta något om de förhållanden som uppstår där eftersom de i hög grad kan påverka personers förmåga att utrymma. Klart är åtminstone att temperaturen i brandgaserna kommer att avge en sådan värmestrålning att utrymmande ej kan passera nära butiks-

öppningen. Det står också klart att det produceras så mycket brandgaser inne i Ohlssons tyger att en stor mängd kommer att tryckas ut i varuhuset och påverka de utrymmande i en grad som ej gått att fastställa.

Sprinklersystemet har en sådan tröghet att kritiska förhållanden uppstår i butiken innan systemet löser ut och har som tidigare nämnts ingen påverkan på personsäkerheten inne i butiken. Dock har en utlösning av sprinklersystemet stor påverkan på förhållandena utanför butiken då produktionen av brandgaser avbryts eller kontrolleras.

4.1.3 Validering

För att bedöma huruvida resultaten är rimliga har handberäkningar av kriterier för tvåzonsmodellering, kontroll av övertändning samt brandgaslagrets höjd utförts. Till detta kommer en kontroll av den ventilationskontrollerade och sprinklerkontrollerade effektutvecklingen i ARGOS för att validera att valda effektkurvor verkar rimliga.

Kriterier för tvåzonsmodellen

Tvåzonsmodellen utgör ett förenklat sätt att modellera brandgasers utbredning. Den tenderar att överskatta brandgasfri höjd (Peacock m.fl., 2000), i synnerhet vid stora lokaler där brandens effekt är liten i förhållande till rummets volym. I stora lokaler kan brandgaserna ges en förhållandevis stor utspädning med nedkylning som följd. Detta i sin tur kan leda till att brandgaserna tappar sin stigningskraft och att brandgaslagret sjunker.

Tvåzonsmodell och brandsimulering med FAST/CFAST bedöms dock giltiga under förutsättning att följande kriterier är uppfyllda:

- Krav enligt Quintere (1999). Kriterierna skall vara uppfyllda för den fiktiva rumsindelningen som gjorts. Kriterierna kan beräknas som rummets förhållanden mellan längd (L), bredd (W), höjd (H) och brandens maximala effekt (Q). Resultatet redovisas i tabell 4.3.

Kriterie	Ohlssons tyger
$L/W < 3$	1,5
$0.2 \leq L/H \leq 4$	6,25 (ej uppfyllt)
$5 \times L \times W \times H/2 \leq Q$ ($Q \leq 15\ 000$ kW)	2 340 kW

Tabell 4.3: Kontroll av giltighet för tvåzonsmodell enligt Quintere (1999).

- Erhållna resultat används restriktivt (med säkerhetsmarginal) gällande bedömningar av personsäkerhet.

I tabell 4.3 uppfylls inte samtliga kriterier då längd/höjd-förhållandet antar ett något för högt värde. En enkel lösning på detta problem skulle vara att dela in Ohlssons tyger i två mindre, fiktiva delrum som är sammanbundna med en öppning motsvarande hela rummets genomsnittsyta. Denna simuleringstekniska lösning används främst när det är av intresse att bedöma brandgasernas transienta utbredning längs taket och utnyttjas främst vid långsmala konstruktioner. Bedömningen är att en indelning i fiktiva delrum ej nämnvärt skulle påverka resultatet för bedömningen av brandgasproduktion, temperatur och brandgaslagrets höjd.

Tvåzonsmodellen anses vara giltig för simulering av kritiska förhållanden inne i Ohlssons tyger.

Handberäkningar

För att styrka resultaten har effekten då övertändning nås samt brandgaslagrets höjd som funktion av tiden kontrollberäknats.

Effekten vid övertändning handberäknas med ekvation 4.1, hämtad ifrån Karlsson & Quintiere (1999).

$$\dot{Q}_{FO} = 610 \left(h_k \times A_T \times A_0 \times H_0^{1/2} \right)^{1/2} \quad \text{Ekv. 4.1}$$

där

\dot{Q}_{FO} = effektutveckling då övertändning sker (kW)

h_k = effektivt värmeövergångstal (kW/m²K)

A_T = rummets totala omslutningsarea (m²) = 725 m²

A_0 = öppningsarean (m²) = 10,8 m²

H_0 = öppningens höjd (m) = 2,4 m

Sambandet har räknats ut för samtliga tre brandtyper vid den tid då respektive simulering når övertändning. Dessa tider är:

- Medium – 1070 s (ARGOS) och 660 s (FAST/CFAST)
- Fast – 553 s (ARGOS) och 340 s (FAST/CFAST)
- Ultrafast – 302 s (ARGOS) och 180 s (FAST/CFAST).

Det effektiva värmeövergångstalet har beräknats enligt ekvation 4.2.

$$h_k = \sqrt{\frac{k\rho c}{t}} \quad \text{Ekv. 4.2}$$

där

$k\rho c = 2 \times 10^6 \text{ W}^2\text{s}/\text{m}^2\text{K}^2$

$h_k(\text{UF}) = 0,0814 \text{ kW}/\text{m}^2\text{K}$

$h_k(\text{F}) = 0,0601 \text{ kW}/\text{m}^2\text{K}$

$h_k(\text{M}) = 0,0430 \text{ kW}/\text{m}^2\text{K}$

I tabell 4.4 redovisas hur handberäkningarna av övertändning stämmer överens med datormodellerna. Denna jämförelse mellan handberäkningar och modeller är främst till för att validera modellerna vid tidpunkten för övertändning och är inte intressant ur utrymningssynpunkt.

	Handberäkning (MW)	ARGOS (MW)	FAST/CFAST (MW)
Medium	13,9	13,8	12,0
Fast	16,5	14,4	12,0
Ultrafast	19,6	15,0	12,0

Tabell 4.4: Kontroll av övertändning.

En av de viktigaste parametrarna som styr säker utrymning är brandgaslagrets höjd över tid. Den tid som det tar för brandgaslagret att sjunka till för lokalerna kritisk höjd får aldrig understiga tiden det tar att utrymma lokalerna.

Både ARGOS och FAST/CFAST simulerar både höjden och temperaturen i brandgaslagret över tid men för att verifiera att resultaten är rimliga kan enklare handberäkningar genomföras med ekvation 4.3, vilken är hämtad ifrån Karlsson & Quintiere (1999).

$$\tilde{z} = \left(k \frac{\alpha^{1/8}}{S} \times \frac{2t^{1+n/3}}{n+3} + \frac{1}{H^{2/3}} \right)^{-3/2} \quad \text{Ekv. 4.3}$$

där

\tilde{z} = brandgaslagrets höjd (m)

k = konstant

α = brandens tillväxthastighet (kW/s²)

t = tid (s)

n = potensen i effektkurvan

H = rummets höjd (m)

Ekvation 4.3 kan för $n=2$ skrivas om till ekvation 4.4.

$$\bar{z} = \left(\frac{k}{S} \alpha^{1/3} \frac{2}{5} t^{5/3} + \frac{1}{H^{2/3}} \right)^{-3/2} \quad \text{Ekv. 4.4}$$

Konstanten k beräknas med ekvation 4.5.

$$k = \frac{0,21 \left(\frac{\rho_0 g}{\rho_g c_p T_0} \right)^{1/3}}{\rho_g} \quad \text{Ekv. 4.5}$$

där

ρ_g = brandgasernas densitet (kg/m^3)

ρ_0 = densitet på luft vid rumstemperatur = $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$

c_p = specifik värme vid konstant tryck (kJ/kgK)

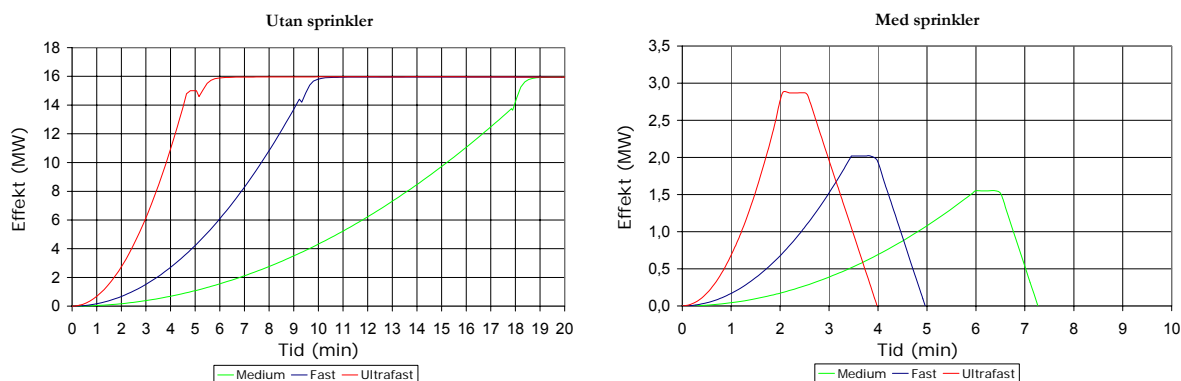
T_0 = rumstemperatur (K)

Beräkningsresultaten redovisas i tabell 4.5 där även en jämförelse med resultaten från simuleringarna i ARGOS och FAST/CFAST återfinns. Tiden till kritiska förhållanden då $z=1,92$ meter har med handberäkningar beräknats till 205 s (medium), 151 s (fast) och 123 s (ultrafast).

	α (kW/s^2)	Tid (s)	ρ_g (kg/m^3)	k	Handräknat z (m)	ARGOS z (m)	FAST/CFAST z (m)
Medium	0,012	90	1,20	0,064	3,12	3,20	2,52
		180	1,099	0,069	2,59	2,44	1,95
		300	0,970	0,079	1,36	1,70	1,66
		600	0,700	0,109	0,70	1,19	1,27
		900	0,560	0,136	0,26	0,20	0,81
Fast	0,047	90	1,11	0,069	2,77	2,79	2,37
		180	0,940	0,081	2,21	1,76	1,64
		300	0,720	0,106	1,26	1,21	1,27
		600	0,450	0,170	0,26	0,00	0,53
		900	0,420	0,182	0,10	0,00	0,53
Ultrafast	0,19	90	0,96	0,080	1,79	2,21	2,02
		180	0,680	0,112	1,56	1,05	1,10
		300	0,480	0,159	0,85	0,2	0,53
		600	0,440	0,174	0,52	0,00	0,53
		900	0,420	0,182	0,48	0,00	0,54

Tabell 4.5: Brandgaslagrets höjd.

För att se hur den valda effektkurvan stämmer överens med en zonmodell visas i figur 4.3 vilken effektutveckling som fås i ARGOS då αt^2 bränder får brinna utan respektive med sprinkler. Dessa effektutvecklingar stämmer bra överens med de dimensionerande brandscenarier som valts i kapitel 3, med den skillnaden att det dimensionerande scenariet inte tar hänsyn till att sprinkler släcker branden utan endast kontrollerar den.



Figur 4.3: Effektutveckling i ARGOS, utan respektive med sprinkler.

Sammanfattningsvis kan sägas att resultaten från tvåzonsmodelleringen kan bedömas som trovärdiga. Detta på grund av att de bägge datormodellerna ger snarlika rökfyllnadstider och att redovisade handberäkningar även de ger liknande resultat. Generellt gäller att FAST/CFAST gett något kortare tider än ARGOS både till dess att kritiska förhållanden uppstår men även till dess att övertändning sker.

4.2 Fire Dynamics Simulator (FDS)

För att simulera brandscenario B har fältmodellen Fire Dynamics Simulator V3.1, FDS3 (NIST, 2003) använts. Detta är en fluiddynamisk datorkod - Computational Fluid Dynamics (CFD) - framtagen för branddrivna flöden. Domänen som skall beräknas delas in i ett antal hundratusen kontrollvolymmer för vilka sedan kontinuitetsekvationerna för massa, energi, rörelsemängd och enskilda ämnen löses i form av ett antal tidsberoende, icke-linjära partiella differentialekvationer kända som Navier-Stokes ekvationer. Till detta kommer ett antal undermodeller för förbränning, turbulens och strålning. Då en direkt numerisk lösning av ekvationerna inte är möjlig används en lösningsmetod i FDS av typen Large-Eddy simulation (LES) baserad på Smagrinskys turbulensmodell.

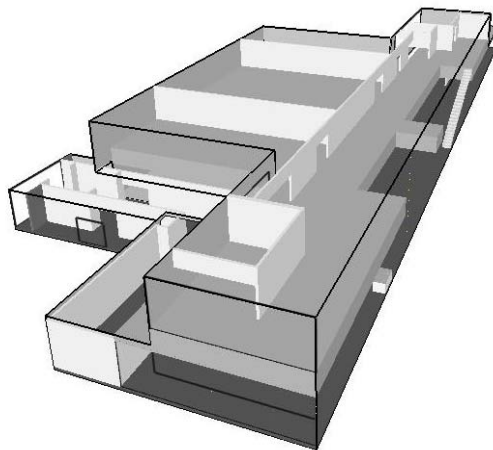
4.2.1 Indata

Domänen som har beräknats har delats in i sex delområden (grid) och två simuleringar, som omfattar 15 minuters brand, har genomförts, en med 656 310 celler och en med 1 060 734 celler. I Bilaga I - Indata FDS, brandscenario B presenteras det fullständiga indatakriptet till den senare körningen.

I simuleringen har ett antal förenklingar gjorts:

- Samtliga väggar och bjälklag antas bestå av 20 cm betong.
- Branden är placerad 0,9 m ovanför golvnivå. Reaktionsstökiometrin har valts för propan.
- Spegelsymmetri har antagits längs varuhusets mittlinje.
- De faktiska geometrierna har förenklats för att passa in i en kartesisk grid som är grövre än detaljerna i den verkliga geometrin.
- Kv. Linden 14 (Åhlens) ingår endast delvis i den beräknade domänen.
- Då den simulerade domänen är mindre än den faktiska byggnaden antas brandgaser som tar sig till randen på vissa ställen försvinna ut till en oändlig omgivning, vilket kan beskrivas som en öppen dörr till det fria.

Den simulerade geometrin visas i figur 4.4, sedd från Åhléns. Avbildningen visar bara halva byggnaden då spegelsymmetri antagits längs varuhusets mittlinje.



Figur 4.4: Simulerad geometri.

En parameter som har stor betydelse för resultaten är SOOT_YIELD som beskriver bränslets sotegenskaper. SOOT_YIELD anger hur stor nettoandel av bränslets massa som omvandlas till sot, utan hänsyn till hur sotpartiklar kan aggregeras eller oxideras. I simuleringarna har värdet på parametern satts till 0,03 vilket är ungefär tre gånger så högt som defaultvärdet på 0,01 som gäller för trä. I tabell 4.6 framgår sotproduktionen för ett antal olika ämnen, hämtat ifrån databasen till FDS3. Den valda sotproduktionen skall beskriva en bilbrand i en modern bil bestående av mycket plastmaterial. Värdet 0,03 är mycket osäkert men bedöms ändå som rimligt då en bil förväntas producera mer sot än en vanlig träbrand, men inte lika mycket som t.ex. råolja eller polystyren.

Ämne	SOOT_YIELD
Etanol	0.008
Heptan	0.037
Fotogen	0.042
Råolja	0.10
Metylnmetaakrylatmonomer, MMA	0.022
Polystyren, PS	0.164

Tabell 4.6: Olika värden på SOOT_YIELD i databasen till FDS3.

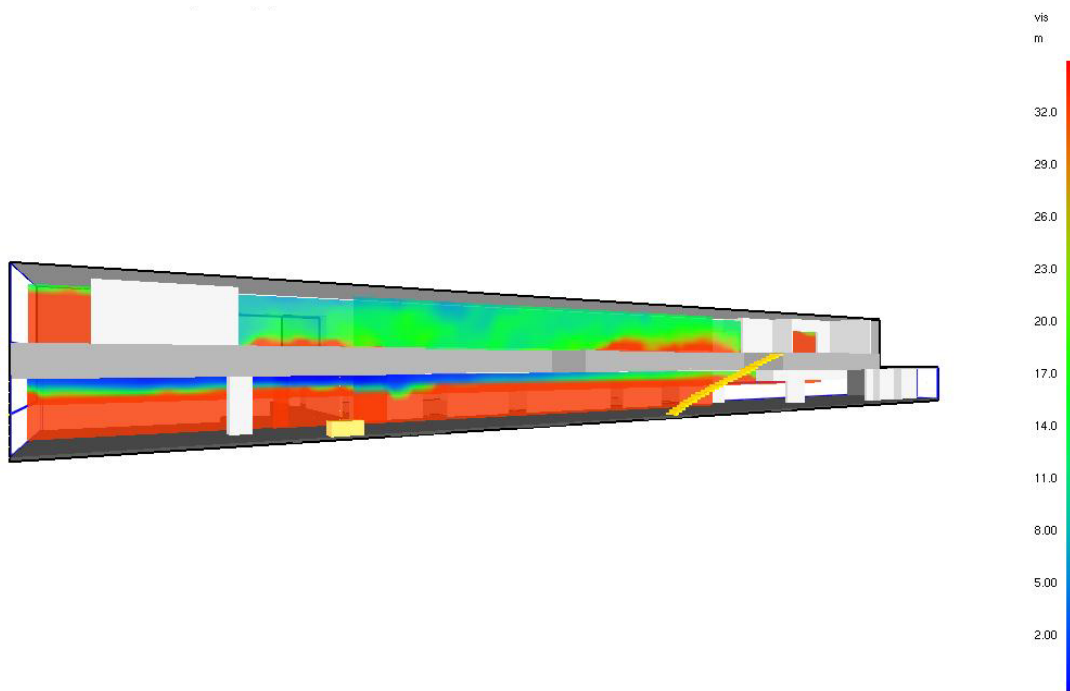
4.2.2 Resultat

Det finns ingen funktion i programmet för kritiska förhållanden. Den parameter som ofta avgör när kritiska förhållanden uppstår är brandgaslagrets höjd. Hur detta skall bedömas i utdatan från en fältmodell är inte helt självklart. Ett angreppssätt är att uppskatta var temperaturgradienten är som störst och säga att där börjar brandgaslagret. Detta är dock tidskrävande och kräver att mycket utdata plockas ut för detta ändamål. En förenklad variant är att istället definiera brandgaslagret som det område där temperatur överstiger en viss temperatur, till exempel 40 eller 80 °C. Ett alternativ är att studera siktbarheten och definiera brandgaslagret som det område där siktbarheten kraftigt försämras eller understiger ett visst värde, kanske 10 m. I Brandskyddshandboken (Brandteknik LTH, 2002) rekommenderas att kritiska förhållanden råder i brandgaserna om temperaturen överstiger 80 °C eller sikten är under 5 m (brandrummet) eller under 10 m (utrymningsvägarna). Till detta kommer krav på toxicitet vilket inte har beaktats här.

I simuleringen har svaren på två frågeställningar sökts. Dels om branden medför att kritiska förhållanden kan uppstå i gångarna till sidoentréerna och dels hur branden kan påverka utrymningen från övre plan. Resultatet blir mycket en bedömningsfråga.

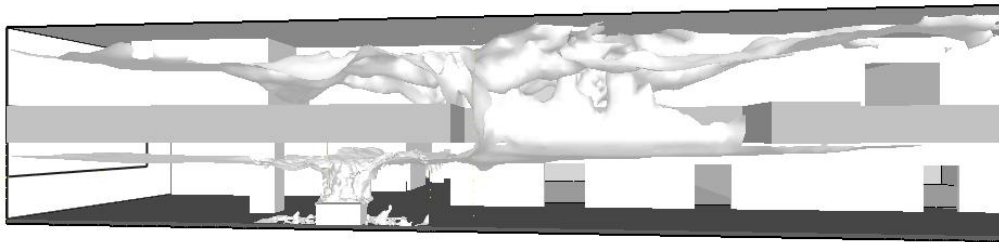
Kritiska förhållanden uppstår i gångarna till sidoentréerna om brandgaslagret sjunker till 1,96 m eller temperaturen i luften överstiger 80 °C. Vid simuleringens slut befinner sig rökgaslagret i gångarna till sidoentréerna på ungefär 2,70 m höjd, baserat på att sikten där är under 10 m och temperaturen över 40 °C. På höjden 3,1 m överstiger temperaturen i brandgaslagret 100 grader cirka 10 m från branden. Bedömningen av strålningsnivåerna mot väggar och golv pekar på att utrymning förmodligen kan ske men tangerar gränsen för säker utrymning. Slutsatsen är att utrymning förmodligen fortfarande kan ske säkert genom sidoentréerna efter 15 minuter, men att strålningsnivåerna bör utredas vidare, vilket sker med handberäkningar i kapitel 4.3.

På övre plan sker inte lika tydlig tvåzonsbildning. Efter 5 minuters brand börjar rök spridas upp till övre plan. Efter 12 minuter är sikten 15 - 20 meter och efter 14 minuter bedöms att utrymningen bör vara helt avslutad från övre plan. Mot slutet av den simulerade tiden, efter 15 minuter, börjar sikten lokalt att understiga 10 meter. Temperaturen är inte särskilt hög på övre plan. Röken som når hit är mellan 30 och 60 °C. Slutsatsen är att utrymningen från hela övre plan bör vara avslutad inom 14 minuter för att inte problem skall uppstå vid utrymningen. Sikten utanför butikerna vid denna tidpunkt visas i figur 4.5, sett ifrån varuhusets mittlinje.



Figur 4.5: Skälärplan med sikt i meter utanför butiker på övre plan, $t=14$ minuter, $y=27,5$ m (bilden bör ses i färg).

I figur 4.6 visas skiktgränsen för temperaturen 40°C vilket *kan* vara ett sätt att illustrera rökspridningen. Svalare rök kan finnas under skiktet vilket påverkar sikten (figur 4.5).



Figur 4.6: Temperaturgräns 40°C , $t=15$ minuter, sett från varuhusets mittlinje.

4.2.3 Validering av resultat

För att bedöma trovärdigheten av lösningen från en fältmodell kan följande aspekter beaktas:

- Kontrollvolymerna i området kring branden bör ha tillräcklig upplösning för att ge förhållanden, till exempel flamhöjd och flamtemperatur, som liknar en verklig axisymmetrisk brandplym.
- Lösningen skall vara oberoende av storleken på kontrollvolymerna (gridoberoende lösning). Bedömning av resultatens oberoende måste ske i varje enskilt fall.
- Validering av CFD-datorkod med jämförbara storskaliga brandförsök.

Den första punkten kan inledningsvis snabbt bedömas utifrån de flamtemperaturer som erhållits i simuleringen. Rimligtvis bör flamtemperaturen ligga i området $700 - 1300^{\circ}\text{C}$ (Gojkovic, 2003). I simuleringen med flest antal celler erhöles en flamtemperatur på $900 - 1\,000$ grader och i den lite mindre simuleringen $600 - 1\,000$ grader. För att förstå förhållandena kring branden bättre kan den karaktäriseras med den dimensionslösa effektutvecklingen, vilken kan beräknas enligt ekvation 4.6. Det dimensionslösa talet beskriver hur brandarean förhåller sig till den utvecklade effekten,

och kan därmed ses som ett uttryck för turbulensen i flammen. Pölbränder har låga värden och jetflammar höga värden på den dimensionslösa effektutvecklingen.

$$\dot{Q}^*_D = \frac{\dot{Q}}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g D D^2}} \quad \text{Ekv. 4.6}$$

där

\dot{Q}^*_D = dimensionslös effektutveckling

\dot{Q} = total effektutveckling (MW)

ρ_∞ = densitet på omgivande luft (kg/m^3) = 1,2 kg/m^3

c_p = specifikt värme för omgivande luft (kJ/kgK) = 1,0 kJ/kgK

T_∞ = omgivningstemperatur (K) = 298 K

g = gravitationskonstant (m/s^2) = 9,81 m/s^2

D = ekvivalent diameter (m)

Alla naturliga bränder hamnar inom $0,1 < Q^*_D < 10,0$ (Ma & Quintiere, 2003) men vid simulering av bränder i byggnader bör $Q^*_D \leq 2,5$ (Gojkovic, 2003). Vad det gäller CFD- modellering säger detta dock ingenting om hur storleken på kontrollvolymerna påverkar simuleringen utan bara att brandens karaktäristika ligger inom det område för vilken modellen är utvecklad.

För att koppla brandens karaktäristika till storleken på kontrollvolymerna i den grid där branden är placerad kan en dimensionslös upplösningssparameter R^* räknas fram. Denna visar hur kontrollvolymernas längsta sida förhåller sig till brandens karaktäristiska längd, z^* . Förhållandet mellan längsta och kortaste sidan på en kontrollvolym bör ej överstiga 2-3 (McGrattan m.fl., 2002) vilket inte heller är fallet i den utförda simuleringen där nästan kubiska kontrollvolym har använts. Hur z^* och R^* räknas fram visas i ekvation 4.7 och 4.8. Ekvationerna är hämtade ifrån Ma & Quintiere (2003).

$$z^* = \left(\dot{Q}^*_D \right)^{2/5} D \quad \text{Ekv. 4.7}$$

där

z^* = brandens karaktäristiska längd (m)

\dot{Q}^*_D = dimensionslös effektutveckling

D = ekvivalent diameter (m)

$$R^* = \frac{\max(\partial x, \partial y, \partial z)}{z^*} \quad \text{Ekv. 4.8}$$

där

R^* = dimensionslös upplösning (resolution)

$\max(\partial x, \partial y, \partial z)$ = längden på längsta sidan av en kontrollvolym (m)

z^* = brandens karaktäristiska längd (m)

För att en simuleringen korrekt skall lösa förhållandena i en axi-symmetrisk brandplym är det nödvändigt att längden på kontrollvolymernas sidor ungefär speglar 1/10 av brandens karaktäristiska längd, d.v.s. $R^* < 0,1$ (Baum m.fl., 1997). I en artikel av Ma & Quintiere föreslår de ett skärpt krav på $R^* \leq 0,05$ (Ma & Quintiere, 2003). I tabell 4.7 visas hur Q^*_D , z^* och R^* räknats ut för den simulerade branden i brandscenario B baserat på följande värden:

$$\alpha = 0,012 \text{ kW}/\text{s}^2, c_p = 1,00 \text{ kJ}/\text{kgK}, T_\infty = 298,15 \text{ K}, \rho_\infty = 1,18 \text{ kg}/\text{m}^3, g = 9,81 \text{ m}/\text{s}^2, D = 1,60 \text{ m}, \\ \max(\partial x, \partial y, \partial z) = 0,067 \text{ m}$$

Observera att effektutvecklingen blir halverad då branden är placerad i ett symmetriplan och endast halva branden därför simuleras.

t (s)	t (min)	Q (kW)	Q*	z* (m)	R*
30	0,5	5,2	0,0015	0,12	0,574
60	1,0	21,2	0,0060	0,21	0,327
120	2,0	85,5	0,024	0,36	0,187
180	3,0	193	0,054	0,50	0,135
240	4,0	344	0,097	0,63	0,107
300	5,0	540	0,15	0,75	0,090
360	6,0	779	0,22	0,87	0,077
420	7,0	1065	0,30	0,99	0,068
480	8,0	1 382	0,39	1,09	0,061
540	9,0	1 750	0,49	1,20	0,056
600	10,0	2 160	0,61	1,31	0,051
817	13,6	4 000	1,12	1,67	0,040

Tabell 4.7: Beräkning av Q^* , z^* och R^* .

Ur tabellen går det att utläsa att branden under de fyra första minuterna är så pass liten i förhållande till sin area och gridstorleken att resultaten bör studeras med tillförsikt. Först efter cirka tio minuter uppfylls det föreslagna kravet från Ma & Quintiere (2003). Detta krav måste dock i detta fallet ses som ett väldigt strängt krav, då det är framtaget för att säkerställa någorlunda noggranna resultat för främst flamhöjd och flamtemperatur. Dessa parametrar är viktiga vid simulering av strålning och flamspridning vilket dock har haft underordnad betydelse i den utförda simuleringen. Fokus har istället legat på den konvektiva värmetransporten och sotproduktionen.

Vid en förändring av storleken på kontrollvolymerna skall resultaten inte påverkas nämnvärt, vilket brukar benämnas med att lösningen är grid-oberoende. Hur detta skall avgöras är lite problematiskt vid multigrad-lösningar då flera olika grider kan varieras. Främst är det dock den grid där branden är placerad som är av betydelse och ibland kanske även det område i domänen där de mest intressanta resultaten erhålls. I de två simuleringarna erhöles liknande resultat även om körningen med färre celler pekar på något svårare förhållanden för utrymningen. Dock är skillnaderna så små att resultatet från körningen med högre upplösning bedöms som trovärdig. Ytterligare en simulering med finare cellstorlek skulle kunna ge något annorlunda resultat men det skulle inte påverka slutsatserna från modelleringen. Storleken på kontrollvolymerna är också en avvägning mot beräkningstiden då dagens datorer inte klarar av att beräkna stora simuleringar under rimlig tid.

Sista punkten i valideringen gäller hur CFD-beräkningar stämmer överens med brandförsök. Ett stort antal experiment har utförts där simulering av axisymmetriska brandplymer har studerats och brandförsök i mindre utrymmen, till exempel de kända Steckler-experimenten (Steckler m.fl., 1982). Simuleringen av Linden är dock ett mycket större utrymme där det är betydligt svårare att hitta jämförbara tester. I efterföljande text återges några slutsatser från storskaliga brandförsök som jämförts med olika CFD-beräkningar. De tre första är hämtade från en litteraturstudie av Petterson (2002).

The Building and Research Association of New Zealand (BRANZ) har genomfört ett antal experiment i en lokal som var 41 m x 11 m och 11 meter hög. Experimenten var från början avsedda för att validera zonmodeller i höga lokaler men analysen har utökats till att även omfatta fältmodeller (Collier, 1997). Jämförelsen visar att zonmodellerna var tveksamma men att fältmodellernas möjligheter var lovande.

Notarianni och Davis (1993) använde en serie experiment utförda i en hangar på 115 m x 389 m, indelad i sju separata delar. Takhöjden var 30 m. Resultat från en 8 250 kW pölbrand jämfördes med förutsägningarna från ett antal zonmodeller och fältmodellen FLOW3D. FLOW3D påvisade bäst överensstämmelse med de flesta av de uppmätta värdena förutom plymens centrumlinje där förutsägningen av temperaturen var dålig. Zonmodellerna tenderade att underskatta tempera-

turen. De fältmodellsberäkningar som gjordes med fin upplösning på griden visade en bättre överensstämmelse med den uppmätta brandplymen.

Davis m. fl. (1996) använde CFD-modellerna CFX och NIST-LES (föregångaren till FDS) tillsammans med ett antal zonmodeller för att simulera temperaturer i en hangar vid Barber's point på Hawaii vilken var 97,8 m lång, 73,8 m bred och 14,9-13,4 m hög med ett sluttande tak. Davis m. fl. (1997) drog slutsatsen att CFD-modellerna påvisade bättre resultat än zonmodellerna i vissa fall men var något sämre i andra. Ingen av de testade datormodellerna kunde beräkna brandgas-temperaturen inom ett intervall på 25% från de uppmätta värdena. NIST-LES resultaten över-skattade temperaturerna jämfört med de utförda testerna. Anledningen till detta antogs vara för dålig upplösning i griden. Det observerades att modelleringen visade god överensstämmelse med plymtemperaturen då kontrollvolymernas storlek var i storleksordningen 1/10 av den karaktäristiska längden. NIST-LES modellen fungerade bäst då branden var så stor att den luft som drogs in i plymen kunde simuleras via kontinuitetsekvationerna och påverkan från den empiriska undermodellen för turbulens var låg.

CFD-beräkningar har också jämförts med tester i en 22 m hög flygplanshangar på Keflavik, Island. Hangaren var 45 m bred, taket indelat i fem 15 m breda sektioner ner till 16 m över mark. Totalt var hangaren 75 m lång men endast 45 m ingick i simuleringen. Branden bestod av en pölbrand på 9 m² med en effektutveckling på cirka 15 MW. Simuleringen utfördes på en stordator med en grid på 180 × 180 × 90 celler, vilket motsvarar en cellstorlek på cirka 25 cm. Jämförelsen karaktäriseras av brist på uppmätta data, men direkt ovanför branden cirka 0,15 m under taket var den simulerade temperaturen cirka 150 °C och den uppmätta cirka 170 °C. Trots bristen på data var en slutsats att stora realistiska brandscenarier korrekt kan lösas direkt med Navier-Stokes ekvationerna (Baum m.fl., 1997).

Slutsatsen kring hur väl de simulerade förhållandena kan tänkas stämma överens med verkliga förhållanden blir att vara lite försiktig vid tolkningen av förhållanden på övre plan. Detta beror främst på att bedömningen av kritiska förhållanden där har baserats på siktbarheten. Denna parameter är dock mycket sparsamt validerad och beroende av en ganska osäker sotproduktion.

4.3 Strålningsberäkning

För brandscenario B har en strålningsberäkning genomförts, se Bilaga II - Strålningsberäkning, scenario B.

Som kritiskt värde för strålning kan enligt Brandskyddshandboken (Brandteknik LTH, 2002) en kortvarig strålningsintensitet på 10 kW/m² tålas under någon sekund och 2,5 kW/m² under en något längre tid.

I beräkningen har det antagits att flamman kan beskrivas som en cylinder som sträcker sig från golvet och maximalt upp till taknivå. Temperaturen på cylindern har antagits ligga mellan 700 - 1200 °C. För att ta hänsyn till osäkerheterna i indata till beräkningen har denna utförts som en Monte Carlo-simulering. Detta är en metod där sannolikhetsfördelningar anges för de ingående variablerna och där flera tusen slumpvalsiterationer utförs. Resultaten av en sådan simulering ges som en fördelning där olika kvantiler kan studeras. För indatavariablerna har breda rektangulära fördelningar använts, se bilaga II.

Avståndet från den brinnande bilen till personer som skall utrymma via sidoentréerna har bedömts till 10 - 12 m. Enligt beräkningarna är det mest troliga värdet på strålningsnivån vid halva flamhöjden då cirka 6 kW/m², vilket leder till slutsatsen att säker utrymning ej kan ske. Den dimensionslösa effektutvecklingen, Q^*_D , har beräknats ur Heskestads plymkorrelation till 0,2 - 0,4 vid den aktuella flamhöjden. Denna dimensionslösa effektutveckling nås enligt tabell 4.7 efter

cirka 5 - 8 minuters brand. Kritisk strålningsnivå bör uppnås innan denna tid, varför sido-entréerna antas vara brukbara endast i det tidiga brandförloppet.

5 Utrymning

I detta kapitel beskrivs allmänt de krav som ställs på utrymning. Detta kompletteras med hur utrymnings-situationen på Linden köpcentrum upplevdes vid objektsbesöket.

5.1 Allmänt

I Boverkets Byggregler, BBR, avsnitt 5:3 anges de förutsättningar som en nybyggd byggnad måste uppfylla gällande utrymning vid brand.

“5:31 Allmänt

Byggnader skall utformas så att *tillfredsställande utrymning* kan ske vid brand. Risken för att personer skadas av nedfallande byggnadsdelar eller genom fall eller trängsel, samt risken för att personer blir instängda i nischer eller återvändsgångar skall särskilt beaktas.

Råd: Tillfredsställande utrymning innebär antingen en fullständig utrymning av samtliga personer som befinner sig i en byggnad eller – vilket har aktualitet för t.ex. vårdanläggningar eller mycket höga byggnader – en förflyttning till en säker flyktplats inom byggnaden för de personer, som befinner sig inom den av brand direkt berörda delen. I det senare fallet måste skydd mot värme och toxiska gaser kunna erhållas under ett fullständigt brandförlopp eller under minst den tid, som i ogynnsammaste fall fordras för att en brand vid aktuella förutsättningar skall vara helt släckt.” (Boverket, 2002).

Som visats i kapitel 1.6 kan flera äldre byggregler vara tillämpbara på Linden, men om person-säkerheten direkt hotas kan skäligen krav ställas enligt 41 § Rådningstjänstlagen.

Generellt gäller att inom en byggnad ska utrymningsvägarna i normala fall alltid vara brandtekniskt avskiljda från annan verksamhet och grundkravet är att det alltid ska finnas minst två av varandra oberoende utrymningsvägar från lokaler där personer vistas mer än tillfälligt och minst en utrymningsväg från varje våningsplan. Linden köpcentrum är dock att se som en samlingslokal och därför gäller något hårdare krav. Varje utgång från en samlingslokal ska leda antingen direkt ut i det fria eller till en utrymningsväg inom byggnaden. En samlingslokal som är avsedd för fler än 1 000 personer, vilket här är aktuellt, skall ha minst fyra utgångar.

Byggnaden ska vara utformad så att personerna i den ska kunna ta sig till en utrymningsväg, vilket ställer vissa krav på framkomlighet och gångavstånd. Lös inredning bör därmed inte förekomma längs en utrymningsväg då lös inredning dels begränsar framkomligheten och dels kan den utgöra en fara om den börjar brinna. När det gäller gångavstånd ska både gångavståndet till utrymningsvägen och i utrymningsvägen beaktas. Gångavståndet i en brandcell till närmaste utrymningsväg får i detta fall inte överstiga 30 meter, då Linden är ett varuhus.

Utrymningsvägarna ska vara säkra och möjliga att använda, vara belysta och i många fall försedda med vägledande markeringar. Eftersom Linden köpcentrum är en samlingslokal, ska nödbelysning finnas både i utrymningsvägar och inne i samlingslokalerna. Speciella hänsyn måste tas då en samlingslokal är belägen under marknivån, som till exempel Hemköp-delen. Utrymningen försvaras i och med att förflyttningen sker uppåt. En rekommendation är därför att utrymningsvägarna bör leda direkt till det fria, via trappor utomhus. Överglasade atrier – som eventuellt kan anses finnas på Linden köpcentrum i och med ljusinsläppen i den öppna delen – ska utformas efter vissa speciella krav då personer som utrymmer ska skyddas från nedfallande byggnadsdelar.

För att underlätta utrymning bör byggnadens normala kommunikationsvägar utnyttjas som utrymningsvägar i så stor utsträckning som möjligt. Rulltrappor bör undvikas som del i utrymningsväg då dessa är svåra att gå i. De trapphus som ingår i utrymningsvägar ska leda direkt ut till det fria. För att alla personer i byggnaden ska hinna utrymma innan kritiska förhållanden uppstår finns det vissa krav på passagemått och dörröppningars bredd. Dimensioneringen av

dessa mått beror till stor del på det antal personer som kan förväntas befinna sig i lokalen. Dimensionerande personantal i byggnaden diskuteras vidare i kapitel 6.3.

Dörrar för utrymning från samlingslokaler ska kunna öppnas genom tryck utåt eller genom att ett handtag trycks nedåt och helst inte vara täckta med någon form av plastkåpa. Vidare skall dörrarna kunna öppnas lätt och då inte kräva mer än 130 N kraft anbringat på handtaget. Det innebär att dörren ska vara försedd med panikregel eller ett dörrhandtag så att dörren lätt går att öppna. Dörrar som används både vid normal drift och vid utrymning ska utformas så att dörren enkelt går att öppna. Spanjoletthandtag får inte användas som öppningsmekanism från samlingslokaler. Utrymningsdörrar till det fria får ej understiga i dörrbredd 1,20 meter såvida inte två intill varandra dörrar om vardera 0,90 meter används som alternativ lösning.

En samlingslokal ska vara försedd med utrymningslarm. Utrymningslarmet ska normalt aktiveras automatiskt och kompletteras med knappar för manuell aktivering. Utrymningslarmet bör kompletteras med utbildning för personal så att de kan agera korrekt vid en utrymnings-situation. Det är lämpligt om larmet innehåller ett talat utrymningsmeddelande till de personer som vistas i lokalen och i dess omedelbara närhet.

Idag finns inte några speciella krav i BBR angående extra åtgärder så att även rörelsehindrade ska kunna utrymma. Byggnader skall dock göras tillgängliga för personer med funktionshinder, och de åtgärder som vidtas ur tillgänglighetssynpunkt är ofta de samma som är viktiga vid en utrymning. Framför allt är det problem som en rullstolsbunden person upplever vid en utrymning att inte kunna använda sig av trappor. I de flesta byggnader finns dock ett visst extra skydd i och med att byggnaden är indelad i brandceller. Detta innebär att man som rörelsehindrad kan förflytta sig till en angränsande brandcell och på så sätt vara säker till dess räddningstjänst kan bistå med hjälp.

5.2 Tillgång till utrymningsvägar

Det är viktigt att fråga sig om Linden köpcentrum uppfyller de krav på utrymning som ställs i BBR och i detta avsnitt görs en värdering kring de fördelar och brister som finns. I entréplanet finns totalt 7 utgångar varav tre utgörs av huvudentréerna, vilka samtliga kan användas för utrymning. Från det övre planet finns 5 utgångar till det fria via utrymningsgångar och trapphus och motsvarande från källarplanet är 5 stycken vilket är godkänt enligt punkt 5:354 i BBR. Utrymningsvägarna är i de flesta fall inte brandtekniskt avskiljda och i de fall då omslutande konstruktion är klassad enligt gällande regler, finns fortfarande frågetecken avseende ventilationssystemets förmåga att begränsa och försvåra brand- och brandgasspridning.

Gångavstånden till utrymningsvägarna i Linden understiger 30 meter. Gångavståndet inom utrymningsvägen till trappa som leder till annat våningsplan eller till det fria överstiger ej 30 meter.

5.3 Utrymningsituationen på Linden

Här redovisas en bedömning av hur utrymningsituationen upplevdes under objektsbesöket.

Flera av utrymningsvägarna innehåller mycket material som utgörs av varor, emballage, ställningar, vagnar, palltruckar med mera, vilket visas i bild 5.1.

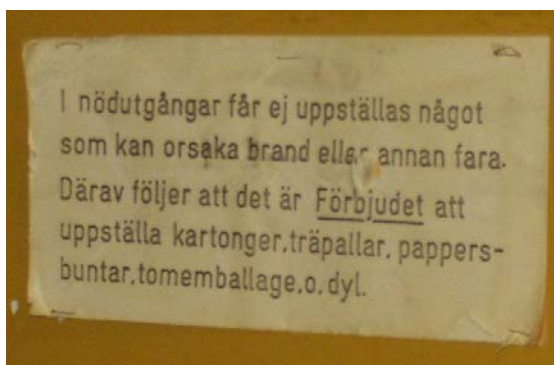


Bild 5.1: Tomemballage i utrymningsgång.

I vissa korridorer har organiserade lager anordnats med stora mängder brännbart material lagrat på höjden, se bild 5.2. Överlag kan ordningen sägas vara bristfällig i många av utrymningsvägarna.



Bild 5.2: Trångt i utrymningsgångarna samt hög brandbelastning.

Utrymningsvägarna är försedda med vägledande markeringar även om dessa markeringar på ett par ställen inte var tydliga. Utrymningsmarkeringen från källarplanet i närheten av lagerdelen till trapphus var bristfällig liksom vägen ut till det fria från Hemköp via lastintaget.

Nödutgången från Cervera till entréplan är tillgänglig endast för behöriga personer med rätt kod till den låsta dörren vilket säkert inte är avsikten. En annan dörr som bör nämnas i sammanhanget är den dörr som leder ut i bakkant från bokhandeln på entréplan. Denna är

målad på ett sådant sätt att den kan anses som något förvirrande då dörren är högerhängd men illustrationen visar en vänsterhängd dörr. Dörren visas i bild 5.3 där även ytterligare ett exempel på förhållandena i en typisk utrymningsväg visas.



Bild 5.3: Förvirrande dörr i utrymningsväg samt blockerad utrymningsväg.

Om förhållandena rörande nödbelysning i utrymningsvägarna och trapphusen finns ingen information insamlad.

Rulltrappor förekommer som del till utrymningsväg från övre plan till entreplan men kompletteras väl av ett flertal utrymningsvägar från bakkant av butiker.

Ljusinsläppet i taket bedöms inte utgöra någon särskild risk för nefallande föremål under utrymningsfasen vid en brand i byggnaden.

Linden köpcentrum har en utformning avseende de publika ytorna som är överskådlig och okomplicerad. Det får därför anses att även personer med dålig lokalkännedom ganska enkelt kan orientera sig och finna en väg ut. Dock kommer sannolikt valet av väg ut inte bli den kortaste vägen utan snarare en synlig eller tidigare utnyttjad ingång till byggnaden. Utöver huvudentréerna finns från de flesta butiker bakkantsutrymning samt ett fåtal dörrar till utrymningsgångar från de stora öppna ytorna i gångstråken. Vid en utrymning är det troligt att kunderna lämnar butikerna samma väg som de kom in, genom butiksingången, och inte via nödutgången i bakre delen av butiken. Ute i gångstråken kommer sannolikt samma fenomen uppträda och kunderna kommer att ta sig ner via rulltrappor och sedan ut via de tre huvudentréerna eftersom dessa är de utgångar som de har god kännedom om.

Utnyttjandet av bakkantsutrymning kommer att styras av om det är möjligt eller ej att lämna butiken via ingången eller om personalen aktivt agerar vid utrymning och vägleder kunderna i butiken till bakkantsdörren. Om detta inte görs innebär det att endast en begränsad del av den samlade utrymningskapaciteten kommer att utnyttjas vilket kan orsaka trängsel i bland annat de smala rulltrapporna.

I slutet av utrymningsgångarna möts de utrymmande av dörrar till det fria som i flera fall har en låsanordning av idag icke godkänd utformning. Vissa dörrar är utrustade med så kallade spanjoletter och andra med smalprofilsvred.

I kapitel 6 redovisas simuleringar av utrymningen av Linden i olika tänkbara scenarier där förflyttningstid för utrymning redovisas. Dock ligger det allvarligaste hotet mot en lyckad utrymning i skedet som föregår den påbörjade utrymningen, nämligen att göra kunder och personal medvetna om behovet att utrymma. På Linden finns som tidigare nämnts ett talat utrymningslarm med manuell aktivering som enda möjlighet att varna personer som befinner sig i byggnaden och anmoda dem att utrymma. Talade utrymningslarm är av erfarenhet effektiva och har visat sig fungera bättre än larmsignaler. Bristen med Lindens larm är den manuella aktiveringen som, om den uteblir, kan orsaka att personer i byggnaden blir för sent eller inte alls varnade om faran. En situation där personer i byggnaden inte blir varse en utbruten brand förrän de befinner sig i rök och därmed får svårigheter att orientera sig är oacceptabel. I en förlängning kan personer utsättas för kritiska förhållanden och personskador uppstå.

Nuvarande system där personalen på eget bevåg skall aktivera utrymningslarmet anses som bristfälligt och inte pålitligt. Informationsnivån hos personalen är låg rörande vilka åtgärder de skall vidta i händelse av brand och merparten vet ej var aktiveringsknapparna finns placerade. Skulle personalen i de butiker där aktiveringsknapparna är placerade glömma eller låta bli att trycka på knappen kommer inget utrymningslarm avges förrän tidigast då räddningstjänsten anländer. Detta kan medföra att utrymningen försenas med 15 - 20 minuter. Att tro att personalen inte glömmar att agera i en stressad situation är önsketänkande och dessutom är det inte säkert att alla vågar starta utrymningen av hela köpcentret av rädsla för att göra fel.

6 Simulering av utrymning

Här redovisas hur utrymning kan modelleras samt hur datormodellen SIMULEX har använts för att simulera utrymningen från Linden köpcentrum.

6.1 Modell för utrymning

Generellt för utrymning gäller att alla de personer som befinner sig i en byggnad ska kunna lämna den säkert, vilket innebär att det måste finnas tillräckligt med tid för utrymningen. Detta villkor beskrivs i ekvation 6.1. Den tillgängliga tiden är den tid som finns till förfogande innan kritiska förhållanden uppstår i byggnaden. Utrymning ska kunna säkerställas oavsett var i byggnaden en person befinner sig.

$$t_{\text{tillgänglig}} > t_{\text{utrymning}} \quad \text{Ekv 6.1}$$

Tiden för utrymning är den tid från att en brand startar till dess alla utrymmande har satts i säkerhet. Denna tid kan delas in i tre olika komponenter: *varseblivningstid*, *besluts- och reaktionstid* samt *förflyttningstid*. Detta beskrivs med ekvation 6.2. Svårigheten är att bestämma dessa olika tider och de är beroende av många faktorer som exempelvis förebyggande åtgärder i byggnaden och vilken hotbild som råder. I kapitel 6.1.1-6.1.3 beskrivs de olika komponenterna mer ingående.

$$t_{\text{utrymning}} = t_{\text{varseblivning}} + t_{\text{beslut \& reaktion}} + t_{\text{förflyttning}} \quad \text{Ekv 6.2}$$

6.1.1 Varseblivning

Varseblivningstiden är tiden från att en brand startar till dess att en person upptäcker att något inte står rätt till. Detta kan ske genom att personen upptäcker rök, flammor etc. eller att personen på annat sätt uppmannas att utrymma. Exempel på detta kan vara någon form av utrymningslarm. Att uppskatta varseblivningstiden är mycket svårt, framför allt om det inte finns något automatiskt brandlarm i byggnaden som kan hjälpa till att detektera branden och det finns inga generella rekommendationer för hur tiden ska uppskattas. Är byggnaden utrustad med automatiskt brandlarm kan varseblivningstiden uppskattas med detektionstiden. Faktorer som kan påverka varseblivningstiden diskuteras ytterligare i kapitel 6.2.

6.1.2 Besluts- och reaktionstid

Besluts- och reaktionstiden är den tid från att en person upptäckt att något är fel till dess att en bestämd förflyttning påbörjas mot en utrymningsväg. Denna tid är starkt beroende av om personen i fråga ser branden eller inte och vilken typ av information som ges. En person som ser branden kan antas ha en mycket kort varseblivnings- respektive besluts- och reaktionstid och för varuhus anges i Frantzich (2001) en förväntad besluts- och reaktionstid på 1 minut. För personer som inte ser branden startar utrymningen troligtvis inte förrän ett utrymningslarm har startat. I tabell 6.1 anges tider som enligt Frantzich (2001) kan användas som underlag för att bestämma besluts- och reaktionstiden för varuhus för personer som inte ser branden. Med enkelt talat meddelande menas ett meddelande som uppmanar till att utrymma byggnaden men utan att ange orsaken medan det informativa meddelandet anger vad som har hänt och vad de utrymmande ska göra.

Typ av utrymningslarm	Beslut- och reaktionstid (min'sekund)
Inget utrymningslarm	4'00
Ringklocka	3'30
Enkelt talat meddelande	2'00
Informativt talat meddelande	1'00

Tabell 6.1 Beslut om reaktionstider för varuhus för personer som inte ser branden

6.1.3 Förflyttningstid

Förflyttningstid är den tid det tar för en person att förflytta sig till en säker plats efter det att beslut om utrymning har tagits. En säker plats kan vara en utrymningsväg eller ute i det fria. Denna tid är, till skillnad mot varseblivnings- och beslut- och reaktionstid, relativt enkel att bestämma. Förflyttningstid kan bestämmas med hjälp av handberäkningar eller datorprogram som till exempel SIMULEX. Handberäkningar kan användas vid utrymning av mindre lokaler medan datorprogram är att föredra i stora byggnader med mycket folk (Brandteknik LTH, 2002) Vid handberäkning är de vanligaste beräkningsuttrycken de som anges i ekvation 6.3 och 6.4.

$$t_{g\ddot{a}ng} = \frac{L}{v} \quad \text{Ekv 6.3}$$

där

$t_{g\ddot{a}ng}$ = den längsta tid det tar att gå till utrymningsvägen (s)

L = avståndet till utgången (m)

v = personens aktuella gånghastighet (m/s)

$$t_{d\ddot{o}rr} = \frac{N}{B \cdot f} \quad \text{Ekv 6.4}$$

där

$t_{d\ddot{o}rr}$ = tiden det tar att passera ut genom dörren (s)

N = antalet personer som ska passera en dörr

B = dörrens bredd (m)

f = det dimensionerande personflödet genom dörren (person/sm)

Den totala förflyttningstiden är summan av $t_{g\ddot{a}ng}$ och $t_{d\ddot{o}rr}$. Att utföra handberäkningar för förflyttningstiden i Linden köpcentrum är praktiskt mycket svårt med tanke på byggnadens storlek och persontäthet varför handberäkningsmodeller för utrymning inte vidare diskuteras i denna rapport.

Det som framför allt påverkar förflyttningstiden är egenskaper som exempelvis gånghastighet, persontäthet, byggnadens utformning med trappor, våningar, gångavstånd, antal utgångar och dess bredd etc.

6.2 Faktorer som påverkar utrymningen

Det finns ett antal faktorer som påverkar en utrymning. Dessa faktorer kan delas in i tre större kategorier: *personberoende*, *byggnadsberoende* samt *brandberoende* faktorer. Exempel på olika faktorer och hur de kan påverka utrymningen av ett varuhus beskrivs i kapitel 6.2.1-6.2.3.

6.2.1 Personberoende faktorer

Följande faktorer kan anses vara personberoende och påverka utrymningen (Frantzich, 2001):

- Persontäthet i byggnaden påverkar gånghastighet och köbildning. I varuhus gäller generellt att persontätheten avtar högre upp i byggnaden och på våningar under bottenplan.
- Rörelseförmågan hos de utrymmande påverkar gånghastighet.
- Social anknytning, det vill säga om personer är i grupp eller ensamma. Personer i grupp tenderar att i vissa fall fatta snabbare beslut. I många fall kan beslutstiden bli lång i exempelvis varuhus och teatrar för att ingen vågar ta initiativet till att påbörja en utrymning. Detta innebär att det är mycket viktigt med tränad och utbildad personal.

- Vakenheten hos de utrymmande och påverkan av exempelvis brandgaser.
- Motivation för utrymning. De som ska utrymma vill i många fall avsluta det de för stunden håller på med som exempelvis att få betala i en butik.
- De utrymmandes kännedom om byggnaden. Befinner sig de utrymmande i en känd miljö har de lättare att hitta en väg ut vid brand.

6.2.2 Byggnadsberoende faktorer

Exempel på byggnadsberoende faktorer som kan påverka utrymningen av ett varuhus (Frantzich, 2001):

- Byggnadens orienterbarhet, det vill säga hur lätt det är att hitta i byggnaden.
- Vägledande markeringar. Det är viktigt att information om utrymningsvägar är tydliga och väl placerade för att minska sannolikheten för feltolkningar och tvekan vid en utrymning.
- Belysning. Dålig belysning gör det svårare att hitta.
- Utrymningsvägarnas utformning och placering.
- Utrymningslarm vilket framför allt påverkar besluts- och reaktionstiden. Hur pass väl det fungerar beror på larmets utformning, det vill säga hur pass informativt det är (se även kapitel 6.1.2).

6.2.3 Brandberoende faktorer

Hur stor branden är och vilken mängd brandgaser som produceras kan påverka hur snabbt faran upptäcks. Den hastighet med vilken en brand ökar i omfattning tenderar dock de utrymmande att underskatta (Frantzich, 2001).

6.3 Dimensionerande personantal

För att göra en värdering av personsäkerheten i en byggnad krävs kunskap om hur många personer som kan förväntas befinna sig i den aktuella byggnaden, det så kallade dimensionerande personantalet. Detta personantal ska vara det maximalt förväntade antalet personer och beror framför allt på vilken typ av verksamhet det är i byggnaden. För att bestämma det dimensionerande personantalet för köpcentra går det använda sig av flera metoder, som till exempel antalet parkeringsplatser, besöksstatistik eller rekommendationer som anges i BBR.

För Linden köpcentrum är alternativet att använda sig av antalet tillgängliga parkeringsplatser för att bestämma personantalet inte möjlig då flera köpcentra utnyttjar samma parkeringar.

När det gäller besöksstatistik har statistik endast funnits tillgänglig över in- och utpassering per timme och ingen siffra finns på hur många personer som samtidigt befinner sig i byggnaden. Den siffra som det i någon mån går att använda sig av är hur många personer som totalt besökt Linden under en viss dag. En felkälla i denna statistik är dock att siffrorna inte går ihop i slutet, det vill säga det finns inte lika många inpasserande som utpasserande. Anledningen till detta kan vara problem med mätutrustningen samt att alla ingångar inte är tillgängliga i statistiken då den enbart kommer från en fastighetsägare. Den besöksstatistik som har använts kommer från 2002-12-23, dagen före julafton, då detta kan ses som en av de dagar med flest besökare. Antalet inpasserande besökare 2002-12-23 uppgick till cirka 54 000. Denna siffra säger dock ingenting om hur många som samtidigt befann sig i köpcentret. Jämförelsevis var antalet inpasserande besökare 2003-05-30 (fredag) cirka 30 000 och 2003-05-31 (lördag) cirka 15 000.

Rekommendationen som ges i BBR (Boverket, 2002) gällande dimensionerande persontäthet i varuhus är 0,5 personer/m² nettoarea. Nettoarean i Linden köpcentrum, det vill säga den area

där personer kan uppehålla sig, är cirka 16 000 m², vilket medför ett dimensionerande personantal på 8 000 personer. Denna siffra ses dock som orealistiskt hög.

För att få ytterligare förslag på lämpligt personantal har andra köpcentra där det gjorts värderingar av personsäkerheten studerats. Ett exempel är Mobilia i Malmö som precis som Linden har en nettoarea på cirka 16 000 m². Vid en tidigare brandteknisk riskvärdering utförd på LTH sattes där det dimensionerande personantalet till 1 700 personer (Axelsson m. fl., 2002). Denna siffra bygger dels på besöksstatistik och dels på tillgången på parkeringsplatser.

Utifrån dessa olika siffror sätts det dimensionerande personantalet i köpcentrum Linden till 4 000 personer, vilket anses vara ett väl tilltaget värde. Enligt 6.2.1 avtar persontätheten på plan över och under bottenplan vilket motiverar att det största personantalet befinner sig på entréplan. Antagandet görs att 2 000 personer befinner sig på entréplan, 1 400 personer på övre plan samt 600 på källarplan.

6.4 Allmänt om SIMULEX

SIMULEX V11.1.3 (IES, 1998) är det datorprogram som har valts för att simulera *förflyttningstiden* vid utrymning i Linden köpcentrum. Programmet har använts för två syften. Dels för att ta reda på hur lång tid det tar för alla personer som befinner sig på Linden att ta sig ut och dels för att studera själva utrymningsförloppet. Det sistnämnda har studerats för att se var det kan uppstå problem med köbildning.

Datorprogrammet SIMULEX beräknar den tid det tar för personer att förflytta sig i en byggnad till det att alla lämnat byggnaden. Förflyttningen sker genom att så kallade avståndskartor (distance maps) beräknas vilka de utrymmande alltid går vinkelrätt mot. Generellt gäller att de utrymmande alltid tar sig till den närmaste utgången i förhållande till avståndskartorna. Detta tankesätt kan dock leda till problem vad det gäller rationella och beteendemässiga beslut. Att välja den kortaste vägen är ett rationellt beslut men i en verklig utrymningssituation betar sig människor inte så rationellt. Det är inte heller säkert att den avståndsmässigt kortaste vägen till en utgång är den snabbaste då tidsödande köbildningar kan uppstå. Det går dock att påverka vilken väg som väljs av de utrymmande genom att tilldela de utrymmande olika egenskaper, så som vilken avståndskarta som ska användas, vilken gånghastighet de utrymmande har eller med vilken fördröjning utrymning påbörjas. I programmet kan anges vilken persontyp som ska simuleras och de som kan väljas är man, kvinna, barn och medelperson. Skillnaden mellan de olika typerna är vilken yta de upptar där medelpersonen har en storlek som ligger mellan man och kvinna. Utöver detta går det även att ange fördefinierade personkategorier som innebär att olika andelar av persontyperna genereras. Exempel på personkategorier är kontor, varuhus och skola.

SIMULEX har som datorprogram vissa fördelar, men även vissa begränsningar. Dessa redovisas nedan:

Fördelar:

- Varje person betraktas som en enskild individ.
- Personer kan ges specifika egenskaper.
- Det går att styra vilka utgångar olika personer ska gå till eller om alla ska gå till den närmaste utgången.
- Programmet beräknar förflyttningstid för samtliga personer i byggnaden men även den totala tid det tar för alla personer att utrymma.
- Gånghastigheten beror på avståndet till framförvarande och de egenskaper som valts.
- Köbildning hanteras korrekt.

- Ritningar i CAD-format (.dxf) används som indata och programmet visar utrymningsprocessen grafiskt i 2 dimensioner på de ritningar som läggs in.
- Gånghastigheten anpassas och blir lägre när personerna går i trappor.
- Simuleringen kan spelas in och uppspelning görs i realtid för att studera utrymningsförloppet noggrant.

Begränsningar:

- Gång uppför trappor simuleras med samma hastighet som nedför trappor.
- Märkliga vägval kan uppstå vid köbildning och breda utgångar.
- Långsam simulering när många personer befinner sig i byggnaden (personantal > 200)
- Programmet hanterar endast självgående personer, det vill säga inga rullatorer, barn- eller kundvagnar.
- Spiraltrappor måste göras om till raka trappor genom att minska bredden och öka längden.
- CAD-ritningarna måste redigeras så att text och dörrar försvinner då programmet ser detta som hinder.
- Personer kan ibland fastna och inte komma vidare.

För att kunna genomföra en simulering i SIMULEX på köpcentrum Linden har följande steg gjorts:

1. CAD-ritningar har redigerats.
2. Våningsplan och utgångar har definierats.
3. Då byggnaden har flera våningsplan som ska vara med i simuleringen har dessa förbundits med varandra genom trappor och länkar.
4. Avståndskartor har beräknats.
5. Personer har placerats ut och tilldelats specifika egenskaper.
6. Simulering har gjorts för olika utrymningsscenarier.

6.5 Indata/simulering

För att bedöma utrymningssituationen i Linden köpcentrum har fyra olika utrymningsscenarier studerats:

- Simulering 1 – Alla väljer närmaste vägen ut.
- Simulering 2 – Utrymning sker endast via huvudentréer.
- Simulering 3 – Utrymning vid brandscenario A.
- Simulering 4 – Utrymning vid brandscenario B.

Förutsättningarna och utrymningstrategierna för respektive scenario redovisas utförligare nedan. De två första utrymningsscenarierna har ingen koppling till de två brandscenarierna som studeras i rapporten men anses ändå vara viktiga som underlag för att kunna bedöma utrymningssituationen. Linden köpcentrum är en mycket komplex byggnad med många alternativa utrymningssvägar och det är mycket svårt att förutsäga hur en utrymning kan se ut. Att bara studera två scenarier som har en direkt koppling till ett brandscenario anses därmed inte tillräckligt.

Grundförutsättningar som gäller för alla scenarier:

- Personantalet som ska utrymma är 4 000. Av dessa befinner sig 600 personer på källarplan, 2 000 personer på entréplan och 1 400 personer på övre plan.
- Alla personer har egenskapen *shoppers* med en slumpmässig fördröjningstid innan förflyttning påbörjas med medelvärdet 1,0 sekunder och en avvikelse på +/- 0,5 sekunder.
- Det finns totalt 9 möjliga utgångar för de som befinner sig inne i köpcentret:
 1. Huvudentré mot Drottninggatan.
 2. Huvudentré mot Prästgatan.
 3. Huvudentré mot Hantverkaregatan.
 4. Kvällsentré till Hemköp mot Prästgatan.
 5. Nödutgång mot Prästgatan.
 6. Nödutgång mot Hantverkaregatan.
 7. 2 nödutgångar i bakkant på Åhléns.
 8. Nödutgång via ramp från källarplan.

Det finns ytterligare två möjliga utgångar. Dessa har ej beaktats då en är en personalingång och en är en utgång som ej återfinns i ritningsunderlaget. Dessa två förväntas ej påverka resultatet av utrymnings-simuleringen nämnvärt.

- De personer som utrymmer befinner sig endast på allmänna ytor och i butiker, det vill säga inte i personalutrymmen och liknande.
- Rulltrappor betraktas som vanliga trappor vid utrymning oberoende av riktning med en längd och bredd på 15 respektive 0,8 meter. Övriga raka trappor har en längd på 15 meter och en bredd som stämmer överens med ritningarna.
- Spiraltrapporna har en bredd på 0,8 m så att inte flera personer kan gå i bredd. Trappan beskrivs som en rak trappa där längden beräknats med hjälp av höjdskillnaden mellan våningsplanen och Pytagoras sats. Detta ger en längd på 8 meter per våningsplan.
- Ingen hänsyn har tagits till att personer börjar utrymma vid olika tidpunkter beroende på om de ser branden eller ej, det vill säga det som simuleras är endast förflyttningstiden.

6.5.1 Simulering 1 – Alla väljer närmaste vägen ut

Utrymningsstrategin i detta scenario är att alla personer tar den, enligt de beräknade avståndskartorna, närmaste vägen ut. Detta är inte ett troligt scenario då ingen hänsyn tas till att de flesta troligtvis väljer en känd utgång om så är möjligt. Detta scenario innebär även att personer kan utrymma över butiker de inte befinner sig i om det är närmare än att gå den rätta, det vill säga skyltade, vägen. Detta scenario ger ändå en fingervisning om hur fort den i avstånd kortaste utrymningen går och var stockningar uppstår. Att detta är den snabbaste utrymningen är dock inte en självklarhet då stockningarna av människor kan bli stora vilket sänker utrymningshastigheten.

6.5.2 Simulering 2 – Utrymning sker endast via huvudentréer

Utrymningsstrategin i detta scenario är att alla utrymmer via den närmaste huvudentréen. Till huvudentré räknas även den ingång som leder ner till Hemköp från Prästgatan. Personerna som utrymmer har inte möjlighet att gå via en butik till närmaste huvudentré, exempelvis blir den närmaste vägen för ett antal personer att gå in i Lindex på övre plan och sedan via deras rulltrappa ned till entrén mot Drottninggatan. Det är dock inte troligt att de utrymmande går

den vägen utan att de utrymmer via någon av rulltrapporna i entréhallen. Anledningen till att studera detta scenario är att de flesta troligen väljer en känd utgång i en utrymningsituation. Från Hemköp på källarplan är den närmaste huvudentrén den som leder ut till Prästgatan, men antagandet görs att en viss del av personerna väljer att ta sig till någon av entréerna på entréplan då det är en naturlig väg ut.

6.5.3 Simulering 3 – Utrymning vid brandscenario A

Utrymningsstrategin vid brandscenario A, brand i Ohlssons tyger på övre plan, är att de utrymmande från övre plan inte har någon möjlighet att ta sig ut via gången över till parkeringshuset eller via rulltrappan från serveringen på entréplan. Dock kan de som vid simuleringens start befinner sig i gångens eller rulltrappans absoluta närhet utrymma via dessa vägar. De som befinner sig i de allmänna utrymna på övre plan söker sig till någon av huvudentréerna liksom de flesta som befinner sig i de yttre delarna av butikerna. De som befinner sig längre in i butikerna utnyttjar möjligheten till bakkantsutrymning. Att personerna styrs så pass mycket och inte går den närmaste vägen beror på att simuleringen ska bli så verklighetstrogen som möjligt. På källarplan och entréplan styrs de utrymmande så att merparten väljer huvudentréerna men att några som befinner sig inne i butiker utnyttjar möjligheten till bakkantsutrymning.

6.5.4 Simulering 4 – Utrymning vid brandscenario B

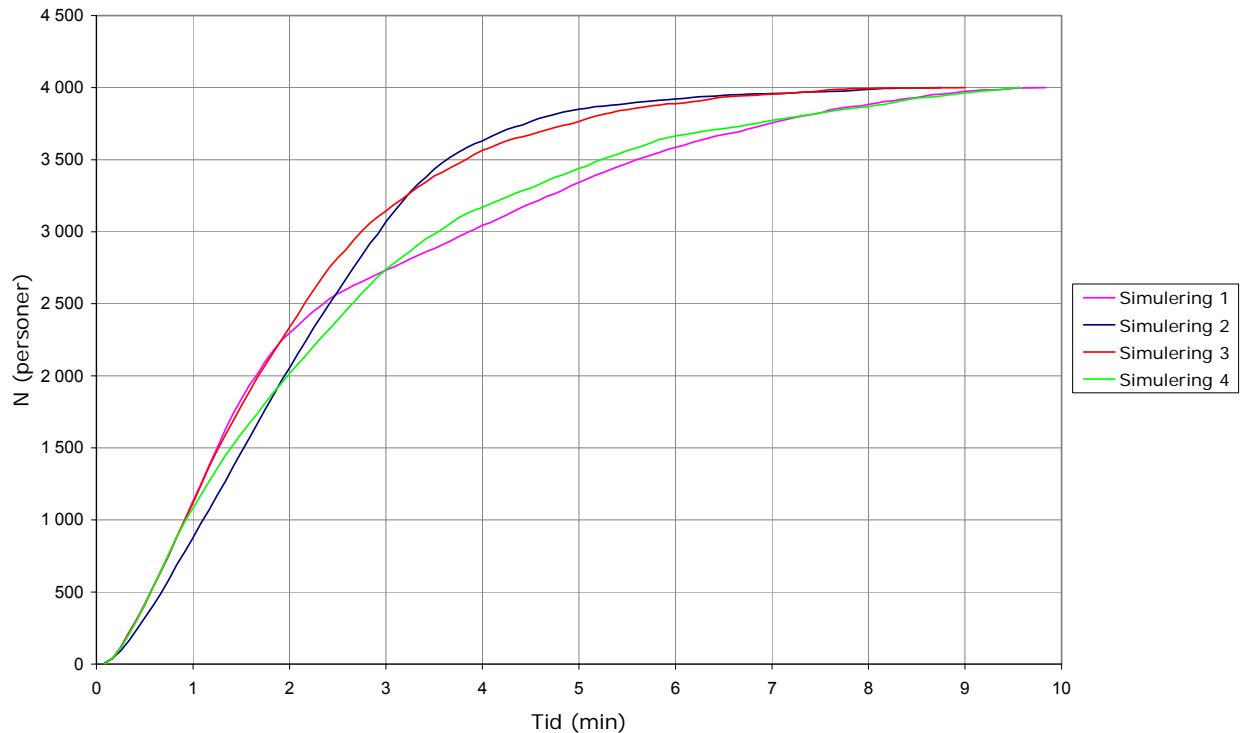
Utrymningsstrategin vid brandscenario B, brand i entréhall på entréplan, är att utrymning inte är möjlig via huvudentréerna mot Prästgatan och Hantverkaregatan. Detta innebär även att rulltrapporna mot övre plan på Åhléns, ner till Hemköp på källarplan samt rulltrappan från serveringen till övre plan inte kan utnyttjas vid utrymning. Dock kan de som vid simuleringens start befinner sig vid entréernas absoluta närhet utrymma via dessa vägar. Generellt gäller att de flesta utrymmer via någon av huvudentréerna eller gången på övre plan, bakkantsutrymning utnyttjas främst av de som befinner sig långt inne i butiker.

6.6 Resultat

Resultatet av de fyra simuleringarna redovisas i tabell 6.2 och figur 6.1. Vidare diskuteras resultaten från respektive simulering i kapitel 6.6.1 till 6.6.4.

	Tid till utrymning (min'sekund)
Simulering 1 – Närmaste vägen ut	9'45
Simulering 2 – Utrymning endast via huvudentréer	8'41
Simulering 3 – Utrymning vid brandscenario A	8'55
Simulering 4 – Utrymning vid brandscenario B	9'31

Tabell 6.2: Förflyttningstid vid simulering i SIMULEX.



Figur 6.1: Resultat SIMULEX. Antal personer som lämnat byggnaden.

Sammanfattningsvis kan sägas att tidsskillnaderna mellan de olika simuleringarna inte är särskilt stora, den kortaste utrymningstiden är 8'41 minuter och den längsta 9'45 minuter, det vill säga en skillnad på 64 sekunder. Vad som dock inte tas någon hänsyn till vid simuleringarna är det faktum att personerna troligtvis inte kommer starta sin utrymning vid samma tidpunkt. En av anledningarna till detta är att det utrymningslarm som finns aktiveras manuellt via någon av de fem larmknappar som finns utplacerade i varuhuset. Detta innebär troligtvis att det kan vara en mycket stor skillnad i varseblivningstid mellan olika delar i byggnaden beroende på när utrymningslarmet aktiveras och var en brand uppstår.

6.6.1 Kommentar simulering 1

Vid simulering 1 när alla väljer den närmaste vägen till utgång har alla nått utgångarna efter 9'45 minuter vilket visar sig vara den av de fyra simuleringarna som ger den längsta förflyttningstiden. Det visar sig att många väljer att ta sig till nödutgångarna och rulltrapporna används i mycket liten utsträckning. För många är den närmaste vägen att ta sig via en annan butik, det vill säga de befinner sig i en butik går ut ur den för att gå in i nästa för att därifrån bakkantsutrymma. Att så många skulle använda nödutgångar och inte i första hand bege sig till någon av huvudentréerna förefaller osannolikt, exempelvis väljer alla som är i sportaffären på källarplan att använda sig av nödutgången. I och med att så många väljer att utrymma via nödutgångarna uppstår det mycket stora köbildningar, framför allt från övre plan vilket är anledningen till den relativt långa förflyttningstiden. Tilläggas kan dock att de flesta är i närheten av en utgång/utrymningsväg efter 1'30 minuter och att ingen passerar genom någon av huvudentréerna efter 2'35 minuter.

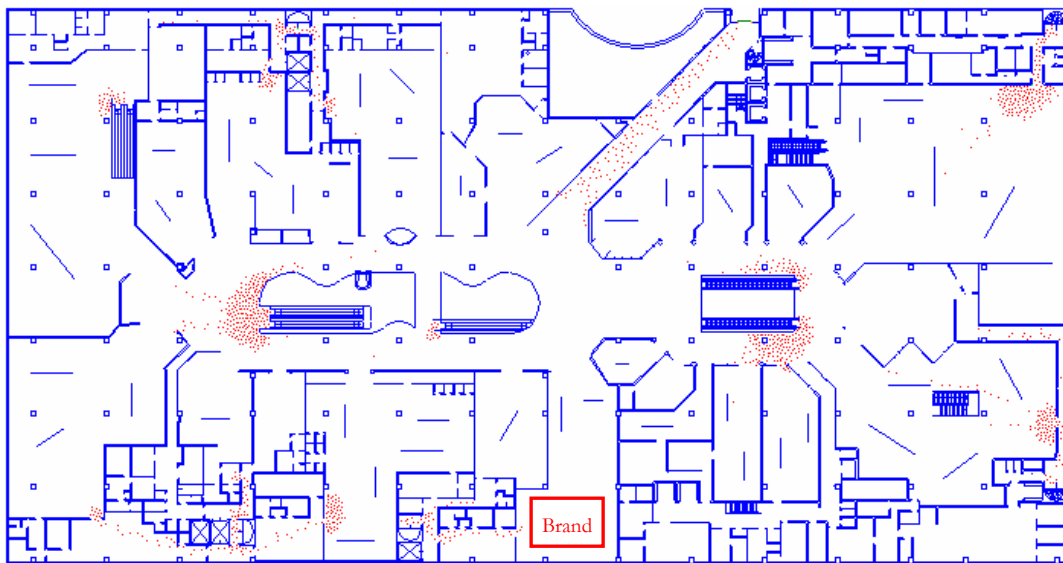
6.6.2 Kommentar simulering 2

Vid simulering 2 när alla väljer att utrymma via någon av huvudentréerna har alla utrymt efter 8'41 minuter vilket är den simulering som ger den kortaste förflyttningstiden. De kraftigaste köbildningarna uppstår vid rulltrappor och vid huvudentrén mot Drottninggatan. Ett problem som uppstår vid de två rulltrappor som är närmast huvudentrén mot Drottninggatan är att i

princip bara den ena används då detta ger den kortaste vägen ut enligt avståndskartorna. Samtidigt kan detta vara ett rimligt scenario om den rulltrappa som leder uppåt inte står still och därmed inte kan användas för utrymning. Från övre plan väljer många att utrymma via gången mot närliggande parkeringshus.

6.6.3 Kommentar simulering 3

Vid simulering 3 som ska beskriva utrymningssituationen vid brandscenario A, brand i Ohlssons tyger på övre plan, blir förflyttningstiden 8'55 minuter. Utrymningen från källarplan och entréplan går smidigt utan några särskilda köbildningar men från övre plan går det relativt trögt. Framför allt bildas det kö vid de tillgängliga rulltrapporna och i viss mån vid spiraltrappan som leder direkt till nödutgången mot Hantverkaregatan, se figur 6.2.

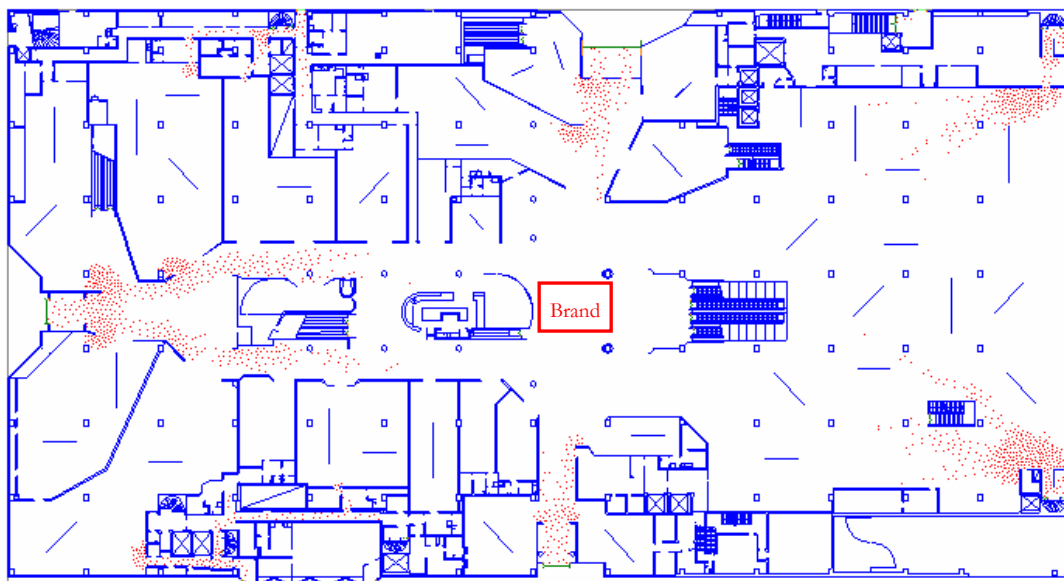


Figur 6.2: Köbildning på övre plan, $t=30$ s.

Ohlssons tyger, entréhallen på övre plan (med undantag för personer som befinner sig precis vid de tillgängliga rulltrapporna) och gången mot det närliggande parkeringshuset är utrymda efter cirka 1'35 minuter. Det är framför allt denna tid som är av intresse för att bedöma personsäkerheten vid detta scenario då en jämförelse ska ske mellan utrymningstiden och tiden till kritiska förhållanden. Kritiska förhållanden uppstår sannolikt inte i hela byggnaden under de aktuella tidsperioderna utan endast i närheten av branden. Hela övre plan är utrymt efter cirka 6'40 minuter.

6.6.4 Kommentar simulering 4

Vid simulering 4 som ska beskriva utrymningssituationen vid brandscenario B, brand i entréhall på entréplan är den totala förflyttningstiden 9'31 minuter. Generellt gäller att det blir ordentliga köbildningar vid nödutgångarna och vid rulltrapporna. Kraftigast köbildning uppstår kring en av nödutgångarna i bakkant på Åhléns, se figur 6.3.



Figur 6.3: Köbildning på entréplan, $t = 30$ s.

Köbildningen vid rulltrappan närmast Drottninggatan varar i cirka sju minuter och de är också de sista att lämna övre plan. Från övre plan väljer många att utrymma via gången mot närliggande parkeringshus, där den sist utrymmande passerar efter 3'55 minuter. Att denna tid är av intresse beror på att det finns en möjlighet att även denna slås ut om det blir kraftig rökutveckling upp till övre plan, vilket det inte tagits hänsyn till i simuleringen.

Området i direkt närhet till branden, det vill säga entréhallen och närliggande butiker är helt utrymt efter ca 1'35 minuter.

7 Osäkerheter

I detta kapitel diskuteras vilka osäkerheter som ingår i analysen samt hur hänsyn har tagits till att de olika parametrarna kan variera. Kapitlet avslutas med en sammanfattande bedömning av hur ingående osäkerheter påverkar slutresultatet.

7.1 Allmänt om osäkerheter

Vid en betraktelse av osäkerheter kan två typer skönjas. Den första är de rent stokastiska osäkerheterna som är genuina till sin karaktär och vars variabilitet inte kan reduceras ytterligare. Ett exempel på en sådan osäkerhet är morgondagens väder. Även om en god prognos finns att tillgå finns fortfarande en kvarvarande sannolikhet att utfallet blir ett annat än det förväntade. Den andra typen av osäkerheter är epistemiska osäkerheter vilka är kunskapsberoende och som därmed är upplösbara då ytterligare kunskap tillförs.

Vid en analys, oavsett vad som analyseras, är det viktigt att ha kontroll på hur stor osäkerheten kan tänkas vara i det slutliga resultatet. De flesta ingående osäkerheter i den utförda analysen är av den epistemiska sorten och skulle därmed kunna reduceras om tid och kunskap fanns tillgänglig. Dock kan det vara på sin plats att påpeka att brand- och riskhanteringsområdet fortfarande är mycket unga som vetenskaper och att även resultat i forskningsfronten därmed speglas av kunskapsrelaterade osäkerheter. Det är också så att resultatet i denna rapport producerats under en kurs som motsvarar tio veckors heltidsstudier. Analysen begränsas naturligtvis då av behovet att skapa en rimlig arbetsinsats, vilket naturligt blir fallet då kostnader alltid behöver vägas mot nytta i någon mening.

I det studerade systemet ingår följande osäkerheter:

- *Osäkerheter i indata till modellerna.*
Hur stor är variationen på de indata som väljs och väljs rätt värden på de variabler som ingår i beräkningarna?
- *Modellosäkerheter.*
Resultaten från de använda beräkningsmodellerna skiljer sig naturligtvis från de sanna lösningarna. Hur mycket är dock ganska osäkert.
- *Upplösning i analysnivå.*
Studeras rätt brandscenarier och tillräckligt många scenarier för att tillfredställande säkert kunna uttala sig om säkerhetsnivån i hela byggnaden? En allt för grov upplösning i analysen medför att viktiga aspekter för personsäkerheten kan missas.

För att besvara den första punkten förs en diskussion om osäkerheter i ingående parametrar i kapitel 7.2 och 7.3 I analysen kvantifieras inte hur stor påverkan de olika variablerna har på slutresultatet utan analysen är till för att på ett övergripande sätt undersöka ifall osäkerheter i indata kan leda till andra slutsatser. Diskussionen är uppdelad i två delar, en del för brandförloppet och en del för simuleringen av utrymningen.

För att hantera osäkerheter i de modeller som använts har i kapitel 4 och kapitel 6 diskuterats kort huruvida rimliga resultat erhållits samt att en viss validering har utförts som bekräftar att beräkningsmodellerna är giltiga. En exakt bedömning hur de modellerade resultaten skiljer sig från sanna resultat är dock mycket svår att göra. Det är viktigt att ha med sig i bedömningen av resultaten att delar av simuleringarna är osäkra och att en felmarginal på tiotals procent från de sanna resultaten i vissa fall är fullt möjlig.

Upplösningen i analysen diskuteras kort i kapitel 7.4 som behandlar hur bränder i andra delar av byggnaden sannolikt kan påverka bedömningen i slutresultatet.

7.2 Osäkerheter i brandförloppet

De parametrar som kan varieras och som påverkar brandförloppet är:

- Annan brandtillväxt än αt^2 .
- Snabbare brandtillväxt: högre värde på parametern α .
- Högre maxeffekt, \dot{Q}_{max} .
- Förändrad sotproduktion.
- Ändrade termiska materialegenskaper i väggar, tak och golv.
- Felfunktion hos sprinkler.
- Räddningstjänstens inverkan på branden.
- Felfunktion av brandgaslucka eller tilluftsöppning.
- Osäkerheter i strålningsberäkningen.

Hur hänsyn tagits till de identifierade faktorerna redovisas i efterföljande underkapitel.

7.2.1 Annan brandtillväxt än αt^2

Brandtillväxten kan ske efter andra samband än det valda kvadratiska sambandet. Det valda sambandet är dock det mest frekvent förekommande och bedöms som det mest lämpliga. Hur ett annat samband skulle kunna väljas bör baseras på testresultat, vilket inte har varit möjligt.

7.2.2 Snabbare brandtillväxt

Simuleringen i tvåzonsmodellerna för brandscenario A utförs för brandtillväxthastigheterna *medium*, *fast* och *ultrafast*. Av dessa är *medium* och *fast* de mest troliga men *ultrafast* har tagits med för att kunna studera ytterligheter. *Ultrafast* är en tillväxthastighet som är mest sannolik att finna vid brännbara vätskor och liknande. Tiden till kritiska förhållanden har beräknats till cirka 2,5 minuter. Känslighetsanalysen pekar på en variation mellan 1'36 minuter upp till 4'07 minuter (se kapitel 4.1.2), med hänsyn till skillnader i brandtillväxthastighet. Exakt var i intervallet det sanna värdet ligger har mindre betydelse då utrymning från butikslokalen bör kunna ske säkert även vid en snabb brandtillväxt.

I simuleringen av brandscenario B har endast ett värde på tillväxthastigheten studerats. Detta beror främst på den långa tidsåtgång som ligger bakom varje simulering. Ett snabbare förlopp än det studerade skulle kunna resultera i en lägre säkerhetsnivå. Detta är dock svårt att bedöma.

7.2.3 Högre maxeffekt

Att välja en högre maxeffekt i den dimensionerande branden kan vid en första anblick tyckas kunna leda till en slutsats om en sämre säkerhet i byggnaden. Dock är det så att kritiska förhållanden uppträder relativt tidigt i brandförloppet och den valda maxeffekten uppträder efter det att utrymningen skall vara avslutad och kritiska förhållanden uppstått i byggnaden. En högre maxeffekt påverkar därmed främst egendomskador och inte personsäkerheten för personer i byggnaden.

De valda maxeffekterna är satta till högsta tänkbara med hänsyn till förväntad brandbelastning. Högre värden än de valda bedöms inte som realistiska.

7.2.4 Förändrad sotproduktion

Eftersom bedömningen av resultaten i brandscenario B till stor del bygger på siktbarheten får materialparametern SOOT_YIELD för bränslet stor betydelse. Som tidigare påpekat är detta en variabel präglad av stor osäkerhet. Det är inte orimligt att en brand skulle resultera i en

större sotproduktion än den studerade, vilket skulle kunna leda till att kritiska förhållanden inträffar tidigare, främst på övre plan. Att utveckla analysen med andra värden på sotproduktionen har dock inte varit rimligt att genomföra inom ramarna för detta arbete.

I brandscenario A används inte sotproduktionen i modelleringen, utan resultaten här bygger främst på utvecklad effekt.

7.2.5 Ändrade termiska materialegenskaper

Ifall materialet som omsluter branden, d.v.s. väggar, tak och golv skulle ha en större isolerande förmåga än den indata om använts (betong) kan rökgaslagret bli något varmare och därmed sjunka något snabbare, eftersom mindre energi förloras ut i omslutningen. Denna påverkan är förmodligen dock ganska liten i det aktuella fallet då det är relativt stora volymer som modelleras.

7.2.6 Felfunktion hos sprinkler

Då de dimensionerade bränderna har simulerats med datormodeller utan aktivering av sprinkler täcks fallet då sprinkler av någon anledning felar. Sprinkler antas normalt att fungera i minst nio fall av tio men kan ej tillskrivas fullständig tillförlitlighet. Att tillägga här för Lindens del är att vid felfunktion av sprinkler faller det enda automatiska larmet till räddningstjänsten. En insats från räddningstjänsten bygger då helt på att branden rapporteras in av någon person på plats via exempelvis samtal till 112.

7.2.7 Räddningstjänstens inverkan på branden

I analysen tillgodoräknas inte räddningstjänstens insats då deras insatstid är sådan att kritiska förhållanden bedömts uppstå, åtminstone lokalt, innan räddningstjänsten kunnat påbörja sin insats. Räddningstjänstens insats får här anses vara att skydda egendom och förhindra ytterligare brandspridning.

7.2.8 Felfunktion av brandgaslucka eller tilluftsöppning

Simulering av rökspridning i de trapphus som är försedda med rökluckor har ej utförts. Rökspridning till dessa trapphus förväntas främst ske om dörrar i utrymningsvägar står uppställda och då brandbelastning (skräp) finns samlat i utrymningsvägarna. Brandgasluckorna kan felfunktionera då den vajer som skall öppna dem kan vara rostig eller gå av helt. Ifall luckorna inte fungerar påverkas främst räddningstjänstens möjligheter till insats via trapphusen.

Den ventilation i form av öppningar som finns i den öppna delen av byggnaden består av ett antal glasrutor som varken kan öppnas manuellt eller automatiskt utan måste krossas av räddningstjänsten. Öppningen är inte dimensionerad för att kunna hantera brandgasflödet från en dimensionerande brand, men kan tillsammans med räddningstjänstens fläktar vara en god hjälp för att vädra ut brandgaser vid en insats.

Slutsatsen är att en felfunktion i möjligheterna att vädra ut brandgaser inte påverkar personsäkerheten i nämnvärd omfattning. Vid den tidpunkt då räddningstjänsten är på plats och kan manövrera rökluckor eller krossa glaset i ljusinsläppen så borde utrymningen av byggnaden redan vara slutförd.

7.2.9 Osäkerhet i strålningsberäkningen

För strålningsberäkningen har en Monte-Carlo-simulering genomförts som visar på stora osäkerheter i beräkningen. I kapitel 4.3 angavs att säker utrymning inte kan ske genom sidoentréerna då personer måste passera på ett avstånd av 10 - 12 m från branden. Strålningsnivån angavs på detta avstånd till 4 - 6 kW/m². Detta har bedömts till de mest troliga värdena men

osäkerhetsanalysen visar på ett intervall på 1,5 - 12 kW/m², baserat på breda fördelningar i indata.

Den avgörande parametern i beräkningarna är flamtemperaturen som avgör hur mycket effekt som strålar ut. Då denna parameter är svår att skatta med god noggrannhet har en bred rektangulär fördelning använts, vilket förklarar att osäkerheten i beräkningarna blir väldigt stor. Ett annat sätt att angripa problemet hade kunnat vara att utgå från att cirka 30 - 35 % av den totala effekten avges som strålning. På detta sätt hade förmodligen en noggrannare modellering kunnat genomföras.

Slutsatsen att säker utrymning inte kan ske via sidoentréerna i scenario B är något osäker. Då det dock inte kan visas att säker utrymning *kan* ske är det dock den enda rimliga slutats att dra. Det är ännu svårare att peka på hur länge säker utrymning kan ske innan dess att kritiska förhållanden uppstår.

7.3 Osäkerheter för utrymningen

Även för utrymningssituationen finns ett antal faktorer som kan påverka bedömningen av slutresultatet. De identifierade är här:

- Större dimensionerande personantal.
- Förlängd gångväg p.g.a. hinder i lokalerna.
- Blockerade utrymningsvägar.
- Osäkerhet i *varseblivnings-* respektive *besluts-* och *reaktionstid*.

Hur hänsyn har tagits till de identifierade faktorerna redovisas i efterföljande underkapitel.

7.3.1 Större dimensionerande personantal

Det dimensionerande personantalet, 4 000, anses vara ett relativt konservativt val som kan liknas vid ett värsta scenario. Att det vid en och samma tidpunkt skulle befinna sig fler än 4 000 personer i Linden köpcentrum är inte troligt. Detta styrks även av hur det ser ut när de 4 000 personerna placeras ut i SIMULEX, det är relativt packat med folk. Dessutom har det inte lagts in särskilt mycket hinder i byggnaden, det vill säga personer är placerade i princip överallt i butiker och på allmänna ytor. I många av butikerna upptar varor en stor del av ytan vilket innebär att persontätheten i verkligheten blir lägre.

7.3.2 Förlängd gångväg p.g.a. hinder i lokalerna

Gångvägen till utrymningsvägarna kan förlängas på grund av hinder i form av exempelvis klädställ, kassor etc. För att ta hänsyn till detta har en del hinder lagts in i ritningarna som används i SIMULEX. Antalet hinder och dess placering har lagts in relativt godtyckligt. Bedömningen är dock att fler hinder inte skulle haft någon större påverkan på förflyttningstiden då tillgången till utrymningsvägar är mycket god.

7.3.3 Blockerade utrymningsvägar

Vid platsbesöket på Linden noterades att flera av utrymningsvägarna i bakkant av butikerna var belamrade med skräp och bråte, vilket kan försvåra en utrymning. Detta tas hänsyn till genom att ett flertal utrymningssimuleringar utförts, där olika antal väljer att använda sig av dessa utrymningsvägar. Ju fler som väljer samma väg desto lägre blir gånghastigheten och desto högre blir risken för köbildningar. Lägre gånghastighet och större köbildning uppstår även när det blir trångt, som exempelvis då utrymningsvägar är blockerade. Resultatet av utrymningssimuleringarna visar att förflyttningstiden är relativt oberoende av vilka utrymningsvägar som används, skillnaden mellan den kortaste respektive längsta förflyttningstiden är cirka 1 minut. I dessa simuleringar förflyttar sig dessutom alla samtidigt, vilket minskar

gångshastigheten och ökar köbildningen jämfört med om personer börjar förflyttningen vid olika tidpunkter.

7.3.4 Varseblivnings- respektive besluts- och reaktionstid

Som nämnts i kapitel 6.1 är osäkerheterna kring *varseblivnings-* respektive *besluts-* och *reaktionstid* stora, framför allt när det gäller en så pass stor byggnad som Linden köpcentrum. För att ta hänsyn till dessa osäkerheter har dessa tider lyfts ut vid simuleringarna av utrymning, simuleringarna visar endast den rena förflyttningstiden. En mer kvalitativ diskussion kring varseblivnings- samt besluts- och reaktionstid förs i kapitel 8 då personsäkerheten värderas.

7.4 Brand i andra utrymmen

De två brandscenarier som valts ut täcker endast en mycket liten del av alla de möjliga bränder som kan uppstå i varuhuset. Tidsbrist har gjort att det inte varit möjligt att simulera fler scenarier med FDS vilket hade krävts för att ta fram fler intressanta resultat.

När det gäller bränder som uppstår i mindre butiker är det tveksamt om en brand inne i en annan butik skulle vara så snabb att utrymning inte kan ske innan dess att kritiska förhållanden uppstår inne i butiken, särskilt då en butik med hög brandbelastning valts att studera i brandscenariot A. Snarare vore det mer intressant att se effekterna av en brand i en butik med annan placering i byggnaden, exempelvis på markplan. Mot bakgrund att den simulerade branden i scenariot B efter ett tag påverkar utrymningen ifrån övre plan kan säkert även brandgaserna från en brand i en butik på entréplan göra det, åtminstone om sprinklersystemet felfungerar.

Ett annat intressant scenario att studera skulle kunna vara hur en brand nere vid lastkajerna kan utvecklas och hur den kan påverka säkerheten i byggnaden. Där har en hög brandbelastning identifierats, se bild 7.1, samtidigt som en brand kan växa till sig innan dess att den upptäcks och åtgärder vidtages. Här nere kan räddningstjänstens insats kraftigt försvåras. För en snabb bedömning av konsekvenserna av brand här finns som visats i kapitel 2.4 erfarenheter från en brand i en container.



Bild 7.1: Hög brandbelastning vid lastkaj.

På samma sätt kan bränder som uppstår i slutna biutrymmen, som till exempel lager eller personalutrymmen växa obemärkt till dess att sprinkler löser ut efter flera minuter. Dessa bränder kan också ge en väsentligt spridning av brandgaser via ventilationssystemet då en tillräcklig tryckkuppbyggnad sannolikt kan ske i lokalen då läckflödet är lågt. Att ett sådant scenario ej studerats beror på att inget ritningsunderlag för ventilationssystemet funnits att tillgå.

En problematik som ej studerats är hur en brand som uppstår innan varuhuset har öppnat kan påverka personal som befinner sig i byggnaden. Då kan flertalet av utrymningsvägarna vara låsta, butikerna stänga och varseblivningstiden kan bli mycket lång. Detta har ej studerats då det huvudsakligen är en organisatorisk fråga. Att modellera dessa förhållanden tillför ingenting då det inses lätt att utrymningsituationen för personalen med låsta utrymningsvägar aldrig kan bli tillfredställande.

7.5 Sammanfattande slutsats kring osäkerheter

Sammanfattningsvis kan det konstateras att den ingående modelleringen av både brandförlopp och utrymning präglas av osäkerheter. En av de stora svårigheterna är att modellera rökspredning i stora volymer. Även om en CFD-modell används präglas analysen av förenklingar, ofta grov cellstorlek och bristande validering. Allmänt gäller att en viss försiktighet bör iaktas då vid tolkningen av resultat från simuleringar som bygger på sikttnedsättning i stora volymer. CFD-modellerna tillskrivs ofta stor tilltro då det är enkelt att producera illustrativa resultat, ofta i animerad form. Det är viktigt att se hur modellen används i varje enskilt fall. I denna rapport har modellen och dess resultat använts med en hälsosam försiktighet och resultaten anses trovärdiga för att beskriva förhållandena överlag.

När zonmodellerna används i butiksbränder är resultatet över förhållandena inne i brandrummet trovärdiga men av underordnat intresse då det inte dröjer särskilt länge till dess att de utrymmande personerna befinner sig utanför butiken men ännu inte är i säkerhet.

Bedömningen huruvida byggnaden är säker blir även den till viss del osäker. Utöver svårigheterna att modellera tiden till kritiska förhållanden i de öppna delarna i varuhuset är det problem att bedöma hur lång tid det tar innan utrymningen verkligen påbörjas. Till detta kommer problemet att bedöma hur långt personerna måste utrymma innan de befinner sig i säkerhet.

Trots osäkerheterna har analysen ett värde då de största problemen identifierats och rimliga slutsatser lyfts fram. I analysen ackumuleras konservativa antaganden vilket leder till att en säkerhetsmarginal skapas i bedömningen. Även om den ingående modelleringen präglas av osäkerheter så ger rapporten som helhet en förståelse för hur byggnaden fungerar vid brand och utrymning.

8 Värdering av personsäkerhet

I detta kapitel värderas personsäkerheten genom att tiden för kritiska förhållanden jämförs med tiden för utrymning.

8.1 Allmänt

För att värdera personsäkerheten har ekvation 8.1 använts. Den anger att tiden det tar att utrymma skall vara mindre än tiden till kritiska förhållanden uppstår för de utrymmande.

$$t_{\text{utrymning}} < t_{\text{kritisk}}$$

Ekv. 8.1

Tiden till dess att kritiska förhållanden uppstår är hämtad från brandsimuleringarna i kapitel 4. För utrymning är förflyttningstiden hämtad från simuleringsresultaten i kapitel 6. Besluts- och reaktionstiden kan enligt kapitel 6.1.2 sättas till cirka 1 minut från brandstart för de personer som ser branden och till 1 - 2 minuter då utrymningslarmet aktiverats. Vid värderingen av personsäkerheten i de studerade brandscenarierna diskuteras vilken varseblivningstid som är nödvändig för att villkoret i ekvation 8.1 skall uppfyllas samt om denna tid är realistisk.

Som tidigare nämnts är rådet i BBR att tillfredsställande utrymning innebär antingen en fullständig utrymning av samtliga personer som befinner sig i byggnaden eller en förflyttning till en säker flyktplats inom byggnaden för de som befinner sig inom den av brand direkt berörda delen. I det senare fallet måste skydd mot värme och toxiska gaser kunna erhållas under hela brandförloppet. Enligt Brandskyddshandboken (Brandteknik LTH, 2003) utgörs en säker flyktplats av ett eller flera brandtekniskt avskiljda rum som kan motstå ett fullständigt brandförlopp. Personer skall kunna vistas där under detta förlopp och ha möjlighet till kommunikation med yttervärlden.

Det ter sig omöjligt att utrymma 4 000 personer innan kritiska förhållanden uppstår någonstans i byggnaden varför bedömningen får baseras på att personerna under utrymning kan bedömas vara säkra även om kriterierna för en säker flyktplats inte uppfylls. Det torde vara möjligt att göra avsteg från dessa krav med hänsyn till att likvärdig säkerhet kan påvisas i enlighet med *alternativ utformning* i BBR.

8.2 Brandscenario A

I brandscenario A har tiden till kritiska förhållanden inne på Ohlssons tyger beräknats till cirka 2,5 minuter baserat på kritisk höjd för brandgaslagret. Varseblivningstid och besluts- och reaktionstid kan totalt här sättas till cirka 1 minut då personerna i butiken förväntas se branden. Förflyttningstiden har modellerats till cirka 40 sekunder innan personerna har lämnat butikslokalen och närområdet utanför butiken. Förflyttningstiden för total utrymning har bestämts till cirka 9 minuter. Slutsatsen är att säker utrymning kan ske från butiken med en säkerhetsmarginal på cirka en minut.

Då ingen information finns kring förhållanden utanför butikslokalen är en värdering av säkerheten här svår att göra. En rimlig bedömning är dock att kritiska förhållanden kan uppstå en bit utanför butiken, särskilt om sprinklern felfungerar och övertändning sker i lokalen. På övre plan har förflyttningstiden för personerna utanför butikerna (med undantag för personer som befinner sig precis vid de tillgängliga rulltrapporna) och i gängen mot det närliggande parkeringshuset bestämts till cirka 1,5 minuter. För hela övre plan gäller en total förflyttningstid på cirka 6,5 minuter, huvudsakligen beroende på köbildning vid rulltrappor. Under förutsättning att utrymning startar i god tid bedöms tiden till förfogande vara tillräcklig för att upprätthålla en god personsäkerhet, även om detta inte kan styrkas med beräkningar.

Resultatet i kapitel 7 pekar på att kritiska förhållanden *kan* ske redan efter 1,5 minut men även då förväntas säker utrymning kunna ske från butikslokalen, dock utan säkerhetsmarginal.

8.3 Brandscenario B

Beräkningarna över branden visar att strålningen medför att säker utrymning via sidoentréerna endast kan ske i det tidiga brandförloppet och att kritiska förhållanden kan uppstå på övre plan efter cirka 14 minuter på grund av dålig sikt. Total förflyttningstid för att utrymma hela byggnaden har bestämts till cirka 9,5 minuter.

För personer på nedre plan visar simuleringen av förflyttningstid att området i direkt närhet till branden, det vill säga entréhallen och närliggande butiker, är helt utrymt efter cirka 1,5 minuter. Utrymningen i brandens närområde förväntas starta inom en minut för de personer som ser branden. Slutsatsen är att säker utrymning kan ske från undre plan även om kraftig köbildning kan ske vid nödutgångarna då sidoentréerna eventuellt kan bli utslagna.

Från övre plan väljer många att utrymma via gången mot närliggande parkeringshus, där den sist utrymmande passerar efter cirka 4 minuter. Köbildningen vid rulltrappan närmast Drottninggatan varar i cirka sju minuter och de är också de sista att lämna övre plan. Detta skall ställas mot att hela övre plan bör vara utrymt inom cirka 14 minuter. Detta innebär att utrymningen bör starta inom sju minuter från det att branden börjar tillväxa enligt en αt^2 -kurva. Mot bakgrund till att besluts- och reaktionstiden kan uppgå till 1 – 2 minuter efter att utrymningslarmet aktiverat innebär detta att larmet måste aktiveras inom 5 minuter. Med dagens utformning med fem manuella larmknappar är det föga troligt att detta kommer att ske.

Slutsatsen blir att med dagens manuella aktivering av utrymningslarmet kan personer som skall utrymma från övre plan utsättas för kritiska förhållanden på grund av dålig sikt. Exakt när detta kommer att ske är dock mycket osäkert eftersom hänsyn borde tas till en eventuell förbrinntid och att rökproduktionen från bilen är svår att precisera.

8.4 Övergripande värdering av personsäkerheten

I dagsläget anser vi inte att personsäkerheten är tillfredställande. Detta beror främst på att utrymning måste påbörjas inom en tid som inte kan säkerställas med dagens manuella utrymningslarm och brist på larm- och utrymningsorganisation. Till detta kommer bristen på utrymningsorganisation, ordning i utrymningsvägarna och ett sprinklersystem som ej kan påvisas uppfylla regelverkets krav.

Byggnadens allmänna förutsättningar för utrymning anses vara goda. Med detta menar vi god tillgång till utrymningsvägar och god orienterbarhet.

Rörelsehindrade personer har inte ingått i modelleringen av förflyttningstiden för utrymning. Då hissar ej kan förväntas användas vid brand återstår endast en möjlig utrymningsväg från övre plan – gången över till parkeringshuset. För att de skall kunna utrymma säkert ur byggnaden är förutsättningarna att utrymningslarmet aktiveras i god tid och att de rörelsehindrade vet var de skall ta sig, vilket kan vara beroende av att personal måste vara delaktig i utrymningen.

9 Förslag till förbättringar

Här presenteras vilka slutsatser som dragits i form av förslag till åtgärder. Förslagen presenteras i prioritetsordning och är uppdelade i åtgärder som *skall* genomföras och åtgärder som *bör* genomföras för att uppnå en tillfredställande personsäkerhet.

9.1 Åtgärder som skall genomföras

Nedan presenteras förslag på sådana åtgärder som *skall* genomföras för att säkerställa en god personsäkerhet under utrymning vid brand på Linden köpcentrum samt för att uppfylla gällande lagkrav. Åtgärderna är listade i prioritetsordning.

- Koppla aktivering av utrymningslarm till sprinklersystemet.
- Förbereda organisationen för kommande systematiska brandskyddsarbete (SBA), med särskilt fokus mot utrymningsorganisationen.
- Säkerställa att vattentillgången för sprinklersystemet är tillräcklig.
- Säkerställa bättre ordning i utrymningsvägarna.
- Se över vägledande markeringar i utrymningsvägarna.

De föreslagna åtgärderna utvecklas i efterkommande underkapitel. Motiveringarna bygger i stor omfattning på slutsatser dragna tidigare i rapporten.

9.1.1 Automatisk aktivering av utrymningslarm

Som tidigare diskuterats krävs att utrymning påbörjas i god tid vilket endast kan säkerställas med en automatisk aktivering av utrymningslarmet. Tiden till dess att utrymningslarmet måste aktiveras har bedömts till ungefär fem minuter efter det att en brand börjar utvecklas enligt α^2 -sambandet. Denna tid stämmer ganska bra överens med den tid det förväntas ta innan sprinklern aktiveras, baserat på att de beräknade aktiveringstiderna är något konservativt skattade. Ett alternativ för att säkerställa säker utrymning är därmed att koppla en automatisk aktivering av utrymningslarmet till sprinklersystemet.

Tidigare har också konstaterats att manuell aktivering av utrymningslarm i samlingslokaler endast är godkänt om det sker ifrån bemannad plats vid brandindikation, vilket inte anses uppfyllas på Linden. Räddningstjänsten har också påpekat att utrymningslarmet bör aktiveras av sprinklersystemet i protokoll från brandsyn förrättad 2001-12-19.

Att använda sprinklersystemet för automatisk aktivering av utrymningslarmet torde vara ett kostnadseffektivt sätt att markant höja säkerhetsnivån i byggnaden. Då det i kapitel 8.4 visats att säkerhetsmarginalen om sprinklern aktiverar utrymningslarmet är begränsad bör det också övervägas att snabba upp systemet genom att sänka sprinklerbulbernas RTI-värde, se kapitel 9.2.4. Ett alternativ till detta är att installera ett automatiskt brandlarm för aktivering av utrymningslarmet.

9.1.2 Systematiskt brandskyddsarbete

Räddningsverket har gett ut ett allmänt råd i meddelande 2001:2, *Allmänna råd och kommentarer om systematiskt brandskyddsarbete*, vilka baseras på dagens 41 § i Räddningstjänstlagen.

Den första januari 2004 kommer en reformerad version av Räddningstjänstlagen, Lagen om skydd mot olyckor, att träda ikraft. I den nya lagen tydliggörs den enskildes ansvar för att en verksamhet är trygg och säker ur brandsynpunkt. Gamla 41 § återfinns i den nya lagens 2 kap. 2 §. I framtiden är det alltså främst ägaren som ansvarar för att redovisa sitt brandskydd, det vill säga har bevisbördan för att skyddet är tillfredställande ordnat.

“2 § Ägare eller nyttjanderättshavare till byggnader eller andra anläggningar skall i skäligen omfattning hålla utrustning för släckning av brand och för livräddning vid brand eller annan olycka och i övrigt vidta de åtgärder som behövs för att förebygga brand och för att hindra eller begränsa skador till följd av brand.

3 § Ägare av byggnader eller andra anläggningar, där det med hänsyn till risken för brand eller konsekvenserna av brand bör ställas särskilda krav på en kontroll av brandskyddet, skall i skriftlig form lämna en redogörelse för brandskyddet. En nyttjanderättshavare skall ge ägaren de uppgifter som behövs för att denne skall kunna fullgöra sin skyldighet.

...

Redogörelsen skall lämnas in till kommunen.” (Prop. 2002/03:119).

Ett sätt att uppfylla kraven i både nuvarande och framtida lag är att på ett tillfredställande sätt bedriva systematiskt brandskyddsarbete. Detta är ett metodiskt sätt att skapa ordning och reda på sina brandskyddsfrågor samt fördela ansvar. Enligt det Allmänna rådet 2001:2 ska systematiskt brandskyddsarbete omfatta dokumentation samt rutiner för egenkontroll och utbildning av personal. Vad en sådan dokumentation bör innehålla framgår av bilaga III.

Då Linden är en samlingslokal kommer en skriftlig dokumentation behöva upprättas som beskriver byggnaden, dess risker och brandskyddslösningar. Kopplat till verksamheten skall den organisation som finns för utrymning och brandskydd klargöras. I organisationen skall en brandskyddsansvarig utses. På Linden verkar två fastighetsägare inom samma byggnad, vilket innebär att två dokumentationer förmodligen kommer att behöva upprättas.

Behovet av en väl fungerande utrymningsorganisation har påpekats på ett flertal ställen i rapporten samt även vid räddningstjänstens brandsyner. Vid uppstarten bör därför ett särskilt fokus riktas mot detta i det systematiska brandskyddsarbetet.

9.1.3 Vattenavtappningsprov för sprinklersystemet

Sprinklersystemet är viktigt för personsäkerheten och det har visats i kapitel 2 att tillgängligt tryck och flöde inte kan bevisas vara tillräckliga. Tryckförlustberäkningar och dokumentation av utförda vattenavtappningsprov har ej gått att uppbringa.

Redovisning av tryckförlustberäkningar *skall* finnas (punkt 6250.13: SBF, 2001), inte minst då systemet nyligen utvidgats väsentligt (punkt 7131: SBF, 2001). Detta *skall* kompletteras med ett dokumenterat fullständigt vattenavtappningsprov minst vart 3:e år (bilaga 2: SBF, 2001).

9.1.4 Bättre ordning i utrymningsvägarna

Som konstaterats i kapitel 5 fanns mycket tomeballage i utrymningsvägarna. Lagring av butiksvaror förekommer också på vissa ställen. I brandsynprotokoll från 2001-12-19 och 2002-12-09 återfinns också flera anmärkningar kring ordningen i utrymningsvägarna.

Grundförutsättningen är att ingen lös inredning får förekomma längs en utrymningsväg (Brandteknik LTH, 2002). Detta krav är svårt att härleda explicit från BBR men den punkt som borde vara aktuell är:

“5:341 Passagemått i utrymningsväg

Utrymningsvägar skall utformas med sådan rymlighet och framkomlighet att de kan betjäna det antal personer de är avsedda för.” (Boverket, 2002).

Eftersom Linden också är en arbetsplats gäller här även de krav som finns i AFS 2000:42:

“78 § Vid placering av tekniska anordningar, inredning och material skall utrymningsvägarnas tillgänglighet beaktas. Utrymningsvägar samt vägar och dörrar till utrymningsvägar skall hållas fria från hinder.

Kommentar till 78 § Texten i 78 § om utrymningsvägarnas tillgänglighet och att utrymningsvägar skall hållas fria från hinder avser inte endast fysiska föremål på själva utrymningsstråket utan även annat som finns inom utrymningsvägen och som kan utgöra hinder för utrymning. Det kan t.ex. vara lättantändliga material som papper och tyg

som alstrar rökgaser och värme vid brand eller gasledning som vid brott omöjliggör en utrymning.” (Arbetsmiljöverket, 2000).

Slutsatsen är att en organisation *måste* skapas för att lös inredning, skräp med mera skall undvikas i utrymningsvägarna.

9.1.5 Översyn av vägledande markeringar

Vid platsbesöket konstaterades på källarplan att de vägledande markeringarna var placerade på ett sådant sätt att förvirring kan uppstå kring vilken väg som närmast leder ut ur byggnaden. Till exempel var det så att för de personer som utrymmer från Hemköp via lastkajen syns ingen markering mot rampen, men dock skymtas en skylt lite längre bort som leder in i byggnaden igen.

Sammanfattningsvis skall de vägledande markeringarna på källarplan ses över för att personer lätt skall hitta ut vid en utrymningssituation. På de andra våningsplanen upplevedes markeringarna som tillfredställande.

Vägledande markeringar av äldre typ har observerats i byggnaden, se bild 9.1. Dessa var inte frekvent förekommande men skall ändå ersättas med skyltar som uppfyller AFS 1997:11, *Varselmärkning och varselsignalering*.



Bild 9.1: Äldre utformning av vägledande markering.

9.2 Åtgärder som bör genomföras

Nedan presenteras förslag på sådana åtgärder som *bör* genomföras för att säkerställa en god personsäkerhet under utrymning vid brand på Linden köpcentrum. Även här är åtgärderna i prioriteringsordning även om skillnaderna inte är lika stora som för åtgärderna som vi anser måste genomföras.

- Utredning av ventilationens förmåga att förhindra och begränsa brandgasspridning.
- Utrusta nödutgångar med lätt öppningsbara vred.
- Utöka antalet manuella larmknappar.
- Överväga lägre RTI-värde för sprinklerbulberna.
- Införa automatiskt stopp av rulltrappor vid utrymning.
- Översyn av lagringshöjder i butikslagren.

De föreslagna åtgärderna presenteras närmare i efterföljande underkapitel.

9.2.1 Utredning av ventilation

Då en utredning av ventilationens påverkan på personsäkerheten vid brand inte kunnat utföras så är detta en åtgärd som bör genomföras. Framst gäller detta hur brandgaser kan spridas via ventilationen från en brand i slutna utrymmen som lager eller personalutrymmen.

9.2.2 Lätt öppningsbara vred i nödutgångar

Flera utrymningsvägar slutar med låsta dörrar som måste öppnas med små smalprofilsvred. Korrekt utformning borde vara automatiska spanjoletter där båda dörrarna öppnas samtidigt när huvuddörren öppnas. För smalprofilsvreden bör ersättning ske med motsvarande ASSA 179/8563 för att ge utrymmande en möjlighet att öppna även om händerna är brännskadade.

9.2.3 Manuell aktivering av utrymningslarm

I dagsläget finns endast fem larmknappar till utrymningslarmet. Även om automatisk aktivering införs med sprinklersystemet bör fler larmknappar installeras i byggnaden. Enligt SBF (2003) rekommenderas att manuell aktivering skall kunna ske av alla personer som finns i byggnaden. Detta gäller även om automatisk aktivering finns. Larmknapparna skall då placeras så att vem som helst som befinner sig i byggnaden kan aktivera larmet. Knappar för manuell utlösning skall placeras vid alla utgångsdörrar direkt till det fria och i övrigt så att gångavståndet till en larmknapp aldrig överstiger 30 meter.

9.2.4 Lägre RTI-värde

Ett lägre RTI-värde för spinklern skulle innebära att utrymningslarmet aktiveras tidigare (under förutsättning att larmet kopplas dit), branden begränsas och att räddningstjänsten larmas tidigare. Nackdelen är den stora kostnaden att byta ut 4 000 sprinklermunstycken.

I SBF (2003) rekommenderas att då ett sprinklersystem används för automatisk aktivering av utrymningslarm skall alltid quick response (RTI < 50) användas. Att installera denna typ av sprinkler skulle uppskattningvis sänka detektionstiden med cirka 1 minut, baserat på tabellerna i kapitel 3.

I SBF 120:5 (SBF, 2001) anges att stor försiktighet skall iaktas vid blandande av olika RTI-värden inom ett och samma utrymme. Vid ombyggnad av äldre anläggningar med 8 mm bulb (RTI cirka 190) är det dock tillåtet att använda sprinkler med 5 mm bulb (RTI cirka 100).

9.2.5 Automatiskt stopp av rulltrappor

Rulltrapporna kommer att användas av en betydande andel vid en utrymning. Dessa bör därför stoppas för att öka personflödet genom att alla rulltrappor kan användas oavsett normal riktning. En automatisering av detta innebär att stopp sker tidigare då personer i det tidiga utrymningsförloppet förmodligen inte kan eller vågar manövrera rulltrapporna med nödstoppet.

9.2.6 Översyn av lagringshöjd

Som visats i kapitel 2 gäller för lagringskategori L3 en högsta lagringshöjd om 1,5 - 2 m för att inte högre krav skall ställas på vattentäthet. Nästa lagringskategori är L2 som tillåter en lagringshöjd på 2,5 - 3 m. Exakt vad som gäller för de olika butikslager som finns på Linden bör kontrolleras.

Om lagringshöjden överskrids finns risk att sprinklersystemet inte har önskad effekt på branden och att en brand kan växa sig stark i ett lagerutrymme, sprida toxiska gaser i ventilationssystemet och spridas i byggnaden.

9.3 Slutkommentar

Trots det påpekade behovet av förbättringar finns det idag flertalet positiva aspekter gällande personsäkerheten vid brand på Linden. Byggnaden har många utrymningsvägar, det är lätt att orientera sig och varuhuset är helsprinklat. För att en krissituation skall uppstå krävs en stor brand och mycket folk i byggnaden. Även om sådana situationer är ovanliga är det något som organisationen måste planera för.

Med de föreslagna åtgärderna till förbättringar förväntas Linden bli en säker verksamhet som väl kan hantera en utrymning vid brand. Detta baseras på en medvetenhet bland alla anställda som i en lärande organisation fokuserar mot ständiga förbättringar.

Beteckningar

α	tillväxthastighet (kW/s^2)
A_0	öppningens storlek (m^2)
A_T	rummets totala omslutningsarea (m^2)
B	bredd (m)
c_p	specifikt värme för omgivande luft (kJ/kgK)
D	ekvivalent diameter (m)
f	dimensionerande personflöde genom dörr (person/sm)
g	gravitationskonstant (m/s^2)
H	höjd (m)
H_0	öppningens höjd (m) = 2,40 m
h_k	effektivt värmeövergångstal (kW/m^2K)
k	konstant
$k\rho c$	termisk tröghet (W^2s/m^4K^2)
L	längd (m)
$max(\delta x, \delta y, \delta z)$	längd på längsta sidan av en kontrollvolym (m)
N	antal personer som ska passera en dörr
n	potens i effektkurva
\dot{Q}	total effektutveckling (kW, MW)
\dot{Q}_D^*	dimensionslös effektutveckling
\dot{Q}_{FO}	effektutveckling då övertändning sker (kW)
ρ_0	densitet på luft vid rumstemperatur (kg/m^3)
ρ_g	brandgasers densitet (kg/m^3)
ρ_∞	densitet på omgivande luft (kg/m^3)
R^*	dimensionslös upplösning (resolution)
RTI	Response Time Index ($m^{0.5} s^{0.5}$)
t	tid (s)
$t_{dörr}$	tid det tar att passera ut genom dörr (s)
$t_{gång}$	längsta tid det tar att gå till utrymningsväg (s)
T	tidskonstant (s)
T_0	rumstemperatur (K)
$T_b(0)$	starttemperaturen ($^{\circ}C$)
$T_b(t)$	sluttemperaturen ($^{\circ}C$)
T_s	omgivningstemperatur ($^{\circ}C$)
T_∞	omgivningstemperatur (K)
v	luft/rökhastighet (m/s)
V	aktuell gånghastighet (m/s)
W	bredd (m)
\tilde{z}	brandgaslagrets höjd (m)
\tilde{z}^*	brandens karakteristiska längd (m)

Förkortningar

BABS	Byggnadsstyrelsens anvisningar till byggnadsstadgan
BBR	Boverkets Byggregler
BTR	Brandteknisk riskvärdering
CFD	Computational Fluid Dynamics
FDS	Fire Dynamics Simulator
NFPA	National Fire Protection Association
NIST	National Institute of Standards and Technology
NR	Nybyggnadsregler
RTI	Response Time Index
RUS	Försäkringsförbundets tidigare regler
SBF	Svenska Brandförsvarsföreningen
SBN	Svensk Byggnorm

Referenser

Böcker

Brandteknik LTH (2002), *Brandskyddsbandboken*, Rapport 3117, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

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

Föreskrifter, standarder och guidelines

Arbetsmiljöverket (2000), *Arbetsplatsens utformning*, AFS 2000:42, Arbetskyddsstyrelsens föreskrifter om arbetsplatsens utformning samt allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna, Beslutade den 15 december 2000, Ändringar införda t.o.m. 2003-07-18.

Boverket (2002), *Boverkets byggregler*, BBR, BFS 1993:57 med ändringar till och med 2002:19, Boverket, Karlskrona.

NFPA (1995), *NFPA 92B - Guide for smoke management systems in malls, atria, and large areas*, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts.

SBF (2001), *SBF 120:5 - Regler för automatisk vattensprinkleranläggning*, Svenska Brandförsvärsföreningen, Stockholm.

SBF (2003), *Rekommendation Utrymningslarm 2003*, Svenska Brandförsvärsföreningen, Stockholm.

Artiklar och papers

Baum H.R., McGrattan K.B., Rehm R.G. (1997), *Three Dimensional Simulation of Fire Plume Dynamics*, Fire Safety Science - Proceedings of the Fifth International Symposium s. 511-522, Melbourne, Australia, National Institute of Standards and Technology, Maryland, USA.

Collier P. (1997), *Modelling of Fires in Large Spaces*, Build, August, 38-39.

Lougheed G.D., McCartney C., Taber B.C. (2001), *Sprinklered mercantile fires*, NRCC-44234, ASHRAE Transactions, Volume 107, pp. 730-743.

Ma T.G. & Quintiere J.G. (2003), *Numerical simulation of axi-symmetric fire plumes: accuracy and limitations*, Fire Safety Journal 38, 467-492.

Mangs J. & Keski-Rahkonen O. (1994) *Characterisation of the fire behaviour of a burning passenger car*, Fire Safety Journal 23 (1994) 37-49.

Shipp M. (2002), *Vehicle fires and fire safety in tunnels*, Centre for Fire Safety in Transport, Building Research Establishment Ltd. United Kingdom, published in the "Tunnel Management International", Vol. 5, No.3, 2002.

T&E & ETSC (2003), European Federation for Transport & Environment (T&E) / European Transport Safety Council (ETSC), *Position paper on tunnel safety requirements*, June 2003

Quintiere J.G. (1999), *Fundamentals of Enclosure Fire "Zone" Models*, Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 1, 99.

Rapporter och akademiska avhandlingar

Axelsson A., Bengtsson S., Björk A., Carlsson T. (2002), *Brandteknisk riskvärdering av Mobilia köpcentrum, Malmö*, Rapport 9194, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Davis W. D., Notarianni K. A. och McGrattan K. B. (1996), *Comparison of Fire Model Predictions with Experiments conducted in a Hanger with a 15 meter Ceiling*, NISTIR 5927, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA.

Dufflé P., Marec M. et al. (1999), *Task force for technical investigation of the 24 march 1999 fire in the Mont Blanc Vehicular Tunnel*, Report of 30 June 1999 (English translation of French report), Ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer, Frankrike.

Frantzich H. (2001), *Tid för utrymning vid brand*, Räddningsverket, Räddningstjänstavdelningen, rapport P21-365/012, Karlstad.

Jensen L. (2001), *Dimensionering av sprinklersystem*, Avdelningen för installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Joyeux D. (1997), *Natural fires in closed car parks: car fire tests*, Centre Technique Industriel de la Construction Metallique, Frankrike.

McGrattan K. B., Forney G. P., Floyd J. E., Hostikka S., Prasad K. (2002), *Fire Dynamics Simulator (Version 3) – User's Guide*, NISTIR 6784, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA.

Notarianni K & Davis W. (1993), *The use of Computer Models to Predict Temperature and Smoke movement in High Bay Spaces*, NISTIR 5304, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA.

Peacock R. D., Reneke P. A., Jones W.W., Bukowski R.W., Forney G.P (2000), *A users guide for FAST. Engineering tools for estimating fire growth and smoke transport*, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA.

Petterson N. (2002), *Assessing the Feasibility of Reducing the Grid Resolution in FDS Field Modelling*, Master Thesis, School of Engineering, University of Canterbury, Christchurch, Nya Zeeland.

SRV (1997), *Räddningstjänst i siffor 1996*, Räddningsverket, Karlstad.

SRV (1998), *Räddningstjänst i siffor 1997*, Räddningsverket, Karlstad.

SRV (1999), *Räddningstjänst i siffor 1998*, Räddningsverket, Karlstad.

SRV (2000), *Räddningstjänst i siffor 1999*, Räddningsverket, Karlstad.

SRV (2001), *Räddningstjänst i siffor 2000*, Räddningsverket, Karlstad.

SRV (2002), *Räddningstjänst i siffor 2001*, Räddningsverket, Karlstad.

SRV (2003), *Räddningstjänst i siffor 2002*, Räddningsverket, Karlstad.

Steckler K.D, Quintiere J.G, Rinkinen W.J. (1982), *Flow induced by fire in a compartment*, NBSIR 82-2520, National Bureau of Standards, Gaithersburg, Maryland, USA.

Thomas H. & Miller P. E. (1995), *Logan Valley Mall Fire, Altoona, Pennsylvania*, United States Fire Administration Technical Report Series, Report 085, Federal Emergency Management Agency.

Datorprogram

DIFT (2003), *ARGOS*, Version 4.4.10.141, Danish Institute of Fire and Security Technology, Hvidovre, Danmark.

IES (1998), *SIMULEX*, Version 11.1.3, Integrated Environmental Solutions Ltd., <http://www.ies4d.com/VESystem/VE-Evacuation/simulex/simulex.htm>

NIST (2001), *CFAST/FAST*, Version 3.1.7, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, <http://fast.nist.gov/>

NIST (2003), *Fire Dynamics Simulator (FDS)*, Version 3.1, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, <http://www.fire.nist.gov/fds/>

Stroup D.W. (1985), *DETECT-T2*, Version 1.0, National Bureau of Standards (U.S.), <http://www.bfsl.nist.gov/866/fmabbs.html#DETECTT2>

Internet

CNN (2001), *Peru shopping mall blaze kills hundreds*, December 30, 2001, © 2003 Cable News Network, <http://www.cnn.com/2001/WORLD/americas/12/30/peru.fireworks/>

Klote J. H. (2002), *Design Fires: What You Need to Know*, Transient fuels, heat-release rate, and other aspects of these often little-understood components of smoke-management-system design, HPAC Engineering, <http://www.hpac.com/member/feature/2002/0209/0209klote.htm>

Övriga källor

Gojkovic D. (2003), föreläsning om FDS, utdelat material 2003-09-11, Avdelningen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Bilagor

Bilaga I – Indata FDS, scenario B

Bilaga II - Strålningsberäkning, scenario B

Bilaga III - SBA dokumentationens innehåll

Bilaga I - Indata FDS, scenario B

```
%Brandscenario B - Brand placerad i bil
%Sprinkler aktiveras ej
&HEAD CHID='Linden',TITLE='Kopcentrum LINDEN, N = 1 060 734' /

%Grid 1 - Branden 8.0 x 4 x 4.3, N=460 800, 0,0667 x 0,0667 x 0,0672
&GRID IBAR=120,JBAR=60,KBAR=64 /
&PDIM XBARO=68.0,XBAR=76.0,YBARO=30.0,YBAR=34.0,ZBARO=-0.2,ZBAR=4.1 /

%Grid 2 - Entreed 8.0 x 32 x 4, N=97 200, 0,222 x 0,213 x 0,222
&GRID IBAR=36,JBAR=150,KBAR=18 /
&PDIM XBARO=67.0,XBAR=75.0,YBARO=0.0,YBAR=32.0,ZBARO=-0.2,ZBAR=3.8 /

%Grid 3 - Västerut 71.0 x 9.8 x 4, N=172 800, 0,263 x 0,245 x 0,25
&GRID IBAR=270,JBAR=40,KBAR=16 /
&PDIM XBARO=0.0,XBAR=71.0,YBARO=23.4,YBAR=34.0,ZBARO=-0.2,ZBAR=3.8 /

%Grid 4 - Österut 14 x 18.5 x 4.3, N=48 000, 0,280 x 0,289 x 0,287
&GRID IBAR=50,JBAR=64,KBAR=15 /
&PDIM XBARO=74.0,XBAR=88.0,YBARO=15.5,YBAR=34.0,ZBARO=-0.2,ZBAR=4.1 /

%Grid 5 - Övre plan 75 x 10.6 x 7.0, N=221 184, 0,293 x 0,294 x 0,292
&GRID IBAR=256,JBAR=36,KBAR=24 /
&PDIM XBARO=13.0,XBAR=88.0,YBARO=23.4,YBAR=34.0,ZBARO=2.0,ZBAR=9.0 /

%Grid 6 - Affärer, slasktratt 37.5 x 22.5 x 9.2, N=60 750, 0,5 x 0,5 x 0,5
&GRID IBAR=75,JBAR=45,KBAR=18 /
&PDIM XBARO=32.0,XBAR=69.5,YBARO=5.0,YBAR=27.5,ZBARO=0.0,ZBAR=9.0 /

%Simuleringstid, 15 min brand = 900 s
&TIME TWFIN=910.0 /

%Materialparamterar, från database3
&SURF ID = 'BETONG'
  FYI = 'Quintiere, Fire Behavior'
  RGB = 0.66,0.66,0.66
  ALPHA = 5.7E-7
  KS = 1.0
  DELTA = 0.2 /

&REAC ID='BIL'
  FYI='Antagna värden'
  SOOT_YIELD = 0.03
  MW_FUEL = 44
  NU_O2 = 5.
  NU_CO2 = 3.
  NU_H2O = 4.
  EPUMO2 = 13100
  X_O2_LL = 0.12
  RADIATIVE_FRACTION = 0.35

&MISC SURF_DEFAULT='BETONG', TMPA=20., TMPO=20.,
  REACTION='BIL', DTCORE=50.0, NFRAMES=910. /

%SPEGELSYMMETRI
&VENT XB=00.0, 88.0, 34.0, 34.0, -0.2, 09.0,SURF_ID='MIRROR' /

%ATMOSFÄR
&VENT XB=88.0, 88.0, 20.7, 34.0, 00.0, 03.8,SURF_ID='OPEN',VENT_COLOR='BLUE' /
&VENT XB=00.0, 00.0, 31.7, 34.0, 00.0, 03.8,SURF_ID='OPEN',VENT_COLOR='BLUE' /
&VENT XB=68.4, 76.6, 00.0, 00.0, 00.0, 03.8,SURF_ID='OPEN',VENT_COLOR='BLUE' /
&VENT XB=00.0, 27.5, 23.4, 23.4, 00.0, 03.8,SURF_ID='OPEN',VENT_COLOR='BLUE' /
&VENT XB=75.0, 75.0, 07.0, 09.8, 00.0, 02.4,SURF_ID='OPEN',VENT_COLOR='BLUE' /
&VENT XB=13.0, 30.0, 23.4, 23.4, 05.3, 09.0,SURF_ID='OPEN',VENT_COLOR='BLUE' /
&VENT XB=70.8, 77.6, 23.4, 23.4, 05.3, 07.7,SURF_ID='OPEN',VENT_COLOR='BLUE' /
&VENT XB=88.0, 88.0, 23.4, 34.0, 05.3, 09.0,SURF_ID='OPEN',VENT_COLOR='BLUE' /

%BRANDEN
%Branden utvecklas alfa-T2, när HRRPUA efter TAU_Q s
```

&SURF ID='FIRE',HRRPUA=2000.,TAU_Q=-817,RGB=1.0,0.5,0.0 /
&OBST XB= 71.0, 73.0, 33.0, 34.0, 0.0, 0.9, SURF_IDS='FIRE','INERT','INERT',/

%ATRIA - ENTREVÅNING

%Golv

&OBST XB= 00.0, 88.0, 00.0, 34.0, -0.2, 0.00, RGB=0.3,0.3,0.3 /

%Bjälklag

&OBST XB= 00.0, 30.0, 25.2, 34.0, 03.6, 05.3, RGB=0.6,0.6,0.6 /

&OBST XB= 30.0, 67.0, 00.0, 29.8, 03.6, 05.3, RGB=0.6,0.6,0.6 /

&OBST XB= 50.5, 53.9, 29.8, 34.0, 03.6, 05.3, RGB=0.6,0.6,0.6 /

&OBST XB= 67.0, 88.0, 20.7, 34.0, 03.6, 05.3, RGB=0.6,0.6,0.6 /

&OBST XB= 67.0, 88.0, 00.0, 20.7, 03.6, 05.3, BLOCK_COLOR='INVISIBLE' /

%Tak

&OBST XB= 00.0, 88.0, 00.0, 34.0, 08.8, 09.0, BLOCK_COLOR='INVISIBLE' /

%Vägg W - yttervägg

&OBST XB= 00.0, 00.2, 00.0, 31.5, 00.0, 08.8, RGB=0.4,0.4,0.4, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

%Vägg S - yttervägg

&OBST XB= 00.0, 68.2, 00.0, 00.2, 00.0, 08.8, RGB=0.4,0.4,0.4, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 73.1, 76.8, 01.8, 02.0, 00.0, 08.8, RGB=0.4,0.4,0.4, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 76.8, 88.0, 00.0, 00.2, 00.0, 08.8, RGB=0.4,0.4,0.4, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 76.6, 76.8, 00.0, 01.6, 00.0, 08.8, RGB=0.4,0.4,0.4, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

%Innerväggar - gatuplan

&OBST XB= 00.0, 11.2, 31.5, 31.7, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 05.1, 05.3, 31.5, 32.5, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 09.7, 09.9, 31.5, 32.5, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 11.2, 22.5, 29.3, 29.5, 02.4, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 19.5, 22.5, 29.3, 29.5, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 22.5, 25.0, 29.3, 29.5, 02.4, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 24.8, 25.0, 25.2, 29.5, 02.4, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 25.0, 27.5, 25.2, 25.4, 02.4, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 27.5, 34.3, 25.2, 25.4, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 34.3, 37.0, 25.2, 25.4, 02.4, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 37.0, 42.1, 25.2, 25.4, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 42.1, 43.8, 25.2, 25.4, 02.4, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 43.8, 53.3, 25.2, 25.4, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 53.3, 55.2, 25.2, 25.4, 02.4, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 55.2, 61.0, 25.2, 25.4, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 61.0, 63.2, 25.2, 25.4, 02.4, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 63.2, 68.4, 25.2, 25.4, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 29.6, 29.8, 00.0, 25.4, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 51.5, 51.7, 00.0, 25.4, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 66.2, 66.4, 22.2, 25.2, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 68.2, 68.4, 00.0, 07.0, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 68.2, 68.4, 07.0, 09.8, 02.4, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 68.2, 68.4, 09.8, 20.7, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 68.2, 68.4, 20.7, 23.0, 02.4, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 68.2, 68.4, 23.0, 25.2, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 68.2, 69.2, 01.6, 01.8, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 68.2, 69.2, 06.8, 07.0, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 73.0, 73.2, 01.6, 07.0, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 73.0, 73.2, 07.0, 09.8, 02.4, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 73.0, 73.2, 09.8, 15.4, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 73.0, 73.2, 15.4, 16.5, 02.4, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 72.0, 73.0, 01.6, 01.8, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 72.0, 73.0, 06.8, 07.0, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 73.0, 75.5, 16.5, 16.7, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 75.5, 75.7, 15.5, 16.7, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 75.5, 88.0, 15.5, 15.7, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 77.3, 88.0, 20.5, 20.7, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 87.8, 88.0, 15.5, 20.7, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

&OBST XB= 76.7, 78.0, 28.8, 30.0, 00.0, 03.8, RGB=0.8,0.8,0.8 /

%Innerväggar - övre plan

&OBST XB= 27.6, 30.0, 25.2, 25.4, 07.7, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 30.0, 34.4, 25.2, 25.4, 05.3, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 34.4, 36.4, 25.2, 25.4, 07.7, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 36.4, 43.0, 25.2, 25.4, 05.3, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 43.0, 46.6, 25.2, 25.4, 07.7, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 46.6, 62.0, 25.2, 25.4, 05.3, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 62.0, 65.0, 25.2, 25.4, 07.7, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 65.0, 70.8, 25.2, 25.4, 05.3, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, /
 &OBST XB= 70.8, 77.6, 25.2, 25.4, 07.7, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, /

&OBST XB= 14.6, 14.8, 29.4, 34.0, 05.3, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 00.0, 17.2, 29.4, 29.6, 05.3, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 17.2, 22.4, 29.4, 29.6, 07.7, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 22.4, 22.6, 23.4, 30.0, 05.3, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 22.6, 27.6, 27.6, 27.8, 05.3, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 27.4, 27.6, 23.4, 27.8, 07.7, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

&OBST XB= 39.0, 39.2, 00.0, 25.4, 05.3, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 59.0, 59.2, 00.0, 25.4, 05.3, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 77.4, 77.6, 00.0, 29.2, 05.3, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 77.6, 85.0, 29.0, 29.2, 05.3, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 84.8, 85.0, 23.4, 29.2, 07.7, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 77.6, 77.8, 23.4, 29.0, 05.3, 09.0, RGB=0.8,0.8,0.8, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

%Rulltrappor

&OBST XB= 30.0, 30.6, 33.0, 34.0, 05.2, 05.0, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 30.6, 31.2, 33.0, 34.0, 05.0, 04.8, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 31.2, 31.8, 33.0, 34.0, 04.8, 04.6, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 31.8, 32.4, 33.0, 34.0, 04.6, 04.4, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 32.4, 33.0, 33.0, 34.0, 04.4, 04.2, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 33.0, 33.6, 33.0, 34.0, 04.2, 04.0, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 33.6, 34.2, 33.0, 34.0, 04.0, 03.8, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 34.2, 34.8, 33.0, 34.0, 03.8, 03.6, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 34.8, 35.4, 33.0, 34.0, 03.6, 03.4, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 35.4, 36.0, 33.0, 34.0, 03.4, 03.2, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 36.0, 36.6, 33.0, 34.0, 03.2, 03.0, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 36.6, 37.2, 33.0, 34.0, 03.0, 02.8, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 37.2, 37.8, 33.0, 34.0, 02.8, 02.6, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 37.8, 38.4, 33.0, 34.0, 02.6, 02.4, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 38.4, 39.0, 33.0, 34.0, 02.4, 02.2, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 39.0, 39.6, 33.0, 34.0, 02.2, 02.0, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 39.6, 40.2, 33.0, 34.0, 02.0, 01.8, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 40.2, 40.8, 33.0, 34.0, 01.8, 01.6, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 40.8, 41.4, 33.0, 34.0, 01.6, 01.4, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 41.4, 41.8, 33.0, 34.0, 01.4, 01.2, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 41.8, 42.4, 33.0, 34.0, 01.2, 01.0, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 42.4, 42.8, 33.0, 34.0, 01.0, 00.8, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 42.8, 43.2, 33.0, 34.0, 00.8, 00.6, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 43.2, 43.6, 33.0, 34.0, 00.6, 00.4, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 43.6, 44.0, 33.0, 34.0, 00.4, 00.2, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /
 &OBST XB= 44.0, 44.4, 33.0, 34.0, 00.2, 00.0, RGB=1.0,0.8,0.0, BNDF_BLOCK=.FALSE. /

%UTDATA

%PLOT3D Output

&PL3D DTSAM=60, QUANTITIES='TEMPERATURE',
 'U-VELOCITY','V-VELOCITY','W-VELOCITY','HRRPUV' /

%Skalärplan

&SLCF PBX=34.0, QUANTITY='TEMPERATURE', DTSAM=2 /
 &SLCF PBX=27.5, QUANTITY='TEMPERATURE', DTSAM=2 /
 &SLCF PBX=70.5, QUANTITY='TEMPERATURE', DTSAM=2 /
 &SLCF PBX=34.0, QUANTITY='visibility', DTSAM=2 /
 &SLCF PBX=27.5, QUANTITY='visibility', DTSAM=2 /
 &SLCF PBX=70.5, QUANTITY='visibility', DTSAM=2 /

%Vektorplan

&SLCF PBX=34.0, QUANTITY='TEMPERATURE', DTSAM=10, VECTOR=.TRUE. /
 &SLCF PBX=70.5, QUANTITY='TEMPERATURE', DTSAM=10, VECTOR=.TRUE. /

&SLCF PBY=34.0, QUANTITY='VELOCITY', DTSAM=10, VECTOR=.TRUE., /

%Strålning

&BNDF QUANTITY='RADIATIVE_FLUX', DTSAM=60 /

%Massflöden

&THCP XB=30.0, 50.5, 29.8, 34.0, 3.8, 3.8, QUANTITY='MASS FLOW', DTSAM=5, LABEL='upp rulltrapp' /

&THCP XB=53.9, 67.0, 29.8, 34.0, 3.8, 3.8, QUANTITY='MASS FLOW', DTSAM=5, LABEL='upp servering' /

&THCP XB=88.0, 88.0, 20.7, 34.0, 0.0, 3.8, QUANTITY='MASS FLOW', DTSAM=5, LABEL='ahlens' /

&THCP XB=00.0, 00.0, 31.7, 34.0, 0.0, 3.8, QUANTITY='MASS FLOW', DTSAM=5, LABEL='entre drottning' /

&THCP XB=68.4, 76.6, 00.0, 00.0, 0.0, 3.8, QUANTITY='MASS FLOW', DTSAM=5, LABEL='sidoentree' /

%Vertikal temp profil över branden

&THCP XYZ=72.5, 34.0, 00.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='A 0.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=72.5, 34.0, 00.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='A 0.5', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=72.5, 34.0, 01.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='A 1.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=72.5, 34.0, 01.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='A 1.5', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=72.5, 34.0, 02.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='A 2.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=72.5, 34.0, 02.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='A 2.5', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=72.5, 34.0, 03.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='A 3.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=72.5, 34.0, 03.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='A 3.5', DTSAM=5 /

%Vertikal temp profil vid servering

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 00.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 0.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 00.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 0.5', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 01.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 1.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 01.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 1.5', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 01.96, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 1.96', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 02.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 2.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 02.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 2.5', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 03.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 3.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 03.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 3.5', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 04.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 4.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 04.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 4.5', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 05.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 5.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 05.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 5.5', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 06.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 6.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 06.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 6.5', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 07.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 7.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 07.22, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 7.22', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 07.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 7.5', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 08.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 8.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 08.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 8.5', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=66.0, 34.0, 09.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='B 9.0', DTSAM=5 /

%Vertikal temp profil vid utgång

&THCP XYZ=70.5, 20.7, 0.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='C 0.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=70.5, 20.7, 0.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='C 0.5', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=70.5, 20.7, 1.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='C 1.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=70.5, 20.7, 1.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='C 1.5', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=70.5, 20.7, 1.96, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='C 1.96', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=70.5, 20.7, 2.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='C 2.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=70.5, 20.7, 2.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='C 2.5', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=70.5, 20.7, 3.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='C 3.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=70.5, 20.7, 3.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='C 3.5', DTSAM=5 /

%Vertikal temp profil vid ählensgräns

&THCP XYZ=88.0, 34.0, 0.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='D 0.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=88.0, 34.0, 0.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='D 0.5', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=88.0, 34.0, 1.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='D 1.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=88.0, 34.0, 1.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='D 1.5', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=88.0, 34.0, 1.96, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='D 1.96', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=88.0, 34.0, 2.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='D 2.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=88.0, 34.0, 2.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='D 2.5', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=88.0, 34.0, 3.0, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='D 3.0', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=88.0, 34.0, 3.5, QUANTITY='TEMPERATURE', LABEL='D 3.5', DTSAM=5 /

%Siktbarhet

%Vertikal temp profil vid utgång

&THCP XYZ=70.5, 20.7, 0.0, QUANTITY='visibility', LABEL='C Vis 0.0', DTSAM=5 /
&THCP XYZ=70.5, 20.7, 0.5, QUANTITY='visibility', LABEL='C Vis 0.5', DTSAM=5 /
&THCP XYZ=70.5, 20.7, 1.0, QUANTITY='visibility', LABEL='C Vis 1.0', DTSAM=5 /
&THCP XYZ=70.5, 20.7, 1.5, QUANTITY='visibility', LABEL='C Vis 1.5', DTSAM=5 /
&THCP XYZ=70.5, 20.7, 1.96, QUANTITY='visibility', LABEL='C Vis 1.96', DTSAM=5 /
&THCP XYZ=70.5, 20.7, 2.0, QUANTITY='visibility', LABEL='C Vis 2.0', DTSAM=5 /
&THCP XYZ=70.5, 20.7, 2.5, QUANTITY='visibility', LABEL='C Vis 2.5', DTSAM=5 /
&THCP XYZ=70.5, 20.7, 3.0, QUANTITY='visibility', LABEL='C Vis 3.0', DTSAM=5 /
&THCP XYZ=70.5, 20.7, 3.5, QUANTITY='visibility', LABEL='C Vis 3.5', DTSAM=5 /

&THCP XYZ=70.5, 08.4, 0.0, QUANTITY='visibility', LABEL='D Vis 0.0', DTSAM=5 /
&THCP XYZ=70.5, 08.4, 0.5, QUANTITY='visibility', LABEL='D Vis 0.5', DTSAM=5 /
&THCP XYZ=70.5, 08.4, 1.0, QUANTITY='visibility', LABEL='D Vis 1.0', DTSAM=5 /
&THCP XYZ=70.5, 08.4, 1.5, QUANTITY='visibility', LABEL='D Vis 1.5', DTSAM=5 /
&THCP XYZ=70.5, 08.4, 1.96, QUANTITY='visibility', LABEL='D Vis 1.96', DTSAM=5 /
&THCP XYZ=70.5, 08.4, 2.0, QUANTITY='visibility', LABEL='D Vis 2.0', DTSAM=5 /
&THCP XYZ=70.5, 08.4, 2.5, QUANTITY='visibility', LABEL='D Vis 2.5', DTSAM=5 /
&THCP XYZ=70.5, 08.4, 3.0, QUANTITY='visibility', LABEL='D Vis 3.0', DTSAM=5 /
&THCP XYZ=70.5, 08.4, 3.5, QUANTITY='visibility', LABEL='D Vis 3.5', DTSAM=5 /

%Isosurface temperatur

&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE',VALUE(1)=40,DTSAM=10 /

Bilaga II - Strålningsberäkning, scenario B.

Scenario B: Brand i bil i entréhall.

Monte Carlo analys med @Risk

Antaganden:

Flamman kan beskrivas som en cylinder.

Flamman begränsas av takhöjden = 3,6 m.

Indata:

		Stokastisk fördelning	Vänte- värde	5% perc.	50% perc.	95% perc.	Enhet	Referens
D	Flammans diameter	RiskUniform(1,8;2,7)	2,25	1,84	2,25	2,65	m	1)
ϵ_2	Strålningsmottagarens emissivitet	RiskUniform(0,8;1,0)	0,9	0,81	0,90	0,99		4)
ϵ_f	Flammans emissivitet	RiskUniform(0,8;1,0)	0,9	0,81	0,90	0,99		2)
T_f	Flammans temperatur	RiskUniform(700;1200)	950	725	950	1175	°C	
h_f	Flamhöjd	RiskUniform(2;3,6)	2,8	2,1	2,8	3,5	m	
σ	Stefan-Boltzmanns konstant		5,67E-08				W/m ² K ⁴	2)
T_{air}	Luftens temperatur	RiskTriang(15;18;20)	18	15,9	17,7	19,3	°C	

Simuleringsinställningar:

Antal iterationer:	10 000
Samplingstyp	Latin Hypercube
Slumptalsfrö:	150

Beräkningar:

Dimensionslös effektutveckling:

$$\dot{Q}_D^* = \left(\frac{h_f/D + 1,02}{3,88} \right)^{5/2} = \begin{matrix} 0,26 & 0,16 & 0,26 & 0,42 & 5) \end{matrix}$$

Luftens densitet:

$$\rho_{air} = 353 / T_{air} = \begin{matrix} 1,21 & 1,208 & 1,214 & 1,222 \text{ kg/m}^3 & 1) \end{matrix}$$

Vattenångans partialtryck i atmosfären:

$$p_w = \begin{matrix} 2081 & 1881 & 2089 & 2261 \text{ Pa} & 2) \end{matrix}$$

Brandarea:

$$A = \pi D^2 / 4 = \begin{matrix} 4,0 & 2,67 & 3,98 & 5,54 \text{ m}^2 & 2) \end{matrix}$$

Avstånd till strålningsmottagare från flammans kant:

$$L = x - D/2 = \begin{matrix} f(\text{Avstånd}) & \text{m} & & & & \end{matrix}$$

Atmosfärisk transmissionsförmåga:

$$p_w L = \begin{matrix} f(\text{Avstånd}) & \text{kPam} & 2) \end{matrix}$$

$$\text{OM } T < 1000 \text{ K: } \alpha_w = 0,0642 \ln(p_w x) + 0,0151 = \begin{matrix} f(\text{Avstånd}) & & & & 2) \end{matrix}$$

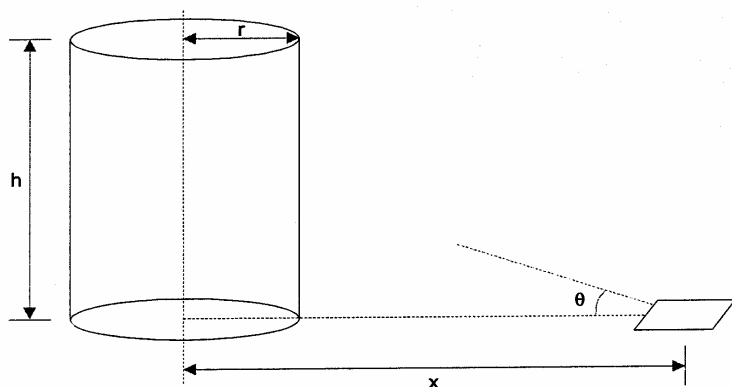
$$\text{OM } T > 1000 \text{ K: } \alpha_w = 0,0521 \ln(p_w x) + 0,0043 = \begin{matrix} f(\text{Avstånd}) & & & & 2) \end{matrix}$$

$$\tau = 1 - \alpha_w = \begin{matrix} f(\text{Avstånd}) & & & & 2) \end{matrix}$$

Utstrålad effekt:

$$P_s = \sigma (T_f + 273,15)^4 = \begin{matrix} 127 & 56,3 & 126,9 & 249,4 \text{ kW/m}^2 & 2) \end{matrix}$$

Synfaktorer:



Figur 1: Beteckningar synfaktorer

Marknivå:

$$x_r = x/r = f(\text{Avstånd})$$

$$h_r = h/r = 2,5$$

$$A = (x_r+1)^2 + h_r^2 = f(\text{Avstånd})$$

$$B = (x_r-1)^2 + h_r^2 = f(\text{Avstånd})$$

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{x_r} \tan^{-1} \left(\frac{h_r}{\sqrt{x_r^2 - 1}} \right) + \frac{h_r(A-2x_r)}{x_r \sqrt{AB}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(x_r-1)A}{(x_r+1)B}} - \frac{h_r}{x_r} \tan^{-1} \sqrt{\frac{x_r-1}{x_r+1}} \right] = f(\text{Avstånd}) \quad 2)$$

$$X' = x/h = f(\text{Avstånd})$$

$$R' = r/h = 0,40$$

$$F_h = \frac{1}{\pi} \left[\tan^{-1} \sqrt{\frac{X'+R'}{X'-R'}} - \frac{(1+X'^2 - R'^2)}{(1+X'^2 + R'^2)} \tan^{-1} \sqrt{\frac{X'-R'}{X'+R'}} \right] = f(\text{Avstånd}) \quad 4)$$

Vid halva flammhöjden:

$$x_r = x/r = f(\text{Avstånd})$$

$$h_r = h/2r = 1,2$$

$$A = (x_r+1)^2 + h_r^2 = f(\text{Avstånd})$$

$$B = (x_r-1)^2 + h_r^2 = f(\text{Avstånd})$$

$$F_v = \frac{2}{\pi} \left[\frac{1}{x_r} \tan^{-1} \left(\frac{h_r}{\sqrt{x_r^2 - 1}} \right) + \frac{h_r(A-2x_r)}{x_r \sqrt{AB}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(x_r-1)A}{(x_r+1)B}} - \frac{h_r}{x_r} \tan^{-1} \sqrt{\frac{x_r-1}{x_r+1}} \right] = f(\text{Avstånd})$$

$$X' = 2x/h = f(\text{Avstånd})$$

$$R' = 2r/h = 0,80$$

$$F_h = 2 \cdot \frac{1}{\pi} \left[\tan^{-1} \sqrt{\frac{X'+R'}{X'-R'}} - \frac{(1+X'^2 - R'^2)}{(1+X'^2 + R'^2)} \tan^{-1} \sqrt{\frac{X'-R'}{X'+R'}} \right] = f(\text{Avstånd})$$

Emittans:

$$\epsilon_{12} = 1 / (\epsilon_1^{-1} + \epsilon_2^{-1} - 1) = 0,82$$

Mottagen strålningsnivå:

Marknivå:

Horisontellt bestrålat plan ($\theta = 0$):

$$F_{12} = F_h$$

$$P_{12} = \epsilon_{12} \tau F_{12} P_s = f(\text{Avstånd}) \quad \text{kW/m}^2 \quad 2)$$

Vertikalt bestrålat plan ($\theta = \pi/2$):

$$F_{12} = F_v$$

$$P_{12} = \epsilon_{12} \tau F_{12} P_s = f(\text{Avstånd}) \quad \text{kW/m}^2 \quad 2)$$

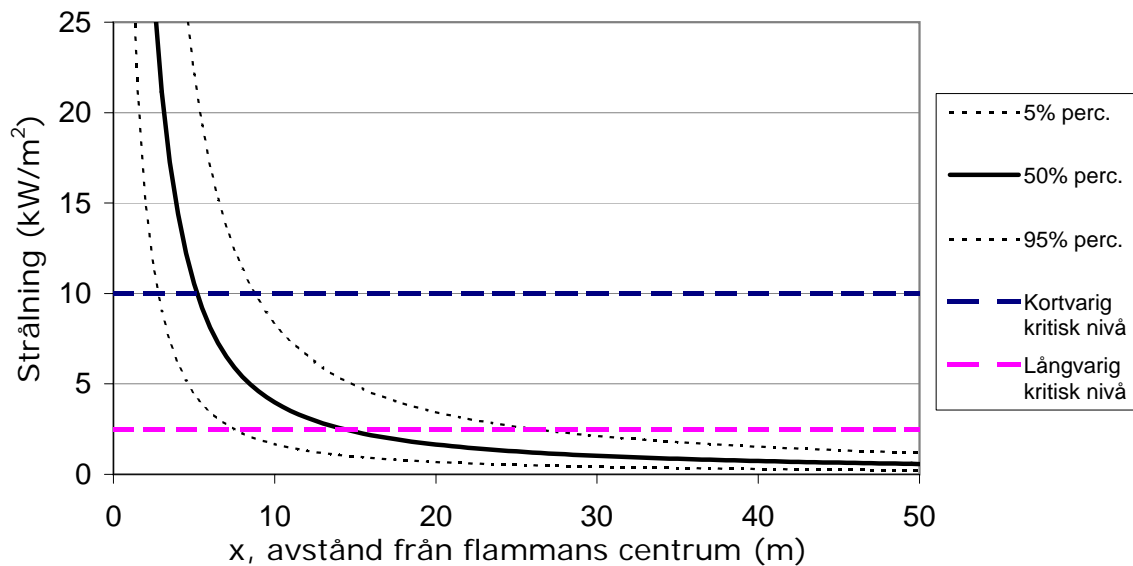
Maximal strålning:

$$F_{\max} = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} = f(\text{Avstånd}) \quad 2)$$

$$F_{12} = F_{\max}$$

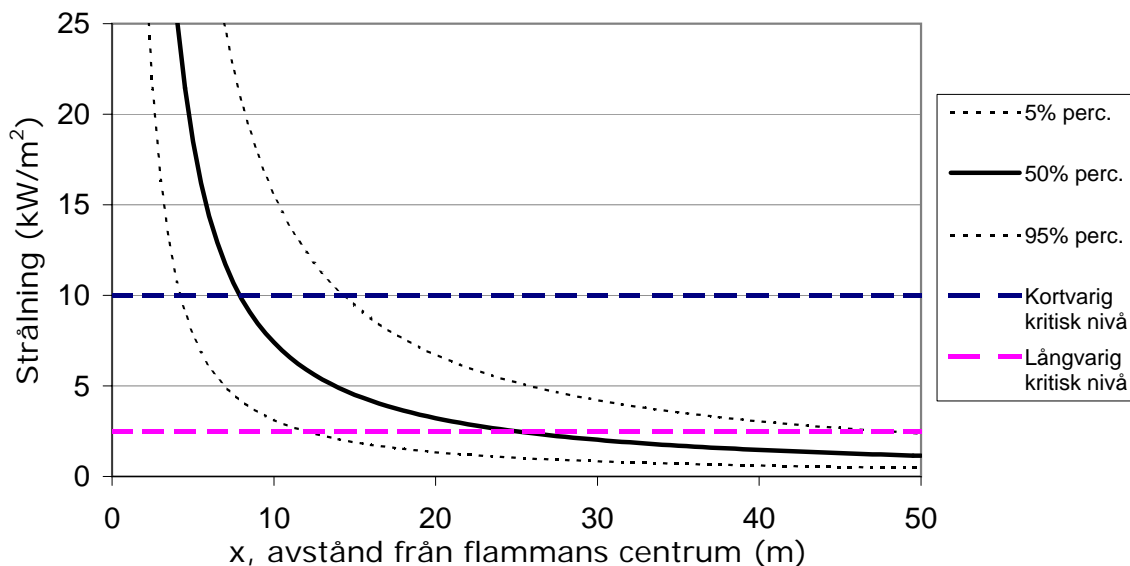
$$P_{12} = \epsilon_{12} \tau F_{12} P_s = f(\text{Avstånd}) \quad \text{kW/m}^2 \quad 2)$$

Maximal strålning, marknivå



	<u>Vänte- värde</u>	<u>5% perc.</u>	<u>50% perc.</u>	<u>95% perc.</u>	<u>Enhet</u>	<u>Referens</u>
Vid halva flamhöjden:						
Horisontellt bestrålat plan ($\theta = 0$):	$F_{12} = F_h$					
	$P_{12} = \varepsilon_{12} \tau F_{12} P_s =$		f(Avstånd)		kW/m ²	2)
Vertikalt bestrålat plan ($\theta = \pi/2$):	$F_{12} = F_v$					
	$P_{12} = \varepsilon_{12} \tau F_{12} P_s =$		f(Avstånd)		kW/m ²	2)
Maximal strålning:	$F_{\max} = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} =$		f(Avstånd)			2)
	$F_{12} = F_{\max}$					
	$P_{12} = \varepsilon_{12} \tau F_{12} P_s =$		f(Avstånd)		kW/m ²	2)

Maximal strålning, halva flamhöjden



Referenser:

1. Karlsson B. & Quintiere J. G. (2000), *Enclosure Fire Dynamics*, CRC Press.
2. Fischer et. al (1995), *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor*, FOA.
3. Drysdale D. (1985), *An Introduction to Fire Dynamics*.
4. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd Edition*.
5. Ma T.G. & Quintiere J.G. (2003), *Numerical simulation of axi-symmetric fire plumes: accuracy and limitations*, Fire Safety Journal 38, 467-492.

Bilaga III - SBA dokumentationens innehåll

Innehållet i dokumentationen styrs av behovet i det enskilda fallet, men som generell vägledning kan nedanstående punkter vara lämpliga att beskriva i en skriftlig dokumentation. Punkterna är hämtade från Räddningsverkets Allmänna Råd 2001:2.

- *Generell beskrivning av bygganden.* Beskrivningen bör visa byggnadens läge, utformning och i vissa fall ingående byggmaterial. För kulturhistoriskt värdefulla byggnader bör beskrivas dess kulturhistoriska värde samt i förekommande fall var särskilt värdefulla inventarier finns placerade.
- *Generell beskrivning av verksamheten och dess risker.* Beskrivningen bör i text eller på en viss skiss visa var olika verksamheter bedrivs i objektet för att det skall kunna vara möjligt att följa hur riskerna förändras.
- *Ansvarsfördelning för brandskyddet.* Organisation och instruktioner för ansvar, kontroller och underhåll, samt organisation och instruktioner vid brand bör redovisas.
- *Beskrivning av tekniska brandskyddsåtgärder.* Byggnaders och installationers utformning och funktion och hur de förväntas hanteras vid en eventuell brand. Förutsättningarna för att med egen personal och med hjälp av räddningstjänsten utföra en räddningsinsats i byggnaden/verksamheten.
- *Plan för utbildning och övning,* med uppgifter om vilka som ska övas/utbildas, typ av övningar/utbildning och hur ofta de ska ske.
- *Underhålls- och kontrollplan* för samtliga brandskyddsåtgärder med uppgifter om vem som är ansvarig, vilken typ av kontroll som avses och hur ofta de ska ske.
- *Genomförda kontroller av brandskyddsåtgärder.* Skriftlig dokumentation bör ske av utförd egenkontroll, extern kontroll och eventuella planer på åtgärder.
- *Genomföra utbildning och övning.* Skriftlig dokumentation bör göras över genomförd utbildning och övning.
- *Rutiner för information* till hantverkare, besökare m.fl. som kan påverka eller beröras av brandskyddet i sådan utsträckning att riktad information behövs bör anges.
- *Tillstånd* för hantering av brandfarliga eller explosiva varor och andra tillstånd som rör brandskyddet eller är beroende av brandskyddet bör komplettera dokumentationen.
- *Genomförda och planerade förändringar i organisationen,* byggnaden eller verksamheten och som påverkar brandskyddet bör framgå av dokumentationen.
- *Revision av dokumentationen.* Av dokumentationen bör framgå hur, av vem och med vilka intervaller dokumentationen utvärderas, följs upp och revideras.