



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Brandteknisk riskvärdering Stenungstorg, Stenungsund



Johan Danielsson
Ola Folkesson
Maja Svenbro
Malin Tindberg

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Rapport 9293
Lund 2006

Brandteknisk riskvärdering Stenungstorg, Stenungsund

Johan Danielsson Ola Folkesson Maja Svenbro Malin Tindberg

Lund 2006

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

Avdelningen för Brandteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet
Box 118
221 00 Lund
Telefon: 046-222 73 60
E-post: brand@brand.lth.se

Department of Fire Safety Engineering
Lund University
Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden
Telephone: +46 46 222 73 60
E-mail: brand@brand.lth.se

Rapport/Report

9293

Titel

Brandteknisk riskvärdering av Stenungstorg, Stenungsund

Title

Fire safety evaluation of Stenungstorg, Stenungsund

Av/By

Johan Danielsson
Ola Folkesson
Maja Svenbro
Malin Tindberg

Brandingenjörsprogrammet, Lunds Tekniska Högskola, 2006

The Fire Protection Engineering Programme, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, 2006

Abstract

This report is a fire safety evaluation with focus on evacuation of Stenungstorg, Stenungsund, Sweden. The object is a shopping mall combined with apartments and offices. The personal safety has been evaluated for the built-in street, and compartments connected to it, along the west side of the building. The mall was constructed in stages from 1966 and was finished in the beginning of 1990. Today the mall contains 62 shops.

The evaluated part is designed as one fire cell since the street was not originally built-in. No documentation of the existing fire protection is available.

The fire preventing systems and the evacuation organisation were studied during a visit at Stenungstorg. After discussions five possible fire scenarios were chosen. The consequences have been analysed with calculations and with computer models. The time until critical conditions occur has been compared with the time for evacuation of humans.

The main conclusion of this report is that evacuation cannot be completed with satisfaction before critical conditions occur.

Suggestions for improvement of the building's fire safety are included.

Sökord

Brandteknisk riskvärdering, CFAST, Simulex, Stenungstorg, Stenungsund, brandscenario, personsäkerhet, utrymnings säkerhet, kritiska förhållanden, brandgasspridning, brandgasfyllnad, sprinkleraktivering.

Keywords

Fire safety evaluation, CFAST, Simulex, Stenungstorg, Stenungsund, fire modeling, personal safety, evacuation, critical conditions, smoke spread, smoke filling, sprinkler activation.

Språk/Language

Svenska/Swedish

Förord

Tack till Erik Leveau, brandingenjör vid Stenungsunds Räddningstjänst, och Henrik Jönsson vid avdelningen för Brandteknik, för handledning.

Särskilt tack till Anders Österlid, fastighetsförvaltare vid Stenungs Torg Fastighets AB, som under din semester tog dig tid att närvara samt svara på frågor vid vårt studiebesök.

Även stort tack till Daniel Gojkovic och Daniel Nilsson vid avdelningen för Brandteknik för ert stöd med ingenjörsmässiga resonemang. Ni ställer alltid upp!

Tack till Robert Iosif för din tålmodiga hjälp med rapportens grafik.

Sammanfattning

Rapporten är en brandteknisk riskvärdering av köpcentret Stenungstorg i Stenungsund. Personsäkerheten vid brand har utvärderats för den glasgata som sträcker sig i nord-sydlig riktning genom centrets västra del, samt för de butiker och bostäder som är i direkt förbindelse till denna.

Stenungstorg är ett köpcentrum kombinerat med bostäder och kontor. Centret har uppförts i etapper sedan 1966 fram till 1990-talet och rymmer idag 62 butiker.

Den utvärderade delen av centret är konstruerad som en enda brandcell. Glasgatan var från början inte inbyggd varför bostädernas fasader i anslutning till denna inte uppförts i brandtekniskt avskiljande klass. Ingen brandskyddsdokumentation finns upprättad.

I början av kursen genomfördes ett studiebesök på objektet. Det nuvarande brandskyddet samt objektets utrymningsmöjligheter studerades. Olika brandscenarier har diskuterats och i samråd med handledare har fem stycken valts ut att utvärderas djupare. Med hjälp av handberäkningar, datorsimuleringar samt genom ett kvalitativt resonemang har konsekvenserna av en eventuell brand analyserats. Tiden till kritiska förhållanden har sedan jämförts med tiden för utrymning av objektet.

Analysen visar att säker utrymning av glasgatan med angränsande lokaler inte kan genomföras innan kritiska förhållanden uppstår.

Förslag på åtgärder som *skall* genomföras för att förbättra personsäkerheten presenteras enligt nedan.

- Mekanisk brandgasventilation *skall* installeras i glasgatan.
- Ett gemensamt utrymningslarm som hörs i samtliga utrymmen *skall* installeras.
- En organisation för rutiner, utbildning och övningar *skall* införas.
- Sprinkler *skall* installeras i alla lokaler.
- En fullständig teknisk översyn av brandlarmet *skall* utföras.
- Ett utrymningslarm med informativt talat meddelande *skall* installeras.

Om åtgärderna ovan genomförs kommer glasgatan, med angränsande butiker, att bli säker ur utrymningssynpunkt.

Innehåll

1	Inledning	13
1.1	Syfte	13
1.2	Metod.....	13
1.3	Avgränsningar.....	14
1.4	Definitioner.....	14
2	Objektbeskrivning.....	15
2.1	Historik.....	15
2.2	Byggnaden.....	16
2.3	Befintligt brandskydd	17
2.3.1	Brandcellsindelning	18
2.3.2	Sprinklersystem.....	18
2.3.3	Automatiskt brand- och utrymningslarm.....	18
2.3.4	Brandgasventilation.....	19
2.3.5	Manuell släckutrustning.....	19
2.3.6	Utrymningsrutiner.....	19
2.3.7	Räddningstjänstens insats.....	20
2.3.8	Tillbudshistorik	20
2.3.9	Utrymningsvägar	20
2.4	Ventilationssystem	21
3	Brandscenarier	22
3.1	Brandförloppet	24
3.2	Statistik	26
3.3	Större klädbutik med och utan sprinkler	27
3.3.1	Beskrivning.....	27
3.3.2	Effektutveckling utan sprinkler	29
3.3.3	Effektutveckling med sprinkler	30
3.4	Leksaksbutik	31
3.4.1	Beskrivning.....	31
3.4.2	Effektutveckling	32
3.5	Väskbutik	33
3.5.1	Beskrivning.....	33
3.5.2	Effektutveckling	34
3.6	Bostad.....	34
3.6.1	Beskrivning.....	35
3.6.2	Effektutveckling	35
3.7	Ej valda scenarier	36
3.7.1	Restaurang	36
3.7.2	Glasgatan	38
3.7.3	Övriga butiker.....	38
4	Brandförlopp	39
4.1	Kritiska förhållanden.....	39
4.2	CFAST.....	39
4.3	Simuleringar av scenarier	40
4.4	Ventilationssystemets inverkan på brandförloppet.....	41
4.5	Känslighetsanalys av brandförlopp	41

5	Brandgasspridning till och i glasgatan.....	42
5.1	Brandgasventilation i glasgatan.....	44
5.2	Känslighetsanalys av brandgasspridning.....	45
6	Utrymning.....	47
6.1	SIMULEX.....	48
6.2	Simulering av utrymning från butiker och glasgata.....	48
6.3	Simulering av utrymning av bostäder.....	49
6.4	Känslighetsanalys av utrymning.....	50
7	Resultat och slutsats.....	52
8	Förslag till åtgärder.....	53
8.1	Brandgasventilation med mekanisk frånluft.....	53
8.2	Gemensamt utrymningslarm.....	53
8.3	Utbildning och rutiner.....	53
8.4	Sprinkler i alla utrymmen.....	54
8.5	Minskning av antalet onödiga larm.....	54
8.6	Utrymningslarm med talat meddelande.....	54
9	Referenser.....	55
Bilaga 1	Beteckningar	
Bilaga 2	Brandgasspridning till glasgatan	
Bilaga 3	CFAST	
Bilaga 4	SIMULEX	

1 Inledning

Denna rapport utgör huvuddelen i kursen VBR054 Brandteknisk riskvärdering, 10 poäng, som ges vid Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.

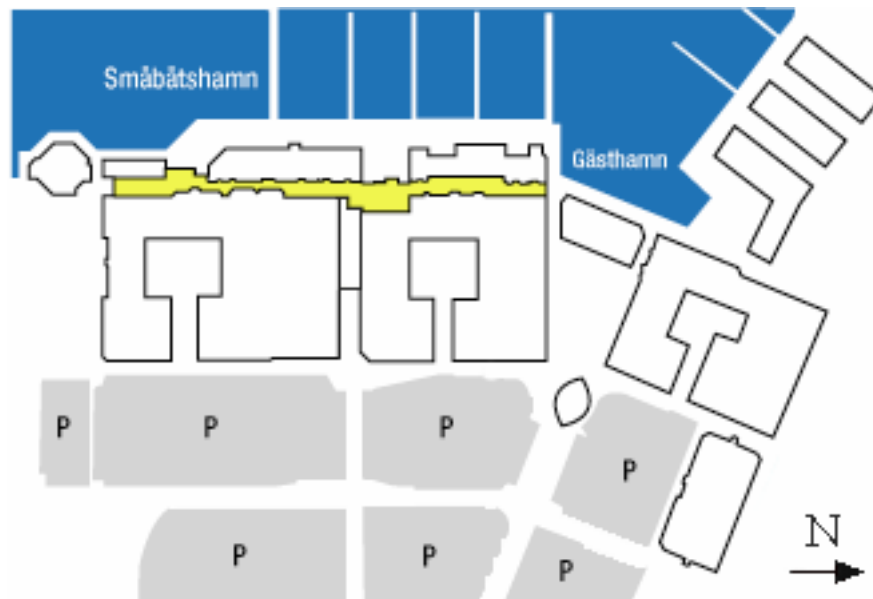
1.1 Syfte

Det huvudsakliga syftet är att tillämpa och befästa kunskaper såsom brandteknisk utformning av byggnader, beräkning av brandbelastning och brandgasspridning, brandgasmodellering, brands verkan på människor, människors beteende vid utrymning, utrymningsmodellering och rapportskrivning.

Rapporten avser köpcentret Stenungstorg i Stenungsund, och är en värdering av befintlig säkerhetsnivå med förslag till beslut om eventuella förändringar hos detta objekt.

1.2 Metod

I ett tidigt skede av kursen genomfördes ett studiebesök på objektet. Det befintliga brandskyddet samt objektets utrymningsmöjligheter studerades. Sannolika brandscenarier har diskuterats och i samråd med handledare, dels från avdelningen för Brandteknik, dels från Stenungsunds Räddningstjänst, har fem lämpliga scenarier valts ut för att analyseras djupare. Konsekvenserna av dessa scenarier har sedan utvärderats med hjälp av handberäkningsmetoder, simuleringar och kvalitativt resonemang. Tiden till kritiska förhållanden har sedan jämförts med tiden för utrymning. Förslag på åtgärder som förbättrar personsäkerheten har slutligen utarbetats.



Figur 1.1 Stenungstorg, där glasgatan är gråmarkerad (Stenungstorg).

1.3 Avgränsningar

Rapporten behandlar möjligheterna till utrymning av den glasgata som sträcker sig i nord-sydlig riktning genom västra delen av köpcentret, samt butiker och bostäder i direkt anslutning till denna, se Figur 1.1. Undantag är COOPs butikslokaler som även innefattar Janssons café, se Figur 2.3. Förbindelsen med COOP via östra entrén kommer i utrymningssimuleringar enbart att fungera som utrymningsväg ut ur glasgatan. Avgränsningen antas vara rimlig då utrymning från COOPs lokaler, vid en eventuell brand i glasgatan, i huvudsak förväntas ske via huvudentrén i köpcentrets östra del.

Brand- och brandgasspridning mellan butiker, mellan bostäder eller mellan butiker och bostäder kommer ej att utredas. Detta antas inte ha avgörande betydelse för tiden till kritiska förhållanden.

Rapporten omfattar ej undersökning av brandgasernas toxicitet.

1.4 Definitioner

Beteckningar definieras i bilaga 1.

2 Objektbeskrivning

Stenungstorg, som ligger i hjärtat av Stenungsund, är ett köpcentrum kombinerat med kontor och lägenheter. Centrets öppettider är vardagar 10-19, lördagar 10-15 och söndagar 11-15, men ett antal butiker har något längre öppettider. Glasgatan, som är det huvudsakliga objektet, öppnas och låses dagligen av väktare klockan 06 och 21.

2.1 Historik

Stenungsunds kommun, ”Porten till Bohuslän”, är en hamnkommun med industriellt näringsliv, Figur 2.1. Befolkningen, som numera är omkring 23 000 invånare, har mer än tredubblats sedan 50- och 60-talet. Då etablerades nämligen de stora petrokemiska industrierna i staden, med Vattenfalls kraftverk i spetsen. Andra företag som har etablerat sig i kommunen är AGA, Akzo Nobel, Hydro Polymers, Borealis och Perstorp Oxo.



Figur 2.1 Stenungsund med dess petrokemiska industrier.

1966 byggdes det första komplexet i köpcentret som idag inhyser COOP. Med åren har utbyggnad skett i omgångar och de norra delarna av centret byggdes 1970. De resterande södra delarna inklusive glastak kom till 1984 och norra delens glastak byggdes 1988. I början av 90-talet sammanlänkades de två med ett överbyggt torg med entré till COOP. Idag inhyser köpcentret 62 butiker.

Eftersom köpcentret byggdes innan 1994, då lagen om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk, BVL (BBR 2:51 och 5:12), trädde i kraft, finns ingen brandskyddsdocumentation upprättad.

Köpcentret Stenungstorg ägs av Stenungs Torg Fastighets AB, KF Fastighets AB och Strandtorget AB. Stenungs Torg Fastighets AB tillhörde tidigare det kommunala fastighetsbolaget Stenungsundshem AB men ägs sedan den 1 september 2006 av det finska bolaget Citycon.

En vanlig vardag har hela köpcentret ungefär 7 000 besökare, de flesta vid lunchtid. En söndag besöker ungefär 4 000 personer centret och en sommardag upp mot 20 000 personer (Österlid, 2006).

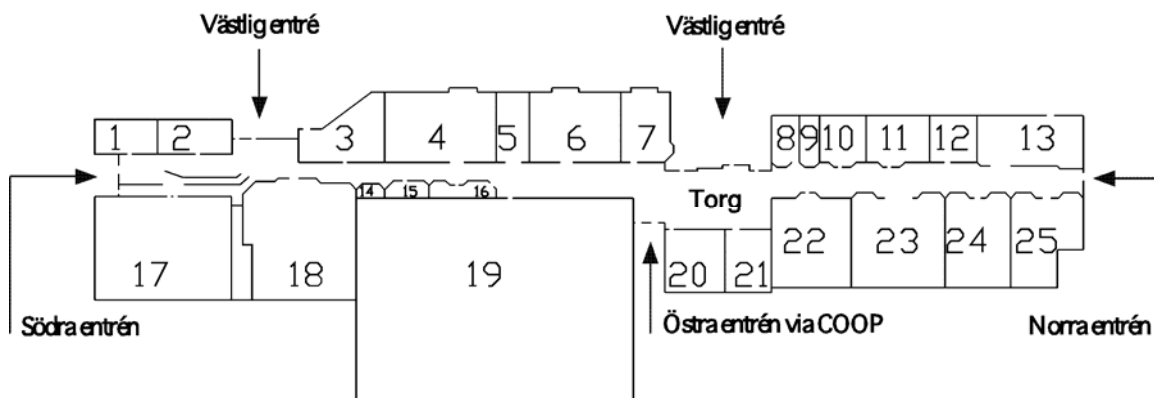
2.2 Byggnaden

Glasgatan har ett lutande glastak enligt Figur 2.2, med höjden 8 respektive 3,5 meter. Gatan är cirka 190 meter lång och bredden är i genomsnitt 7 meter. Samtliga mått har baserats på tillgängligt ritningsmaterial med kompletterande mätningar på plats i vissa fall.

Byggmaterialen är huvudsakligen i tak glas och stål, väggar av glas, gips, tegel, trä eller skivmaterial.



Figur 2.2 Glasgatan med vy från torget mot söder.



Figur 2.3 Översiktsbild av butiker i anslutning till glasgatan.

Butiker i anslutning till glasgatan med numrering enligt Figur 2.3:

- | | |
|----------------------------|------------------------|
| 1. Väskbojen | 14. Städförråd |
| 2. Guldfynd | 15. SmakSak |
| 3. Salt & Italy Restaurang | 16. Lilla boden |
| 4. JC | 17. Apotek |
| 5. EB Games | 18. KappAhl |
| 6. MQ | 19. COOP |
| 7. Tolvan | 20. Janssons Café |
| 8. Synsam | 21. Snyggt helt enkelt |
| 9. Elcentral | 22. Brio |
| 10. Centrumfrisören | 23. Wedins |
| 11. Puck | 24. Duka |
| 12. Polaren & Pyret | 25. Walk on Shoes |
| 13. Eat Café & Restaurang | |

Ovanpå butikerna med numrering 3-13 finns 14 stycken mindre lägenheter som antas ha 1-2 boende i varje. Lägenheterna nås via en loftgång i glasgatan, och samtliga har västlig balkong.

2.3 Befintligt brandskydd

Kommunikationen mellan fastighetsägare och butiksinnehavare säges vara god. Brandskyddsutbildning i butikerna är upp till var och en, men Österlid (2006) menar att de stora kedjorna brukar ha bra rutiner. I samband med att lagen om skydd mot olyckor trädde i kraft informerades alla butiksinnehavarna om detta samt tipsades om var de kunde vända sig för hjälp med kontroll och ändringar. Räddningstjänsten har begärt in redogörelser enligt lagen om skydd mot olyckor, men enbart 1/3 av butikerna har skickat in dokumentation (Leveau, 2006).

Enligt Österlid (2006) har de flesta butiker på något vis sin belysning eller sina kassor kopplade till dörrlås i utrymningsvägar för att säkerställa att dörrarna inte är låsta då personer vistas i lokalen.

2.3.1 Brandcellsindelning

Den undersökta delen av köpcentret är konstruerad som en enda brandcell. Att lägenheterna inte är brandcellstekniskt skilda från glasgatan beror på att gatan ursprungligen inte var överbyggd. Enligt tillgängligt ritningsunderlag är dock bjälklaget mellan butikerna och lägenheterna i den västra delen avskilt i klass B60 och fläktrummen ovanpå lägenheterna är avskilda från köpcentret i brandcellsclass A30.

2.3.2 Sprinklersystem

Hela gatan samt ungefär hälften av butikerna är sprinklade, se Tabell 3.1. Sprinklern aktiverar brand- och utrymningslarmet. Varje sprinklerhuvud täcker max 12 m² och har ett RTI-värde på 80-100 (ms)^{1/2}. Aktiveringstemperaturen är 68°C. I glasgatan är torrörsystem installerat och fyllningstiden för detta är enligt tidigare genomförda test 30-40 sekunder (Leveau, 2006). I södra och norra delen av gatan finns det två respektive tre sprinklerhuvud i bredd placerade enligt Figur 2.4. Dessutom finns sprinkler under loftgången.



Figur 2.4 Sprinklerhuvuds placering i gatans södra respektive norra del markeras med ring.

2.3.3 Automatiskt brand- och utrymningslarm

I dagsläget sker detektion i centret främst med rökdetektorer, men även med värmedetektorer i t.ex. restaurangerna.

Centret har två automatiska brand- och utrymningslarm, ett för den södra delen av gatan och ett för den norra. Larmdonen i den södra delen av glasgatan och butikerna i anknäring till denna utgörs av elektroniska sirener. I norra delen består larmdonen av ringklockor, med

otydlig signal i själva glasgatan. Butiksanställda uppger att utrymningslarmet hörs tydligt i samtliga butiker, dock ej i källarutrymmen.

Kontroll av larm sker dels vid månadskontroller, då delar av larmet testas, och dels vid en årlig brandlarmsrevision.

2.3.4 Brandgasventilation

Någon särskilt avsedd brandventilation finns egentligen inte i glasgatan eller butikerna. Längst upp i glasgatans tak finns dock öppningsbara takfönster vilka troligen är dimensionerade för ventilation av gatan vid varm väderlek, se Figur 2.5.

Ovanför entrédörrarna i norr, söder och väster (vid torget) finns tilluftsluckor. Takfönster och tilluftsluckor öppnas gruppvis i hela norra respektive södra delen med hjälp av elmotorer. Räddningstjänsten kan styra öppningen manuellt från manöverskåp innanför norra respektive södra entrén. Något reservsystem för öppning vid strömavbrott finns ej. Luckornas funktion testas vid den årliga brandlarmsrevisionen.



Figur 2.5 Manuellt öppningsbara luckor med manöverskåp.

2.3.5 Manuell släckutrustning

Varje butik är utrustad med handbrandsläckare och/eller inomhusbrandpost.

2.3.6 Utrymningsrutiner

Vid studiebesök på objektet genomfördes intervjuer med slumpmässigt utvalda butiksanställda. Frågor som besvarades var:

- Vilken typ av utbildning har Ni som arbetar i butiken fått inför en brandsituation och utrymning?
- Hur ofta repeteras rutinerna?
- Vet Du hur en brandsläckare fungerar?

- Vet Du hur brandlarmet låter?
- Känner Du dig förberedd inför en larmsituation?
- Genomfördes utrymning av butiken vid senaste brandlarmet?

Sammanställning av svaren visar att organisationen kring brandsläckning och utrymning är obefintlig i majoriteten av butikerna. Endast Apoteket utrymde vid det senaste brandlarmet. Slutsatsen från intervjuerna är att personalen ej kommer att påverka brandförlopp eller utrymning. Vidare framkom att personer i Apotekets källare inte kunnat höra larmsignalen och därför ej utrymt vid tidigare brandlarm.

2.3.7 Räddningstjänstens insats

Stenungsunds kommun har en egen räddningstjänst (deltid). Dagtidspersonalen består av nio personer där tre är heltidsanställda brandingenjörer till följd av kommunens industritäthet. Den totala utryckningsstyrkan utgörs av 17 personer varav en person i räddningschefsberedskap. Räddningschefsberedskapen består i tre av fyra veckor av en brandingenjör och i en av fyra veckor av en brandmästare. Räddningstjänsten uppger en insatstid om minst 10 minuter till köpcentret. (Leveau, 2006)

2.3.8 Tillbudshistorik

Österlid (2006) uppger att inga brandtillbud har inträffat i glasgatan. Köpcentret har som helhet haft ungefär tio larm per år, men har under det senaste året arbetat för att få ner falsklarmsfrekvensen genom att till exempel byta till värmedetektorer i restaurangutrymmena.

2.3.9 Utrymningsvägar

Köpcentret har tre stora huvudingångar; en i söder, en i norr och en genom COOP i öster. Utöver dessa finns ytterligare ingångar längs västra delen, se Figur 2.3 samt Figur 2.6. I stort sett alla butiker har en utrymningsväg som inte går via glasgatan. Dessa är dock ofta placerade längst in i butikerna, bakom kassadiskar eller via lagerlokal, och kan vara svåra att identifiera för en besökare. Boende i bostäderna utrymmer via loftgången i glasgatan eller via balkongerna med räddningstjänstens hjälp.



Figur 2.6 Utrymningsvägar. Från vänster; den södra, de båda västliga samt den norra.

2.4 Ventilationssystem

I butiker sker ventilation med mekanisk från- och tilluft. Vid normal drift är tilluftsflödet något större än frånluftsflödet vilket skapar ett mindre övertryck mot glasgatan. En del av frånluften från butikerna återvinns som tilluft till glasgatan. Vid aktivering av rökdetektorer i ventilationskanalerna till glasgatan stoppas fläktarna och spjäll stängs i ventilationskanaler mellan butiker och glasgata. Vid aktivering av rökdetektorer i byggnadens brandlarmsystem stoppas fläktarna (Leveau, 2006). Bostäderna ventileras separat med mekanisk frånluft och tilluft via uteluftsdon i fasad.

3 Brandscenarier

Urvalet av brandscenario har skett med fokus på utrymningssäkerhet för två målgrupper; köpcentrets besökare med utrymning via glasgatan och boende med utrymning via loftgången i glasgatan. Brandgasspridning i glasgatan behandlas som grundläggande säkerhetsrisk.

Val av specifikt scenario har skett genom värdering av sannolikhet för, och konsekvenser av, ett brandtillbud för respektive verksamhet i anslutning till glasgatan. Effekten som respektive scenario förväntas ha på förhållandena i glasgatan har genomgående beaktats.

Följande punkter har utvärderats för samtliga lokaler i anslutning till glasgatan.

Tillvägagångssätt vid val av scenarier (Nystedt, 2006):

1. Typ av brand
2. Startutrymme
3. Särskilda brandrisker
4. System som påverkar branden
5. Mänskligt agerande
6. Händelsesträd
7. Uppskattning av sannolikheter (låg, medel, hög)
8. Uppskattning av konsekvenser (låg, medel, hög)
9. Rangordning och val

Relevanta uppgifter från urvalsprocessen redovisas i Tabell 3.1. Övriga uppgifter behandlas till viss del under respektive scenariorubrik. Mänskligt agerande utvärderas utifrån uppgifter från intervju med butikspersonal och de butiker som uppgett att fastställda utrymningsrutiner finns har noterats.

Butiker i samma storleksklass, med liknande brandbelastning och med i princip samma avstånd till utrymningsväg har likställts.

Tabell 3.1 Klassificering av lokalerna.

Lokal	Brand-belastning	Brandlarm	Sprinkler	Fastställda utrymningsrutiner	Sannolikhet	Konsekvens	Konsekvens, vid sprinkleraktivering
JC	Hög	x	x		Låg	Hög	Låg - medel
MQ	Hög	x	x		Låg	Hög	Låg - medel
KappAhl	Hög	x	x		Låg	Hög	Låg - medel
Wedins	Medel	x	x		Låg	Hög	Låg - medel
Brio	Hög	x			Låg	Hög	
Väskbojen	Hög	x			Låg	Hög	
Bostad	Hög				Hög	Hög	
Salt & Italy	Medel	x	x		Hög	Medel	Låg
Glasgata	Låg	x	x		Medel	Medel	Låg
Puck	Medel	x			Låg	Medel	
Polarn och Pyret	Hög	x			Låg	Hög	
Walk on Shoes	Medel	x			Låg	Hög	
Snyggt helt enkelt	Medel	x			Låg	Medel	
Tolvan	Medel	x	x	x	Låg	Medel	Låg
Guldfynd	Låg	x			Låg	Låg	
Centrumfrisören	Låg	x			Låg	Låg	
Duka	Låg	x		x	Låg	Medel	
Synsam	Låg	x			Låg	Låg	
Apoteket	Medel	x		x	Låg	Låg - medel	
Eat Café & Restaurang	Låg	x			Låg	Låg	
SmakSak	Låg	x			Låg	Låg	
Lilla boden	Hög	x			Låg	Medel	
EB Games	Medel	x	x		Låg	Medel	Låg

3.1 Brandförloppet

Ett brandförlopp följer alltid ett visst mönster som kännetecknas av olika faser. Först sker antändning av ett bränsle. Beroende på materialet tar det en viss tid innan branden börjar tillta och denna tid brukar kallas förbrinntid. I denna rapport kommer förbrinntiden att bortses ifrån. Detta kommer att bidra till ett snabbare brandförlopp, men då det kan vara lämpligt att studera värsta troliga utfall antas denna försumning vara godtagbar.

Om branden inte släcks så tillväxer den fram till dess att bränslet nått sin maximala effektutveckling eller tills ventilationskontroll uppnås. Förbränningen fortsätter därefter i den mån det finns bränsle och tillgängligt syre, och effektutveckling kan i princip beskrivas som konstant. Vid en verklig brand kan spridning till närliggande objekt ske, vilket kommer att gynna tillväxten samt öka den maximala effektutvecklingen. Den mest sanningsenliga beskrivningen av ett brandförlopp är att det består av många samverkande växande, konstanta samt avtagande delar.

Effektutvecklingen styrs bland annat av bränsle- och ventilationsförhållandena. Vid ventilationskontrollerad brand erhålles maximal effektutveckling då massflödet av luft, \dot{m}_a , genom brandrummets öppningar antas vara (Karlsson & Quintiere, 2000):

$$(1) \quad \dot{m}_a = \frac{1}{2} \cdot A_o \sqrt{H_o}$$

Den energi som frigörs då en gas, vätska eller ett fast ämne brinner i syre är relativt konstant och ca 13,1 MJ/kg syre. Luften innehåller ungefär 23 mass% syre vilket ger en effekt om:

$$(2) \quad \dot{Q} \approx \frac{3}{2} \cdot 10^3 \cdot A_o \sqrt{H_o}$$

Då effektutvecklingen från bränslet når denna effekt kommer branden att bli ventilationskontrollerad. När fönstren går sönder kommer mer luft att kunna flöda in och bidra till ökad effektutveckling.

Vid beräkningar kommer brandens tillväxt samt maximala effektutveckling att specificeras. Dessa har uppskattats och beräknats utifrån vetskapen av vilka material som normalt brukar finnas i lokalen. För de brännbara materialen utnyttjas redan uppmätta förbränningsegenskaper.

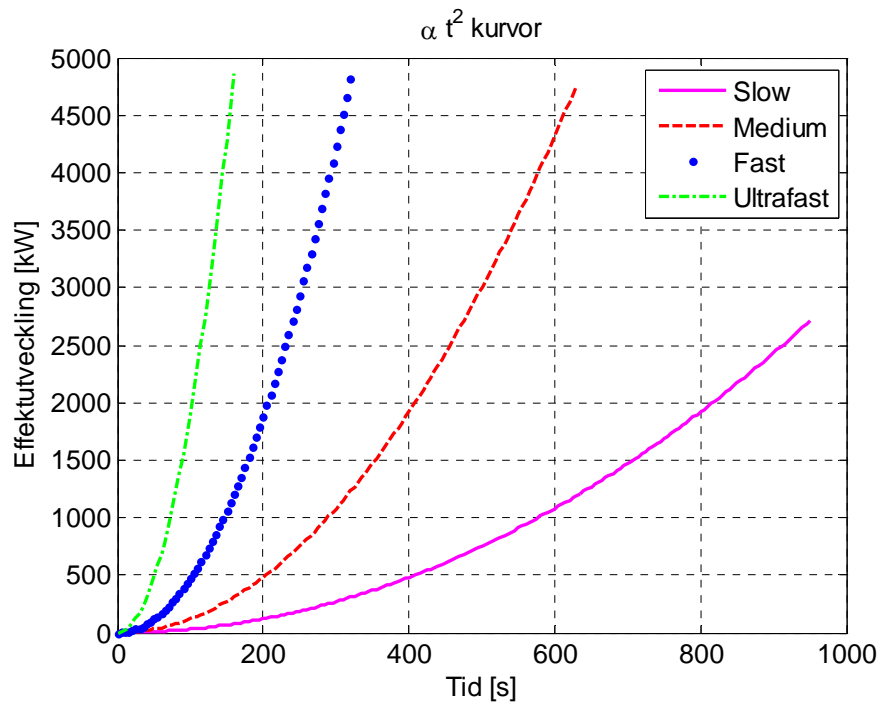
Brandens tillväxt är nästan alltid accelererande, vilket kan förenklas med att effektutvecklingen ökar proportionellt mot tiden i kvadrat. Detta är en grov förenkling av verkligheten men kan om den används korrekt ge en bild av hur effekten utvecklas. Genom att multiplicera med en faktor α kan olika tillväxthastigheter simuleras och effektutvecklingen kan skrivas som (Karlsson & Quintiere, 2000):

$$(3) \quad \dot{Q} = \alpha t^2$$

Fyra typiska α -värden har utifrån experiment tagits fram enligt Tabell 3.2. Tillväxten för dessa fyra värdena har visualiserats i Figur 3.1 som funktion av tiden.

Tabell 3.2 Brandtillväxt enligt Karlsson & Quintiere (2000).

Tillväxthastighet	α [kW/s ²]
Ultra fast	0,19
Fast	0,047
Medium	0,012
Slow	0,003



Figur 3.1 De olika kategorierna av αt^2 -kurvor

För att kunna uppskatta mängden brännbart material i respektive brandutrymme integreras (3) över den tid branden pågått vilket ger den frigjorda energimängden:

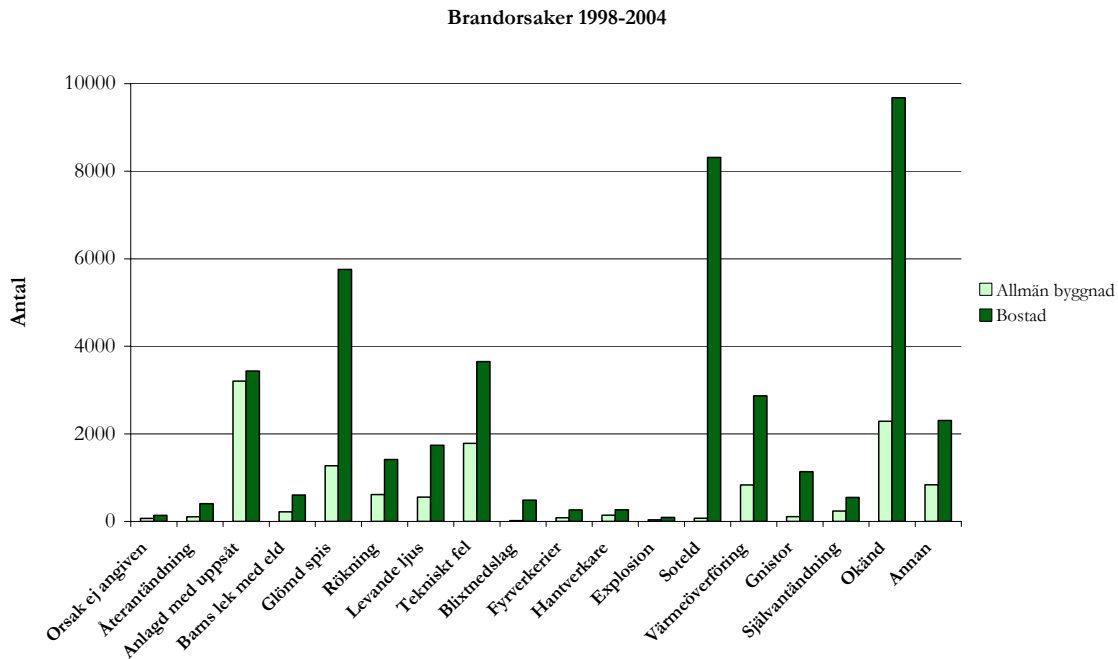
$$(4) \quad Q = \int_0^t \alpha \cdot t^2 dt = \frac{\alpha \cdot t^3}{3}$$

Massan bränsle som krävs för denna energimängd kan beräknas genom kombination av (4) och:

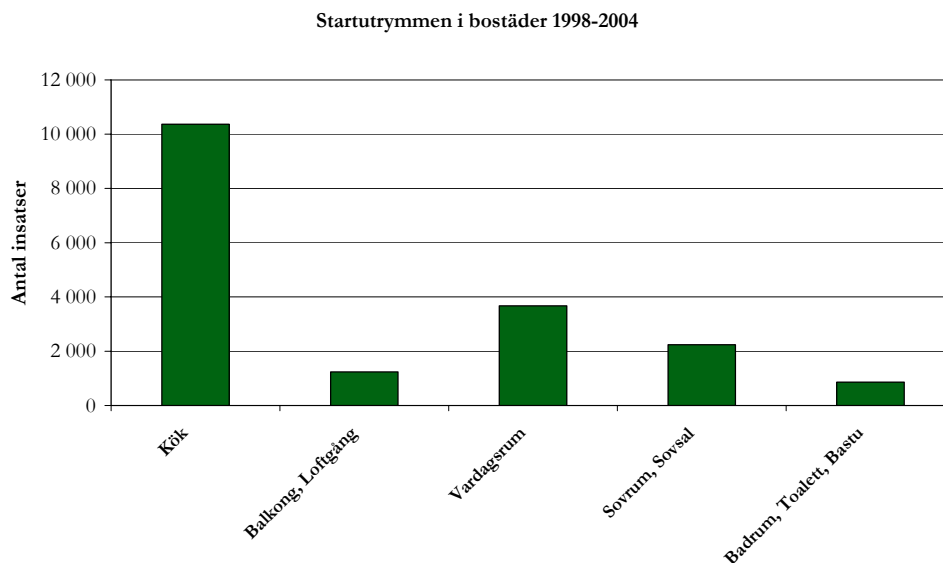
$$(5) \quad Q = m_f \cdot \chi \cdot \Delta H_c$$

3.2 Statistik

Vid val av brandscenarier bör sannolikhet och konsekvens utvärderas. Enligt statistik har under åren 1998 till 2004, antalet insatser i flerbostadshus varit 20 511, i handel 1 606 och i försäljningslokaler 41. Brandorsaker i allmänna byggnader och bostäder under samma period redovisas i Figur 3.2. Startutrymmen i bostäder redovisas i Figur 3.3 (Räddningsverket, 2005b).



Figur 3.2 Räddningsledarens preliminärbedömning av brandorsaker, en jämförelse mellan allmänna byggnader och bostäder 1998-2004 (Räddningsverket, 2005b).



Figur 3.3 Startutrymmen i bostäder 1998-2004 (Räddningsverket, 2005b).

Under 2004 omkom 66 personer i samband med bränder (Räddningsverket, 2004). Den kategori av befolkningen som förekommer i flest dödsbränder i Sverige är medelålders män (Räddningsverket, 2005a). Om hänsyn tas till hur många personer som finns i olika åldersgrupper ökar antalet omkomna starkt med stigande ålder. Det har visat sig vid närmare studier att sjukdom, förvirring och handikapp är avgörande faktorer (Räddningsverket, 2005a).

3.3 Större klädbutik med och utan sprinkler

Till klädbutik räknas även skobutiker. Butiker tillhörande denna kategori är JC, Wedins, KappAhl och MQ.

3.3.1 Beskrivning

Den mest sannolika branden i någon av butikerna uppskattas vara anlagd brand eller brand på grund av elektriskt fel. De utrymmen som branden kan uppstå i är butiksdel eller lager. Brandbelastningen antas vara hög då stora mängder textil- och plastmaterial förvaras i respektive butik och butikernas areor är stora i förhållande till andra butikslokaler i objektet. Butikernas placering i objektet är i princip samma vid jämförelse av avstånd till utrymningsvägar ut i det fria. Befintliga system i lokalerna som antas påverka scenariot är brandlarm och sprinklers.

Butikerna har hög omsättning av personal. JC och Wedins har i nuläget dessutom personal med förhållandevis låg medelålder och som därmed sannolikt ej har tidigare arbetslivserfarenhet. Organisationen inför en brandsituation är i samtliga butiker i princip obefintlig, och det är mycket tveksamt om personalen klarar av att hantera en brand annat än i mycket tidigt skede i förloppet.

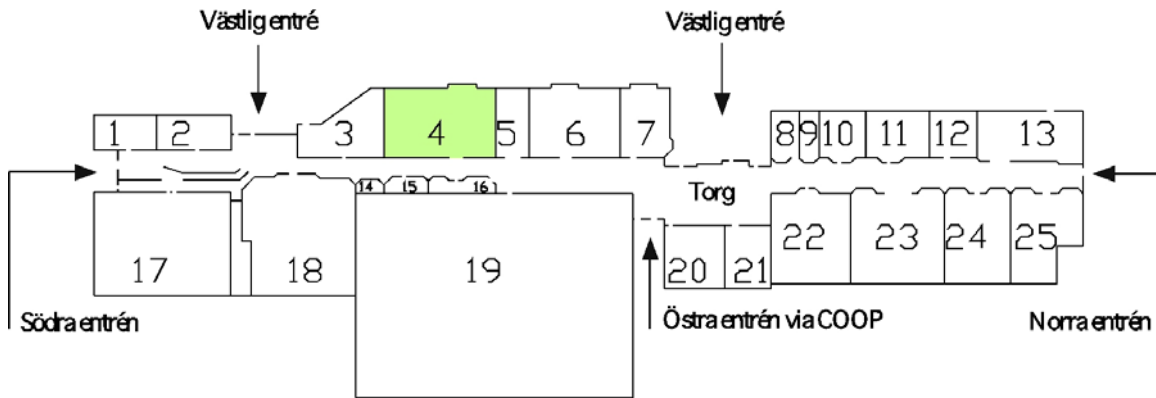
Sannolikheten att en brand skulle uppstå antas vara låg för respektive butik, men sammanslagna som en kategori ges en högre sannolikhet. Stor area och hög brandbelastning ger ett representativt värsta tänkbara scenario för en stor del av butikerna i anslutning till glasgatan. Konsekvenserna av branden antas vara höga vid scenario utan sprinkler, annars låga till medel.

Som representant för denna kategori väljs JC, Figur 3.4, och två scenarier kommer att simuleras, dels sprinklad brand och dels osprinklad brand. Resultaten kommer att ligga till grund för resonemang kring fördelar och nackdelar med att installation av sprinklersystem. Dessutom kommer brandgasspridningen till glasgatan analyseras för respektive scenario.

Butikens placering i glasgatan framgår av Figur 3.5.



Figur 3.4 JC som klädbutiksscenario.



Figur 3.5 Klädbutikkens placering i glasgatan.

3.3.2 Effektutveckling utan sprinkler

Brandbelastningen i en klädbutik uppskattas enligt Fire Code Reform Centre Limited (1996) till 600 MJ/m^2 . Abrahamsson (1997) anger ΔH_c värden mellan $15\text{-}32 \text{ MJ/kg}$ för kläder, beroende på material. Tillväxthastigheter rekommenderas som medium- till fast-kurvor.

Försök med kläder gav effektutvecklingar:

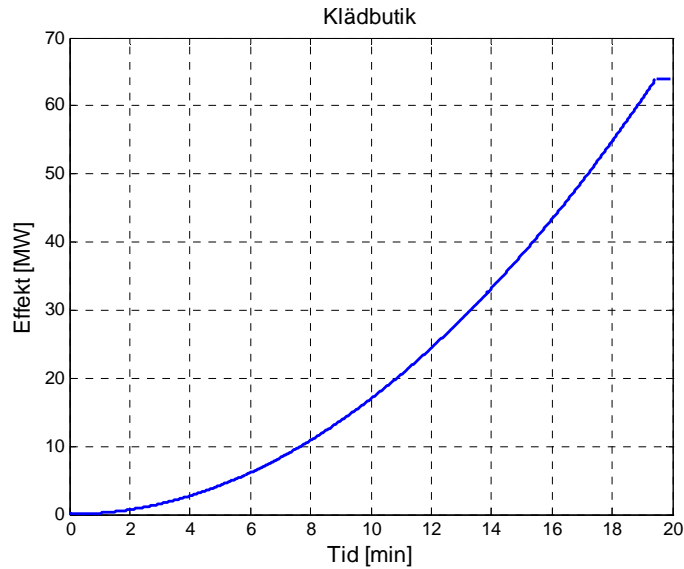
- 3 MW för 100 jackor i bomull och polyester samt
- 6 MW för fem klädställ, $1,3 \times 0,6 \times 1,0 \text{ m}^3$ av blandat material (Abrahamsson, 1997).

Johansson (2004) har gjort ett brandförsök med 100-talet jackor i en container. Där tillväxer branden oerhört snabbt, ungefär dubbelt så snabbt som en ultrafast-kurva. Försöket genomfördes i en relativt liten container och återstrålningen från brandgaserna var oerhört stor. Med hänsyn till detta bedöms försöket inte relevant för klädbutikscenariot. Takhöjden i klädbutiken är 3 meter och rumsvolymen är mycket större än containerns volym, varför återstrålningen kommer att bli väsentligt mindre. Tillväxthastigheten sätts därför enligt Abrahamssons uppgifter till en fast-kurva enligt Tabell 3.2.

Lokalen har en dörr som antas vara öppen med arean, $A_0 = 6 \text{ m}^2$ och höjden, $H_0 = 2 \text{ m}$. Dessutom finns två skyltfönster som efter att de går sönder kommer bidra till effektutvecklingen. De antas gå sönder då temperaturen når 300°C . Hänsyn till detta tas vid simuleringen. Fönstren har areorna $A_0 = 16$ respektive 8 m^2 och höjden, $H_0 = 2 \text{ m}$.

Ekvation (2) används för att beräkna fram maximala effekten med resultatet 64 MW . För att nå denna effekt måste tillräckligt med bränsle finnas i butiken. Denna uppskattas genom integration av (4) med tidsintervall från antändning till ventilationskontroll, och (5). ΔH_c sätts till 25 MJ/kg , som är ett genomsnittligt mått på de framtagna värdena och $\chi = 0,7$. Då fås att $m_f \approx 1400 \text{ kg}$ vilket antas finnas i lokalerna.

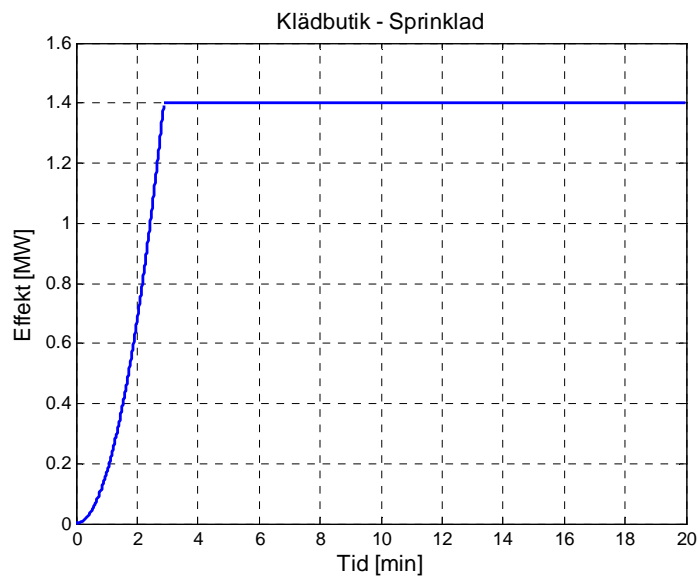
Effektutvecklingskurva som används illustreras i Figur 3.6.



Figur 3.6 Effektutvecklingskurva för klädbutik.

3.3.3 Effektutveckling med sprinkler

Enligt resonemang i föregående stycke antas en fast-kurva även i det sprinklade fallet. Skillnaden är att vid en brand då sprinkler finns installerad antas denna begränsa branden så att effektutvecklingen planar ut på en konstant nivå. För att beräkna vid vilken tid detta sker har programmet DetactT2 (NIST) använts. Med $RTI=100 \text{ (m/s)}^{1/2}$ och $A_p=12 \text{ m}^2$ ges aktivering av sprinklern efter knappt tre minuter. Branden utvecklar då effekten 1,4 MW.

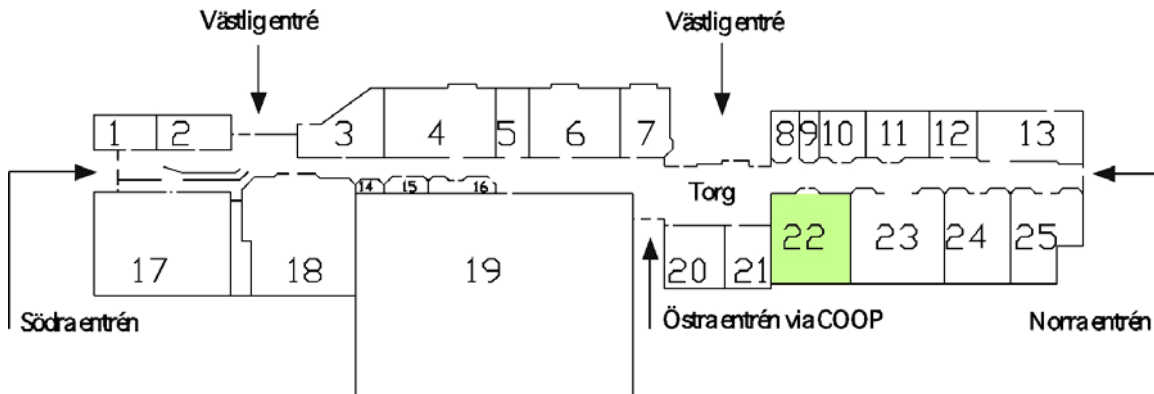


Figur 3.7 Effektutvecklingskurva för sprinklad klädbutik.

Effektkurvan får samma utseende som i det osprinklade fallet med skillnaden att tillväxten upphör vid effekten 1,4 MW, se Figur 3.7.

3.4 Leksaksbutik

I köpcentrets centrala delar, precis vid torget, ligger leksaksbutiken Brio, enligt Figur 3.8.



Figur 3.8 Leksaksbutikens placering i glasgatan.

3.4.1 Beskrivning

Leksaksbutiken väljs ut som scenario främst av tre orsaker. För det första är butiken osprinklad. För det andra har butiken väldigt hög brandbelastning till följd av material som papper, olika plaster och andra konstmaterial. Dessutom förvaras bränslet staplat på höga hyllor, se Figur 3.9, vilket torde bidra till ett snabbt spridningsförlopp. För det tredje skulle brandgasspridning utanför butiken kunna begränsa utrymningsmöjligheterna från glasgatan till det fria, och detta ger i så fall längre utrymningstider för personerna i byggnaden.

Den mest sannolika branden i butiken antas vara anlagd eller på grund av elektriskt fel. Brandlarm finns i butiken. Det finns inga fastställda rutiner för utrymning eller utbildning av personal i butiken och det är tveksamt om personalen klarar av att hantera en brand annat än i mycket tidigt skede i förloppet. De höga hyllorna gör butiken oöverskådlig och därför är det möjligt att en brand inte skulle upptäckas direkt. Till butiksdelen hör dessutom ett oövervakat bakre rum, tillgängligt för allmänheten, där en brand troligtvis skulle kunna få ordentligt fäste innan den upptäcks.

Sannolikhet för en brand i lokalen är låg. Dock blir konsekvenserna av en brand troligtvis höga eftersom sprinkler saknas och brandförloppet är snabbt.



Figur 3.9 Leksaksbutiken med sina högt staplade varor.

3.4.2 Effektutveckling

I en leksaksbutik påträffas mycket plast och papper. Abrahamsson (1997) anger en fast-kurva för både kundkorgar i plast och plasttallrikar. ΔH_c för plaster ligger runt 40 MJ/kg, men utöver detta finns stora mängder förpackningsmaterial som troligen ligger närmare 15-20 MJ/kg. Även i detta scenario väljs en fast-kurva enligt Tabell 3.2.

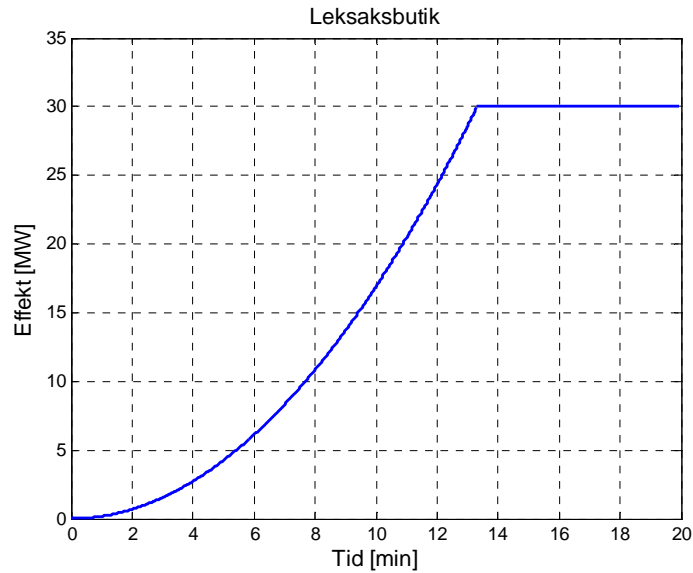
Några typiska data för en leksaksbutik är:

- 2 000 kW/m² vid ca 5 meter höga staplar (NFPA, 1991) samt
- 500 MJ/m² (Fire Code Reform Centre Limited, 1996).

På motsvarande sätt beräknas även här maximal effekt fram från ekvation (2). Butiken har en dörr med arean, $A_0 = 2 \text{ m}^2$ och höjden, $H_0 = 2 \text{ m}$. Dessutom finns två skyltfönster med arean $A_0 = 6 \text{ m}^2$ och höjden, $H_0 = 2 \text{ m}$. De antas gå sönder då temperaturen når 300°C och hänsyn till detta tas vid simuleringen. Detta motsvarar en maximal effekt på ungefär 30 MW.

För att nå denna effekt måste tillräckligt med bränsle finnas i butiken, detta uppskattas med formel (4) och (5). ΔH_c sätts till 30 MJ/kg, ett genomsnittligt mått på de framtagna värdena och $\chi = 0,7$. Då fås att $m_f \approx 380 \text{ kg}$ vilket antas finnas i leksaksbutiken.

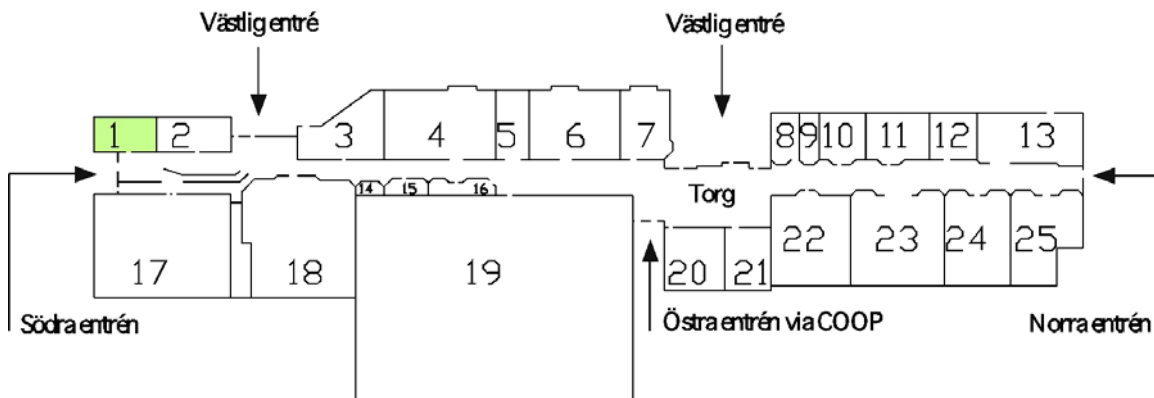
I Figur 3.10 finns effektutvecklingen illustrerad.



Figur 3.10 Effektutvecklingskurva för leksaksbutik.

3.5 Väskbutik

I glasgatans södra ände ligger väskbutiken Väskbojen, enligt Figur 3.11.



Figur 3.11 Väskbutikkens placering i glasgatan.

3.5.1 Beskrivning

Väskbutiken är en förhållandevis liten butik med hög brandbelastning i form av skinn-, plast- och textilmaterial. Tänkbara brandsaker är anlagd brand eller elektriskt fel. Butiken är översködlig och sannolikheten för att en brand skulle uppstå är låg. Butiken är dock osprinklad och konsekvenserna av en brand skulle kunna vara höga. Butiken ligger i glasgatans södra ände. Vid eventuell brandgasspridning till glasgatan från butiken kan möjlig utrymningsväg till det fria blockeras och därmed kan utrymningsstider förlängas.

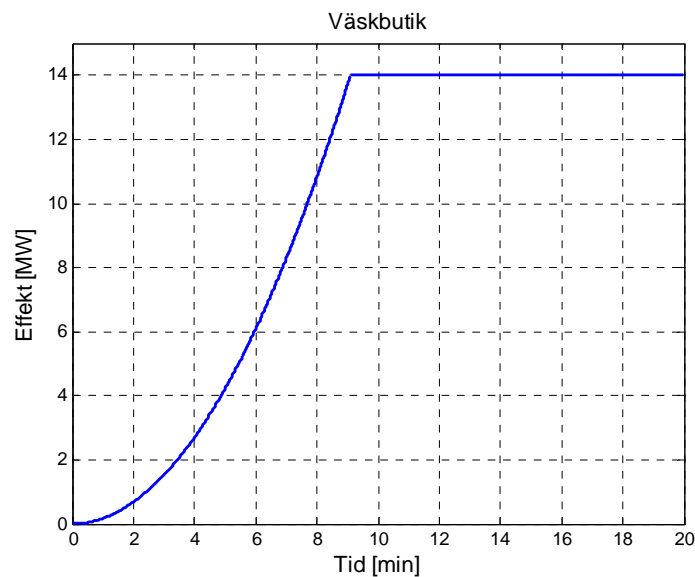
Scenariot väljs ut som komplement till scenariot i Leksaksbutiken. Till följd av den mindre arean så skulle detta scenario kunna ge en snabbare spridning av brandgas till glasgatan och därmed i större utsträckning påverka utrymningen.

3.5.2 Effektutveckling

Innehållet i väskbutiken är väskor, handskar, mössor och liknande. Detta kan jämföras med material i en klädbutik som behandlas i avsnitt 3.3. Därför används även här en fastkurva enligt Tabell 3.2.

Med en dörr med arean, $A_0 = 1,8 \text{ m}^2$ och höjden, $H_0 = 2 \text{ m}$ och två skyltfönster med vardera areor $A_0 = 3 \text{ m}^2$ och höjd, $H_0 = 2 \text{ m}$ beräknas den maximala effekten från ekvation (2) till 14 MW. Fönstren antas gå sönder då temperaturen når 300°C och hänsyn till detta tas vid simuleringen. För att nå denna effekt måste tillräckligt med bränsle finnas i butiken, detta uppskattas med formel (4) och (5). ΔH_c sätts till 25 MJ/kg och $\chi = 0,7$. Då fås att $m_f \approx 150 \text{ kg}$ vilket antas finnas i väskbutiken.

Använd effektutveckling presenteras i Figur 3.12.



Figur 3.12 Effektutvecklingskurva för väskbutik.

3.6 Bostad

Längs större delen av glasgatans västra sida ligger lägenheter på andra våningen.

3.6.1 Beskrivning

I en bostad kan brandbelastningen vara mycket stor på liten yta. Sannolikheten för att brand ska uppstå här är statistiskt sett hög i förhållande till de andra lokalerna i anslutning till glasgatan. Brandorsak kan exempelvis vara torrkokning, sängrökning, levande ljus eller elektriskt fel.

Enligt uppgifter är medelåldern för de boende hög och många är pensionärer (Österlid, 2006).

Inget automatiskt brandlarm finns installerat i bostäderna och därmed kan det ta lång tid innan branden upptäcks. Om ingen är hemma släcks branden troligtvis inte. Öppnas lägenhetsdörren kan stora mängder brandgas spridas ut i glasgatan. Utrymning från lägenheterna sker via loftgången i glasgatan till trapphus eller till alternativ utrymningsväg, ut till det fria, se Figur 3.13. Vid studiebesöket var en av utrymningsvägarna från loftgången till det fria blockerad av möbler.



Figur 3.13 Lägenheternas utrymningsväg.

3.6.2 Effektutveckling

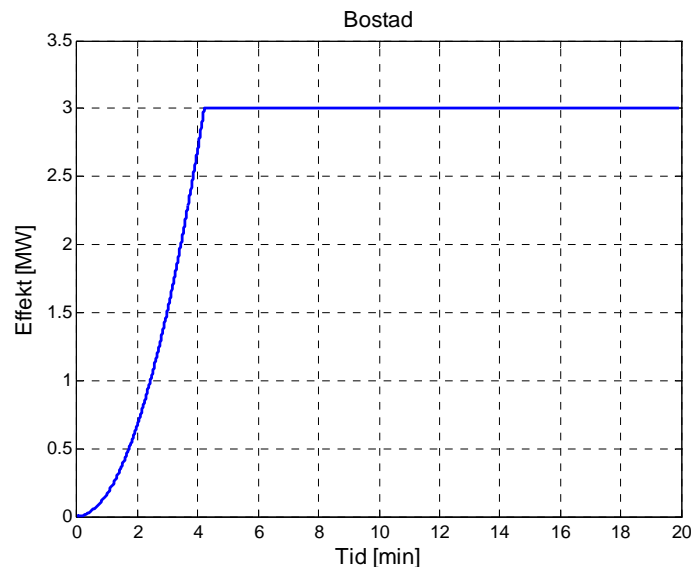
Det finns flera olika anledningar till varför brand uppstår i en bostad. Det startutrymme som enligt statistiken är vanligast är kök, varför detta väljs som scenario. Ett normalt kök kan innehålla mycket brännbart material så som träinredning, köksmöbler, gardiner, plastduk, ljusmanschetter, kökssoffa etc.

ΔH_c för trä är 17 MJ/kg (SFPE, 2002), för tyg och plast 15-32 MJ/kg respektive 40 MJ/kg enligt tidigare scenarier. Utifrån mängden av de olika materialen i köket väljs $\Delta H_c = 20$ MJ/kg som ett representativt genomsnittsvärde och $\chi = 0,7$. Tillväxthastigheten väljs till en fast-kurva.

Köket har ett fönster som vetter mot glasgatan med arean, $A_0 = 1,44 \text{ m}^2$ och höjden, $H_0 = 2$ m. Fönstret antas gå sönder vid 300°C och hänsyn till detta tas vid simuleringen. Den maximala effekten beräknas från ekvation (2) till 3 MW.

Tillräckligt med bränsle måste finnas i köket för att denna effekt skall uppnås. Denna massa uppskattas med formel (4) och (5) till 40 kg. Ett massivt köksbord och fyra stolar i trä väger omkring 100 kg, och därmed finns tillräckligt med bränsle i köket för att maximal effekt skall kunna uppnås.

Effektutvecklingen illustreras i Figur 3.14.



Figur 3.14 Effektutvecklingskurva för bostad.

3.7 Ej valda scenarier

Följande butiker har valts att ej utvärderas vidare enligt följande resonemang.

3.7.1 Restaurang

Två restauranger finns i anslutning till glasgatan, Salt & Italy och Eat Café & Restaurang, Figur 3.15.

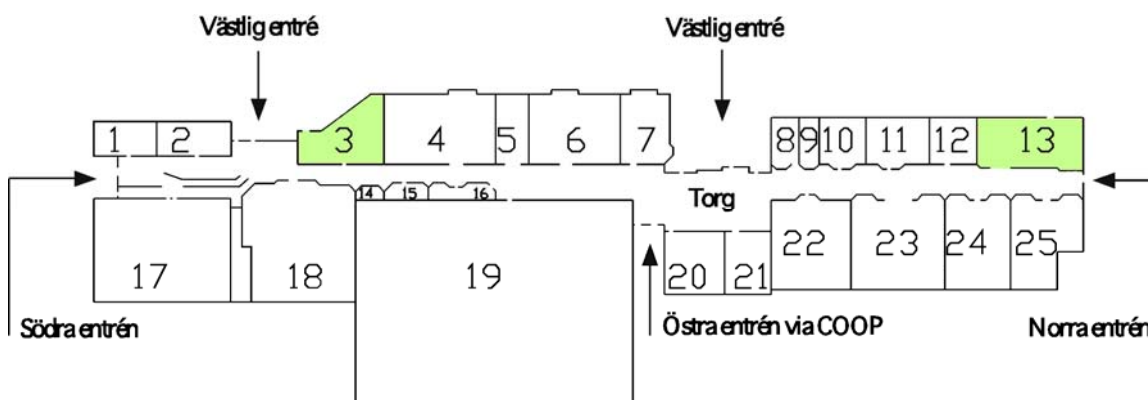
Restaurangernas placering i glasgatan illustreras i Figur 3.16, där Salt & Italy är nr. 3 och Eat Café & Restaurang är nr. 13.

Brand i restaurangen Salt & Italy väljs som representativt scenario eftersom de hanterar brännbar gas i sin verksamhet och restaurangen har sämre placering i förhållande till glasgatans utrymningsvägar till det fria. Salt & Italy är sprinklad i motsats till Eat Café & Restaurang, men har offentliga utrymmen i två plan och sämre överblickbarhet än Eat Café & Restaurang. Båda restaurangerna har tillstånd för utskänkning av alkohol.

Troliga brandorsaker kan tänkas vara exempelvis köksbrand, elektriskt fel eller anlagd brand. Som anlagd brand kan man tänka sig smygrökning på toalett. Sannolikheten för brand i lokalen antas vara relativt hög, särskilt under kvällstid då berusade personer vistas i lokalen.



Figur 3.15 Salt & Italy och Eat Café & Restaurang.



Figur 3.16 Restaurangernas placering i glasgatan. Salt & Italy är nr. 3 och Eat Café & Restaurang är nr. 13.

Trots den höga sannolikheten för brand tas scenariot ej upp för vidare diskussion i denna rapport. Brandbelastningen är förhållandevis låg och konsekvenserna av branden, med avseende på brandgasspridning i glasgatan, blir troligen mindre än för övriga scenarier som valts. Brand efter glasgatans stängningstid ger ett annat utrymningsscenario än det som fås dagtid när glasgatan är öppen för allmänheten, och berör, förutom restaurangens gäster, främst de boende i anslutning till glasgatan. De aspekter som då skulle lyftas fram, behandlas dock i samband med utvärdering av övriga scenarier.

Vad gäller användningen av brännbar gas antas restaurangen ha fastlagda rutiner för hanteringen av denna.

3.7.2 Glasgatan

Brand i själva glasgatan har diskuterats som tänkbart scenario. Branden skulle ge direkt spridning av brandgas till själva gatan och därmed förhindra utrymning i form av siktnedsättning. Dock finns inga större mängder brännbart material i utrymmet och hela gatan är sprinklad.

3.7.3 Övriga butiker

Resterande butiker i köpcentret är Puck, Polarn & Pyret, Walk on Shoes, Snyggt helt enkelt, Tolvan, Guldfynd, Centrumfrisören, Duka, Synsam, Apoteket, SmakSak, Lilla Boden och EB Games.

Merparten av ovan nämnda verksamheter har låg sannolikhet för brand kombinerat med låga eller medelstora konsekvenser av en brand. I de fall där konsekvenserna klassats som medelstora eller höga antas scenarierna representeras av redan utvalda scenarier.

4 Brandförlopp

För att kunna dra slutsatser om de brandscenarier som valts och därmed bedöma personsäkerheten i objektet så måste beräkningar och simuleringar utföras med framtagna effektkurvor som utgångspunkt. Tiden till kritiska förhållanden tas fram för att senare jämföras med tiden för utrymning.

4.1 Kritiska förhållanden

Tiden till kritiska förhållanden bör inte överstigas för att en säker utrymning ska kunna genomföras. Enligt BBR (5:361) definieras dessa kritiska förhållanden enligt följande:

- *Sikt*: Brandgasskiktet bör som lägst ligga på höjden:

$$(6) \quad H_D = 1,6 + 0,1 \cdot H$$

alternativt att sikten i okänd miljö är minst 10 meter och i känd miljö, såsom bostäder och kontor, minst 5 meter.

- *Värmestrålning*: Utrymmade personer får utsättas för en kortvarig strålningsintensitet på 10 kW/m^2 , alternativt en intensitet på $2,5 \text{ kW/m}^2$ under en något längre exponeringstid, samt en sammanlagd strålningsenergi på 60 kJ/m^2 utöver energin från en strålning på 1 kW/m^2 . Enligt Abrahamsson (1997) brukar dessa kriterier förenklas till att motsvara en temperatur på 180°C i brandgaslagret.
- *Temperatur*: Lufttemperaturen får inte överstiga 80°C .

4.2 CFAST

Då brandförlopp studeras samt tiden till kritiska förhållanden beräknas används modellen CFAST (Consolidated Fire and Smoke Transport Model) i denna rapport. CFAST är en så kallad tvåzonsmodell som delar upp ett rum i två zoner; en volym som består av brandgaser och en volym med rumstempererad luft, med vardera homogen temperatur. Detta är en grov förenkling av verkligheten, men kan i många fall ge realistiska resultat. Modellen används för att beräkna brandförlopp samt att simulera brandgasspridning och är en del av det amerikanska programpaketet Hazard I, framtaget av National Institute of Standards and Technology, Washington DC.

Modellen bygger på ekvationerna för bevarandet av massa och energi (Karlsson & Quintiere, 2000). Dessa löses parallellt för de båda zonerna, samtidigt som hänsyn tas till att brandplymen transporterar massa och energi från den undre till den övre zonen.

Vid modellering måste viss indata specificeras. Rumsgeometrin, materialet i de omslutande konstruktionerna samt effektutveckling och förbränningsvärmets för det brinnande objektet är de huvudsakliga parametrarna som anges.

Utdata erhålls i form av vektorer som funktion av tiden. Brandgaslagrets höjd, väggarna och zonernas temperatur, trycket, effektutvecklingen, strålningen från brandgaslagret samt massflödet mellan rummen är några exempel.

Modellen är anpassad för att simulera brandförlopp i lägenheter och ger bäst resultat för liknande geometrier (Gojkovic, 2006). CFAST kan simulera förloppet fram till övertändning, efter detta är modellen ogiltig. Modellen antar att brandgaserna transporteras momentant från bränslekällan till övre brandgaslagret och transporttiden försummas. Därmed kan tiden till detektor- och sprinkleraktivering underskattas. Ingen hänsyn tas till bränslets geometri.

För att simuleringar i CFAST ska gälla måste lokalens geometri och brandens effektutveckling ligga inom givna gränser: Förutom för klädbutiken faller de scenarier som har utvärderats inom ramen för tvåzonsmodellens begränsningar (ISO, 1995) när det gäller själva brandrummet, se Tabell 4.1. I klädbutiken kan tvåzonsmodellens begränsningar ej verifieras varför detta måste beaktas vid utvärdering av resultaten. Simulering med CFAST ger inga tillförlitliga resultat när det gäller förhållandena i glasgatan.

Tabell 4.1 Verifiering av giltighet av brandrummets geometri enligt ISO (1995).

Lokal	Längd/Bredd < 5 [m]	Längd/Höjd < 6 [m]	Giltig
Klädbutik	2,4	8,7	Nej
Leksaksbutik	1,3	5,7	Ja
Väskbutik	1,6	3,7	Ja
Bostad	1	1	Ja
Glasgata	25	35	Nej

4.3 Simuleringar av scenarier

Simuleringar har utförts i CFAST för respektive scenario för att få en uppfattning om hur stora mängder brandgaser som sprids till glasgatan och vilken temperatur dessa har. Geometrierna matades in i CFAST med utgångspunkt i det ritningsmaterial som finns till förfogande. Vissa förenklingar av geometrierna gjordes, exempelvis kan inte sneda tak läggas in. Öppningar, såsom dörrar och fönster, lades in. I samtliga fall antogs att fönster går sönder vid 300°C och simuleringarna anpassades efter detta. Golv, väggar och tak approximerades till betong i butikerna. I glasgatan sattes väggar och golv till betong medan taket var av glas. De dimensionerande bränderna, enligt avsnitt 3, användes vid simuleringarna. Som bränsle användes polyester. Indatafiler till CFAST redovisas i bilaga 3.

De parametrar som har tagits fram är massflöde ut ur butiken till glasgatan, temperaturen i övre och undre lagret i butikerna, höjden på brandgaslagret i butikerna och strålningen till golvet i butikerna. Grafer på utdata redovisas i bilaga 3. Det visar sig att i samtliga fall är det brandgaslagrets höjd som är den kritiska parametern i butikerna. Formel (6) med $H = 3$ m ger att kritiska förhållanden inträffar då $H_D = 1.9$ m. Resultat för de olika scenarierna redovisas i bilaga 3 (Figur 3.13 - Figur 3.16) och Tabell 4.2 med tider till då kritiska förhållanden inträffar i respektive butik/bostad. För klädbutiken är resultaten ej verifierade enligt tvåzonsmodellens begränsningar. Förhållandet i butiken anses dock inte vara det avgörande för utrymning av objektet.

Tabell 4.2 Händelser i brandlokalen enligt simuleringar med CFAST.

Scenario	Fönstren går sönder [min]	Tid till kritiska förhållanden i brandrummet [min]	Tid då brandgaser börja strömma ut i glasgatan [min]
Osprinklad klädbutik	7,3	2	2
Sprinklad klädbutik	-	2	2
Leksaksbutik	6,5	2	1,5
Väskbutik	4,3	1	1
Bostad	2,4	<1/2	2,5

4.4 Ventilationssystemets inverkan på brandförloppet

Glasgatan och butikerna utgör en gemensam brandcell med relativt stora öppningar mellan butiker och glasgata vilka minskar sannolikheten för lokal tryckuppbyggnad. Vid brand kommer brandgasspridning dessutom att ske via dessa öppningar tidigt i brandförloppet, se Tabell 4.2, varför påverkan av spridning via ventilationssystemet anses vara marginell och inte utreds ytterligare.

Eventuell spridning direkt mellan butiker eller lägenheter ligger utanför rapportens avgränsningar.

4.5 Känslighetsanalys av brandförlopp

Vid simulering och beräkning av brandförlopp är effektutvecklingen en betydelsefull parameter. Scenarierna har en specificerad effektutveckling, där alla approximeras till en fastkurva. För att få en uppfattning av betydelsen av α -värdet utförs simuleringar och beräkningar även för en medium-kurva och en ultrafast-kurva i två av scenarierna; leksaksbutiken och väskbutiken.

Vid undersökning av den kritiska parametern i brandrummen, brandgaslagrets höjd, erhölls skillnader i tid till kritiska förhållanden i butikerna på mellan 20-30 sekunder, enligt Figur 3.13 - Figur 3.16 i bilaga 3. I fallet med ultrafast-kurvan kortas tiden och i fallet med medium-kurvan förlängs tiden. Denna tidsskillnad är så pass liten att resultaten för fastkurvan antas gälla. Viss osäkerhet råder om resultaten för klädbutiken eftersom geometrin inte faller inom ramen för tvåzonzmodellens giltighet.

En jämförelse av scenarierna med brand i sprinklad respektive osprinklad klädbutik visar att tiden till kritiska förhållanden i brandrummet är lika. Brandgaslagrets höjd är i båda fallen den kritiska parametern som inträffar först och detta sker innan sprinklern aktiverar. Sprinkleraktivering sker vid ca 3 minuter beräknat på $RTI=100 \text{ (ms)}^{1/2}$. En tidigare sprinkleraktivering har simulerats med $RTI=30 \text{ (ms)}^{1/2}$ vilket gav en aktiveringstid på ca 2,3 minuter. Detta är gränsfallet för att klara den kritiska brandgaslagerhöjden.

5 Brandgasspridning till och i glasgatan

Simuleringarna i CFAST visar att vid brand i en butikslokal kommer brandgaser att spridas ut i glasgatan. Tidpunkten då detta sker beror bland annat av effektutvecklingen och brandrummets geometri. När brandgaserna strömmar genom en öppning mellan ett brandrum och en intilliggande lokal kommer kall luft att blandas in i brandgaserna. Brandgasernas temperatur sjunker då samtidigt som volymen ökar. Då brandgaserna kommer i kontakt med lokalens omslutningsytor kommer de att kylas av genom konvektion och samtidigt sker ytterligare utspädning med kall luft. I en lokal med stor volym kommer brandgaserna att spridas ut mer och därmed kylas mer än om de ansamlas i en mindre volym med liten omslutningsyta. För att en skiktning ska uppstå krävs en temperaturskillnad mellan brandgaserna och den omgivande kalla luften som är större än 20-40°C (Gojkovic, 2006). Brandgasernas lägre densitet gör att de ansamlas mellan taket och den kallare luften. Om skillnaden i temperatur är mindre kommer någon tydlig skiktning inte att uppstå utan brandgaserna kommer successivt att spridas i hela lokalens volym. Aktivering av sprinkler kyler även brandgaserna samtidigt som vattendropparna blandar om luft och brandgaser.

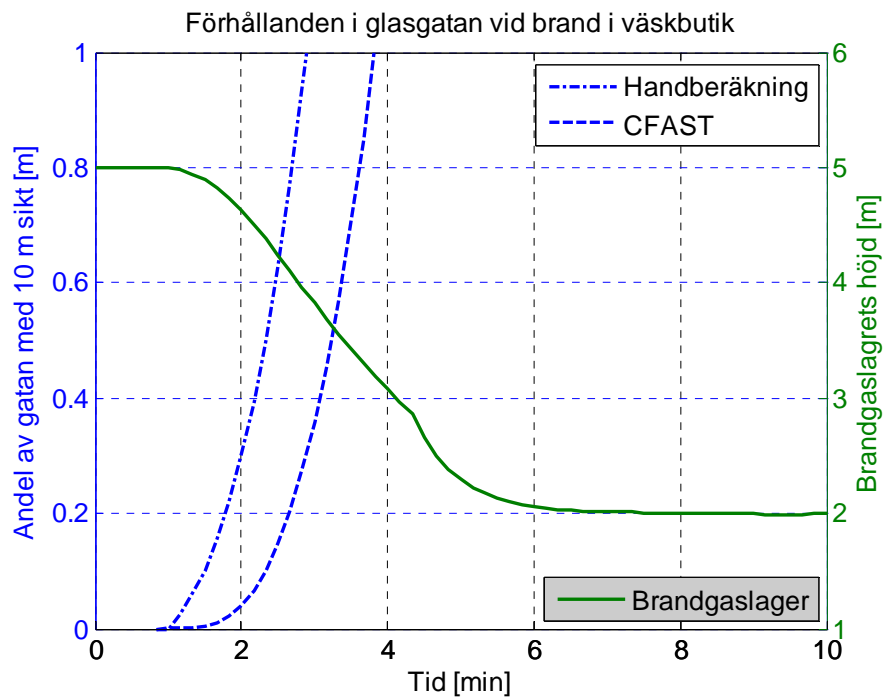
Glasgatan har en stor volym och stora glasytor i tak och delar av väggar vilket medför en stor konvektiv avkyllning. För att kunna uppskatta om brandgaserna kan antas skiktas eller omblandas i glasgatan, samt vid vilken tidpunkt kritiska förhållanden för utrymning kan uppstå, studerades följande (redovisas i bilaga 2):

- sikttnedsättning vid omblandade förhållanden baserat på simuleringar med CFAST,
- sikttnedsättning vid omblandade förhållanden baserat på handberäkningar,
- sannolikheten för sprinkleraktivering,
- brandgaslagrets höjd vid skiktade förhållanden samt
- nödvändig effektutveckling för att skiktade förhållanden ska uppstå.

Resultaten av dessa studier visar att scenariot med brand i väskbutik ger kortast tid till kritiska förhållanden i glasgatan. Detta beror på att brandgaserna börjar läcka ut tidigare från butiken i detta scenario. Kritisk sikttnedsättning vid omblandade förhållanden inträffar i intervallet 2,5-3,5 min för väskbutiken, vid sammanvägning av handberäkningar och simulering av sikttnedsättning i CFAST. Intervallet motsvarar tiden från dess att handberäkningarna ger kritisk sikttnedsättning i halva gatan till dess att CFAST ger det i hela gatan. Om en tvåzonssikttned förutsätts beräknas kritiska förhållanden inträffa efter ca 5,5 minuter då brandgaslagerhöjden når $H_D = 2,2$ meter enligt ekvation (6). Resultaten redovisas i Tabell 5.1 och för väskbutiken även i Figur 5.1. Resultat för övriga scenarier återfinns i figurer i bilaga 2.

Tabell 5.1 Resultat från studier av brandgasspridning.

Scenario	Tid till kritisk siktne­dsät­ting vid om­blandade för­hållan­de [min]	Tid till kritisk brandgaslager­höjd enligt CFAST [min]
Osprinklad kläd­butik	3 – 4	7
Sprinklad kläd­butik	3 - 5	>10
Leksaksaffär	3 - 5	6,5
Väs­k­butik	2,5 – 3,5	5,5
Bostad	3 - 4	>8



Figur 5.1 Jämförelse av när kritiska förhållanden inträffar i glasgatan där vänstra y-axeln beskriver den andel av glasgatans totala längd i vilken sikten är 10 meter (omblandat) och den högra visar brandgaslagrets höjd över golv (skiktat).

Simuleringen med skiktade förhållanden i glasgatan faller inte inom tvåzonsmodellens begränsningar. Resultatet kan därför inte anses tillförlitligt men ger en indikation på längsta möjliga tid till kritiska förhållanden vid $H_D=2,2$ meter. En skiktning av brandgaserna är gynnsammare då dessa då upptar en mindre volym samtidigt som zonen närmast golv huvudsakligen består av luft. Denna tid kan därför jämföras med de uppskattade kritiska tiderna vid omblandade förhållanden.

Beräkningar av aktiveringstider för sprinkler i glasgatan visar att för scenariot med brand i leksaksbutiken så kommer närmsta sprinklerhuvud utanför öppningen troligen utlösa inom 5 minuter, senast inom 8 minuter. För väskbutiken gäller att närmsta sprinkler aktiveras inom drygt 10 minuter och beräkningarna indikerar att utlösning skulle kunna ske kring 6-7 minuter. För scenariot med sprinklad klädbutik fås resultatet att aktivering av närmsta sprinklerhuvud troligen sker efter 10 minuter, om det överhuvudtaget sker. Dessa tider antas vara representativa för övriga scenarier med motsvarande placeringar av butik.

Den effekt som måste tillföras glasgatan för att upprätthålla skiktade förhållanden uppskattas till i storleksordningen 1-1,4 MW och inträffar först efter 5-6 min. Vid den tidpunkten är sikttnedsättningen i glasgatan så stor att kritiska förhållanden redan inträffat enligt båda uppskattningarna, se Figur 5.1.

Baserat på ovanstående görs bedömningen

- att väskbutiken blir det begränsande scenariot då det ger kortast tid till kritiska förhållanden i glasgatan,
- att omblandade förhållanden troligtvis kommer att råda i glasgatan under utrymningsskedet samt
- att tiden från antändning till kritiska förhållanden i glasgatan ligger någonstans mellan 2 och 5 minuter.

5.1 Brandgasventilation i glasgatan

Den befintliga brandgasventilationen via takfönstren fungerar enligt principen för naturlig ventilation. Denna bygger på den termiska stigkraften vilken beror av densitetsskillnaden mellan luften i och utanför byggnaden. För att uppnå en effektiv naturlig ventilation eftersträvas låg temperatur på uteluften och hög temperatur på luften i byggnaden. Är temperaturskillnaden liten kommer ventilationen också att bli låg eller utebli.

Med nuvarande system krävs att öppning görs av räddningstjänsten vilket tidigast kan antas ske 15 minuter efter aktivering av brandlarm. I det läget bedöms kritiska förhållanden redan råda. En automatisk öppning av brandgasluckorna direkt vid aktivering av rökdetektor skulle troligen ha en positiv påverkan på förhållandena i glasgatan (Ingason & Arvidson, 2001). De brandgaser som har tillräcklig termisk stigkraft kan då evakueras genom takluckorna vilket skulle minska mängden brandgaser i glasgatan. Med tanke på att brandgaserna i glasgatan sannolikt omblandas och håller en relativt låg temperatur under de inledande minuterna är det dock inte säkert att en tillräcklig temperaturskillnad uppstår. Tilluftsarean är dessutom mycket liten i förhållande till frånluftsarean vilket ytterligare försämrar förutsättningarna. Under utrymningsskedet bedöms därför brandgasventilationens verkan som otillräcklig för att undvika att kritiska förhållanden uppstår i glasgatan. Effekten av en tidig öppning kan inte kvantifieras och en eventuell förlängning av tiden till kritiska förhållanden kan därför ej heller säkerställas. För räddningstjänstens del kan en öppning av takfönstren vara till nytta. Detta är dock först aktuellt i ett senare skede av förloppet efter utrymningsskedet varför det inte behandlas ytterligare i denna rapport.

5.2 Känslighetsanalys av brandgasspridning

Vid simulering och beräkning av brandförlopp är effektutvecklingen enligt tidigare resonemang en betydelsefull parameter. Effektutvecklingen i brandrummet påverkar brandgasfyllnaden av glasgatan. Betydelsen av α -värdet har studerats genom att simuleringar och beräkningar utförts även för en medium-kurva och en ultrafast-kurva i två av scenarierna, leksaksbutikerna och väskbutikerna. Resultaten från samtliga tre modeller som använts vid beräkningar redovisas i Tabell 5.2. Tider som redovisas är ej att se som exakta och gäller för kritiska förhållanden i hela gatans längd, med undantaget brandgaslagrets höjd som gäller för halva gatan.

Tabell 5.2 Sammanställning av tid till kritiska förhållanden i hela glasgatan.

Scenario M = medium F = fast UF = ultrafast	Tid till kritiska förhållanden handberäkning [min]	Tid till kritiska förhållanden CFAST sikt [min]	Tid till kritiska förhållanden CFAST bgl höjd [min]
Leksaksbutik M	5	7	9
Leksaksbutik F	3	4,5	6,5
Leksaksbutik UF	2	3	3,5
Väskbutik M	4,5	5,5	8
Väskbutik F	3	4	5,5
Väskbutik UF	2	2,5	3,5
Väskbutik F - trä	-	6	5,5

Medium-kurvan ger längre tid till kritiska förhållanden i gatan oberoende av vilken beräkningsmodell/simulering som använts. På samma sätt ger ultrafast-kurvan kortare tider till kritiska förhållanden. Skillnaden ligger runt 1 - 1,5 minuter vid omblandade förhållanden och 2 - 3 minuter för skiktade förhållande.

Vid siktberäkningen med CFAST har även en simulering gjorts med trä som bränsle istället för polyester. Detta ger en mindre mängd brandgaser och ger då en längre tid till kritiska förhållanden. Dock anses polyester bättre representera det material som finns i butikerna, därför används tiderna för detta bränsle.

Intressant är även att titta på skillnaden mellan det sprinklade klädbutiksscenarioet och det osprinklade. Hand- och CFAST-beräkningen ger snarlika värden gällande sikttnedsättningen. Då CFAST används för att simulera brandgaslagrets höjd uppnås inte kritiska förhållanden i glasgatan, se bilaga 2 avsnitt B2.1-2.

Rökpotentialen är en parameter som används vid handberäkningen på sikt. I leksaksbutikerna ger en ökning av D_0 till 1,0 m²/g en minskning på 40 s. I övriga scenarier är skillnaden mindre, se bilaga 2 avsnitt B2.2.

Vid beräkningar och simuleringar har flera konservativa antaganden gjorts. Vilken inverkan dessa antaganden har är svårt att avgöra. Antagandet att brandgaserna omblandas fullständigt så att en konstant sikttnedsättning erhålls i glasgatan är mycket konservativt, men samtidigt kan alternativet, att brandgaserna ansamlas lokalt utanför brandrummet, ej kvantifieras och därmed ej bedömas. Antagandet om adiabatiskt system som görs vid inströmning av

brandgaser till glasgatan ger en högre temperatur i glasgatan än vad de troligtvis skulle ha i verkligheten. En lägre temperatur ger dock ännu större sannolikhet för omblandade förhållande.

I handberäkningarna antas att från det att brandgaserna börjar strömma ut i glasgatan bidrar branden enbart till siktnedsättningen i glasgatan och ej i brandrummet. Detta är konservativt men mängden partiklar som avsätts i brandrummet kan ej bestämmas.

Vid beräkningar av tid till sprinkleraktivering leder de konservativa antagandena till en längsta möjliga tid inom vilken sprinklern kommer att aktivera och därmed dras ingen slutsats om vilken den faktiska tiden för aktivering är.

6 Utrymning

Utrymning karakteriseras av att en handling som är obekant skall utföras under förhållanden som är onormala, samtidigt som graden av hot ökar. En utrymningsituation kan delas upp i tre skeden (Jönsson et al., 1994):

- Varseblivning:

Berörda personer måste uppmärksamma faran vid en brand för att påbörja utrymning. Detta kan ske visuellt, genom lukt eller hörsel, men även genom att ett utrymningslarm utlöser. I de fall ett automatiskt brandlarm finns kan en teoretisk aktiveringstid för en detektor beräknas och användas som varseblivningstid. Huruvida utrymningslarmet ska initieras direkt av det automatiska brandlarmet bör nogt övervägas i de fall fellarmsfrekvensen är hög.

- Reaktion och beslut:

Hur lång tid skedet för reaktion och beslut tar beror på var personerna befinner sig och med vem, samt hur tydligt ett eventuellt utrymningslarm är. Personer i grupper som i förväg inte känner varandra och som befinner sig på allmänna platser tenderar att avvakta och se vad andra gör innan de själva agerar. Likaledes utrymmer inte en förälder utan sitt barn vilket fördröjer evakueringen. Utrymningslarm finns i många utföranden och ljudnivåer. Ibland finns risk för förväxling med inbrottslarm och ibland ljuder det inte tillräckligt högt. Om en lokal har haft problem med mycket fellarm kan personer helt ignorera ett ”riktigt” utrymningslarm. Företeelsen att ignorera ett larm eller till och med en brand anses vara ett vanligt förekommande beteende oavsett fellarmsfrekvensen. Beteenden utöver ovan nämnda kan vara att söka ytterligare information, försöka släcka branden eller att rädda andra personer eller egna tillhörigheter.

- Evakuering:

Tiden en evakuering tar beror på avståndet till närmsta utrymningsväg, utgångens bredd och i vilket fysiskt skick personerna är. Denna tid kan beräknas antingen för hand eller med datormodeller, till exempel Simulex (Frantzich, 1997).

Den totala tiden för utrymning ges alltså av:

$$(7) \quad t_u = t_v + t_r + t_e$$

Enligt Jönsson et al. 1994 är varseblivningstiden för personer i ett varuhus där automatisktbrandlarm finns installerat 1,5 minut. Boverket, 2006 anger en besluts- och reaktionstid på 3,5 minuter för samma kategori av personer i ett varuhus med utrymningslarm i form av en ringklocka.

6.1 SIMULEX

SIMULEX är ett datorprogram som utvecklats vid Lunds Universitet, Sverige och Edinburgh University, Scotland. (Abrahamsson, 1997)

Modelleringen sker stegvis genom att först och främst importera så kallade CAD-ritningar (Computer-Aided Design) över den aktuella byggnaden till programmet. Därefter kan utgångar läggas till samt våningsplan bindas samman med trappor. Så kallade avståndskartor beräknas av programmet och används för att dirigera personer till rätt utgång. Personer placeras ut och kan tilldelas specifika egenskaper såsom storlek, gånghastighet, reaktionstid samt vilken nödutgång de ska använda. I programmet finns också förprogrammerade individer såsom ”shoppers”, rörelsehindrade, skolbarn, äldre etc.

Under själva simuleringen sker visuell utrymning av byggnaden på skärmen och bland annat simuleringstid samt antal personer kvar i byggnaden anges. Simuleringen kan spelas in för att senare, beroende på datorns kapacitet, spelas upp i realtid. (Frantzich, 1997)

Individernas förflyttning är baserad på verkliga försök så en person med högre gånghastighet kan passera en med lägre. Dessutom sjunker gånghastigheten ju närmare personerna kommer varandra samt i samband med förflyttning upp eller nedför trappor. (Abrahamsson, 1997)

Vad som bör tas i beaktande är att personerna i modellen inte tänker själva. I en verklig situation skulle personer till exempel inte köa till en utgång om det bara några meter bort ligger ytterligare en. För att undvika orealistiska köer i modelleringen kan fiktiva väggar ritas in som då hjälper till att styra olika individer till olika utgångar.

6.2 Simulering av utrymning från butiker och glasgata

Ett antal försök har utförts i SIMULEX där olika entréer blockerats för att se om några är mer kritiska än andra. Personantal som har använts är 1200 personer. Antalet valdes ut med tanke på de besökssiffror som presenteras i avsnitt 2.1 samt intervjuer med butiksbiträden. Individerna i simuleringarna definierades alla som ”shoppers”.

Kategorin ”shoppers” är normalbyggda och består av

- 35% vuxna män med gånghastigheten $v = 1,35 \pm 0,2$ m/s,
- 40% vuxna kvinnor med $v = 1,15 \pm 0,2$ m/s
- 15% barn med $v = 0,9 \pm 0,3$ m/s samt
- 10% äldre med $v = 0,8 \pm 0,3$ m/s.

I simuleringarna bortsågs ifrån de utrymningsvägar som leder ut genom butikerna bakvägen. Dessa är ofta otydliga och inte så attraktiva för den vanlige besökaren. Dessutom uppgav butikspersonalen vid intervjuer, att de vid en eventuell brand skulle visa ut de besökande till glasgatan, varefter de skulle låsa dörren och själva ta sig ut bakvägen. I de två restaurangerna finns däremot utrymningsvägar ut i det fria. Dessa är tydliga och attraktiva, därför togs de med i simuleringen.

Från COOP finns en utrymningsväg som leder in i glasgatan. Trots att COOP ligger utanför avgränsningen har antagandet gjorts att ett begränsat antal besökare ändå utrymmer till glasgatan eftersom detta leder till ett ökat antal utrymmande personer. Geometrin som användes vid simuleringarna är en egenproducerad CAD-ritning baserad på tillgängligt ritningsmaterial samt mått tagna på plats. I ritningen har även hinder, såsom gatupratrare, bänkar och klädställ ritats in. Ritningen återfinns i bilaga 4, Figur 4.1.

Evakueringstiden ut ur de tre butikerna som förekommer i scenarierna är:

- Leksaksbutiken 1 minut
- Klädbutiken 1 minut
- Väskbutiken 1/2 minut.

Simuleringen visar att blockering av den södra utgången vid väskbutiken inte har någon betydelse för utrymningstiden av hela glasgatan. Om den östra utgången blockeras påverkas utrymningstiden marginellt. Den längsta utrymningstiden erhålls när det brinner i en butik nära den norra entrén och utrymning genom denna försvåras alternativt omöjliggörs. Tiden, t_e , blir då omkring 4,5 minuter med 1200 personer i butikerna i anslutning till glasgatan. Om inga utgångar blockeras blir tiden 3 minuter. Personantalet antas representera en välbesökt dag under exempelvis julhandeln. Förteckning över simulerade scenarier och personantal finns i bilaga 4.

Den sammanlagda tiden för utrymningen beräknas med ekvation (7) och resultatet blir en total utrymningstid på 8 minuter. Med modifiering av beslut- och reaktionstiden utifrån varje scenario, enligt avsnitt 6.4, kan den totala utrymningstiden kortas och hamnar kring 6 minuter.

6.3 Simulering av utrymning av bostäder

Enligt Österlid (2006) är det främst äldre människor som är bosatta i lägenheterna vilket också iaktogs vid studiebesöket, se Figur 6.1.

Troligt antal boende per lägenhet är en till två personer, men då värsta troliga fall önskas studeras antogs det vara fem personer i varje lägenhet. Utrymning simulerades för sammanlagt 75 personer. I SIMULEX har lägenheter och loftgång på plan två länkats ihop med trapphus som enbart har portar i nedre plan, se bilaga 4 Figur 4.2. Den utrymningsväg som var blockerad vid studiebesöket har inte använts vid simuleringarna. Vid simuleringen används kategorin ”Elderly” som består av:

- 100% äldre med $v = 0,8 \pm 0,3$ m/s.

Evakueringstiden beräknas till knappt 2 minuter.

Tiden för varseblivning samt reaktion och beslut är i detta scenario en avgörande faktor. Det existerar inget automatiskt brandlarm i bostäderna och det är föga troligt att köpcentrets utrymningslarm hörs i lägenheterna. Möjligtvis kan det i den södra delen uppfattas då

ljudnivån där är något högre än i norra delen, men med tanke på att äldre kan ha nedsatt hörsel antas att så inte är fallet.

Slutsatsen är att utrymning från bostad troligen ej kommer att påbörjas.



Figur 6.1 Rollator utanför lägenhet i loftgången.

6.4 Känslighetsanalys av utrymning

Vid simulering av utrymning studerades ett antal scenarier där olika entréer blockerades. Vid relativt låg persontäthet, 600 personer, med alla entréer tillgängliga fås en evakuerings tid på knappt 2 minuter. När norra entrén blockerades ökar tiden till 3 minuter. Blockering av övriga entréer hade endast marginell effekt på evakuerings tiden.

Personantalet varierades sedan mellan 600-2000 personer. Om antalet sätts till 900 personer blir tiden 2,5 minuter med alla entréer öppna, och 4 minuter när norra entrén blockerades. Höjs persontätheten till 1200 personer blir motsvarande tider knappt 3 minuter respektive 4,5 minuter, se bilaga 4. Då 1500 respektive 2000 personer placeras ut blir tiden 3,5 minuter respektive 4 minuter då alla entréer är öppna.

Dessa resultat visar att evakuerings tiden påverkas markant oavsett personantal då den norra entrén blockerades.

Skillnaden i evakuerings tid för de olika personantalen antas inte göra så stor skillnad i verkligheten. Val av varseblivningstid samt reaktions- och beslutstid har större inverkan på slutresultatet.

Den antagna varseblivningstiden 1,5 minuter är osäker. Eftersom det idag inte finns ett gemensamt brand-/utrymningslarm för hela gatan skulle den kunna vara för kort. En brand skulle kunna inträffa i norra delen av gatan och brandlarmet aktiveras där, men inte i den södra delen. Tiden skulle också kunna tänkas vara för lång eftersom personer som upptäcker branden tidigt kan tänkas uppmärksamma övriga personer i byggnaden. Detta kan dock ej förutsättas.

Besluts- och reaktionstiden är satt till 3,5 minuter, detta kan tyckas som en lång tid eftersom kritiska förhållanden i glasgatan uppstår efter 2 minuter i vissa scenarier. Därför anpassas besluts- och reaktionstiden så att när kritiska förhållanden uppstår i gatan påbörjas evakueringen även om den schablonmässiga tiden för varseblivning och beslut/reaktion är längre.

Utrymningstider för butiker redovisas i Tabell 6.1.

Tabell 6.1 Sammanställning av utrymningstider.

Scenario	Varseblivningstid [min]	Besluts- och reaktionstid [min]	Evakueringstid [min]	Total utrymningstid [min]
Klädbutik sprinklad	1,5	1,5	3	6
Klädbutik osprinklad	1,5	1,5	3	6
Leksaksbutik M	1,5	3,5	3	8
Leksaksbutik F	1,5	1,5	3	6
Leksaksbutik UF	1,5	1	3	5,5
Väskbutik M	1,5	3,5	3	8
Väskbutik F	1,5	1,5	3	6
Väskbutik UF	1,5	1	3	5,5

För de boende i glasgatan skulle en utrymningssituation idag få osäker utgång.

Utrymningslarmet hörs ej i lägenheterna och de boende kan ej förutsättas påbörja en utrymning. Dessutom påträffades en blockerad utrymningssväg vid studiebesöket vilken i en verklig situation skulle kunna fånga utrymmande personer på loftgången utan möjlighet till utrymning.

Samtliga lägenheter är försedda med balkong som kan användas som alternativ utrymningssväg för de boende med hjälp av räddningstjänstens stegutrustning. Särskilt för de lägenheter som angränsar till ett brandutrymme är detta aktuellt då koncentrationen av brandgaser troligtvis kommer att vara hög i de delarna av gatan vid en brand. För att de boende ska avvakta räddningstjänstens ankomst till platsen innan utrymning påbörjas behövs troligen i förhand utarbetad information. Att uppmana boende att stanna kvar i sina lägenheter kan dock vara riskfyllt med tanke på att väggarna mot glasgatan ej är brandtekniskt klassade och därmed ej kan förväntas motverka spridning av brand och brandgaser in i lägenheterna.

7 Resultat och slutsats

Sammanställning av resultaten från handberäkningar och simuleringar av brandförlopp och utrymning redovisas i Tabell 7.1.

Tabell 7.1 Sammanställning av resultat.

Scenario	Varseblivningstid [min]	Besluts- och reaktionstid [min]	Evakueringstid [min]	Total utrymningstid [min]	Tid till kritiska förhållanden i glasgatan [min]
Klädbutik sprinklad	1,5	1,5	3	6	3 - 5
Klädbutik osprinklad	1,5	1,5	3	6	3 - 5
Leksaksbutik	1,5	1,5	3	6	3 - 5
Väskbutik	1,5	1,5	3	6	3 - 4
Bostad	-	-	2	-	3 - 4

Efter analys av dessa resultat har konstaterats att scenariot med brand i väskbutiken ger kortast tid till kritiska förhållanden i glasgatan. Detta scenario används därför som dimensionerande. Slutsatsen blir därför att säker utrymning av glasgatan och anslutande lokaler troligen inte hinner genomföras innan kritiska förhållanden uppstår.

8 Förslag till åtgärder

Följande åtgärder, vilka återges i prioriteringsordning, skall genomföras för att uppnå säkra förhållanden.

8.1 Brandgasventilation med mekanisk frånluft

För att klara en utrymning krävs det att tiden till det att kritiska förhållanden uppstår förlängs. Nuvarande takfönster ger inte den nödvändiga ventilation som krävs för detta. Installation av mekanisk brandgasventilation (undertrycksventilation i taknivå) med erforderlig kapacitet är en förutsättning för att utrymning ska kunna genomföras innan kritiska förhållanden uppstår. Ventilationen ska utformas på ett sådant sätt att en minsta siktsträcka om 10 m upprätthålls under minst 10 minuter.

Mekanisk brandgasventilation *skall* installeras i glasgatan.

8.2 Gemensamt utrymningslarm

Glasgatan med butiker består av en enda brandcell. Den norra och den södra delen av glasgatan sammanlänkas numera med ett inbyggt torg. Det finns inga väggar eller dörrar som skiljer gatorna åt varför brandgasspridning häremellan är ett faktum. Det finns inget som motiverar de idag två separata utrymningslarmen i norra respektive södra gatan. Börjar det brinna i den södra delen av gatan kommer brandgasspridning att ske till den norra delen av gatan varför även denna måste utrymmas. Detta kan inte säkerställas med separata utrymningslarm. Dessutom måste larmet kunna uppfattas även i källarlokal vilket inte är fallet idag. Därigenom begränsas varseblivningstiden i alla lokaler vilket påskyndar utrymningsförloppet.

Ett gemensamt utrymningslarm som hörs i samtliga utrymmen *skall* installeras.

8.3 Utbildning och rutiner

Personalens agerande vid brand eller brandlarm har stor påverkan på utrymningsförloppet. Ett riktigt handlande gör att utrymningen påbörjas tidigt, vilket leder till att reaktions- och beslutstiden kortas avsevärt. Besökarna leds till den närmaste utrymningsvägen som annars kanske inte skulle användas. Personalens möjlighet att i ett första läge slå ner branden med handbrandsläckare ökar med utbildning.

För att försäkra sig om ett korrekt agerande från personalens sida krävs ett antal åtgärder. Fastighetsägaren har det oundvikliga ansvaret för att helheten av dessa åtgärder genomförs. Rutiner för hur utrymning ska genomföras måste tas fram och dokumenteras. Vidare krävs att all personal får regelbunden utbildning i genomförande av utrymning och förstainsats med handbrandsläckare. Utrymningsövningar med alla berörda verksamheter måste också genomföras regelbundet.

En organisation för rutiner, utbildning och övningar *skall* införas.

8.4 Sprinkler i alla utrymmen

Idag är vissa butikslokaler längs glasgatan sprinklade och andra inte. Detta medför att en fullt utvecklad brand i en osprinklad lokal vid spridning till en angränsande sprinklad lokal troligen blir större än vad sprinklersystemet är dimensionerat för. Enligt SBF 120 skall samtliga lokaler inom samma brandcell sprinklas fullständigt.

Trots att sprinkleraktivering inte gör någon skillnad för utrymningen vid sprinklat respektive osprinklat scenario i klädbutiken så kan ändå klara skillnader mellan fallen konstateras som motiverar installation av sprinklersystem i de butiker där det inte redan finns. Istället för att fortsätta accelerera längs fast-kurvan stabiliserar sig effektutvecklingen på 1,4 MW vid sprinklat scenario enligt avsnitt 3.3.3. Trots att detta är en grov uppskattning av hur ett verkligt brandförlopp skulle se ut så är det tydligt att då sprinklersystem aktiveras kommer effektutvecklingen, och därmed brandgasproduktionen och brandspridningen, att begränsas. I bästa fall släcks branden av sprinklers i ett tidigt skede.

Sprinkler *skall* därför installeras i alla lokaler.

8.5 Minskning av antalet onödiga larm

Ett relativt stort antal onödiga brandlarm har tidigare inträffat vilka aktiverat utrymningslarmet i glasgatan. Detta minskar personalens vilja att påbörja en utrymning vid larm. Vissa åtgärder har vidtagits för att undvika onödiga larm. För att de föreslagna åtgärderna om utbildning ska ge full effekt krävs det att personalen litar på brandlarmet och dess funktion.

En fullständig teknisk översyn av brandlarmet *skall* utföras.

8.6 Utrymningslarm med talat meddelande

De befintliga signalerna för utrymning (ringklocka respektive sirén) ger ingen information till besökare i lokalerna om vad som har hänt och vad de ska göra. De kan även lätt förväxlas med andra ljudsignaler. Detta leder till att tiden innan personerna börjar förflytta sig ut ur butikerna och glasgatan ökar.

Om signal för utrymning sker med ett informativt talat meddelande sänks besluts- och reaktionstiden med ca 2,5 minuter jämfört med ringklocka. Meddelandet ska läsas upp på både på svenska och engelska samt utformas enligt Boverket (2006).

Ett utrymningslarm med informativt talat meddelande *skall* installeras.

9 Referenser

- Abrahamsson, M., *Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler*, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 1997.
- BBR, *Boverkets byggregler*, BFS 2006:12, Karlskrona, 2006.
- Boverket, *Utrymningsdimensionering*, Rapport februari 2006, Boverket, Karlskrona, 2006.
- Fire Code Reform Centre Limited, *Fire Engineering Guidelines (first edition)*, Standards Australia, Strathfield, 1996.
- Frantzich, H., *Användarmanual till Simulex ver 1.1*, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 1997.
- Gojkovic, D., Föreläsning om CFAST 2006-09-20, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2006.
- Hultquist, H., *Simulating visibility in HAZARD I / CFAST*, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2000.
- Ingason, H. & Arvidson, M., *Samtidig användning av sprinkler och brandgasventilation*, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås, 2001.
- ISO, *ISO WD 1330 Subsystem 1: Initiation and development of fire and fire effluents*, Berlin, 1995.
- Johansson, B., *Analys av utrymnings säkerheten vid brand hos nattklubben Underbar i Skellefteå*, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2004.
- Jönsson, R., Frantzich, H., Karlsson, B., Magnusson, S. E., Ondrus, J., Pettersson, O., Bengtsson, S., Osterling, T., Thor, J., *Brandskydd Teori & praktik*, Brandskyddslaget, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 1994.
- Karlsson, B. & Quintiere, J., *Enclosure fire dynamics*, CRC Press, Boca Raton, 2000.
- Leveau, E., brandingenjör, Stenungsunds Räddningstjänst, personlig kommunikation, september-november 2006.
- Lag om skydd mot olyckor, (SFS 2003:778).
- NFPA, *NFPA 92B Smoke management systems in malls, atria, and large areas*, Quincy, 1991.
- Nilsson, D. & Holmstedt, G., *Kompendium i aktiva system – detektion*, Brandteknik, LTH, Lund, 2006.
- NIST, <<http://www.fire.nist.gov>>.
- Nystedt, F., *Föreläsningmaterial: Brandscenarier och dimensionerande bränder 2006-09-20*, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2006.
- Räddningsverket. (2004) *Dödsbrandstatistik 2004* (Elektronisk). Tillgänglig på internet: <http://www.raddningsverket.se/templates/SRV_Page____13776.aspx> [Hämtad 2006-11-13].
- Räddningsverket. (2005a) *Dödsbränder 2005* (Elektronisk). Tillgänglig på internet: <http://www.raddningsverket.se/Templates/SRV_FileListing____2264.aspx> [Hämtad 2006-11-13].

- Räddningsverket. (2005b) *Statistikdatabaser* (Elektronisk). Tillgänglig på internet: <http://www.srv.se/templates/SRV_ExternalPage____1098.aspx> [Hämtad 2006-11-13].
- SBF 120, *Regler för automatisk vattensprinkleranläggning*, Svenska Brandförsvarsföreningen, Stockholm 2001.
- SFPE, *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (3rd edition)*, Quincy, Massachusetts, National Fire Protection Association, 2002.
- Stenungstorg, Tillgänglig på internet: <<http://www.stenungstorg.se>> [Hämtad 2006-11-13].
- Österlid, A., fastighetsförvaltare, Stenungs Torg Fastighets AB, personlig kommunikation, september 2006.

Bilaga 1 Beteckningar

Beteckning	Enhet	Beskrivning
A_o	m^2	öppningsarea
A_T	m^2	total area för rummets omslutningsytor exklusive öppningar
$A_{tvärsnitt}$	m^2	rummets tvärsnittsarea
c	kJ/kgK	värmekapacitivet
c_p	kJ/kgK	värmekapacitivet för gas vid konstant tryck
D_o	m^2/g	rökpotential
D_L	m^{-1}	optisk densitet per meter
g	m/s^2	gravitationskonstanten
H	m	rummets höjd
H_D	m	brandgaslagrets höjd
H_o	m	öppningens höjd
h_k	$\text{kW/m}^2\text{K}$	värmeövergångskoefficient
k	W/mK	konduktivitet
L	m	längd
m_f	kg	massa bränsle
\dot{m}_f	kg/s	massflöde bränsle
\dot{m}_{bg}	kg/s	massflöde brandgaser
Q	kJ	energi
\dot{Q}	kW	effektutveckling
\dot{Q}_c	kW	konvektiv effektutveckling
RTI	$(m/s)^{1/2}$	Response Time Index
T_0	K	utgångstemperatur
T_d	K	aktiveringstemperatur
T_g	K	brandgastemperatur
T_∞	K	omgivningstemperatur
t	s	tid
$t_{70^\circ\text{C}}$	s	tid för uppvärmning av brandgaserna till 70°C
t_{akt}	s	beräknad tid till sprinkleraktivering

t_e	s	evakueringstid
t_{fyll}	s	fyllnadstid av torrörssystem
t_p	s	termisk penetrationstid
t_r	s	besluts- och reaktionstid
t_u	s	utrymningstid
t_v	s	varseblivningstid
t_{krit}	s	tid till kritiska förhållanden
u_0	m/s	brandgasernas hastighet
V	m ³	rummets volym
$V_{sikt=10m}$	m ³	volym i vilken en sikt på 10 m råder
v	m/s	brandgasernas hastighet
W	m	rummets bredd
z	m	höjd över golv
z_0	m	virtuell plymkällas höjd över golv
α	kW/s ²	tillväxtkonstant
α	m ² /s	termisk diffusivitet
χ	-	förbränningseffektivitet
ΔH_c	kJ/kg	förbränningsentalpi
ΔT	K	temperaturskillnad
δ	m	tjocklek
ρ	kg/m ³	densitet
ρ_∞	kg/m ³	densitet för omgivande luft

Bilaga 2 Brandgasspridning till glasgatan

För att kunna uppskatta om brandgaserna kan antas skiktas eller omblandas i glasgatan, samt vid vilken tidpunkt kritiska förhållanden för utrymning kan uppstå, studerades följande:

- sikttnedsättning vid omblandade förhållanden baserat på simuleringar med CFAST,
- sikttnedsättning vid omblandade förhållanden baserat på handberäkningar,
- sannolikheten för sprinkleraktivering,
- brandgaslagerhöjd, strålning och temperatur vid skiktade förhållanden samt
- nödvändig effektutveckling för att skiktade förhållanden ska uppstå.

B2.1 Sikttnedsättning vid omblandade förhållanden - CFAST

Med hänsyn till glasgatan komplexa geometrier kommer brandgasspridning i denna också att bli komplex. Geometrin uppfyller inte kraven för användning av en tvåzonsmodell och brandgasspridning kan därför inte simuleras. Genom att, i de valda scenarierna, skapa ett teoretiskt rum utanför brandrummet kan brandgaserna ”samlas upp”. Volymen för brandgaserna kan sedan appliceras i glasgatan och utifrån detta kan tiden till kritiska förhållanden räknas fram.

Det finns en funktion i CFAST där sikt kan simuleras. Som indata anges massförhållandet mellan väte och kol i bränslet (H/C) samt massförhållande mellan kol och koldioxid i förbränningsprodukterna (C/CO₂). Hultquist (2000) presenterar i sin rapport tre olika värden på dessa för tre olika bränslen; polyester, propan och trä. Jämförelser har gjorts med försök och de simulerade siktvärdena korrelerade bra med försöken.

Sämst siktförhållanden erhålls med polyester som är ett plastmaterial. Detta representerar våra scenarier bra, då vi har stora mängder kläder och leksaker som bränsle, samtidigt som det är ett konservativt antagande. Geometrierna på butikerna ställdes upp i CFAST med en stor volym utanför där brandgaserna samlas upp. Med hjälp av volymen på brandgaserna och sikten i brandgaslaget beräknas en volym där sikten är 10 meter. Denna volym divideras med tvärsnittsarean och en fiktiv sträcka där brandgasfronten rör sig genom gatan erhålls. Denna jämförs med handberäkningarna på sikttnedsättning.

Resultaten redovisas i Figur 2.1 - Figur 2.10.

B2.2 Sikttnedsättning vid omblandade förhållanden - Handberäkningar

Sikten i ett brandrum med omblandade förhållanden kan beräknas med (Nilsson & Holmstedt, 2006)

$$(8) \quad D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m_f} = \frac{\ln 10}{L} \cdot \frac{V}{m_f}$$

vilken antar att brandgaserna hela tiden är väl omblandade i hela rummets volym. I en långsträckt lokal som glasgatan kommer brandgaserna successivt att sprida sig i alla riktningar från brandrummets öppningar. Detta medför att koncentration av brandgaser

kommer att vara störst närmast brandrummet och avta med ökande avstånd. Med tiden kommer brandgaserna att sprida sig längre i glasgatan samtidigt som mer brandgaser tillförs från brandrummet. Under det inledande förloppet kan det därför ej antas råda fullständigt omblandade förhållanden sett över hela glasgatans längd. Ett område med kritiska förhållanden kommer först uppstå närmast brandrummet för att med tiden öka i storlek. För att uppskatta i hur stor del av glasgatan som kritiska förhållanden råder över tiden görs följande antaganden.

1. Brandgaserna antas vid utflöde i glasgatan momentant omblandas fullständigt inom en sökt volym med tio meters sikt.
2. Stationära förhållanden antas råda i brandrummet från den tidpunkt t_L då brandgaser börjar strömma ut i gatan.
3. Förbränningsprodukterna från den förbrända massan m_f från tiden t_L antas helt bidra till siktnefsättningen i gatan utan några förluster under transporten genom brandrummet.

Massflödet bränsle vid en viss effektutveckling beräknas med (Karlsson & Quintiere, 2000):

$$(9) \quad \dot{Q} = \dot{m}_f \cdot \Delta H_c \cdot \chi$$

Genom att kombinera denna med ekvation (3) kan massflödet beräknas vid en viss tidpunkt:

$$(10) \quad \dot{m}_f = \frac{\alpha \cdot t^2}{\Delta H_c \cdot \chi}$$

Integration av (10) från tiden t_L till t ger massan förbränt bränsle som har bidragit till siktnefsättningen i glasgatan:

$$(11) \quad m_f = \int_{t_L}^t \dot{m}_f dt = \int_{t_L}^t \frac{\alpha \cdot t^2}{\Delta H_c \cdot \chi} dt = \frac{\alpha \cdot (t^3 - t_L^3)}{\Delta H_c \cdot \chi \cdot 3}$$

Om denna massa sätts in i ekvation (8) kan volymen med 10 meter sikt beräknas:

$$(12) \quad V = \frac{D_0 \cdot L \cdot \alpha \cdot (t^3 - t_L^3)}{\ln 10 \cdot \Delta H_c \cdot \chi \cdot 3}$$

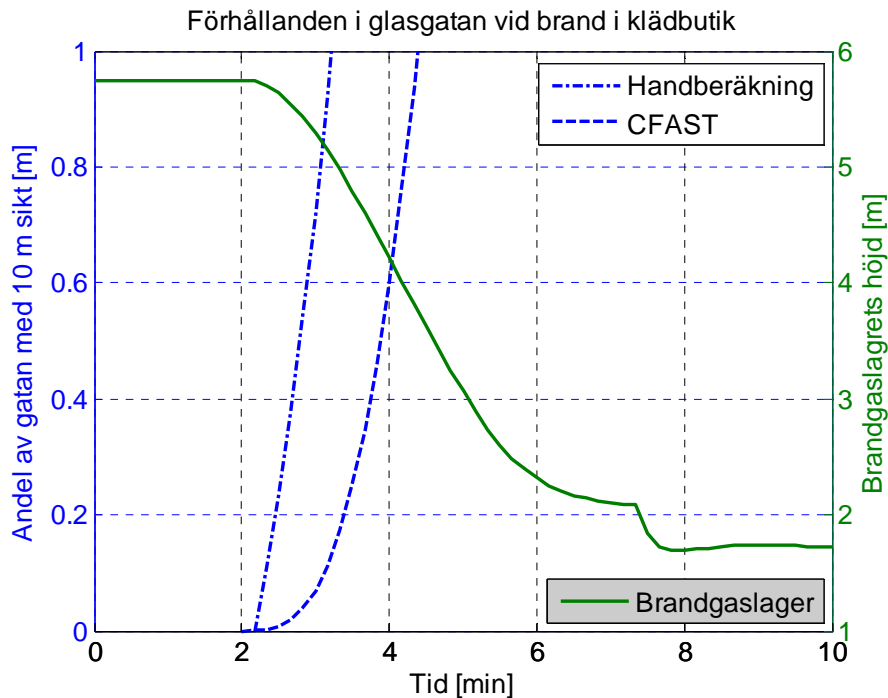
Genom att dividera volymen med glasgatans tvärsnittsarea erhålls den sträcka av glasgatan i vilken det råder 10 meter sikt:

$$(13) \quad s_{sikt=10m} = \frac{V}{A_{tvärsnitt}}$$

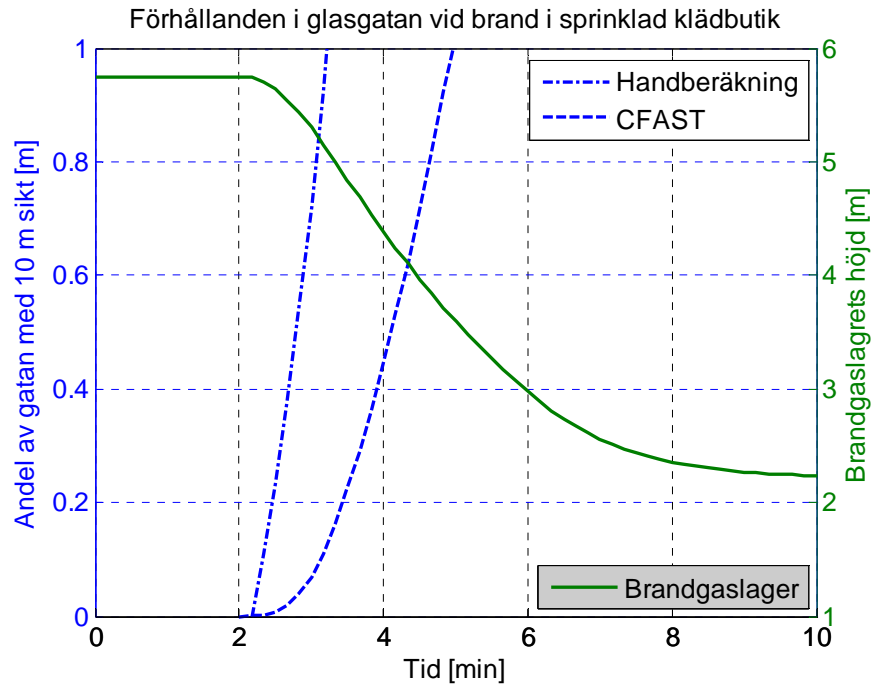
Simuleringarna i CFAST för de undersökta scenarierna gav uppskattningar av när brandgaser börjar strömma ut i glasgatan, vilket sattes till t_L . Rökpotentialen varierar med olika bränslen. Olika exempel på rökpotential är fast PVC med $D_0 = 0,39 \text{ m}^2/\text{g}$, fast PUR med $D_0 = 0,97 \text{ m}^2/\text{g}$ samt spånskiva med $D_0 = 0,085 \text{ m}^2/\text{g}$ (Nilsson & Holmstedt, 2006). I butikerna finns en mängd olika material. I såväl inredning som flertalet produkter ingår olika plastmaterial. Vid beräkningarna används värdet för fast PVC då detta antas utgöra ett representativt medelvärde.

För övriga värden användes: $L = 10 \text{ m}$, $\chi = 0,7$ samt ΔH_c och α enligt respektive scenario. Gatans geometri ger $A_{\text{tvärsnitt}} = 40 \text{ m}^2$. Den erhållna sträckan redovisas i Figur 2.1 - Figur 2.10 som den andel av gatans totala längd (190 m) i vilken en sikt på 10 meter råder.

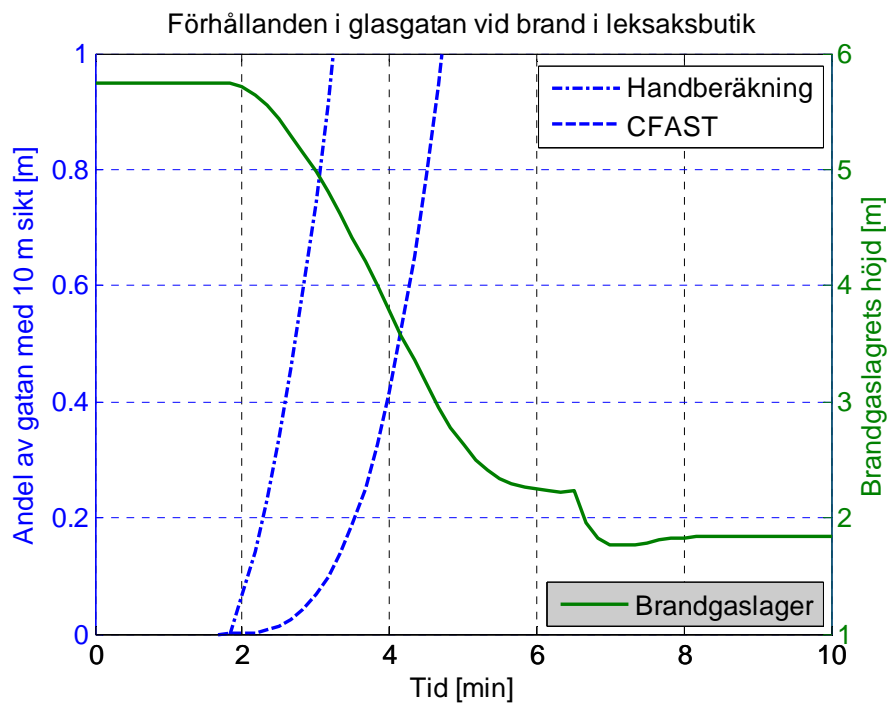
Resultatet är starkt konservativt eftersom det första antagandet leder till en överskattning av volymen med kritisk sikt. I det verkliga fallet kommer den högre koncentrationen av brandgaser närmast brandrummets öppning att leda till en mindre volym med kritisk sikt. Det andra antagandet ger en överskattning av mängden partiklar som lämnar brandrummet. Förluster kommer att ske under transporten genom brandrummet till glasgatan bland annat i form av avsättning på ytor och till brandgaslagret i brandrummet.



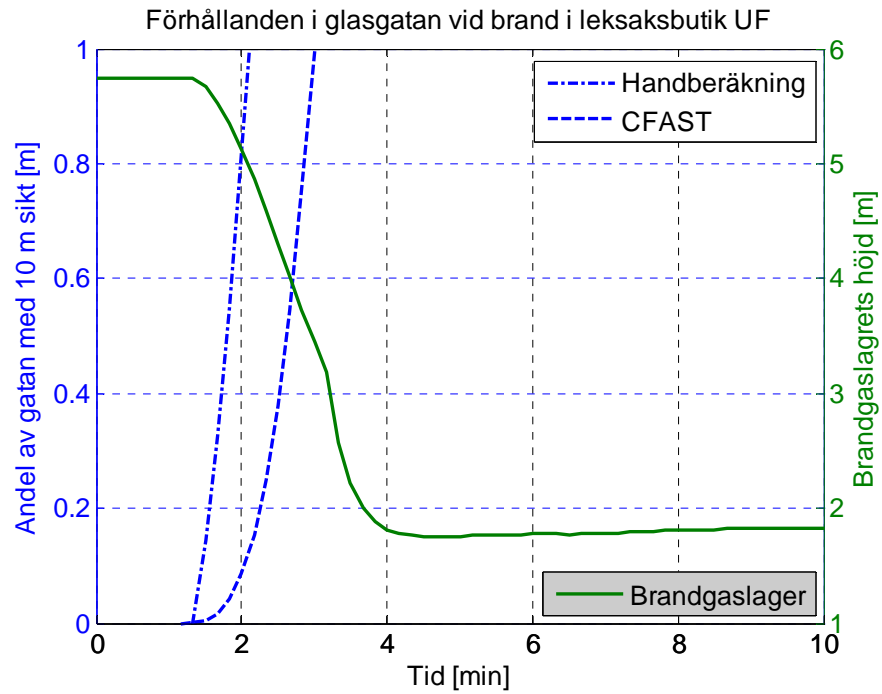
Figur 2.1 Osprinklad klädbutik



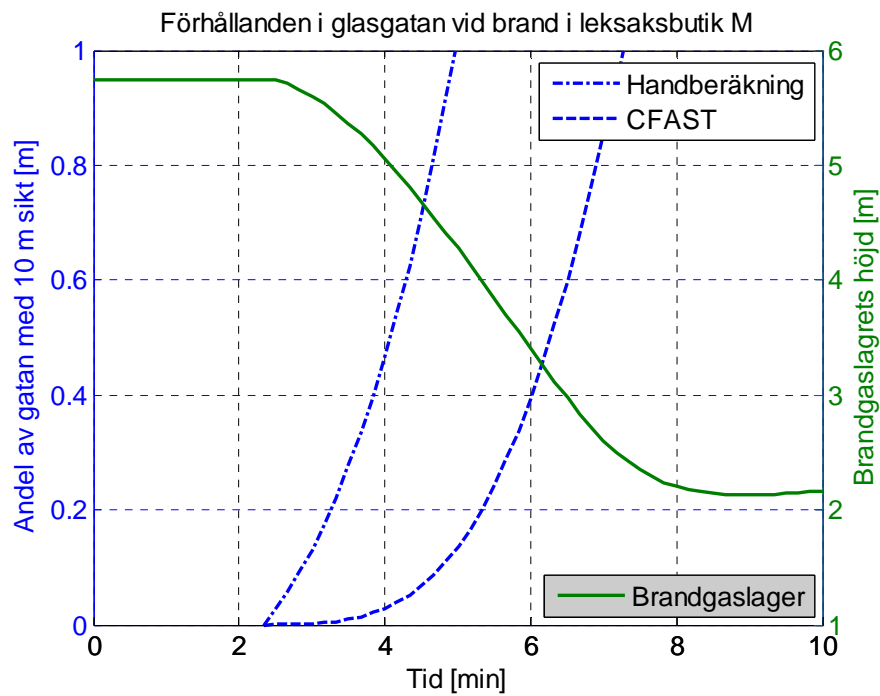
Figur 2.2 Sprinklad klädbutik



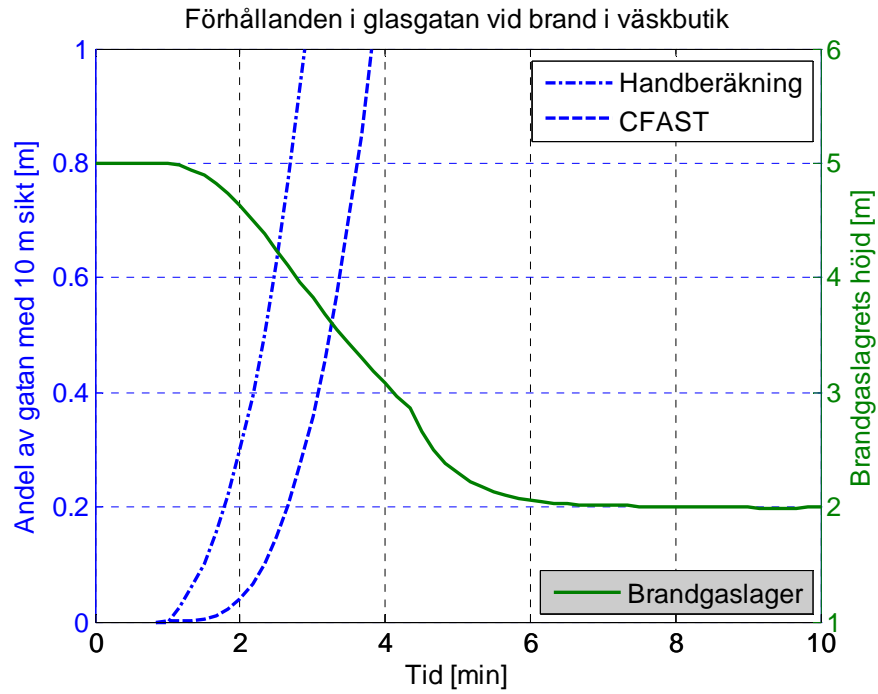
Figur 2.3 Leksaksbutik



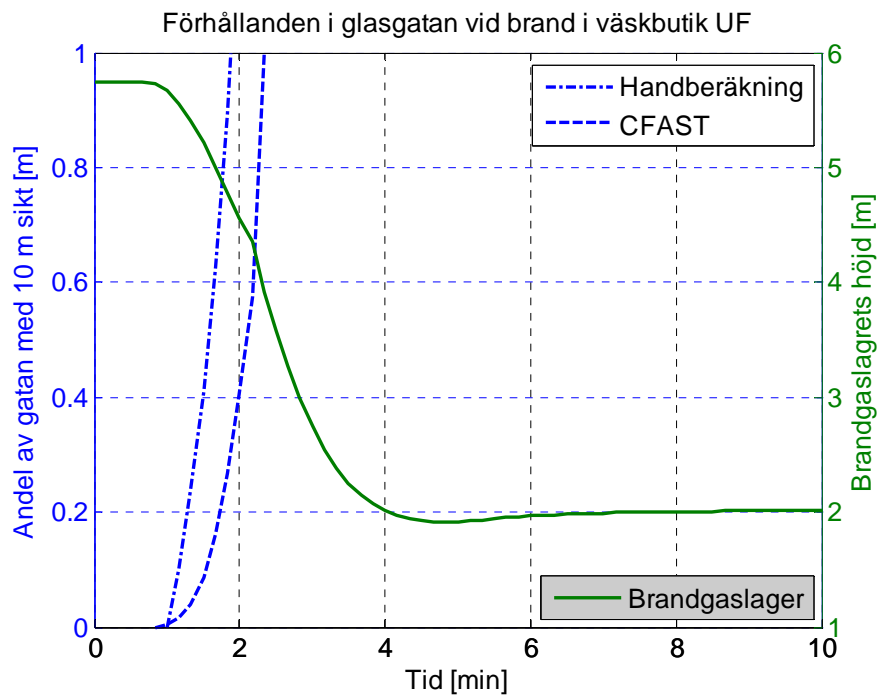
Figur 2.4 Leksaksbutik – ultrafast effektutveckling



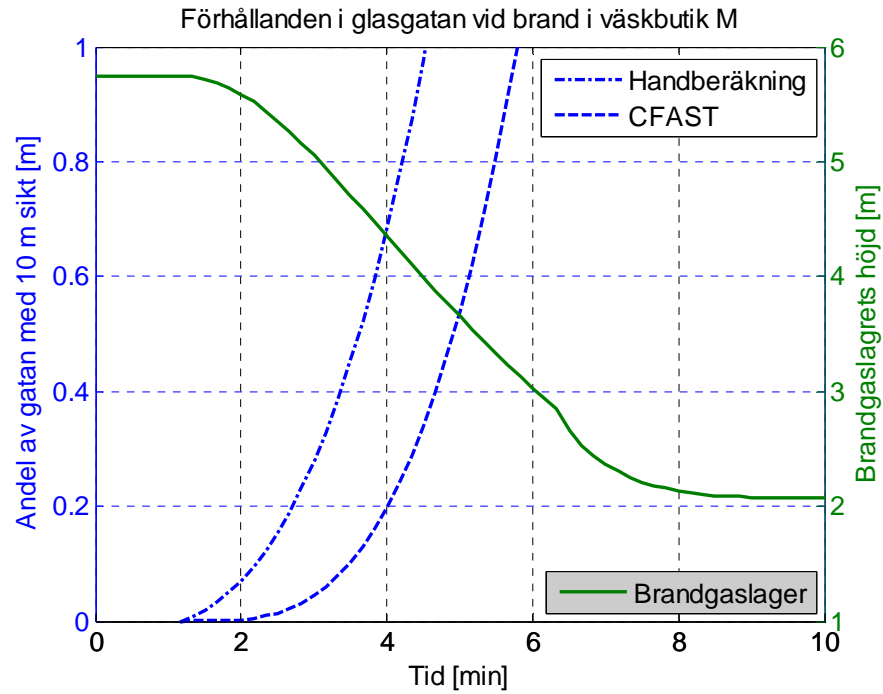
Figur 2.5 Leksaksbutik – medium effektutveckling



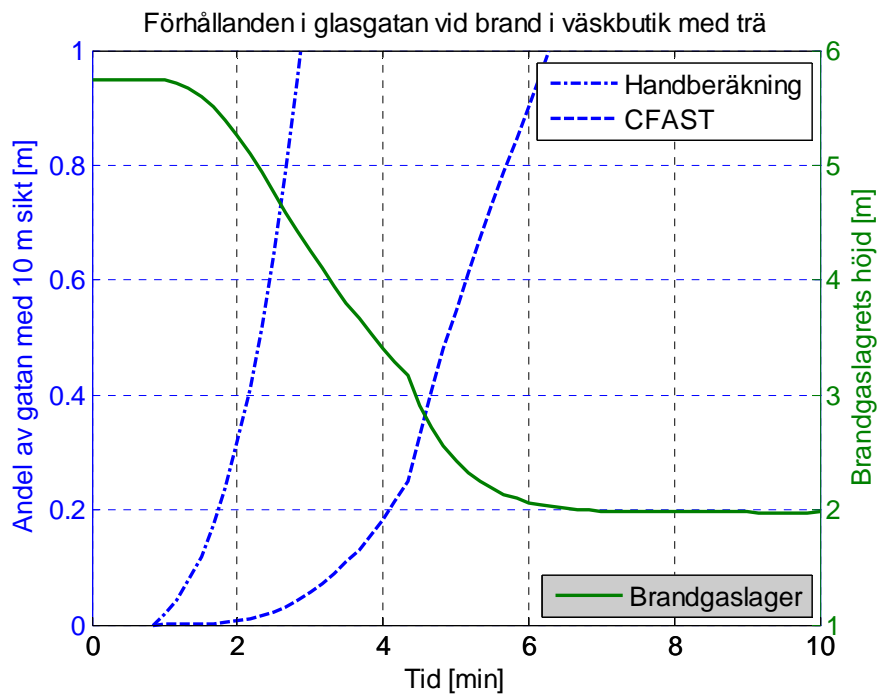
Figur 2.6 Väskbutik



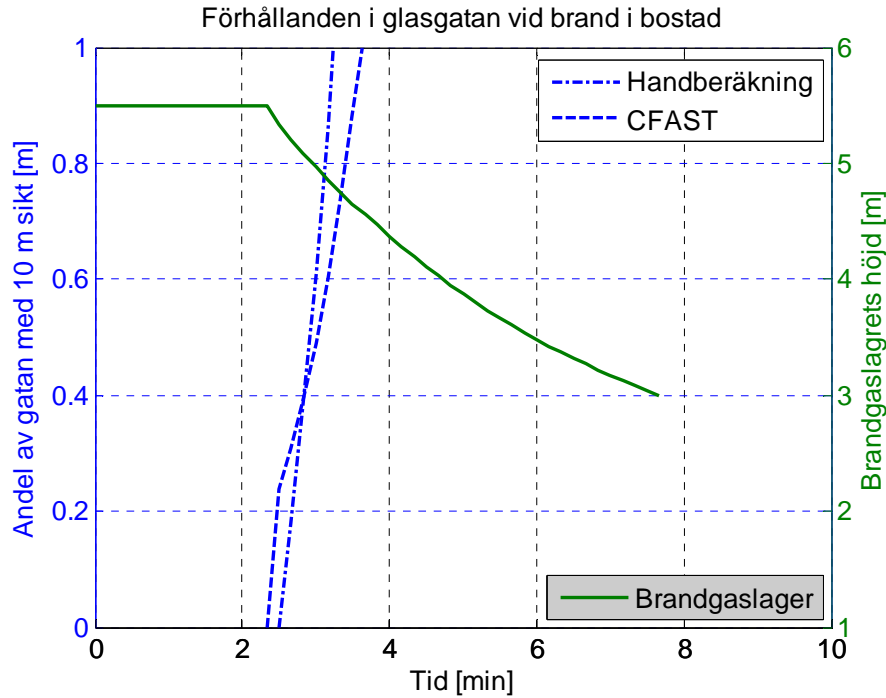
Figur 2.7 Väskbutik – ultrafast effektutveckling



Figur 2.8 Väskbutik – medium effektutveckling



Figur 2.9 Väskbutik – sikttnedsättningssimulering i CFAST med värden för trä jämfört med handberäkningskurvan från Figur 2.6.



Figur 2.10 Bostad

B2.3 Sannolikheten för sprinkleraktivering

För resonemang och beräkningar i denna del gäller genomgående att ett *konservativt antagande* är ett antagande som förväntas öka tiden till sprinkleraktivering. Dessa antaganden görs för att kunna ta fram en tid som sprinklern med stor säkerhet kommer att ha aktiverats inom.

Beräkningar har genomförts av scenarierna med brand i väskbutiken, leksaksbutiken och sprinklad klädbutik. Tiderna som tas fram antas vara representativa även för övriga scenarier.

Tider till utlösning för sprinkler i glasgatan beräknas enligt Nilsson & Holmstedt (2006):

$$(14) \quad t = \frac{-RTI \cdot \ln\left(\frac{T_g - T_d}{T_g - T_0}\right)}{v^{1/2}}$$

En rad antaganden har gjorts för att denna ekvation skall kunna tillämpas:

1. endast konvektiv värmeöverföring behandlas,
2. brandgasernas hastighet antas vara konstant,
3. brandgasernas temperatur antas vara konstant samt
4. inga värmeförluster sker genom ledning till infästning av sprinkler.

Brandgasernas hastighet i plymen antas vid beräkningarna vara konstant. I verkligheten är den inte konstant. Den varierar bland annat beroende på vilken höjd i plymen man mäter, och med plymens temperatur, som i sin tur varierar med tiden.

Enligt Heskestads plymmodell (Karlsson & Quintiere, 2000) kan hastigheten längs plymens centrumlinje u_0 beräknas vid en given höjd och effekt enligt:

$$(15) \quad u_0 = 3,4 \left(\frac{g}{c_p T_\infty \rho_\infty} \right)^{1/3} \dot{Q}_c^{1/3} (z - z_0)^{-1/3}$$

Temperaturskillnaden mellan brandgaser och omgivande luft kan beräknas och T_g ges därmed av:

$$(16) \quad T_g = 9,1 \left(\frac{T_\infty}{g c_p^2 \rho_\infty^2} \right)^{1/3} \dot{Q}_c^{2/3} (z - z_0)^{-5/3}$$

Heskestads modell är en stark plymmodell. Modellen tar hänsyn till variation av hastighet och temperatur längs plymens horisontella tvärsnitt. Dessutom tas hänsyn till densitetsskillnader mellan luft och brandgaser.

Vid jämförelser med andra plymmodeller, t ex McCaffreys, tenderar Heskestads ekvationer att underskatta hastighet och temperatur i plymen (Karlsson et al, 2000). Detta bidrar till ett ännu mer konservativt resultat för beräkningar av tid till sprinkleraktivering i glasgatan.

För att ta fram en effektutveckling görs antagandena att utflödet ur brandrummet sker utan förluster och att brandgaserna håller den temperatur som råder i det övre brandgaslagret i brandrummet. Då kan den effekt som tillförs glasgatan beräknas med hjälp av

$$(17) \quad \dot{Q} = \dot{m}_{bg} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Simuleringarna i CFAST ger uppskattningar av massflödet brandgaser, \dot{m}_{bg} , till glasgatan. Effekt enligt (17) kommer att användas vid beräkningarna.

Vid beräkningar av aktiveringstiden används egenskaper för luft enligt:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$T_\infty = 293 \text{ K}$$

$$\rho_\infty = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$c_p = 1,0 \text{ kJ/(kgK)}$$

Känselementets utgångstemperatur T_0 i (14) sätts till 20°C. Man kan ifrågasätta hur rimligt detta val av temperatur är, i synnerhet vid fallet med sprinklad klädbutik och väskbutiken. I dessa fall sitter sprinklerhuvudet placerat vid 8 meters takhöjd under glastaket. Då solen står på kommer luft under glastaket att värmas upp, och till följd av takets lutning kommer den varma luften att stiga och ansamlas, troligtvis i nivå med sprinklerhuvudets placering.

Vid studiebesöket på objektet noterades en förhöjd lufttemperatur i nivå med loftgängen, trots att takluckorna stod öppna.

En rimligare utgångstemperatur skulle troligen vara högre än 20°C, men beräkningar med lägre utgångstemperatur ger ett konservativt resultat eftersom det då tar längre tid för sprinklern att aktivera.

Beräkningar genomförs genomgående med brandgashastigheten $v = 1$ m/s. Vid beräkningar av plymhastigheten u_0 enligt Heskestads formel (15) fås värden mellan ca 1-10 m/s under de första 8 minuterna, och 1 m/s är därmed ett konservativt val som ger en längre tid till aktivering.

Givna värden för det befintliga sprinklersystemet i glasgatan är:

Response Time Index, $RTI = 100$ (ms)^{1/2}

Detektorns aktiveringstid, $T_d = 68^\circ\text{C}$

Tid för fyllning av torrörssystem är omkring 40 sekunder.

Den totala tiden från antändning till sprinkleraktivering ges enligt:

$$(18) \quad t_{tot} = t_{akt} + t_{fyll} + t_{70^\circ\text{C}}$$

där:

t_{akt} är beräknad tid till sprinkleraktivering enligt (14),

t_{fyll} är fyllnadstid av torrörssystem, ca 40 sekunder samt

$t_{70^\circ\text{C}}$ är tid för uppvärmning av brandgaserna till 70°C från antändning enligt (17) och (16), samt simuleringar i CFAST.

Att räkna på aktiveringstider för en konstant temperatur är konservativt men ej särskilt verklighetstroget. Att ta hänsyn till det transienta förlopp som fås vid ökande brandgastemperatur kräver dock modellering av brandförloppet i t ex CFD.

B2.3.1 Resultat leksaksbutiken

Utanför Leksaksbutiken sitter 3 sprinklerhuvuden nära öppningen (< 1 m). Brandgasernas avkylning antas därmed vara relativt liten och försumbar.

Brandgasernas hastighet 1 m/s är ett mycket konservativt antagande, troligtvis är hastigheterna högre i plymen, och dessutom ännu högre precis i dörröppningen.

Temperaturen i brandgaslagret inne i butiken är ca 60°C då brandgaserna börjar strömma ut i glasgatan enligt simuleringar i CFAST. Känslelementet i sprinklern börjar genast värmas upp och ännu ett konservativt antagande görs att brandgastemperaturen hålls konstant på 70°C. Detta stämmer ej eftersom brandgastemperaturen hela tiden ökar, men det ger vid beräkningar en längre tid till sprinkleraktivering och därmed kan konstateras att sprinklern med stor säkerhet har aktiverats inom denna tid.

Total tid till sprinkleraktivering från antändning enligt (18):

$t_{tot} \approx 7$ minuter 50 sekunder. ≈ 8 minuter

$$t_{akt} \approx 5 \text{ minuter } 20 \text{ s}$$

$$t_{fyll} \approx 40 \text{ s}$$

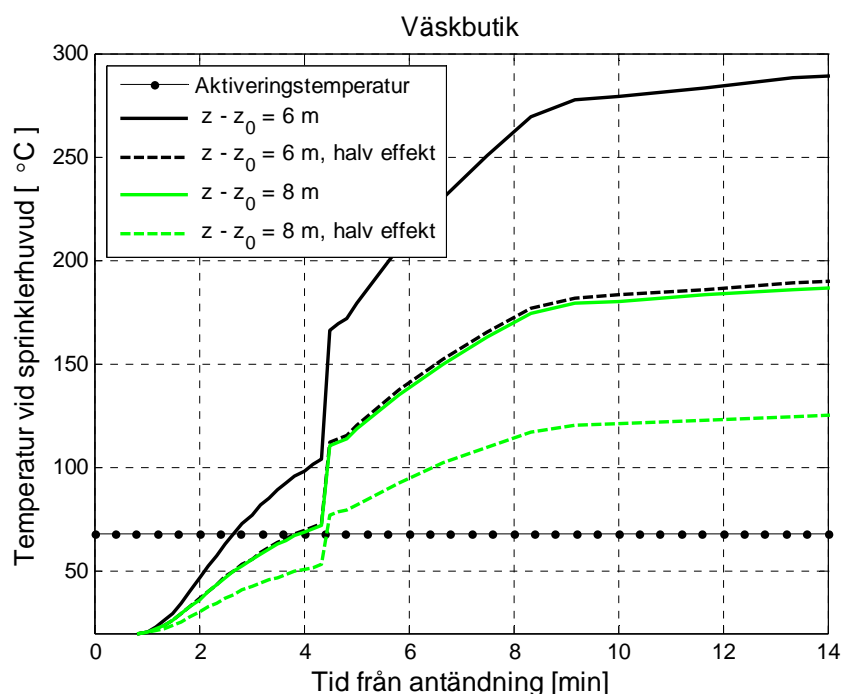
$$t_{70^\circ\text{C}} \approx 1 \text{ minuter } 50 \text{ s}$$

B2.3.2 Resultat väskbutiken och sprinklad klädbutik

Väskbutikens samt klädbutikens öppningar mynnar i den höga delen av gatan. Detta gör att brandgaserna till stor del kommer att kylas till följd av insug av kall luft innan de når sprinklerhuvudet som sitter placerat ca 6 meter ovanför öppningen.

För att uppskatta denna avkylning har Heskestads ekvation (16) för brandgasernas temperatur vid en viss höjd i en brandplym använts. De beräknade värdena är inte exakta eftersom en rad antaganden gjorts. De skall enbart ses som en indikation på vilken storleksordning avkylningen kan tänkas ha.

Beräkningarna för respektive fall redovisas grafiskt i Figur 2.11 och Figur 2.12.



Figur 2.11 Brandgasernas temperatur vid angiven effekt och höjd.

Figur 2.11 visar att för samtliga beräkningar för fallet med väskbutiken så nås sprinklernas aktiveringstemperatur inom 5 minuter från antändning. Värt att konstatera för samtliga fall är att temperaturen efter en viss tid antar ett närmast konstant värde. Detta beror på att temperaturerna är framtagna från massflödena ut genom öppningen från simuleringarna i CFAST som blir i det närmsta konstanta vid ventilationskontrollerad brand.

Vid konservativa beräkningar av sprinklernas aktiveringstid antas att brandgasernas temperatur inte ökar efter det att temperaturen nått 70°C och beräkningar sker med värden då $(z - z_0) = 8$ meter.

Total tid till sprinkleraktivering från antändning enligt (18):

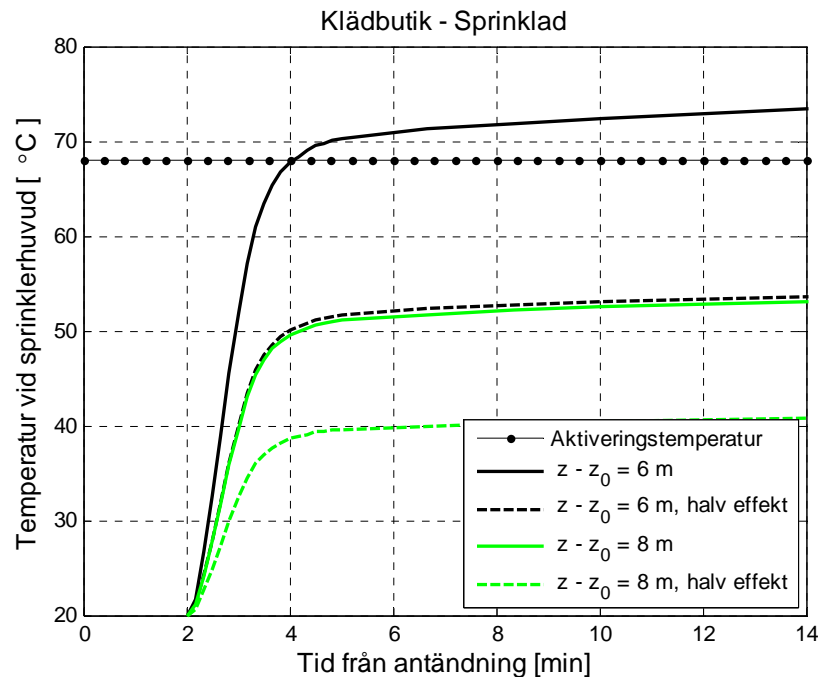
$$t_{tot} \approx 10 \text{ min } 10 \text{ s} \approx 10 \text{ min}$$

$$t_{akt} \approx 5 \text{ min } 20 \text{ s}$$

$$t_{fyll} \approx 40 \text{ s}$$

$$t_{70^{\circ}\text{C}} \approx 4 \text{ min } 10 \text{ s}$$

Slutsatsen som dras är att sprinklern rakt ovanför öppningen troligtvis kommer att aktivera inom denna tid. Därmed kommer kylningen av brandgaserna att öka och bidra till omblandade förhållande i glasgatan.



Figur 2.12 Brandgasernas temperatur vid angiven effekt och höjd.

Figur 2.12 visar hur temperaturerna i brandgaserna från klädbutiken varierar med tiden enligt Heskestad. För detta fall kan konstateras att $(z - z_0)$ är en kritisk parameter för om sprinklern aktiverar överhuvudtaget. Öppningen mellan klädbutiken och glasgatan är stor i förhållande till väskbutikens öppning och plymen kommer att vara bredare. Med det faktumet som utgångspunkt ges att $(z - z_0) = 8$ meter troligtvis är ett rimligare antagande än 6 meter, vilket endast är lika med avståndet mellan öppningens övre kant och sprinklerhuvudet.

Därmed är det möjligt att sprinklern inte kommer att aktiveras.

Då $(z - z_0) = 6$ meter används fås en högre temperatur. Vid konservativa beräkningar av aktiveringstiden hålls temperaturen konstant på 70°C för detta fall.

Total tid till sprinkleraktivering från antändning enligt (18):

$$t_{tot} \approx 10 \text{ minuter } 40 \text{ s} \approx 11 \text{ min}$$

$$t_{akt} \approx 5 \text{ min } 20 \text{ s}$$

$$t_{fyll} \approx 40 \text{ s}$$

$$t_{70^\circ\text{C}} \approx 4 \text{ minuter } 40 \text{ s}$$

Tiden till sprinkleraktivering är alltså drygt 10 minuter. Eftersom sprinkler aktiverar i brandutrymmet fås inga kraftiga temperaturökningar i brandgaserna som i annat fall skulle ha bidragit till en mycket snabbare aktivering.

Slutsatsen dras att sannolikheten för sprinkleraktivering i glasgatan vid scenariot sprinklad klädbutik är låg.

B2.3.3 Känslighetsanalys av tider till sprinkleraktivering i glasgatan

En svårighet med Heskestads plymekvation är att den baseras på ett antagande om en virtuell plymkälla z_0 . Plymkällans placering beror på effekten och bränslekällans area och kan anta såväl positiva som negativa värden från en referensnivå sett. Ingen area för bränslekällan finns angiven och för att försöka täcka in värden för denna punktkälla görs två olika beräkningar där $(z - z_0) = 6$ meter respektive $(z - z_0) = 8$ meter.

Den effekt som används vid beräkningarna är framtagen enligt (17) och begränsas därmed enligt de antaganden som angivits om adiabatiskt system. För att kontrollera vilka konsekvenser en lägre effektutveckling skulle få beräknas temperatursänkningen även för halva effekten. Denna halverade effekt antas även i viss mån representera den effekt som skulle ha fåtts om plymens avkylning av intilliggande vägg beaktats.

Variationen av olika värden för $(z - z_0)$ redovisas i Figur 2.11 och Figur 2.12.

De tider som fås vid beräkningarna av tiden till sprinkleraktivering är inte realistiska utan skall ses som ett gränsvärde för vilken tid sprinklern kommer att ha aktiverats inom. För att få en uppfattning om tider som skulle kunna ge en mer realistisk tid till aktivering görs en jämförelse av aktiveringstid vid olika temperaturer som redovisas nedan.

Leksaksbutiken

Brandgastemperaturen hålls konstant på 70°C .

$$t_{akt} \approx 5 \text{ min } 20 \text{ s}$$

$$t_{fyll} \approx 40 \text{ s}$$

$$t_{70^\circ\text{C}} \approx 1 \text{ min } 50 \text{ s}$$

$$t_{tot} \approx 7 \text{ min } 50 \text{ s} \approx 8 \text{ min}$$

Brandgastemperaturen hålls konstant på 100°C.

$$t_{akt} \approx 1 \text{ min } 30 \text{ s}$$

$$t_{fyll} \approx 40 \text{ s}$$

$$t_{100^\circ\text{C}} \approx 2 \text{ min } 30 \text{ s}$$

$$t_{tot} \approx 4 \text{ min } 40 \text{ s}$$

Brandgastemperaturen hålls konstant på 150°C.

$$t_{akt} \approx 45 \text{ s}$$

$$t_{fyll} \approx 40 \text{ s}$$

$$t_{150^\circ\text{C}} \approx 3 \text{ minuter } 20 \text{ s}$$

$$t_{tot} \approx 4 \text{ minuter } 45 \text{ s}$$

Vid tiden 8 minuter från antändning kommer sprinklern utanför öppningen med allra största sannolikhet ha aktiverats. Dock ger beräkningar vid högre temperaturer kortare tider och 5 minuter skulle kunna ses som en mer realistisk uppskattning av gränsvärde för sprinklerns aktiveringstid.

Väskbutiken

$$(z - z_0) = 8 \text{ meter.}$$

Brandgastemperaturen hålls konstant på 70°C.

$$t_{akt} \approx 5 \text{ minuter } 20 \text{ s}$$

$$t_{fyll} \approx 40 \text{ s}$$

$$t_{70^\circ\text{C}} \approx 4 \text{ minuter } 10 \text{ s}$$

$$t_{tot} \approx 10 \text{ minuter } 10 \text{ s.}$$

Brandgastemperaturen hålls konstant på 110°C.

$$t_{akt} \approx 1 \text{ minuter } 15 \text{ s}$$

$$t_{fyll} \approx 40 \text{ s}$$

$$t_{110^\circ\text{C}} \approx 4 \text{ minuter } 30 \text{ s}$$

$$t_{tot} \approx 6 \text{ minuter } 25 \text{ s}$$

Brandgastemperaturen hålls konstant på 150°C.

$$t_{akt} \approx 45 \text{ s}$$

$$t_{fyll} \approx 40 \text{ s}$$

$$t_{150^\circ\text{C}} \approx 6 \text{ minuter } 40 \text{ s}$$

$$t_{tot} \approx 8 \text{ minuter } 5 \text{ s}$$

Vid beräkningar med 70°C ges en konservativ aktiveringstid, ca 10 minuter, som sprinklern troligen kommer att ha utlöst inom. Vid beräkningar med högre temperatur, 110°C, fås ca 6,5 minuter.

Anledningen till att beräkningen med 150°C ger en högre tid än beräkningen med 110°C är att det tar förhållandevis lång tid för brandgaserna att värmas upp till denna temperatur.

Därmed kan man konstatera att det är svårt att dra några slutsatser kring någon mer precis tid om de transienta förhållandena inte beaktas.

Sprinklad klädbutik

$$(z - z_0) = 6 \text{ meter}$$

Brandgastemperaturen hålls konstant på 70°C.

$$t_{akt} \approx 5 \text{ minuter } 20 \text{ s}$$

$$t_{fyll} \approx 40 \text{ s}$$

$$t_{70^\circ\text{C}} \approx 4 \text{ minuter } 40 \text{ s}$$

$$t_{tot} \approx 10 \text{ minuter } 40 \text{ s.}$$

Vidare beräkningar för andra temperaturer genomförs ej för detta scenario. Maximal temperatur som uppnås enligt Heskestad är 75°C, och detta sker efter 1200 sekunder. Därmed antas att 70°C är representativt för hela förloppet.

B2.4 Nödvändig effektutveckling för att skiktade förhållanden ska uppstå

För att upprätthålla en tillräcklig temperaturskillnad för att skiktade förhållanden ska uppstå krävs en viss tillförd effekt. Denna effekt kan beräknas norra respektive södra delen genom insättning av $\Delta T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$, $A_o = 21 \text{ m}^2$, $A_T = 1880 \text{ m}^2$ (norra delen) respektive $A_T = 2700 \text{ m}^2$ (södra delen), $H_o = 3 \text{ m}$ och h_k enligt nedan (Karlsson & Quintiere, 2000).

$$(19) \quad \Delta T = 6,85 \cdot \left(\frac{\dot{Q}^2}{A_o \sqrt{H_o} h_k A_T} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Den effektiva värmeövergångskoefficienten h_k är materialberoende. För termiskt tjocka material är den dessutom tidsberoende. För att bestämma h_k approximeras glasgatan ytor enligt

Tabell 2.1 och den termiska penetrationstiden för dessa ytor beräknas enligt (Karlsson & Quintiere, 2000):

$$(20) \quad t_p = \frac{\delta^2}{4 \cdot \alpha}$$

Tabell 2.1 Materialdata

Yta	material	δ [m]	α [m ² /s]	t_p [min]	k [W/mk]	$k\rho c$ [W ² s/m ⁴ K ²]
Tak	glas	0,006	$3,7 \cdot 10^{-7}$	<1	0,8	$9,3 \cdot 10^5$
Vägg	betong	0,120	$5,7 \cdot 10^{-7}$	>>60	1,0	$1,8 \cdot 10^6$
Golv	betong	0,200	$5,7 \cdot 10^{-7}$	>>60	1,0	$1,8 \cdot 10^6$

Beräkningen visar att takytorna är att betrakta termiskt tunna medan vägg- och golvytor är termiskt tjocka. Ett sammansatt h_k beräknas därmed som funktion av tiden enligt (Karlsson & Quintiere, 2000):

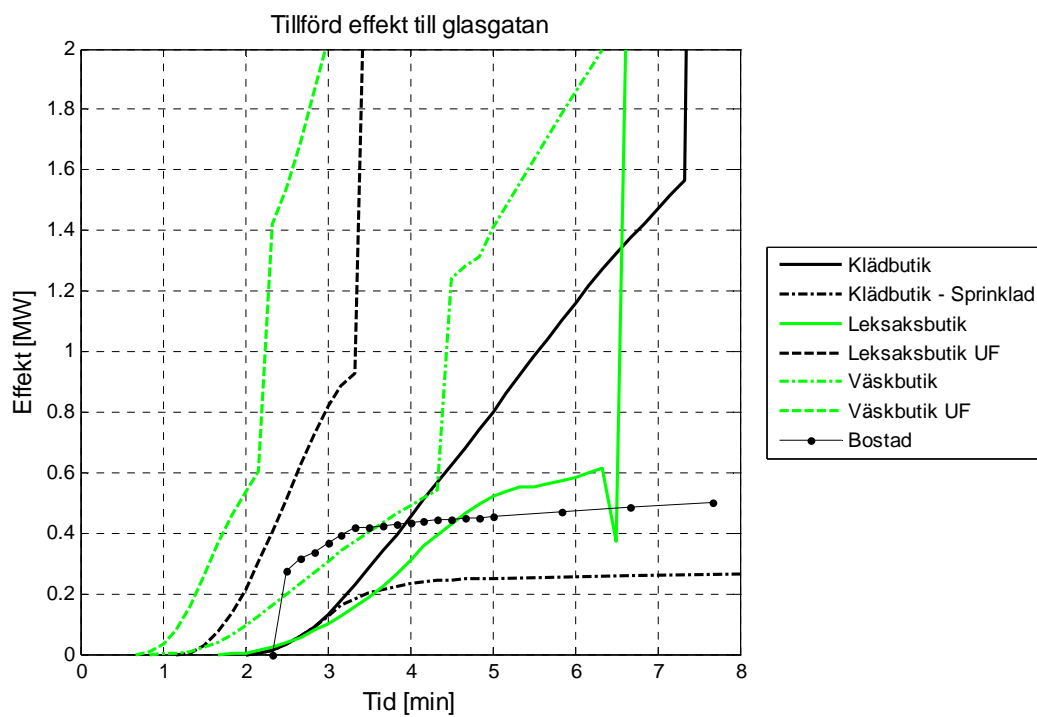
$$(21) \quad \text{om } t < t_p \quad h_k = \sqrt{\frac{k\rho c}{t}}$$

$$(22) \quad \text{om } t > t_p \quad h_k = \frac{k}{\delta}$$

$$(23) \quad h_{k,tot} = \frac{A_1}{A_T} \cdot h_{k,1} + \frac{A_2}{A_T} \cdot h_{k,2}$$

Beräkningar ger att h_k ligger nära 0,1 kW/m²K under det aktuella tidsintervallet varför detta antas för beräkningarna.

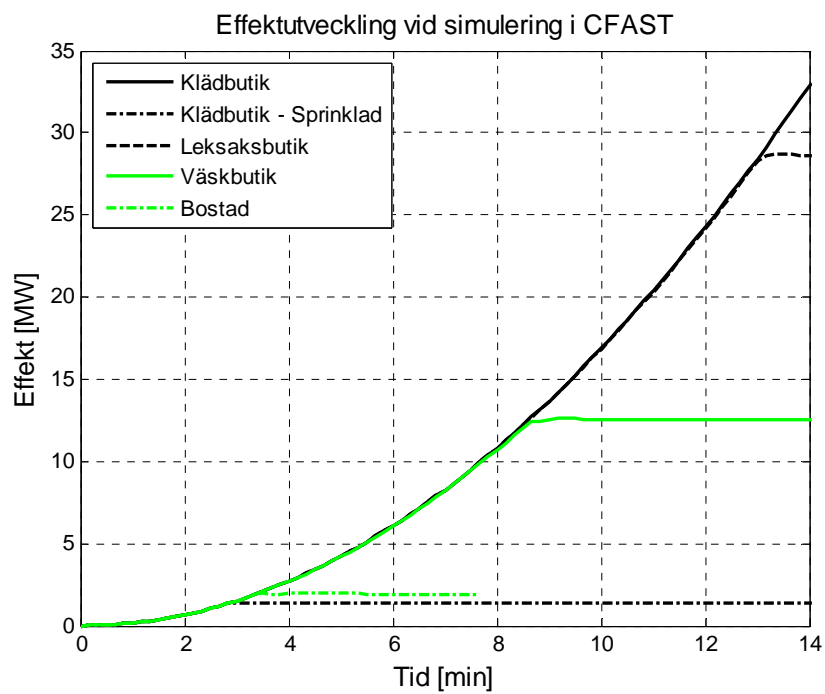
Resultatet visar att den tillförda effekten måste vara större än 1-1,4 MW. Vid jämförelse med den effekt som tillförs glasgatan, se Figur 2.13 i denna bilaga, konstateras att detta sker först vid 5-6 minuter för samtliga fast-kurvor.



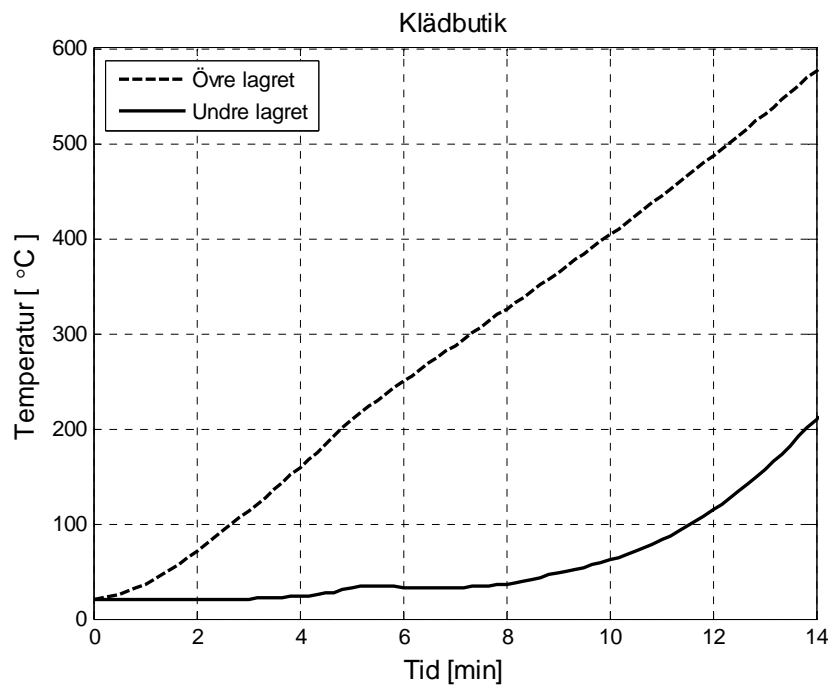
Figur 2.13 Tillförd effekt till glasgatan.

Bilaga 3 CFAST**Resultat**

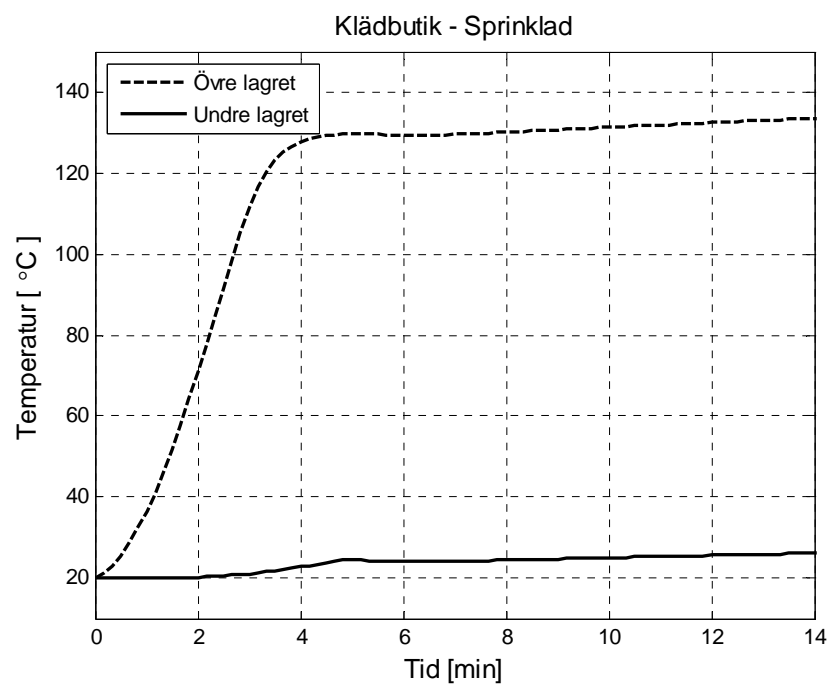
Grafisk framställning av resultat från simuleringar i CFAST ges i Figur 3.2 - Figur 3.16.



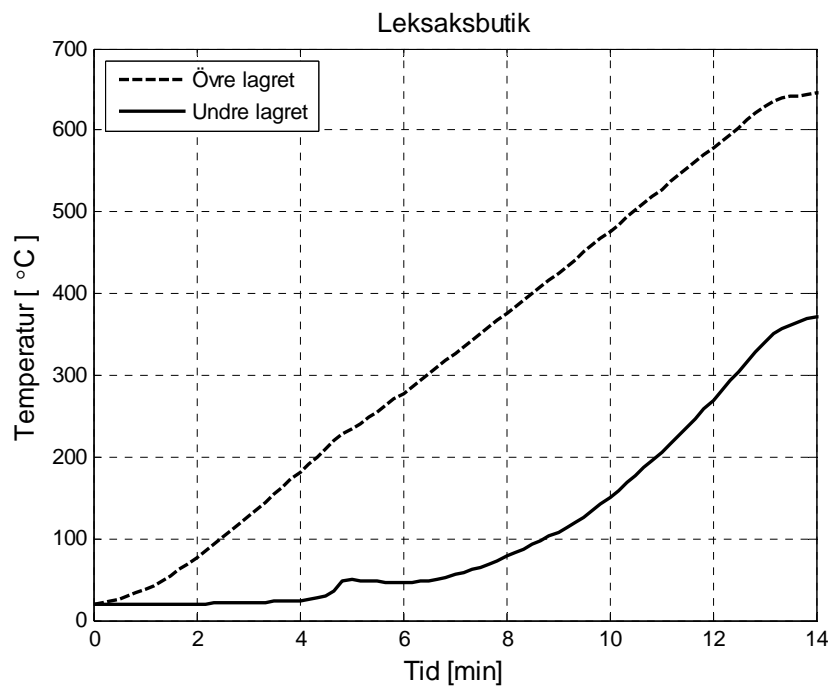
Figur 3.1 Effektutveckling vid simulering



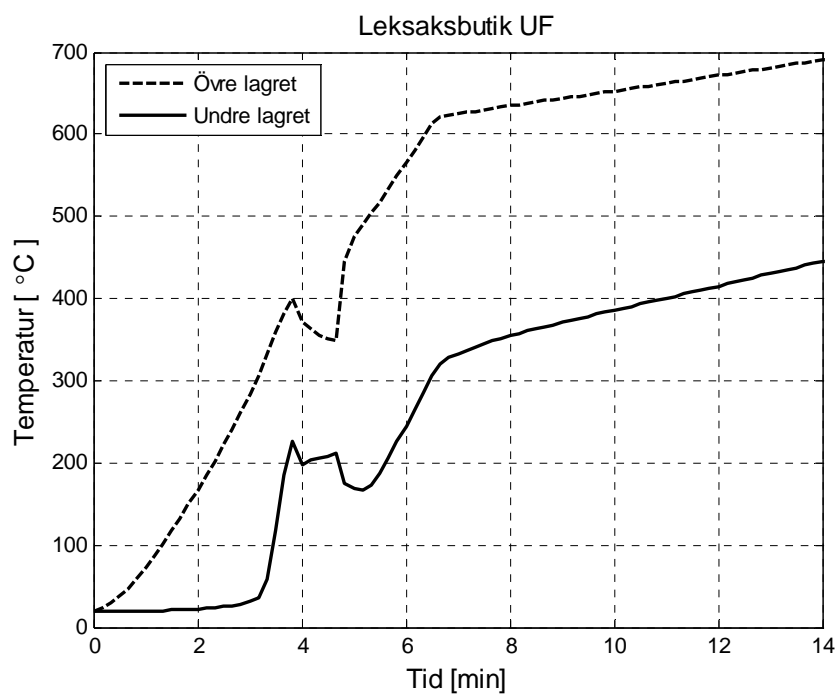
Figur 3.2 Temperaturer i övre och undre lagret.



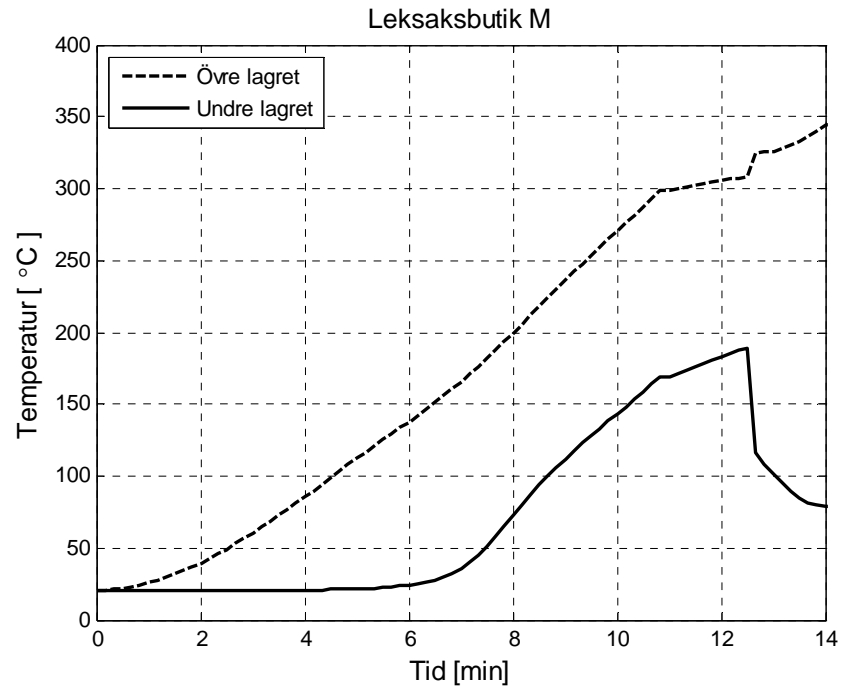
Figur 3.3 Temperaturer i övre och undre lagret.



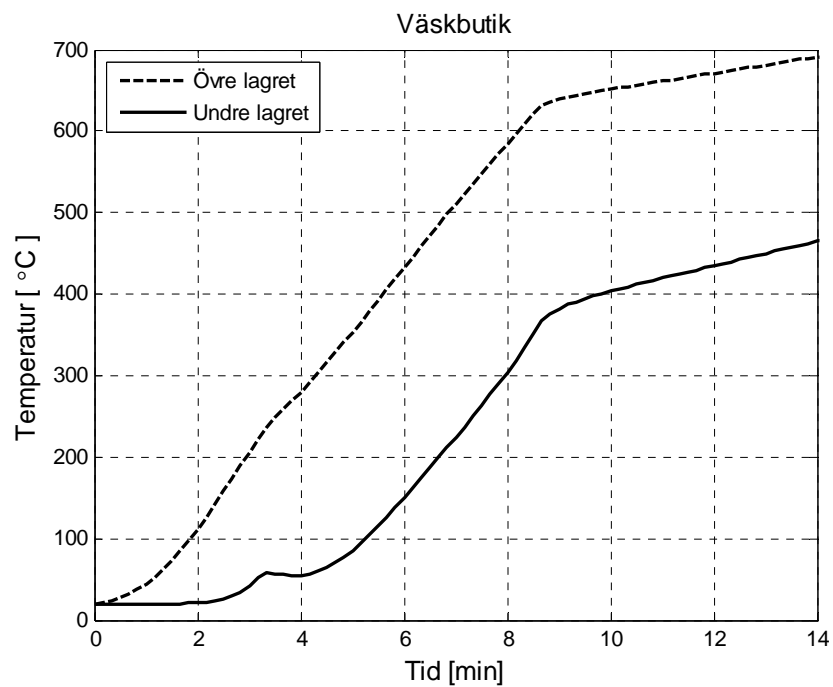
Figur 3.4 Temperaturer i övre och undre lagret.



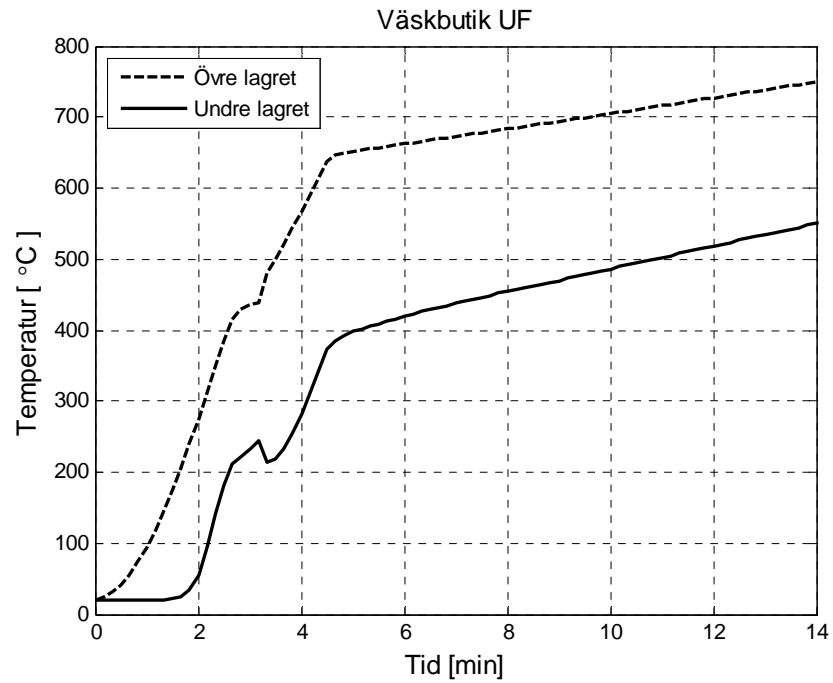
Figur 3.5 Temperaturer i övre och undre lagret.



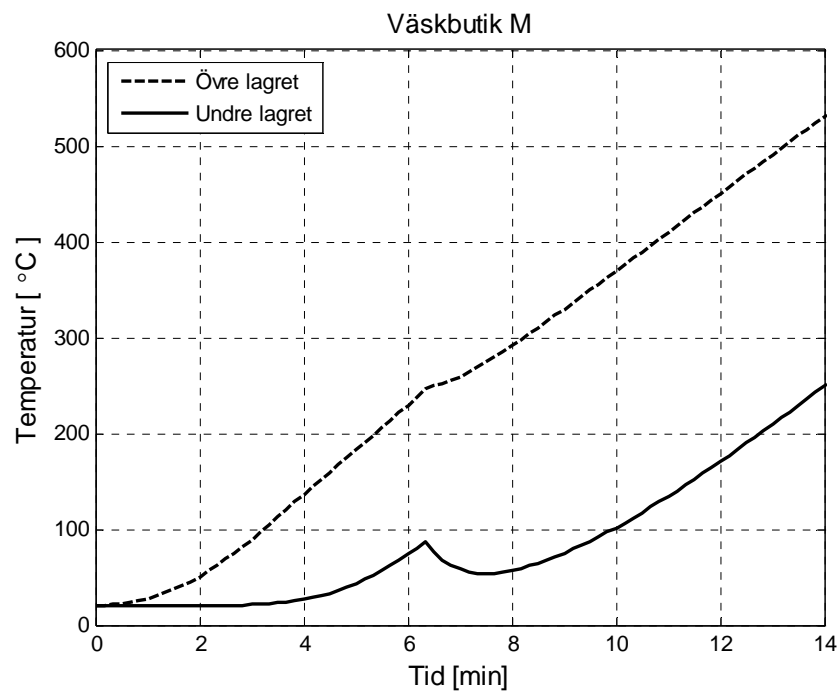
Figur 3.6 Temperaturer i övre och undre lagret.



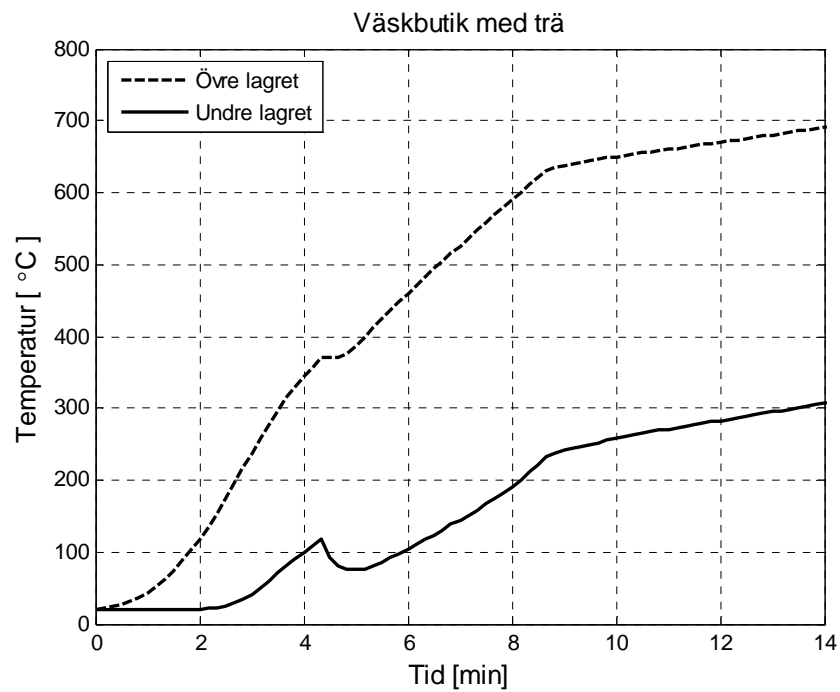
Figur 3.7 Temperaturer i övre och undre lagret.



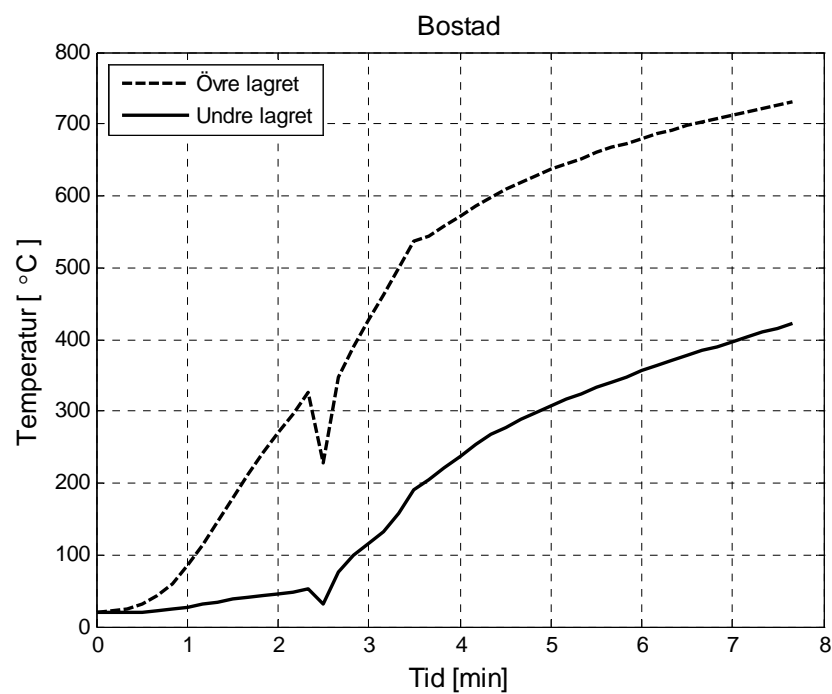
Figur 3.8 Temperaturer i övre och undre lagret.



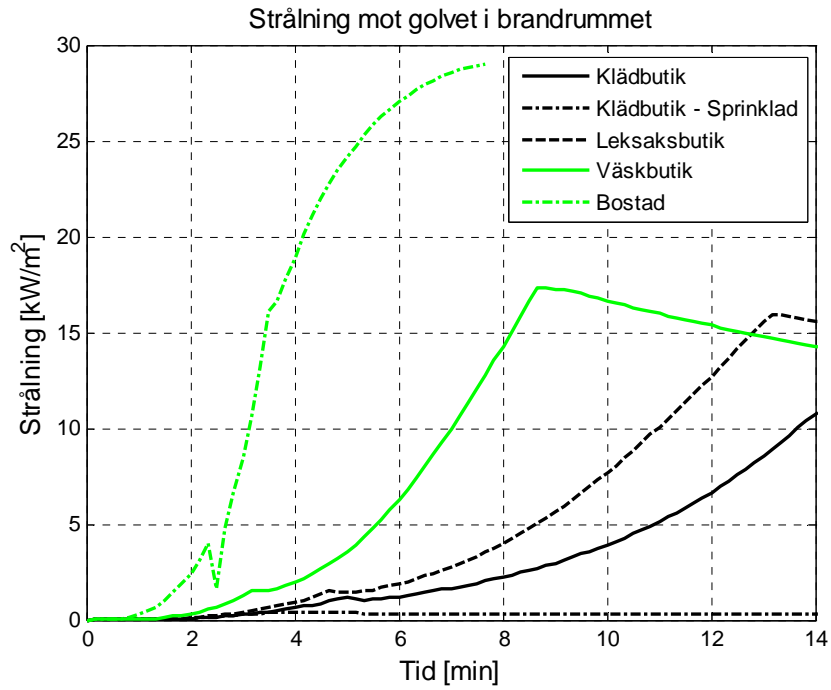
Figur 3.9 Temperaturer i övre och undre lagret.



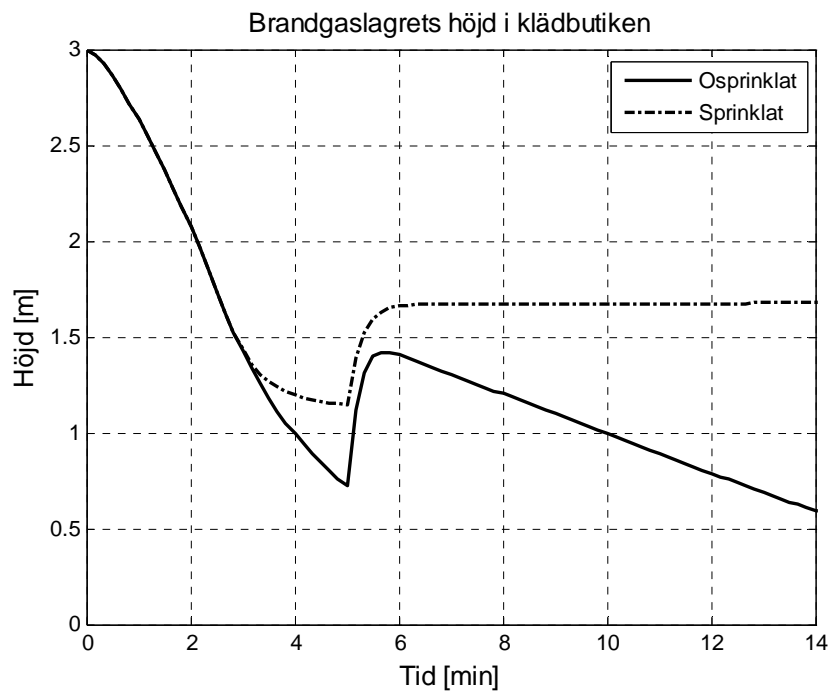
Figur 3.10 Temperaturer i övre och undre lagret.



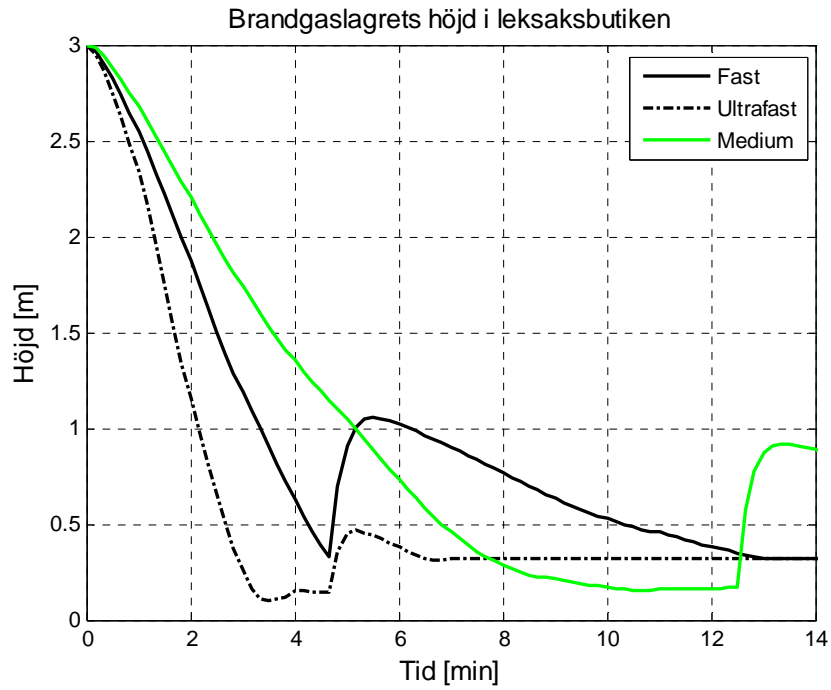
Figur 3.11 Temperaturer i övre och undre lagret



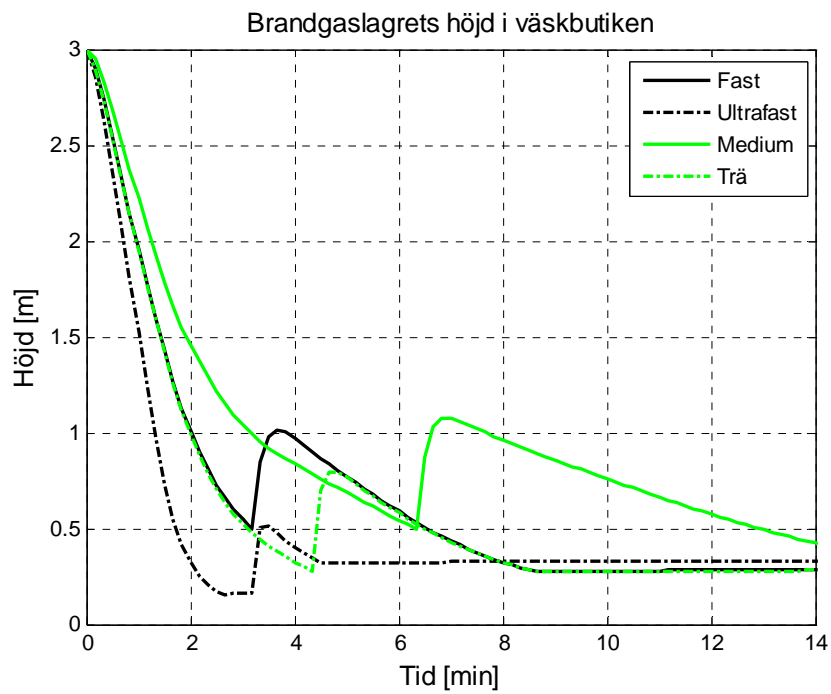
Figur 3.12 Strålning mot golv



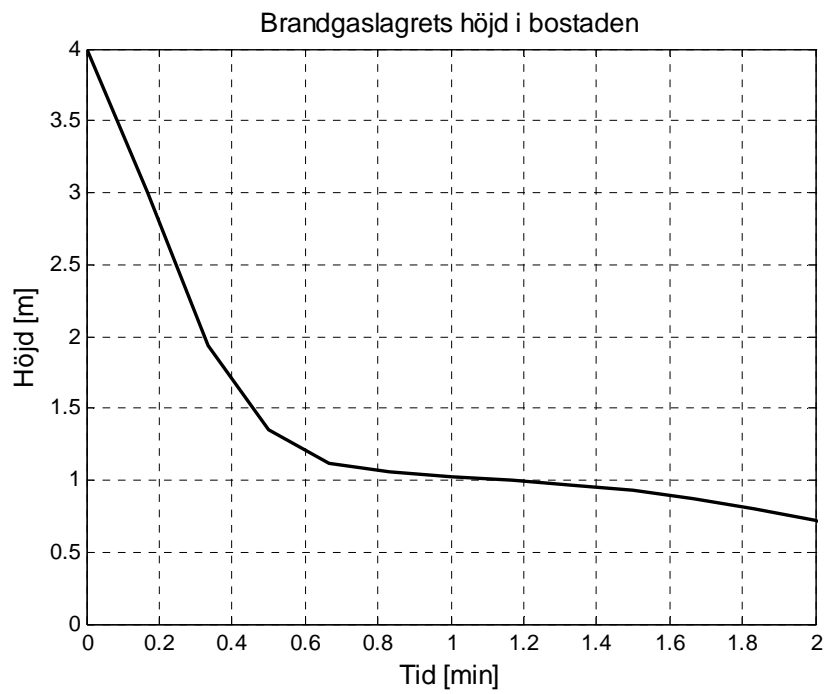
Figur 3.13 Brandgaslagrets höjd i klädbutiken.



Figur 3.14 Brandgaslagrets höjd i leksaksbutiken.



Figur 3.15 Brandgaslagrets höjd i väskbutiken.



Figur 3.16 Brandgaslagrets höjd i bostaden.

Indata

Följande text har använts som underlag för simuleringar i CFAST.

Klädbutik

```

VERSN,6,Klädbutiken
!!
!!Environmental Keywords
!!
TIMES,1200,-10,0,10,10
EAMB,293.15,101300,0
TAMB,293.15,101300,0,50
CJET,WALLS
CHEMI,10,393
WIND,0,10,0
!!
!!Compartment keywords
!!
COMP,Butiksutrymme,26,11,3,34,7,0,CONCRETE,CONCRETE,CONCRETE
COMP,Glasgata 1,100,7,5.75,0,0,0,GLASS,CONCRETE,CONCRETE
!!
!!vent keywords
!!
HVENT,1,2,1,3,2,0,1,15,2,1,1
HVENT,1,2,2,4,2,0,3,1,20,0,1,0
HVENT,1,2,3,8,2,0,3,1,5,0,1,0
HVENT,2,3,1,7,3,0,1,0,0,2,1
HVENT,2,3,2,7,3,0,1,0,0,4,1
EVENT,H,1,2,2,440,1,1
EVENT,H,1,2,3,440,1,1
!!
!!fire keywords
!!
OBJECT,Fast(JC)ny,1,1,7,0,1,1,0,0,0,1

```

Klädbutik sprinklad

```

VERSN,6,Klädbutiken
!!
!!Environmental Keywords
!!
TIMES,1200,-10,0,10,10
EAMB,293.15,101300,0
TAMB,293.15,101300,0,50
CJET,WALLS
CHEMI,10,393
WIND,0,10,0
!!
!!Compartment keywords
!!
COMP,Butiksutrymme,26,11,3,34,7,0,CONCRETE,CONCRETE,CONCRETE
COMP,Glasgata 1,100,7,5.75,0,0,0,GLASS,CONCRETE,CONCRETE
!!
!!vent keywords
!!
HVENT,1,2,1,3,2,0,1,15,2,1,1
HVENT,1,2,2,4,2,0,3,1,20,0,1,0
HVENT,1,2,3,8,2,0,3,1,5,0,1,0
HVENT,2,3,1,7,3,0,1,0,0,2,1
HVENT,2,3,2,7,3,0,1,0,0,4,1
EVENT,H,1,2,2,1200,0,1
EVENT,H,1,2,3,1200,0,1
!!
!!fire keywords
!!
OBJECT,Fast sprinkler (JC)ny,1,1,7,0,1,1,0,0,0,1

```

Leksaksbutik Fast

```

VERSN,6,Leksaksaffären
!!
!!Environmental Keywords

```

```

!!
TIMES,1200,-10,0,10,10
EAMB,293.15,101300,0
TAMB,293.15,101300,0,50
CJET,WALLS
CHEMI,10,393
WIND,0,10,0
!!
!!Compartment keywords
!!
COMP,Butiksutrymme,17,13,3,51,8,0,CONCRETE,CONCRETE,CONCRETE
COMP,Glasgata 1,68,7,5.75,51,0,0,GLASS,CONCRETE,CONCRETE
COMP,Bakre rum,7,5,3,51,21,0,GYPSUM,OFF,GYPSUM
!!
!!vent keywords
!!
HVENT,1,2,1,1,2,0,1,10,0,1,1
HVENT,2,4,1,7,3,0,1,0,0,2,1
HVENT,1,3,1,1,2,0,1,4,0,3,1
HVENT,1,2,2,3,2,0,1,6,0,1,0
HVENT,1,2,3,3,2,0,1,12,0,1,0
HVENT,2,4,2,7,3,0,1,0,0,4,1
EVENT,H,1,2,2,390,1,1
EVENT,H,1,2,3,390,1,1
!!
!!fire keywords
!!
OBJECT,Fast(Leksak)ny,1,13,9,0,1,1,0,0,0,1

```

Leksaksbutik Ultrafast

VERSN,6,Leksaksaffären

```

!!
!!Environmental Keywords
!!

```

```

TIMES,1200,-10,0,10,10
EAMB,293.15,101300,0
TAMB,293.15,101300,0,50
CJET,WALLS
CHEMI,10,393
WIND,0,10,0
!!
!!Compartment keywords
!!
COMP,Butiksutrymme,17,13,3,51,8,0,CONCRETE,CONCRETE,CONCRETE
COMP,Glasgata 1,68,7,5.75,51,0,0,GLASS,CONCRETE,CONCRETE
COMP,Bakre rum,7,5,3,51,21,0,GYPSUM,OFF,GYPSUM
!!
!!vent keywords
!!
HVENT,1,2,1,1,2,0,1,10,0,1,1
HVENT,2,4,1,7,3,0,1,0,0,2,1
HVENT,1,3,1,1,2,0,1,4,0,3,1
HVENT,1,2,2,3,2,0,1,6,0,1,0
HVENT,1,2,3,3,2,0,1,12,0,1,0
HVENT,2,4,2,7,3,0,1,0,0,4,1
EVENT,H,1,2,2,190,1,1
EVENT,H,1,2,3,190,1,1
!!
!!fire keywords
!!
OBJECT,Ultra Fast(Leksak)ny,1,13,9,0,1,1,0,0,0,1

```

Väskbutik Fast

VERSN,6,Väskbutik

```

!!
!!Environmental Keywords
!!
TIMES,1200,-10,0,10,10
EAMB,293.15,101300,0
TAMB,293.15,101300,0,50
CJET,WALLS
CHEMI,10,393

```

```

WIND,0,10,0
!!
!!Compartment keywords
!!
COMP,Butiksutrymme,11,7,3,0,9,0,CONCRETE,CONCRETE,CONCRETE
COMP,Glasgata 1,100,7,5,5,0,0,GLASS,CONCRETE,CONCRETE
!!
!!vent keywords
!!
HVENT,1,2,1,1,2,0,1,7,2,1,1
HVENT,1,2,2,1,2,0,1,5,2,1,0
HVENT,1,2,3,1,2,0,1,9,2,1,0
HVENT,2,3,1,7,3,0,1,0,0,2,1
HVENT,2,3,2,7,3,0,1,0,0,4,1
EVENT,H,1,2,2,260,1,1
EVENT,H,1,2,3,260,1,1
!!
!!fire keywords
!!
OBJECT,Fast(Väsk)ny,1,3,5,0,1,1,0,0,0,1

```

Väskbutik Ultrafast

```

VERSN,6,Väskbutik
!!
!!Environmental Keywords
!!
TIMES,1200,-10,0,10,10
EAMB,293.15,101300,0
TAMB,293.15,101300,0,50
CJET,WALLS
CHEMI,10,393
WIND,0,10,0
!!
!!Compartment keywords
!!
COMP,Butiksutrymme,11,7,3,0,9,0,CONCRETE,CONCRETE,CONCRETE
COMP,Glasgata 1,100,7,5,75,5,0,0,GLASS,CONCRETE,CONCRETE
!!
!!vent keywords
!!
HVENT,1,2,1,1,2,0,1,7.5,2,1,1
HVENT,1,2,2,1.5,2,0.3,1,5.5,2,1,0
HVENT,1,2,3,1.5,2,0.3,1,9,2,1,0
HVENT,2,3,1,7,3,0,1,0,0,2,1
HVENT,2,3,2,7,3,0,1,0,0,4,1
EVENT,H,1,2,2,130,1,1
EVENT,H,1,2,3,130,1,1
!!
!!fire keywords
!!
OBJECT,Ultra Fast(Väsk)ny,1,3,5,0,1,1,0,0,0,1

```

Bostad

```

VERSN,6,CFAST Simulation
!!
!!Environmental Keywords
!!
TIMES,1200,-10,0,10,10
EAMB,293.15,101300,0
TAMB,293.15,101300,0,50
CJET,WALLS
CHEMI,10,393
WIND,0,10,0
!!
!!Compartment keywords
!!
COMP,kök,3,3,4,30,8,0,GYPSUM,CONCRETE,GYPSUM
COMP,rum,7,7,3,33,8,0,GYPSUM,CONCRETE,GYPSUM
COMP,glasgata,100,8,5,5,0,0,0,GYPSUM,CONCRETE,GYPSUM
!!
!!vent keywords
!!

```

```
HVENT,1,3,1,1,2,2,1,1,1,0,1,0
HVENT,1,2,1,0,8,2,0,1,1,0,2,1
HVENT,2,4,1,1,6,2,1,1,1,0,3,0
HVENT,2,4,2,0,8,2,0,1,3,0,3,0
HVENT,2,4,3,1,2,1,1,4,0,3,0
HVENT,2,4,4,1,2,2,1,1,5,5,0,3,0
HVENT,2,3,1,0,8,2,0,1,1,0,1,0
HVENT,3,4,1,8,2,0,1,0,0,2,1
HVENT,3,4,2,8,2,0,1,0,0,4,1
EVENT,H,1,3,1,145,1,1
!!
!!fire keywords
!!
OBJECT,Fast bostad ny,1,1.5,1.5,0,1,1,0,0,1
```

Bilaga 4 SIMULEX**Data**

Antalet personer som placerats ut vid simuleringar i SIMULEX anges i Tabell 4.1. Tider för utrymningen anges i Tabell 4.2.

Tabell 4.1 Fördelning av personantal

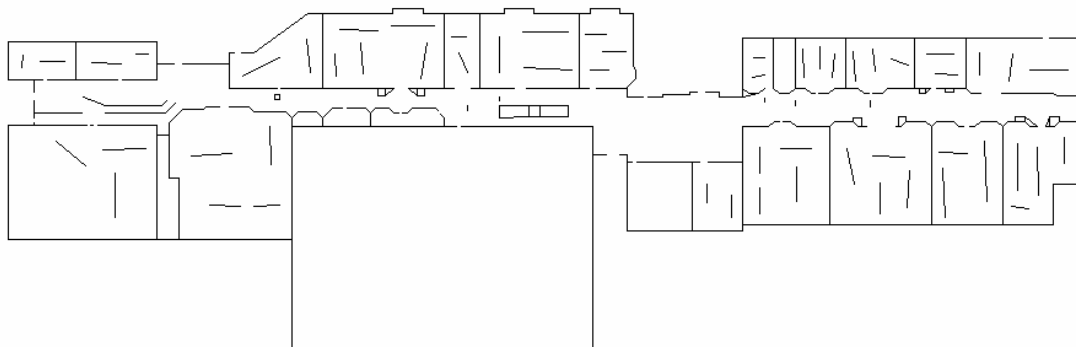
Butik	Antal personer		
Väskbojen	15	25	30
Apoteket	20	40	50
Guldfynd	15	20	30
KappAhl	50	80	120
Smaksak	4	5	5
Lilla boden	10	10	12
JC	50	75	100
EB Games	20	30	40
MQ	50	75	100
Tolvan	20	40	50
COOP	20	30	40
Synsam	15	25	25
Centrumfrisören	15	20	25
Puck	40	50	60
Polarn & Pyret	20	30	40
Eat Café & Restaurang	50	60	75
Walk on shoes	30	50	75
Duka	20	40	60
Wedins	40	60	75
Brio	30	50	60
Snyggt helt enkelt	20	30	40
Glasgatan	40	75	100
Salt & Italy	30	40	50
Totalt	624	960	1262

Tabell 4.2 Tider [min] vid utrymning för olika personantal.

Simulerat antal	628	961	1259	1561	2050
Ingen entré blockerad	01:53	02:30	02:46	03:23	03:50
Norra entrén blockerad	02:58	03:48	04:26		
Östra entrén blockerad	02:00	02:35	02:59		
Södra entrén blockerad	01:59	02:30	02:53		
Norra och östra entréerna blockerade		03:55	04:21		

CAD-ritningar

Följande CAD-ritningar har använts som underlag för utrymningssimuleringar i SIMULEX.



Figur 4.1 CAD-ritning över glasgata och butiker.



Figur 4.2 CAD-ritning över bostadslägenheter med "trapphus".