

Brandteknisk riskvärdering ICA Maxi Motala

Caroline Bernelius Cronsioe
Katarina Lindgren
Aleksandar Matevski
Mateusz Sosnowski

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lund 2006



LUNDS
UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Rapport/Report

9292

Titel

Brandteknisk riskvärdering ICA Maxi Motala

Title

Fire Safety Evaluation ICA Maxi Motala

Av/By

Caroline Bernelius Cronsioe

Katarina Lindgren

Aleksandar Matevski

Mateusz Sosnowski

Handledare/Instructors

Ulf Göransson, Tekn. Dr., LTH

Henrik Josefsson, Brandingenjör, Räddningstjänsten Motala-Vadstena

Utbildning/Education

Brandingenjörsprogrammet

Degree Programme In Fire Safety Engineering

Avdelningen för Brandteknik

Lunds Tekniska Högskola

Box 118 221 00 Lund

Telefon: 046-222 73 00

Department of Fire Safety Engineering

Lund Institute of Technology

Box 118 S-221 00 Lund, Sweden

Telephone: +46 46 222 73 00

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 återoppar resultaten från rapporten i något sammanhang bär själv ansvaret.

Abstract

The purpose of this paper is to evaluate the fire safety in the retail store ICA Maxi located in Motala, Sweden. One of our main areas of focus was the safe evacuation of the customers. The analysis of the fire safety of the building is based on literature, computer simulations, hand calculations and a site visit.

ICA Maxi is separated from other stores in the same building and has several fire safety installations, such as a sprinkler system, smoke detectors, smoke hatches and an evacuation alarm.

Due to the conditions of the store, three main fire scenarios have been simulated with CFAST and SIMULEX in order to evaluate the fire safety. The simulations have been conducted with and without an activated sprinkler system, to compare a worst case scenario with a more likely scenario.

The building is considered to be safe during evacuation due to fire. One of the preventive measures suggested, to improve the safety, is the installation of smoke detectors in the main entrance area and the recycling room. The detectors, as well as the existing sprinkler system, should activate the evacuation alarm in the entire building in case of a fire. Routines for making sure that the fire extinguishers are intact are necessary. Continuous education of the staff is also essential, to ensure that they know how to act in case of a fire.

Keywords: Retail store, ICA Maxi, CFAST, SIMULEX, safe evacuation

Sammanfattning

Denna rapport är framtagen i syfte att bedöma personsäkerheten vid uppkomst av brand i ICA Maxi i Motala. Arbetet har baserats på objektsbesök, litteraturstudier, datorsimuleringar och handberäkningar. Även ett eget försök har utförts i syfte att få en uppfattning om hur eventuella bränder kan tänkas bete sig.

ICA Maxi utgör en del av en större byggnad och är avskild från övriga verksamheter, därför har endast personsäkerheten i själva ICA Maxi behandlats i rapporten. I butiken finns sprinklersystem, brandgasventilation, rökdetektorer, handbrandsläckare, brandlarm samt ett talat utrymningsmeddelande installerat.

Utifrån butikens förutsättningar har tre dimensionerande bränder tagits fram. Dessa har simulerats med CFAST och SIMULEX för att få en uppfattning om brand- och utrymningsförloppen. Utifrån de resultat som har tagits fram har det konstaterats att byggnaden är säker ur personsynpunkt. Simuleringarna har gjorts med och utan sprinkler aktiverade för att kunna jämföra värsta fallet med ett mer troligt fall.

Brändernas maxeffekter är stora och strålningen från dessa kommer att vara betydande för personsäkerheten under utrymningsförloppets senare del. Dock kommer utrymning av ICA Maxi att kunna ske utan att kritiska förhållanden uppstår i utrymningsvägarna.

ICA Maxi anses vara säker ur personsäkerhetssynpunkt vid brand. Den åtgärd som skall verkställas är underhåll av handbrandsläckare. De åtgärder som bör vidtas för att ytterligare förbättra säkerheten vid brand är installation av branddetektorer som är kopplade till utrymningslarm i hela byggnaden, för de delar som inhyser entrédel och returglasrum. I dessa utrymnen bör det nuvarande sprinklersystemet också aktivera utrymningslarmet vid brand. Slutligen bedöms fortsatt kontinuerlig utbildning av personal vara av stor vikt för att säkerställa personsäkerheten vid en eventuell brand.

Nomenklatur

c_p	Specifik värmekapacitet vid konstant tryck [kJ/kgK]
D	Längd [m]
D	Diameter [m]
D_0	Rökpotential [obm ³ /g]
$D_{L,\log_{10}}$	Optisk densitet [ob]
E	Strålningsintensitet [W/m ²]
g	Gravitationskonstant 9,81 [m/s ²]
H	Höjd [m]
ΔH_c	Förbränningsentalpi [kJ/g]
k	Konstant [-]
L	Längd [m]
L_1	Flambredd [m]
L_2	Flamlängd [m]
m	Massa [g]
n	Brandens tillväxtsexponent [-]
\dot{Q}	Effekt [kW]
\dot{Q}_c	Konvektiv effekt [kW]
\dot{Q}^*	Dimensionslös effektutveckling [-]
S	Golvarea [m ²]
S	Kvoten mellan L_1 och L_2 [-]
t	Tid [s]
T	Temperatur [°C]
T_a	Luftens temperatur [°C eller K]
T_g	Brandgasernas temperatur [°C eller K]
V	Volym [m ³]
W	Bredd [m]
z	Brandgasernas höjd [m]
α	Brandens tillväxtfaktor [kW/t ²]
ε	Emissivitet [-]
ρ_a	Luftens densitet [kg/m ³]
ρ_g	Varma gasernas densitet [kg/m ³]
σ	Stefan-Boltzmanns konstant $5,67 \times 10^{-8}$ [W/m ² K ⁴]
ϕ	Synfaktor [-]

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Syfte	1
1.2	Metod	1
1.3	Avgränsningar	1
2	Objektsbeskrivning	3
2.1	Översikt	3
2.2	Ventilation	5
2.3	Räddningstjänst	5
2.4	Brandskydd, ICA Maxi	5
2.4.1	Brandceller	6
2.4.2	Brand- och utrymningslarm	6
2.4.3	Sprinkler	6
2.4.4	Brandgasventilation	6
2.4.5	Manuell brandsläckning	6
2.4.6	Nödbelysning	7
2.4.7	Nödutgångar	7
2.5	Besökstillfället	7
3	Dimensionering av utrymningsförlopp	9
3.1	Kritiska nivåer för utrymning	9
4	Möjliga brandscenarier	11
4.1	Butiken	11
4.2	Lager	12
4.3	Övriga utrymmen	12
5	Tekniska system	15
5.1	Talat utrymningsmeddelande	16
6	Dimensionerande bränder	17
6.1	Chipsbrand	17
6.2	Brand i returglasrum	20
6.3	Vätskebrand	23
7	Strålning	27
8	Brandgasspridning	29
8.1	Brandgasspridning via ventilationssystemet	30
9	Utrymning	31
9.1	Personalens agerande vid utrymning	31
9.2	Utrymning vid dimensionerande bränder	31
10	Känslighetsanalys	35
11	Diskussion	37
11.1	Dimensionerande bränder	37
11.2	Allmänt	38

11.3 Slutsats	39
12 Åtgärder	41
A Ritningar	B 1
B Simuleringar	B 3
B.1 Utrymning	B 3
B.2 Gemensamma indata SIMULEX	B 3
B.3 Brandmodeller	B 4
B.4 Gemensamma indata CFAST	B 4
B.5 Detektionstid	B 5
C Simuleringar dimensionerande bränder	B 7
C.1 Chipsbrand	B 7
C.1.1 Effekt	B 7
C.1.2 Utrymning	B 9
C.2 Returglasrumsbrand	B 11
C.2.1 Effekt	B 11
C.2.2 Rökfyllnadsmodell för returglasrummet	B 14
C.2.3 Utrymning	B 15
C.3 Vätskebrand	B 17
C.3.1 Effekt	B 17
C.3.2 Utrymning	B 20
D Kritisk nivå strålning	B 21
D.1 Chipsbrand	B 21
D.2 Brand i returglasrum	B 22
D.3 Vätskebrand	B 22
E Kritisk nivå brandgaslagrets höjd	B 23
E.1 Chipsbrand	B 23
E.2 Brand i returglasrum	B 23
E.3 Vätskebrand	B 23
F Kritisk nivå sikt	B 25
F.1 Chipsbrand	B 25
F.2 Vätskebrand	B 25
G Försök	B 27
G.1 Vätskor	B 27
G.2 HDPE-back	B 28

1 Inledning

1.1 Syfte

Rapporten ingår i kursen Brandteknisk riskvärdering för brandingenjörstudenter vid LTH. Syftet är att undersöka brandsäkerhetsnivån på ICA Maxi i Motala. Tyngdpunkten ligger på personsäkerheten vid en eventuell brand. Där brister upptäcks i säkerheten ska förslag till förbättringar ges.

1.2 Metod

Underlaget för rapporten har i huvudsak samlats in under ett objektsbesök. Detta genomfördes den 15 september 2006 av rapportförfattarna tillsammans med representant från Räddningstjänsten i Motala, fastighetsskötaren samt handledaren från LTH. Dokumentation i form av ritningar, brandskyddshandlingar och SBA (Systematiskt BrandskyddsArbete) över objektet har använts som komplement i detaljfrågor.

Ett antal möjliga brandscenarier har tagits fram varvid tre har studerats mer ingående. Dessa scenarier har simulerats i SIMULEX samt CFAST för att möjliggöra bedömning av kritiska nivåer. Resultat av simuleringar, handberäkningar samt kvalificerade bedömningar har utvärderats så att eventuella brister kan identifieras, och förslag till åtgärder ges.

De dimensionerande bränderna har framtagits med hänsyn till storlek, placering, och i viss mån sannolikhet. Urvalet motiveras med att om byggnaden är säker för en större brand behöver de som bedöms mindre farliga ej tittas närmare på.

För att få en bättre uppfattning för hur utvalda material brinner har även ett försök utförts i Brandlaboratoriet på LTH.

1.3 Avgränsningar

ICA Maxi, fastighet Kv Hökaren 2, är en del av en större byggnad. Kv Hökaren 1 inrymmer förutom en Willys-butik två mindre butiker, OnOff och Arken samt en gemensamhetsdel, som innehåller ICA Maxi:s huvudentré och även fungerar som entré till de två mindre butikerna. Byggnaderna är inte brandtekniskt avskilda och är sammanlänkade via gemensamhetsdelen. Rapporten har i huvudsak begränsats till den ena fastigheten som inrymmer ICA Maxi. Detta då Willys har en egen huvudentré och att en brand inne på OnOff eller Arken inte anses utgöra ett hot för personsäkerheten i ICA Maxi. Den gemensamma entrédelen tas med i bedömningen då huvudentrén till ICA Maxi ligger här.

Riskvärderingen av ICA Maxi begränsas till personsäkerheten vid en eventuell brand. Rapporten behandlar således ej egendomsskador, simuleringarna syftar till att bedöma när kritiska förhållanden uppstår och avgöra om säker utrymning kan ske.

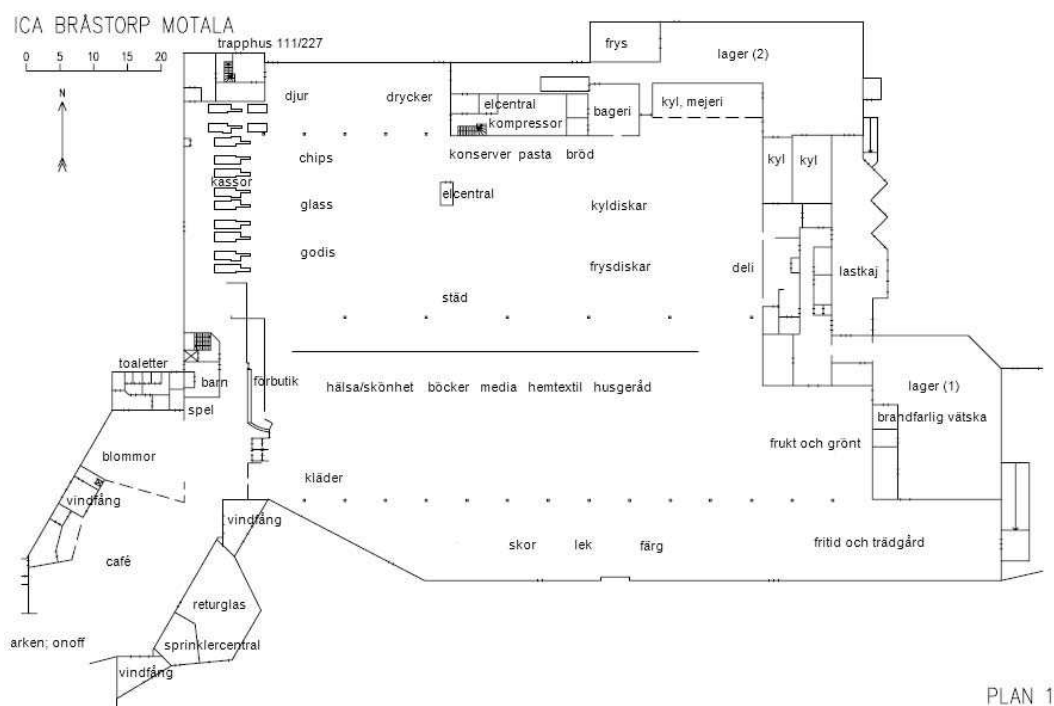
2 Objektsbeskrivning

2.1 Översikt

ICA Maxi ligger i norra delen av Motala. I närområdet byggs det för tillfället upp en rad olika större butiker och snabbmatsrestauranger.

Själva byggnaden klassas som en Br2-byggnad, då den inhyser två stormarknader, en hem-elektronikbutik, en djuraffär, ett café i entrén samt lager- och personalutrymmen. Med tanke på antalet personer som kan tänkas befinna sig i lokalerna definieras byggnaden som samlingslokal (BBR (2006)).

Byggnaden är byggd i vinkel, utan brandteknisk avskiljning. En av fastigheterna inrymmer en Willys-butik med egen entré, samt OnOff och Arken och en gemensamhetsdel. Den andra fastigheten innehåller ICA Maxi. De båda byggnaderna är sammanlänkade via den gemensamma entrédelen, som även rymmer sprinklercentral och returglasrum. Se vidare figur 2.1. I anslutning till huvudentrén finns en stor parkeringsplats. För placering av utrymningsvägar se figur A.2.



Figur 2.1: Översikt av ICA Maxi

Byggnaderna är ursprungligen från tidigt 1990-tal, men har byggts om och till i flera omgångar sedan dess. Stommen i den ursprungliga ICA Maxi-byggnaden består av stål, lättbetong och betong. Fasaden är gjord av lättbetong samt träpanel. Den senare byggda gemensamhetsdelen är uppbyggd av trä. I den ursprungliga delen utgörs taket av papp på lättbetong samt obrännbar isolering och korrugerad plåt. De tillbyggda takytorna är utförda av papp på

mineralull och korrugerad plåt. Arbetet pågår dock med att byta ut takpappen mot en mer beständig beläggning av gummiduk. Bjällklaget är av betong (Brandskyddsdocumentation (2005)). För översiktsbilder inifrån butiken se figur 2.2.



(a) Fruktavdelning



(b) Livsmedel

Figur 2.2: Översikt av ICA Maxi, bilder från besökstillfället

2 OBJEKTSBESKRIVNING

Byggnaden har i huvudsak ett plan, men delar av ICA Maxi och Arken har även entre-solvåningar för personalutrymmen respektive fläktrum. ICA Maxi upptar en yta av 9240 m² varav 5887 m² utgörs av försäljningsyta, och är dimensionerat för 1500 personer. ICA Maxi:s planlösning kan ses i figur 2.1 eller A.1

2.2 Ventilation

Enligt ritningar är ventilationssystemet uppbyggt av tre separata delar; kontorsdelen som ligger på ovanvåningen, tillbyggnadsdelen (husgerådsdelen) samt resterande butiksyta. Delarna är i stort sett oberoende av varandra, men servar samma brandcell.

Totalt finns tre samlings- och fördelningskanaler. Dessa servar de olika delarna. Husgerådsdelens fläktar är placerade på taket ovan lager 1. Resterande butiksdelaars till- och frånluftsror går via huvudfläktrummet som ligger ovanför bageriet. Kontorsdelen har egen ventilation som är helt oberoende av övriga delar. Det totala tilluftsflödet i butiksdelen är 9800 liter per sekund.

I taket finns brandgasluckor som skall ventileras ut brandgaser. Dessa beskrivs närmare i kapitel 5.

2.3 Räddningstjänst

Enligt Motala kommuns räddningstjänstplan är insatstiden högst 10 minuter.

Inga skarpa brandtillbud har inträffat, dock har räddningstjänsten fått åka till objektet då brandlarm utlöstes av misstag, till exempel har sprinklerhuvuden kapats av truckar.

2.4 Brandskydd, ICA Maxi

Information om brandskyddet är insamlat under objektbesöket samt hämtat från Brandskyddsdocumentation (2005). I de fall det inte finns annan information förutsätts systemen fungera enligt dokumentationen och vara rätt dimensionerande. En kontroll av dimensioneringen av de aktiva systemen ligger utanför rapportens omfattning.

All butikspersonal utbildas kontinuerligt för att hantera en brandsituation och bistå vid personutrymning. Byggnadens tekniska system innefattar brandlarm, utrymningslarm, sprinklersystem samt brandgasventilation. Rökdetektorer täcker stora delar av lokalerna. En brand ska aktivera släcksystemet lokalt, och slå ner alternativt begränsa branden i väntan på räddningstjänsten. Vid aktivering av antingen detektorer eller sprinklersystem startar utrymningslarmet automatiskt (undantaget entrédelen och returglasrummet där inga detektorer finns och där sprinklern inte startar utrymningslarmet). Vid händelse av brand ska dessa åtgärder se till att fullständig utrymning av lokalerna kan ske utan att personsäkerheten äventyras. Tillsyn av de tekniska system sker kontinuerligt enligt de journaler i SBA som presenterades vid besökstillfället.

2.4.1 Brandceller

Trapphus 111/227 (entré för personal) samt rum för förvaring av brandfarliga vätskor är utförda som egna brandceller, övriga delar av lokalen tillhör samma brandcell.

Rum för hantering av brandfarliga vätskor är utförda i lägst brandteknisk klass EI 60. Övriga brandcellsavskiljande byggnadsdelar är utförda i lägst brandteknisk klass EI 30 (se figur 2.1 eller A.2).

2.4.2 Brand- och utrymningslarm

Försäljningsytorna är försedda med automatiskt brandlarm med en rökdetektor per 400 m². Brandlarmet består av adresserbara rökdetektorer och är kopplat till utrymningslarmet. Utrymningslarmet i försäljningsdelen utgörs av ett förinspelat talat meddelande som uppgår till en ljudnivå av minst 75 decibel. I personal- och lagerutrymmen består larmet av en akustisk signal (Brandskyddsdocumentation (2005)).

Aktivering av utrymningslarmet sker antingen manuellt, eller då brandlarm alternativt sprinkleranläggning aktiveras. Om detektion via branddetektorer av någon anledning uteblir och sprinklersystemet aktiveras kommer brand- och utrymningslarm fortfarande att starta. Sprinklersystemet i gemensamhetsdelen och returglasrummet är dock inte sammankopplat med utrymningslarmet i ICA Maxi eller någon av de andra butikerna.

Systemet är dimensionerat för att fungera i 30 timmar i viloläge, och 30 minuter i fullt aktiverat läge vid strömavbrott (Brandskyddsdocumentation (2005)).

2.4.3 Sprinkler

Byggnaden är försedd med en automatisk vattensprinkleranläggning. Sprinklerhuvudena är placerade i taknivå. Då sprinklersystemet utlöses aktiveras även brand- och utrymningslarmet. I samband med underhåll av systemet är det möjligt att manuellt koppla bort det talade meddelandet.

2.4.4 Brandgasventilation

Byggnaden är försedd med brandgasventilation via 35 rökluckor i taket. Luckorna är 1,30×0,90 meter stora och öppnas 180° genom hydraulkraft. Öppning sker antingen sektionvis från sprinklercentralen, manuellt från taket eller automatiskt då de är försedda med smältbleck. Tilluft tas via dörrar, och vissa av utrymningsdörrarna kan öppnas utifrån av räddningstjänsten. Systemet är dimensionerat för att fungera i minst tolv timmar vid strömavbrott (Brandskyddsdocumentation (2005)).

2.4.5 Manuell brandsläckning

En brandpost finns i korridoren bakom lastkajen bort mot lager 1. Övriga lokaler är försedda med handbrandsläckare. Gångavståndet till närmsta brandsläckare överstiger inte 25 meter (se figur A.2).

2.4.6 Nödbelysning

Vissa lampor, samt bakgrundsbelysta utrymningsskyltar, utgör nödbelysning då de är försedda med batterier. Således kan det aldrig uppstå total mörker i butiken.

2.4.7 Nödutgångar

Entrédörrarna är 2,3 meter breda. Övriga nödutgångars bredd är 1,2-2,0 meter. Nattetid är samtliga nödutgångar låsta. Samtliga nödutgångar måste vara upplåsta för att få fullt fungerande belysning i butiken. Innan detta sker är ledljus påslaget. Det längsta gångavståndet till den närmaste nödutgång är ungefär 46 meter. Detta överskrider därmed inte det längsta tillåtna gångavståndet till närmaste nödutgång som är 60 meter vid analytisk dimensionering, enligt Utrymningsdimensionering (2006). Vid brandlarm ställs entrégrindarna vid informationsdisken upp automatiskt för att underlätta för utrymning. Även portarna till lagret, som fungerar som utrymningsvägar, öppnas automatiskt vid brandlarm.

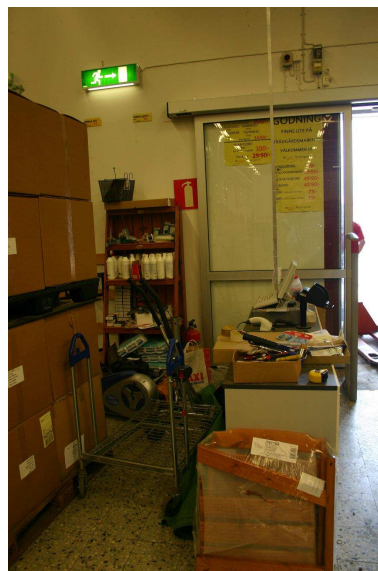
2.5 Besökstillfället

Studiebesöket på ICA Maxi ägde rum fredagen den 15 september 2006. Med på besöket var, förutom författarna, brandingenjör Henrik Josefsson från Räddningstjänsten i Motala, samt handledaren Ulf Göransson från LTH. Genomgången av lokalen gjordes tillsammans med ICA Maxi:s fastighetsskötare Per-Anders Löf. Under dagen gjordes två besök; en rundvandring på förmiddagen, och ett kompletterande besök på eftermiddagen.

Förutom kontroller av själva butikslokalen, sprinklercentralen, lager, och personal- samt övriga utrymmen undersöktes även dokumentation över det systematiska brandskyddsarbetet.



(a) Centrumrulle i korridor



(b) Handbrandsläckare bredvid Exit 6

Figur 2.3: Blockerade brandskyddsinstallationer

Några brister upptäcktes vid besökstillfället. Flera handbrandsläckare var felplacerade i förhållande till skyltningen, blockerade eller i vissa fall nedmonterade. Intill kassorna låg en hög kartonger och annat skräp. Detta hade dock plockats bort vid det andra besöket senare samma dag. Ett par utrymningsvägar var under förmiddagen delvis blockerade av varor. Under dagens andra besök var dessutom en av nödutgångarna i lager 2, Exit 8, helt blockerad. Se figur 2.3 för andra exempel.

Nödutgångarna har inte testats i samtliga fall, då de var larmade och försedda med plomberingar. Däremot har de enligt SBA, Systematiskt brandskyddsarbete, gåtts igenom regelbundet.

Även de två intilliggande butikerna, OnOff och Arken, besöktes för att kunna styrka de avgränsningar som gjorts.

3 Dimensionering av utrymningsförlopp

Utrymning är väldigt komplext. För att kunna räkna på det har förenklingar gjorts och ett dimensioneringsvillkor för utrymningstiden har tagits fram. Utrymningstiden delas in i tre olika faser (Utrymningsdimensionering (2006)):

- Varseblivningstiden kan variera från några få sekunder upp till flera minuter. Detta beror bland annat på huruvida folk ser branden eller inte, och om det finns utrymningslarm. Om ett automatiskt brandlarm med tillhörande utrymningslarm existerar kan varseblivningstiden ses som tiden tills utrymningslarmet startar.
- Tiden det tar att uppfatta vad som har hänt, och besluta vilka åtgärder som ska vidtas, utgör besluts- och reaktionstiden. I den ingår tiden det tar att lyssna igenom utrymningsmeddelandet. För att kunna agera snabbare behöver de som ska utrymma hjälp med att fort förstå vad som har hänt. Ett talat meddelande kan vara ett sådant hjälpmedel, liksom personal som är utbildad för att hantera brandsituationer. I tabell 3.1 ses värden som kan antas för personer i varuhus.

Tabell 3.1: Besluts- och reaktionstid i varuhus (Utrymningsdimensionering (2006), s 44)

Varuhus	Person ser brand	Besluts- och reaktionstid
Inget larm	Nej	4 minuter
Enkelt talat meddelande	Nej	3,5 minuter
Informativt talat meddelande	Nej	1 minut

- Förflyttningstiden är den tid det tar för personerna att förflytta sig ut ur lokalen. Hur lång tid det tar är högst individuellt men det kan gå snabbare om lokalen till exempel är väl upplyst och om skyltar sitter så att de lätt kan ses. För att ta fram förflyttningstiden används antingen handberäkningar eller datamodeller. Om lokalen inhyser ett stort antal personer, som i fallet med ICA Maxi, är det lättare att använda datamodeller (Utrymningsdimensionering (2006)).

Om dessa tre delar adderas ihop resulterar det i utrymningstiden. Om utrymningstiden i sin tur understiger tiden tills kritiska förhållanden uppstår har en säker utrymning genomförts. Detta kan skrivas som (Brandskyddshandboken (2005)):

$$t_{\text{kritisk}} > (t_{\text{varseblivning}} + t_{\text{beslut och reaktion}} + t_{\text{förflyttning}}) = t_{\text{utrymning}}$$

3.1 Kritiska nivåer för utrymning

Kritiska förhållanden vid utrymning bedöms utifrån fyra kriterier: temperatur, strålning, brandgaslagrets höjd samt sikt. (BBR (2006)).

- Lufttemperaturen får vara högst 80 °C.
- Strålningsintensiteten får vara högst 2,5 kW/m² under längre tid, vilket innebär cirka tio minuter. Om strålningen är kortvarig kan den uppgå till högst 10 kW/m². Den totala strålningsenergin får maximalt vara 60 kJ/m² utöver energin från en strålning på 1 kW/m².

- Brandgaslagrets höjd får inte understiga en nivå på $1,6 + 0,1 \times H$ meter, där H är rumshöjden.
- Siktsträckan i utrymningsvägar får inte understiga tio meter i okänd miljö och fem meter i känd miljö.
- Tiden det tar för något eller flera av dessa kriterium att uppfyllas jämförs med utrymnings-tiden för att kunna bedöma om säker utrymning kan ske.

4 Möjliga brandscenarier

Det finns ett närmast oändligt antal möjliga bränder som kan uppstå i en stormarknad som ICA Maxi. Eftersom lokalen är relativt stor och öppen behöver en eventuell brand ha snabb och hög effektutveckling för att äventyra personsäkerheten. Vidare kommer placeringen i lokalen i förhållande till nödutgångar och persontäthet att spela in. Efter besöket i Motala diskuterades, utifrån detta, ett antal möjliga brandscenarier. Bränder i OnOff och Arken ligger utanför rapportens omfattning.

Enligt Räddningsverket (2005) är den vanligaste brandorsaken för bränder inom handeln *anlagd brand*. En sådan brand kan i princip uppstå var som helst i butiken. De två andra vanligaste brandorsakerna är *övriga orsaker* och *okända orsaker*. Dessa tre utgör tillsammans nästan två tredjedelar av brandorsakerna. På grund av detta kommer ingen vidare hänsyn tas till statistik vid val av dimensionerande bränder.

För bränders placering i butiken samt förhållande till nödutgångar se figur A.2.

4.1 Butiken

I butiken har fem fall övervägts. Brand i:

- trädgårdsavdelningen
- chipsen
- kläderna vid entrén
- pappersbalarna efter kassorna
- farliga vätskor

I *trädgårdsavdelningen* lagras varor nästan ända upp till taket. Här fanns en hel del vinterkläder samt ett trädgårdstält uppmonterat. Vid brand under tältduken skulle sprinklern, om den aktiveras, inte komma åt att släcka eller begränsa branden. Handbrandsläckaren i den här delen av butiken var svåråtkomlig och en brand skulle troligen blockera utrymningsväg Exit 6. Trädgårdsavdelningen är dock belägen i den del av butiken där det är minst folk. De flesta som kommer till butiken handlar mat och kommer därför att befinna sig i den andra delen närmare kassorna där det finns gott om andra utrymningsvägar.

Chipsen står vid kassorna där mycket folk uppehåller sig och chips brinner snabbt, med en stor effektutveckling (Arvidson (2005)), varför denna branden väljs som dimensionerande (se vidare kapitel 6.1).

Kläderna vid entrén kan om det blir en kraftig spridning av branden hindra utrymning dels via entrén och dels via utrymningsväg Exit 3, samt även påverka utrymningsmöjligheterna via Exit 4. Ett klädställ i ett typiskt varuhus brinner med en maxeffekt på 6 MW (Abrahamsson (1997)). Detta scenario anses få en lägre effekt än andra bränder som övervägs. Dessutom finns det alltid personal i närheten eftersom informationsdisken ligger nära.

Pappersbalarna efter kassorna står på ett sätt som, om det skulle uppstå en brand i dessa, troligen kommer att blockera utrymningsväg Exit 11. Här kan många personer antas befinna sig. Även om pappersbalarna kan tänkas brinna med en stor effekt så har denna del av lokalen en mycket lägre takhöjd än övriga delar, och en eventuell brand kommer snabbt att utlösa

sprinklersystemet, som kommer att kontrollera eller rentav slå ut branden. Även om sprinklersystemet inte skulle utlösa kan pappersbalsbranden anses vara mindre eller som mest lika stor som chipsbranden då sprinklern inte utlöser. Dessutom finns det mindre brännbart som branden kan sprida sig till vid pappersbalarna än där chipsen står vilket gör att chipsbranden anses farligare än brand i pappersbalarna.

De *farliga vätskor* som står framme klassas som icke brandfarliga alternativt brandfarlig vara klass 3. Vid tillräckligt hög temperatur anses dock många av vätskorna vara lättantändliga och ska enligt produktblad transporteras bort vid brand (www.kemetyl.se (2006-28-10)). De vätskor som klassas som brandfarliga hålls instängda i brandsäkra skåp som håller brandklass EI 30. Denna brand väljs som dimensionerande (se vidare kapitel 6.3).

4.2 Lager

Det finns två större lagerutrymmen i butiken. I båda fallen finns lagerhyllor med varor som når ända upp till taket. En eventuell brand kan på grund av detta snabbt sprida sig. I lager 1 lagras varor tillhörande husgerådsavdelningen. Här finns ett speciellt rum för förvaring av brandfarliga vätskor, vid besöket var dock detta utrymme oanvänt. Lagret är avskilt från övriga butiken med väggar upp till taket, och även om dessa inte är brandklassade anses de fördröja brandgasspridningen till övriga delar.

Lager 2 kan anses ligga i butiken då det endast är avskilt med väggar som ej når hela vägen upp till taket, vilket gör att brandgasspridning lätt kan ske ut i övriga lokalen. Här förvaras mestadels matvaror. Det finns även separata kyl- och frysrum. En brand här skiljer sig dock från övriga butiken genom att få personer kommer att uppmärksamma den och därmed förlängs reaktionstiden för utrymning. Vid en brand i lager 2 kommer en utrymningsväg samt Exit 8 att blockeras.

Med en brand inne i butiken kommer strålningen från flammorna att utgöra ytterligare ett farligt inslag till skillnad från en brand inne på lagret där flammorna inte syns ute i butiken. Brandgaser kommer att spridas till butiken, men dessa konsekvenser fås även vid brand i själva butikslokalen. Det finns visserligen mer bränsle på lagret men då rapporten avser personsäkerhet är de första tio minuterna dimensionerande. Därför är en brand som snabbt kommer upp i hög effektutveckling inne i butiken ett större hot mot personsäkerheten än en brand på lagret.

4.3 Övriga utrymmen

I övriga utrymmen har fyra fall övervägts. Brand i:

- returglasrummet
- informationsdisken
- el-centralen i butiken
- kontor på andra våningen

I *returglasrummet* finns det varken någon detektor eller röklucka och inte alltid personal. Det mesta i rummet är brännbart och spridning av rökgaser till gemensamhetsdelen kan ske. Returflaskorna är för det mesta gjorda utav plaster som brinner bra och bildar mycket rök.

Om brandgaser sprids till gemensamhetsdelen kan Exit 0-2 bli blockerade. Denna brand väljs som dimensionerande (se vidare kapitel 6.2).

I *informationsdisken* finns bland annat Postens paketutlämning. Ett möjligt scenario är brand i dessa paket. En outhärdad brand skulle lätt kunna få fäste i paketen, som är staplade på höga hyllor, och delvis blockera utrymning via huvudentrén. I informationsdisken finns hela tiden personal och en handbrandsläckare tillgänglig vilket gör att branden troligtvis inte kan utgöra någon större fara för personsäkerheten.

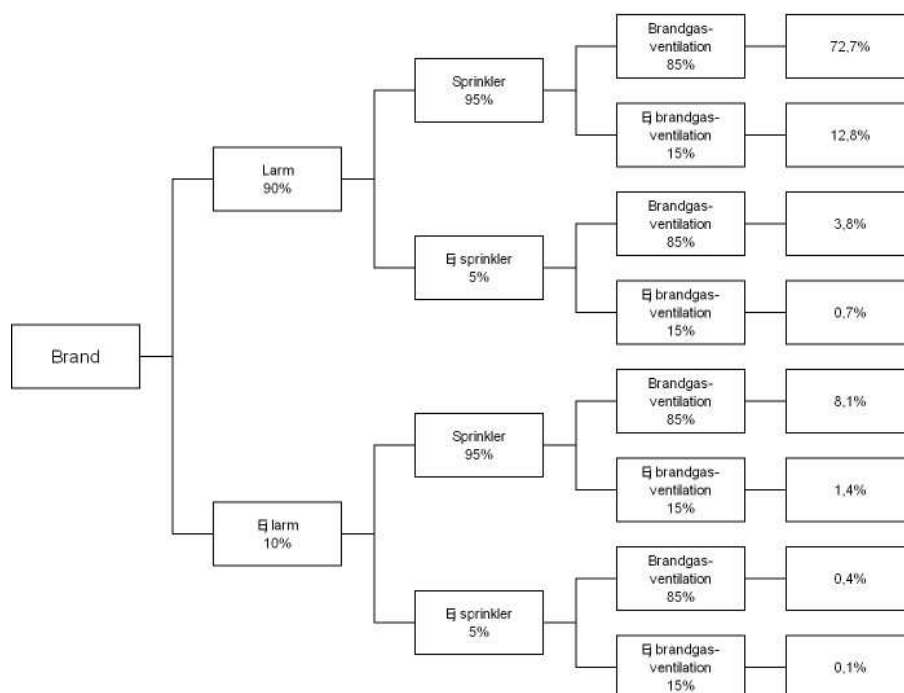
Apparaturen för utrymningsmeddelandet finns i *el-centralen i butiken*. Om en brand utbryter här kan det tänkas försätta det talade meddelandet ur funktion. I det här utrymmet finns ingen sprinkler men väl en detektor. Ett eventuellt elfel skulle kunna starta branden. Dock finns inte så mycket brännbart material i utrymmet, och branden kommer troligtvis att slockna på grund av brist på bränsle.

Vid en brand på ett *kontor på andra våningen* skulle brandgasspridning kunna ske ut i butiken genom att ett fönster går sönder. Detta anses dock som osannolikt i ett första skede och borde därför ej påverka utrymningen. Personalen som befinner sig i denna delen av ICA Maxi kan dessutom förväntas ha god lokalkännedom. De anses därför kunna sätta sig själva i säkerhet.

5 Tekniska system

Samtliga lokaler som omfattas av rapporten är utrustade med sprinklersystem och brandgasventilation. Returglasrummet och entrédelen är de enda lokalerna som saknar branddetektorer.

Samtliga system har en viss sannolikhet att inte fungera. Figur 5.1 visar den fördelningen, siffrorna bygger på Magnusson et al (1995). Siffrorna anses vara konservativa.



Figur 5.1: Sannolikheter för funktionstillförligheter för tekniska system

Som framgår ur figur 5.1 är sannolikheten väldigt liten att inget skydd fungerar. Därför kommer simulering av de dimensionerande bränderna att ske två gånger med följande förutsättningar:

1. Med branddetektion
Utan sprinklersystem
Utan brandgasventilation
2. Med branddetektion
Med sprinklersystem
Utan brandgasventilation

Av de tekniska system som finns installerade på ICA Maxi är sprinklersystemet det enskilt effektivaste skyddet mot själva branden. Dessutom bedöms tillförlitligheten som hög.

Om sprinklersystemet är rätt dimensionerat och fungerar som det ska kommer det antingen att slå ner branden helt och hållet, eller åtminstone begränsa branden och förhindra spridning. Därmed kommer det att ta längre tid innan eventuella kritiska förhållanden uppstår i butiken,

och utrymningsförloppet blir säkrare. Sprinklersystemet har således stor betydelse för både personsäkerheten och egendomsskyddet. Dock kan en sprinkleraktivering bidra till att sikten försämras som följd av kylning och omblandning av brandgaslagret.

Ur personsäkerhetssynpunkt är utrymningslarmet avgörande. Eftersom fullständig utrymning av butiken tar flera minuter är snabb upptäckt av branden av största vikt, så att samtliga personer kan sättas i säkerhet innan kritiska förhållanden uppstår. Utrymningslarmet ska starta automatiskt då en detektor alternativt sprinkler aktiveras, men kan även startas manuellt. I de 10 % av fallen då larmet inte fungerar kommer varseblivningstiden, och därmed utrymningstiden, att bli avsevärt längre.

Brandgasventilationen kommer antagligen främst att vara av betydelse för egendomsskyddet. Det krävs relativt höga temperaturer i brandgaslagret för att luckorna ska öppnas. Detta kommer antagligen inte att ske förrän en bit in i brandförloppet, när utrymning förhoppningsvis redan har påbörjats. Effekten kan dock bli en sänkning av temperaturen och siktförbättringar vilket i sin tur bidrar till ett säkrare utrymningsförlopp.

5.1 Talat utrymningsmeddelande

Utrymningslarmet på ICA Maxi består av två ljudsignaler följt av ett talat meddelande på både svenska och engelska. Larmet spelas upp på totalt 38 sekunder, varav 25 sekunder utgör ljudsignalerna plus det svenska meddelandet. Meddelandet på svenska låter enligt följande:

Ett tillbud har inträffat i våra lokaler. Vi ber samtliga personer att lämna lokalerna omedelbart. Använd markerade utrymningsvägar. Hissar får absolut inte användas. Gå direkt ut på gatan där ni får ytterligare information.

Motsvarande text upprepas därefter på engelska. Hela utrymningslarmet repeteras om och om igen tills någon stänger av larmet.

6 Dimensionerande bränder

Nedan beskrivs de bränder som bedöms vara farligast för personsäkerheten utifrån de brandscenarier som har diskuterats, och därför är dimensionerande för riskvärderingen av ICA Maxi. Returglasrummet har tagits med som en dimensionerande brand efter önskemål från räddningstjänsten i Motala. För en mer ingående analys av hur resultaten tagits fram hänvisas till Bilaga C. Vid beräkningarna har ingen hänsyn tagits till huruvida brandspridning sker från primärkällan (se vidare kapitel 7).

6.1 Chipsbrand

Vid kassorna i gemensamhetsdelen står en chipshylla som är ungefär 6 meter lång, 1 meter bred och 2,5 meter hög (se figur 6.1). Bredvid, parallellt med hyllan, står ytterligare en hylla med framför allt ostbågar, popcorn och jordnötter. Hyllan har samma mått som hyllan med chips.

Om en av hyllorna skulle antända skulle brandens effekt stiga snabbt. Redan efter några minuter kommer chipshyllan bredvid sannolikt också att antända på grund av strålning, och en mycket intensiv brand kommer att bildas (Arvidson (2005)). Däremot tas ingen hänsyn till spridning till andra närliggande hyllor.

I värsta fall kommer sprinklersystemet inte att aktiveras och brandgasluckorna inte att öppnas. Branden kommer då att uppnå en maximal effekt på ungefär 24 MW efter åtta minuter. Branden håller den maximala effekten i ungefär tre minuter och avtar därefter. I figur 6.2 ses den framtagna effektkurvan för chipsbranden i butiken.



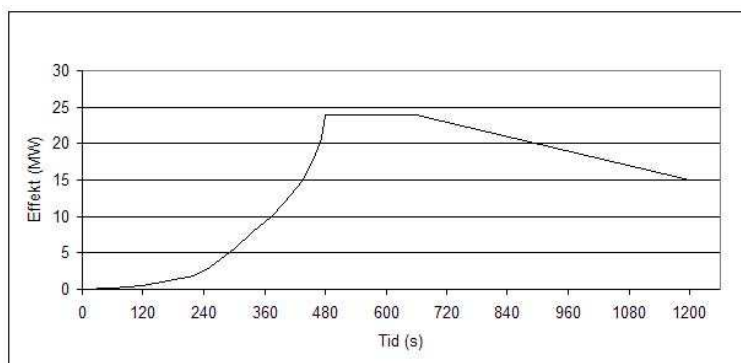
Figur 6.1: Chipshyllan vid kassorna.

När branden är som störst har brandgaserna bildat ett 4,8 meter högt brandgaslager vars högsta temperatur, även vid den maximala effekten, blir ungefär 320 °C (se figur 6.3 och 6.4). Om sprinklersystemet aktiveras sker detta efter ungefär sex minuter och branden kommer att begränsas. Just när sprinklersystemet aktiveras är brandgaslagrets temperatur ungefär 170 °C, för att därefter sjunka. Brandgaslagrets höjd är ungefär 5,5 meter och stiger därefter.

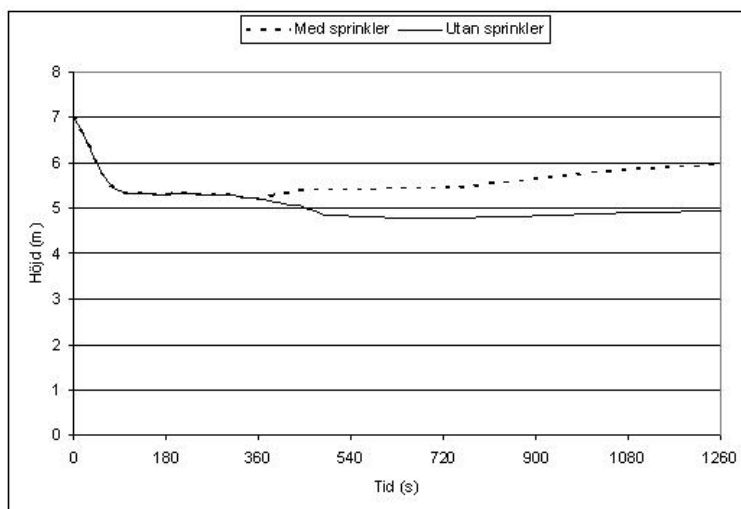
Huruvida brandgaslagrets höjd faktiskt kommer att stiga eller ej efter att sprinklersystemet aktiverats är osäkert då brandgaserna kommer att kylas ner av vattnet och istället kan komma att sjunka ner mot golvnivå.

De nödutgångar som är relativt nära branden, Exit 9, 10 och 11 (se figur A.2), kan bedömas som olämpliga när branden har uppnått sin maximala effekt eftersom de sannolikt vid denna tidpunkt faller in i det kritiska området.

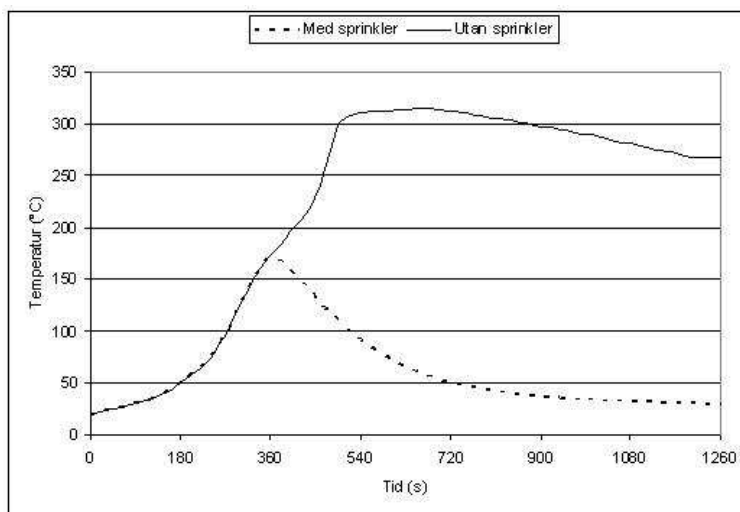
Det finns tre handbrandsläckare i närheten av hyllorna (se figur A.2), som i ett tidigt skede skulle kunna slå ner branden. Den närmsta är placerad vid Exit 9. De två andra handbrandsläckarna är placerade dels framför en av kassorna och dels mitt i butiken. Handbrandsläckaren vid kassorna såg vid besökstillfället ut att vara förbrukad alternativt illa skött och kan bedömas som obrukbar. Handbrandsläckaren mitt i butiken kan bedömas som mest lämplig att använda då den inte är placerad vid en nödutgång och löper mindre risk att bli blockerad.



Figur 6.2: Effektkurva för chipsbrand



Figur 6.3: Brandgaslagrets höjd i chipssektionen



Figur 6.4: Brandgaslagrets temperatur i chipssektionen

6.2 Brand i returglasrum

Vid byggnadens huvudentré, i anslutning till gemensamhetsdelen, ligger rummet där all pantning av returglas och burkar sker. Returglasinkasten utgör öppningar på totalt cirka två m^2 ut mot gemensamhetsdelen. I övrigt är rummet helt slutet. Takhöjden är 5 meter, och golvarean ungefär 140 m^2 .

I returglasrummet lagras HDPE-backar och PET-flaskor (se figur 6.5) tillfälligt i väntan på vidare transport till återvinning. Tillsammans med förvaringskartonger och lastpallar utgör de en stor mängd bränsle om en brand skulle bryta ut. Om HDPE-backarna börjar brinna smälter de och bildar en pool med en kraftig brandgasutveckling. På grund av de stora mängderna brandgaser skulle en brand i returglasrummet kunna förhindra en utrymning via huvudentrén.



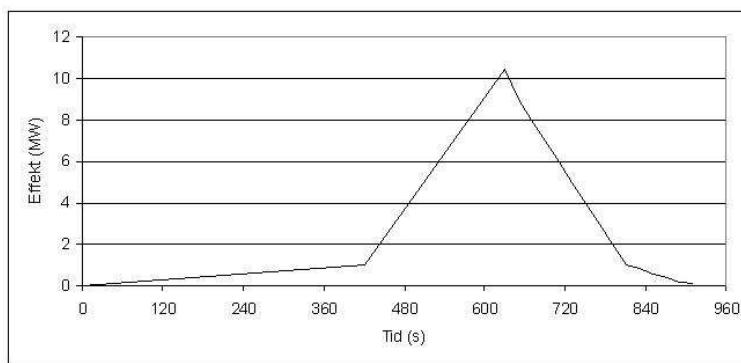
Figur 6.5: HDPE-plastbackar i returglasrummet

I rummet finns inga branddetektorer installerade. Sprinklersystem finns, som vid aktivering även löser brandlarmet som går till räddningstjänsten. Dock aktiveras ej utrymningslarmet i ICA Maxi (Löf (2006)).

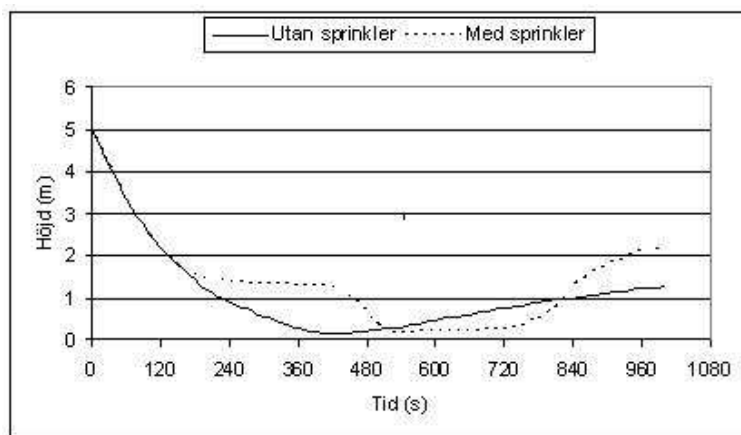
Rummet är oftast obemannat, och då branddetektorer saknas kan det dröja innan en eventuell brand upptäcks. Eventuellt sker detta inte förrän brandgaserna börjar välla ut i gemensamhetsdelen, där fler människor är i rörelse. Närmsta handbrandsläckare finns i anslutning till ingången till ICA Maxi-butiken.

I figur 6.6 ses framtagen effektkurva för returglasrumsbranden. Plasterna tar lång tid att antända men när branden väl tagit sig ökar effekten snabbt. En maxeffekt på strax över 10 MW uppnås efter cirka tio minuter om branden får brinna fritt. Den kraftiga rökutvecklingen gör, trots den höga takhöjden, att brandgaslagret sjunker ner till två meters höjd och börjar pumpas ut i entrédelen redan efter två och en halv minut (se figur 6.7). Den maximala temperaturen är cirka $700 \text{ }^\circ\text{C}$ (se figur 6.8). Den simulerade branden bedöms utgöra ett värsta tänkbara scenario, då samtliga värden är framtagna under förutsättning att tekniska system inte aktiveras.

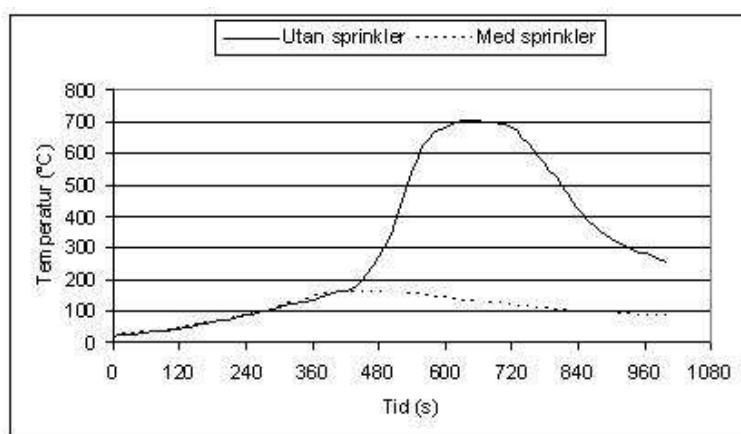
Om sprinklersystemet aktiveras kommer temperaturen i rummet att maximalt uppnå knappt $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Brandgaslagret kommer dock fortfarande att sjunka ner till öppningarnas överkant efter cirka två och en halv minuter.



Figur 6.6: Effektkurva för returglasrummet



Figur 6.7: Brandgaslagrets höjd i returglasrummet



Figur 6.8: Brandgaslagrets temperatur i returglasrummet

6.3 Vätskebrand

I sydöstra delen av butiken (se figur A.2) finns en avdelning med bland annat T-gul, T-grön, T-blå, tändvätska, motorolja, lampolja och rödsprit (se figur 6.9). Takhöjden är lägre än i resten av butiken och ställ med kläder och skor angränsar. De vätskor som klassas som brandfarliga står i säkerhetsskåp, som ska klara en brand i 30 minuter. Övriga vätskor, som klassas som icke brandfarliga alternativt brandfarlig vara klass 3, står framme på hyllorna. Även om de klassas som icke brandfarliga brinner en del bra när de väl har tänt. Se bilaga G.1. Till exempel har T-grön, T-gul och Festival lampolja flampunkter på omkring 70 °C.



(a) Vätskor som står på hylla



(b) Förvaring av brandfarliga vätskor i säkerhetsskåp

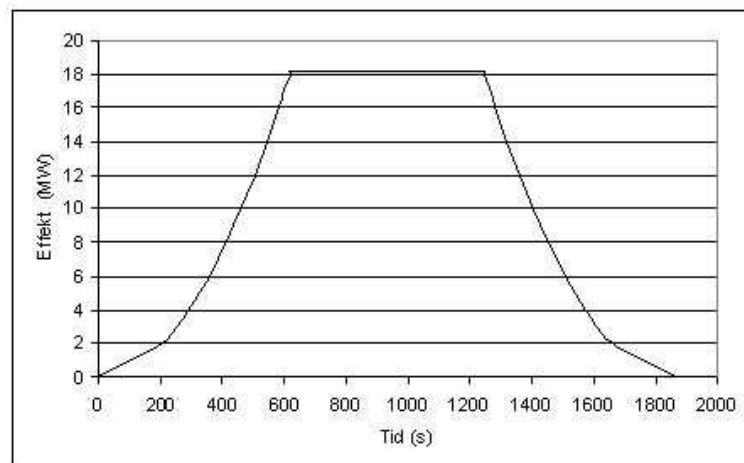
Figur 6.9: Hantering av brandfarliga vätskor

Själva flaskorna är inte gjorda för att stå emot en brand, utan för att skydda dem måste de flyttas från flammorna (www.kemetyl.se (2006-28-10)). Då flaskorna inte står emot en brand skapar dessa, när de går sönder, en poolbrand. Den maximala effekten som poolbranden, med en area på 30 m², kan nå har beräknats till 18 MW (se beräkningar i bilaga C.3.1). Denna effekt kommer att uppnås efter tio minuter (se figur 6.10). Samtidigt kommer brandgaslagrets temperatur och höjd, vid branden, att vara 350 °C respektive 4,1 meter. Värdena representerar ett värsta scenario då sprinklern inte har utlöst och fått chansen att slå ner alternativt släcka branden. Om sprinklern utlöser kommer brandgaslagrets temperatur och höjd istället att som mest bli 130 °C respektive 4,5 meter vid branden (se figur 6.12 och 6.11). Detta under förutsättning att sprinklersystemet klarar av att hantera branden. Det kan dock uppstå problem, då det krävs stora mängder vatten för att kontrollera en vätskebrand. Vattnet kan däremot antas ha en tillräckligt stor kylande effekt på flaskorna för att förhindra att de går sönder. Därmed stoppas ytterligare bränsletillförsel.

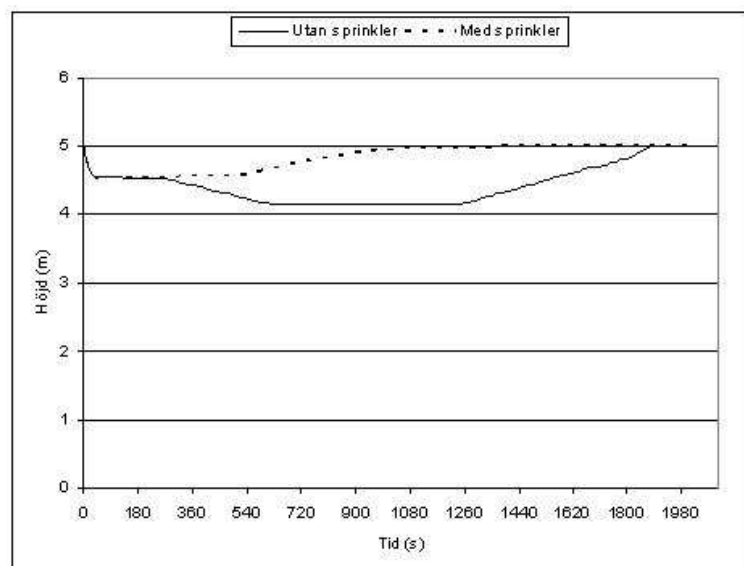
Vid det värsta scenariot har inte heller någon upptäckt branden, och försökt släcka den med den handbrandsläckare som finns monterad på den bärande pelaren cirka tio meter från vätskorna. Möjligen kommer ingen att upptäcka branden i ett tillräckligt tidigt stadium för

att försöka släcka, med anledning av att det i denna delen av butiken rör sig ett mindre antal personer. Detta då bedömningen har gjorts att huvuddelen av kunderna på ICA Maxi är där för att handla mat.

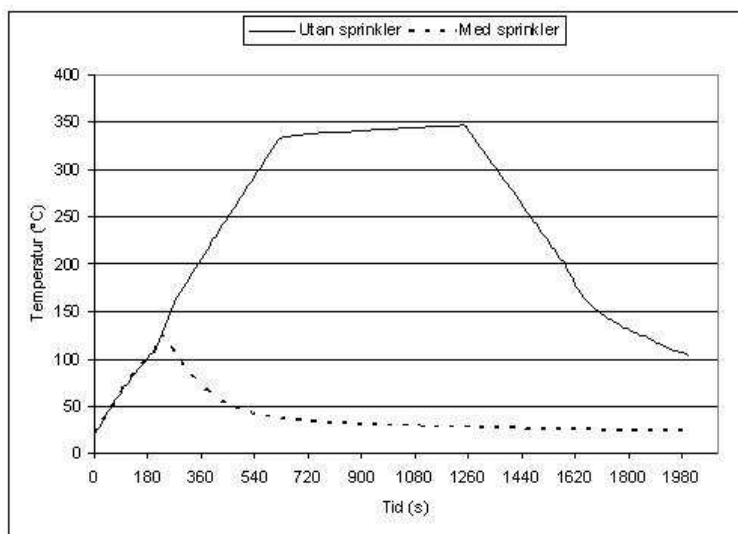
Nödutgången, Exit 5, närmast branden kan anses som olämplig att använda en bit in i brandförloppet, och obrukbar om branden får nå sin maxeffekt, eftersom strålningsintensiteten från branden till sist blir för hög. Se vidare kapitel 7.



Figur 6.10: Effektkurva för vätskebrand



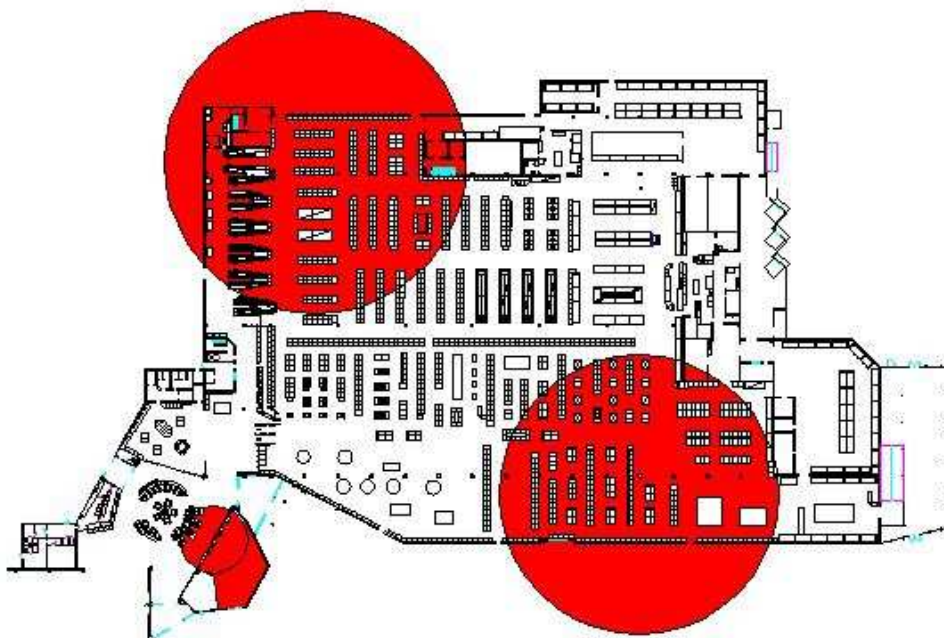
Figur 6.11: Brandgaslagrets höjd i vätskebrandsektionen



Figur 6.12: Brandgaslagrets temperatur i vätskebrandsektionen

7 Strålning

Vid utrymning har en strålningsintensitet på $2,5 \text{ kW/m}^2$ satts som kritisk nivå enligt gällande standard (BBR (2006)). Strålningsberäkningar har gjorts för att beräkna det minsta avståndet från respektive brand som krävs för att undvika exponering för högre strålningsintensiteter än $2,5 \text{ kW/m}^2$. Detta har gjorts genom att vid beräkning använda brandens maximala effekt och flammhöjd. Eftersom brandgaslagrens temperaturer är relativt låga kommer strålningsintensiteten framförallt att domineras av flammorna. Därför har strålningen från brandgaslagren försumrats vid beräkningarna. För chipsbranden är det kritiska avståndet från utkanten av branden 23 meter, returglasrummet 3 meter och för vätskebranden krävs minst 20 meter. Beräkningar redovisas i bilaga D, avstånden illustreras i figur 7.1.



Figur 7.1: Kritiskt område med avseende på strålning för maximal brandeffekt utan sprinkler. Detta inträffar för chips efter åtta minuter, samt för vätskor och returglasrum efter tio minuter.

Samtliga beräkningar avser sämsta tänkbara scenario ur utrymningssynpunkt, där varken sprinkler eller brandgasventilation fungerar. Om sprinklersystemet aktiveras kommer respektive brand antingen slås ner helt eller begränsas. En mindre brand ger lägre strålningsintensitet då det kritiska avståndet är beroende av arean (se formler för strålningsberäkningar i bilaga D).

Ingen hänsyn har heller tagits till brandgasventilationen. Brandgaslagret bidrar till den totala strålningen, men då dessa värden är betydligt lägre än flammornas, kommer inte brandgasventilationen att påverka intensiteten i särskilt stor utsträckning. Enligt simuleringar i CFAST fås som mest strålningsintensiteter på $2,8 \text{ kW/m}^2$ från brandgaserna. Dessa värden uppnås dock bara i själva brandsektionen då effekten är som högst. Om takluckorna öppnas

kommer brandgaser att ventileras ut, men då ingen hänsyn tagits till brandgasernas strålning kommer detta inte att påverka resultaten ovan.

Vidare kommer strålningen till viss del att skärmas av till exempel av omgivande butikshyllor och bärande konstruktioner. Vid kassorna kommer även väggen mot kontorslokalerna att minska synfaktorn.

Vid brand i returglasrummet kommer situationen att se annorlunda ut, då branden är instängd. Endast strålning från returglasinkasten kommer att vara aktuell. Strålningen från brandgaslagret i gemensamhetsdelen uppgår till maximalt $0,6 \text{ kW/m}^2$. Siffran är hämtad från CFAST, och bedöms vara rimlig då det är högt i tak i denna lokal. Vidare är giltigheten för modelleringen som bäst i returglasrummet och angränsande utrymme. Värdet har en god marginal till det kritiska på $2,5 \text{ kW/m}^2$ och kan ej komma upp i detta värde med eventuell felmarginal medtagen.

Om inga aktiva system fungerar kommer intilliggande hyllor att utsättas för så höga strålningsdoser att risk för antändning föreligger. Enligt tabell 7.1 självantänder trä vid 29 kW/m^2 och med formlerna i bilaga D kommer denna strålningsintensitet att infinna sig inom en radie på sex meter från branden.

Vid de dimensionerande bränderna i butikslokalen har ingen hänsyn tagits till eventuell brandspridning från primärkällan. De höga strålningsintensiteter som bränderna ger upphov till innebär uppenbara spridningsrisker. Sannolikheten bedöms dock vara liten att bränder tillåts bli så stora, med tanke på sprinklersystemets höga tillförlitlighet (se kapitel 5). Eftersom personsäkerheten står i fokus har endast den första tiden, fram tills dess att utrymning slutförts, studerats, och under den tiden anses sprinklern kunna begränsa branden. Därför har inte eventuell brandspridning tagits i beaktande utöver spridning inom primärkällans bränsle.

Tabell 7.1: Strålningseffekter (Drysdale (1998), s 61)

Strålning [kW/m ²]	Observerade effekter
0,67	Sommarsol i Storbritannien
1	Exponering under obegränsad tid
2,5	Utrymningsgränsvärde
6,4	Smärta efter åtta sekunders hudexponering
10,4	Smärta efter tre sekunders exponering
12,5	Trä kan antändas med pilotlåga efter längre exponering
16	Blåsor efter fem sekunder
29	Trä självantänder efter längre exponering

8 Brandgasspridning

Brandgaser som bildas vid bränder kan försvåra utrymning och i värsta fall utgöra direkt livsfara. Kritiska nivåer för brandgaslagret ligger på strax över två meter i ICA Maxi-butiken (se bilaga E. Resultat redovisas i tabell 8.1.

Tabell 8.1: Kritisk brandgashöjd jämfört med beräknad brandgashöjd för respektive brandscenario

Brandscenario	Kritisk höjd [m]	Höjd utan sprinkler [m]	Höjd med sprinkler [m]
Chips	2,3	4,8	5,5
Returglasrum	2,1	0	0
Vätskor	2,1	4,1	4,5

Enligt de simuleringar som gjorts i de publika delarna av ICA Maxi kommer brandgaslagret aldrig att komma ner till den kritiska nivån på strax över två meter, inte ens i själva brandsektionen (se figur B.1). Därmed inte sagt att brandgaserna inte försvårar utrymningen. Beräkningarna bygger på tvåzonsmodellen (se bilaga B.3) där ett utav antagandena är att det bildas ett brandgaslager, med en skarp skiktning mellan brandgaser och frisk luft. För att ett brandgaslager skall bibehållas måste de varma brandgaserna ha tillräcklig termisk stigningskraft, vilket kräver en minsta temperaturskillnad mot den omgivande luften på runt 20 °C (Gojkovic (2005)).

ICA Maxi-butiken är en stor och öppen lokal med högt i tak. Stor luftinblandning kommer att ske och temperaturen i brandgaserna sjunker med ökat avstånd från själva branden. Det innebär att den termiska stigningskraften sjunker och situationen liknar snarare en enzonsmodell där brandgaserna är helt ombländade i rummet. Den försämrade sikten i brandgaserna inverkar på utrymningen. Då brändernas effekter är mycket stora bildas det en avsevärd mängd mörka brandgaser.

För chips- respektive vätskebranden har beräkningar gjorts för att undersöka siktförhållandena i ICA Maxi i förhållande till de kritiska siktnivåerna på minst tio meter vid utrymning. Brandgaserna som bildas antas spridas jämnt i de publika delarna av butikslokalen. Beräkningarna bygger på att sprinklersystemet ej aktiverats, och att branden därmed får tillväxa fritt. Ingen hänsyn har tagits till brandgasventilation eller andra eventuella öppningar. Inte heller har transporttider beaktats.

Värdena avser tiden tills siktsträckan blivit så kort som tio meter, se tabell 8.2. För beräkningar se bilaga F. Under givna förutsättningar ligger tiderna på gränsen för att klara utrymning av hela lokalen enligt de simuleringar som gjorts i SIMULEX (se kapitel 9.2). Om däremot sprinklersystemet aktiveras, och bränderna åtminstone kommer att begränsas, bildas mindre brandgaser och sikten kommer inte att försämrans lika snabbt. Även brandgasluckorna, om de öppnar, påverkar siktförhållandena till det bättre.

Tabell 8.2: Tid tills kritiska siktförhållanden på tio meter uppstår, utan aktivering av sprinklersystem

Brandscenario	Tid [s]
Chips	400
Vätskor	560

Returglasrummet är betydligt mindre och här kommer brandgaserna att sjunka under den kritiska nivån, men eftersom inga människor förväntas utrymma via det utrymmet anses

detta inte enskilt utgöra något direkt hinder för utrymning. Brandgaser kommer dock att spridas till gemensamhetsdelen där huvudentrén ligger.

Beroende på vad som brinner, och hur ofullständig förbränningen är, innehåller brandgaser mer eller mindre hälsofarliga ämnen. Lokalens stora volym gör dock att förhållandevis små koncentrationer farliga ämnen kommer att uppnås om spridning sker i hela butiken.

8.1 Brandgasspridning via ventilationssystemet

För att brandgaser skall spridas via ventilationen måste det byggas upp ett tryck i brandrummet som övervinner trycket i luftkanalerna. De stora ytorna i butiken gör att det inte kan byggas upp tillräckligt med tryck för att övervinna övertrycket i tilluftskanalssystemet.

I lager 1 finns tilluftskanaler som är ihopkopplade med övriga butiksdelen. Lagret är stängt mot övriga delar och här skulle eventuellt ett tryck kunna byggas upp. Vid en eventuell brand kommer dock, om larmet utlösts, samtliga tre dörrar från lagret att öppnas för att underlätta för utrymning, vilket gör att tryckutjämning kommer att ske genom dessa öppningar istället för via ventilationssystemet. Om en brand utbryter i kontorsdelen finns avsevärt större risk för brandgasspridning mellan kontorsrummen via ventilationskanalerna. Hänsyn till detta tas ej med här då ingen spridning kan ske till övriga delar av butiken. Dessutom kan det förutsättas att personer som befinner sig på ovandelen känner till byggnaden och hittar snabbt ut.

Returglasrummets ventilationskanaler är kopplade till Willys-butiken och således avskilda från ICA Maxi. De utgör därför inget hot mot personsäkerheten på ICA Maxi, vad gäller brandgasspridning den vägen.

9 Utrymning

I utrymningssimuleringen, genomförd i programmet SIMULEX, har en fördelning av person-tätheten antagits enligt tabell 9.1. 70 % av personerna kommer att gå via huvudentrén (Frantzich (2006)), resten kommer att gå via närmaste nödutgång. Detta anses vara konservativt eftersom det finns många väl synliga nödutgångar. Vidare har personer olika respons- och reaktionstid beroende på om de ser branden eller ej. För chipsbranden se figur C.4, för brand i returلاسrummet se figur C.9 och för vätskebrand se figur C.13.

Tabell 9.1: Antagen personfördelning i ICA Maxi innan utrymning

Del av butiken	Antal personer
Totalt	1500
Kassor	150
Livsmedel	975
Husgeråd	375

Eftersom många kommer att vilja gå till huvudentrén uppstår folkansamlingar vid kassorna samt vid entrégrindarna till själva butiken. Detta kan bli ett problem om kritiska förhållanden uppstår i anslutning till entrén alternativt vid kassorna. Vid de dimensionerande bränderna uppstår inte kritiska förhållanden inom tidsramen för utrymningen. Om däremot brand skulle uppstå i direkt anslutning till där folksamlingar bildas, eller om kraftig brandspridning sker, kan personsäkerheten komma att äventyras.

9.1 Personalens agerande vid utrymning

Enligt ICA Maxi:s systematiska brandskyddsarbete, SBA, utbildas all butikspersonal kontinuerligt för att kunna agera korrekt vid ett eventuellt brandtillbud; dels för att kunna genomföra en första släckinsats för att begränsa branden, och dels för att kunna bistå vid en utrymningssituation.

Vid en utrymning är personalens agerande en avgörande faktor för att hålla nere utrymnings-tiderna. Utan inverkan från personalen kommer en större del av kunderna att söka sig till huvudentrén (Frantzich (2006)), och därmed uppstår köbildningar vid de utrymningsvägar som kunderna normalt använder. Om butikspersonalen däremot aktivt dirigerar människor till samtliga tillgängliga utrymningsvägar kan själva förflyttningstiden förkortas. Dessutom kan personalen medverka till att ett lugn bibehålls under utrymningsförloppet för att undvika paniksituationer.

I nuläget saknar sprinklersystemet i gemensamhetsdelen och returلاسrummet sammankoppling med utrymningslarmet i ICA Maxi (se vidare kapitel 5). Detta innebär att det talade utrymningsmeddelandet måste startas manuellt av någon i personalen. Då utrymningslarmet är av största vikt för att initiera en utrymning, är ett snabbt agerande från personalens sida väsentligt.

9.2 Utrymning vid dimensionerande bränder

Med de förutsättningar som antagits för chipsbranden simulerades besluts-, reaktions- och förflyttningstiden till cirka sju minuter och trettio sekunder i SIMULEX. Se tabell 9.2.

Detektionstiden har med hjälp av datorsimulering i Detact T2 beräknats till ungefär två och en halv minuter. Detta ger en utrymningstid på cirka tio minuter.

Besluts-, reaktions- och förflyttningstiden för brand i returglasrummet uppgick till knappt åtta minuter enligt SIMULEX. Då branddetektorer saknas i rummet, och sprinklersystemet ej heller aktiverar utrymningslarmet, måste brandlarmet startas manuellt. Det kommer att ta ungefär två och en halv minuter innan brandgaser kommer börjar spridas från rummet (se beräkningar i bilaga C.2.2). Efter detta uppskattas det ta ytterligare två minuter innan det manuella brandlarmet aktiveras. Detektionstiden för returglasrumsbranden blir således ungefär fyra och en halv minuter. Detta ger en utrymningstid på cirka tolv och en halv minuter.

Med de förutsättningar som antagits för vätskebranden uppmättes besluts-, reaktions- och förflyttningstiden till nästan åtta minuter i SIMULEX. Detektionstiden har med hjälp av datorsimulering i Detact T2 beräknats till ungefär två minuter. Detta ger en utrymningstid på cirka tio minuter.

Förflyttningstiderna enligt SIMULEX kan anses orimligt långa. Detta beror främst på att programmet inte tar hänsyn till mänskligt beteende och att personerna slaviskt följer de avståndskartor som angivits. Detta leder bland annat till att alla vill gå ut via samma kassa och det blir köbildning förbi den som är närmast huvudentrén. Det mer realistiska är att alla kassor kommer att användas. Försök att kompensera för detta har gjorts genom att ta bort den nedersta kassan och på så sätt öppna upp (se figur 9.1).

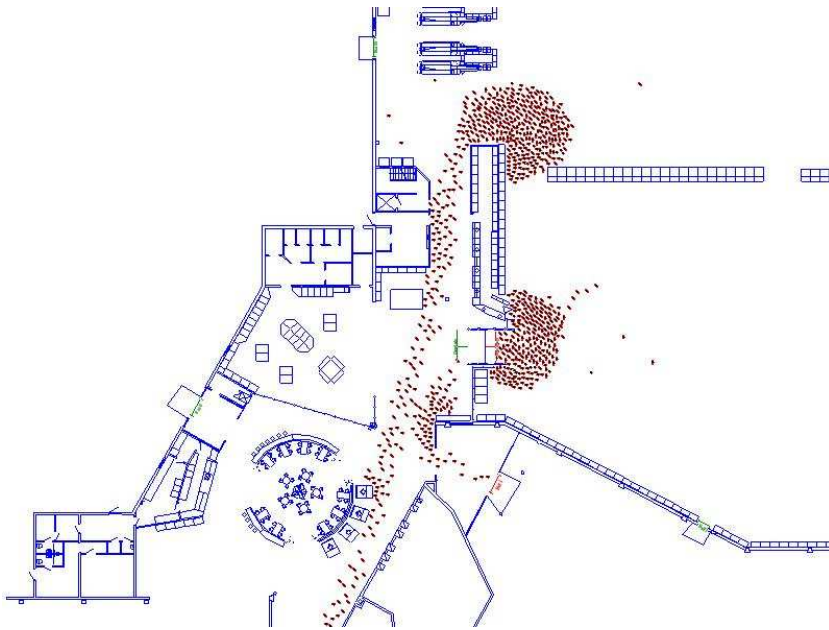
Eftersom samtliga personer i SIMULEX vill gå närmaste vägen till den nödutgång de är på väg till kommer det även att bildas köer runt hörn (se figur 9.1). Den tekniska utrymningstiden, om 1500 personer vistas i lokalen, har i SIMULEX, beräknats till ungefär två och en halv minut (se vidare bilaga B.1). En förhållandevis stor del av tiden vid utrymnings-simuleringarna för de dimensionerande bränderna i SIMULEX utgörs således av kötid, vilket anses orimligt. Ett mer verklighetstroget scenario är att folk söker sig till andra utgångar istället för att stå och köa, speciellt om till exempel strålningsintensiteten är hög. Detta kan innebära att utrymningstiden vid ett verkligt brandtillbud blir flera minuter kortare.

Vidare finns nödutgångar fördelade över hela försäljningsytan. Utrymningsskyltar och dörrar i lokalen är väl synliga, och när en person redan har öppnat en utgång kommer fler att följa efter istället för att blint gå närmaste vägen till huvudentrén. Utrymningsdörrarna har dessutom stor kapacitet, vilket innebär att köbildningar inte kommer att uppstå vid själva nödutgångarna i någon större utsträckning.

Sammanfattningsvis innebär simuleringarnas felkällor tillsammans med personalens agerande att de totala utrymningstiderna i verkligheten kommer att vara kortare än de tider som SIMULEX anger. Tiderna som bedöms gälla för utrymning av ICA Maxi anges i tabell 9.2.

Tabell 9.2: Utrymningstider för dimensionerande bränder (min)

Brand	Varseblivning	Beslut- reaktion- och förflyttning	Totalt
Chipsbrand	2,5	4,5	7
Returglasbrand	4,5	5	9,5
Vätskebrand	2	5	7



Figur 9.1: Utrymningsförloppet i SIMULEX

10 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys har genomförts för att undersöka olika parametrars påverkan på person-säkerheten. Samtliga dimensionerande bränder är medvetet väldigt stora, och snabbt tillväxande, för att ge värsta tänkbara scenarier. Utifrån dessa anses personsäkerheten i ICA Maxi tillfredställande.

Sprinklersystemets inverkan på resultaten har undersökts dels genom simuleringar i CFAST, samt dels genom handberäkningar på siktförhållanden i butiken. Enligt datorsimuleringarna kommer de maximala temperaturerna i respektive brandsektion att minska betydligt. Dessutom höjs brandgaslagrets lägsta nivå. Siktberäkningar som bygger på enzonmodellen ger för chipsbranden en tid på ungefär sju minuter tills kritiska förhållanden uppstår, om sprinklersystemet aktiveras. Detta innebär en tidsökning på cirka en halv minut. För vätskebranden är motsvarande tid ungefär 37 minuter med ett fungerande sprinklersystem, vilket är en tidsökning på nästan 30 minuter.

För att se när tiden tills kritiska förhållanden uppstår understiger tiden för utrymning av lokalen har effekterna av snabbare brandförlopp studerats. Vid chips- respektive vätskebranden har en tillväxthastighet som motsvarar ultrafast, $\alpha = 0,19 \text{ kW/s}^2$, istället antagits. Detta medför att kritiska siktförhållanden uppstår snabbare. För chipsbranden inträffar detta efter cirka fyra minuter, utan aktivering av sprinklersystemet. Enligt Detact T2 kommer sprinklersystemet att aktiveras efter ungefär två minuter. Med antagandet att branden då uppnått sin maximala effektutveckling, och därefter brinner på en konstant nivå, kommer tiden tills kritiska siktförhållande uppstår att utökas med drygt tjugo sekunder.

Vätskebranden ger, vid ultrafast tillväxt, upphov till kritiska siktförhållanden efter knappt sex minuter, utan inverkan av sprinkler. Sprinklersystemet aktiveras enligt Detact T2 efter ungefär 100 sekunder. Om denna antas begränsa branden, så att effektutvecklingen blir konstant därefter, kommer kritiska siktförhållanden inte att uppnås förrän efter drygt tjugo minuter.

Vatten är normalt inte ett optimalt släckmedel för att slå ner en vätskebrand. Eventuellt kan en sprinkleraktivering medföra att vätskepoolens area ökar. Aktivering av sprinklersystemet kan dock kyla ned flaskor som ännu inte börjat brinna, och därmed fördröja brandens spridning. Dessutom kommer intilliggande varor att blötas ner av vattnet, vilket försvårar en eventuell antändning.

Enligt figur 5.1 uppgår risken att utrymningslarmet inte fungerar till 10 %. Med tanke på antalet människor som kan befinna sig i butiken, och att den totala förflyttningstiden därför blir förhållandevis lång, är utrymningslarmet väsentligt för att alla ska hinna ut innan kritiska förhållanden uppstår. Om automatisk branddetektering av någon anledning inte sker, eller kopplingen mellan brand- och utrymningslarm uteblir, kommer varseblivningstiden, och därmed även utrymningstiden, att förlängas. Om detta inträffar samtidigt som samtliga andra tekniska system fallerar är det tveksamt om alla personer hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår. Vid exempelvis chipsbranden sammanfaller tiden tills kritiska siktförhållanden uppstår i princip med tiden för total utrymning. Då varseblivningstiden förlängs, om än marginellt, kan inte längre de utrymmande personernas säkerhet garanteras. I de fall där utrymningslarmet fallerar, men sprinklersystemet fungerar, kan säker utrymning antagligen ändå genomföras. Detta då sprinklern begränsar branden och förlänger tiden tills kritiska förhållanden uppstår i butiken.

Utrymningssimuleringar har gjorts med mindre antal personer i butiken än lokalen är dimensionerad för. Detta då kundantalet normalt inte bedöms uppgå till 1500 personer. Vid

simuleringar med 1000 respektive 500 personer, har samma procentuella fördelning med avseende på placering av människorna i lokalen som i returglasrummet använts (se figur C.9). Med samma förutsättningar uppgick besluts-, reaktions- och förflyttningstiden i SIMULEX till ungefär sex respektive fem och en halv minuter. Detta att jämföras med tider på mellan sju och en halv och åtta minuter för utrymning av 1500 personer vid de tre dimensionerande bränderna.

Brandgasventilation kan bidra till att förbättra förhållanden i butiken, både genom bättre sikt och lägre strålningsintensiteter från brandgaslagret. Detta dock under förutsättning att brandgaserna behåller sin termiska stigningskraft. Om sprinklersystemet aktiveras och kyler brandgaserna kommer rökluckorna inte att ha någon större effekt. Däremot kan brandgasventilation i ett senare skede av en eventuell brand underlätta för en räddningstjänstinsats.

Uteblivna aktiva system påverkar säker utrymning negativt. Nedan följer en bedömd rangordning över de system som enskilt minskar säkerheten mest om de fallerar (se vidare kapitel 5):

1. Sprinkler
2. Detektion
3. Rökluckor

11 Diskussion

11.1 Dimensionerande bränder

Utifrån elva möjliga brandscenarier har tre stycken dimensionerande bränder studerats närmare. Med tanke på lokalens utformning anses dessa bränder utgöra störst hot mot person-säkerheten i ICA Maxi. De dimensionerande bränderna är: brand i chipshyllan, vätskebrand samt brand i returglasrummet. Resultaten har tagits fram med hjälp av simuleringar och handberäkningar, med och utan sprinkler aktiverad. I tabell 11.1 ges en sammanställning av framtagna resultat.

Tabell 11.1: Framtagna resultat för de dimensionerande bränderna med och utan sprinkler aktiverad

Brand Sprinkler	Chips		Vätskor		Returglas		Enhet
	ja	nej	ja	nej	ja	nej	
Maxtemperatur	170	320	125	320	180	700	°C
Maxeffekt	10	24	2	18	4	10	MW
Kritiskt strålningsavstånd	-	23	-	20	-	3	m
Brandgaslagrets höjd	4,5	5	4,5	4	0	0	m
Tid till tio meters sikt	7	6,5	37	9,5	-	-	min
Utrymning	7		7		10		min

Chips

Chips brinner snabbt och med stor effekt. Hyllorna står i nära anslutning till kassorna där många personer kommer att uppehålla sig. Det enskilt största hotet för utrymmande personer är strålningen från själva branden. Förutsatt att inga hinder i form av hyllor och dylikt finns kommer vid maxeffekt strålningsintensiteten att uppnå kritiska nivåer för utrymning inom en radie av 23 meter från utkanten av branden. Sannolikheten att inga aktiva system fungerar bedöms till 0,1 % och därför är ett scenario där sprinkler har aktiverats mer troligt. Sprinklern halverar maxtemperaturen i brandgaslagret samt den maximala effekten som branden kan uppnå. Tiden tills kritiska siktförhållanden uppstår uppgår till ungefär 400 sekunder utan och 420 sekunder med aktiverad sprinkler. Om sprinklersystemet aktiveras, och klarar av att slå ner branden, kommer tiden att förlängas ytterligare, och utrymning bedöms kunna ske säkert.

Vätskor

De brandfarliga vätskorna som står fritt i butiken brinner intensivt om de antänds. Den maximala temperaturen utan sprinkler aktiverad kommer att bli ungefär densamma som för chipsbranden. Även här utgör strålningen största hotet för utrymmande men eftersom färre personer befinner sig i denna del utav butiken hinner fler undan innan kritiska förhållanden uppstår. Vid maximal effekt uppnås kritiska nivåer upp till 20 meter från utkanten av branden. Sprinklersystemet kommer här att aktiveras snabbare än i chipsfallet då det är lägre i tak. Både maxtemperaturen i brandgaserna samt maxeffekten blir då avsevärt lägre. Tiden tills kritiska siktförhållanden uppstår uppgår till drygt nio minuter utan aktiverad sprinkler. Om sprinklersystemet aktiveras ökas tiden till cirka 23 minuter. Med tanke på att få personer kommer att utrymma förbi den del där vätskorna står bedöms utrymning kunna ske säkert.

Returglasrum

Plasterna som brinner i returglasrummet kommer att generera kraftig rökutveckling, och även förhållandena i den angränsande gemensamhetsdelen påverkas. Detta innebär att försämrade

utrymningsförhållanden med avseende på sikt och toxicitet sannolikt kommer att utgöra den största personsäkerhetsrisken. Kritisk strålningsintensitet från returglasrummets öppningar förekommer vid maximal temperatur och effektutveckling inom en radie av tre meter, under förutsättning att sprinklersystemet inte aktiveras, vilket innebär att huvudentrén fortfarande kan användas. Förhållandena inne i ICA Maxi-butiken anses inte påverkas i någon större utsträckning, varför utrymning bedöms kunna ske säkert.

11.2 Allmänt

De dimensionerande bränderna har valts för att representera de värsta tänkbara scenarier som skulle kunna inträffa i ICA Maxi, med utgångspunkt från höga effektutvecklingar och snabba brandförlopp. Ingen direkt hänsyn har tagits till spridningsriskerna som föreligger på grund av de höga strålningsintensiteterna. Då butiken är utrustad med sprinklersystem och brandgasventilation, som båda har hög tillförlitlighet, kommer eventuella bränder antagligen att begränsas i ett ganska tidigt skede. De dimensionerande bränderna är dessutom så stora att beräkningarna fortfarande kan anses konservativa ur personsäkerhetssynpunkt, även om brandspridning inte beaktas.

De tekniska systemen är av stor betydelse för att ge tillräcklig tid för säker utrymning. Sprinklersystemet begränsar, alternativt slår ner, eventuella bränder, vilket medför dels att de kritiska strålningsavstånden minskar och dels att tiden tills kritiska siktförhållanden uppstår förlängs. Dessutom sjunker temperaturen i brandgaslagren, vilket gör att även strålningsintensiteten minskar. Däremot har sprinklersystemet vissa begränsningar vad gäller exempelvis vätskebränder, då stora mängder vatten krävs.

Utrymningslarmet är avgörande för att kunderna ska bli varse vad som har skett i ett tidigt stadium och börja utrymma butiken. Eftersom kritiska siktförhållanden kan uppstå relativt snabbt, eventuellt innan utrymning kunnat slutföras, är en kort varseblivningstid väsentlig. Automatisk start av utrymningslarmet är beroende av att branddetektering sker, alternativt att sprinklersystemet aktiveras. Utrymningsmodelleringarna har dock i ett första skede gjorts med 1500 personer i butiken. Kundantalet kan normalt anses vara mindre, varför simuleringar med mindre personantal i butiken har gjorts, med kortare utrymningstider som följd.

Brandgasventilationen påverkar både sikten och toxiciteten. Sikten är den enskilda parameter som snabbast uppnår kritiska förhållanden i hela butiken, om momentan spridning och väl omblandade förhållanden antas. Med större volym brandgaser följer, förutom dålig sikt, även mer toxiska ämnen, som kan innebära risker för människorna i byggnaden.

Om en brand inte begränsas snabbt kan strålningen innebära ett hot mot personsäkerheten, samtidigt som spridningsrisken är överhängande. Vad gäller såväl ICA Maxi:s försäljningsytor som på lagret förvaras mycket brännbart material förhållandevis tätt. Om spridning sker, och får fortlöpa utan hinder, kommer brandens utbredning att accelerera. Strålningen från de dimensionerande bränderna kommer inte att påverka utrymningen i någon större utsträckning på grund av deras placering i butiken. Om en brand däremot utbryter i anslutning till någon av entréerna, dit flest människor kommer att röra sig, kan höga strålningsintensiteter komma att bli en farlig faktor.

Stora bränder kan snabbt orsaka dåliga siktförhållanden i butiken. Vid den dimensionerande chipsbranden understiger tiden tills kritiska siktförhållanden uppstår den totala utrymningstiden. Situationen bedöms ändå vara säker för de utrymmande personerna eftersom beräkningarna anses vara väldigt konservativa. Ingen hänsyn har tagits till att personalens insats

kan förkorta utrymningstiderna betydligt, genom att personer omdirigeras till närmre utgångar och i mindre utsträckning söker sig till huvudentrén. Då simuleringarna har vissa begränsningar, kan den totala utrymningstiden anses konservativ. Vid beräkningarna antas även att sprinklern enbart avstannar brandens tillväxt. Om sprinklersystemet klarar av att dämpa brandens effekt kommer tiden tills kritiska siktförhållanden uppstår att förlängas.

Då tiden tills kritiska siktförhållanden uppstår, vid det värsta dimensionerande scenariot, är ungefär densamma som tiden det tar att utrymma 1500 personer kan inte personsäkerheten garanteras för ett större antal människor.

Säkerheten som helhet på ICA Maxi anses vara god. Byggnadens utformning och säkerhetsåtgärder i form av tekniska system gör att personsäkerheten bedöms fungera tillfredsställande, med reservation för föreslagna åtgärder.

11.3 Slutsats

Under förutsättning att de aktiva systemen fungerar anses butikens personsäkerhet vid uppkomst av brand vara tillfredsställande.

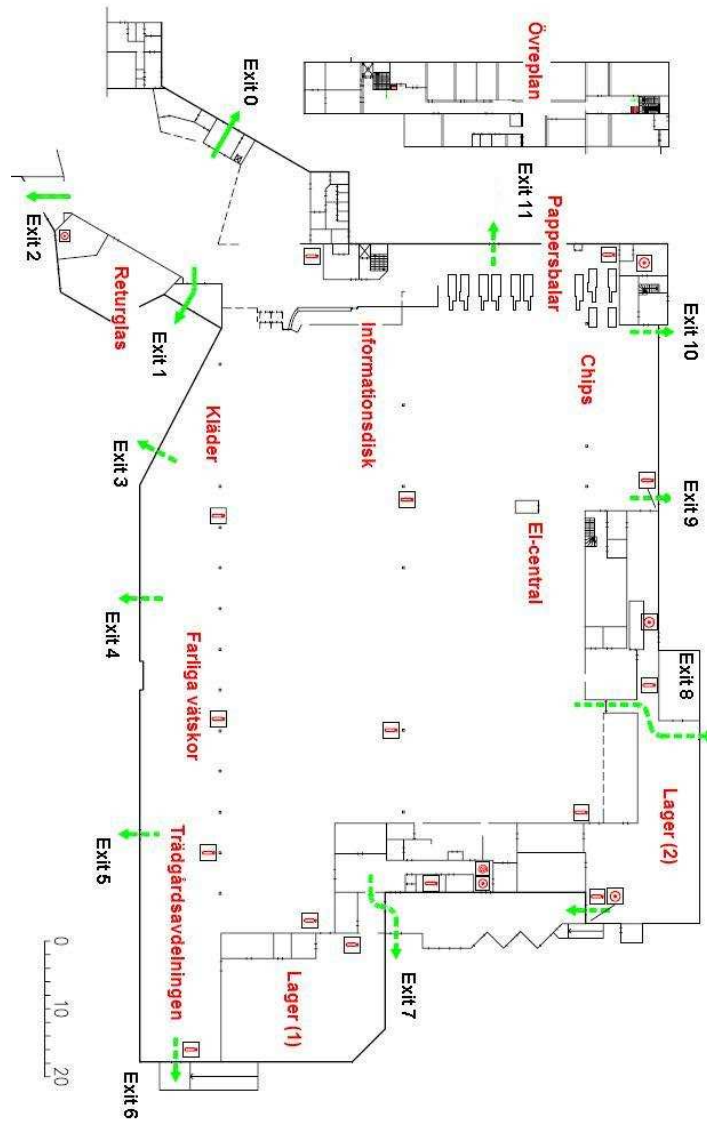
12 Åtgärder

Med utgångspunkt från objektsbesöket och simuleringarna anses ICA Maxi vara tillräckligt säkert ur personsynpunkt så att inga skallkrav fordras. Dock anses följande åtgärder skäligen för att ytterligare höja personsäkerheten på ICA Maxi vid uppkomst av brand:

1. Tillsyn av handbrandsläckare skall ske kontinuerligt för att säkerställa funktion och tillgänglighet. Vid objektsbesöket var ett antal handbrandsläckare svåråtkomliga och i ett fall var plomberingen bruten, vilket kan likställas med ej fungerande släckare.
2. Rökdetektorer bör installeras i returglasrum och gemensamhetsdel. I dagsläget kommer en eventuell brand i dessa utrymmen att kunna fortgå en längre tid innan larm går till räddningstjänst och utrymning initieras. Då större delen av kunderna bedöms använda huvudentrén vid utrymning, är det väsentligt med tidig detektion av brand så att bra förhållanden kan säkerställas i gemensamhetsdelen under hela utrymningsförloppet. Detektorerna här bör kopplas så att utrymningslarmet aktiveras i både ICA Maxi, OnOff och Arken. Detektor i returglasrummet bör även aktivera utrymningslarm i Willys-butiken, detta eftersom risk för brandgasspridning dit via ventilationssystemet är betydande. En rökdetektor beräknas förkorta utrymningstiden med två minuter.
3. Personalen bör även fortsättningsvis utbildas för att kunna agera korrekt vid en eventuell brand; att aktivt kunna genomföra en släckinsats med handbrandsläckare för att i ett tidigt skede begränsa en brand, samt att i händelse av brand vägleda kunder till samtliga nödutgångar för att förkorta utrymningstiden.
4. Sprinklersystemet i returglasrum och gemensamhetsdel bör, liksom i övriga byggnaden, kopplas samman med utrymningslarmet.

Referenser

- Abrahamsson M., *Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler*, Institutionen för Brandteknik, LTH, Lund.
- Arvidson M., Lönnmark A., (2002), *Comodity Classification Test of Selected Ordinary Combustible Products*, SP Fire Technology. SP Report 2002:03, Borås.
- Arvidson M., (2005), *Potatischips och ostbågar brinner intensivt*, Brandposten nr 32:2005 s 10-11.
- BBR, (2006), *Boverkets byggregler*, BFS 1993:57 med ändringar t.o.m. BFS 2006:12, Boverket, Karlskrona.
- Brandskyddsdocumentation, (2005), *Brandskyddsdocumentation Relationshandling 2005-04-20 Kv Hökaren 2, Motala Om- och tillbyggnad av Maxi ICA Stormarknad*, Brandkon-sulten AB.
- Brandskyddshandboken, (2005) *rapport 3134*, Brandteknik, LTH.
- Drysdale D., (1998), *An Introduction to Fire Dynamics Second Edition*, Chichester:John Wiley & Sons Ltd.
- Frantzich H., (2006), Muntlig källa, Universitetslektor, Brandteknik, LTH, Lund.
- Gojkovic D., (2005), Föreläsning Branddynamik, Universitetsadjunkt, Brandteknik, LTH, Lund.
- Jones W., Peacock D., Forney G., Reneke P., (2005), *CFAST Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) Technical Reference Guide*, NIST Special Publication 1026, National Institute of Standards and Technology.
- Karsson B., Quintiere J. G., (1999), *Enclosure Fire Dynamics*, Boca Raton: CRC Press LLC.
- Löf P-A., (2006), Muntlig källa, Fastighetsskötare, ICA Maxi, Motala.
- Magnusson S., Frantzich H., Harada K., (1995), *Fire Safety Design Based on Calculations - Uncertainty Analysis and Safety Verification*, Brandteknik, Rapport 3078, Brandteknik LTH, Lund.
- Nilsson D., Holmstedt G., (2006), Kurskompendium i Aktiva system, *Kompendium i Aktiva system - Detektion*, Brandteknik, LTH, Lund.
- Räddningsverket, (2005), *Räddningstjänst i siffror Fakta om räddningstjänstens insatser 1996-2004*, Hämtad 2006-12-09, <http://www.srv.se/Shopping/pdf/20836w.pdf>
- SFPE, (1995), *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd Edition*, National Fire Protection Association, Quincy.
- Utrymningsdimensionering, (2006), Boverket, Huskvarna.
- www.kemetyl.se, (2006-28-10),
<http://www.kemetyl.se/marknad.asp?Lang=Sv&Val=Konsument>.



Figur A.2: Möjliga bränders placering samt nödutgångar

B Simuleringar

För att kunna bedöma personsäkerheten på ICA Maxi har datormodeller använts. Då datormodellerna endast utgör just modeller av verkligheten har de sina begränsningar. Det är således viktigt att känna till deras begränsningar och styrkor, så att relevant indata ges samt att utdatan tolkas korrekt.

Nedan beskrivs programmen kortfattat och de modeller som används. Själva simuleringarna för de valda scenarierna beskrivs separat, där en mer ingående analys av in- och utdata ges och personsäkerheten utvärderas.

B.1 Utrymning

Handberäkningar för utrymning är inte svåra att räkna på. Problemet är att de snabbt blir otympliga att räkna med när personantalet kommer upp i ett stort antal och utrymmets geometri och möblering blir mer komplicerade. Det finns ett antal olika program att använda sig av. Programmet som används vid simuleringarna för ICA Maxi är SIMULEX.

SIMULEX visar utrymningsprocessen grafiskt i två dimensioner på de ritningar som lagts in. Ritningarna importeras från CAD. Utrymmande personer kommer att gå till närmaste nödutgång via de dörrar som på ritningen står öppna om inte något annat anges. Deras reaktions- och responstid går att ställa in och gånghastigheten ges som en funktion av en förinställd hastighet och avstånd till framförvarande person.

Utdata kan fås i form av en film som spelas upp på skärmen samt en textfil med information om antal personer som hunnit ut genom varje nödutgång med givna tidsintervall.

Den tekniska utrymningstiden, tiden från att alla börjar gå tills det att lokalen är utrymd, ligger på strax över två minuter för 1500 personer. Detta under förutsättning att samtliga personer väljer närmsta utrymningsväg. Dock blir det en del trängsel vid vissa nödutgångar medan andra står tomma eftersom varje person väljer närmaste utgång trots att det finns en tillgänglig nödutgång i närheten utan någon trängsel.

B.2 Gemensamma indata SIMULEX

I dagsläget är ICA Maxi dimensionerad för 1500 personer (Brandskyddsdocumentation (2005)). Därför kommer samtliga scenarier att i ett första skede simuleras med 1500 personer på nedre plan. Samtliga personer är tilldelade gruppen *shoppers* i SIMULEX. Denna grupp har en fördelning av 40 % kvinnor, 35 % män, 15 % barn och 10 % äldre. 75 % antas befinna sig i matdelen och resten i husgerådsdelen. Av de 1125 som finns i matdelen står 150 personer i kö till kassorna. Alla anses vara jämt fördelade över den del av lokalen där de befinner sig.

70 % av de utrymmande personerna antas utrymma via huvudentrén då det ter sig naturligt att gå ut samma väg som man kommer in. Resterande 30 % kommer att ta sig snabbaste vägen till närmaste utrymningsväg (Frantzich (2006)).

Responstiden beror bland annat på var personen befinner sig i förhållande till branden. Varje scenario får därför olika fördelning på responstiden som framgår under simulering av respektive scenario (se bilaga C).

B.3 Brandmodeller

Förutom handberäkningar, som snabbt blir tidskrävande och komplexa att räkna på, finns idag ett antal olika datorprogram som sköter uträkningarna. Dessa behandlar en brand utifrån främst två modeller, tvåzons- samt fältmodellen. En liten kort jämförelse görs här. För en mer korrekt och ingående analys hänvisas till annan litteratur till exempel Karlsson & Quintiere (1999).

Tvåzonsmodellen bygger på att det finns två distinkta lager i brandrummet: ett övre varmt brandgaslager samt ett undre kallt lager med frisk luft. Temperaturerna i varje lager antas vara homogena. En ökning i temperatur kommer därför att ske i hela brandgaslagret momentant med en given höjd där temperatur mot omgivningen är knivskarp. Detta kan anses vara en god approximation i mindre utrymmen, typiskt en vanlig lägenhetsbrand. Problem kommer att uppstå då förhållandena mellan höjd, bredd och längd ändras för mycket, exempelvis i korridorer där brandgaserna inte kommer att skicka sig längst bort från branden eftersom de hinner kylas på vägen dit (se tabell B.1). Detsamma gäller stora atrier. Beräkningarna stämmer bra i själva brandrummet men ju fler utrymmen brandgaserna passerar desto osäkrare blir resultaten (Gojkovic (2005)).

Tabell B.1: Tvåzonsmodellens begränsningar (Jones et al, 2005)

	Acceptabelt	Acceptabelt men tveksamt
L/W_{max}	$L/W < 3$	$3 < L/W < 5$
L/H_{max}	$L/H < 3$	$3 < L/H < 6$
W/H_{min}	$W/H > 0,4$	$0,2 < W/H < 0,4$
\dot{Q}	$\dot{Q} \geq 5LH\sqrt{H}$	

Fältmodeller är lite mer komplexa i sina beräkningar. De delar in volymen i mindre delar, likt en bild med många pixlar som får högre upplösning. För varje volym räknas temperatur, energi och massbalanser ut. Ju fler volymer desto mer tidskrävande blir beräkningarna.

Valet av program för simuleringarna faller på den enklare modellen trots att lokalen i sig inte lämpar sig så bra för den *enklare* tvåzonsmodellen. Då författarna inte är insatta i simuleringar med fältmodeller anses dess utdata inte kunna utnyttjas för att dra mer korrekta slutsatser.

B.4 Gemensamma indata CFAST

Modellen över ICA Maxi-butiken är starkt förenklad till geometrin (se figur B.1). Bland annat har en medelhöjd i taket antagits i de utrymmen där taket lutar. För att kompensera det faktum att brandgaser inte sprider sig momentant modellerades den stora ytan i 30 mindre celler, som faller inom ramen för höjd-, bredd- och längdförhållanden som är godtagbara enligt tabell B.1. Cellernas gemensamma väggar dimensionerades som ventilationsöppningar som är lika höga som taket. Detta gör att det blir en fördröjning i rökgasutveckling och temperatur eftersom programmet räknar med en fördröjning när spridning sker mellan cellerna.

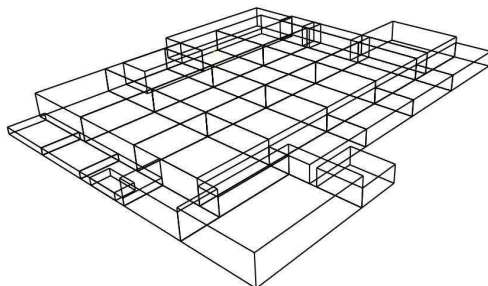
På grund av de stora volymerna i ICA Maxi kommer resultaten från en tvåzonsmodell inte att vara helt tillämpbara. Det föreligger en betydande risk att utdatan från CFAST allt längre bort från branden ger mer missvisande resultat. Därför kommer simuleringensresultaten endast

att anses som mest giltiga i respektive brandsektion samt i den direkt angränsande entrédelen vid brand i returglasrummet. Handberäkningar görs även för den andra ytterligheten där man istället har en enzonmodell. Verkligheten ligger förmodligen däremellan.

Tak och golv är mestadels av betong. Vissa delar har andra material, som till exempel de utrymmen som utgör gången vid kassorna. Här är taket lagt till innertaksplattor i modellen.

Entrédelen och returglasrummet är rektangulära och ligger längs med resten av byggnaden. Detta har ingen betydelse för simuleringsresultaten eftersom öppningar mot övriga byggnaden och golvarea är densamma som i verkligheten.

Simuleringarna har genomförts både med och utan sprinklersystem. I samtliga fall har ett sprinklerhuvud placerats rakt ovanför branden i taknivå. Vattentätheten antas vara 7,5 mm/min, då objektet klassas som högriskanläggning. RTI-värdena har satts till $80 \text{ (ms)}^{1/2}$ för brand i chips och returglasrum, samt $50 \text{ (ms)}^{1/2}$ vid vätskebranden. Samtliga siffror bygger på Brandskyddsdokumentation (2005).



Figur B.1: Sektionsindelning av ICA Maxi för möjliggörande av simulering i CFAST

B.5 Detektionstid

För att bedöma tiden det tar för rökdetektorerna att upptäcka en brand har datorprogrammet Detact T2 använts. Då RTI-värden och algoritmer för detektorer är nästintill omöjliga att få tag på har konservativa värden på 10-20 använts, för att uppskatta tiden.

C Simuleringar dimensionerande bränder

Nedan beskrivs de beräkningar och simuleringar som gjorts i CFAST och SIMULEX för de dimensionerande bränderna.

C.1 Chipsbrand

Enligt tabell B.1 finns begränsningar för resultatens giltighet för brandrummet. I tabell C.1 visas giltigheten för sektionen med chipsbranden.

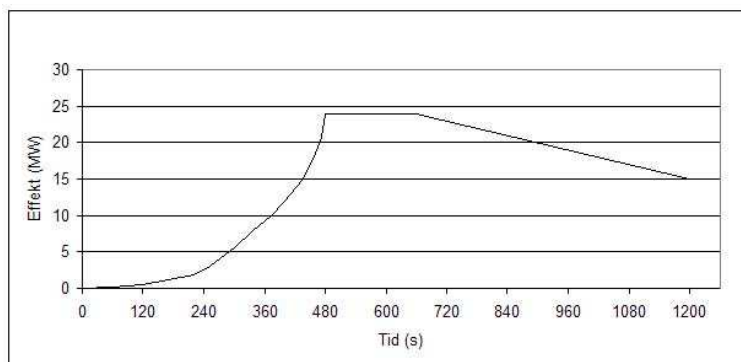
Tabell C.1: Giltighetsberäkning ($L=21$ m; $W=21$ m; $H=7$ m) Begränsningar enligt tabell B.1

Förhållande		Bör vara	
L/W	=1	<3	⇒ Acceptabelt
L/H	=3	<3	⇒ Acceptabelt
W/H	=3	>0,4	⇒ Acceptabelt
\dot{Q}	=1944 kW	<24000 kW	⇒ Acceptabelt

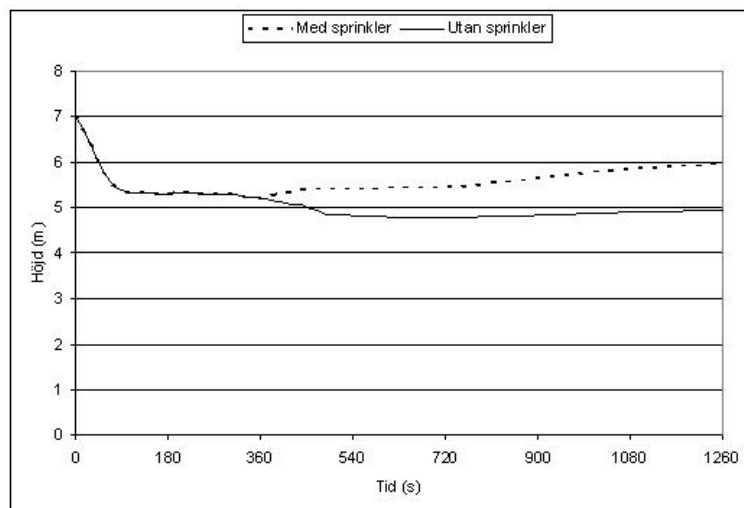
C.1.1 Effekt

En halv hylla fylld med potatischips har en snabb tillväxtfas och uppnår en effekt på ungefär 6 MW. Brandspridning till den andra angränsande hyllan med chipsförpackningar kommer sannolikt att ske och hyllan kommer antända efter tre till tre och en halv minuter (Arvidson (2005)).

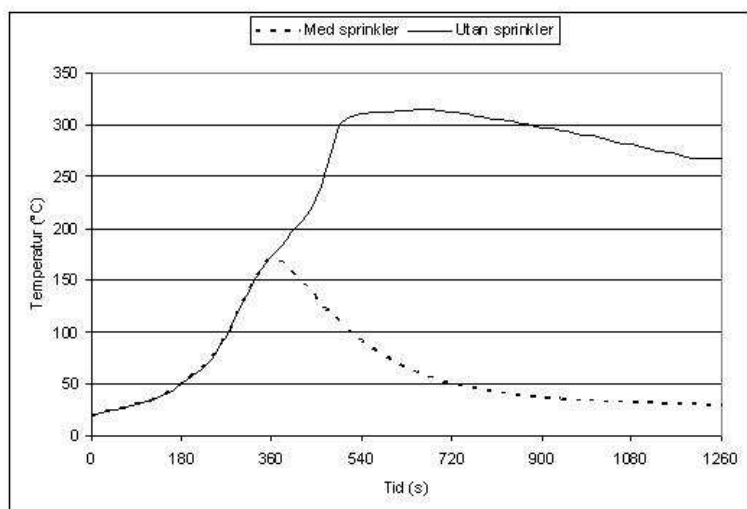
Tillväxtfasen är mycket lik en kvadratisk tillväxtfas och bedöms kunna likställas med en αt^2 -kurva med ett α -värde på ungefär $0,10$ kW/s². En hylla i ICA Maxi motsvarar två halva hyllor och den totala effekten kan uppskattas som den dubbla, 12 MW. Den totala effekten kan då approximeras till ungefär 24 MW. Den maximala effekten varar i ungefär tre minuter och avtar sedan långsamt. Eftersom branden befinner sig i gemensamhetsdelen kommer syretillgången att vara god och behöver inte beaktas. Se figur C.1 för framtagen effektkurva.



Figur C.1: Effektkurva för chipsbrand

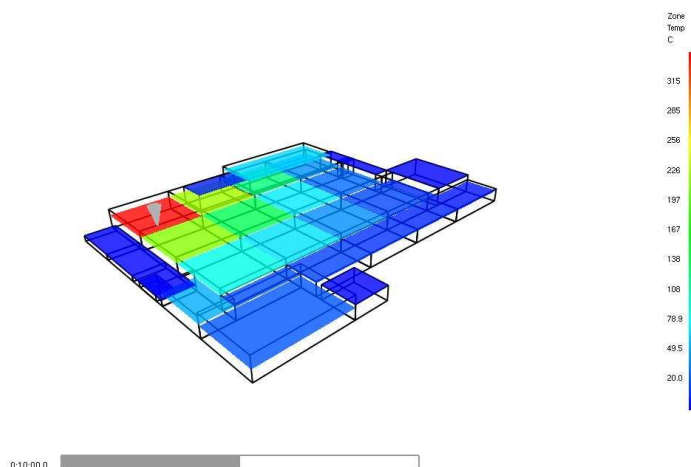
Resultat

(a) Brandgaslagrets höjd



(b) Brandgaslagrets temperatur

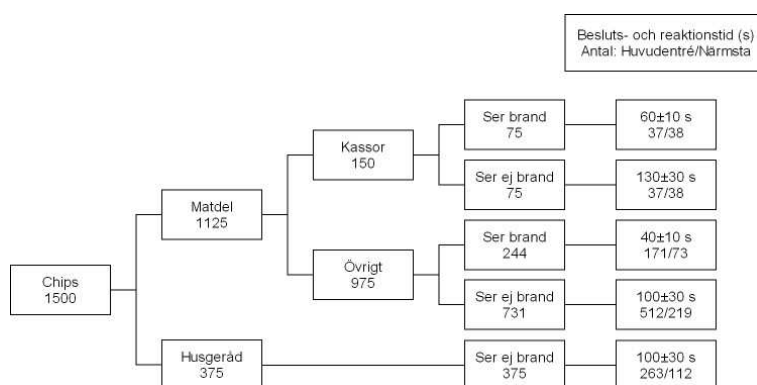
Figur C.2: Resultat för chipsbrand



Figur C.3: Chipsbranden efter nio minuter utan sprinkler

C.1.2 Utrymning

Den totala simuleringstiden i SIMULEX för chipsbranden blir ungefär sju och en halv minuter. Fördelningen över personernas orientering, besluts- och reaktionstid vid utrymningen beskrivs i figur C.4. Personfördelningen är framtagen enligt bilaga B.2. Besluts- och reaktionstiderna uppskattades efter konsultation med Håkan Frantzich, Universitetslektor vid Brandteknik, LTH (2006). Hänsyn har tagits till faktorer som påverkar besluts- och reaktionstiden, exempelvis huruvida personer ser branden eller ej och om de står vid kassorna och insisterar på att betala. Varseblivningstiden för vätskebranden motsvarar tiden tills en rökdetektor aktiveras. Med simulering i Detact T2 uppskattas detta ta ungefär två och en halv minuter. Den totala utrymningstiden blir totalt ungefär tio minuter.



Figur C.4: Personfördelning och responstid för de 1500 personerna i butiken för chipsbrandssimulering

C.2 Returglasrumsbrand

Enligt tabell B.1 finns begränsningar för resultatens giltighet för brandrummet. I tabell C.2 visas giltigheten för returglasrummet.

Tabell C.2: Giltighetsberäkning ($L=12\text{ m}$; $W=12\text{ m}$; $H=5\text{ m}$) Begränsningar enligt tabell B.1

Förhållande		Bör vara	
L/W	=1	<3	⇒ Acceptabelt
L/H	=2,4	<3	⇒ Acceptabelt
W/H	=2,4	>0,4	⇒ Acceptabelt
\dot{Q}	= 670 kW	<10500 kW	⇒ Acceptabelt

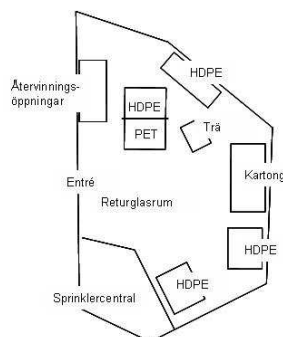
C.2.1 Effekt

Ett stort antal brandscenarier kan äga rum i returglasrummet. Där finns inga större ventilationsöppningar i rummet och brandens syretillgång kommer att bli begränsad. Rummets geometri och upplägg ges av figur C.5.

Längs med en av väggarna finns åtta staplar med HDPE-backar stående intill varandra med åtta backar i varje stapel. Det finns ytterligare tre stora högar med backar i rummet, men denna hög har valts som dimensionerande brandscenario eftersom en av de andra högarna står precis framför och kommer att omfattas av poolbranden (HDPE-plast smälter vid brand och bildar en poolbrand, se vidare bilaga G.2) samtidigt som de andra står i andra sidan av rummet. Jämförelsevis är dessa två högar betydligt längre ifrån angränsande bränsle än den utvalda högen. Det finns femton träpallar, flera kartonger och ett stort antal PET-flaskor framför de åtta staplarna i returglasrummet.

Det tar lång tid innan HDPE-plast börjar smälta och brandens effekt är mycket låg till en början. När plasten väl har smält stiger effekten mycket fort och branden kommer att ha en stor effekt. Femton HDPE-lådor med en sammanlagd vikt av 76 kg och dimensionerna 1200 x 1000 x 960 mm bildar efter ungefär tolv minuter en poolbrand med en area på 24 m². Den maximala effekten blir ungefär 12,5 MW (Arvidson & Lönnmark (2002)).

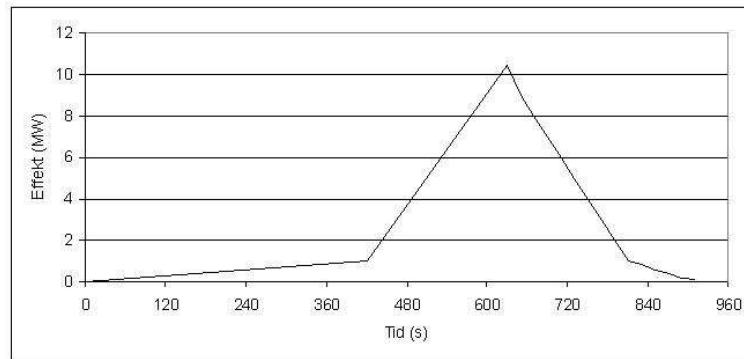
Poolbrandens effekt per areaenhet blir ungefär 0,5 MW/m². Poolens storlek i förhållande till massan HDPE blir 0,3 m²/kg. Det tar ungefär fem minuter för branden att nå maximal



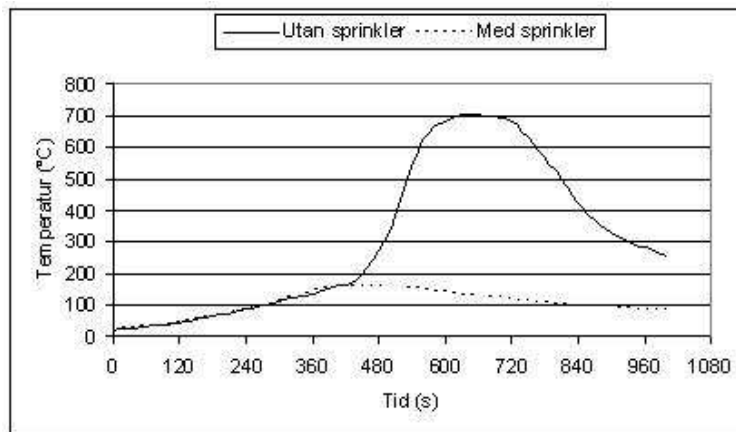
Figur C.5: Schematisk bild över returglasrummet

effekt efter att den väl har börja växa. Tiden det tar att uppnå maximal effekt i förhållande till massan HDPE blir 0,066 min/kg. Brandens effektökning sker i stort sett linjärt och ökar med 2,5 MW/min.

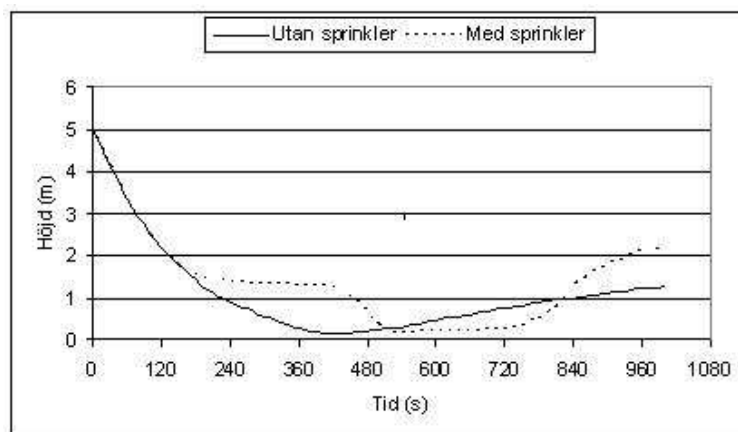
En back väger ungefär 2 kg. Den totala vikten av backarna i staplarna blir 128 kg. När backarna har smält kommer de att bilda en pool som blir ungefär 40 m². Poolens effekt blir 21 MW. Eftersom syretillgången är begränsad är det nödvändigt att beräkna när syrehalten har minskat till en nivå där branden inte längre förmår att bli större. Rummets volym är ungefär 720 m³. Massan syre är 166 kg. För varje kilogram syre som branden har förbrukat utvecklas energi motsvarande 13,1 MJ. Detta innebär att branden kan maximalt utveckla 2175 MJ. Det kommer ta ungefär åtta och en halv minut för branden att nå maximal effekt. Under denna tid kommer branden då att ha utvecklat energi motsvarande 5254 MJ, men det finns inte tillräckligt mycket syre i rummet för detta. Det tillgängliga syret som finns kommer att räcka till en effektökning som kommer att pågå i ungefär tre och en halv minuter. Tillväxtfasen av brandens effekt motsvarar ett α -värde på ungefär 0,026 kW/s². Se figur C.6 för den dimensionerande effektkurvan.



Figur C.6: Effektkurva för returglasrummet

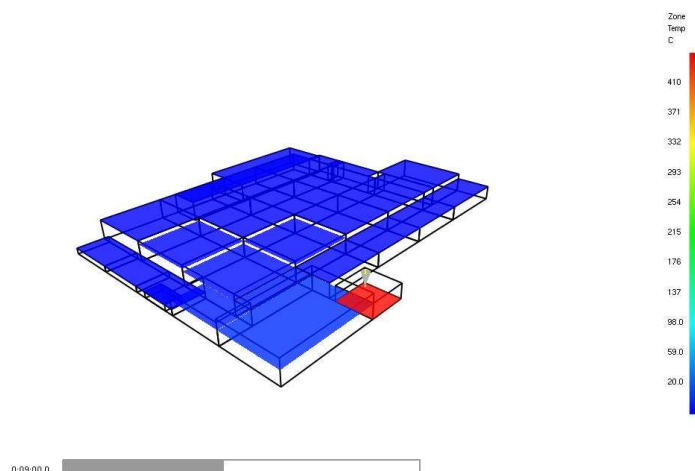
Resultat

(a) Brandgaslagrets temperatur



(b) Brandgaslagrets höjd

Figur C.7: Resultat för returglasrumsbrand



Figur C.8: Returglasrummets brand efter nio minuter utan sprinkler

C.2.2 Rökfyllnadsmodell för returglasrummet

Det är troligt att ett brandscenario i returglasrummet leder till att det bildas ett skiktat brandgaslager, två zoner. De övriga utrymmena i byggnaden är mycket stora det kommer troligtvis inte att bli en lika skarp tvåzonsmodell om någon alls vid en brand. Rökfyllnadsmodellen lämpar sig därmed bäst för ett brandscenario i returglasrummet. Därmed görs endast handberäkningar av rökfyllnad för returglasrummet.

Returglasrummet antas, med avseende på ventilationsöppningar, vara väl isolerat från närliggande utrymmen. Det finns dock ventilation i rummet. De enda större öppningarna i rummet utgörs av öppningar vid två meters höjd där returglas lämnas. Alltså kommer ventilation av brandgaserna först ske när brandgaserna har sjunkit ner till två meters höjd. Under dessa förutsättningar är Zukoskis rökfyllnadsmodell lämplig att använda i detta fall. Följande ekvationer används i Zukoskis rökfyllnadsmodell (Karlsson & Quintiere (1999)):

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

$$k = \frac{0,21}{\rho_g} \left(\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3}$$

$$z = \left(k \frac{\alpha^{1/3}}{S} \frac{2t^{1+n/3}}{n+3} + \frac{1}{H^{2/3}} \right)^{-3/2}$$

$$\rho_g = \rho_a \left(1 - \frac{\alpha t^{n+1}}{(n+1)(H-z)S c_p 353} \right)$$

De konstanta värdena i ekvationerna är följande:

T_a	20 °C
g	9,81 m/s ²
c_p	1,0 kJ/kgK
ρ_a	1,2 kg/m ³
z	2 m
S	144 m ²
H	5 m

Enligt den framtagna effektkurvan för branden i returglasrummet (se figur C.6) kommer effektökningen att ske linjärt. Den linjära ökningen under de första sju minuterna är 2,38 kW/s. Tiden, t , beräknas genom iterering. När brandgasernas densitet, ρ_g , är samma i ekvationerna fås tiden det tar för brandgaserna att nå höjden två meter. Iterering ger:

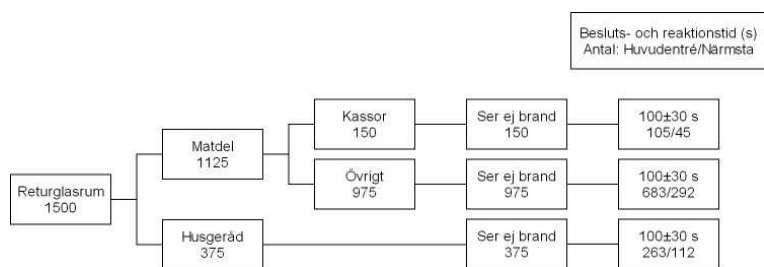
n	1
α	2,38 kW/s
ρ_g	0,99 kg/m ³
t	152 s

För att slutresultatet från rökfyllnadsmodellen ska kunna ses som trovärdigt är det väsentligt att brandgasernas densitet ligger nära 1 kg/m³. Rökfyllnadsmodellen bygger även på att det bildas ett brandgasskikt i rummet samt att brandens effekt är relativt liten i förhållande till rummets storlek. Brandgasernas densitet (och därmed även deras temperatur) antogs vara konstant i modellen under hela brandförloppet. Rökfyllnadsmodellen förutsätter även att rummet är tätt och att brandgaser inte sprids samt att all energi som branden utvecklar går åt till uppvärmning av brandgaserna (Karlsson & Quintiere (1999)).

Enligt figur C.7 (a) kommer brandgasernas temperatur inte att vara konstant vid en brand i returglasrummet. Den genomsnittliga densiteten för brandgaserna som erhålls från rökfyllnadsmodellen, 0,99 kg/m³, motsvarar en temperatur på 84 °C. Denna temperatur kan jämföras med den erhållna temperatur från CFAST som vid samma tidpunkt är 53 °C, enligt figur C.7 (a). Detta är rimligt då rökfyllnadsmodellen grovt överskattar temperaturen (all energi som branden utvecklar kommer inte att gå åt till uppvärmning av brandgaserna). Effekten vid tidpunkten då brandgaser kommer börja sprida sig ut från returglasrummet kan anses vara liten i förhållande till rummets storlek (se figur C.6). Tidpunkten då brandgaserna börjar spridas ut från returglasrummet, enligt rökfyllnadsmodellen efter ungefär två och en halv minuter, stämmer bra överens med simuleringarna från CFAST (se figur C.7 (b)).

C.2.3 Utrymning

Den totala simuleringstiden i SIMULEX för returglasbranden blir knappt åtta minuter. Fördelningen över personernas orientering, besluts- och reaktionstid vid utrymningen beskrivs i figur C.9. Personfördelningen är framtagen enligt bilaga B.2. Besluts- och reaktionstiderna uppskattades efter konsultation med Håkan Frantzich, Universitetslektor vid Brandteknik, LTH (2006). Hänsyn har tagits till faktorer som påverkar besluts- och reaktionstiden, exempelvis huruvida personer ser branden eller ej och om de står vid kassorna och insisterar på att betala. Varseblivningstiden för returglasrummet motsvarar tiden till någon upptäcker branden och aktiverar utrymningslarmet, det vill säga efter ungefär fyra och en halv minuter. Den totala utrymningstiden blir totalt ungefär tolv och en halv minuter.



Figur C.9: Personfördelning och responstid för de 1500 personerna i butiken för returglasrumssimulering

C.3 Vätskebrand

Enligt tabell B.1 finns begränsningar för resultatens giltighet för brandrummet. I tabell C.3 visas giltigheten för sektionen för vätskebranden.

Tabell C.3: Giltighetsberäkning ($L=21$ m; $W=12$ m; $H=5$ m) Begränsningar enligt tabell B.1

Förhållande		Bör vara	
L/W	=1,75	<3	⇒ Acceptabelt
L/H	=4,2	>3	⇒ Acceptabelt men tveksamt
W/H	=2,4	>0,4	⇒ Acceptabelt
\dot{Q}	=1174 kW	<18200 kW	⇒ Acceptabelt

C.3.1 Effekt

Efter att ha varit i brandlaboratoriet på LTH har en effektkurva för försöket med flaskan tagits fram. Här har en konvektiv medelmaxeffekt approximerats till 55 kW (se figur G.1). Då den konvektiva strålningen är ungefär 70 % av den totala strålningen fås en total strålning på 79 kW. Försöket gjordes med en area på 0,13 m² vilket ger en maxeffekt på 608 kW/m² (se bilaga G). Om arean som vätskorna rinner ut på antas vara 30 m² i ICA Maxi ger det en maximal effekt på 18,2 MW. Se figur C.10 för framtagen effektkurva.

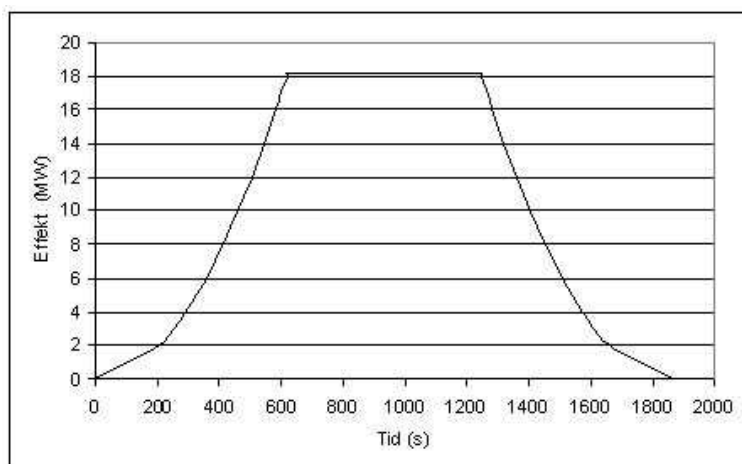
Den mängd vätska som står framme på hyllorna på ICA Maxi har approximerats till 500 liter. Vidare har antagandet gjorts att dessa vätskor har en densitet som är densamma som vattnets densitet, det vill säga 1000 kg/m³. ΔH_c -värdet ligger på cirka 35 kJ/g (SFPE (1995)). Syretillgången ses som god då lokalen är stor och öppen.

Med siffrorna ovan kan den totala mängden utvecklade energi från branden beräknas till 17500 MJ. Om en tredjedel av den energin, det vill säga 6000 MJ, antas gå åt under tillväxt- och avsvlningsfasen återstår 11500 MJ då en maximal effekt avges. Fortsättningsvis kan tillväxtfasen liknas vid en *fast* αt^2 -kurva som har ett α -värde lika med 0,047 kW/s² (Karlsson & Quintiere (1999)). Tillväxten innefattar den tid det tar för flaskorna att gå sönder, allt eftersom de uppnår så höga temperaturer att de spricker, och därmed bidra till poolbrandens effekt.

Tiderna för de olika faserna kan nu beräknas:

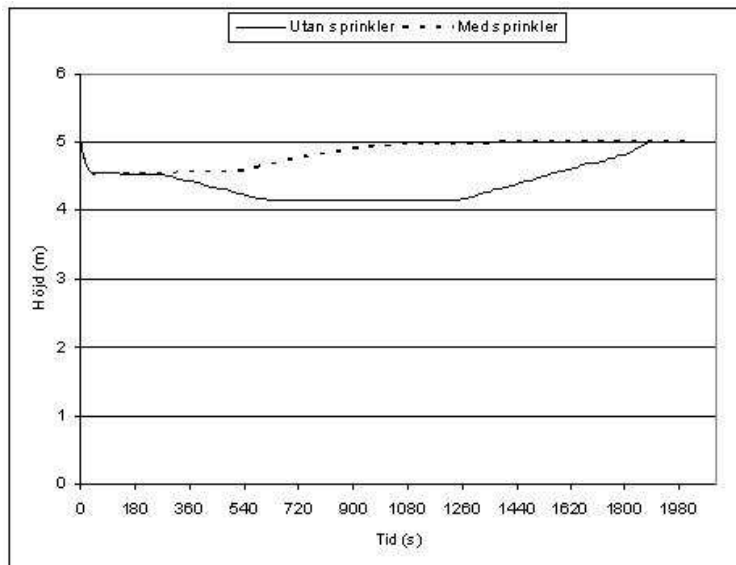
$$t_{\text{tillväxtfas, avsvlningsfas}} = \sqrt{18200\text{kW}/0.047\text{kW/s}^2} = 622 \text{ s (10 min 22 sek)}$$

$$t_{\text{maxeffekt}} = 11500\text{MJ}/18.2\text{MJ/s} = 632 \text{ s (10 min 32 sek)}$$

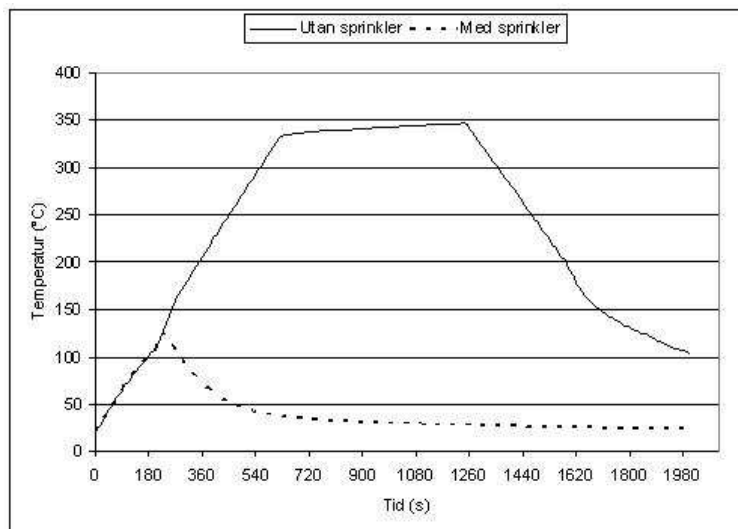


Figur C.10: Effektkurva för vätskebrand

Resultat

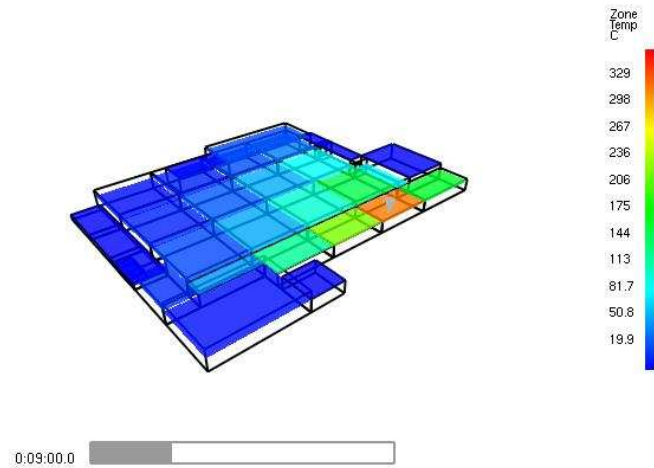


(a) Brandgaslagrets höjd



(b) Brandgaslagrets temperatur

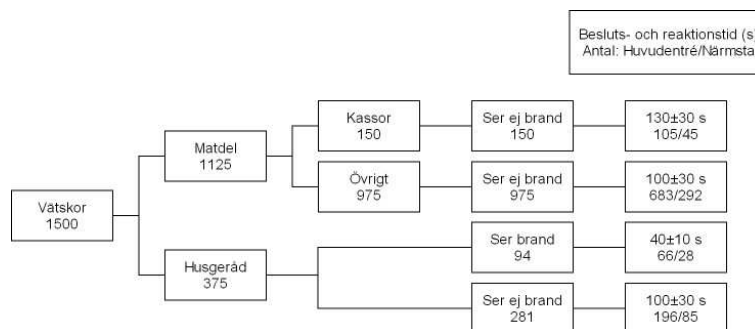
Figur C.11: Resultat för vätskebrand



Figur C.12: Vätskebrand efter nio minuter utan sprinkler

C.3.2 Utrymning

Den totala simuleringstiden i SIMULEX för vätskebranden blir knappt åtta minuter. Fördelningen över personernas orientering, besluts- och reaktionstid vid utrymningen beskrivs i figur C.13. Personfördelningen är framtagen enligt bilaga B.2. Besluts- och reaktionstiderna uppskattades efter konsultation med Håkan Frantzich, Universitetslektor vid Brandteknik, LTH (2006). Hänsyn har tagits till faktorer som påverkar besluts- och reaktionstiden, exempelvis huruvida personer ser branden eller ej och om de står vid kassorna och insisterar på att betala. Varseblivningstiden för vätskebranden motsvarar tiden tills en rökdetektor aktiveras. Med simulering i Detact T2 uppskattas detta ta ungefär två minuter. Den totala utrymningstiden blir totalt ungefär tio minuter.



Figur C.13: Personfördelning och responstid för de 1500 personerna i butiken för vätskebrandssimulering

D Kritisk nivå strålning

Avståndet från branden då strålningen uppnår en kritisk nivå sökes. Strålningen från flammorna beräknas som strålning från en platta (flammorna) till en punkt enligt Drysdale (1998). Samtliga beräkningar har gjorts för platta till punkt, där plattan delas in i fyra lika delar, för att få fram synfaktorn för brandens mittpunkt. Följande formel är hämtad från Drysdale (1998).

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \Sigma \phi \quad (\text{D.1})$$

där

$$\begin{aligned} E & 2500 \text{ W/m}^2 \\ \varepsilon & 0,7 \\ \sigma & 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4) \end{aligned}$$

Emissiviteten ligger mellan 0 och 1, och är beroende av bränslet. Emissiviteten 1 motsvarar en svart kropp. Då de sotande partiklarna i de aktuella bränslena avger mycket strålning, men inte lika mycket som en svart kropp, ansätts emissiviteten till ett lägre värde, $\varepsilon = 0,7$.

För att beräkna avståndet där en kritisk nivå uppstår behövs flamhöjden. Heskestads ekvation för flamhöjd används enligt Karlsson & Quintiere (1999).

$$L = 0,235 \dot{Q}^{2/5} - 1,02D \quad (\text{D.2})$$

Synfaktorn ϕ är en funktion av S och α . Följande ekvationer fås från Drysdale (1998).

$$S = \frac{L_1}{L_2} \quad (\text{D.3})$$

$$\alpha = \frac{L_1 \times L_2}{D^2} \quad (\text{D.4})$$

D.1 Chipsbrand

Den totala synfaktorn $\Sigma \phi$ blir, med en flamtemperatur på 1273 K, efter insättning i ekvation D.1 0,024. Detta ger en enskild synfaktor på $\phi = 0,024/4 = 0,006$.

Genom att anta att chipsbranden utgör en cirkel med en lika stor area, 6 m^2 , som den verkliga uppställningen kan en diameter, D , beräknas till 2,8 meter.

En effekt på 12000 kW gör att flamhöjden, med ekvation D.2, blir 7,2 meter.

Flamhöjdens giltighet måste kontrolleras, då Heskestads ekvation har vissa begränsningar (Karlsson & Quintiere (1999)).

$$L/D = 3,7 \dot{Q}^{*2/5} - 1,02 \quad (\text{D.5})$$

Ekvation (D.5) ger $\dot{Q}^* = 0,96$.

0,96 ligger i intervallet $0,5 < \dot{Q}^* < 1000$ och är därmed acceptabelt (Gojkovic (2005)).

Brandens fjärdedelsarea på $L_1 = 3$ och $L_2 = 3,6$ ger med ekvation (D.3) $S = 0,83$, avrundat till 0,80.

Tabell från Drysdale (1998) används för framtagning av α .
 α fås till 0,02.

Enligt ekvation D.4 kommer avståndet för kritisk strålning att sträcka sig 23 m ut från branden.

D.2 Brand i returglasrum

Utrymningsförloppet kommer att påverkas om kritiska förhållanden uppstår i vid huvudentrén i gemensamhetsdelen. Detta kan inträffa då brandgaserna börjar sippra ut genom returglasinkasten. Den totala öppningsarean uppskattas till 1×2 kvadratmeter.

Den totala synfaktorn $\Sigma\phi$ blir, med en flamtemperatur på 973 K, efter insättning i ekvation D.1 0,070. Detta ger en enskild synfaktor på $\phi = 0,070/4 = 0,018$.

En fjärdedel av öppningsarean på $L_1 = 0,5$ och $L_2 = 1$ ger med ekvation (D.3) $S = 0,5$.

Tabell från Drysdale (1998) används för framtagning av α .
 α fås till 0,06.

Enligt ekvation D.4 kommer avståndet för kritisk strålning att sträcka sig 3 m ut från branden.

D.3 Vätskebrand

Den totala synfaktorn $\Sigma\phi$ blir, med en flamtemperatur på 1273 K, efter insättning i ekvation D.1 0,024. Detta ger en enskild synfaktor på $\phi = 0,024/4 = 0,006$.

Genom att anta att chipsbranden utgör en cirkel med en lika stor area, 30 m^2 , som den verkliga uppställningen kan en diameter, D , beräknas till 6,2 meter.

En effekt på 18200 kW gör att flamhöjden, med ekvation D.2, blir 5,6 meter.

Flamhöjden giltighet måste kontrolleras, då Heskestads ekvation har vissa begränsningar (Karlsson & Quintiere (1999)).

Ekvation D.5 ger $\dot{Q}^* = 0,21$.

0,21 ligger inte i intervallet $0,5 < \dot{Q}^* < 1000$ och är därmed ej acceptabelt. Resultaten kan dock ge en fingervisning om flamhöjden. Då takhöjden är 5 meter, ansätts även flamhöjden till 5 meter.

Brandens fjärdedelsarea på $L_1 = 2,5$ och $L_2 = 3,1$ ger med ekvation (D.3) $S = 0,81$, avrundat till 0,80.

Tabell från Drysdale (1998) används för framtagning av α .
 α fås till 0,02.

Enligt ekvation D.4 kommer avståndet för kritisk strålning att sträcka sig 20 m ut från branden.

E Kritisk nivå brandgaslagrets höjd

Höjden från golvet till brandgaslagret ska enligt BBR (2006) vara

$$H_{\text{höjd till brandgaslagret}} \geq 1,6 + (0,1 \times H_{\text{rum}}) \quad (\text{E.1})$$

E.1 Chipsbrand

Vid chipsbranden sjunker brandgaslagret som lägst i sektionen där branden befinner sig. Höjden upp till brandgaslagret är ungefär 4,8 meter. Med rumshöjden 7 meter uppstår kritiska förhållanden när brandgaslagret har sjunkit ner till 2,3 meter (enligt ekvation E.1). Brandgaslagret sjunker inte ner till denna nivå. Därmed kommer lufttemperaturen inte att bli högre än 80°C.

E.2 Brand i returglasrum

Vid brand i returglasrummet kommer brandgaslagret att sjunka ända ner till golvet och det kommer att uppstå ett kritiskt förhållande i rummet. Lufttemperaturen kommer att bli högre än 80°C.

E.3 Vätskebrand

Vid vätskebranden sjunker brandgaslagret som lägst i sektionen där branden befinner sig. Höjden upp till brandgaslagret är ungefär 4,1 meter. Med rumshöjden 5 meter uppstår kritiska förhållanden när brandgaslagret har sjunkit ner till 2,1 meter (enligt ekvation E.1). Brandgaslagret sjunker inte ner till denna nivå. Därmed kommer sikten inte att understiga 10 meter och lufttemperaturen blir inte högre än 80 °C.

E KRITISK NIVÅ BRANDGASLAGRETS HÖJD

F Kritisk nivå sikt

Vid beräkningar har antagits att brandgaserna fördelas jämnt i de publika delarna av ICA Maxi. Ingen hänsyn har tagits till brandgasventilation, spridning till gemensamhetsdelen eller andra eventuella öppningar. Vidare har inga transporttider beaktats.

Inga beräkningar har gjorts för brand i returglasrummet, då branden är instängd, och brandgasspridning inte sker lika snabbt.

Volymen i ICA Maxi:s publika delar har beräknats till 39000 m³.

Den optiska densiteten beräknas enligt följande formel (Nilsson & Holmstedt (2006)):

$$D_0 = D_{L, \log_{10}} \frac{V}{m} \quad (\text{F.1})$$

1 obscura motsvarar 10 meters sikt, vilket är den kritiska siktnivån för utrymning.

Tillväxthastigheten för både chips- och vätskebranden har likställts med en αt^2 -kurva, med $\alpha = 0,047 \text{ kW/s}^2$. Genom integrering kan tiden, tills kritiska förhållande uppstår, lösas ut för respektive brandscenario.

$$t = \sqrt[3]{\frac{3Q}{\alpha}} \quad (\text{F.2})$$

Vid beräkning med fungerande sprinklersystem, antas sprinklern begränsa branden så att tillväxten avstannar, och brandens effekt blir konstant. Sprinklernas aktiveringstid fås genom simulering i Detact T2. Tiden tills kritiska förhållanden uppstår beräknas därefter på motsvarande sätt som utan sprinkleraktivering.

F.1 Chipsbrand

Vid framtagning av värde på rökpotentialen har chips antagits bestå av hälften cellulosa och hälften mineralolja. En jämförelse av värden från Drysdale (1998) och SFPE (1995) ger en rökpotential för chips på 0,6 obm^3/g .

Chipsen avger en total energimängd på 16500 MJ under hela brandförloppet. Tillsammans med den total massan på 1100 kg, ger detta ett ΔH_c -värde för chips på 15,07 kJ/g.

Enligt ekvation F.1 har 65 kg chips brunnit upp då kritiska siktförhållanden uppstår. Den avgivna energimängden uppgår då till cirka 980 MJ. Genom integrering av effektkurvan enligt F.2 fås att detta inträffar vid cirka 400 sekunder.

F.2 Vätskebrand

Vid framtagning av värde på rökpotentialen har vätskorna likställts med en blandning av hälften aceton och hälften mineralolja. En jämförelse av värden från Drysdale (1998) och SFPE (1995) ger en rökpotential för vätskor på 0,5 obm^3/g .

För vätskorna har enligt tidigare beräkningar (C.3.1) antagits att $\Delta H_c = 35 \text{ kJ/g}$.

Enligt ekvation F.1 har 78 kg vätskor brunnit upp då kritiska siktförhållanden uppstår. Den avgivna energimängden uppgår då till ungefär 2730 MJ. Genom integrering av effektkurvan enligt F.2 fås att detta inträffar vid cirka 560 sekunder.

G Försök

För att få en bättre uppfattning om hur brandfarliga vätskorna som ej står i säkerhetsskåp är, gjordes ett eget försök i brandlaboratoriet på LTH 2006-10-16. Även en returglasback med åtta stycken *4 kr* flaskor eldades. De vätskor som testades var: tändvätska, Festival lampolja och T-grön (avfettningemedel).

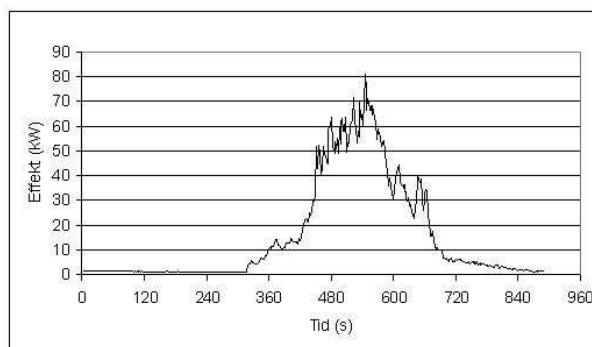
G.1 Vätskor

Först testades om vätskorna kunde brinna överhuvudtaget. Detta gjordes genom att en låga fördes till bränsleytan. Om ingen antändning skedde tillsattes en bit papper. Nästa steg var att samla in mätdata. Mängden vätska vägdes och tiden togs tills dess att allt hade brunnit upp samtidigt som mätdata från brandgaserna samlades in. Diametern på kärlet som användes var 0,2 m vilket ger en area på 0,03 m². Till sist prövades hur pass hållbara själva flaskorna var vid brand. En viss mängd T-grön hälldes i ett kärl med en diameter på 0,4 m det vill säga en area på 0,13 m². Flaskan, som var fylld till en tredjedel med T-grön, ställdes i kärlet. Därefter antändes vätskan.

- Tändvätska
d=0,2 m; A=0,03 m²
m=60 g tändvätska + 1 g papper
t_{brunnit ut}=340 s
- Festival lampolja
d=0,2 m; A=0,03 m²
m=60 g lampolja + 2 g papper
t_{brunnit ut}=331 s
- T-grön
d=0,2 m; A=0,03 m²
m=60 g T-grön + 1 g papper
t_{brunnit ut}=281 s
- T-grön och flaska
d=0,4 m; A=0,13 m²
m=200 g T-grön + 3 g papper
m_{flaskans innehåll}=371 g
t_{flaskan går sönder}=52 s
t_{brunnit ut}=600 s

Vid rumstemperatur började ingen av vätskorna att brinna om enbart en låga tillfördes bränsleytan. En veke, i detta fallet i form av en pappersbit, krävdes. Med denna hjälp började samtliga vätskors hela bränsleyta att brinna. Ljudet när flaskan gick sönder lät som när skinnet på en korv spricker.

Den konvektiva effektutvecklingskurvan för det sista försöket, T-grön och flaska, redovisas i figur G.1. Värdena ger en medelmaxeffekt per areaenhet, som sedan används som grund för framtagning av effektkurva för vätskebrand i ICA Maxi (se C.3.1).



Figur G.1: Konvektiv effektutvecklingskurva för försök med T-grön och flaskor

G.2 HDPE-back

Det gjordes även ett försök med en HDPE-back full med tomma läskflaskor (åtta stycken). HDPE-backen ställdes i ett kärl med en diameter på 0,4 m. Backen antändes genom att antända T-grön och papper som hållts på kärlets botten.

- $d=0,4$ m; $A=0,13$ m²
m=2370 g
 $t_{\text{nästan brunnit ut}}=1980$ s (33min)

HDPE-backen brann kraftigt, och med kraftig rökutveckling, när det väl hade bildats en poolbrand. Det tog dock en stund innan så mycket av backen hade smält att en poolbrand hade skapats.

Då SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut har gjort tester på HDPE-lådor kommer deras resultat att användas i stället för resultaten från testet i brandlaboratoriet på LTH (Arvidson & Lönnmark (2002)).

Brandteknisk riskvärdering
ICA Maxi Motala
Brandteknik
Lunds Tekniska Högskola