

Rapport 9336
Lund 2008

Avdelningen för brand-
teknik och riskhantering
Lunds universitet

Department of Fire Safety
Engineering and Systems
Safety
Lund University, Sweden

Brandteknisk riskvärdering av Hötorgshallen



Mattias Arnqvist
Kristin Nilsson
Hanna Palmqvist
Erik Öberg



LUNDS
UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Brandteknisk riskvärdering av Hötorgshallen

Mattias Arnqvist • Kristin Nilsson • Hanna Palmqvist • Erik Öberg

Lund 2008

Anmärkning

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

Titel/Title:

Brandteknisk riskvärdering av Hötorgshallen
Fire Safety Evaluation of Hötorgshallen

Författare/Authors:

Mattias Arnqvist, Kristin Nilsson, Hanna Palmqvist, Erik Öberg

Rapport/Report:

9336 ©Copyright Brandteknik och riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2008

Sökord:

Personsäkerhet, utrymning, kritiska förhållanden, Simulex, Argos

Keywords:

Human safety, evacuation, critical conditions, Simulex, Argos

Språk/Language:

Svenska/Swedish

Abstract

This report is a fire safety evaluation of Hötorgshallen in Stockholm. In order to assess the human safety in the building the authors have analyzed three different fire scenarios with respect to fire development and human egress. The results show that human safety cannot be guaranteed in case of fire and measures must be taken to assure that safe evacuation can be achieved before critical conditions occur. Suggested measures are presented at the end of the report.

**Avdelningen för brandteknik och
riskhantering**

Lunds Tekniska Högskola
Box 118
221 00 LUND
telefon: 046-222 73 60
e-post: brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>

**Department of Fire Safety Engineering
and Systems Safety**

Lund Institute of Technology
Box 118
221 00 LUND SWEDEN
telephone: +46-(0)46-222 73 60
e-mail: brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>

Förord

Samtidigt som årstiden har gått från sommar till höst har vårt arbete i Lund fortskridit. Oftast har det gått framåt, även om vi ibland har fått stanna upp för att tänka efter och ta ett steg tillbaka. Vi har lärt oss att ingenjörsvetenskapen inte är en exakt vetenskap och att verkligheten behöver förenklas för att kunna förstås. Det har varit svårt för oss att acceptera men det har fört oss ett steg närmare våra framtida yrkesliv som fullfjädrade ingenjörer.

Vår ambition har alltid varit att resultatet ska vara av hög kvalitet och detta hade vi inte klarat ensamma. Vi vill tacka Markus Glenting, Lars Thidevall och Liisa Honkaranta vid Stockholms brandförsvaret för deras hjälp vid vårt stockholmsbesök. Tack till Lars Frisk vid Fastighetskontoret i Stockholm för att han visade oss Hötorgshallen. Från Lunds Tekniska Högskola vill vi tacka Daniel Nilsson som har givit oss värdefull information om sprinklersystem och Lars Jensen som har bidragit med information om ventilationsystem. Sist, men absolut inte kortast, ett stort varmt tack till vår handledare från brandteknik, Håkan Frantzich.

Höstterminen lider mot sitt slut och snart tar ett välbehövligt jullov vid. Till våren är vi tillbaka i Lund och fortsätter vår resa mot brandingenjörsexamen. Vi tackar för oss och önskar dig en trevlig läsning!

Lund, november 2008

Mattias, Kristin, Hanna och Erik

Sammanfattning

Syftet med rapporten är att utvärdera personsäkerheten i Hötorgshallen med avseende på brand. Byggnaden inrymmer saluhall, biograf, affärer, restauranger och garage. I rapporten behandlas endast brandsäkerheten i saluhall med tillhörande lager.

För att undersöka brandsäkerheten i Hötorgshallen analyseras tre brandscenarier. Med hjälp av datorprogram beräknas tid till kritiska förhållanden samt tiden det tar att utrymma lokalen. För att bedöma tiden till kritiska förhållanden används datorprogrammet Argos i vilket brandsimulering görs. Med hjälp av simuleringsprogrammet Simulex undersöks hur lång tid det tar att utrymma Hötorgshallen. I de fall där utrymningstiden är kortare än tiden till kritiska förhållanden bedöms att tillfredsställande utrymning kan ske. Om utrymningen däremot tar för lång tid kan människor komma att utsättas för fara och deras säkerhet kan därmed inte garanteras. Utifrån resultaten från de tre brandscenarierna bedöms säkerheten i Hötorgshallen i sin helhet.

I dagsläget kan personsäkerheten i Hötorgshallen inte säkerställas. Därför föreslås ett antal åtgärder som måste genomföras för att förbättra säkerheten. Nedan presenteras de åtgärder som författarna anser *skall* utföras:

- Systematiskt brandskyddsarbete skall bedrivas.
- Korridorer och utrymmen i anslutning till utrymningsväg och väg till utrymningsväg skall hållas rena från lösa föremål.
- Utrymning skall kunna ske genom delar av lager där ombyggnation äger rum.
- Rökdetektor som saknas utanför personalrum i lagret skall återplaceras.
- Utrymningsskyltar skall vara belysta eller genomlysta.
- Alla genomföringar mellan brandceller skall vara täta.
- Alla branddörrar skall stänga och vara täta vid brandlarm.
- Hissar skall utföras i egen brandcell.
- Skyltar försedda med varning för explosion skall tas ned då risk för explosion ej föreligger.

Med ovanstående föreslagna åtgärder anser författarna att skyddet i Hötorgshallen är tillfredsställande med avseende på personsäkerheten.

Innehåll

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte.....	1
1.3	Metod.....	1
1.4	Avgränsningar.....	1
2	Objektsbeskrivning.....	3
2.1	Byggnaden.....	3
2.2	Ägare.....	5
2.3	Verksamhetsbeskrivning.....	5
2.4	Tillbud och bränder.....	5
2.5	Objektsavgränsning.....	5
3	Befintligt brandskydd.....	7
3.1	Brandteknisk klass.....	7
3.2	Brandcellsindelning.....	7
3.2.1	Brandgasspridning mellan brandceller via ventilationssystem.....	7
3.3	Brand- och utrymningslarm.....	7
3.4	Släckutrustning.....	7
3.4.1	Automatisk vattensprinkleranläggning.....	8
3.4.2	Manuell släckutrustning.....	8
3.5	Ytskikt.....	8
3.6	Brandgasventilation.....	8
3.7	Utrymningsvägar.....	8
3.8	Vägledande markering.....	12
3.9	Nödbelysning.....	12
3.10	Utrymningsrutiner.....	12
3.11	Organisatoriskt brandskydd.....	12
3.12	Räddningstjänstens insats.....	12
3.13	Jämförelse med BBR.....	12
3.14	Lag om skydd mot olyckor.....	13
4	Utrymning.....	15
4.1	Kritiska förhållanden.....	15
4.2	Tid för utrymning.....	15
5	Brandscenarier.....	17
5.1	Sannolikheter.....	17
5.2	Konsekvens.....	18
5.3	Metod vid val av brandscenarier.....	18

5.4	Valda scenarier	19
6	Scenario 1 – Brand i Piccolino Bar	21
6.1	Lokalbeskrivning	21
6.2	Motivering till val av brandscenario	22
6.3	Brand	22
6.4	Tid till kritiska förhållanden	23
6.4.1	Med sprinkler	23
6.4.2	Utan sprinkler	23
6.5	Utrymning	24
6.6	Resultat	24
6.7	Konsekvenser	24
6.8	Känslighetsanalys	25
6.9	Diskussion	26
7	Scenario 2 – Brand i Izmir Kebab	29
7.1	Lokalbeskrivning	29
7.2	Motivering till val av brandscenario	30
7.3	Brand	30
7.4	Tid till kritiska förhållanden	32
7.4.1	Med sprinkler	32
7.4.2	Utan sprinkler	32
7.5	Utrymning	32
7.6	Resultat	33
7.7	Konsekvenser	34
7.8	Känslighetsanalys	34
7.9	Diskussion	36
8	Scenario 3 – Brand i lager	37
8.1	Lokalbeskrivning	37
8.2	Motivering till val av brandscenario	38
8.3	Brand	38
8.4	Tid till kritiska förhållanden	39
8.5	Utrymning	39
8.6	Resultat	39
8.7	Konsekvenser	39
8.8	Känslighetsanalys	40
8.9	Diskussion	41
9	Åtgärder	43
9.1	Sammanfattning av åtgärder	45

10	Allmän diskussion	47
11	Litteraturförteckning	49
Bilaga A	Nomenklatur	51
Bilaga B	Beräkningsmodeller	53
B.1	α^2 -branden	53
B.2	Maximal effektutveckling vid ventilationskontrollerad brand	53
B.3	Siktberäkningar	54
B.4	Tid till detektoraktivering	55
B.5	Massavbrinning pölbränder	55
B.6	Flamhöjdsberäkningar	55
B.7	Strålningsberäkningar	56
B.8	Synfaktorberäkningar	56
B.9	Argos	57
B.10	Simulex	58
B.11	DetactQS och DetactT2	59
Bilaga C	Brand i Piccolino Bar	61
C.1	Effektutveckling	61
C.2	Effektutveckling vid sprinkleraktivering	63
C.3	Simulering i Argos	64
C.4	Begränsning av utrymningsväg	67
C.5	Simulering i Simulex	68
Bilaga D	Brand i Izmir Kebab	71
D.1	Effektutveckling	71
D.2	Effektutveckling vid sprinkleraktivering	76
D.3	Simulering i Argos	77
D.4	Simulering i Simulex	79
Bilaga E	Brand i lagret	83
E.1	Effektutveckling	83
E.2	Maximal effektutveckling vid ventilationskontrollerad brand	85
E.3	Simulering i Argos	85
E.4	Aktivering av rökdetektorer	88
E.5	Simulering i Simulex	88
E.6	Siktberäkningar	89

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Detta projekt utgör huvuddelen i kursen Brandteknisk riskvärdering som ges vid Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering vid Lunds Tekniska Högskola. Projektet går ut på att värdera säkerhetsnivån hos ett givet objekt och ge förslag om eventuella åtgärder samt validera dessa. Till projektet har en handledare från avdelningen för brandteknik och riskhantering samt en kontaktperson från räddningstjänsten knutits för hjälp med det ingenjörsmässiga arbetet och och hjälp med praktiska detaljer. Projektet redovisas muntligt samt publiceras skriftligt med återkoppling från räddningstjänst och objektsinnehavare.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att utvärdera personsäkerheten i Hötorgshallen i Stockholm vid händelse av brand. Förslag till eventuella förbättringar och åtgärder tas också fram.

1.3 Metod

Under projektets tidiga skede studerades ritningar över objektet, Hötorgshallen, för att få en inledande uppfattning över detta. Därefter besöktes Hötorgshallen varvid relevant information samlades in och det befintliga brandskyddet kontrollerades. Ett antal samtal och intervjuer hölls med säkerhetsansvarig och personal för att få en bredare uppfattning om byggnaden samt personalens kunskande angående rutiner vid brand. På plats insamlades även information om ett antal troliga brandscenarier i Hötorgshallen. Från dessa brandscenarier valdes de tre värsta troliga ut för att analyseras ytterligare. För varje scenario konstruerades en brandeffektkurva och utifrån denna simulerades tid till kritiska förhållanden och utrymningstid. Simuleringsprogrammen som användes var Argos [1] för att beräkna tid till kritiska förhållanden samt Simulex [2] för att beräkna utrymningstiden. Dessa två tider jämfördes sedan för att fastställa om säker utrymning kunde ske. Handberäkningar gjordes även när så var nödvändigt. En känslighetsanalys utfördes för att undersöka vilka parametrar som kan ha påverkat de erhållna resultaten och därefter upprättades en lista med åtgärder som kan säkerställa personsäkerheten i Hötorgshallen. För att validera åtgärderna genomfördes ytterligare simuleringar och därefter diskuterades säkerheten generellt för hela objektet. Slutligen presenterades arbetet vid ett seminarium och synpunkter från seminariedeltagare inkluderades i rapporten.

1.4 Avgränsningar

Rapporten behandlar endast personsäkerhet i saluhallsdelen av Hötorgshallen och inte egendomsskador eller miljöpåverkan.

2 Objektsbeskrivning

Hötorgshallen byggdes vid Hötorget i Stockholm 1958 och i den ryms saluhall, affärer, biograf, restauranger och garage.

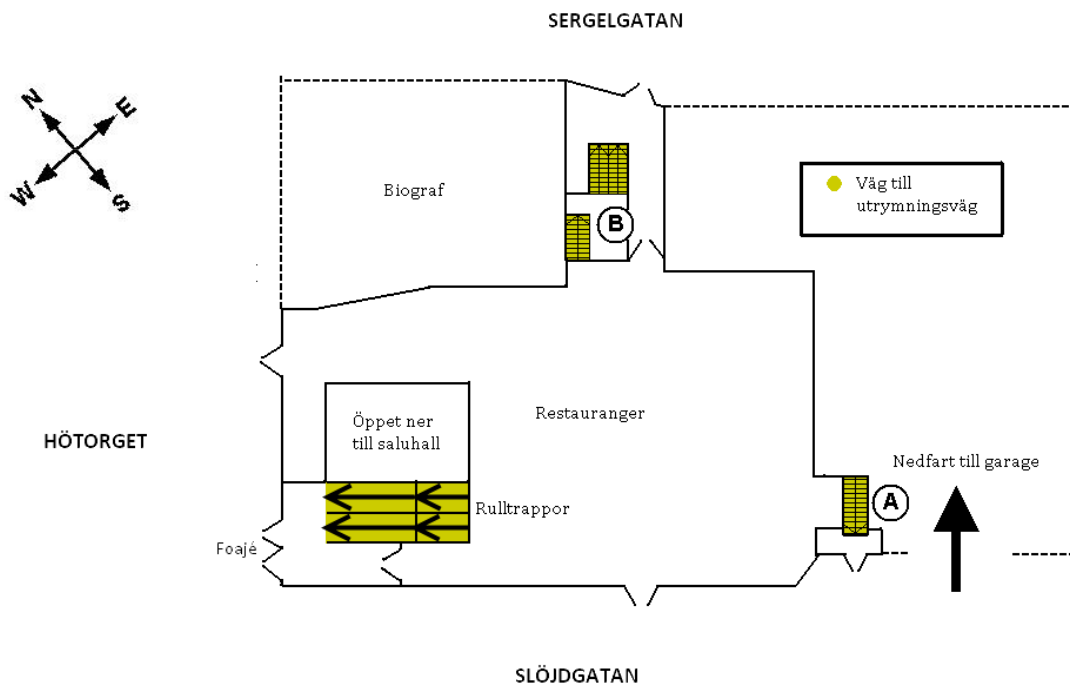
2.1 Byggnaden

Saluhallsdelen av Hötorgshallen består av tre våningar, varav två ligger under markplan, se figur 2.1-2.3.

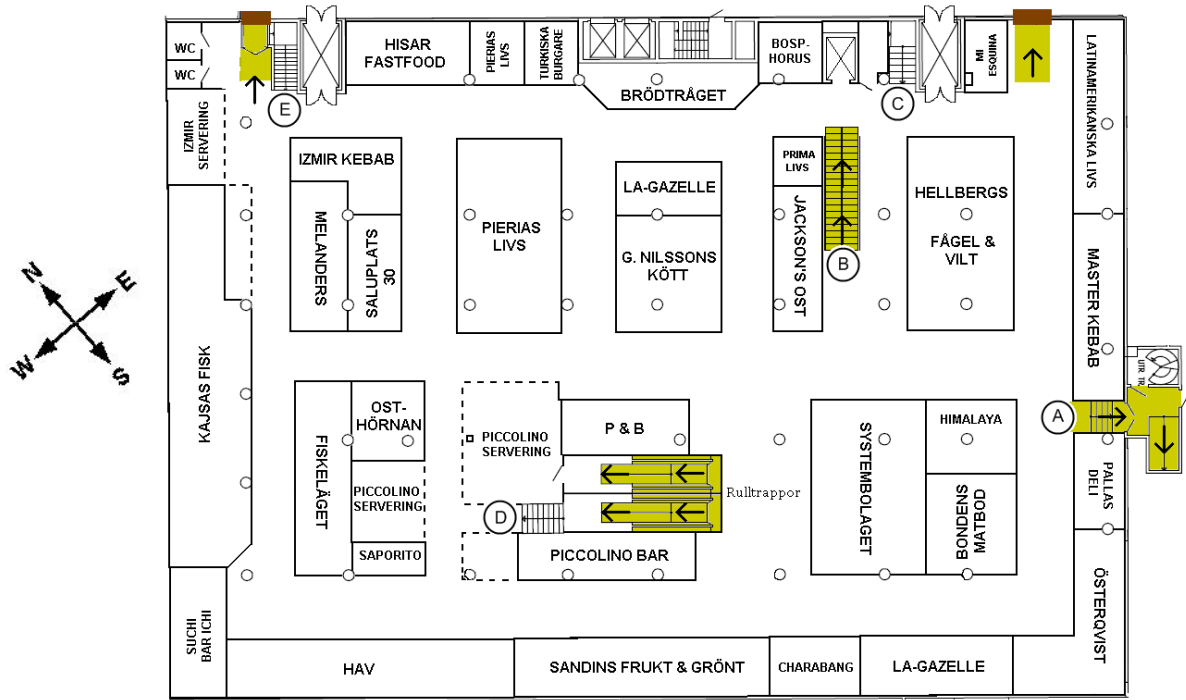
I markplan upptar saluhallsdelen 800 kvadratmeter och inrymmer till största del restauranger. Till restaurangerna finns entréer från Hötorget, Sergelgatan och Slöjdgatan. I markplan finns även en foajé med entré från Hötorget från vilken rulltrappor leder ner till saluhallen. Kring rulltrapporna är det helt öppet mellan saluhallsplan och restaurangplan, likt ett atrium. I övriga delar av markplan finns bland annat biograf och affärer.

Saluhallen som ligger i första källarplan är 1870 kvadratmeter stor och takhöjden, som varierar i hela utrymmet, är i storleksordningen 2,9 meter. Till saluhallen finns en entré från Hötorget via rulltrappor och denna fungerar som huvudentré. Det går även att komma ner i saluhallen via trappa B genom markplanets entré från Sergelgatan. Från Slöjdgatan leder trappa A ner till saluhallen.

Lagret, som är beläget två våningar under markplan, upptar 2000 kvadratmeter och takhöjden är 2,2 meter. Lagret nås genom trappor från saluhallen (trappa C, D och E) och via två hissar placerade vid trappa C och E.



Figur 2.1 Principskiss över markplan



Figur 2.2 Saluhallsplan, första källarplan. Skala 1:400



Figur 2.3 Lagerplan, andra källarplan. Skala 1:470

2.2 Ägare

Hötorgshallen ägs av Stockholms Stad och förvaltas av Fastighetskontoret [3].

2.3 Verksamhetsbeskrivning

I Hötorgshallen finns ett trettiotal verksamheter med saluhallsanknytning och dessa visas i figur 2.2. Till vissa verksamheter finns även serveringar med matplatser för kunderna. I saluhallen är ljudnivån hög och eftersom det finns ett flertal olika aktörer förändras ständigt verksamheten och därmed också placering av möbler, dekorationer och andra föremål. I lagret finns, förutom torrlager och kylar, även kök, omklädningsrum och personalmatsal. En större del av lagret är i dagsläget stängd för ombyggnation och det går inte att passera genom dessa delar av lagret. Enligt Lars Frisk [3], säkerhetsansvarig Hötorgshallen, är maximalt antal personer som vistas i saluhallen i storleksordningen 800-900 inklusive personal.

2.4 Tillbud och bränder

Till räddningstjänsten har bara ett larm rapporterats från Hötorgshallen och detta berodde på ett avkört sprinklerhuvud. Eftersom sprinklersystemet är kopplat till automatlarmet larmades räddningstjänsten via SOS Alarm AB [4].

2.5 Objektsavgränsning

Hötorgshallen i Stockholm är en stor byggnad som inrymmer biograf, affärsverksamhet, saluhall, restauranger och garage, men i rapporten studeras endast saluhall och delar av lagret knutna till denna. Eftersom verksamhet under markplan kan göra utrymning och släckning av brand mer komplicerade är det extra intressant att studera brandsäkerhet i dessa delar av byggnaden. Då rapporten endast fokuserar på brand- och personsäkerhet kommer lagret att avgränsas enligt figur 2.4 eftersom personer sällan vistas i denna del av byggnaden. Fortsättningsvis kommer det studerade området (markplan, saluhallsplan samt delar av lagerplan) att benämnas *Hötorgshallen*.

Avgränsningen görs dels med anledning av att hela byggnaden skulle bli alltför omfattande att värdera och dels för att biografdelen utreddes i en rapport år 2001 [5]. Detta beslut har tagits i samråd med säkerhetsansvarig för fastigheten Lars Frisk samt med Markus Glenting, brandingenjör vid Stockholms brandförsvär.

3 Befintligt brandskydd

Det befintliga brandskyddet i Hötorgshallen består av aktiva och passiva system. Ett passivt system består av byggnadstekniska åtgärder, till exempel brandväggar och branddörrar medan aktiva system utgörs av till exempel sprinklersystem, automatiska dörrstängare samt brand- och utrymningslarm. I det femte kapitlet i *Boverkets byggregler (BBR)* [6] finns föreskrifter och råd kring passivt och aktivt brandskydd i byggnader. Nedan beskrivs det befintliga brandskyddet och vissa delar utvärderas gentemot regelsamlingen. Verksamheten i Hötorgshallen regleras också i *Lag om skydd mot olyckor* [7] och sist i kapitlet redovisas denna lag.

3.1 Brandteknisk klass

Hötorgshallen är en Br1-byggnad enligt *Boverkets Byggregler* §5:21 [6], "Byggnader med *tre eller flera våningsplan* bör utföras i klass Br1."

Räddningstjänsten har klassat Hötorgshallen som ett skyddsobjekt baserat på att det är en samordnad verksamhet för mer än 300 personer. Att anläggningen dessutom ligger under markplan gör den extra komplicerad [8].

3.2 Brandcellsindelning

Den enda brandcellsgränsen i Hötorgshallen finns mellan saluhallen (första källarplan) och lagret (andra lagerplan) och denna gräns ska stå emot brand i 90 minuter [9]. Någon avgränsning inom dessa våningar finns inte.

3.2.1 Brandgasspridning mellan brandceller via ventilationssystem

Ventilation kan spela mycket stor roll vid ett brandscenario. I värsta fall kan brandgaser sprida sig via ventilationssystemet in i en angränsande brandcell. För att spridning till närliggande brandcell ska kunna ske krävs att trycket i brandrummet är så högt att det överstiger trycket som tilluftssystemet i ventilationen utövar, förutsatt att ventilationen är igång. Störst förutsättningar för tryckuppbyggnad finns i relativt små och mycket täta rum. I Hötorgshallen är saluhall och lager separata brandceller, och dessutom mycket stora sådana. Risken för tryckuppbyggnad i någon av dem är därför liten, speciellt eftersom otätheter mellan brandcellerna förekommer. Ventilationsritningar finns inte att tillgå för byggnaden men Lars Jensen [10], professor i installationsteknik vid Lunds Tekniska Högskola, menar att ett rimligt antagande är att båda våningsplanen har skilda ventilationssystem och att brandgasspridning mellan dem via ventilationen därför ej bedöms troligt. Med anledning av detta analyseras inte ventilationens inverkan mer djupgående i rapporten.

3.3 Brand- och utrymningslarm

Byggnaden är utrustad med en automatisk brandlarmsanläggning som är kopplad till SOS Alarm AB. Centralapparaten är placerad i Filmstadens sprinklercentral vid garagedfarten. I lagret finns rökdetektorer, larmdon och larmknappar medan detta saknas helt i saluhallen. Vid brand ger utrymningslarmet, som är installerat i lagret, ifrån sig ett pipande ljud och tanken är att detta ska höras från lagret upp till saluhallen [11]. Samtal med anställda i saluhallen vid besökstillfället ger en indikation på att personalen inte anser att utrymning ska påbörjas även om larmet hörs i saluhallen.

3.4 Släckutrustning

I Hötorgshallen finns släckutrustning i form av vattensprinkler och handbrandsläckare.

3.4.1 Automatisk vattensprinkleranläggning

Saluhallen är utrustad med ett sprinklersystem där bulbens storlek är 5 mm i diameter, vilket ger sprinklern ett RTI-värde på $135 \text{ (ms)}^{0.5}$ [12]. Sprinklerbulberna är röda och har därför, enligt *Brandskyddshandboken* [13], en aktiveringstemperatur på 68°C. Däremot har lagret ingen sprinkleranläggning med undantag för en förenklad sprinkler i tvättutrymmet som ligger i anslutning till damernas omklädningsrum. Saluhallen har en egen sprinklercentral belägen i garaget.

3.4.2 Manuell släckutrustning

Handbrandsläckare finns utplacerade i passagera på båda våningarna, se figur 3.1 och 3.2.

3.5 Ytskikt

I Hötorgshallen består väggarnas ytskikt av betong eller målad betong. Undertak i saluhallen består av perforerade plåtelement. I lagret består undertaket av betong.

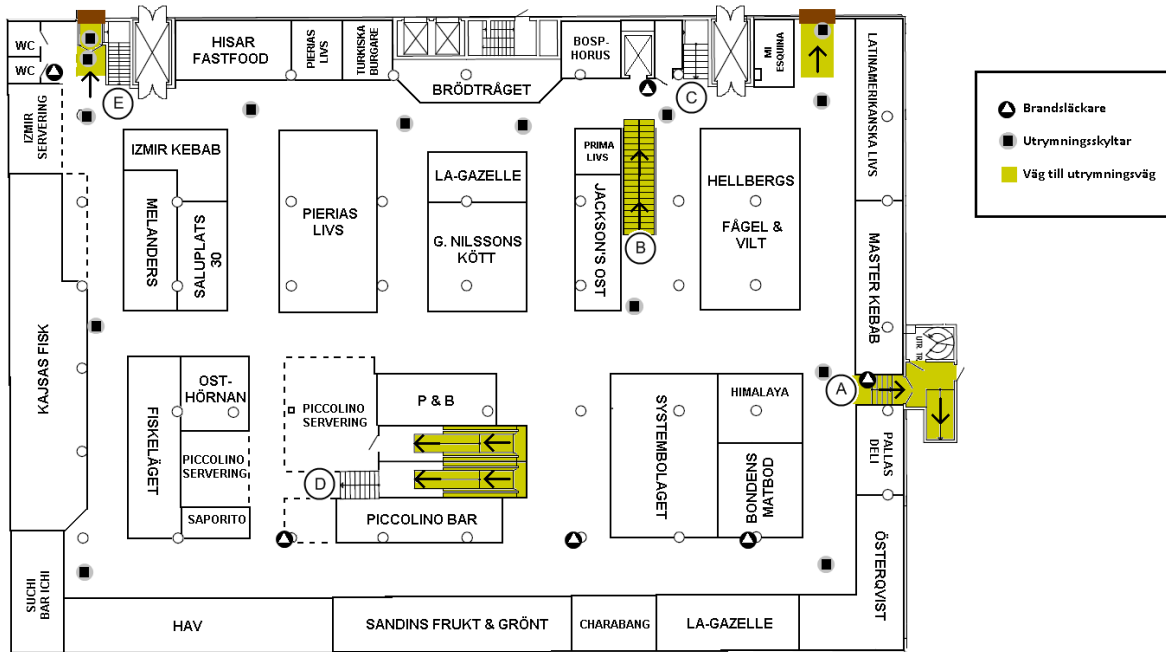
3.6 Brandgasventilation

Det finns ingen brandgasventilation i studerade delar av byggnaden.

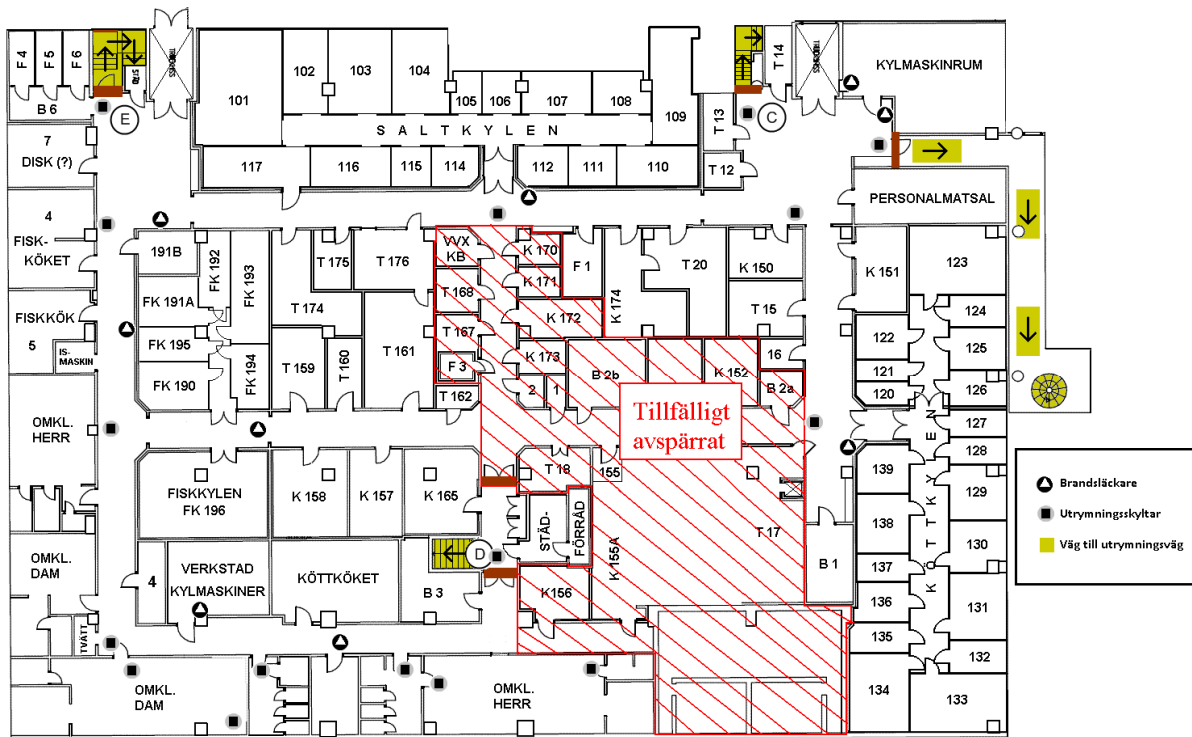
3.7 Utrymningsvägar

Saluhallen kan utrymmas genom fem utgångar, se figur 3.1, varav två är av större betydelse. Den viktigaste utrymningsvägen anses vara huvudentrén, se figur 3.3, som nås via rulltrapporna, som stannar vid detekterad brand. Även den centrala trappan (trappa B), figur 3.5, används som ingång av många och blir därför betydelsefull som nödutgång. . . En tredje relativt stor och bra utgång till utrymningsväg är genom trappa A, se figur 3.4, som leder ut till Slöjdgatan, medan utrymningsvägarna intill trappa C och E endast antas användas av ett fåtal människor eftersom de inte är tydligt markerade, se figur 3.6 och 3.7.

Från lagret finns det fyra utgångar, se figur 3.2, varav tre av dem (trappa C, D och E) leder upp till saluhallen. Den fjärde utrymningsvägen nås via en korridor, upp genom spiraltrappan, till trappa A på saluhallsplan, för att slutligen nå upp till Slöjdgatan. Alla dörrbredder kan ses i tabell 3.1.



Figur 3.1 Väg till utrymningsväg, utrymningsskyltar och brandsläckare i saluhallen



Figur 3.2 Väg till utrymningsväg, utrymningsskyltar och brandsläckare i lagret

Tabell 3.1 Bredd på utrymningsvägar

Utrymningsväg	Dörrbredd [m]
Huvudentré mot Hötorget ovanför rulltrapporna (2 dörrar)	1,60 + 1,55
Dörr mot Slöjdgatan ovanför trappa A	1,30
Dörr mot Sergelgatan ovanför trappa B	1,60
Dörr från saluhall till garage intill trappa C	1,00
Dörr från saluhall till garage intill trappa E	1,05



Figur 3.3 Väg till utrymningsväg från saluhallen via rulltrapporna



Figur 3.4 Väg till utrymningsväg från saluhallen via trappa A



Figur 3.6 Utrymningsväg från saluhallen intill trappa C



Figur 3.5 Väg till utrymningsväg från saluhallen via trappa B



Figur 3.7 Utrymningsväg från saluhallen intill trappa E

3.8 Vägledande markering

Utrymningsskyltar finns placerade i saluhall och lager enligt figur 3.1 och 3.2. Dessa skyltar är placerade i takhöjd och vissa skyltar var, vid besökstillfället, inte upplysta eller belysta. Dessutom gör den omfattande dekorationen i saluhallen att skyltarna blir svåra att upptäcka.

3.9 Nödbelysning

Både lager och saluhall är utrustade med nödljus som aktiveras vid strömavbrott. Gångarna och trapporna ska, enligt Lars Frisk [14], ha en ljusstyrka på 1 respektive 3 lux.

3.10 Utrymningsrutiner

De enskilda butikerna ansvarar för att deras egen personal ska vara informerade angående utrymningsrutinerna [14]. Samtal med anställda i saluhallen vid besökstillfället ger en indikation på att detta inte fungerar. Varje butiksägare ska lämna in en plan till säkerhetsansvarig, Lars Frisk, för hur utrymning ska ske i respektive butik. Detta fungerar dock, enligt Lars Thidevall [15], brandinspektör vid Stockholms brandförsvaret, inte speciellt bra.

3.11 Organisatoriskt brandskydd

Systematiskt brandskyddsarbete bedrivs inte [14]. De enda som har fått information om hur utrymning ska ske är driftspersonal som ansvarar för ett antal olika byggnader och alltså inte alltid befinner sig i Hötorgshallen.

3.12 Räddningstjänstens insats

Markus Glenting [16], brandingenjör vid Stockholms brandförsvaret, säger att räddningstjänsten kan antas vara på plats 10 minuter från det att larmet inkommer till SOS Alarm AB och att räddningsstyrkan då åker till centralapparaten i Filmstadens sprinklercentral vid garagedfarten från Slöjdgatan. Om insats blir aktuell omgrupperar styrkan sig till huvudentrén i första hand och till Sergelgatan i andra hand. Hötorget kommer att fungera som ledningsplats och brytpunkt. Han påpekar dessutom att insatsen är svår då verksamheten finns en respektive två våningar under mark. En annan svårighet är också att lagret är trångt då mycket lagervaror finns placerade i gångarna [17].

3.13 Jämförelse med BBR

Hötorgshallen uppfördes 1958 i enlighet med då gällande bygglagstiftning från 1947. I denna rapport jämförs brandskyddet i Hötorgshallen mot de krav som ställs idag i *Boverkets Byggregler (BBR)* [6]. Dessa regler gäller för nya byggnader och således inte för Hötorgshallen. Dock innehåller inte bygglagstiftningen från 1947 några regler om brandskydd varför en jämförelse mot dagens regler kan vara intressant. Vid jämförelse av delar av brandskyddet och utrymningssäkerheten gentemot BBR framkom att vissa krav och rekommendationer inte uppfylls.

- *Brandskyddsdocumentation skall alltid finnas*, men någon sådan finns inte att tillgå.
- *En brandcell skall vara avgränsad så att brand eller brandgaser hålls inom cellen under föreskriven tid*. Gränsen mellan lagret och saluhallen är otät på ett antal ställen eftersom det finns branddörrar som inte stänger helt samt bristande genomföringar.

- Lokaler för ett större antal personer där de vistas mer än tillfälligt skall ha två av varandra oberoende utrymningsvägar. Då personer regelbundet befinner sig i lagrets personalutrymmen, så som matsal, omklädningsrum och kök, uppfylls inte kravet så länge ombyggnation pågår.
- Då människorna förväntas ha mindre god lokalkännedom skall utrymningsskyltar vara placerade så att utrymning inte hindras av svårigheter att orientera sig i byggnaden. Skyltarna skall dessutom vara belysta eller genomlysta. I saluhallen är utrymningsskyltarna bra placerade överlag, men syns dåligt eftersom ständens alla skyltar och dekorationer tar över utrymmet nära taket. Dessutom lyser vissa skyltar svagt utåt kanterna och andra inte över huvud taget.
- Samlingslokaler skall förses med utrymningslarm. Detta saknas i saluhallen.
- I byggnader med fler än ett källarplan skall brandgasventilation kunna ordnas för varje sådant plan. Någon brandgasventilation i saluhall och lagerutrymme finns inte.
- Hisschakten skall vara placerade inom egen brandcell. Detta uppfylls inte i Hötorgshallen.

3.14 Lag om skydd mot olyckor

Lag om skydd mot olyckor (LSO) [7] från 2003 reglerar skyldigheter för ägare och nyttjanderättshavare av byggnader. Enligt LSO ska ägaren eller nyttjanderättshavaren tillhandahålla utrustning för släckning av brand och för livräddning vid brand. Denne ska också vidta de åtgärder som behövs för att förebygga och begränsa skador vid brand. Vidare ska ägaren lämna en skriftlig redogörelse för brandskyddet då det bör ställas särskilda krav med hänsyn till risken för eller konsekvenserna av brand. Redogörelsen ska lämnas till kommunen.

För att uppfylla kraven i LSO är det viktigt att bedriva systematiskt brandskyddsarbete. I detta ingår bland annat utbildning av personal, kontroll av att befintliga aktiva och passiva system fungerar och dokumentering av brandskyddet. I dagsläget fungerar detta dåligt i Hötorgshallen då personalen inte är utbildad i hur de ska agera vid brand, brister finns i det befintliga brandskyddet och ingen dokumentation av brandskyddet finns att tillgå.

4 Utrymning

För att säker utrymning vid brand ska kunna ske måste tiden för utrymning vara kortare än tiden det tar för kritiska förhållanden att uppstå.

4.1 Kritiska förhållanden

I *Boverkets Byggregler (BBR)* [6] ges kritiska förhållanden för siktbarhet, värmestrålning och temperatur.

För siktbarhet gäller att brandgaserna inte får sjunka under en nivå på $1,6 + (0,1 \cdot H)$ m, där H är rumshöjden i meter. Alternativt ska siktsträckan vara minst tio meter i okänd miljö och minst fem meter i känd miljö, såsom bostäder och kontor.

Gällande värmestrålning accepteras en maximal infallande strålningsintensitet på $2,5 \text{ kW/m}^2$ eller en kortvarig strålningsintensitet på maximalt 10 kW/m^2 , samt en maximal strålningsenergi på 60 kJ/m^2 utöver energin från en strålning på 1 kW/m^2 .

Lufttemperaturen får inte överstiga 80°C där personer vistas.

4.2 Tid för utrymning

Utrymningstiden kan delas upp i tre olika komponenter: varseblivningstid, reaktions- och beslutstid samt tid för förflyttning.

Varseblivningstiden samt reaktions- och beslutstiden är svåra att bestämma. Den första beror på hur lång tid det tar för personerna att uppfatta att det brinner medan den andra beror på att de ska inse att utrymning är nödvändig och därefter påbörja förflyttningen. Under den tidiga delen av utrymningen är det vanligt med osäkerhet och att personerna försöker ta reda på vad som har hänt, bekämpar branden eller räddar materiella saker innan utrymningen börjar. Detta gör att tiden för utrymning ökar. Frantzich har, i *Varseblivningstid och reaktionstid vid utrymning* [18], bland annat skrivit om reaktions- och beslutstider vid olika förutsättningar och vissa av dessa redovisas i tabell 4.1.

Tabell 4.1 Reaktions- och beslutstid vid brand

Typ av larm	Ser branden	Medel [min:s]	Median [min:s]
Inget	Ja	1:30	1:15
Ringklocka	Ja	1:21	1:10
Enkelt talat	Ja	1:04	1:00
Informativt	Ja	0:45	0:45
Inget larm	Nej	4:00	4:00
Ringklocka	Nej	3:25	3:30
Enkelt	Nej	2:20	2:00
Informativt	Nej	1:18	1:00

Frantzich har även i *Tid för utrymning vid brand* [19] skrivit att tiden för förflyttning för olika kategorier av människor finns väldokumenterad och är därför lättare att bestämma. Men att däremot köbildning kan uppstå om ett stort antal personer använder samma utgång och detta kan fördröja utrymningen.

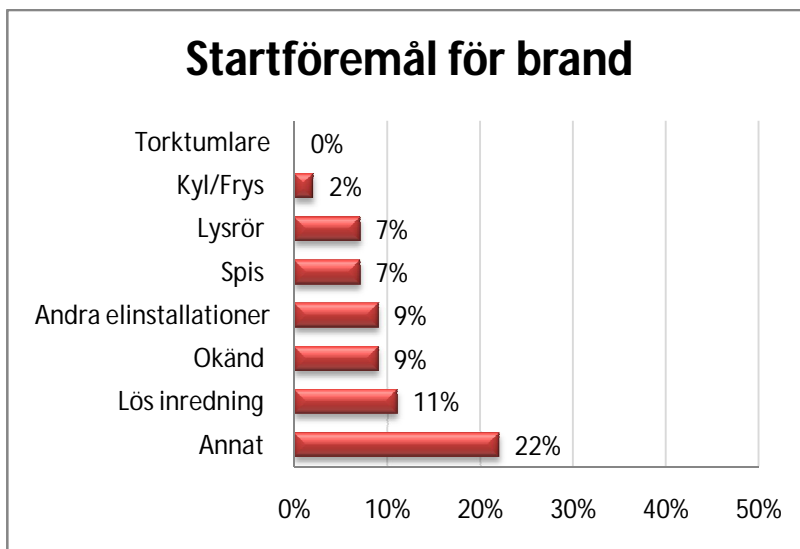
5 Brandscenarier

I Hötorgshallen är ett mycket stort antal brandscenarier möjliga och det är inte praktiskt möjligt att studera alla. Därför väljs istället ett antal representativa bränder ut för att analyseras mer ingående. Vid val av scenario tas hänsyn till hur stor sannolikheten är för den aktuella typen av brand att uppstå samt hur stora konsekvenserna blir.

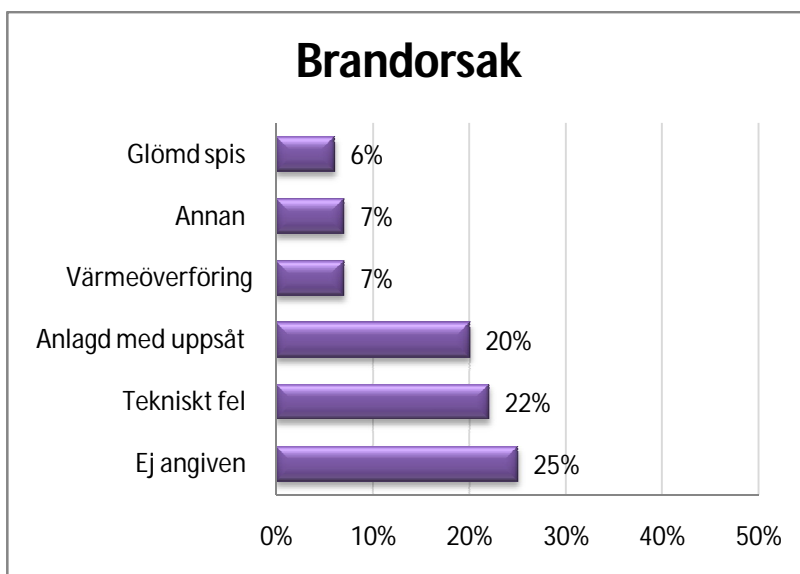
5.1 Sannolikheter

Hansson [20] har sammanställt statistik över brandorsak, startutrymme och startföremål för bränder inom handeln under åren 1998-2004. Denna statistik redovisas nedan i figur 5.1-5.3.

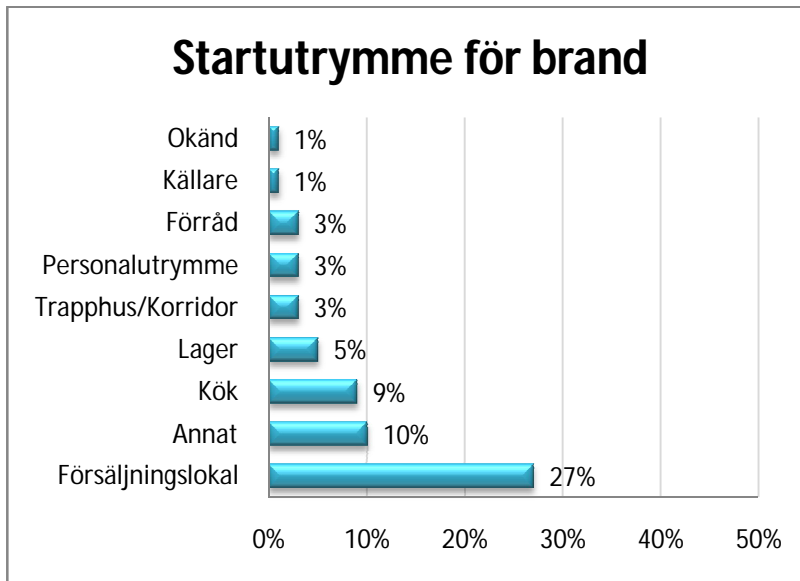
Statistiken ligger till grund för skattningen av hur sannolika olika brandscenarier är. Till exempel kan ses att försäljningslokalen är det vanligaste startutrymmet samt att anlagd brand och tekniska fel är vanliga brandorsaker. Sannolikheten klassas som låg, medel eller hög.



Figur 5.1 Startföremål för brand



Figur 5.2 Brandorsak



Figur 5.3 Startutrymme för brand

5.2 Konsekvens

Konsekvensen, det vill säga hur allvarliga och omfattande personsador som kan uppkomma, för de olika scenarierna baseras på författarnas uppfattning av objektet vid besöket och bedöms antingen som låg, medel eller hög.

5.3 Metod vid val av brandscenarier

Vid besöket på Hötorgshallen identifierades ett antal brandscenarier som kan tänkas inträffa och dessa har sedan värderats med avseende på sannolikhet och konsekvens. Följande scenarier har identifierats.

- Brand i Piccolino Bar:** brand startar i köksutrustning, och som syns i figur 5.1 är detta vanligt förekommande. Branden sprider sig sedan till dekorationer i närheten. Mycket folk uppehåller sig i området och rulltrapporna riskerar att rökfyllas. Risk för spridning till närliggande verksamheter.
Sannolikhet: hög
Konsekvens: hög
- Brand i Izmir Kebab:** brand startar i köksutrustning, som är ett vanligt startföremål för brand enligt figur 5.1, och sprider sig till dekorationer. Många sitter och äter på serveringarna i området och den närliggande nödutgången blockeras. Risk för spridning till angränsande verksamhet där brandbelastningen är hög.
Sannolikhet: hög
Konsekvens: hög

- **Brand i lagret under rulltrapporna:** en person antänder lagervaror som är placerade nedanför trappan från Piccolino Bars servering. Enligt statistiken i figur 5.2 är anlagda bränder vanliga. Branddörrarna stänger inte helt och det finns risk för brandspridning till saluhallen. Personer riskerar att bli inestängda i herrarnas omklädningsrum.
Sannolikhet: hög
Konsekvens: medel
- **Brand i tvättutrymme i lager:** ett elektriskt fel i torktumlaren utanför damernas omklädningsrum orsakar en brand som sprider sig till klädhögar och lagervaror som står i korridoren. Risk finns att sprinklern är urkopplad på grund av den omfattande ombyggnationen i lagret. Personer riskerar att bli inestängda i omklädningsrummet. Dock visar statistik i figur 5.1 att brand i torktumlare är sällan förekommande.
Sannolikhet: låg
Konsekvens: medel
- **Brand i lager utanför personalmatsal:** en person antänder träpallar, vilket statistiken i figur 5.2 visar är vanligt, och branden riskerar att sprida sig till övriga föremål som finns i utrymmet. Rökdetektorn är bortplockad och upptäckten av branden försenas. Branddörren är otät och det finns risk för brandgasspridning till saluhallen. Enda vägen till utrymning från köttkylen blockeras.
Sannolikhet: hög
Konsekvens: hög

5.4 Valda scenarier

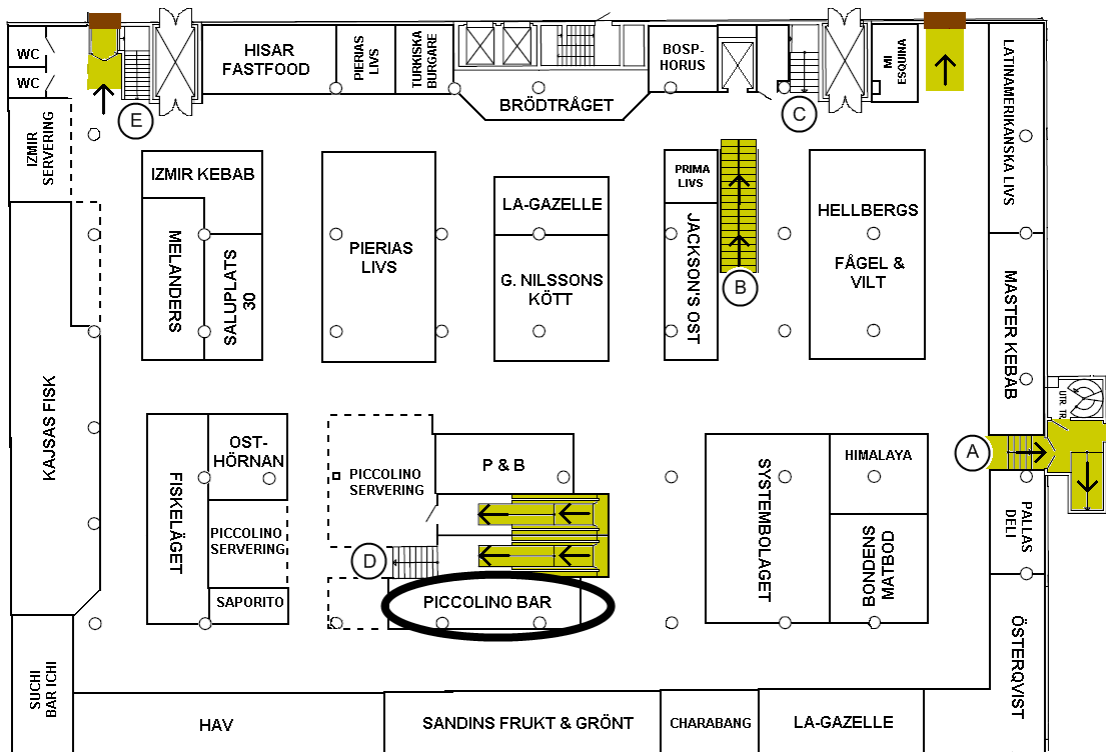
Av ovanstående nämnda scenarier väljs brand i Piccolino Bar, brand i Izmir Kebab och anlagd brand i lager utanför personalmatsal att studeras närmare eftersom både sannolikhet och konsekvens för dessa är hög

6 Scenario 1 – Brand i Piccolino Bar

6.1 Lokalbeskrivning

Piccolino Bar ligger nedanför rulltrappan, se figur 6.1, och är en servering som erbjuder enklare maträtter samt smörgåsar och kakor. Verksamhetens gäster kan äta antingen vid en bardisk i direkt anslutning till köket med plats för ungefär sex gäster, eller i de serveringsområden med bord och stolar för runt sjuttio gäster som finns under rulltrapporna.

I Piccolino Bar finns köksutrustning, bland annat i form av fritös, stekbord, ugn och diskmaskin. Köket är avskilt från rulltrappan med plexiglas och fritösen finns precis i anslutning till detta, se figur 6.2. Vid besökstillfället fanns inte en betydande mängd brännbart material i köket men det kan antas finnas vid andra tillfällen och då speciellt i juletid i form av diverse dekorationer. Personalantalet ligger runt fem.



Figur 6.1 Brand i scenario 1



Figur 6.2 Piccolino Bar

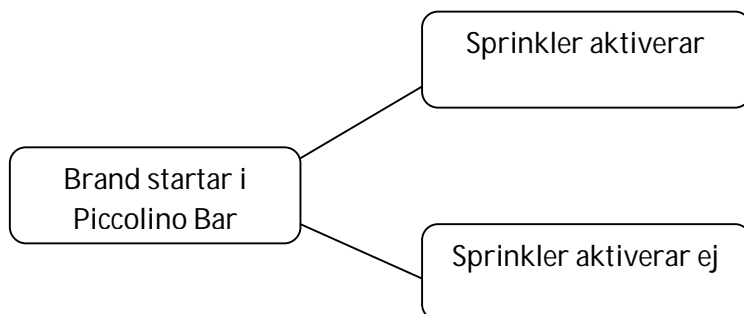
6.2 Motivering till val av brandscenario

Mycket folk befinner sig ständigt i området kring rulltrappan, som är ett slags centrum i saluhallen i och med rulltrappans funktion som huvudentré. Då runt majoriteten av besökarna förväntas gå ut samma väg som de gick in [19] är dörrarna ovanför rulltrappan den viktigaste nödutgången från saluhallen. En brand i Piccolino Bar skulle spärra denna utrymningsväg, antingen på grund av rökfyllnad eller på grund av strålning från branden, och innebära att besökarna skulle behöva uppsöka en annan utrymningsväg. Statistiken som presenteras i kapitel 5 visar att risken för uppkomst av brand i kök är en av de största inom handeln. Dessutom är tekniskt fel en stor brandorsak, något som skulle kunna vara en överhettad fritös på grund av termostatfel eller föremål som har hamnat i fritösen.

6.3 Brand

En brand uppstår i kökets fritös och sprider sig till närliggande juldekorationer efter 30 sekunder. En hängande julbonad på plexiglas antänder 30 sekunder senare och efter ytterligare 30 sekunder en juldekoration som står på serveringsdisken. Branden växer till en maximal effektutveckling på 1100 kW. Då ingen vidare spridning av branden sker anses den därefter vara bränslekontrollerad. Beräkningar finns redovisade i bilaga C.

Vid brand i Piccolino Bar kan det allmänna sprinklersystemet aktivera eller inte. De olika fallen visas i händelseträdet i figur 6.3.

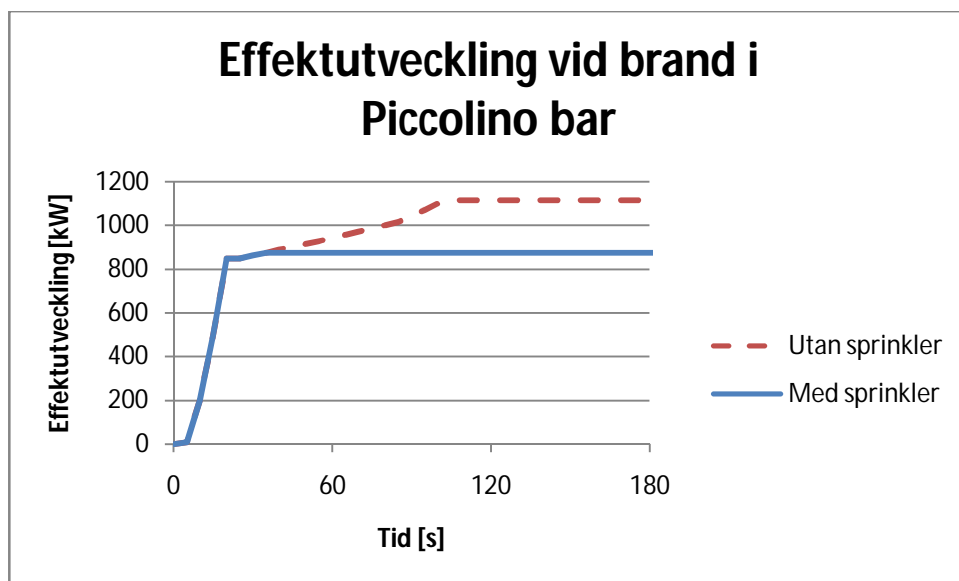


Figur 6.3 Händelsetråd för brand i Piccolino Bar

Både fallet då det allmänna sprinklersystemet aktiverar och då det inte aktiverar studeras i rapporten. Generellt kan sägas att sprinklersystems tillförlitlighet, det vill säga att de fungerar som avsett, är 92 % [21] vid normalt underhåll. I Hötorgshallen pågår för tillfället ombyggnation och detta ökar risken för att sprinklersystemet kan vara urkopplat.

Sprinklersystemet kan antingen begränsa branden eller släcka den helt. Att sprinklern endast begränsar branden ger konservativa resultat vid utrymningsberäkningar och därför antas branden begränsas och brinna med konstant effektutveckling från tidpunkten för sprinkleraktivering. Med hjälp av programmet DetactQS [22] beräknas tiden till sprinkleraktivering till 35 sekunder och branden begränsas till en effektutveckling på 875 kW.

Effektutvecklingen för branden, med och utan aktiverad sprinkler, presenteras i figur 6.4. Se bilaga C för en mer ingående beskrivning av effektutvecklingen vid brand i Piccolino Bar.



Figur 6.4 Brandens effektutveckling i scenario 1

6.4 Tid till kritiska förhållanden

Tiden till kritiska förhållanden simuleras i Argos [1] för brand med respektive utan sprinkleraktivering. För detaljerad information om simuleringen, se bilaga C.

6.4.1 Med sprinkler

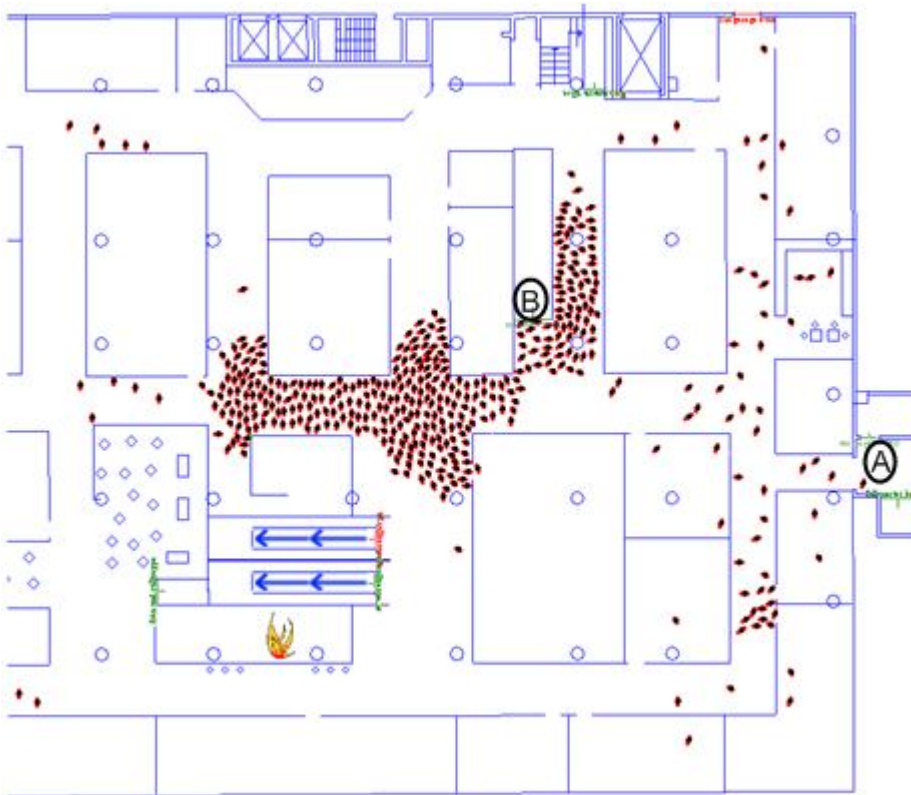
Inga kritiska förhållanden uppstår på grund av brandgaserna då atriet fungerar som en rökreservoar och gaserna transporteras dit istället för att bilda ett brandgaslager i saluhallen. Sprinkleraktivering begränsar brandens effekt men strålningen från flaman gör att rulltrapporna inte kan användas för utrymning.

6.4.2 Utan sprinkler

Att sprinklersystemet inte aktiverar påverkar inte uppkomsten av kritiska förhållanden jämfört med fallet då sprinklersystemet aktiverar.

6.5 Utrymning

Vid simulering av utrymning i Simulex [2] används endast utgång A och utgång B, se figur 6.1, till att utrymma. Rulltrapporna används inte på grund av för hög strålningsintensitet och rädsla för att passera branden. Utgång C och E anses inte vara tillräckligt välkända eller attraktiva för att användas av besökarna. Eftersom alla personer ska passera genom två utgångar skapas köbildning nedanför trappa B, se figur 6.5. Varseblivningstiden för personer som befinner sig nära Piccolino Bar är satt till 0 sekunder och utrymningen påbörjas efter mellan 1,5 och 4 minuter beroende på var i saluhallen personerna befinner sig. Totalt tar utrymningen 11 minuter från det att branden startar. Ingående parametrar i simuleringen presenteras i bilaga C.



Figur 6.5 Köbildning nedanför trappa B i saluhallen

6.6 Resultat

Utrymningen tar 11 minuter och efter simulering i Argos ses att det under denna tid inte uppstår några kritiska förhållanden på grund av brandgaserna. I rulltrapporna är dock strålningsintensiteten från flaman så hög att utrymning via dessa inte är möjlig.

6.7 Konsekvenser

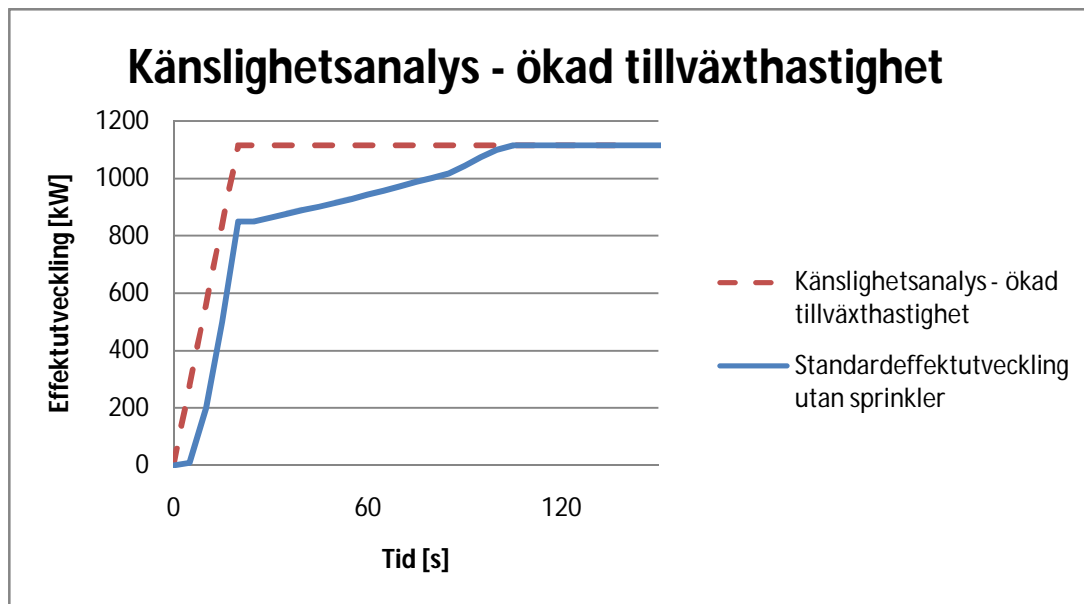
Med den använda branden kan personerna i saluhallen utrymma innan kritiska förhållanden uppstår och de utsätts därför inte för någon fara.

6.8 Känslighetsanalys

För att undersöka hur olika parametrar påverkar personsäkerheten i saluhallen utförs en känslighetsanalys för scenariot.

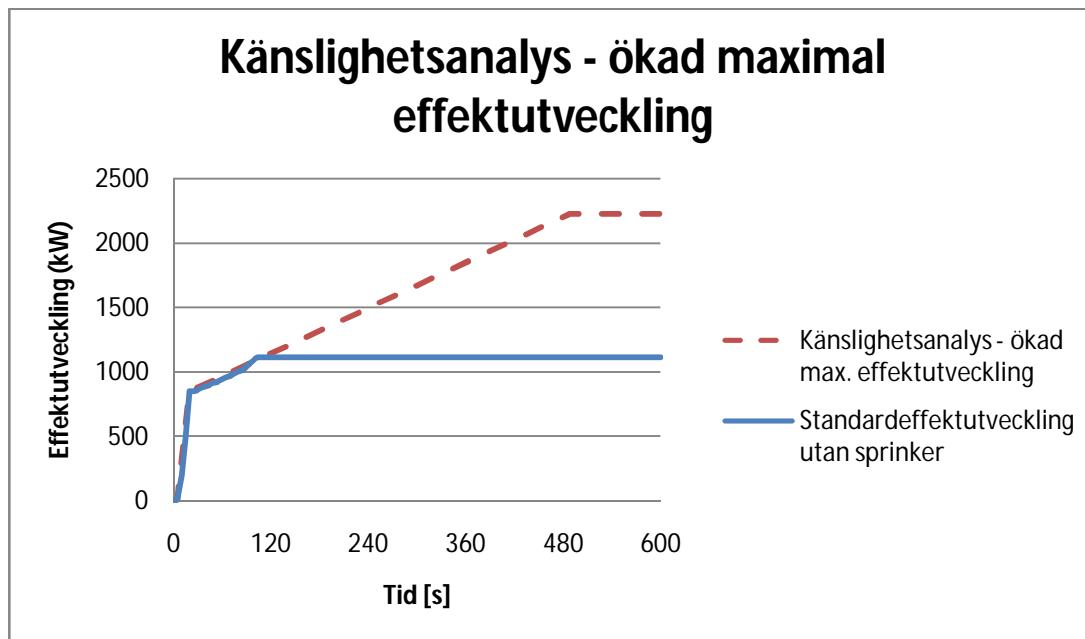
I Argos [1] simuleras vad som händer om tillväxthastighet, maximal effektutveckling eller takhöjd ändras.

Då tillväxthastigheten för branden ökas enligt figur 6.6 så att den når sin maximala effekt på 1,1 MW efter 20 sekunder uppstår inga kritiska förhållanden vid utebliven sprinkleraktivering. Om sprinkleraktivering sker fördröjs aktiveringstiden till 35 sekunder (tidigare 27 sekunder) och inte heller i detta fall uppstår kritiska förhållanden.



Figur 6.6 Känslighetsanalys – ökad tillväxthastighet

Ändras den maximala effektutvecklingen till 2,2 MW enligt figur 6.7 påverkas inte aktiveringstiden för sprinklern. Inga kritiska förhållanden uppstår.



Figur 6.7 Känslighetsanalys – ökad maximal effektutveckling

Eftersom takhöjden runt Piccolino Bar är en osäkerhetsfaktor och dessutom inte samma överallt, är det intressant att titta på hur denna påverkar brandförloppet. Ändras takhöjden i Argos till 2,7 meter istället för 2,9 meter så aktiverar sprinklersystemet efter 32 sekunder istället för 35 sekunder. Kritiska förhållanden utblir oavsett om sprinkleraktivering sker eller inte.

Utrymningstiden påverkas bland annat av uppskattade värden med avseende på varseblivnings- respektive reaktions- och beslutstid. Om personerna närmast branden börjar utrymma tidigare så kommer det få till följd att övriga i saluhallen också börjar utrymma tidigare och den totala tiden för utrymning kommer således att bli så mycket kortare som det tar för utrymningen att påbörjas. Gånghastigheten är också en parameter som kan påverka utrymningstiden, denna undersöks dock inte närmare på grund av att inte personkategorierna är helt kända samt att köbildning ändå uppstår.

6.9 Diskussion

På grund av att atriet över rulltrappan fungerar som en rökreservoar uppstår inga kritiska förhållanden i saluhallsplan, varken i ursprungsscenarioet eller vid känslighetsanalyserna. Även då rulltrappan, och därigenom den viktigaste utrymningsvägen, blir blockerad kan utrymning ske säkert via de andra nödutgångarna. På grund av att atriet kommer att leda upp brandgaser till markplan kan det finnas risk för de personer som befinner sig där. Detta problem bör uppmärksammas, men ytterligare utredning behöver genomföras för att säkerställa personsäkerheten.

Vidare kan det konstateras att ingen parameter ensam påverkar utgången av scenarioet i någon större utsträckning och därför kan scenarioet ses som representativt för en brand i Piccolino Bar. I scenarioet tas ingen hänsyn till att plexiglasat mellan köket och rulltrappan kan börja brinna. Detta grundas på att känslighetsanalysen visar att en ökad effektutveckling inte skulle påverka

huruvida kritiska förhållanden uppstår i lokalen och på att strålning från branden redan omöjliggör utrymning via rulltrapporna.

Utbildning av personalen kan påverka både risken för en större brand att uppstå och brandens utveckling. Om personalen utbildas i användning av handbrandsläckare kan en tidig insats göras med god chans att begränsa eller släcka en brand.

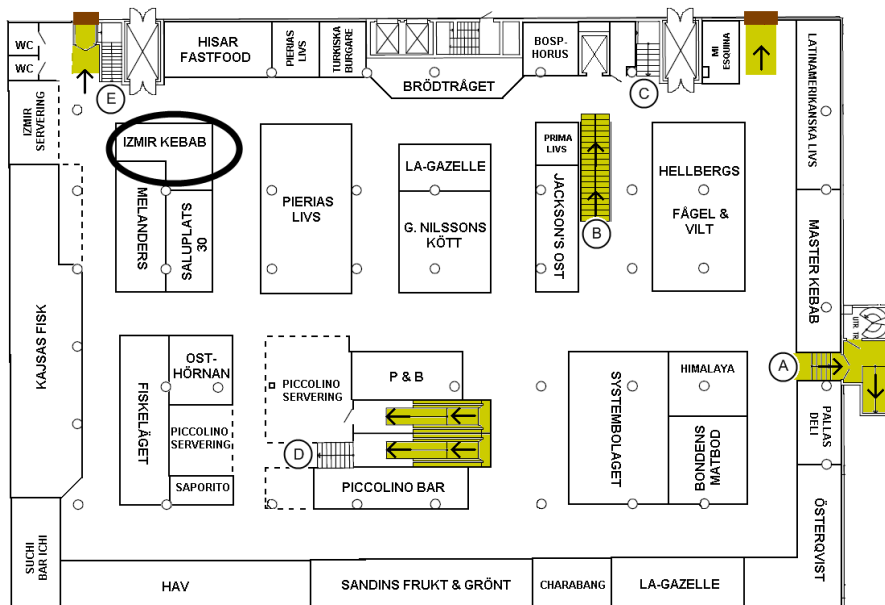
I scenariot används DetactQS för beräkning av tid till sprinkleraktivering och den erhållna tiden på 35 sekunder kan tyckas vara väldigt kort. Det kan alltså tänkas att det i verkligheten tar längre tid för sprinklern att aktivera. Det kan dock ses i figur 6.4 att det i detta fall inte blir någon större skillnad i effektutvecklingen efter sprinkleraktivering och att tiden till aktivering i just detta fall inte har så stor betydelse.

7 Scenario 2 – Brand i Izmir Kebab

7.1 Lokalbeskrivning

Izmir Kebab ligger intill trappa E i saluhallsplan, se figur 7.1, vilket är ett område med många matserveringar för besökarna. Sittplatser för Izmir Kebab finns i anslutning till toaletterna med plats för trettio ätande. Kajsas fisk har tio sittplatser vid bardisk och Hisar Fastfood har sexton sittplatser mitt emot Izmir Kebab.

Dessa serveringar ligger i direkt anslutning till Izmir Kebabs kök som innehåller köksutrustning i form av två fritöser, stekbord och kebabsvarv, se figur 7.2. Över fritöserna sitter det en punktskyddssprinkler. Vid besökstillfället fanns inte en betydande mängd brännbart material i köket men det kan antas finnas vid andra tillfällen och då speciellt i juletid i form av diverse dekorationer. Personalantalet ligger runt tre.



Figur 7.1 Brand i scenario 2



Figur 7.2 Köket i Izmir Kebab

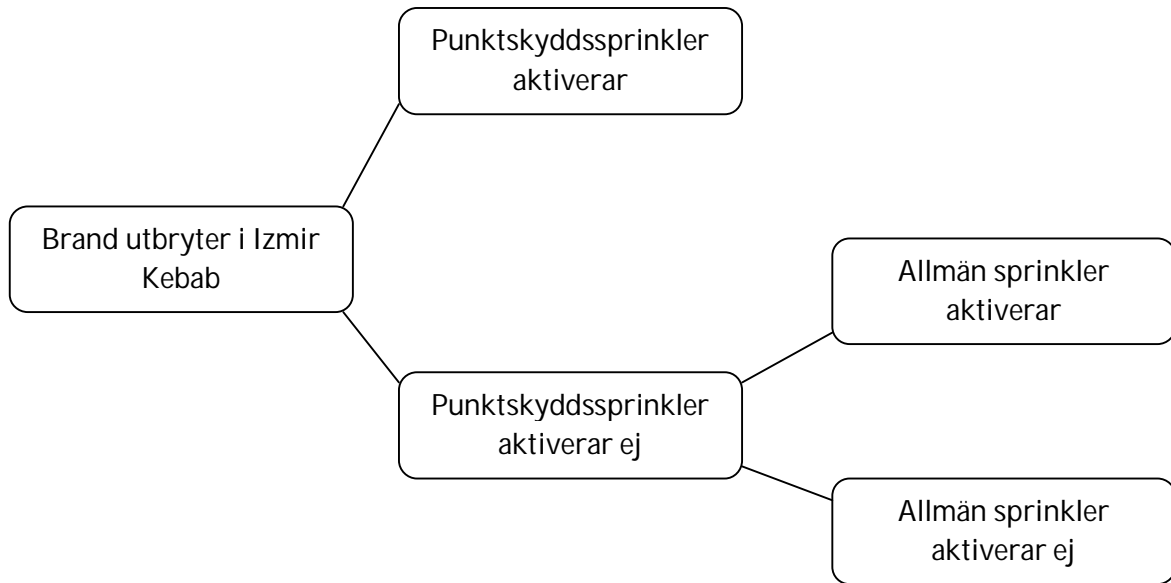
7.2 Motivering till val av brandscenario

Eftersom det finns ett stort antal sittplatser för ätande i området kring Izmir Kebab är persontätheten relativt hög. Nödutgången intill restaurangen kan bli blockerad av en brand men då flertalet gäster förväntas använda de större utrymningsvägarna, såsom den ovanför rulltrapporna och den via trappa B, kan blockeringen av utrymningsvägen nära Izmir Kebab vara av mindre betydelse[19]. Eftersom det i området finns många små restauranger är sannolikheten för uppkomst av brand i denna del av lokalen hög. Statistiken som presenteras i kapitel 5 visar att risken för uppkomst av brand i kök är en av de största inom handeln. Dessutom är tekniskt fel en stor brandsorsak, något som skulle kunna vara en överhettad fritös på grund av termostatfel eller föremål som har hamnat i fritösen.

7.3 Brand

En brand uppstår i kökets fritös där värmen från branden gör att även fritösen bredvid tar eld. Branden sprider sig efter 60 sekunder till en papperskorg i närheten. Samtidigt når flammorna upp till två genomlysta, takmonterade menyskyltar och antänder dessa. Därefter, 80 sekunder in i brandscenariot, tar även dekorationer som hänger i taket runt butiken eld. Branden växer till en maximal effektutveckling på 2500 kW. Då ingen vidare spridning av branden sker anses den därefter vara bränslekontrollerad. Beräkningar finns redovisade i bilaga D.

Vid brand i Izmir Kebab kan punktskyddssprinklern över fritösen antingen aktivera eller inte. Vidare kan det allmänna sprinklersystemet antingen aktivera eller inte. De olika fallen visas i händelseträdet i figur 7.3.

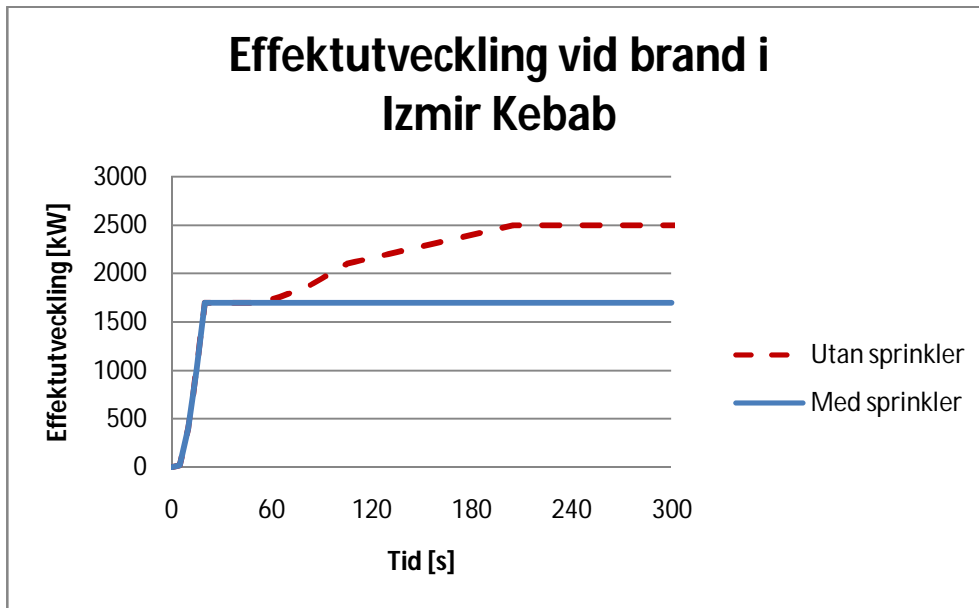


Figur 7.3 Händelseträd för brand i Izmir Kebab

Både fallet då det allmänna sprinklersystemet aktiverar och då det inte aktiverar studeras noggrannare i rapporten. Inga beräkningar kommer att göras på fallet då punktskyddssprinklern aktiverar, men fallet tas upp i diskussionen. Generellt kan sägas att sprinklersystems tillförlitlighet, det vill säga att de fungerar som avsett, är 92 % [21] vid normalt underhåll. I Hötorgshallen pågår för tillfället ombyggnation och detta ökar risken för att sprinklersystemet kan vara urkopplat.

Sprinklersystemet kan antingen begränsa branden eller släcka den helt. Att sprinklern endast begränsar branden ger konservativa resultat vid utrymningsberäkningar och därför antas branden begränsas och brinna med konstant effektutveckling från tidpunkten för sprinkleraktivering. Med hjälp av DetactQS [22] beräknas tiden till sprinkleraktivering till 20 sekunder och branden begränsas till en effektutveckling på 1700 kW.

Effektutvecklingen för branden, med och utan aktiverad sprinkler, presenteras i figur 7.4. Se bilaga D för en mer ingående beskrivning av effektutvecklingen vid brand i Izmir Kebab.



Figur 7.4 Brandens effektutveckling i scenario 2

7.4 Tid till kritiska förhållanden

Tiden till kritiska förhållanden simuleras i Argos [1] för brand med respektive utan sprinkleraktivering. För detaljerad information om simuleringen, se bilaga D.

7.4.1 Med sprinkler

Vid sprinkleraktivering begränsas brandens effekt till 1700 kW. Denna effektutveckling räcker, i en så stor volym som saluhallen, inte till för att kritiska förhållanden ska uppstå.

7.4.2 Utan sprinkler

I närheten av den brinnande fritösen överstiger den infallande strålningsintensiteten från brandgaslagret 2,5 kW/m² efter drygt 3 minuter.

7.5 Utrymning

Vid simulering av utrymning i Simulex [2] används rulltrapporna och utgång A och B, se figur 7.1, för utrymning. De övriga utgångarna, C och E, anses inte vara tillräckligt välkända eller attraktiva för att användas av besökarna. Köbildning skapas nedanför rulltrapporna eftersom de är de i särklass mest använda trapporna vid utrymning, se figur 7.5. Varseblivningstiden för personer som befinner sig nära Piccolino Bar är satt till 0 sekunder och utrymningen påbörjas efter mellan 1,5 och 4 minuter beroende på var i saluhallen personerna befinner sig. Totalt tar utrymningen 12 minuter från det att branden startar. I bilaga D presenteras ingående parametrar i Simulex.



Figur 7.5 Köbildning nedanför rulltrapporna i saluhallen

7.6 Resultat

Utrymningen tar 12 minuter och med aktiverad sprinkler uppstår inga kritiska förhållanden i saluhallen under denna tid och därmed uppstår ingen fara för människorna. Om sprinklern inte aktiverar uppstår kritiska förhållanden i brandens närhet efter drygt 3 minuter men då finns enligt simuleringar i Simulex inga personer kvar i området nära Izmir Kebab, se figur 7.6. Längre bort från branden uppstår fortfarande inga kritiska förhållanden om sprinklersystemet inte aktiverar.



Figur 7.6 Utrymningsituationen efter 3 minuter enligt Simulex

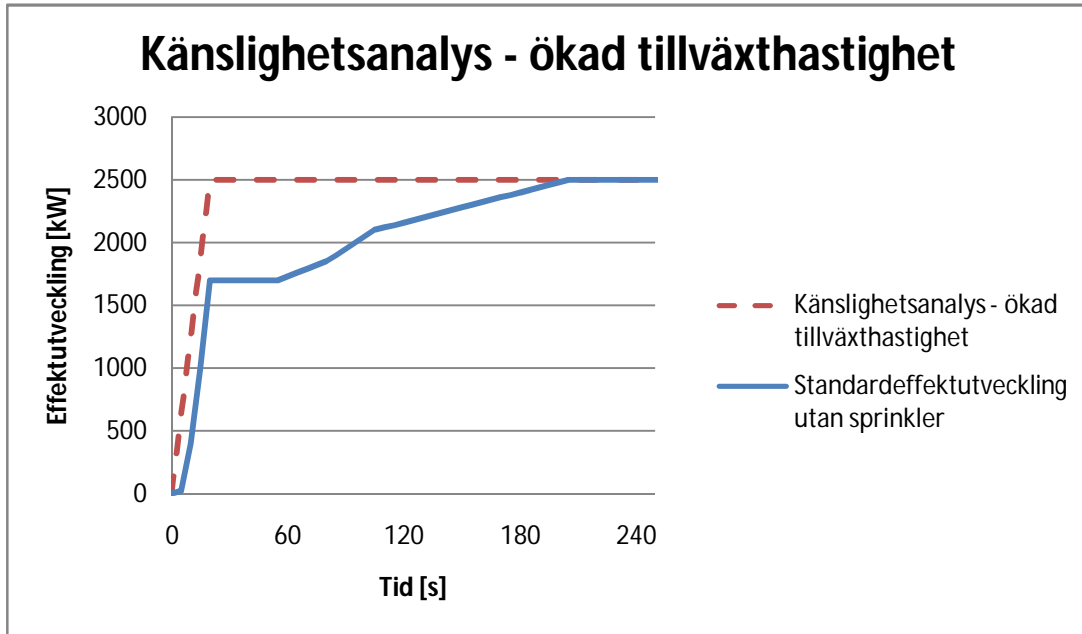
7.7 Konsekvenser

Med den använda branden kan personerna som befinner sig i saluhallen utrymma innan kritiska förhållanden uppstår och de utsätts därför inte för någon fara.

7.8 Känslighetsanalys

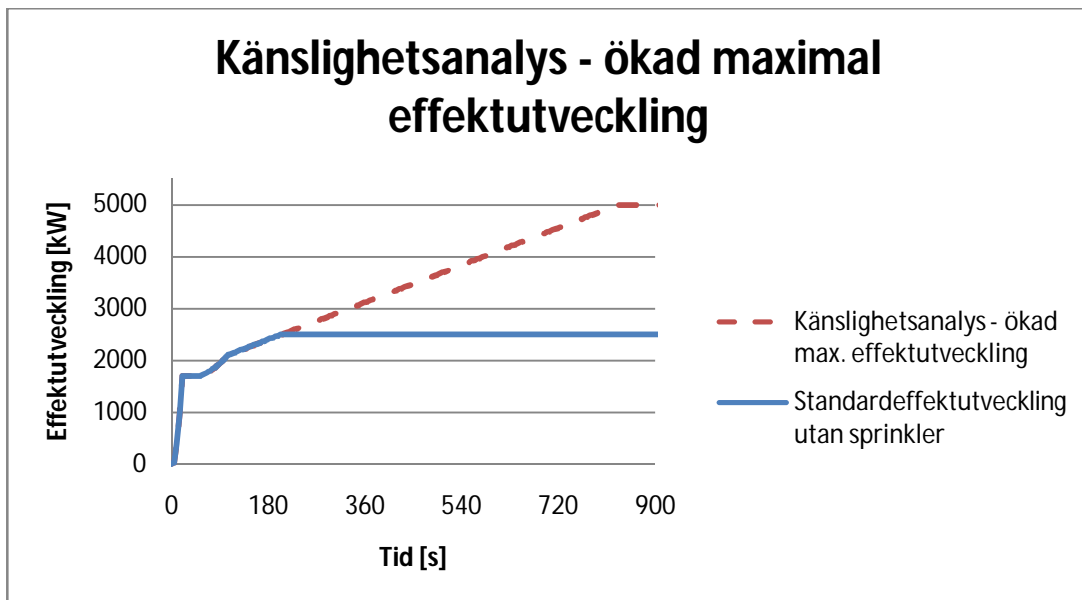
För att undersöka hur olika parametrar påverkar personsäkerheten i saluhallen utförs en känslighetsanalys för scenariot.

I Argos [1] simuleras vad som händer om tillväxthastighet, maximal effektutveckling eller takhöjd ändras. Om tillväxthastigheten för branden ökas enligt figur 7.7 så att den efter 20 sekunder når sin maximala effekt på 2,5 MW, aktiverar sprinklern efter 17 sekunder mot tidigare 20 sekunder. Vid utebliven sprinkleraktivering uppstår kritiska förhållanden efter drygt 2 minuter i form av att strålningen från brandgaslagret överstiger 2,5 kW/m². I de ursprungliga beräkningarna tog det drygt 3 minuter för kritiska förhållanden att uppstå.



Figur 7.7 Känslighetsanalys – ökad tillväxthastighet

Ändras den maximala effektutvecklingen till 5 MW enligt figur 7.8 påverkas inte aktiveringstiden för sprinklern. Inte heller tiden till kritiska förhållanden ändras.



Figur 7.8 Känslighetsanalys – ökad maximal effektutveckling

Eftersom takhöjden runt Izmir Kebab är en osäkerhetsfaktor och dessutom inte samma överallt, är det intressant att titta på hur denna påverkar brandförloppet. Ändras takhöjden i Argos till 2,7 meter istället för 2,9 meter så aktiverar sprinklersystemet efter 19 sekunder istället för 20 sekunder. Kritiska förhållanden vid utebliven sprinkleraktivering uppstår efter drygt

2 minuter istället för 3 minuter på grund av att strålningsintensiteten från brandgaslagret runt serveringen överstiger 2,5 kW/m².

Utrymningstiden påverkas bland annat av uppskattade värden med avseende på varseblivnings- respektive reaktions- och beslutstid. Om personerna närmast branden börjar utrymma tidigare så kommer det få till följd att övriga i saluhallen också börjar utrymma tidigare och den totala tiden för utrymning kommer således att bli så mycket kortare som det tar för utrymningen att påbörjas. Gånghastigheten är också en parameter som kan påverka utrymningstiden, denna undersöks dock inte närmare på grund av att inte personkategorierna är helt kända samt att köbildning ändå uppstår.

7.9 Diskussion

Känslighetsanalysen visar att det som inverkar mest på tiden till kritiska förhållanden är takhöjden samt tillväxthastigheten. Takhöjden runt Izmir Kebab varierar ganska mycket och detta är ett problem vid simuleringar i Argos , eftersom programmet kräver att takhöjden är densamma i hela zonen. Tillväxthastigheten är också en viktig parameter, men i det ursprungliga brandscenariot för Izmir Kebab är denna redan väldigt hög på grund av att det brinner i en fritös. Vid utebliven sprinkleraktivering visar känslighetsanalysen att säkerhetsmarginalen vid ökad tillväxthastighet och takhöjd inte är stor och om utrymningen skulle försenas kan personer finnas kvar i brandens närhet då kritiska förhållanden uppstår. Med utgång från känslighetsanalysen kan slutsatsen dras att sprinklersystemet spelar en viktig roll i utfallet av scenariot.

I scenariot används DetactQS för beräkning av tid till sprinkleraktivering och den erhållna tiden på 20 sekunder kan tyckas vara väldigt kort. Det kan alltså tänkas att det i verkligheten tar längre tid för sprinklern att aktivera. Det kan dock ses i figur 7.4 att det i detta fall inte blir någon större skillnad i effektutvecklingen efter sprinkleraktivering och att tiden till aktivering i just detta fall inte har så stor betydelse.

Vidare bör nämnas att utgången av scenariot kan förändras i de fall då punktskyddssprinklern över fritösen aktiverar. Punktskyddssprinklern är av typen spraysprinkler och ska fungera mot fritösbränder. Detta systemet är dock gammalt och osäkerhet finns om det fungerar bra för ändamålet. Idag finns det bättre lösningar mot denna typ av bränder, exempelvis högtryckssprinkler. En sprinkler som inte skapar vattenspray kan ge stora konsekvenser om den är placerad över fritös. Anledningen till detta är att vattnet som kommer i kontakt med den, mer än 100°C, heta oljan förångas och expanderar. Denna expansion och förångning leder till att brinnande olja slungas ut ur fritösen och brandens effekt ökar mycket kraftigt. Förloppet går mycket snabbt och människor som befinner sig i närheten av fritösen riskerar att skadas allvarligt.



Figur 8.2 Bilden till vänster visar utrymmet utanför personalrummet och bilden till höger korridoren som leder förbi köttkylen

8.2 Motivering till val av brandscenario

På grund av ombyggnation i lagret är en av de två utrymningsvägarna från köttkylen blockerad. Detta innebär att en brand i denna enda utrymningsväg kan få förödande konsekvenser för personer som uppehåller sig i köttkylen. Eftersom rökdetektorn, som egentligen ska finnas i lagerutrymmet där branden startar, är bortplockad försenas dessutom detektionen av branden. I personalmatsalen i anslutning till lagerutrymmet kan även en hel del människor vistas och påverkas av branden. Även om ombyggnationen är tillfällig är det möjligt att liknande situationer senare uppkommer på andra platser i lagret. Statistiken av Hansson [20] som presenteras i kapitel 5 visar att risken för anlagd brand är en av de vanligaste brandsorsakerna och att bränder ganska ofta startar i lagerutrymmen och i lösa inredningsföremål. Eftersom det inte finns låsta dörrar mellan saluhall och lager så kan obehöriga personer enkelt ta sig ner i lagret och anlägga en brand.

8.3 Brand

Vid en anlagd brand antänder staplade lastpallar och på grund av strålning antänds efter tre minuter ett skåp. Efter drygt fem minuter blir branden bränslekontrollerad och brinner med konstant effektutveckling. Detta resulterar i en effektutvecklingskurva enligt figur 8.3. Beräkningar finns presenterade i bilaga E.



Figur 8.3 Brandens effektutveckling i scenario 3

8.4 Tid till kritiska förhållanden

Simulering i Argos [1] visar att kritiska förhållanden i startutrymmet på grund av brandgaslagrets höjd uppstår efter 45 sekunder och i korridoren utanför köttkylen efter ytterligare 30 sekunder. Brandgaserna befinner sig då på 1,8 meters höjd ovanför golvet. Handberäkningar visar att sikten i utrymmet blir mindre än 10 meter efter 75 sekunder. Efter drygt 2 minuter når strålningen i startutrymmet den kritiska nivån $2,5 \text{ kW/m}^2$. Argos visar också att medeltemperaturen i brandrummet överstiger 80°C vid tiden 2 minuter. Se bilaga E för ytterligare information angående simuleringen.

8.5 Utrymning

Brandlarmet i lagret startar enligt beräkningar i Argos [1] efter 60 sekunder och därefter tar det 2 minuter till dess att personalen börjar utrymma [18]. Det tar 30 sekunder från det att utrymningen påbörjas tills alla personer har lämnat lagret. Totalt dröjer det 3,5 minuter från det att branden startar till dess att lagret är utrymt, och de sista personerna som utrymmer kommer från köttkylen. Inga köbildningar uppstår vid utrymningen. I bilaga E finns mer information om simuleringen i Simulex.

8.6 Resultat

Utrymningstiden för lagret är 3,5 minuter och kritiska förhållanden uppstår redan efter 45 sekunder. Då larmet ljuder efter 60 sekunder har strålningsnivån i utrymmet vid trappa C nått $0,75 \text{ kW/m}^2$. Inom tiden för utrymning uppstår dessutom flera andra kritiska förhållanden, såsom temperatur i utrymmet vid trappa C och strålning.

8.7 Konsekvenser

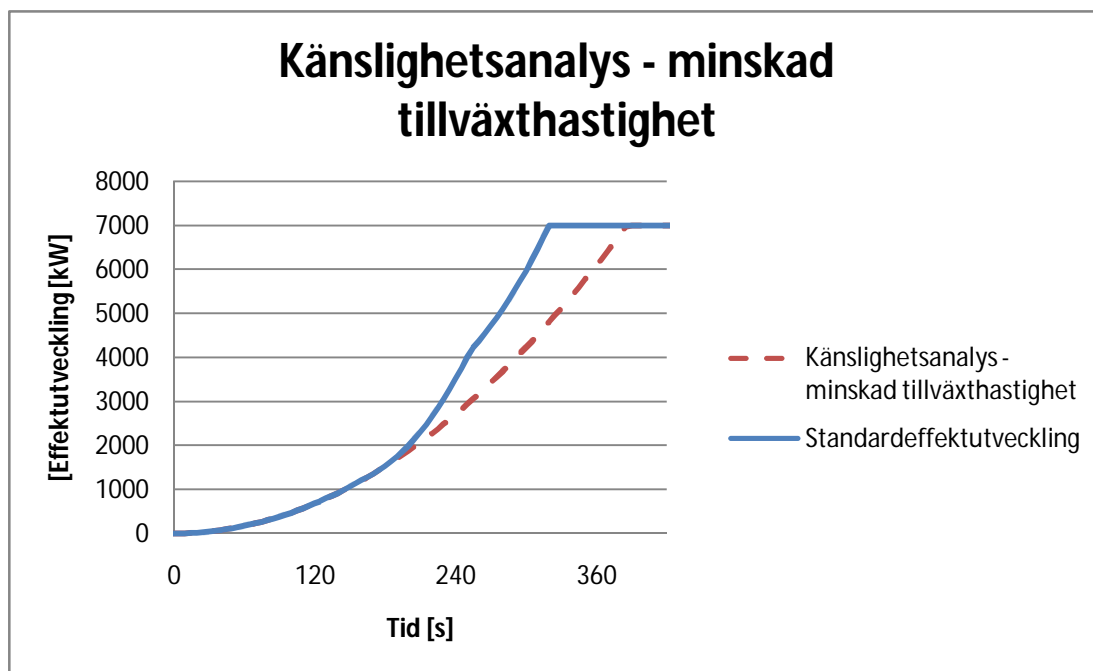
När kritiska förhållanden uppstår i lagret har inga personer påbörjat utrymning och detta innebär att utrymningen blir försvårad och eventuellt omöjlig för personer som befinner sig i de lokaler där utrymning genom det brandutsatta utrymmet krävs, till exempel från köttkyl och personalrum.

8.8 Känslighetsanalys

För att undersöka hur olika parametrar påverkar personsäkerheten i lagret utförs en känslighetsanalys för scenariot.

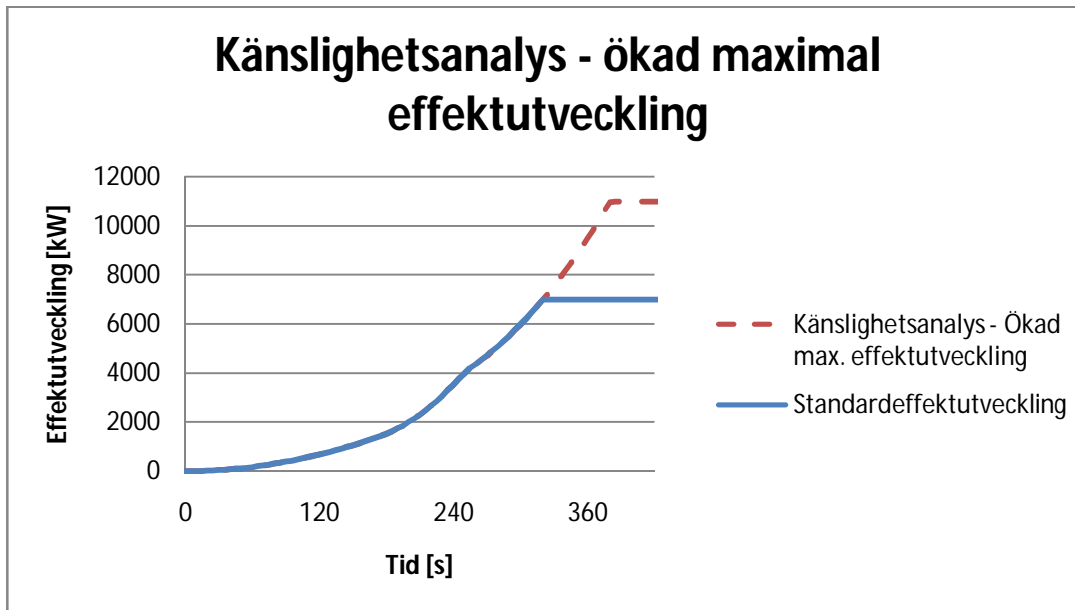
I Argos [1] simuleras vad som händer om tillväxthastighet, maximal effektutveckling eller takhöjd ändras samt om den magnetuppställda dörren till trapphus C inte går igen.

Om tillväxthastigheten sänks till medium ($0,012 \text{ kW/s}^2$), se figur 8.4, aktiverar brandlarmet efter 90 sekunder istället för 60 sekunder. Kritiska förhållanden uppstår efter 90 sekunder (tidigare 45 sekunder) på grund av brandgaslagrets höjd och först efter 5,5 minuter (tidigare 2 minuter) på grund av strålning från brandgaserna.



Figur 8.4 Känslighetsanalys – minskad tillväxthastighet

Om den maximala effektutvecklingen ökas till 11 MW, se figur 8.5, så ändras inte tiden för detektion och kritiska förhållanden.



Figur 8.5 Känslighetsanalys – ökad maximal effektutveckling

Eftersom innertaket i lagret är en osäkerhetsfaktor och dessutom har nedhängande installationer är det intressant att titta på hur takhöjden påverkar brandförloppet. Ändras takhöjden i Argos till 2,0 meter istället för 2,2 meter så aktiverar rökdetektorn efter 50 sekunder (tidigare 60 sekunder), kritiska förhållanden för brandgaslagretshöjd uppkommer efter 40 sekunder (tidigare 45 sekunder) och på grund av strålning efter drygt 2 minuter (ingen förändring).

Om den magnetuppställda branddörren till trapphus C inte stänger vid larm så uppstår kritiska förhållanden på grund av brandgaslagrets höjd efter 45 sekunder (ingen förändring) och strålningsintensiteten överstiger 2,5 kW/m² efter drygt 2 minuter (ingen förändring).

Osäkerhet i siktberäkningarna finns bland annat i värdet på rökpotentialen. Används värdet för spånskiva som är 0,085 m²/g tar det 65 sekunder till dess att sikten blir sämre än 10 meter (tidigare 75 sekunder med cellulosa).

I det aktuella scenariot spelar reaktions- och beslutstiden mindre roll eftersom kritiska förhållanden uppstår redan efter 45 sekunder och det tar 35 sekunder för personalen att utrymma. Det innebär att varseblivnings-, reaktions- och beslutstiden tillsammans endast kan utgöra 10 sekunder, vilket inte är troligt.

8.9 Diskussion

Känslighetsanalysen visar att brandens tillväxthastighet är den parameter som mest påverkar utrymningsituationen i lagret. Detta innebär att konsekvenserna vid brand kan förändras avsevärt beroende på vad det är som brinner och hur mycket bränsle som finns tillgängligt. I scenariot har branden antagits bli bränslekontrollerad i det aktuella lagerutrymnet. Men eftersom det med stor sannolikhet finns brännbart material i korridorerna som leder förbi kött- och saltkyl kan branden sprida sig dit och vidare till övriga delar av lagret. Med tanke på att lagret är osprinklat och brandcellsgränserna är otäta så kan en brand i lagret tillväxa och sprida sig vidare upp till saluhallen. Det är därför viktigt att kritiska platser i lagret som denna inte används för förvaring. Det kan ses att övriga parametrar som testas i känslighetsanalysen inte

påverkar scenariot särskilt mycket. Värt att notera är att i det simulerade scenariot har ingen hänsyn tagits till att branden har en initial fas, se bilaga B, då branden endast avger en liten mängd energi men ändå tillräckligt med brandgaser för att kunna aktivera detektorer. Alltså kan detektion av branden i lagret ske snabbare än de beräknade tiderna indikerar.

9 Åtgärder

I dagsläget finns det brister kring personsäkerheten vid brand i Hötorgshallen. För att uppnå ett tillfredställande brandskydd och säkerställa att utrymning kan ske innan kritiska förhållanden uppstår anser författarna att ett antal åtgärder skall vidtas, och att vissa åtgärder bör utföras för att höja säkerheten ytterligare. Åtgärderna presenteras och valideras nedan.

- **Systematiskt brandskyddsarbete skall bedrivas** – För att uppfylla de krav som finns anående brandskydd i *Lag om skydd mot olyckor (LSO)* [7] är det viktigt att systematiskt brandskyddsarbete (SBA) bedrivs. I det systematiska brandskyddsarbetet ingår att brandskyddet för byggnaden skall dokumenteras, vilket inte har gjorts i Hötorgshallen. Även utbildning av personal ingår i SBA men i dagsläget har personalen inte fått någon information om hur de ska agera vid brand. Om personalen utbildas i att påbörja utrymning direkt vid aktiverat utrymningslarm kan den totala utrymningstiden förkortas. Om personalen dessutom utbildas i släckning med handbrandsläckare kan bränder släckas i ett tidigt skede och stora skador undvikas. Det är lämpligt att ägare till byggnaden och den som bedriver verksamheten där reder ut vem som ansvarar för vilka delar i brandskyddet och gärna reglerar detta i någon form av avtal.
- **Korridorer och utrymmen i anslutning till utrymningsväg och väg till utrymningsväg skall hållas rena från lösa föremål** – Denna åtgärd skall vidtas för att förhindra uppkomst samt hindra och begränsa skador vid brand och underlätta eventuell utrymning [7]. Dessutom undviks till exempel att larmknappar och nödutgångar blockeras.
- **Utrymning skall kunna ske genom delar av lager där ombyggnation äger rum** – Det är viktigt att det finns två av varandra oberoende utrymningsvägar, speciellt om en snabbt växande brand utbryter. Att öppna upp den stängda utrymningsvägen utanför köttkylen, vid scenario 3, förhindrar att folk blir instängda av en brand och ökar personsäkerheten. Avstängningen kan istället utgöras av en dörr.
- **Rökdetektorer som saknas skall återplaceras** – Återplacering av rökdetektor i brandutrymmet vid scenario 3 ger en tid till detektion på 30 sekunder, till skillnad från tidigare då detektion sker efter 60 sekunder. Detta kommer inte vara avgörande för personsäkerheten vid det studerade brandscenariot, men kan mycket väl vara det vid andra brandförlopp.
- **Utrymningsskyltar skall vara belysta eller genomlysta** – Vid besöket i Hötorgshallen lyste inte alla utrymningsskyltar. Att skyltarnas belysning fungerar som den ska är extra viktigt i lokaler som saluhallen där dekorationer taket skymmer många av skyltarna och gör dem svåra att upptäcka.
- **Alla genomföringar mellan brandceller skall vara täta, alla branddörrar skall stänga och vara täta vid brandlarm samt skall hissen vara en egen brandcell** – Det är i många avseenden viktigt att brandcellerna är avskilda från varandra, både för personsäkerhet, ekonomiska förluster och räddningstjänstens möjligheter att släcka en

brand. I scenarierna i denna rapport har ingen hänsyn tagits till läckage mellan brandceller och säkerheten kan därför inte garanteras om gränserna inte är täta.

- **Skyltar försedda med varning för explosion skall tas ned då risk för explosion ej föreligger** – I lagret på dörren till kylmaskinsrummet finns en skylt om varning för explosionsrisk vid brand. Denna skall tas ned om ingen explosionsrisk föreligger eftersom räddningstjänstens möjlighet till insats begränsas vid explosionsrisk.
- **Utrymningslarm bör installeras i saluhallen** – Vid författarnas besök i Hötorgshallen framkom att det är oklart om personer i saluhallen skulle utrymma vid larm då detta endast ljuder i lagret. Därför bör utrymningslarm installeras även i saluhallen för att på så sätt tydliggöra behovet av utrymning.
- **Larmknappar bör installeras i saluhallen** – Som ett komplement till sprinkler bör larmknappar placeras ut. På så sätt kan personal och kunder aktivera utrymningslarmet ifall branden inte har blivit detekterad av sprinkler eller rökdetektorer. Om stor risk föreligger för oönskade larm aktiverade av kunder föreslås att larmknapparna placeras bakom försäljningsdiskarna. En förutsättning för att detta ska fungera är att personalen vet att de ska trycka på larmknappen vid brand.
- **Brandgasventilation bör installeras i saluhallen och lagret** – Eftersom saluhallen och lagret ligger under mark försvåras räddningstjänstens insats. För att underlätta, eller ens möjliggöra, inträngning i byggnaden är det viktigt att brandgaser kan ventileras ut ifrån lokalerna.
- **Utrymningsvägarna vid trappa C och E bör göras mer attraktiva** – Simulering i Simulex [2] med mer attraktiva utrymningsvägar vid trappa C och E samt antagandet att fler personer väljer att utrymma genom dessa minskar den totala utrymningstiden med strax under 2 minuter. Om denna åtgärd kombineras med installation av ett utrymningslarm kan den totala utrymningstiden förkortas med 3,5 minuter.
- **Punktskyddssprinkler ovanför fritöser bör kontrolleras och eventuellt bytas ut mot högtryckssprinkler med vattendimma** – Det är osäkert om de punktskyddssprinkler som finns installerade ovanför fritöser ger en önskad effekt vid aktivering. Det bör kontrolleras att dessa sprinkler skapar en vattenspray för att undvika negativa konsekvenser. Om de inte gör det ska de bytas ut mot sprinkler avsett ändamålet. Punktskyddssprinkler finns i nuläget installerat i bland annat Izmir Kebab.

Dessutom kan det övervägas att installera sprinkler även i lagret. Detta eftersom lagret ligger två våningar under markplan, innehåller en stor mängd brännbart material samt i dagsläget inte har någon brandgasventilation. En insats från räddningstjänsten i lagret kommer att vara svår genomförd och därför föreligger risk att de ekonomiska skadorna kan bli stora vid brand i lagret. Om sprinkler installeras kan brandens konsekvenser mildras.

9.1 Sammanfattning av åtgärder

Nedan presenteras åtgärder som författarna anser *skall* genomföras för att säkerställa personsäkerheten i Hötorgshallen.

- Systematiskt brandskyddsarbete skall bedrivas.
- Korridorer och utrymmen i anslutning till utrymningsväg och väg till utrymningsväg skall hållas rena från lösa föremål.
- Utrymning skall kunna ske genom delar av lager där ombyggnation äger rum.
- Rökdetektor som saknas utanför personalrum i lagret skall återplaceras.
- Utrymningsskyltar skall vara belysta eller genomlysta.
- Alla genomföringar mellan brandceller skall vara täta.
- Alla branddörrar skall stänga och vara täta vid brandlarm.
- Hissar skall utföras i egen brandcell.
- Skyltar försedda med varning för explosion skall tas ned då risk för explosion ej föreligger.

Nedan presenteras åtgärder som författarna anser *bör* genomföras för att höja säkerheten i Hötorgshallen ytterligare.

- Utrymningslarm bör installeras i saluhallen.
- Larmknappar bör installeras i saluhallen.
- Brandgasventilation bör installeras i saluhallen och lagret.
- Utrymningsvägarna vid trappa C och E bör göras mer attraktiva.
- Punktskyddssprinkler ovanför fritöser bör kontrolleras och eventuellt bytas ut mot högtryckssprinkler med vattendimma.

Nedan presenteras åtgärder som endast ska ses som förslag.

- Sprinkler i lagret kan installeras.

10 Allmän diskussion

Generellt kan det konstateras att personsäkerheten vid brand i saluhall och lager i dagsläget har brister. Detta gäller speciellt för lagerutrymnet där ombyggnation som spärrar en av utrymningsvägarna pågår. Mycket lagervaror placeras också i korridorer och på öppna ytor vilket gör att framkomligheten minskar samt att brandrisken ökar. Eftersom det finns många aktörer i Hötorgshallen och ansvarsfördelningen inte är särskilt tydlig kan dessa problem vara svåra att få ordning på. Fastighetsägaren bör ta initiativ till att ett systematiskt brandskyddsarbete upprättas samt bedrivs kontinuerligt och att en tydlig ansvarsuppdelning finns mellan ägare och aktörer. Underhållet av de nuvarande aktiva och passiva systemen i Hötorgshallen är också något som klart kan förbättras. Att detektorer fungerar som de ska, utrymningsskyltar syns tydligt och brandcellsgränser hålls täta är åtgärder som är viktiga för att brandskyddet ska fungera. För att få ordning på dessa problem rekommenderas att en genomgång av brandskyddet görs och åtgärder vidtas.

De scenarier som har studerats i saluhallen och lagret ska endast ses som ett urval av alla möjliga scenarier som kan inträffa. Det är möjligt att andra tändkällor kan förekomma, till exempel värmeljus runt jul. Detta skulle kunna leda till att en brand utbryter som får mer allvarliga konsekvenser än de som har framkommit från scenarierna. Till exempel skulle en brand i en butik med hög brandbelastning kunna leda till att utrymningssituationen blir värre och att sprinklersystemet får en viktigare roll. Med anledning av detta är det viktigt att de åtgärder som har föreslagits i rapporten genomförs. De oattraktiva utrymningsvägarna kan till exempel vid ett annat scenario komma att spela stor roll trots att tillfredställande utrymning kan ske utan dem enligt de analyser som rapporten lyfter fram. Dessutom skulle ett utrymningslarm vid en sådan situation vara mycket viktigt för att kritiska förhållanden inte ska uppstå innan alla har hunnit utrymma.

Ett utrymningslarm är även en åtgärd som skulle minska problemen som finns idag med motviljan att utrymma saluhallen. I dagsläget då larm endast hörs från lagret, framkom vid besöket att folk lätt får uppfattningen att utrymning av saluhallen inte är nödvändig, vilket skulle få allvarliga följder vid en brand. Eftersom lagret är osprinklat och brandbelastningen är hög med alla varor placerade i korridorerna skulle en lagerbrand med de nuvarande otäta brandcellsgränserna kunna leda till att branden eller brandgaser sprids upp i saluhallen. Detta skulle kunna hota personsäkerheten och därför är det viktigt att hela byggnaden utryms oavsett var branden uppkommer.

Även om denna rapport är begränsad till saluhallsplan och lagerplan och endast i korthet behandlar markplanet i Hötorgshallen bör problem som kan uppkomma på markplan uppmärksammas. Vid brand i saluhallen kommer brandgaser att transporteras upp via öppningen vid rulltrapporna och sprida sig på övervåningen, där människor sitter och äter. Ytterligare utredningar behöver genomföras för att kunna säkerställa personsäkerheten på markplan.

Värt att nämna är också utrymnings säkerheten för rörelsehindrade personer. Denna har inte alls analyserats i rapporten, men det kan konstateras att rörelsehindrade personer har svårigheter att utrymma. Det finns en hiss mellan markplan, saluhall och garage men denna kan inte användas vid brand. Rörelsehindrade personer måste därför utrymma genom nödutgångarna till garaget vilka är oattraktiva och därför svårare att hitta. Det finns inga explicita krav på

utrymning för rörelsehindrade i gällande lagstiftning, krav ställs dock på att alla i lokalen ska kunna utrymma.

Då många människor befinner sig i saluhallen är det viktigt att brand detekteras och att folk börjar utrymma snabbt då det kan ta betydande tid innan utrymningen är klar.

Räddningstjänsten bör därför vid insats tänka på att utrymning kanske inte skett eller fortfarande pågår och planera så att de om möjligt kan ta en annan angreppsväg än någon av dem där mest folk befinner sig.

11 Litteraturförteckning

1. *Argos (version 4.13.26.239). [Datorprogram].* Hvidovre : The Danish Institute of Fire and Security Technology (DIFT), 2008.
2. *Simulex (version 2007.2.2.1). [Datorprogram].* Glasgow : Integrated Environmental Solutions Limited, 2008.
3. **Frisk, Lars.** Säkerhetsansvarig Hötorgshallen. *E-postkonversation.* 2008-09-24.
4. **Stockholms, brandförsvaret.** *Insatsrapport Hötorgshallen 2004-07-28.*
5. **Haglund, S, o.a.** *Rapport 9167 Brandteknisk riskvärdering Filmstaden Sergel, Stockholm.* Lund : Avdelningen för brandteknik och riskhantering, 2001.
6. **Boverket.** *Boverkets byggregler BFS 2006:22.*
7. *Lag om skydd mot olyckor SFS 2003:778.*
8. **Glenting, Markus.** Brandingenjör Stockholms brandförsvaret. *E-postkonversation.* 2008-09-25.
9. **Frisk, Lars.** Säkerhetsansvarig Hötorgshallen. *E-postkonversation.* 2008-11-19.
10. **Jensen, Lars.** Professor i installationsteknik vid Lunds Tekniska Högskola. *Muntlig källa.* 2008-10-07.
11. **Frisk, Lars.** Säkerhetsansvarig Hötorgshallen. *E-postkonversation.* 2008-09-30.
12. **Spearpoint, M.** SFPE New Zealand Chapter. [Online] 2002. [Citat: den 13 oktober 2008.] http://www.civil.canterbury.ac.nz/sfpe/technical_papers/TP3.shtml.
13. **Bengtsson, S, Jönsson, R och Frantzich, H.** *Brandskyddshandboken : en handbok för projektering av brandskydd i byggnader.* Lund : Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet, 2005.
14. **Frisk, Lars.** Säkerhetsansvarig Hötorgshallen. *Muntlig källa.* 2008-09-26.
15. **Thidevall, Lars.** Brandinspektör Stockholms brandförsvaret. *Muntlig källa.* 2008-09-26.
16. **Glenting, Markus.** Brandingenjör Stockholms brandförsvaret. *E-postkonversation.* 2008-11-04.
17. **Glenting, Markus.** Brandingenjör Stockholms brandförsvaret. *Muntlig källa.* 2008-09-26.
18. **Frantzich, H.** *Varseblivningstid och reaktionstid vid utrymning: sammanställning av enkätundersökning gällande för varuhus, restaurang och danslokal.* Lund : Lunds universitet, 1993.
19. **Frantzich, H.** *Tid för utrymning vid brand: [FoU rapport P21-365/01].* Karlstad : Räddningsverket, 2001.
20. **Hansson, K.** *Rapport 5220 Utvärdering av metoder för val av dimensionerande brandscenario.* Lund : Brandteknik, Lunds universitet, 2007.

21. **Malm, D och Pettersson, A-I.** *Rapport 5270 Tillförlitlighet för automatiska vattensprinkleranläggningar - en analys av befintlig statistik.* Lund : Avdelningen för brandteknik och riskhantering, 2008.
22. **Evans, D.D.** *DetactQS (version 1.3). [Datorprogram].* Gaithersburg : The National Institute of Standards and Technology (NIST), 1985.
23. **Karlsson, B och Quintiere, J.** *Enclosure fire dynamics.* Boca Raton : CRC Press, 2000.
24. **Nilsson, D och Holmstedt, G.** *Rapport 7030 Kompendium i Aktiva system - Detektion.* Lund : Brandteknik, 2007.
25. **Stroup, D.W.** *DetactT2 (version 1.0). [Datorprogram].* Gaithersburg : The National Institute of Standards and Technology (NIST), 1985.
26. **Drysdale, D.** *An Introduction to Fire Dynamics, 2nd edition.* Chichester : John Wiley & sons, 1998.
27. **Deibjerg, T, o.a.** *Argos User's Guide, A step by step guide to fire simulation.* Hvidovre : The Danish Institute of Fire and Security Technology (DIFT), 2003.
28. **Husted, Paulsen Bjarne.** Lunds Tekniska Högskola. *Föreläsning.* 2008-10-09.
29. **Gojkovic, Daniel.** Lunds Tekniska Högskola. *Föreläsning.* 2008-09-28.
30. **Frantzich, Håkan.** *Användarmanual till Simulex, ver 1.2.* Lund : Brandteknik, 1998.
31. BFRl: Fire Modeling Programs. [Online] The National Institute of Standards and Technology (NIST). [Citat: den 4 november 2008.] <http://www.bfrl.nist.gov/866/fmabbs.html>.
32. **Satoh, H och Mizuno, T.** Fire Source Model Based on the Ignited Material and Its Burning Property in the Early Stages of Fire in Residential Accommodations. *Fire Science and Technology.* 2006, Vol. 25, 3.
33. **Särdqvist, S.** *Rapport 3070 Initial Fires RHR, Smoke Production and CO Generation from Single Items and Room Fire Tests.* Lund : Brandteknik, Lunds universitet, 1993.
34. **Räddningsverket.** *Brand i lastpallslager, Norrköping, augusti 2002.* Karlstad : Räddningsverket, 2002.

Bilaga A Nomenklatur

I denna bilaga redovisas vilka beteckningar som använts i rapporten.

A	Area [m ²]
α	Tillväxthastighet [kW/s ²]
α_s	Kvot mellan flammans area och avståndet till objekt utsatt för strålning [-]
D	Diameter [m]
D_f	Avstånd mellan flamma och objekt utsatt för strålning [m]
D_L	Optisk densitet per meter [m ⁻¹]
D_0	Rökpotential [m ² /g]
ΔH_c	Förbränningsentalpi [kJ/kg]
H	Höjd [m]
I	Ljusintensitet [lux]
$k\beta$	Vätskeberoende konstant för beräkning av massavbrinningen [m ⁻¹]
L	Sträcka [m]
m	Massa [kg] alt. [g]
\dot{m}''	Massavbrinning per kvadratmeter [kg/m ² s]
\dot{m}	Massflöde [kg/s]
Φ	Synfaktor [-]
\dot{Q}	Effekt [kW]
\dot{Q}'''	Effekt per volymsenhet [kW/m ³]
Q	Energi [kJ]
q''	Strålningsenergi [kJ/m ²]
\dot{q}''	Strålningsintensitet [kW/m ²]
RTI	Termisk tröghet [(ms) ^{1/2}]
S	Kvot mellan lång sida och kort sida på flammen [-]
t	Tid [s] alt. [min]
T	Temperatur [°C] alt. [K]
v	Hastighet [m/s]
V	Volym [m ³]
W	Bredd [m]
X	Bredd på rektangel [m]
\bar{X}	Kvot mellan bredden på en rektangel och avståndet till en annan rektangel [-]
Y	Höjd på rektangel [m]
\bar{Y}	Kvot mellan höjden på en rektangel och avståndet till en annan rektangel [-]
χ	Förbränningseffektivitet [-]

Bilaga B Beräkningsmodeller

I denna bilaga redovisas olika beräkningsmodeller och simuleringsprogram som använts i rapporten.

B.1 αt^2 -branden

I *Enclosure fire dynamics* [23] kan ses att en brand kan utvecklas på flera olika sätt, bland annat beroende på bränsletyp och syretillgång. Varje brandförlopp kan beskrivas med ett antal olika stadier som är karakteristiska för just den aktuella branden.

I början av ett brandförlopp tillväxer branden för det mesta väldigt snabbt och detta kan beskrivas matematiskt, ofta med en andragsgradskurva. Tillväxthastigheten beror på typen av bränsle och delas in i fyra olika klasser: slow, medium, fast och ultra fast. För var och en av dessa klasser kan tillväxthastigheten ses i tabell B.1.

Tabell B.1 Tillväxthastighet vid brand

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

Effekten ges av att tillväxtfaktorn multipliceras med tiden i kvadrat.

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \quad [kW] \quad [B.1]$$

Till slut når branden en maximal effektutveckling som beror på tillgång på bränsle och syre. Branden brinner därefter med konstant effekt tills bränslet börjar ta slut och avsvlningsfasen tar vid.

Tiden för antändning antas i modellen ske vid tiden $t=0$ sekunder, medan det i verkligheten finns en initial fas där branden avger en liten mängd energi. Dock kan branden under denna fas avge tillräcklig mängd brandgaser för att kunna aktivera en detektor.

B.2 Maximal effektutveckling vid ventilationskontrollerad brand

Den maximala effektutvecklingen kan antingen bero på bränsle- eller syretillgången. Om branden blir ventilationskontrollerad kan den maximala effektutvecklingen beroende på det tillgängliga syret beräknas som

$$\dot{Q} = \dot{m}_{O_2} \cdot 13,1 \quad [MW] \quad [B.2]$$

där \dot{m}_{O_2} är massflödet syre [kg/s] och 13,1 MJ är mängden energi som frigörs när ett kilogram syre förbränns [23].

Massflödet syre kan beräknas som

$$\dot{m}_{O_2} = 0,23 \cdot \dot{m}_a \quad [kg/s] \quad [B.3]$$

där 0,23 är massprocenten syre i luft [-] och \dot{m}_a [kg/s] är massan luft som flödar in i brandrummet.

Massflödet luft beräknas enligt

$$\dot{m}_a = 0,5 \cdot A\sqrt{H} \quad [kg/s] \quad [B.4]$$

där A är arean på öppningen in till rummet [m²] och H är höjden på öppningen [m].

Ekvationerna bygger på resonemang i *Enclosure Fire Dynamics* [23] och förutsätter att branden är fullt utvecklad.

B.3 Siktberäkningar

Med hjälp av den optiska densiteten per meter kan sikten i ett rum beräknas. Den optiska densiteten per meter ges av

$$D_L = -\frac{1}{L} \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad [m^{-1}] \quad [B.5]$$

där D_L är den optiska densiteten per meter [m⁻¹], L är sträckan som ljuset färdas [m], I är den dämpade ljusintensiteten och I_0 är den odämpade ljusintensiteten.

Den optiska densiteten är starkt kopplad till sikten och siktsträckan kan beräknas som

$$Sikt = \frac{\ln 10}{D_L} \quad [m] \quad [B.6]$$

där sikten ges i meter och D_L är den optiska densiteten per meter [m⁻¹].

I *Boverkets Byggregler (BBR)* [6] ses att sikten ska vara minst tio meter i okända miljöer.

Med hjälp av formeln för rökpotential kan mängden bränsle som måste förbrännas för att minska sikten till tio meter beräknas.

$$D_0 = D_L \frac{V}{m} \quad [m^2/g] \quad [B.7]$$

där D_0 är rökpotentialen [m²/g], D_L är den optiska densiteten per meter [m⁻¹], V är rummets volym [m³] och m är förbränd massa [g]. Värden för rökpotential finns framtagna för olika bränslen.

När mängden förbränd massa är känd kan den totala mängden energi som har frigjorts beräknas enligt

$$Q = \Delta H_c \cdot m \cdot \chi \quad [kJ] \quad [B.8]$$

där Q är den frigjorda mängden energi [kJ], ΔH_c är bränslets förbränningsentalpi [kJ/g], m är massan bränsle [g] och χ är förbränningseffektiviteten [-].

Tiden det tar att förbränna denna mängd energi kan sedan lösas ut från

$$Q = \int_0^t \dot{Q} t \quad [kJ] \quad [B.9]$$

B.4 Tid till detektoraktivering

Nilsson och Holmgren skriver i *Kompendium i Aktiva system* [24] att information om brandgasernas temperatur kan användas för att bestämma aktiveringstiden för en rökdetektor. Detta är möjligt eftersom det finns ett samband mellan partikelstorlek och gastemperatur. Detektorn antas aktivera då gastemperaturen har stigit ett visst antal grader över omgivningstemperaturen. De värden som föreslås av normer, regler och handböcker ligger mellan 10°C och 20°C och undersökningar som har genomförts visar att 13°C över omgivningstemperaturen ger bra och konservativa värden för aktiveringstiden. Modellen innehåller flera förenklingar och ska inte ses som en exakt beräkning av aktiveringstiden utan snarare som en uppskattning.

Beräkningar för detektionstid kan utföras i DetactT2 [25] och DetactQS [22].

Aktiveringstemperaturen sätts då till 13°C över rumstemperatur och detektorn ges ett lågt RTI-värde, runt 0,5 (ms)^{0,5}.

Detektionstiden för en rökdetektor kan även beräknas i Argos [1]. Där väljs var detektorn ska placeras och hur långt från branden den befinner sig. I Argos antas att den optiska densiteten per meter är samma i hela det övre lagret. Aktivering av detektorn sker när den optiska densiteten i brandgaslagret blir högre än nivån då detektorn aktiverar. Två stora förenklingar i modellen är att det sker en tydlig skiktning av brandgaserna, vilket inte inträffar i verkligheten, samt att ingen hänsyn tas till att partiklar fastnar på väggar och tak [24]. Vid beräkningar i Argos sätts detektorns aktiveringsnivå till 0,20 dB/m, vilket motsvarar 0,046 m⁻¹.

Tid till sprinkleraktivering kan också beräknas i DetactT2 och DetactQS på liknande sätt som för detektion hos rökdetektorer. I detta fall avgör sprinklerbulbens färg aktiveringstemperaturen och bulbens storlek kan användas för att uppskatta sprinklerns RTI-värde. I Hötorgshallen är sprinklerbulberna röda vilket ger en aktiveringstemperatur på 68°C och 5 mm stora sprinklerbulber har ett RTI på 135 (ms)^{0,5} [12].

B.5 Massavbrinning pölbränder

Massavbrinningen för pölbränder har studerats för ett stort antal vätskor. Massavbrinningen per areaenhet är beroende av bland annat pölens diameter, och för vätskepölar med en diameter större än 0,2 meter ökar denna till ett visst värde, där massavbrinningen sedan blir konstant [23]. Denna konstanta massavbrinning för stora pölar betecknas i denna rapport \dot{m}''_{∞} . Ekvation [B.10] är en experimentellt framtagen korrelation som beskriver massavbrinningen per areaenhet.

$$\dot{m}'' = \dot{m}''_{\infty} (1 - e^{-k\beta D}) \quad [\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)] \quad [\text{B.10}]$$

där och \dot{m}'' är massavbrinningen per area vätskepöl [kg/(s·m²)], \dot{m}''_{∞} är den konstanta massavbrinningen per area för stora pölar [kg/(s·m²)], $k\beta$ är en konstant som beror på vätskan [-] och D är pölens diameter [m].

B.6 Flamhöjdsberäkningar

Heskestad [23] har tagit fram en korrelation för att beräkna flamhöjd. Denna beskriver flamhöjden som en funktion av brandens effektutveckling och diameter.

$$L = 0,235\dot{Q}^{2/5} - 1,02D \quad [m] \quad [\text{B.11}]$$

där L är flammans medelhöjd [m], \dot{Q} är brandens effektutveckling [kW] och D är brandens diameter [m].

B.7 Strålningsberäkningar

Strålningen från en flamma kan beräknas på ett antal olika sätt och i denna rapport används en metod beskriven i *An Introduction to Fire Dynamics* [26]. där används det typiska värdet att 35 % av flammans effektutveckling utgörs av strålning och vid beräkningarna antas det att hälften av strålningen från flammen går mot det objekt som strålningsberäkningar utförs på medan resterande strålning går åt andra hållet och räknas därför bort, se figur B.1.



Figur B.1 Strålning från flamma

Strålningsintensiteten mäts i kilowatt per kvadratmeter flamma, och ekvation [B.12] används för att beräkna strålningsintensiteten från flammen.

$$\dot{q}'' = \frac{0,35 \cdot 0,5 \cdot \dot{Q}}{A_f} \quad [kW/m^2] \quad [B.12]$$

där \dot{q}'' är flammans utsända strålning per kvadratmeter [kW/m²], \dot{Q} är flammans effektutveckling [kW], A_f är flammans area sett från objektet [m²] och 0,35 är andelen av flammans effektutveckling som utgörs av strålning [-]. 0,5 kompenserar för att endast hälften av strålningen sänds ut i objektets riktning [-].

För att räkna ut hur mycket av strålningsintensiteten som träffar objektet multipliceras synfaktorn med den utsända strålningsintensiteten. Synfaktorn är ett mått på hur mycket av den utsända strålningen som mottagaren träffas av ur ett strikt geometriskt perspektiv. Den infallande strålningsintensiteten beräknas enligt ekvation [B.13].

$$\dot{q}''_{in} = \Phi \cdot \dot{q}'' \quad [kW/m^2] \quad [B.13]$$

där \dot{q}''_{in} är den infallande strålningsintensiteten per kvadratmeter mot objektet [kW/m²], Φ är synfaktorn [-] och \dot{q}'' är den utsända strålningsintensiteten per kvadratmeter flamma [kW/m²].

B.8 Synfaktorberäkningar

Synfaktorn är ett tal mellan noll och ett som beskriver hur stor del av flammans utsända strålning som träffar ett visst objekt. Det finns många olika sätt att beräkna synfaktorn på och i denna rapport används två metoder, *från platta till punkt*-metoden och *från platta till platta*-metoden.

Från platta till punkt-metoden finns beskriven i *An Introduction to Fire Dynamics*[26].

Flamman anses då vara en rektangel som strålar mot en punkt som är belägen vinkelrätt från ett av rektangelns hörn.

Flammans bredd och höjd behövs samt avståndet från flamma till det objekt som beräkningarna utförs på. Utifrån dessa beräknas följande två värden

$$S = \frac{L_1}{L_2} \quad [-] \quad [B.14]$$

$$\alpha_s = \frac{L_1 \cdot L_2}{D_f^2} \quad [-] \quad [B.15]$$

där S är kvoten mellan den korta sidan och den långa sidan på flammen, L_1 är flammans korta sida (bredd eller höjd) [m], L_2 är flammans långa sida [m], α_s är kvoten mellan flammans area och avståndet mellan flammen och objektet [m] och D_f är avståndet mellan flammen och objektet.

Synfaktorn är en funktion av α_s och S och i *An Introduction to Fire Dynamics* [26] finns tabeller från vilka synfaktorn kan bestämmas.

Från platta till platta-metoden använder sig av en formel för beräkning av synfaktor mellan två lika stora parallella och rektangulära plattor. Flamman och föremålet som flammen strålar mot anses då vara formade som rektanglar. För att beräkningarna ska kunna göras måste längden och bredden på de två rektanglarna vara kända samt avståndet mellan dem.

Två kvoter bestäms enligt

$$\bar{X} = \frac{X}{L} \quad [-] \quad [B.16]$$

$$\bar{Y} = \frac{Y}{L} \quad [-] \quad [B.17]$$

där X är rektangelns bredd [m] och Y är dess höjd [m]. L är avståndet mellan de två rektanglarna [m].

Dessa två kvoter används i ekvation [B.18] för beräkning av synfaktorn.

$$\Phi = \frac{2}{\pi \bar{X} \bar{Y}} \left\{ \ln \left(\left[\frac{(1+\bar{X}^2)(1+\bar{Y}^2)}{1+\bar{X}^2+\bar{Y}^2} \right]^{\frac{1}{2}} \right) + \bar{X}(1+\bar{Y}^2)^{\frac{1}{2}} \tan^{-1} \frac{\bar{X}}{(1+\bar{Y}^2)^{\frac{1}{2}}} + \bar{Y}(1+\bar{X}^2)^{\frac{1}{2}} \tan^{-1} \frac{\bar{Y}}{(1+\bar{X}^2)^{\frac{1}{2}}} - \bar{X} \tan^{-1} \bar{X} - \bar{Y} \tan^{-1} \bar{Y} \right\} \quad [B.18]$$

där Φ är synfaktorn [-] och \bar{X} [-] och \bar{Y} [-] ges av ekvation [B.16] och [B.17].

B.9 Argos

Argos [1] är ett brandsimuleringsprogram som kan användas för att simulera produktion och spridning av brandgaser i byggnader. Programmet ger uppgifter om bland annat brandgasernas temperatur och brandgaslagrets höjd.

Argos använder sig av en tvåzonsmodell vilket innebär att luften i rummet delas in i två volymer, en övre homogen volym av varma brandgaser samt en kallare undre homogen volym [27]. I varje volym löses energi- och massbalanskvationerna. Området som ska simuleras kan delas upp i zoner. Före övertändning kan beräkningarna ske i upp till fem zoner, medan de efter övertändning endast kan utföras för zonen där branden startade. För personsäkerheten är det endast tiden före övertändning som är det intressanta.

I Argos kan endast rektangulära zoner byggas upp och den maximala arean för varje zon får inte överstiga 750 m² [28]. Dessutom måste varje zon uppfylla kriterierna i tabell B.2.

Tabell B.2 Kriterier för Argos

	Acceptabel	Särskild hänsyn krävs	Andra algoritmer krävs
$(L/W)_{\max}$	$L/W < 3$	$3 < L/W < 5$	$L/W > 5$
$(L/H)_{\max}$	$L/H < 3$	$3 < L/H < 6$	$L/H > 6$
$(W/H)_{\min}$	$W/H > 0,4$	$0,2 < W/H < 0,4$	$W/H < 0,2$
\dot{Q}	$\dot{Q} \geq 5A\sqrt{H}$	och	$\dot{Q}''' \leq 1000$

L är zonen längd [m], W är zonen bredd [m], H är zonen höjd [m], \dot{Q} är effekten [kW], \dot{Q}''' är effekten per volymenhet [kW/m³] och $A=L \cdot W$ [m²][29].

Brandens effektutveckling definieras av användaren och brandgasflöden beräknas av programmet med hjälp av McCaffreys plymmodell. Ju längre från brandkällan desto mer osäkra blir resultaten. Dessutom krävs en temperaturskillnad på 10°C mellan de varma och kalla gaserna för att de två volymerna ska bildas. Detta kan ge problem vid väldigt svaga bränder eller om utrymmet är stort, och då gäller inte zonmodellen. Därför ställs kraven i tabell B.2. Den stora fördelen med tvåzonsmodellen är att det går väldigt snabbt att simulera i den.

B.10 Simulex

Simulex [2] används för att simulera utrymningsförlopp och för att beräkna tiden för förflyttning och utrymning. Tvådimensionella ritningar av byggnaden läggs in i programmet och utgångar definieras av användaren. Ett önskat antal personer placeras in i byggnaden och dessa rör sig sedan mot den närmaste utgången, om inte användaren har definierat annat. Programmet visar också var problem uppstår, till exempel köbildning.

Personerna tilldelas en varseblivnings- och reaktionstid och även en gånghastighet. Dessa egenskaper kan variera beroende på om personen ser branden eller inte, vilken typ av utrymningslarm som är installerat och personegenskaper som avgör gånghastighet, till exempel ålder. Gånghastigheten väljs slumpmässigt av programmet mellan 0,8 och 1,7 meter per sekund och användaren kan även bestämma vilken personkategori som befinner sig i byggnaden och då sätts gånghastigheter enligt denna kategori. Vid förflyttning nedför trappor räknas gånghastigheten som horisontell hastighet gånger 0,5 och uppför trappor som horisontell hastighet gånger 0,35 [30].

B.11 DetactQS och DetactT2

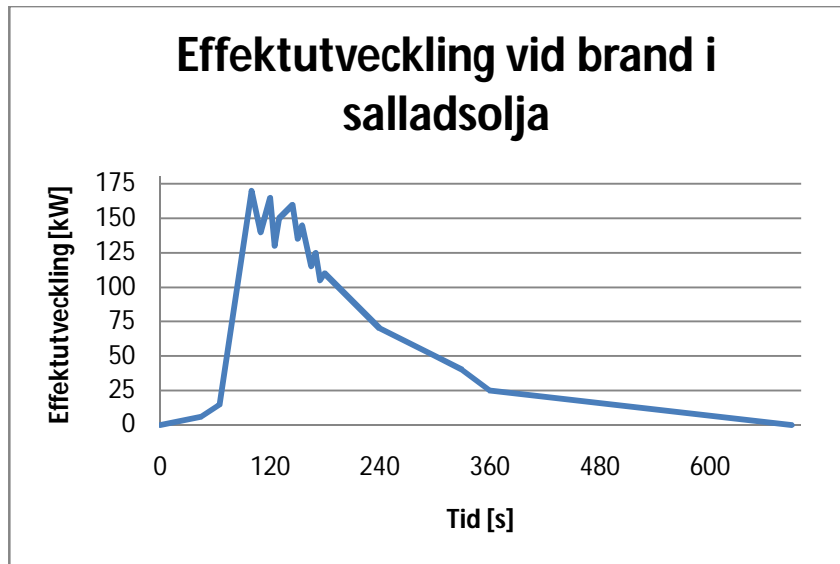
DetactQS [22] och DetactT2 [25] används för beräkning av aktiveringstid för termiska element som är placerade i byggandens tak. De kan till exempel användas till att beräkna tiden till aktivering för värmedetektorer och för sprinklersystem. För aktivering av rökdetektorer görs antaganden enligt delkapitel *B.4 Tid till detektoraktivering*. I DetactQS och DetactT2 antas att detektorn är placerad i ett relativt stort utrymme och att den endast påverkas av brandgaserna som flödar förbi. Antagandet innebär att uppvärmning från brandgaser som har ansamlats i rummet bortses ifrån. Indatan i programmen består av omgivningstemperaturen, avståndet mellan branden och detektorn i höjd- och sidled, detektorns aktiveringstemperatur och RTI-värde och brandens effektutveckling. Programmen ger brandgasernas och elementets temperaturer som funktion av tiden samt tid till aktivering [31]. DetactQS respektive DetactT2 används för att beräkna detektoraktivering för bränder vars effektutveckling följer linjära- respektive αt^2 -kurvor.

Bilaga C Brand i Piccolino Bar

I denna bilaga redovisas scenariot Brand i Piccolino Bar mer ingående.

C.1 Effektutveckling

I Piccolino Bar börjar en fritösbalja, som antas vara 20x70 cm², att brinna. I en publikation i *Fire Science and Technology (FST)* [32] beskrivs effektutvecklingen för frityrolja (salladsolja) i en effektutvecklingskurva, se figur C.1.



Figur C.1 Effektutvecklingskurva för brand i salladsolja, baserad på data från FST[32]

Vid försöket användes en panna med en diameter på 24 centimeter. Eftersom fritösbaljan i Piccolino Bar har en större area än den panna som användes i försöket blir effektutvecklingen större vid en brand i denna. Enligt massavbrinningskorrelationen för pölbränder [B.10] kan skillnaden i effektutveckling räknas fram.

$$\dot{m}'' = \dot{m}_{\infty}'' (1 - e^{-k\beta D})$$

Massavbrinningen är direkt proportionell mot effektutvecklingen och därför är det intressant hur mycket större massavbrinningen i fritösen i Piccolino Bar (fall 1) är i jämförelse med försöket publicerat i FST (fall 2). Kvoten mellan massavbrinningen för fall 1 och fall 2 blir

$$\frac{\dot{m}''_1}{\dot{m}''_2} = \frac{\dot{m}_{\infty 1}'' (1 - e^{-(k\beta)_1 D_1})}{\dot{m}_{\infty 2}'' (1 - e^{-(k\beta)_2 D_2})}$$

Arean för fritösen i fall 1 är

$$A_1 = 20 \cdot 70 \text{ cm}^2 = 1400 \text{ cm}^2$$

Detta ger en ekvivalent cirkulär diameter för fritösen i fall 1 till

$$D_1 = 2 \sqrt{\frac{A_1}{\pi}} = 42 \text{ cm} = 0,42 \text{ m}$$

Diametern för fritösen i fall 2 är

$$D_2 = 24 \text{ cm} = 0,24 \text{ m}$$

Arean för fritösen i fall 2 blir

$$A_2 = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \text{ cm}^2 = 452 \text{ cm}^2$$

$k\beta$ och \dot{m}''_{∞} är samma för båda fallen, eftersom det antas att Piccolino Bar använder samma frityrolja som i experimentet publicerat i FST, vilket ger följande samband.

$$\frac{\dot{m}''_1}{\dot{m}''_2} = \frac{(1-e^{-k\beta D_1})}{(1-e^{-k\beta D_2})}$$

$k\beta$ för frityrolja antas till samma värde som transformatorolja har, vilket är 0,7 [23].

Med D och $k\beta$ för fall 1 och 2 insatta i ekvationen ovan fås

$$\frac{\dot{m}''_1}{\dot{m}''_2} = \frac{(1-e^{-0,7 \cdot 0,42})}{(1-e^{-0,7 \cdot 0,24})} = 1,65$$

Detta betyder att det i fall 1 är 1,65 gånger större massavbrinning per kvadratmeter yta än i fall 2, det vill säga att fritösbranden i Piccolino Bar får en 1,65 gånger större effektutveckling per ytenhet än i försöket presenterat i FST.

Effektutvecklingen i Piccolino Bars fritös bör bli en faktor X större än den presenterad i FST.

$$X = \frac{\dot{m}''_1}{\dot{m}''_2} \cdot \frac{A_1}{A_2} = 1,65 \cdot \frac{1400}{452} = 5,11$$

När denna faktor X är bestämd kan fritösbrandens maximala effekt bestämmas.

Frityroljebranden presenterad i FST har en maximal effektutveckling på ungefär 170 kW, $\dot{Q}_{2,2}$.

Detta leder till att branden i Piccolino Bar har en maximal effektutveckling som är 5,11 gånger så stor som denna.

Fritösen i Piccolino Bars maximala effektutveckling blir

$$\dot{Q}_{max,1} = X \cdot \dot{Q}_{max,2} = 5,11 \cdot 170 \approx 850 \text{ kW}$$

Eftersom frityroljan i Piccolino Bar är varm vid antändning antas att den når maximal effektutveckling snabbt, i detta fall efter 20 sekunder. Efter detta brinner oljan med konstant effektutveckling.

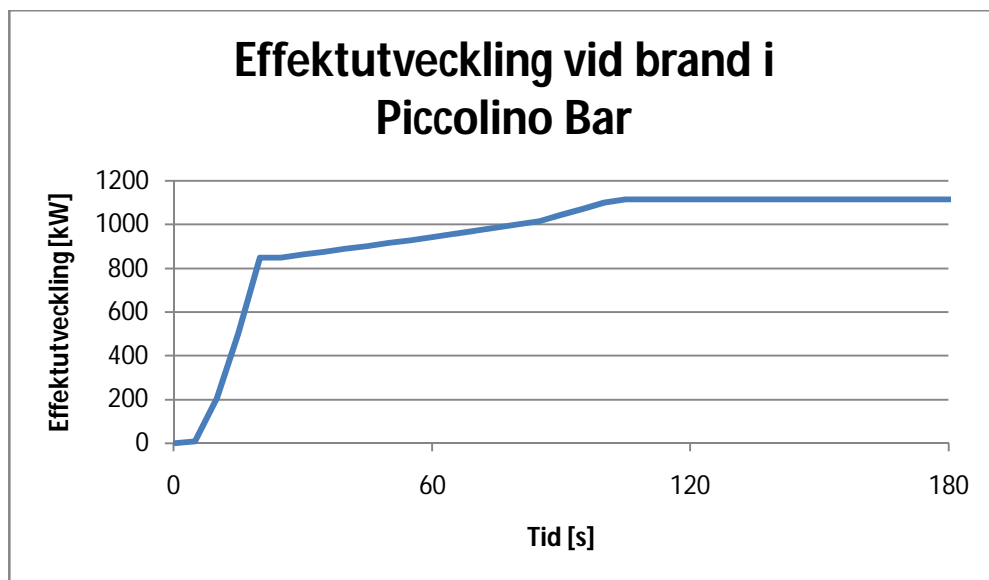
Efter 30 sekunder börjar en dekoration (dekoration 1), som antas stå bredvid fritösen, att brinna på grund av strålningen från flammen. Detta antagande görs utan beräkningar eftersom den står

så pass nära fritösen. Dekorationen antas brinna med en effektutveckling som en plastblomma i rapporten *Initial Fires* [33], där den benämns *palm, small and bushy*.

Efter ytterligare 30 sekunder, det vill säga 60 sekunder efter det att branden startade i fritösen, antas en bonad (dekoration 2) hängande på plexiglas bakom fritösen antända på grund av strålningsvärme och konvektion från brandgaserna. Denna bonad brinner som en gardin i *Initial Fires* [33].

Efter 90 sekunder antas ytterligare en dekoration (dekoration 3) belägen ännu lite längre bort från fritösen antända på grund av strålningsvärmerna. Denna brinner som en plastblomma, *palm, small and bushy*, i *Initial Fires* [33].

Till sist, 105 sekunder efter brandens start, antas att dekoration 1 har brunnit ut och brandens effektutveckling blir konstant tills hela branden har brunnit ut. Branden i fritösen samt dekoration 1, 2 och 3 samlas i en effektutvecklingskurva med hjälp av superposition, se figur C.2.



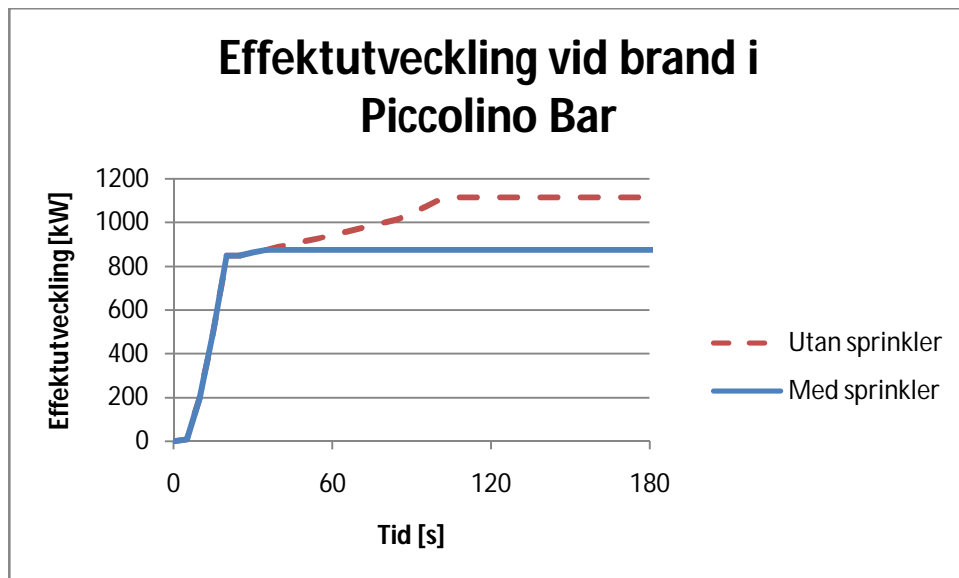
Figur C.2 Brandens effektutvecklingskurva i scenario 1

C.2 Effektutveckling vid sprinkleraktivering

I saluhallen finns ett sprinklersystem som antagligen kommer att begränsa branden innan maximal effektutveckling är nådd. Antingen kan branden släckas helt eller effektutvecklingen minskas till dess att branden är helt släckt. För konservativa resultat vid utrymningsberäkningar antas branden begränsas och sedan brinna med konstant effektutveckling från tidpunkten för sprinkleraktivering. Med hjälp av DetactQS [22] och indata som presenteras i tabell C.1 beräknas tiden till sprinkleraktivering till 35 sekunder och branden begränsas till en effektutveckling på 875 kW, avläst i figur C.2. Effektutvecklingen för branden, med och utan sprinkler, presenteras i figur C.3.

Tabell C.1 Indata till DetactQS

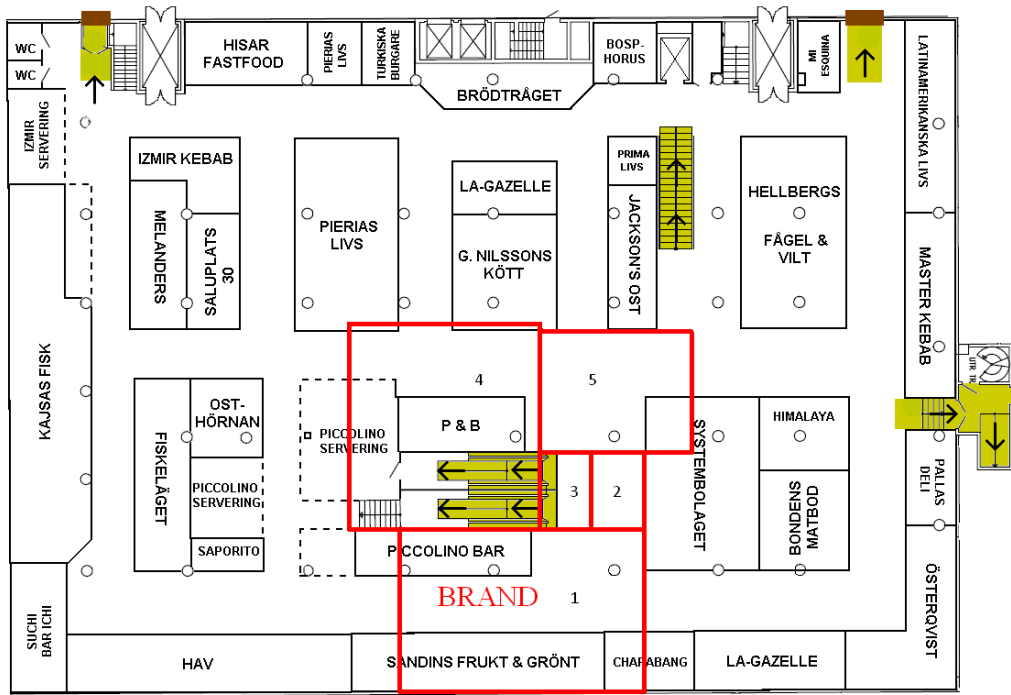
Takhöjd ovanför bränsle	2,4 m
Horisontellt avstånd till sprinkler från brand	1,0 m
Starttemperatur i rummet	20 °C
Sprinklernas aktiveringstemperatur	68 °C
Sprinklernas RTI-värde	135 (ms) ^{1/2}
Effektutveckling	Enligt figur C.2



Figur C.3 Brandens effektutvecklingskurva i scenario 1 med och utan aktiverad sprinkler

C.3 Simulering i Argos

I Argos [1] delas området kring Piccolino Bar in i fem zoner, se figur C.4 och tabell C.2, eftersom längd-, bredd- och höjdförhållandena i varje zon inte får överstiga kriterierna i tabell B.2. Branden startar i zonen som är markerad *Brand*. Vid simuleringen antas brandgaserna strömma ut i det fria där ingen angränsande zon finns, eftersom det där finns stora utrymmen som sväljer brandgaserna. Väggar är utplacerade där de finns enligt figur C.4. Det intressanta i detta scenario är att undersöka förhållandena kring rulltrappan, som spelar en central roll vid utrymning, och det är därför av mindre intresse att undersöka vad som händer längre bort från branden.

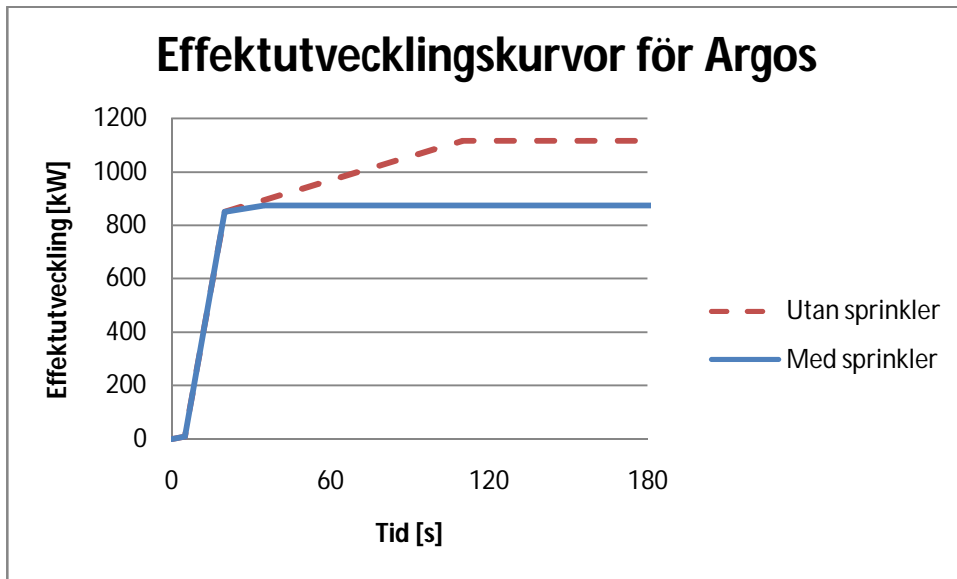


Figur C.4 Zonindelning i Argos

Tabell C.2 Specificering av zoner i Argos

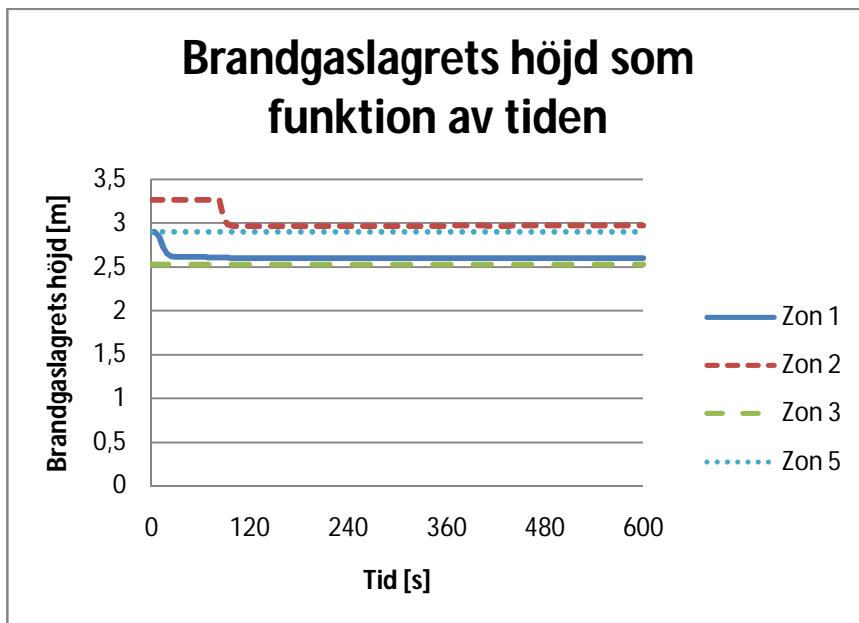
Zon	Area [m ²]	Takhöjd [m]
1	109,50	2,90
2	10,00	3,27
3	16,00	2,53
4	120,75	15,00
5	57,00	2,90

För att underlätta simulering i Argos approximeras effektutvecklingskurvorna i figur C.3 med linjäriserade kurvor enligt figur C.5.

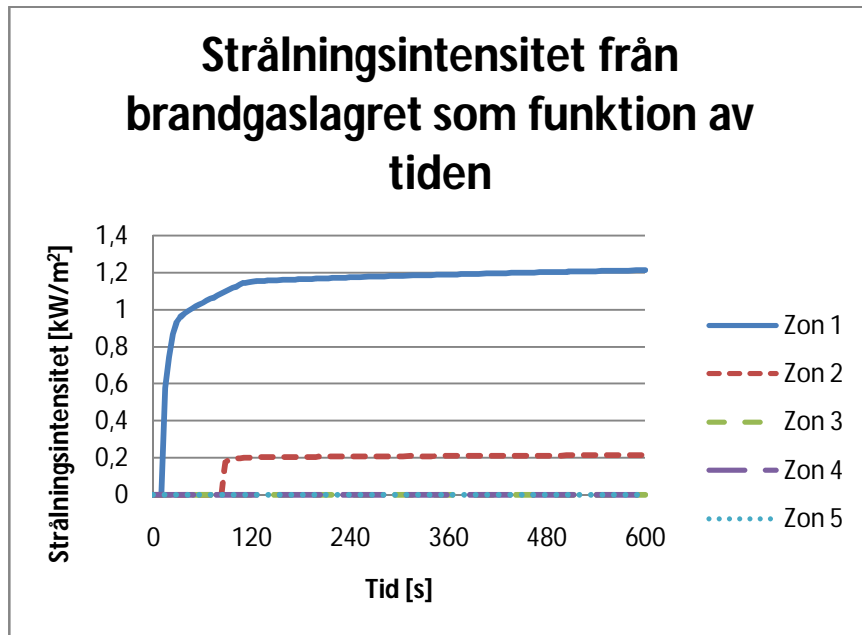


Figur C.5 Anpassning av effektutvecklingskurva för användning i Argos

I figur C.6 och C.7 visas resultat från Argos gällande brandgaslagrets höjd och strålningsintensiteten från brandgaslagret som funktion av tiden. Notera att zon 4, alltså atriet över rulltrappan, inte har tagits med i figur C.6. Eftersom atriet är mycket stort sjunker aldrig brandgaslagret lägre än 15 meter.



Figur C.6 Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden (resultat från Argos)



Figur C.7 Strålningsintensitet från brandgaslagret som funktion av tiden (resultat från Argos)

C.4 Begränsning av utrymningsväg

Vid brand i Piccolino Bar är det sannolikt att rulltrapporna, och därmed den största utrymningsvägen från saluhallen, blir blockerade. Då utrymnet kring rulltrapporna är mycket stort är det inte rökutvecklingen från branden utan strålningsintensiteten som kommer nå kritiska värden. Beräkningar för detta redovisas nedan.

Synfaktorer mellan A1-A2 och A1-A3, se figur C.8, fås genom att anta att den del av flamman som syns från rulltrappan och en människa i rulltrappan har ungefär samma area och därför kan behandlas som lika stora parallella plattor. Synfaktor fås då genom från platta till platta-metoden, se bilaga B, där

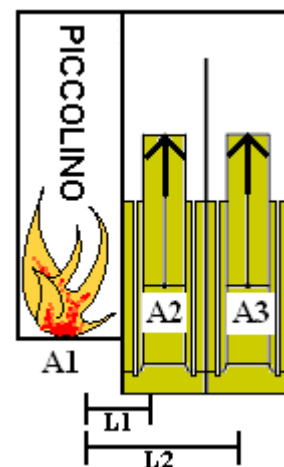
$$A_1 = A_2 = A_3 = 0,5\text{m}^2$$

$$L_1 = 0,5\text{m} \quad X_1 = 0,5\text{m} \quad Y_1 = 1,0\text{m}$$

$$L_2 = 2,0\text{m} \quad X_2 = 0,5\text{m} \quad Y_2 = 1,0\text{m}$$

vilket ger

$$\bar{X}_1 = \frac{X_1}{L_1} = 1$$



Figur C.8 Avstånd för beräkning av synfaktor

$$\bar{X}_2 = \frac{X_2}{L_2} = 0,25$$

$$\bar{Y}_1 = \frac{Y_1}{L_1} = 2,0$$

$$\Phi_{A1-A2} = 0,286$$

$$\bar{Y}_2 = \frac{Y_2}{L_2} = 0,5$$

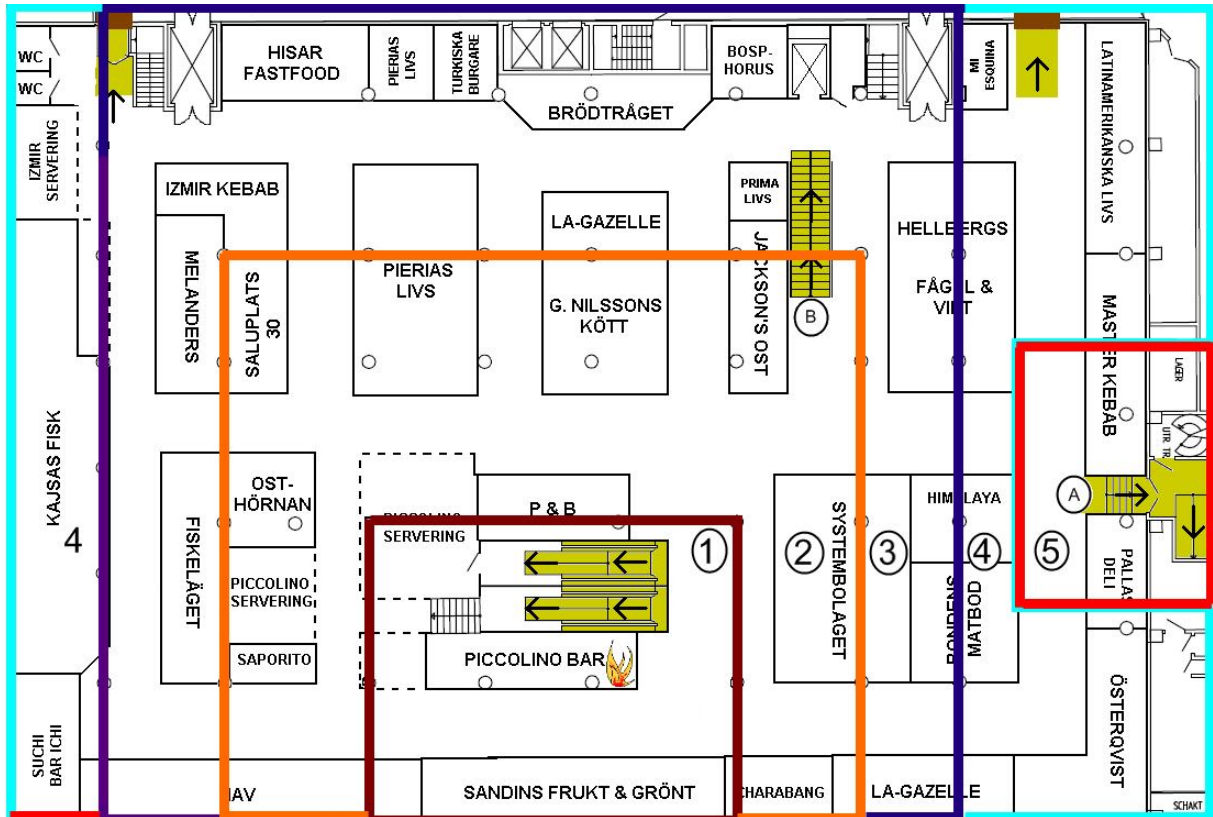
och därmed

$$\Phi_{A1-A3} = 0,0362$$

Strålningsnivåer mot A1 och A2 beräknas med ekvation [B.12] - [B.13] och fås vid full effekt till 112 kW/m² för A2 och 14 kW/m² för A3, vilket är väl över kritiska nivåer. Om kritisk nivå sätts till 2,5 kW/m² fås ur ekvation [B.12] en maximal effekt för branden på 197 kW då kritiska förhållanden kommer att uppstå. Genom att använda effektutvecklingskurvan och denna effekt ses att kritiska strålningsnivåer i båda rulltrapporna uppstår efter 35-40 sekunder.

C.5 Simulering i Simulex

Utrymningen vid brand i Piccolino Bar simuleras i Simulex [2] genom att dela upp saluhallen i olika zoner. I figur C.9 och tabell C.3 redovisas zonerna samt de olika tiderna till påbörjad utrymning. Totalt 808 personer utrymde i simuleringen från saluhallen.



Figur C.9 Zonuppdelning i Simulex

Tabell C.3 Tid till påbörjad utrymning

	Zon 1	Zon 2	Zon 3	Zon 4	Zon 5
Tid till påbörjad utrymning [min:s]	1:30 ± 10s	1:50 ± 15s	2:30 ± 20s	4:00 ± 30s	4:00 ± 30s

Varseblivningstiden för människorna i omgivningen av Piccolino Bar är satt till noll sekunder och reaktions- och beslutstiden är satt till en och en halv minut. Människorna i zonen i anslutning till branden börjar utrymma först, och när de kommer in i andra zoner börjar även personerna i dessa att röra sig mot utrymningsvägarna. Längst varseblivningstid har alltså de längst bort ifrån branden och de reagerar efter en medeltid på fyra minuter. Personkategorin sattes under simuleringen till *Kunder* och egenskaper för denna redovisas i tabell C.4.

Den totala utrymningstiden blir cirka 11 minuter och alla zoner, utom zon 5, utrymmer genom trappa B. Zon 5 utrymmer genom närliggande utrymningsväg, via trappa A.

Tabell C.4 Gånghastighet för personkategori - kunder

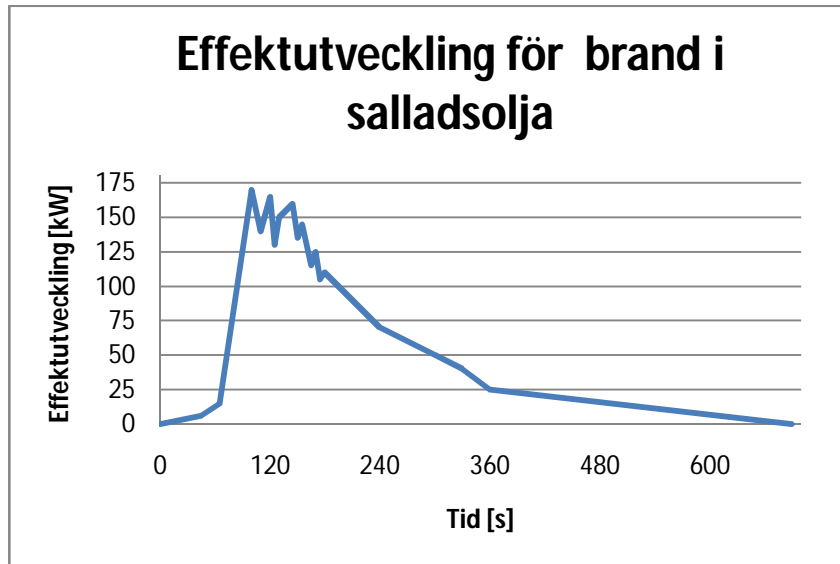
Personkategori: Kunder		
Grupp	Andel [%]	Gånghastighet [m/s]
Män	35	1,35
Kvinnor	40	1,15
Barn	15	0,9
Äldre	10	0,8

Bilaga D Brand i Izmir Kebab

I denna bilaga redovisas scenariot Brand i Izmir Kebab mer ingående.

D.1 Effektutveckling

I Izmir Kebab börjar en fritös brinna, som sedan direkt antänder ytterligare en närliggande fritös. Dimensionen för en fritösbalja antas vara 20x70 cm². I en publikation i *Fire Science and Technology (FST)* [32] beskrivs effektutvecklingen för frityrolja (salladsolja) i en effektutvecklingskurva enligt figur D.1.



Figur D.1 Effektutvecklingskurva för brand i salladsolja, baserad på data från FST[32]

Vid försöket användes en panna med en diameter på 24 centimeter. Eftersom fritösbaljan i Izmir Kebab har en större area än den panna som användes i försöket blir effektutvecklingen större vid en brand i denna. Enligt massavbrinningskorrelationen för pölbränder [B.10] kan skillnaden i effektutveckling räknas fram

$$\dot{m}'' = \dot{m}_{\infty}'' (1 - e^{-k\beta D})$$

Massavbrinningen är direkt proportionell mot effektutvecklingen och därför är det intressant hur mycket större massavbrinningen i fritösen i Izmir Kebab (fall 1) är i jämförelse med försöket publicerat i FST (fall 2). Kvoten mellan massavbrinningen för fall 1 och fall 2 blir

$$\frac{\dot{m}''_1}{\dot{m}''_2} = \frac{\dot{m}_{\infty 1}'' (1 - e^{-(k\beta)_1 D_1})}{\dot{m}_{\infty 2}'' (1 - e^{-(k\beta)_2 D_2})}$$

Arean för fritösen i fall 1 är

$$A_1 = 20 \cdot 70 \text{ cm}^2 = 1400 \text{ cm}^2$$

Detta ger en ekvivalent cirkulär diameter för fritösen i fall 1 till

$$D_1 = 2 \sqrt{\frac{A_1}{\pi}} = 42 \text{ cm} = 0,42 \text{ m}$$

Diametern för fritösen i fall 2 är

$$D_2 = 24 \text{ cm} = 0,24 \text{ m}$$

Arean för fritösen i fall 2 blir

$$A_2 = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \text{ cm}^2 = 452 \text{ cm}^2$$

$k\beta$ och \dot{m}''_{∞} är samma för båda fallen, eftersom det antas att Izmir Kebab använder samma frityrolja som i experimentet publicerat i FST, vilket ger följande samband.

$$\frac{\dot{m}''_1}{\dot{m}''_2} = \frac{(1-e^{-k\beta D_1})}{(1-e^{-k\beta D_2})}$$

$k\beta$ för frityrolja antas till samma värde som för transformatorolja i *Enclosure fire dynamics* [23], vilket är 0,7.

Med D och $k\beta$ för fall 1 och 2 insatta i ekvationen ovan fås

$$\frac{\dot{m}''_1}{\dot{m}''_2} = \frac{(1-e^{-0,7 \cdot 0,42})}{(1-e^{-0,7 \cdot 0,24})} = 1,65$$

Detta betyder att det i fall 1 är 1,65 gånger större massavbrinning per kvadratmeter yta än i fall 2, det vill säga att fritösbranden i Izmir Kebab får en 1,65 gånger större effektutveckling per ytenhet än i försöket presenterat i FST.

Effektutvecklingen i Izmir Kebabs fritös bör totalt bli en faktor X större än den presenterad i FST.

$$X = \frac{\dot{m}''_1}{\dot{m}''_2} \cdot \frac{A_1}{A_2} = 1,65 \cdot \frac{1400}{452} = 5,11$$

När denna faktor X är bestämd kan fritösbrandens maximala effekt bestämmas.

Frityroljebranden presenterad i FST hade en maximal effektutveckling på ungefär 170 kW, $\dot{Q}_{2,2}$. Detta leder till att branden i Izmir Kebab har en maximal effektutveckling som är 5,11 gånger så stor som denna och sedan multiplicerat med två eftersom det är två fritöser som tar eld.

Fritösen i Izmir Kebab maximala effektutveckling blir

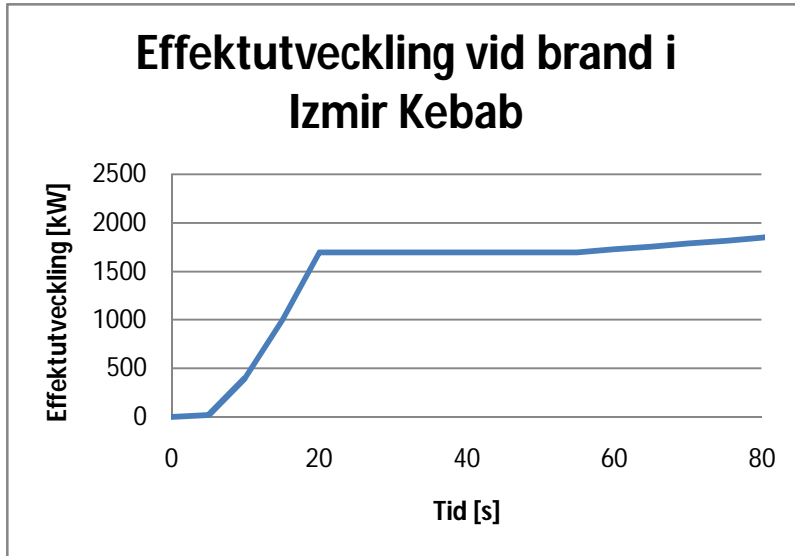
$$\dot{Q}_{max,1} = 2 \cdot X \cdot \dot{Q}_{max,2} = 2 \cdot 5,11 \cdot 170 \approx 1700 \text{ kW}$$

Eftersom frityroljan i Izmir Kebab är varm vid antändning antas att den når maximal effektutveckling snabbt, i detta fall efter 20 sekunder. Efter detta brinner oljan med konstant effektutveckling.

60 sekunder efter det att branden i fritöserna har startat börjar en papperskorg, vilken antas stå bredvid fritöserna, att brinna på grund av strålningsvärme. Samtidigt antänder två menyskyltar som är uppmonterade i taket ovanför fritöserna. Både papperskorgen och menyskyltarna

bedöms vara placerade så pass nära fritöserna att inga strålningsberäkningar behöver utföras. Papperskorgens effektutveckling uppskattas växa linjärt med 10 kW var femte sekund tills den når en maximal effektutveckling på 100 kW [23]. De två menyskyltarna antas brinna med en maximal effektutveckling på 200 kW tillsammans och med en tillväxthastighet på 20 kW var femte sekund.

De olika effektutvecklingskurvorna läggs ihop med hjälp av superposition och presenteras i figur D.2.



Figur D.2 Brandens effektutvecklingskurva i scenario 2 de första 80 sekunderna

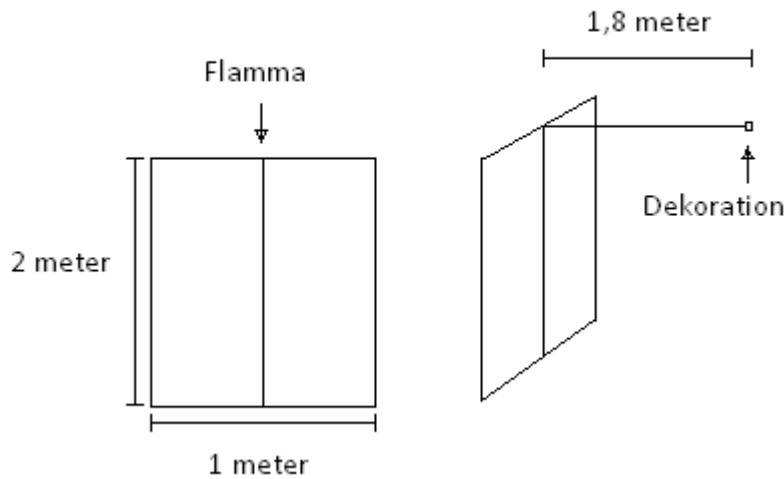
Beräkningar görs på strålning mot plastdekorationer som antas vara uppsatta i taket runt Izmir Kebab. Dekorationen finns som närmast 1,8 meter ifrån fritöserna. Flammorna kommer att nå upp till taket och räknas därför som återstående höjd till taket, vilket är 2 meter. Detta kan kontrolleras med Heskestads flammhöjdsrelation, se bilaga B. Flamman antas vara cirka 1 meter bred.

Dekorationen antas antända vid en infallande strålningsintensitet på 15 kW/m².

Strålningen från flamman beräknas enligt ekvation [B.12].

$$\dot{q}'' = \frac{0,35 \cdot 0,5 \cdot \dot{Q}}{A_f}$$

Synfaktorn beräknas enligt *från platta till punkt*-metoden i bilaga B. I detta fall antas flamman vara 2 meter hög och 1 meter bred och avståndet mellan flamman och dekorationen är 1,8 meter, se figur D.3. Synfaktorn blir $\Phi=0,11$.

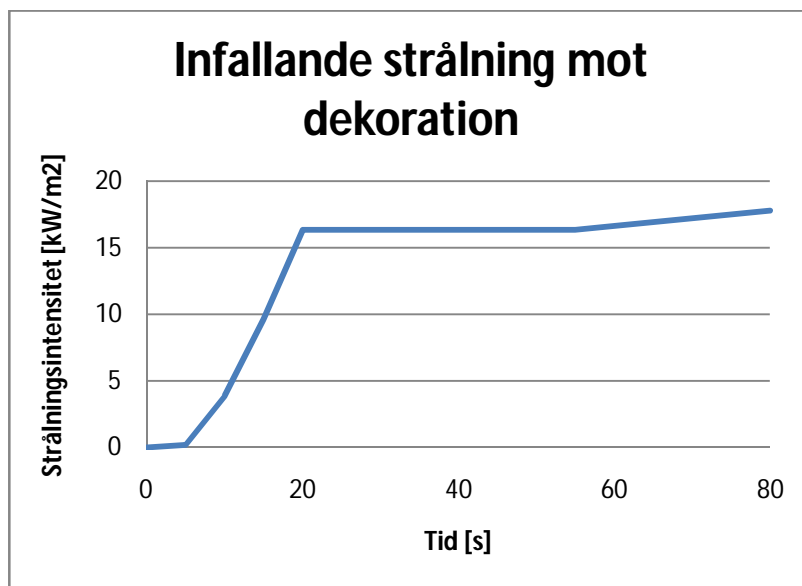


Figur D.3 Synfaktor mellan flamma och dekoration med hjälp av från platta till punkt-metoden.

Därefter ges den infallande strålningen av [B.13].

$$\dot{q}''_{in} = \dot{q}'' \cdot \Phi$$

Denna beräknas var femte sekund för att se när den infallande strålningsintensiteten mot dekorationen överstiger 15 kW/m². Resultatet redovisas nedan i figur D.4.



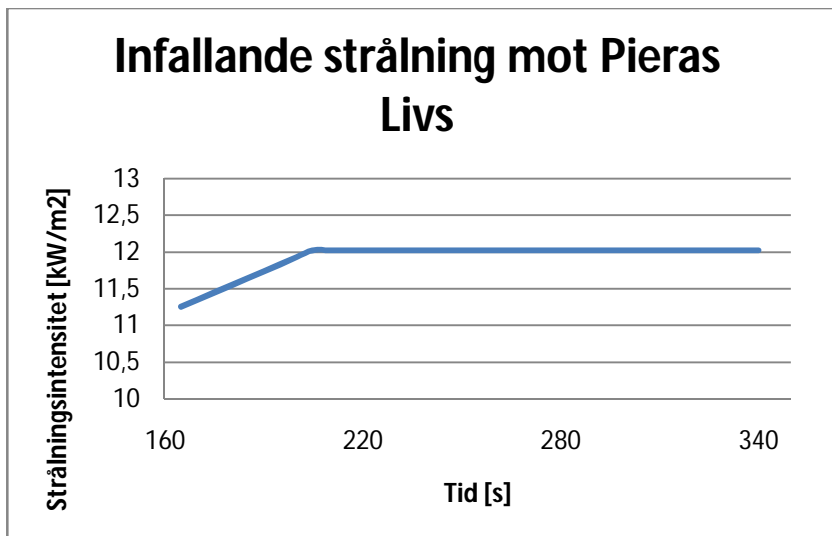
Figur D.4 Infallande strålning mot dekoration

Redan efter 20 sekunder överstiger den infallande strålningsintensiteten 15 kW/m² mot dekorationen. Efter detta antas det att det tar 60 sekunder för att antändning ska ske. Detta eftersom det tar en viss tid för materialet och värmas upp för att sedan antändas av en pilotlåga, vilket i detta fall är flammen från fritöserna. Detta ger att dekorationen antänds 80 sekunder efter det att branden startar.

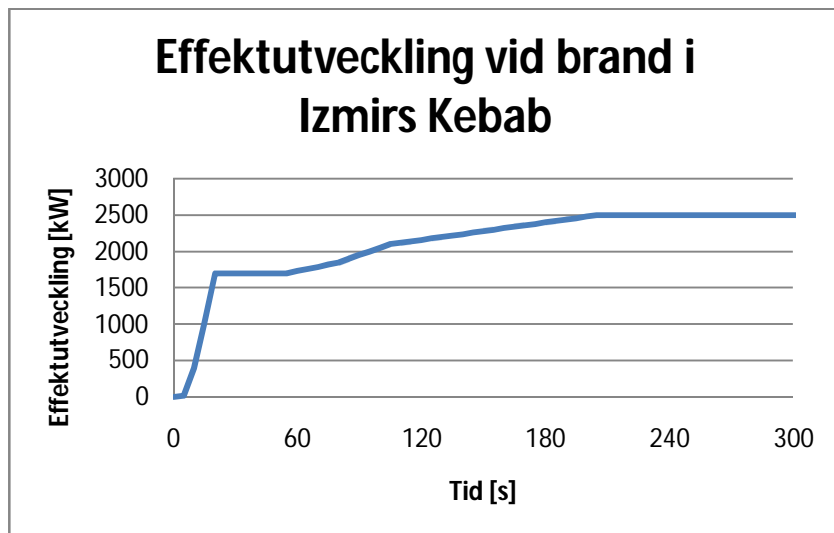
Dekorationen av plast antas brinna med samma effektutveckling som två och en halv plastblomma (*palm, small and bushy*) i rapporten *Initial Fires* [33]. Detta ger en maximal effektutveckling för dekorationen på 500 kW och den antas tillväxa med 20 kW var femte sekund. Tillväxthastigheten är tagen ur *Initial Fires* och modifierad en aning eftersom hänsyn tas till att plastväxten i *Initial Fires* brinner vertikalt, medan denna dekoration i Izmir Kebab hänger horisontellt i taket.

Strålningsberäkningar görs för att undersöka om den närliggande affären Pieras Livs kan antändas på grund av strålningen från Izmir Kebab. Branden i Izmir Kebab är utspridd över hela butiken, men för att förenkla beräkningarna antas att det är en stor brand i mitten av butiken. Avståndet från mitten av Izmir Kebab till Pieras Livs är 3 meter. Flammans strålning och den infallande strålningen mot Pieras Livs beräknas på samma sätt som fallet för dekorationer. Synfaktorn beräknas enligt modellen *från platta till platta*, se bilaga B.

Även här har beräkningar gjorts var femte sekund. Beräkningarna börjar efter först 160 sekunder då dekorationen tar eld. Det visar sig att strålningen aldrig blir högre än 15 kW/m². Det är konservativt beräknat då inga föremål har antagits vara i vägen, vilket skulle ha minskat synfaktorn. Slutsatsen dras att branden inte sprider sig från Izmir Kebab i detta fall. Den infallande strålningen mot Pieras Livs visas i figur D.5 och den slutliga framtagna effektutvecklingskurvan visas i figur D.6.



Figur D.5 Infallande strålning mot Pieras Livs



Figur D.6 Brandens effektutvecklingskurva i scenario 2

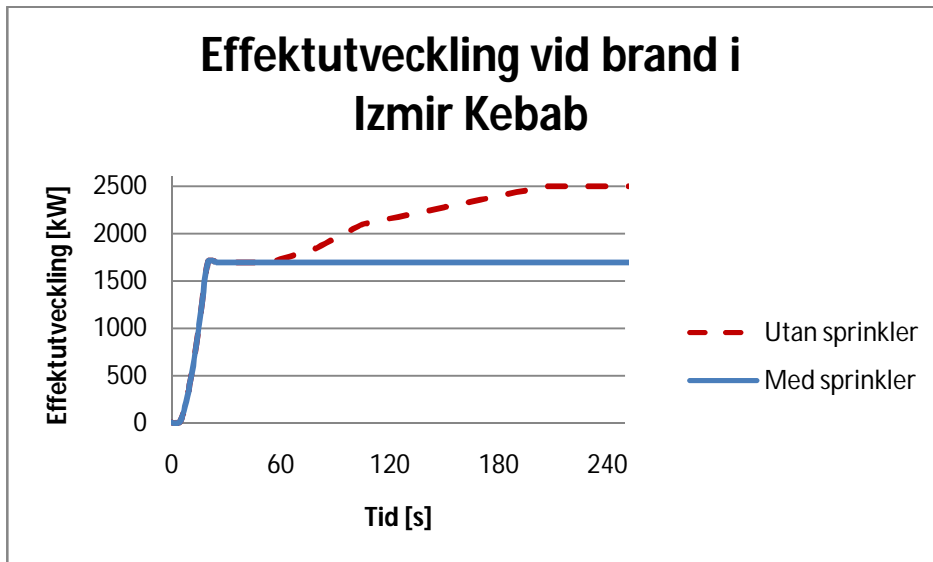
Efter 350 sekunder är brandens effektutveckling konstant 2,5 MW till dess att utrymning har skett.

D.2 Effektutveckling vid sprinkleraktivering

I saluhallen finns ett sprinklersystem som antagligen kommer att begränsa branden innan maximal effektutveckling är nådd. Antingen kan branden släckas helt eller effektutvecklingen minskas till dess att branden är helt släckt. För konservativa resultat vid utrymningsberäkningar antas branden begränsas och sedan brinna med konstant effektutveckling från tidpunkten för sprinkleraktivering. Med hjälp av DetactQS [22] och indata som presenteras i tabell D.1 beräknas tiden till sprinkleraktivering till 20 sekunder och branden begränsas till en effektutveckling på 1700 kW, avläst i figur D.6. Effektutvecklingen för branden, med och utan aktiverad sprinkler, presenteras i figur D.7.

Tabell D.1 Indata till DetactQS

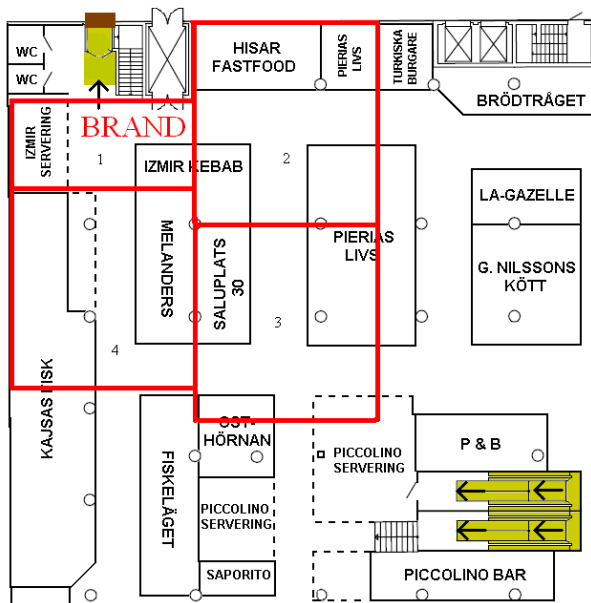
Takhöjd ovanför bränsle	1,9 m
Horisontellt avstånd till sprinkler från brand	1,0 m
Starttemperatur i rummet	20 °C
Sprinklernas aktiveringstemperatur	68 °C
Sprinklernas RTI-värde	135 (ms) ^{1/2}
Effektutveckling	Enligt figur D.5



Figur D.7 Brandens effektutvecklingskurva i scenario 2 med och utan aktiverad sprinkler

D.3 Simulering i Argos

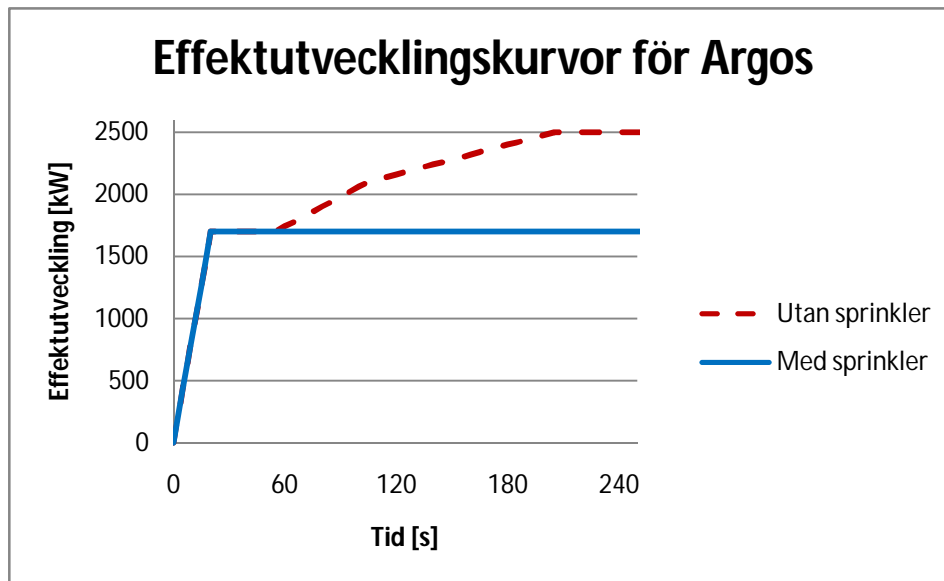
Vid simulering i Argos [1] delas området kring Izmir kebab upp i fyra zoner, se figur D.8 och tabell D.2, där även zonen som branden startar i finns utmärkt. Zonernas gränser som är mot övriga saluhallen sätts i Argos som öppningar mot det fria för att försöka representera den stora öppna volym som saluhallsplan utgör. Dimensionerna på zonerna väljs dels efter de kriterier som anges i tabell B.2, och dels för att försöka representera den verkliga geometrin så bra som möjligt. Väggar mellan vissa av zonerna finns i verkligheten men eftersom inga av dessa går upp till taket och inget större djup på brandgaslagret utvecklas har dessa väggar bortsetts från i simuleringen. I figur D.9 redovisas de effektutvecklingar som används vid simuleringar för brand med och utan aktiverad sprinkler. Dessa kurvor är linjäriseringar av de ursprungligt framtagna som kan ses i figur D.6.



Figur D.8 Zonindelning i Argos

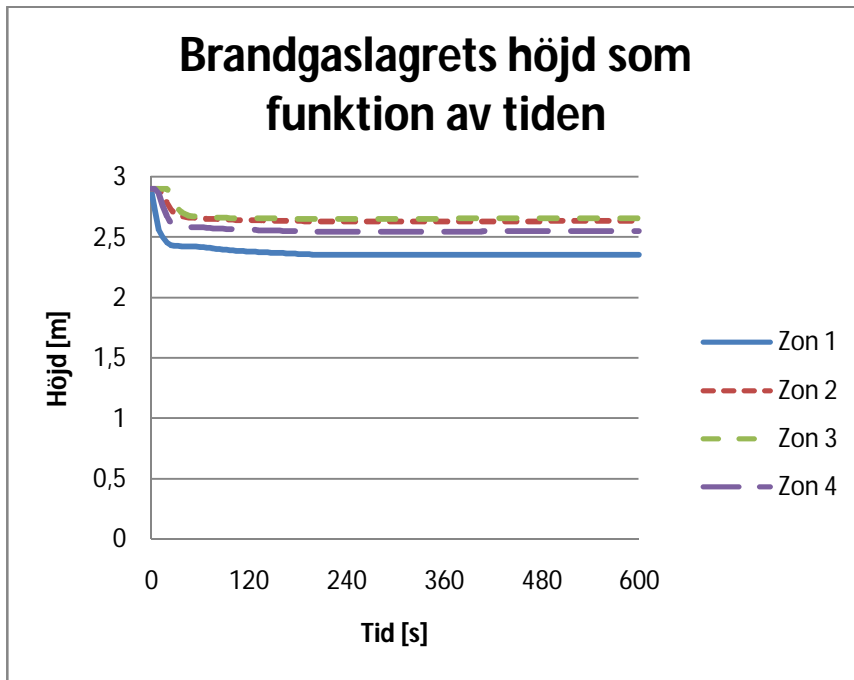
Tabell D.2 Specifikation av zoner i Argos

Zon	Area [m ²]	Takhöjd [m]
1	48,50	2,90
2	104,00	2,90
3	104,00	2,90
4	98,94	2,90

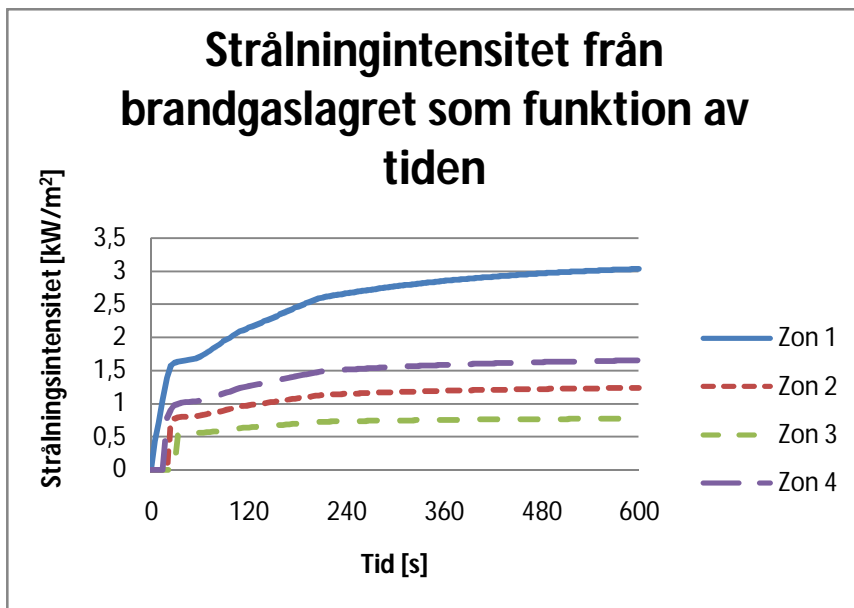


Figur D.9 Anpassning av effektutvecklingskurva för användning i Argos

I figur D.10 och D.11 visas resultat från Argos gällande brandgaslagrets höjd och strålningsintensiteten från brandgaslagret som funktion av tiden.



Figur D.10 Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden (resultat från Argos)



Figur D.11 Strålningsintensiteten från brandgaslagret som funktion av tiden (resultat från Argos)

D.4 Simulering i Simulex

Utrymningen vid brand i Izmir Kebab simuleras i Simulex [2] genom att dela upp saluhallen i olika zoner. I figur D.12 och tabell D.3 redovisas zonerna samt de olika tiderna till påbörjad utrymning. Totalt 808 personer utrymde i simuleringen från saluhallen.

Tabell D.4 Gånghastighet för personkategori - kunder

Personkategori: Kunder		
Grupp	Andel [%]	Gånghastighet [m/s]
Män	35	1,35
Kvinnor	40	1,15
Barn	15	0,9
Äldre	10	0,8

Bilaga E Brand i lagret

I denna bilaga redovisas scenariot Brand i lagret mer ingående.

E.1 Effektutveckling

Branden i lagret antas starta bland lastpallar som är staplade en meter högt. I *Enclosure Fire Dynamics* [23] finns uppgifter för lastpallar med mått 1,22x1,22x0,14 m³. Tillväxthastigheten ligger i storleksordningen mellan medium och fast och en maximal effektutveckling på 3 MW för en enmetersstapel. För att få mer konservativa resultat väljs en snabb tillväxthastighet (fast, $\alpha=0,047$ kW/m²). Flamhöjden kommer att nå upp till taket när maximal effekt är nådd, enligt ekvation [B.11]. Pallarnas area, 1,22x1,22 m² ger en ekvivalent cirkulär diameter på 1,4 meter och med effektutvecklingen 3 MW blir flamhöjden över fyra meter medan takhöjden endast är 2,2 meter.

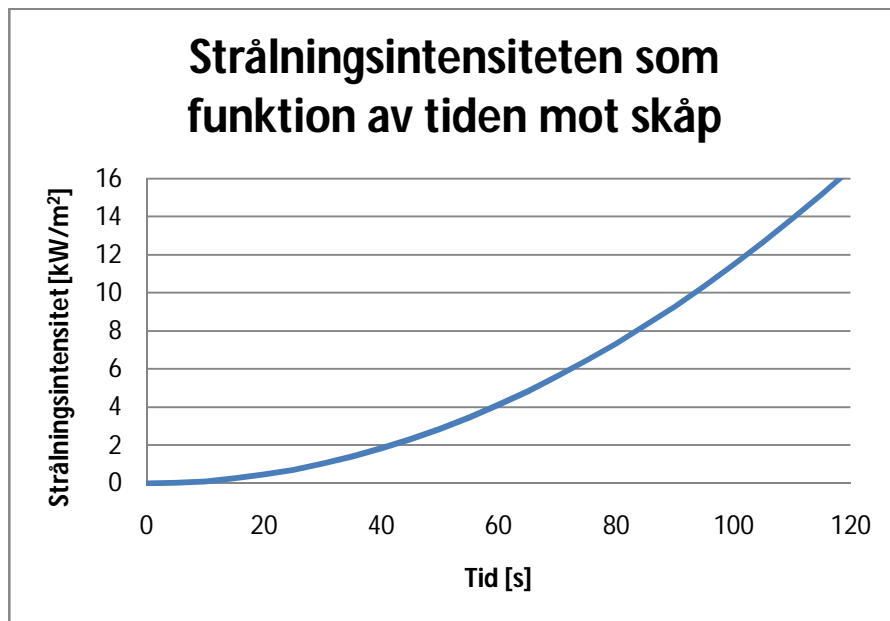
På avståndet 90 centimeter från pallstapeln antas det stå ett större skåp av trä, vilket utsätts för strålningen från branden. Av beräkningsmässiga skäl antas skåpets exponerade sida ha samma storlek som flammans, det vill säga 1,22x2,22 m². Synfaktorn kan därför beräknas med *från platta till platta*-metoden, enligt [B.18], till 0,37.

Flamman antas vara smal och strålar bara i två riktningar och strålningsandelen i flammans antas, liksom i *An Introduction to Fire Dynamics* [26], vara 35 %. Den infallande strålningsintensiteten som träffar skåpet kan beräknas med [B.12] och [B.13] enligt

$$\dot{q}'' = \frac{0,35 \cdot 0,5 \cdot \dot{Q}}{A_f}$$

$$\dot{q}''_{in} = \Phi \cdot \dot{q}''$$

Detta beräknas var femte sekund och resultatet kan ses i figur E.1. Det kan utläsas att strålningsintensiteten mot skåpet, \dot{q}''_{in} , överstiger 15 kW/m² efter 115 sekunder. Vid denna strålningsintensitet kan trä självantända med hjälp av pilotlåga [34]. Det krävs dock en längre tid för att träskåpet ska värmas upp innan antändning kan ske och det uppskattas i detta fall till att det antänder efter ytterligare 60 sekunder, alltså vid tidpunkten 175 sekunder.



Figur E.1 Strålningsintensiteten som funktion av tiden mot skåpet

Branden i skåpet, som kan liknas vid en garderob i trä, tillväxer med hastigheten $0,19 \text{ kW/s}^2$ (ultra fast) och den maximala effektutvecklingen är 7000 kW/m^2 . Enligt experiment minskade effektutvecklingen snabbt efter det att maximal effektutveckling nåddes och garderoberna var då tomma [23]. I lagret bedöms skåpet vara fullt och på grund av detta antas en lägre maximal effektutveckling på 5500 kW/m^2 för att kompensera för en mindre mängd luft inne i skåpet. Dessutom antas att effektutvecklingen håller sig konstant på 5500 kW/m^2 under en längre tid än i försöken. Skåpet har en golvarea på $1,2 \times 0,60 \text{ m}^2$ och därför blir effektutvecklingen 4000 kW .

När både träpallarna och skåpet brinner med maximal effektutveckling är effekten 7000 kW .

Effektutvecklingskurvan presenteras i figur E.2.



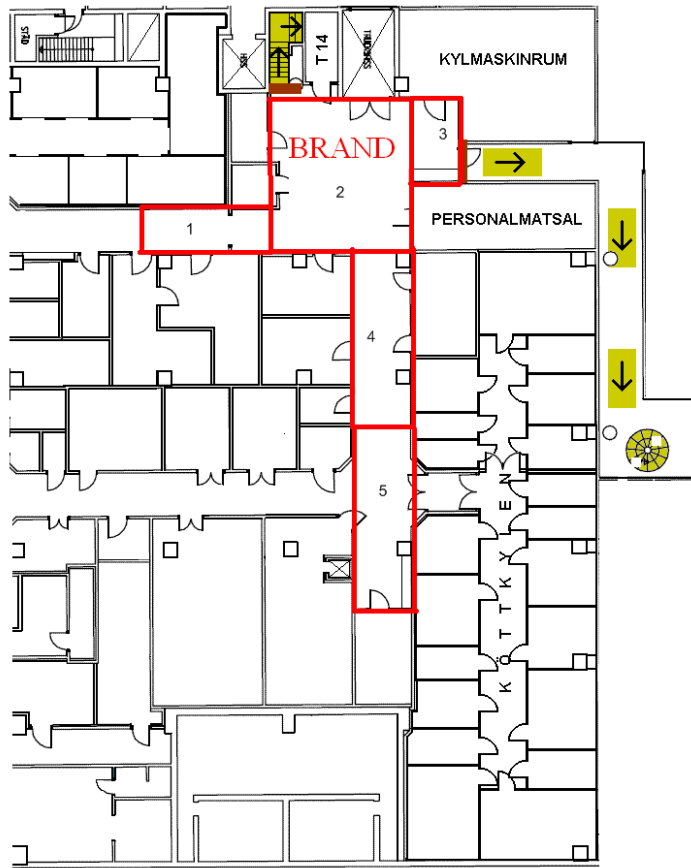
Figur E.2 Brandens effektutvecklingskurva i scenario 3

E.2 Maximal effektutveckling vid ventilationskontrollerad brand

För att undersöka om branden i lagret blir ventilationskontrollerad utförs beräkningar enligt bilaga B. Den stora mängden luft som kan komma in i brandrummet antas komma från korridoren utanför saltkylen, som ju står i förbindelse med övriga delar av lagret. Öppningen mellan brandrummet och korridoren är 1,8 meter bred och 2,2 meter hög vilket med ekvationerna [B.2]-[B.4] ger en maximal effektutveckling på 8,8 MW, vilket är högre än effektutvecklingen som bränslet klarar av att ge enligt figur E.2. Alltså kommer branden att bli bränslekontrollerad och följa effektutvecklingskurvan presenterad i figur E.2.

E.3 Simulering i Argos

I Argos [1] delas lagret in i fem zoner, se figur E.3 och tabell E.1, eftersom längd-, bredd- och höjdförhållandena i varje zon inte får överstiga kriterierna i tabell B.2. Zonen där branden startar är markerad med *Brand*. Vid simuleringen antas brandgaserna från zon 1 strömma ut i det fria, eftersom det åt det hållet finns stora utrymmen som sväljer brandgaserna. Otätheterna i branddörren till trappan och i dörren in till kylmaskinrummet bortses också ifrån eftersom de är relativt små. Det intressanta i detta scenario är att undersöka förhållandena i utrymmena kring köttkyl och personalmatsal och därför är det inte av intresse att närmare undersöka vad som händer bortanför zon 1. I zon 5 är den nedersta dörren stängd, och detta ger konservativa beräkningar eftersom rökfyllnaden då går snabbare i de simulerade zonerna.

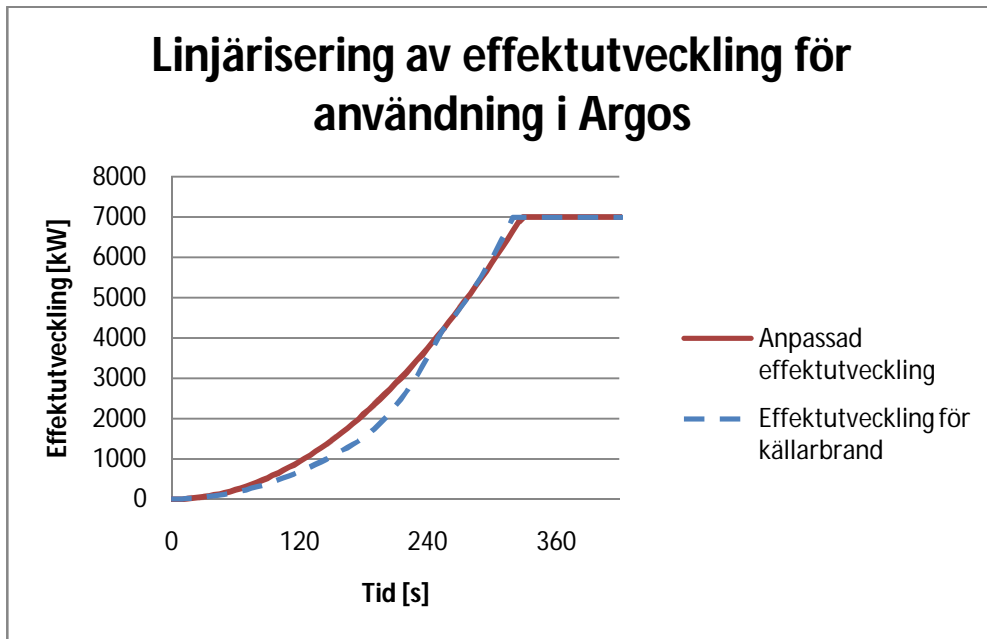


Figur E.3 Zonindelning i Argos

Tabell E.1 Specifikation av zoner i Argos

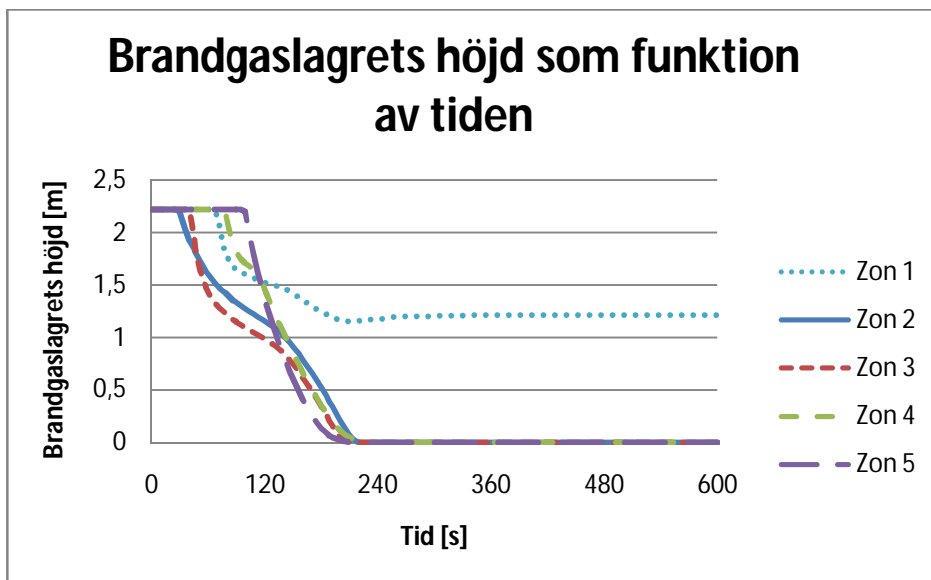
Zon	Area [m ²]	Takhöjd [m]
1	9,72	2,22
2	38,40	2,22
3	6,00	2,22
4	18,00	2,22
5	18,00	2,22

För att underlätta simulering i Argos approximeras effektutvecklingskurvan i figur E.2 med en αt^2 -kurva med tillväxthastighet 0,065 kW/s², se figur E.4.

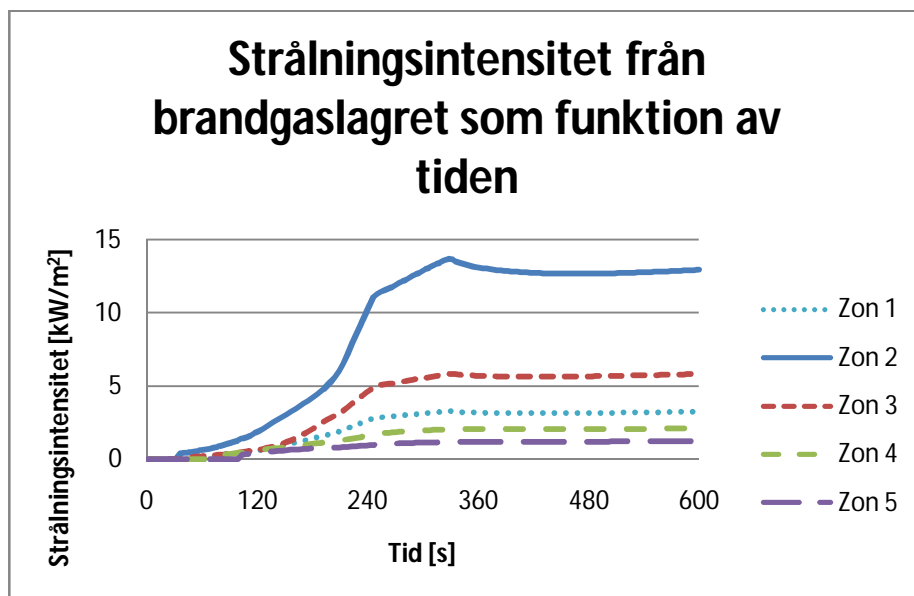


Figur E.4 Anpassning av effektutvecklingskurva för användning i Argos

I figur E.5 och E.6 visas resultat från Argos gällande brandgaslagrets höjd och strålningsintensiteten från brandgaslagret som funktion av tiden.



Figur E.5 Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden (resultat från Argos)



Figur E.6 Strålningsintensiteten från brandgaslagret som funktion av tiden (resultat från Argos)

E.4 Aktivering av rökdetektorer

I korridorerna som utgår från lagerutrymmet finns de rökdetektorer som förväntas aktivera vid brand. För att bedöma tiden till detektion har detektorerna placerats ut i Argos [1] med 12 respektive 15 meters avstånd från branden. Rökdetektorerna ges en rökkänslighet på 0,20 dB/m vilket motsvarar 0,046 m⁻¹, ett rimligt värde enligt Nilsson [24]. Vid simulering ges en aktiveringstid på en minut.

Aktiveringstiden för den närmaste detektorn som är placerad 12 meter från branden beräknas även i DetactQS [22] med indata enligt tabell E.2. Detektionstiden beräknas till 50 sekunder.

Tabell E.2 Indata till DetactQS

Takhöjd ovanför bränsle	2,2 m
Avstånd från brand till detektor	12 m
Starttemperatur i rummet	20 °C
Detektorns aktiveringstemperatur	33 °C
Detektorns RTI-värde	0,5 (ms) ^{1/2}
Effektutveckling	Enligt figur E.3

Både Argos och DetactQS ger detektionstider i samma storleksordning och eftersom Argos tar hänsyn till geometrierna i lagret så antas att det tar en minut för detektorn att aktivera.

E.5 Simulering i Simulex

I scenariot är det främst säkerheten för personer som befinner sig i lagret som är intressant att studera eftersom en betydande mängd brandgaser inte förväntas nå saluhallen. Därför simuleras endast utrymning från lagret. I Simulex [2] har 45 personer placerats ut i lagret, varav fem i

personalrummet och sex i köttkylan. Varseblivning sker genom detektion med rökdetektor som enligt Argos larmar efter 60 sekunder. Besluts- och reaktionstid sätts till 2 minuter, enligt tabell 4.1, eftersom ingen person förväntas se branden i det tidiga skedet. Branden kommer att blockera utrymningsvägen genom trapphus C och utrymningsvägen via spiraltrappan. Personerna i lagret, som alla tillhör personalen, förväntas att använda den närmaste av resterande nödutgångar. Personkategorin sätts under simuleringen till *Kontorspersonal* och egenskaper för denna kategori redovisas nedan i tabell E.3. Utrymningen tar 3,5 minuter.

Tabell E.3 Gånghastighet för personkategori -kontorspersonal

Personkategori: <i>Kontorspersonal</i>			
Grupp	Andel [%]	Gånghastighet [m/s]	
Män	60	1,35	
Kvinnor	40	1,15	

E.6 Siktberäkningar

Även om den kritiska nivån för brandgaslagrets höjd har uppnåtts är det möjligt att utrymningen kan fortgå, såvida inte kriterierna för sikt, toxicitet och temperatur har uppnåtts. För att utrymning ska kunna fortgå krävs en siktbarhet på minst fem meter i brandrummet och tio meter i utrymningsvägar.

För siktberäkning behövs bränslets rökpotential och i lagerbranden är det trä som brinner vilket har en rökpotential på 0,051 m²/g vid flambrand (cellulosa) [24].

Enligt ekvation [B.6] blir den optiska densiteten vid kritiska förhållanden

$$D_L = \frac{\ln 10}{Sikt} = \frac{\ln(10)}{10} = 0,23 \text{ m}^{-1}$$

De fem studerade zonerna i lagret är sammanlagt 200 m³ och brandgaserna antas vara välblandade i hela volymen. Då ges massan bränsle som krävs för att ge en optisk densitet på 0,23 m⁻¹ av ekvation [B.7].

$$m = \frac{D_L V}{D_0} = \frac{0,23 \cdot 200}{0,051} = 902 \text{ g}$$

Förbränningsentalpin för cellulosa är, enligt *An Introduction to Fire Dynamics* [26], 16,09 kJ/g och den totala mängden energi som har frigjorts när denna mängd bränsle har förbränts ges av ekvation [B.8] till

$$Q = \Delta H_c \cdot m \cdot \chi = 16,09 \cdot 902 \cdot 0,7 \approx 10\,000 \text{ kJ}$$

Förbränningseffektiviteten χ sätts till 0,7 [26].

Lösning av ekvation [B.9] för den anpassade effektutvecklingskurvan ger att 10 000 kJ har frigjorts efter 77 sekunder, vilket innebär att kritiska förhållanden på grund av sikt inträffar efter drygt en minut.