

Rapport 9329 • Lund 2007

Avdelning för brandteknik
och riskhantering
Lunds Universitet

Department of Fire Safety
Engineering and Systems Safety
Lund University
Sweden

Brandteknisk riskvärdering av Veddesta Köpcentrum



Angelica Anbring
Johan Lindbom
Christina Nilsson
Robin Zetterlund



Brandteknisk riskvärdering av Veddesta Köpcentrum

Angelica Anbring • Johan Lindbom • Christina Nilsson • Robin Zetterlund

Lund 2007

Anmärkning

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

Titel/Title:

Brandteknisk riskvärdering av Veddesta Köpcentrum
Fire safety Evaluation of Veddesta shopping center

Författare/authors:

Angelica Anbring, Johan Lindbom, Christina Nilsson, Robin Zetterlund

Rapport/Report:

9329 ©Copyright Brandteknik och riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, Lund, 2007.

Sökord:

Personsäkerhet, utrymning, dimensionerande brand, kritiska förhållanden, Simulex, CFAST, åtgärder

Keywords:

Human safety, evacuation, design fire, critical conditions, Simulex, CFAST, measures

Abstract

This report contains an evaluation of the personal safety in case of fire at the shopping centre Veddesta Köpcentrum. Three different fire scenarios and design fires are chosen to represent the worst case scenarios likely to occur in the building. Time until critical conditions in each scenario is determined by using the computer program CFAST and hand calculations. This time is then compared to the egress time, which is estimated by using the computer program Simulex and reference literature.

The main conclusion of the report is that the safety in the building in case of fire is not satisfied. Improvements of the building's fire safety design must be achieved. The authors main suggestions are that more emergency exits shall be accessible and spiral stairs should be replaced with stairs that are wide enough for two people. Furthermore shall the building be divided into two fire cells to prevent spread of fire and smoke and a sprinkler system that covers the entire shopping centre shall be installed.

**Avdelning 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

Förord

Allting började en varm sensommardag i september och nu sitter vi här en kall och regnig novembersöndag i E-husets källare. Under de 12 veckor som det tagit att färdigställa denna rapport har våra liv kretsat kring två saker, nämligen Veddesta Köpcentrum och ordet "för". Förväntan, förvirring, försök, förbannelse, förklaringar, förtvivlan och förståelse.

Har det varit roligt? Lärorikt? Utvecklande? Är eld vackert? - JA! Vår ambition har varit att göra ett mästerverk. Resan har varit lång men mycket givande. Oenigheter kom och gick, skratten var många och erfarenheterna ännu fler, och vi är på många vis nöjda med slutresultatet - det du nu håller i handen.

Vi vill skänka ett stort tack till alla dem som varit oss behjälpliga och stöttat oss under arbetets gång. Ett särskilt varmt tack riktar vi till vår handledare Ulf Göransson på brandteknik, LTH för alla värdefulla synpunkter och långa men givande diskussioner. Vi tackar också Bjarke Rosenberg, vår kontakt på Brandkåren Attunda för den mycket trevliga Stockholmsvistelsen, Lars Jensen som har bidragit med outhärlig konsultation angående ventilationen samt Anders Svensson på Kinnarps fastigheter och Eva Röste på Veddesta Centrum, som guidade oss runt på objektet och som faktiskt lät oss genomföra detta arbete. Slutligen, tack till varandra för ett väl genomfört arbete.

Dessa är de sista raderna vi tillför vår rapport. Vi önskar er en trevlig läsning och hoppas att den är tillfredsställande. Själva ser vi nu fram emot en lång paus ifrån varandra och ett efterlängtat återseende med våra eftersatta sambor, pojk- och flickvänner, föräldrar och syskon.

Lund, november 2007

Angelica, Christina, Johan och Robin.

Sammanfattning

Syftet med rapporten är att studera personsäkerheten i händelse av brand på Veddesta Köpcentrum. Köpcentret är belaget i Järfälla och omfattar 23 butiker och restauranger. Bygganden har byggts om ett antal gånger och består idag av sju huskroppar som uppdelade i två skilda verksamheter, ett företagscentrum och ett köpcenter. Rapporten behandlar endast utrymning från köpcentret.

Tre dimensionerande brandscenarier som anses vara representativa för hela köpcentret tas fram. Tid till kritiska förhållanden fås genom simuleringar i CFAST och handberäkningar. Denna tid jämförs med utrymningstiden som erhålls i Simulex och referenslitteratur. De brandscenarier som studeras är brand på Willy:s, J.S Fashion och Skokanonens lager.

Branden på Willy:s representerar en brand i någon av de större butikerna. Vid en brand förutsätts sprinklern aktivera. Antagandet görs att brandgaserna blir väl omblandade då sprinklern löser ut vilket påverkar sikten. Resultaten visar att kritiska förhållanden uppstår till följd av nedsatt sikt. Utrymningstiden understiger inte tid till kritiska förhållanden och därmed uppfylls inte kriterierna för tillfredställande utrymning.

En brand på J.S Fashion motsvarar värsta tänkbara brandscenario på köpcentret, då brandbelastningen är hög och passagen blir blockerad av brandgaser. Kritiska förhållanden uppstår snabbt, både i passagen och i övriga köpcentret. Tillfredsställande utrymning kan inte ske eftersom huvudentrén blockeras och det finns få andra nödutgångar.

Branden på Skokanonens lager representerar en brand på ett lager i en mellanstor butik. Personerna som utrymmer från butiken hinner ut innan kritiska förhållanden uppstår i butiken. Inga brandgaser läcker ut i passagen då brandgasventilationen fungerar, men känslighetsanalysen visar att brandscenariot är ytterst känsligt beroende på om dörren till lagret är öppen eller stängd. Om dörren är öppen sprids brandgaser ut i passagen och kritiska förhållanden uppstår, vilket påverkar utrymningssituationen.

I dagsläget är det befintliga brandskyddet inte tillräckligt för att säkerställa personsäkerheten på Veddesta Köpcentrum. Åtgärder måste därmed genomföras. Nedan presenteras de viktigaste åtgärderna som författarna anser ska genomföras:

- Befintliga utrymningsvägar som i nuläget blockeras ska göras tillgängliga, utrymningsskyltar ska finnas och fungera.
- Ett heltäckande utrymningslarm ska finnas.
- En brandcellsgräns ska införas som avgränsar butikerna längs passagen från övriga köpcentret.
- Ett heltäckande sprinklersystem ska finnas.
- Systematiskt brandskyddsarbete ska upprättas, dels för hela byggnaden och dels för varje verksamhet.

Med föreslagna åtgärder visar analysen att tillfredställande utrymning i händelse av brand kan ske.

Innehåll

1 Inledning _____	1	7.1 Lokalbeskrivning	25
1.1 Bakgrund	1	7.2 Motivering till val av brand- scenario	25
1.2 Syfte	1	7.3 Dimensionerande brand . . .	26
1.3 Metod	1	7.4 Resultat	28
1.4 Avgränsningar	2	7.5 Konsekvenser	29
2 Objektsbeskrivning _____	3	7.6 Känslighetsanalys	29
2.1 Historik	3	8 Brandscenario 2 - J.S Fashion _____	31
2.2 Nuvarande byggnad	4	8.1 Lokalbeskrivning	31
2.3 Nuvarande verksamhet . . .	4	8.2 Motivering till val av brand- scenario	31
2.4 Objektsavgränsning	6	8.3 Dimensionerande brand . . .	32
3 Krav och rekommendationer _____	7	8.4 Resultat	34
3.1 Dokumentation	7	8.5 Konsekvenser	35
3.2 Brandtekniska klasser	7	8.6 Känslighetsanalys	35
3.3 Utrymning	8	9 Brandscenario 3 - Skokanonens lager _____	37
3.4 Utrustning	8	9.1 Lokalbeskrivning	37
3.5 Systematiskt brandskyddsar- bete	8	9.2 Motivering till val av brand- scenario	37
4 Befintligt brandskydd _____	11	9.3 Dimensionerande brand . . .	37
4.1 Brandcellsindelning	11	9.4 Resultat	39
4.2 Brandlarm	11	9.5 Konsekvenser	41
4.3 Utrymningslarm	11	9.6 Känslighetsanalys	41
4.4 Spinklersystem	11	10 Brandgasspridning via ventilations- systemet _____	43
4.5 Brandgasventilation	13	11 Förslag till åtgärder _____	47
4.6 Dörrstängare	13	11.1 Åtgärder som <i>ska</i> genomfö- ras	47
4.7 Släckutrustning	13	11.2 Åtgärder som <i>bör</i> genomfö- ras	49
4.8 Utrymningsvägar	13	12 Validering av åtgärder _____	51
4.9 Brister i brandskyddet	15	12.1 Utrymning	51
5 Utrymning _____	17	12.2 Sprinkler	52
5.1 Utrymningsdimensionering .	17		
6 Val av brandscenarier _____	19		
6.1 Metod vid val av brandscena- rier	19		
6.2 Brandscenarier	22		
7 Brandscenario 1 - Willy:s _____	25		

13 Slutsatser och utvärdering	55
13.1 Slutsatser	55
13.2 Utvärdering av arbetet . . .	56
Litteraturförteckning	57
Bilagor	58
A Nomenklatur	59
B Beräkningsmodeller	61
B.1 at^2 branden	61
B.2 Maximal effektutveckling vid ventilationskontrollerad brand	61
B.3 Siktberäkningar	62
B.4 Tid till detektoraktivering . .	64
B.5 CFAST	65
B.6 Simulex	66
C Brandscenario 1 - Willy:s	67
C.1 Effektutveckling	67
C.2 Simuleringar - CFAST	68
C.3 Simuleringar - Simulex . . .	70
C.4 Siktberäkningar	70
D Brandscenario 2 - J.S Fashion	73
D.1 Effektutveckling	73
D.2 Simuleringar - CFAST	77
D.3 Siktberäkning	79
D.4 Simuleringar - Simulex . . .	80
D.5 Känslighetsanalys	81
E Brandscenario 3 - Skokanonens lager	83
E.1 Effektutveckling	83
E.2 Simuleringar - CFAST	84
E.3 Simuleringar - Simulex . . .	85
F Antal personer i Simulex	87
G Enkät	89

Inledning

Denna rapport behandlar personsäkerheten vid brand och utrymning på Veddesta Köpcentrum. Arbetet med rapporten har en central roll i brandingenjörsutbildningen, då den knyter samman kunskaper från tidigare kurser samtidigt som den är väl förankrad med brandingenjörens verklighet.

1.1 Bakgrund

Rapporten är en del av kursen Brandteknisk riskvärdering som ges av avdelningen för Brandteknik och Riskhantering vid Lunds Tekniska Högskola. Kursen omfattar 15 högskolepoäng och läses under höstterminen i tredje årskursen. Kursens tonvikt läggs på ett projektarbete där en brandteknisk riskvärdering utförs på ett objekt med avseende på personsäkerhet vid brand. Arbetet presenteras i form av en rapport samt vid ett muntligt seminarium.

1.2 Syfte

Syftet med rapporten är att utvärdera personsäkerheten i händelse av brand på Veddesta Köpcentrum. Ett djupare syfte är att studenterna ska få en förståelse för vilka metoder som används samt att kunna tillämpa olika modeller för simulering av brand och utrymning. Målet är att studenterna ska förvärva nya kunskaper och riskvärderingen ska vidare öka studenternas analytiska förmåga och förmåga att arbeta i grupp.

1.3 Metod

Kursen inleds med undervisning i utrymning, ventilation, lagar och förordningar samt ritningsgranskning för att ge goda förutsättningar för utförandet av den brandtekniska riskvärderingen. Objektet studeras i tidigt skede med hjälp av ritningar, brandskyddsdocumentation, bilder samt annan dokumentation.

Två veckor efter kursstart genomför gruppen ett studiebesök på Veddesta Köpcentrum tillsammans med Ulf Göransson, handledare från LTH, Bjarke Rosenberg, representant från Brandkåren Attunda samt Eva Röste och Anders Svensson, representanter för fastighetsägaren. Objektet studeras ingående med avseende på dess brandsäkerhet. Specifikt kontrolleras det befintliga brandskyddet som omfattar nödutgångar, brandlarmssystem, utrymningslarm, sprinklersystem och övrig släckutrustning. Vid besöket

görs observationer som ligger till grund för tänkbara brandscenarier som vidare analyseras. Scenarierna väljs för att representera tre troliga värsta händelseförlopp för byggnaden.

Till varje scenario bestäms en dimensionerande brand. Brandscenarierna utvärderas med hjälp av simuleringsprogram och handberäkningar. Brandgasspridningen simuleras i CFAST och med hjälp av de erhållna värdena kan tid till kritiska förhållanden uppskattas. Genom simulering i programmet Simulex erhålls förflyttningstid vid utrymning. Detta görs för att bedömma tid till kritiska förhållanden uppstår och jämföra denna med utrymningstiden. En känslighetsanalys genomförs för att studera hur olika parametrar påverkar resultaten som erhålls i CFAST och om de därmed påverkar personsäkerheten vid utrymning. Vid de scenarier där tillfredsställande utrymning inte uppnås görs åtgärder för att säkerställa personsäkerheten. Åtgärderna valideras genom ytterligare simuleringar och slutligen görs en utvärdering av hela projektet.

1.4 Avgränsningar

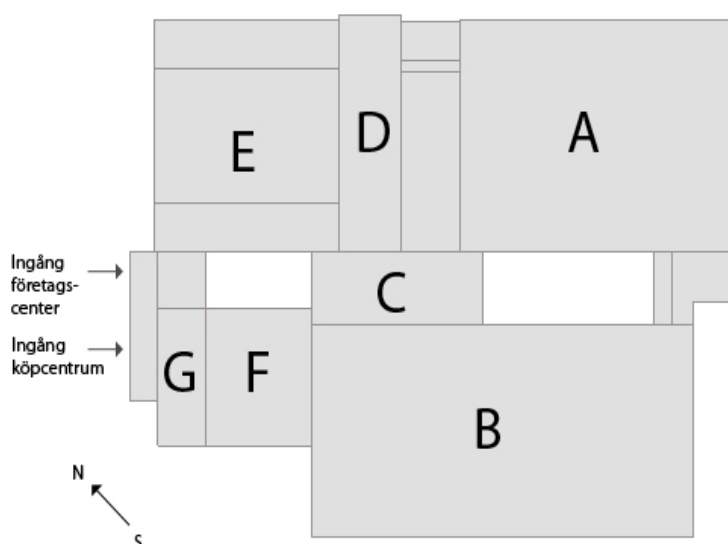
I arbetet behandlas endast utrymning från Veddesta Köpcentrum. Arbetet kommer inte att behandla egendomsskador, miljöpåverkan eller den ekonomiska aspekten vid en brand. Brandgasernas toxicitet och påverkan på människor samt mänskligt beteende vid brand beaktas inte heller.

Objektsbeskrivning

Veddesta Centrum är beläget på Veddestavägen 13 i Järfälla, ca 18 km nordväst om Stockholm. Byggnaden ägs idag av Henry Jarlsson m.fl. och förvaltas av företaget Veddesta Företagscentrum E Röste. Byggnaden är uppdelad i två skilda verksamheter, företagshotellet Veddesta Företagscentrum och köpcentret Veddesta Köpcentrum.

2.1 Historik

Första byggnaden av det som idag är Veddesta Centrum uppfördes redan 1962, men då bestod verksamheten av en industri. I anslutning till denna byggnad har därefter flera byggnader uppförts i olika omgångar. År 1986 byggdes lokalerna om och Veddesta Köpcentrum öppnades med ett företagshotell och köpcentrum. Sedan öppnandet har en innegård byggts om till atrium och köpcentret har byggts ut i fem omgångar. Senaste utbyggnaden gjordes 2004, då ett antal butiker utvidgades och köpcentret och företagshotellet fick nya entréer. Idag är alla byggnader sammanbyggda, men de ursprungliga huskropparna går fortfarande att urskilja, se figur 2.1.



Figur 2.1: Fastigheten består av sju sammanbyggda huskroppar, här benämnda A-G

2.2 Nuvarande byggnad

Hela byggnaden har en yta på knappt 40 000 m² varav ca 13 000 m² är butiker och gemensamma ytor i köpcentret. Byggnaden kan delas upp i sju huskroppar som byggts vid olika tillfällen, se figur 2.1. Hus A och B är de två största lokalerna och är i två plan. Där finns butikerna Willy:s och Överskottsbolaget som har delar av sitt lager på plan ett. I delen mellan byggnad A och B har Mio varuutlämning. Byggnad C förbinder A och B med en passage, här finns även ett antal mindre butiker. Hus D har kontorslokaler i sex plan och gränsar till atriet, hus E. I anslutning till atriet finns också en lunchrestaurang, Prince Palace. Byggnaderna F och G har i huvudsak butikslokaler i plan ett. Byggnad G har dock även kontor i ytterligare två plan.

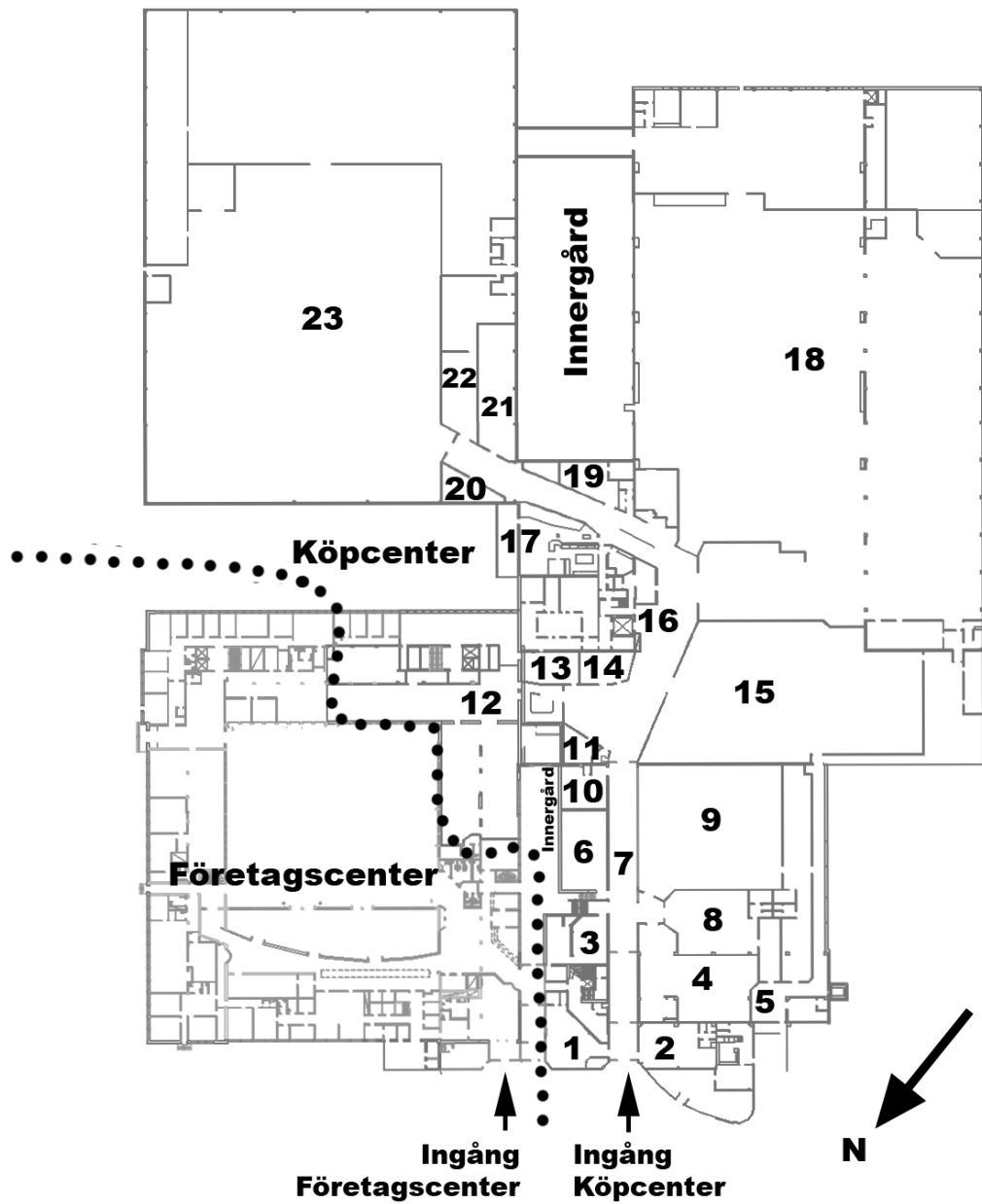
Företagshotellet och köpcentret har separata ingångar och är i övrigt avskilda från varandra för besökare. Huvudingångarna ligger i byggnadens nordvästra del. Företagshotellet har ytterligare en ingång i nordost men till köpcentret finns endast en ingång. Fastigheten ligger i sluttning där källarplanet kommer i markhöjd i den sydostliga delen. Innanför huvudingången till köpcentret följer en lång sluttande passage med butiker på båda sidor, se figur 2.2. Efter passagen finns ett litet torg med bland annat ett café och sittplatser. Passagen fortsätter vidare förbi Willy:s samt ett antal mindre butiker i sluttning upp till Överskottsbolaget, där den tar slut. Företagscentrets huvudingång leder in i atriet och företagscentrets gemensamma utrymmen.



Figur 2.2: Vänstra bilden visar köpcentrets ingång som leder in i en sluttande passage. Ingången ses längst ner i bilden. Till höger ses den övre delen av passagen som fortsätter in i köpcentret förbi bland annat Klädjätten och Willy:s.

2.3 Nuvarande verksamhet

Företagshotellet har kontorslokaler för ett 60-tal företag av varierande storlek, med gemensam reception och lunchrestaurang. Mitt i byggnaden finns ett stort inbyggt atrium med en del växtlighet och serveringsmöblemang. I köpcentret finns 20-talet butiker där Överskottsbolaget och Willy:s är de största. Det finns även ett antal mindre butiker med försäljning av allt från kläder till blommor och datorer. Denna del innehåller även en mindre lunchrestaurang och ett litet café. För översikt över byggnadens publika våningar se figur 2.3 med förteckning över butikernas namn i tabell 2.1.



Figur 2.3: Översikt över samtliga butiker och lokaler på Veddesta Centrum. För förteckning över butiker och lokaler se tabell 2.1. Den sträckade linjen visar gränsen mellan företagscentret och köpcentret.

Tabell 2.1: Förteckning över butiker och utrymmen på Veddesta Köpcentrum. För placering av respektive lokal se figur 2.3

1	Hushåll	13	Veddesta Data
2	Parfymeri Iresia	14	Surprise Shop
3	HG Guld & Klockor	15	Klädjätten
4	NAC Blomsterhandel	16	Steffos Deli
5	Utrymningskorridor	16	Övre Passage
6	J.S Fashion	17	Café Neon
7	Passage	18	Willy:s
8	10:- butiken	19	Veddesta Klippotek
9	Skokanonen	20	Veddesta Glasögon
10	Farmateket	21	K.U.L. Hund & Katt
11	Veddesta Sko & Nyckelservice	22	Lynn's Tyger
12	Babyproffsen	23	Överskottsbolaget

2.4 Objektsavgränsning

Eftersom Veddesta Centrum består av i huvudsak två verksamheter, finns två skilda utrymningsituationer. Vid en brand i kontor förväntas personer som arbetar där vara väl förtrogna med lokalerna medan vid en brand i butiksdelen förväntas besökarna ha liten eller ingen lokalkänedom. Rapporten behandlar personsäkerheten i köpcentret, då detta bedöms som mest intressant att studera ur utrymnings synpunkt. Utrymning från kontorsdelarna samt lunchrestaurangen Prince Palace behandlas därmed inte. Källarplanet bedöms inte heller vara intressant ur utrymnings synpunkt då persontätheten är låg samt att personerna som vistas där bedöms ha god lokalkänedom. Avgränsningarna har gjorts i samråd med representant för fastighetsägaren och Bjarke Rosenberg på Brandkåren Attunda.

Krav och rekommendationer

Vid uppförande eller ändring av byggnader ställs vissa krav på brandskyddet, beroende på bland annat byggnadens storlek och verksamhet. I detta kapitel sammanfattas de huvudsakliga brandtekniska kraven och rekommendationerna som är aktuella för Veddesta Köpcentrum.

3.1 Dokumentation

Kapitel fem i Boverkets Byggregler (BBR) [5] innehåller krav och rekommendationer för hur brandskyddet i en byggnad ska upprättas. Brandskyddet kan utföras antingen genom förenklad dimensionering, där föreskrifterna helt efterföljs, eller genom analytisk dimensionering, där det krävs en särskild utredning som visar att det totala brandskyddet inte blir sämre än vid förenklad dimensionering. Om analytisk dimensionering tillämpas ska den särskilda utredningen enligt BBR presenteras i en brandskyddsdocumentation. Brandskyddsdocumentationen ska dock upprättas både vid förenklad och analytisk dimensionering och ska redovisa brandskyddets utformning samt förutsättningar för utförande.

3.2 Brandtekniska klasser

Byggnader ska utföras i brandteknisk klass Br1, Br2, eller Br3. Klassindelning ska ske med hänsyn till utrymningsmöjligheterna och risk för personskador vid sammanstörtning av byggnaden. Utrymningsmöjligheterna i sig ska bedömas utifrån verksamhet i byggnaden, dess höjd och volym samt antalet personer som samtidigt beräknas befinna sig i byggnaden.

I BBR anges att “ *Byggnader där brand medför stor risk för personskador skall utföras i klass Br1* ”. Även byggnader i två plan med samlingslokal på andra planet bör utföras i klass Br1. Samlingslokal definieras som en lokal, eller en grupp av lokaler inom samma brandcell, som förutsätts inrymma fler än 150 personer som förväntas ha liten eller ingen lokalkännedom. Varuhus är ett exempel på en sådan samlingslokal.

BBR definierar en brandcell som en avgränsad del av en byggnad där en brand under en föreskriven minsta tid kan pågå utan att spridas till resten av byggnaden. Brandcellen ska vara avgränsad med brandtekniskt avskiljande byggnadsdelar som upprätthåller sin funktion så att utrymning av övriga byggnaden kan ske under aktuell föreskriven tid. Brandcellsskiljande byggnadsdelar i Br1-byggnader ska vara utförda i lägst klass EI60.

Veddesta Köpcentrum är utfört i två plan och är, enligt ovan, att anse som en samlingslokal vilket gör att kraven för klass Br1 gäller för objektet.

3.3 Utrymning

Byggnader ska vara utformade så att tillfredsställande utrymning kan ske. Detta innebär fullständig utrymning eller utrymning till säker flyktplats innan kritiska förhållanden uppstår. Ett grundkrav är att i lokaler där personer vistas mer än tillfälligt ska det finnas minst två av varandra oberoende utrymningsvägar. Bredden på utrymningsvägar från samlingslokaler, det vill säga brandceller avsedda för fler än 150 personer, bör inte understiga 1,2 meter. Gångavståndet till närmaste utrymningsväg bör normalt inte överstiga 30 meter. Gångavståndet får dock förlängas om byggnaden har ett heltäckande sprinklersystem eller om analytisk dimensionering visar att ett längre gångavstånd inte medför sämre förutsättningarna för utrymning [5].

3.4 Utrustning

Lokaler där utrymmade personer förväntas ha liten eller ingen lokalkännedom ska vara försedda med vägledande markeringar i form av utrymningsskyltar. Skyltarna bör vara genomlysta och ska placeras i sådan omfattning att utrymning inte förhindras på grund av svårigheter att orientera sig i lokalen. Till exempel ska skyltar placeras i anslutning till utgångar och i utrymningsvägar.

Utöver vägledande markeringar ska samlingslokaler och trapphus som används för utrymning ha allmänbelysning och nödbelysning. Nödbelysningen ska för att säkerställa utrymning vid strömavbrott ge avsedd belysning under minst 60 minuter.

Om byggnaden erfordrar utrymningslarm och personerna som vistas i lokalen inte förväntas ha kännedom om larmet bör detta utformas med två skilda signaltyper, till exempel ljud och ljus. Utrymningslarmet ska upprätthålla sin funktion vid strömavbrott.

3.5 Systematiskt brandskyddsarbete

Systematiskt brandskyddsarbete (SBA) innebär att på ett organiserat sätt arbeta kontinuerligt för att eliminera eller minimera riskerna för brand. Enligt lagen om skydd mot olyckor [22] framgår det att fastighetsägare eller nyttjanderättshavare bär ansvaret för att vidta de åtgärder som krävs för att hindra eller begränsa uppkomst av brand och de skador som därav följer. I februari 2004 gav Räddningsverket ut ett allmänt råd om hur det systematiska brandskyddsarbetet kan bedrivas.

Det systematiska brandskyddsarbetet kan delas in i två huvudgrupper, dels förebyggande åtgärder och dels åtgärder som vidtas vid utbruten brand. Planering, utbildning, övning, rutiner och kontroller är en rad exempel på vad som bör ingå i SBA.

Räddningsverket anser att det för varje byggnad där särskilda krav ställs på brandsäkerheten, bör finnas en skriftlig dokumentation över brandskyddet. Särskilda krav

ställs bland annat i byggnader där ett stort antal personer förväntas ha dålig lokalkännedom. Dokumentationen bör allmänt beskriva byggnaden, de brandtekniska lösningar som finns och den verksamhet som bedrivs. Uppdateringar i dokumentationen bör göras regelbundet och vid särskilt behov. I de fall där flera nyttjare bedriver verksamhet inom samma byggnad bör varje verksamhet upprätta en egen dokumentation. Rimligen bör då också övergripande risker och brandskydd för hela byggnaden sammanställas. Vid tillsyn bör nyttjare med stöd av sin egen dokumentation kunna redogöra för brandskyddet och att uppsatta mål efterlevs.

3.5.1 SBA på Veddesta Köpcentrum

Från ett urval av butikerna på Veddesta Köpcentrum intervjuades en representant för personalen, med utgångspunkt i enkäten i bilaga G. I intervjuerna uppdagas att det systematiska brandskyddet är mycket bristfälligt och ibland helt obefintligt. De två större butikerna, Överskottsbolaget och Willy:s, bedriver båda relativt bra SBA med exempelvis tydliga och regelbundna egenkontroller av brandskyddet. Bland de övriga butikerna varierar förekomsten av SBA kraftigt. Bland vissa butiker vet personalen inte ens var släckutrustning finns och än mindre vad SBA innebär. I någon butik finns dokumentation som behandlar ämnet men ingen regelbunden kontroll eller uppdatering. Utbildningsnivån varierar också rejält. Exempelvis får alla nyanställda på Överskottsbolaget genomgå en enklare brandskyddsutbildning vid arbetets början medan personalen på övriga butiker i liten eller ingen utsträckning erbjuds utbildning. Någon utrymningsövning har aldrig genomförts och flertalet av de tillfrågade har aldrig hört eller sett utrymningslarmets signaler. Det finns inte heller någon övergripande dokumentation av brandskyddet för hela byggnaden.

Befintligt brandskydd

Det befintliga brandskyddet på Veddesta Köpcentrum utgörs av passiva och aktiva system. Med passiva system menas byggnadstekniska åtgärder som förekommer oavsett om brand har uppkommit eller ej, till exempel brandcellsindelning. Med aktiva system menas system som aktiveras vid detektion av brand. Veddesta Köpcentrum har aktiva system bestående av brand- och utrymningslarm, sprinklersystem, brandgasventilation, och automatiska dörrstängare. Manuell släckutrustning finns utplacerad i hela köpcentret. Kontroll av sprinklersystem samt brand- och utrymningslarm sker årligen [24]. Ingående dokumentation av brandlarm, utrymningslarm samt sprinklersystem saknas.

4.1 Brandcellsindelning

Hela köpcentret ligger inom samma brandcell och är brandtekniskt avskilt från företagscentret. Undantag är utrymningskorridoren bakom Skokanonens lager, som utgör egen brandcell. På Överskottsbolaget finns även ett mindre, brandtekniskt avskilt rum där brandfarliga varor förvaras.

4.2 Brandlarm

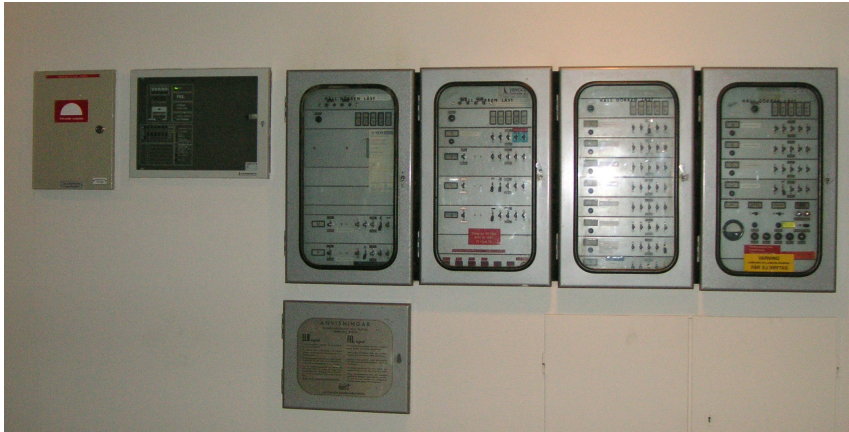
Objektet har ett heltäckande automatiskt brandlarm som är kopplat till SOS Alarm, som i sin tur larmar Brandkåren Attunda. Centralapparaten, se figur 4.1, är placerad i företagscentret vid den nordöstra ingången. Den är av äldre modell och uppger inom vilken sektion av byggnaden larmet har aktiverats. Detektion av brand sker i huvudsak med rökdetektorer, men även värmedetektorer förekommer. Brandlarmet aktiveras även vid utlöst sprinkler samt vid intryckt larmknapp.

4.3 Utrymningslarm

Utrymningslarmet aktiveras av separata, glest utplacerade rökdetektorer eller av intryckt larmknapp. Larmdon består av larmklockor och blixtljus. Utrymningslarmets omfattning är oklar då dokumentation saknas.

4.4 Spinklersystem

Sprinklersystemet täcker delar av köpcentret. Huskropp A och huskropp B (figur 2.1) är helsprinklade med undantag för en del av passagen i huskropp B. Passagen mellan



Figur 4.1: Centralapparaten på Veddesta Centrum är av äldre modell och räddningstjänsten har i tillsynsprotokoll rekommenderat att den ska vara bytt innan 2007-12-31.

byggnad A och B är ej sprinklad och huskropp C är delvis sprinklad. Förteckning över vilka butiker som har sprinkler finns i tabell 6.1.

Det finns två sprinklercentraler varav en är placerad i företagscentrets källarplan, vid nordöstra ingången. Den andra är placerad i källarplan under Willy:s. Vid besöket på objektet observerades att det finns ett antal olika sprinklerhuvuden. I huskropp A är sprinklerhuvudena av smältbleckstyp. I övriga delen av objektet har sprinklerhuvudena röda glasbulber av varierande tjocklek och därmed olika RTI-värden, se figur 4.2. Aktiveringstemperaturen för sprinklerhuvud med röda glasbulber är 68°C. Enligt representant för fastighetsägarna finns det ca 3000 sprinklerhuvuden i objektet.



Figur 4.2: Sprinklerhuvud på Veddesta Centrum

4.5 Brandgasventilation

Brandgasventilation finns i vissa butiker i form av takmonterade brandgasluckor. Överskottsbolaget och Willy:s har fem respektive sju brandgasluckor som öppnas med smältbleck eller manuellt utifrån, se figur 4.3. Skokanonen samt presentbutiken har två respektive en lucka som utlöses på samma sätt. Ovanför Klädjätten samt Babyproffsen finns två respektive en lucka som öppnas av koldioxidpatroner, antingen manuellt eller med detektorer. Alla brandgasluckorna är av storlek 2x1 meter.



Figur 4.3: Brandgaslucka med smältbleck ovanför Willy:s.

4.6 Dörrstängare

På objektet finns endast tre dörrar som är självstängande. Två av dörrarna är uppställda på magnet och leder till det brandklassade rummet på Överskottsbolaget. Vid detektion av brand släpper magneten och dörrarna stängs. Den tredje dörren går från lastbryggan i byggnadens västra hörn ut till det fria.

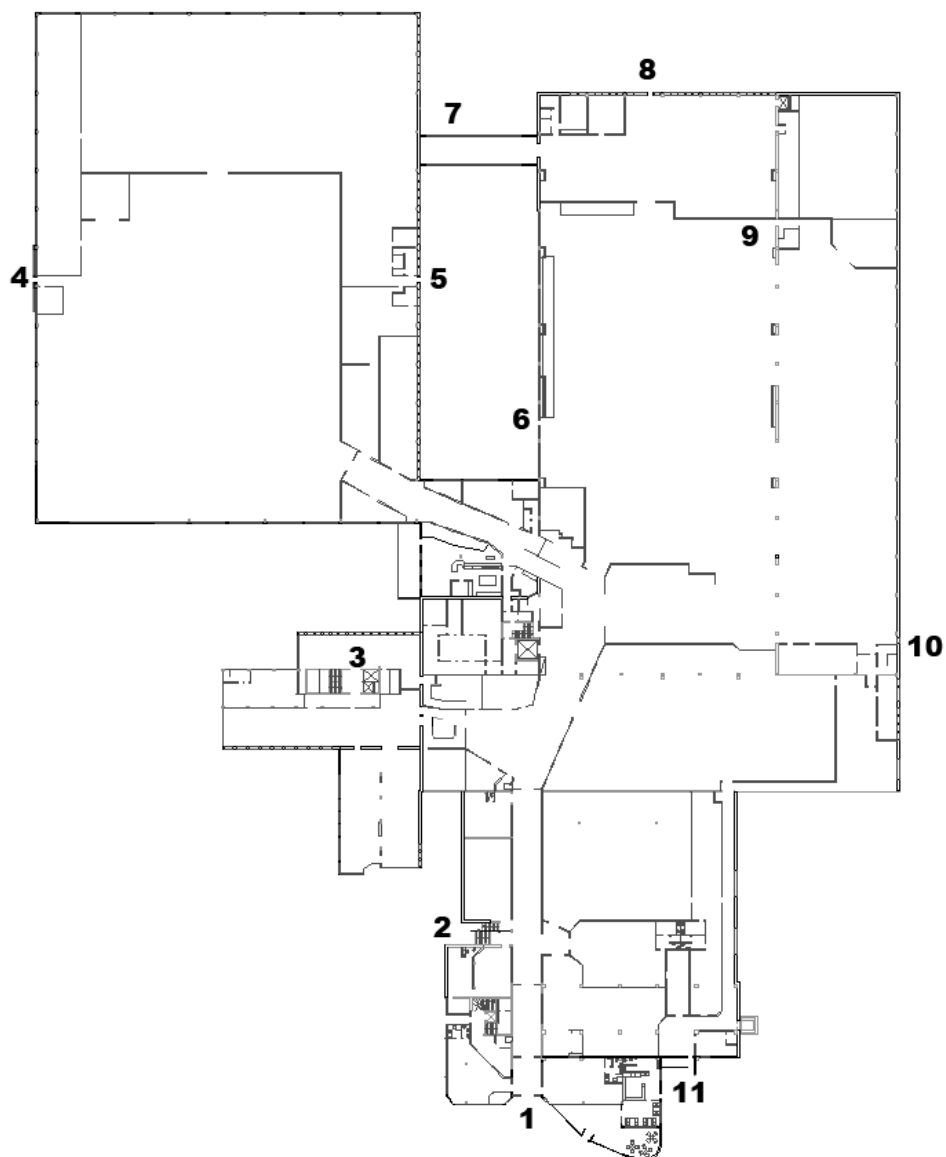
4.7 Släckutrustning

I passagerna finns inomhusbrandposter och handbrandsläckare. Överskottsbolaget och Willy:s är utrustade med ett flertal handbrandsläckare. Dessutom finns två inomhusbrandposter på Willy:s. Handbrandsläckare finns även i flera av de mindre butikerna.

4.8 Utrymningsvägar

Följande utrymningsvägar finns på Veddesta Köpcentrum. För placering av respektive utrymningsväg se figur 4.4.

1. Huvudentrén, är den största utrymningsvägen och den enda ingången till köpcentret. Ingången ligger i markplanet med automatiska skjutdörrar med en öppningsbredd på 2 meter.



Figur 4.4: En skiss över Veddesta Köpcentrum där alla utrymningsvägar är markerade med siffrorna 1-11. Observera att alla dörrar i dagsläget inte är tillgängliga.

2. Denna utgång från passagen, är i dagsläget inte tillgänglig som utrymningsväg då den är låst med en grind och inte skyltad. Dörren leder dock till en innergård med möjlighet att ta sig ut till det fria via en trappa under byggnaden. Bredden är 2 meter.
3. Utrymningsvägen från Babyproffsen till trapphuset är blockerad av en butikshylla och är i nuläget inte användbar. Dörrens bredd är 1,2 meter.
4. Från Överskottsbolagets butik finns en utrymningsväg till det fria. Dörren är 1,2 meter bred och leder via en spiraltrappa till marknivå.
5. Överskottsbolaget har även en utrymningsväg från lagret till innergården men denna är inte skyltad inifrån butiken. Dörren är 1,2 meter bred och leder via en spiraltrappa till marknivå. För att ta sig ut från innergården måste Mios lager passeras.
6. Från Willy:s butik leder en utrymningsväg till innergården via en spiraltrappa. Dörrbredden är 0,9 meter.
7. Från ett kontor och konferensrum inne på Willy:s lager finns en markerad utrymningsväg. Utrymning sker genom att med hjälp av en tillhandahållen yxa först krossa fönstret och sedan klättra ut med hjälp av trappstegen som är placerad framför fönstret. Utrymning sker vidare till taket på Mios varuutlämning men hur förflyttning sker härifrån till säker plats är oklart.
8. Utrymningsväg från Willy:s lager, som via spiraltrappa leder ner till markplanet. Inga skyltar finns från butiken till denna dörr. Dörrbredden är 0,9 meter.
9. Två dörrar på Willy:s leder till en spiraltrappa som via korridor och lagret i källaren leder vidare till det fria. Vid besöket var trapphuset mörklagt utan några möjligheter att tända. Dörrbredderna är 0,9 meter.
10. Utrymningsväg vid kassorna på Willy:s som via invändig spiraltrappa leder till markplanet. Dörrbredden är 1,2 meter.
11. Från korridoren leder en utrymningsväg via lastbryggan till markplanet. Dörrbredden är 0,9 meter.

4.9 Brister i brandskyddet

Vid besök på Veddesta Köpcentrum uppmärksammades en rad brister i brandskyddet och dessa behandlas kortfattat nedan. Rapportens huvudsyfte är inte att anmärka på tekniska brister varför nedanstående lista över brister inte nödvändigtvis är fullständig.

Dokumentation av brandlarm, utrymningslarm och sprinklerssystem saknas. Detta innebär att antaganden om de aktiva systemen måste göras och utvärderingen av personsäkerheten på Veddesta Köpcentrum blir svårare att genomföra.

Centralapparaten på Veddesta Centrum är av äldre modell och några av butikerna saknar helt detektorer för att upptäcka brand, bland annat J.S Fashion. Brandkåren Attunda rekommenderar en omprojektering av brand- och utrymningslarmen i syfte

att uppdatera anläggningen. Senast 2007-12-31 ska åtgärderna vara genomförda enligt tillsynsprotokoll [3]. Endast delar av köpcentret är i nuläget sprinklat. Eftersom köpcentret utgörs av en brandcell bör sprinklersystemet täcka hela ytan.

Utrymningsplanen som finns uppsatt på olika platser i köpcentret stämmer inte med den nuvarande verksamheten. Vissa befintliga nödutgångar är inte utsatta, medan några nödutgångar som är utsatta inte är användbara. På Babyproffsen finns en nödutgång som är blockerad på båda sidor om dörren och är därför inte användbar vid utrymning.

Utrymningskorridoren som leder från Klädjätten och bakom Skokanonan till en lastbrygga utgör en egen brandcell. Det finns därför krav på att dörrarna i brandcellsgränsen ska vara försedda med dörrstängare, men detta saknades på alla dörrar. Brandcellsgränsen som skiljer utrymningskorridoren från Skokanonans lager, se nr 5 i figur 4.4, har också bristfällig anslutning till innertaket. I utrymningskorridoren finns en kartongpress som lämpligen bör placeras på annan plats och korridoren ska i övrigt vara fri från brännbart material.

Inomhusbrandposterna på Willy:s är högt placerade och svåra att nå. På Willy:s utgörs nödutgång nr 9, se figur 4.4, av ett trapphus med spiraltrappa som leder till källaren och därefter vidare ut. Vid besöket fungerade inte belysningen i trapphuset, vilket kraftigt försvårar eller förhindrar att denna används vid utrymning. Två utrymningsvägar från Willy:s och två från Överskottsbolaget leder till spiraltrappor. Enligt Boverket [6] bör spiraltrappor generellt inte användas som utrymningsväg från samlingslokaler. Dessutom leder två utrymningsvägar, en från Överskottsbolaget och en från Willy:s, till en innergård som endast har förbindelse till det fria via Mios varulager. Hur utrymning sker här igenom är oklart. Vissa utrymningsdörrar är endast 0,9 meter breda jämfört med 1,2 meter som är kravet för en samlingslokal.

Utrymning

Genom scenarioanalys, även kallad deterministisk analys, studeras utrymning på Veddesta Köpcentrum. Karakteristiska brandscenarier väljs ut och simuleras i datorprogram för att uppskatta tid till kritiska förhållanden. Personssäkerheten verifieras sedan genom att undersöka om personer på Veddesta Köpcentrum hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår. Resultaten sammanfattas i kapitel 7-9.

5.1 Utrymningsdimensionering

I händelse av brand i en byggnad får inte kritiska förhållanden uppstå innan alla personer hunnit lämna byggnaden. Kriterier för acceptabla förhållanden visas nedan.

- Temperatur: Utrymmande personer bör inte utsättas för en lufttemperatur som överstiger 80°C.
- Strålning: Normalt accepteras en maximal strålningsintensitet på 2,5 kW/m² eller en kortvarig (storleksordning sekunder) strålningsintensitet på 10 kW/m².
- Siktbarhet: För att utrymmande personer inte i för hög grad ska påverkas av nedsatt sikt får brandgaslagrets höjd som lägst bli $H_{kritisk}$, se ekvation 5.1. Alternativt får siktsträckan i okända miljöer som kortast vara 10 meter [5].

$$H_{kritisk} = 1,6 + 0,1 \cdot H \quad (5.1)$$

där H är rumshöjden i meter.

Ett utrymningsförlopp delas upp i tre faser, varseblivning, beslut och reaktion samt förflyttning. Total tid för utrymning ska vara mindre än tiden tills kritiska förhållanden uppstår och beräknas enligt ekvation 5.2 [11].

$$t_{kritisk} > t_{utrymning} = t_{varse} + t_{beslut \ \& \ reaktion} + t_{förflyttning} \quad (5.2)$$

Varseblivningstid är tiden från det att branden brutit ut tills personer blir medvetna om att det brinner. Denna tid beror bland annat på faktorer som att personer ser branden eller inte och om det finns utrymningslarm eller inte. Varseblivningstiden kan även bestämmas med hjälp av aktiveringstid för olika detektorer. Om utrymningslarmet är kopplat till värmedetektorer kan varseblivningstiden beräknas med hjälp av Detact T2 eller Detact QS. Utrymningslarmets sektionering på Veddesta Köpcentrum finns inte dokumenterad så därför görs antagandet att utrymningslarmet aktiveras samtidigt i

hela köpcentret. I fasen reaktions- och beslutstid ska personer förstå att det brinner och ta beslut om vad som ska göras. På varuhus varierar besluts- och reaktionstiden enligt tabell 5.1. Tredje fasen är förflyttningstiden och den uppskattas genom simuleringar i Simulex.

Tabell 5.1: Förslag till besluts- och reaktionstider för varuhus. Bakgrunden till dessa redovisas av Frantzich [11]. Tabell hämtad från Boverket [6].

Verksamhet	Person ser branden	Besluts- och reaktionstid
Offentlig miljö, skola, kontor, varuhus, butik	Ja	1 min
Varuhus, inget larm	Nej	4 min
Varuhus, ringklocka	Nej	3,5 min
Varuhus, enkelt talat meddelande	Nej	2 min
Varuhus, informativt talat meddelande	Nej	1 min

Val av brandscenarier

Ett mycket stort antal brandscenarier kan inträffa i en byggnad som Veddesta Köpcentrum. Att identifiera alla dessa är ett mycket tidskrävande och omfattande arbete, men för att kunna säkerställa personsäkerheten måste hänsyn tas till alla möjliga fall. Ett tillvägagångssätt är att ta fram ett mindre antal dimensionerande bränder som på ett så bra sätt som möjligt representerar alla möjliga scenarier. De dimensionerande bränderna har stor betydelse för utformning och värdering av brandskyddet vilket gör att höga krav ställs på valet av brand.

6.1 Metod vid val av brandscenarier

Metoden vid val av brandscenarier går ut på att ta fram värsta troliga scenarier. Detta innebär att scenarier med hög konsekvens, men också med relativt hög sannolikhet, väljs ut. Därmed tas ingen hänsyn till händelser med mycket liten sannolikhet som till exempel att två av varandra oberoende bränder inträffar samtidigt. För att ta fram dimensionerande bränder grupperas först butiker med liknande storlek och egenskaper upp i kluster enligt tabell 6.1. Inom varje kluster väljs det värsta troliga scenariot ut enligt en metod som presenteras av Hansson [13], vilken sammanfattas nedan:

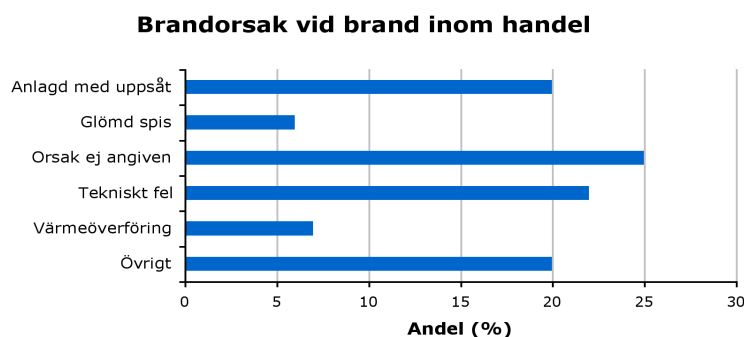
1. **Startutrymme:** Inledningsvis identifieras tänkbara utrymmen där brand kan uppstå.
2. **Typ av brand:** I varje startutrymme bedöms hur en brand kan uppstå och utvecklas. Hänsyn tas till faktorer som material och brandbelastning. Ur utrymningssynpunkt är brandens initialskede av störst intresse eftersom kritiska förhållanden ofta uppstår innan branden nått maximal effektutveckling.
3. **Särskilda riskfaktorer:** Faktorer som kan orsaka ovanligt stora konsekvenser identifieras. Dessa kan vara bristfälliga utrymningsvägar, föremål som blockerar utrymningsväg eller material som ger snabb brandtillväxt.
4. **System som påverkar branden:** Aktiva och passiva system som påverkar utrymningssituationen på objektet värderas. Sprinklersystem begränsar effektutveckling samt brandspridning. Utrymningslarmet har betydelse för hur tidigt branden upptäcks, som i sin tur påverkar utrymningstiden. Brandcellsindelning samt lokalernas storlek, material och geometri har betydelse för brand- och brandgasspridning samt tid till kritiska förhållanden. Likaså påverkas brandförloppet och utrymningstiden av butikernas organisation och agerande.
5. **Mänskligt agerande:** Personerna på objektet har olika beteendemönster som bör uppskattas vid utrymning. Fysiska, mentala och sociala egenskaper påverkar

tiden för utrymning men även medvetandegrad samt lokalkännedom och kunskap har stor betydelse. Faktorer som personers beslut och reaktionstid beaktas.

6. **Händelseträd:** Varje brand kan utvecklas på många olika sätt bland annat med avseende på brandgasspridning och flamspridning. Olika möjliga utfall identifieras kvalitativt.
7. **Uppskatta sannolikheter:** Sannolikheten för olika utfall baseras på statistisk, befintlig data eller ingenjörsmässiga bedömningar.
8. **Uppskatta konsekvenser:** Den kvantitativa bedömningen av punkterna 2 och 4 listas i tabell 6.1. Övriga punkter bedöms kvalitativt och samtliga punkter vägs sedan samman till en konsekvens. Konsekvenserna indelas i låg, mellan och hög och presenteras i tabell 6.1.
9. **Rangordna och välj scenario:** Scenarierna rangordnas efter dess konsekvens. Det scenario med allvarligast konsekvens väljs ut.

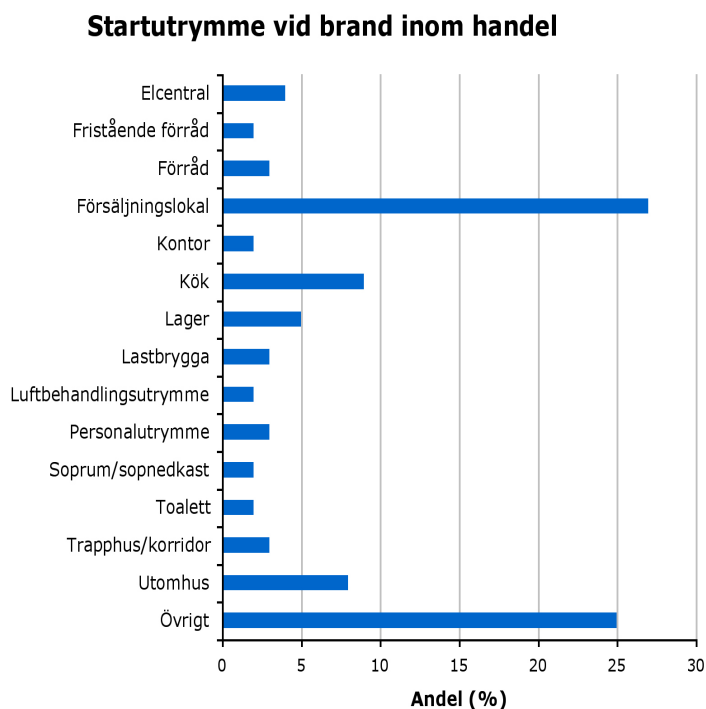
6.1.1 Sannolikhet

Sannolikheten för uppkomst av brand uppskattas med utgångspunkt i statistik över brandorsak, startutrymme och startföremål för bränder inom handeln, vilken är redovisad i figurerna 6.1 - 6.3. Statistiken bygger på insatser genomförda av landets räddningstjänster från januari 1998 till december 2004 sammanställd av Hansson [13].

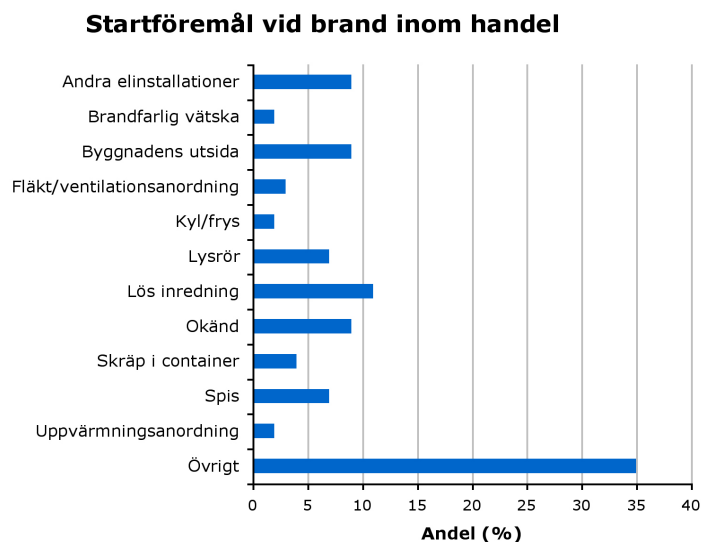


Figur 6.1: Andel bränder med en specifik brandorsak baserat på statistik sammanställd av Hansson [13].

Utifrån statistiken i figur 6.1 - 6.3 görs följande bedömningar: Den mest sannolika branden på Veddesta Köpcentrum orsakas antingen av tekniskt fel eller är anlagd. Vid *anlagd brand* är startutrymmet med stor sannolikhet försäljningslokalen och då med lös inredning som startföremål. En brand med *tekniskt fel* som brandorsak uppstår troligast i försäljningslokal, kök eller lager, där lös inredning, elinstallationer eller lysrör är startföremål. Figur 6.2 visar att bränder som startar utomhus uppstår relativt ofta, men eftersom konsekvensen av sådana anses vara liten och inte nämnvärt påverkar utrymning, beaktas dessa bränder inte i rapporten.



Figur 6.2: Andel bränder med specifikt startutrymme baserat på statistik sammanställd av Hansson [13].



Figur 6.3: Andel bränder med specifikt startföremål baserat på statistik sammanställd av Hansson [13].

Utifrån statistiken görs bedömningen att sannolikheten för brand är likvärdig i (hela objektet) samtliga butiker. Därmed behandlas inte sannolikheten ytterligare i rapporten utan utgångspunkten i alla brandscenarier är att brand har uppstått.

6.1.2 Konsekvens

Samtliga faktorer vägs samman till låg, medel eller hög konsekvens. Bedömningen är subjektiv och baseras på författarnas intryck från besök på objektet. Konsekvensen är det avgörande resultatet för urvalet av scenarier.

6.2 Brandscenarier

Följande tre kluster identifieras på Veddesta Köpcentrum:

1. Liten lokal med eller utan sprinkler
2. Medelstor lokal med eller utan sprinkler
3. Stor lokal med sprinkler

Med utgångspunkt i tabell 6.1 har följande brandscenarier valts ut:

- Brand på J.S Fashion (kluster 1)
- Brand på Skokanonens lager (kluster 2)
- Brand på Willy:s (kluster 3)

För att en situation där personer kan utsättas för fara ska kunna uppstå krävs att bränderna uppstår under köpcentrets öppettider vilket härefter förutsätts. Persontätheten antas vara hög men rimlig för att beräkningarna ska kunna anses som konservativa.

Tabell 6.1: Tabellen sammanfattar konsekvensen vid brand i respektive butik

Butik	Brand- belastning	Sprinkler	Konsekvens
Kluster 1			
J.S Fashion	Hög		Hög
Babyproffsen	Hög		Hög
Lynn's Tyger	Hög	x	Medel
Daisys	Medel		Medel
10:- butiken	Medel		Medel
Café Neon	Medel	x	Medel
K.U.L. Hund & Katt	Medel	x	Medel
Steffos Deli	Låg	x	Låg
Farmateket	Låg		Låg
HG Guld & Klockor	Låg		Låg
Hushåll	Låg		Låg
NAC Blomsterhandel	Låg		Låg
Parfymeri Iresia	Låg		Låg
Veddesta Glasögon	Låg	x	Låg
Veddesta Klippotek	Låg	x	Låg
Veddesta Sko & Nyckelservice	Låg	x	Låg
Surprise Shop	Medel	x	Låg
Veddesta Data	Låg	x	Låg
Kluster 2			
Skokanonen	Medel		Medel
Klädjätten	Hög	x	Medel
Kluster 3			
Willy:s	Hög	x	Medel
Överskottsbolaget	Hög	x	Medel

Brandscenario 1 - Willy:s

7.1 Lokalbeskrivning

Willy:s lokaler är belägna i huskropp B, se figur 2.1, med en total yta på 4500 m² och ca 6 meter i takhöjd. I sydöstra delen av lokalen på övre planet, finns lager som omfattar ca 930 m². Willy:s har även lager på undre planet, som är förbundet med övre lagret via ett hisschakt. Rapporten behandlar dock endast det övre planet. Lagret på Willy:s är avskilt mot butiken med en enklare vägg som är ca 4 meter hög, därmed finns en 2 meter hög öppning mellan väggen och innertaket. I motsatt ände av butiken finns en spelbutik som i normala fall måste passeras för att lämna butiken. Spelbutiken är avskilt från övriga butiken med en enklare vägg som når hela vägen upp till taket. Vid in- och utgången till butiken finns inga dörrar som skiljer butiken från övriga köpcentret. Hela lokalen är försedd med sprinklersystem och utrymningslarm och manuell släckutrustning finns utplacerat på ett flertal platser i butiken. Från hela lokalen finns sex möjliga vägar ut, varav fem stycken är skyltade utrymningsvägar, enligt följande:

- Ordinarie utgång efter kassorna, via spelbutiken, och vidare till huvudentrén (1).
- Dörr i nordöstra fasaden som leder till spiraltrappa ner till en innergård och sedan vidare ut genom Mio's varuutlämning (6).
- Centralt beläget brandtekniskt avskilt trapphus med spiraltrappa ner till bottenvåningen och därefter utrymning genom nedre lagret till det fria (9).
- Brandtekniskt avskilt trapphus, i närheten av kassorna, med spiraltrappa till bottenvåningen och dörr till det fria (10).
- Dörr i sydöstra fasaden, endast tillgänglig från övre lagret, med utvändig spiraltrappa till det fria (8).
- Utrymningsväg genom fönstret vidare ut på taket från konferensrummet innanför lagret (7).

För översikt över lokalen och utrymningsvägarna, se figur 2.3 och figur 4.4.

7.2 Motivering till val av brandscenario

En brand i Willy:s lokaler kan med avseende på butikens placering, brandbelastning, persontäthet och aktiva system anses vara representativ för ett värsta troligt scenario för kluster 3. I både butiken och lagret finns stora mängder brännbart material fördelat över hela ytan, och en brand kan riskera att blockera passagen för utrymning från huskropp A och C. Persontätheten inne på Willys kan förväntas variera kraftigt beroende på

tidpunkt på dagen och året. Vid särskilda tillfällen såsom jul- och nyårshelgerna kan, enligt personal antalet besökare vara upp till 400 personer. Även storleken på lokalerna kan förväntas ha inverkan vid utrymning. Till stor del beror detta på att brandgaser som transporteras en längre sträcka längs taket kyls av och sjunker mot golvet, vilket i sin tur kan leda till nedsatta siktförhållanden. Försämrade sikt kan också uppstå om sprinklersystemet löser ut och både kyler och blandar om brandgaserna.

7.3 Dimensionerande brand

Sannolikheten för att brand utbryter bedöms vara lika stor i hela butiken, och därför placeras branden på en plats som förväntas påverka utrymningen. En brand i chipshyllan har valts som dimensionerande brand för Willy:s eftersom chips brinner med hög tillväxthastighet. Chipsen är placerade i kartonger på tre hyllplan nära kassorna, se figur 7.1, vilket medför att branden kan hindra utrymning dels via den ordinarie utgången och dels via utrymningsvägen bakom kassorna. Branden bedöms tillväxa enligt en αt^2 -kurva med tillväxthastighet ultrafast, $\alpha = 0.19 \text{ kW/s}^2$, och nå en maximal effektutveckling på 6 MW, se figur 7.2. För metod och beräkningar se bilaga C.

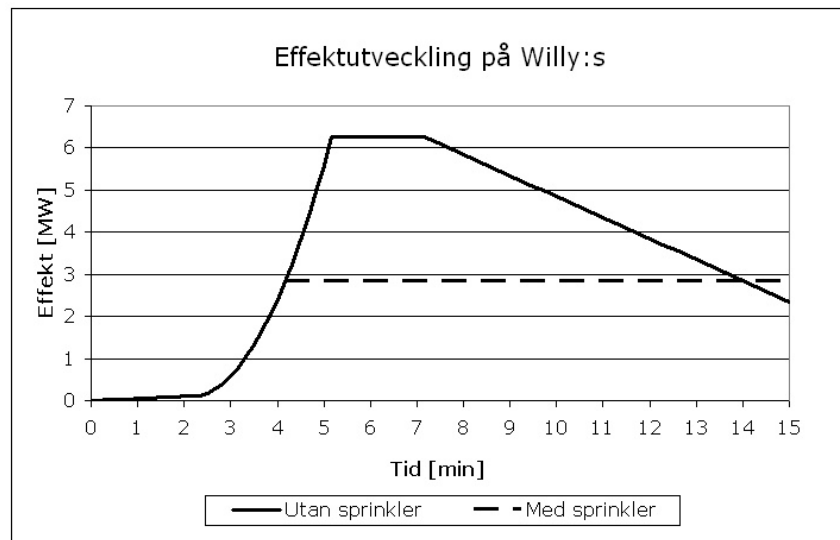


Figur 7.1: Chipshyllan på Willys

Willy:s har sprinklersystem som vid aktivering antingen kommer att släcka branden eller begränsa effektutvecklingen. För konservativa resultat ur utrymningssynpunkt görs antagandet att branden inte släcks utan endast blir begränsad. Aktiveringstiden för sprinklern beräknas i Detact QS till drygt 4 minuter och begränsar därefter branden till en maximal, konstant effektutveckling på 2,8 MW, se figur 7.2. För beräkningar se bilaga C.

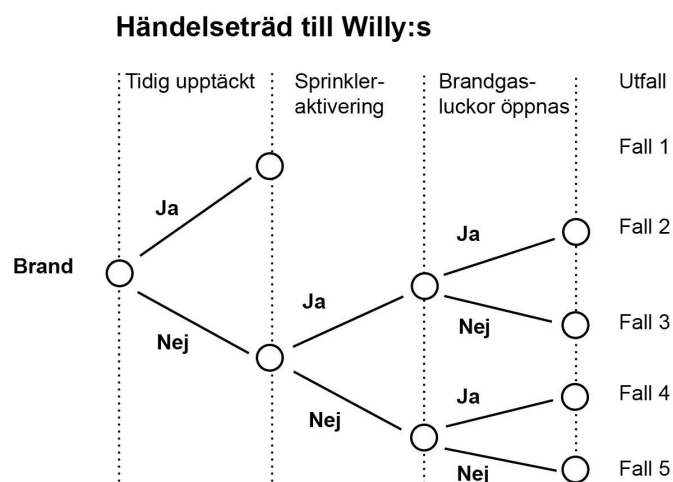
Utifrån figur 7.3 har följande möjliga utfall tagits fram:

- **Fall 1:** I detta fall upptäcks branden i tidigt skede och den går att släcka manuellt. Inne på Willy:s finns gott om släckutrustning i form av inomhusbrandposter och handbrandsläckare.



Figur 7.2: Effektutveckling på Willy:s, med och utan sprinkler.

- **Fall 2:** Branden tillväxer och blir så pass stor att den inte går att släcka manuellt av personal eller besökare. Efter en tid aktiverar sprinklern och begränsar branden, brandgaserna i taket är varma och brandgasluckorna öppnas.
- **Fall 3:** Detta fall har samma händelseförlopp som fall 2 med skillnaden att sprinklern kyler brandgaserna så brandgasluckorna inte öppnas.
- **Fall 4:** Branden tillväxer men sprinklern aktiverar inte av någon anledning. Brandgasluckorna öppnas till följd av varma brandgaser.
- **Fall 5:** I detta fall fungerar varken sprinklern eller brandgasluckorna.



Figur 7.3: Vid brand på Willy:s antas fem huvudsakliga fall kunna inträffa med avseende på brandens utveckling.

Fall 1 är ett troligt scenario eftersom det rör sig mycket folk i butiken och det finns

gott om släckutrustning, men bedöms inte som ett intressant fall att studera eftersom branden släcks och ingen utrymning blir nödvändig. Fall 2 kommer inte att simuleras eftersom det är ett mindre troligt scenario där temperaturen i brandgaserna förväntas sjunka när sprinkler löser ut. Därmed kan även smältbleckens temperatur förväntas sjunka och aktivering av brandgasluckorna uteblir. Det enda som kan höja temperaturen i smältbläcket är om branden börjar tillväxa igen [14]. Av samma anledning bedöms fall 3 vara det mest troliga scenariot och simuleras som huvudfall. Fall 4 simuleras i en känslighetsanalys för att se hur utrymningssituationen påverkas om sprinklern inte aktiveras men brandgasluckorna öppnas. Både aktivering av sprinkler och brandgasluckor sker mekaniskt och systemen anses vara tillförlitliga. Att båda funktionerna skulle falla är mycket osannolikt och därför simuleras inte fall 5.

7.4 Resultat

Nedan presenteras resultaten från de olika simuleringarna som genomförts i CFAST och Simulex. Tiden till kritiska förhållanden bestäms efter de förutsättningar som gäller i fall 3. Brandgaslagrets höjd i butiken får enligt ekvation 5.1 bli som lägst 2,2 meter över golvnivån. Förflyttningstiden för utrymmande personer beräknas genom simulering i Simulex.

7.4.1 Tid till kritiska förhållanden

Kritiska förhållanden bestäms enligt avsnitt 5.1. Resultaten redovisar vid vilken tid efter utbruten brand som de olika kriterierna för kritiska förhållanden eventuellt uppfylls.

Vid simulering av fall 3 understiger höjden på brandgaslagret aldrig den kritiska nivån på 2,2 meter. Strålningsintensiteten från brandgaslagret överstiger aldrig den kritiska nivån på 2,5 kW/m². Hänsyn tas inte till strålningsintensiteten från branden eftersom denna är låg i början av brandförloppet och personer som står nära branden hinner förflytta sig. Lufttemperaturen i den undre zonen ligger mellan 20-23°C och uppgår alltså inte till det kritiska värdet på 80°C. I brandgaslagret stiger temperaturen till drygt 100°C i närheten av branden men en bit bort sjunker temperaturen och uppgår till maximalt 50°C. För att ett brandgaslager ska kunna uppstå krävs en temperaturskillnad på 30-40°C. Att ett brandgaslager inte uppstår vid brand på Willy:s är därför mycket troligt. Dålig sikt kan påverka utrymningen om brandgaserna blir omblandade i lokalen. Tid till kritiska förhållanden på grund av sikt vid väl omblandade brandgaser beräknas i bilaga C och visar att sikten i lokalen understiger 10 meter vid tiden 5,8 minuter.

7.4.2 Utrymning

De förutsättningar som gäller vid utrymningssimuleringen presenteras i bilaga C. Total tid för utrymning beräknas enligt ekvation 5.2. Totalt har 600 personer placerats i butiken varav ca 450 har utrymt efter 5,8 minuter. Hela butiken är utrymd efter drygt 8 minuter. Den långa utrymningstiden beror framförallt på kraftig köbildning vid de

två utrymningsvägarna men också på det långa gångavståndet som personer långt in i butiken har fram till närmaste utrymningsväg. Hela köpcentret är utrymt efter drygt 10,5 minuter.

7.5 Konsekvenser

När kritiska förhållanden uppstår inne i butiken har 450 personer haft möjlighet att utrymma. För de personer som är kvar i butiken är sikten så pass dålig att den anses kraftigt försvåra vidare utrymning. Med de utrymningsvägar som i dag är tillgängliga kan butiken därmed inte ha mer än 450 kunder samtidigt för att personsäkerheten ska kunna säkerställas.

7.6 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys genomförs för att identifiera hur olika parametrar påverkar personsäkerheten. I CFAST simuleras vad som händer om sprinkler inte aktiverar men brandgasluckorna fungerar, enligt fall 4. När brandgasluckorna öppnar kommer en viss mängd brandgaser att flöda ut. Brandgaserna har fortfarande låg temperatur och därmed liten termisk stigningskraft. Avkylda brandgaser kommer med stor sannolikhet att försämra sikten även i detta fall men kritiska förhållanden uppstår senare än i fall 3. Temperaturen i det undre lagret varierar mellan 20-27°C och strålningsintensiteten från brandgaslagret kommer maximalt upp till 0,5 kW/m². Varken temperatur eller strålning når således kritiska nivåer.

Med de förutsättningar som gäller tar det lång tid innan Willy:s är helt utrymt, vilket kan bero på att utrymningstrappan där belysningen ej fungerar inte används i simuleringen. För att se hur utrymningen från Willy:s påverkas om det släckta trapphuset kan användas görs en simulering där denna utrymningsväg är tillgänglig. Då kritiska förhållanden uppstår, efter 5,8 minuter, har ca 550 personer lämnat butiken och alla 600 personer har utrymt efter 6,5 minuter. Detta är en klar förbättring jämfört med när trappan inte används då det tar drygt 8 minuter att utrymma. Utrymningstiden för hela köpcentret påverkas inte anmärkningsvärt och det tar fortfarande drygt 10,5 minuter.

Då rökpotentialen för chips har uppskattats av författarna har en känslighetsanalys gjorts för att utreda rökpotentialens inverkan på tiden till kritiska förhållanden, se bilaga C.4.1. Analysen visar att en fördubbling av värdet endast förkortar tiden till kritiska förhållanden med 20 %. Därför anses rökpotentialens inverkan på tiden till kritiska förhållanden som liten och eventuella felaktigheter i uppskattningen är godtagbara.

Brandscenario 2 - J.S Fashion

8.1 Lokalbeskrivning

J.S Fashion är en mindre klädbutik belägen längs passagen, se butik nr 6 i figur 2.3. Butikens area är 90 m² och taket är något sluttande med medeltakhöjden 2,6 meter. Butikens vägg mot passagen består av glasrutor och det finns endast en utgång, som leder till passagen. Större delen av butiken upptas av kläder, en stor golvyta upptas av klädkorgar samt klädställningar och på väggarna hänger kläder, se figur 8.1. Även utanför butiken finns ställningar med kläder, se figur 8.2. I butiken finns varken sprinkler, rök- eller värmedetektorer. Om brand uppstår i butiken bedöms denna upptäckas visuellt i ett tidigt skede av personal eller kunder. I passagen utanför butiken finns rökdetektorer samt sprinkler som förväntas fungera korrekt. Utrymning från butiken sker genom dess entré ut till passagen och vidare ut till det fria via köpcentrets huvudentré.



Figur 8.1: Butiken J.S Fashion

8.2 Motivering till val av brandscenario

En brand på J.S Fashion kan med avseende på butikens placering, brandbelastning och avsaknad av aktiva system anses vara representativ för kluster 1, se tabell 6.1. Brandbelastningen bedöms som hög eftersom mycket brännbart material finns på en liten yta. En brand kan starta inne i butiken eller i klädställningarna utanför. Butikens placering längs passagen innebär att brand och brandgaser kan spridas ut i passagen



Figur 8.2: Passagen utanför J.S Fashion

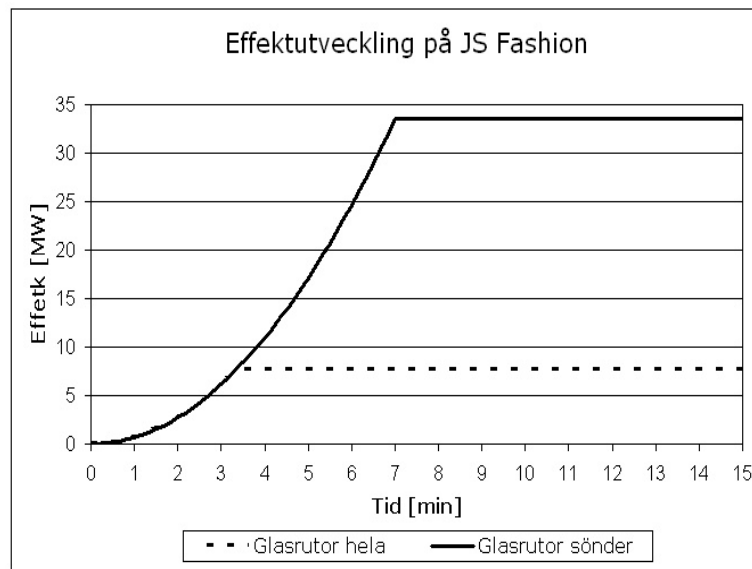
och därmed blockera utrymningsvägen till huvudentrén. Avsaknaden av aktiva system i butiken inverkar även på valet av brandscenario. Persontätheten bedöms variera under året med störst antal personer i butiken vid löneutbetalning, rea och julhandel.

8.3 Dimensionerande brand

Branden antas starta inne i butiken. På J.S Fashion är brandbelastningen hög och tillväxthastigheten för branden bedöms vara stor. För att bestämma effektutvecklingen används en αt^2 -kurva med tillväxthastigheten ultrafast, $\alpha=0.19 \text{ kW/s}^2$. Se bilaga B för teori om αt^2 branden. Den maximala effektutvecklingen bestäms av ventilationsförhållanden. Vid ventilationskontrollerad brand kan två fall uppstå, antingen är glasrutorna mot passagen hela och tilluft kommer endast från ingången eller så går glasrutorna sönder och branden får tillgång till mer luft. Vid hela glasrutor kommer den lilla tilluftsöppningen att begränsa tillförseln av syre och den konstanta, maximala effektutvecklingen blir 7,4 MW efter 200 sekunder. Om glasrutorna går sönder kan branden tillväxa till maximalt 33,6 MW vilket uppnås efter 420 sekunder. Den höga effektutvecklingen beror framförallt på de stora tilluftsöppningar som skapas då glasrutorna går sönder, vilket bedöms ske när temperaturen på den brandexponerade sidan uppgår till 340°C [4]. För beräkningar se bilaga D.

Utifrån figur 8.4 har följande möjliga utfall tagits fram:

- **Fall 1:** I detta fall upptäcks branden i ett tidigt skede och släcks manuellt av personal eller besökare. I passagen utanför butiken finns en inomhusbrandpost som kan användas till manuell släckning.
- **Fall 2:** Branden tillväxer och blir så pass stor att den inte går att släcka manuellt. Den höga temperaturen i butiken medför att fönsterrutorna mot passagen går sönder. Den maximala effektutvecklingen i butiken kan teoretiskt uppgå till 33,6 MW. I passagen aktiveras sprinklern som förhindrar att branden sprids till

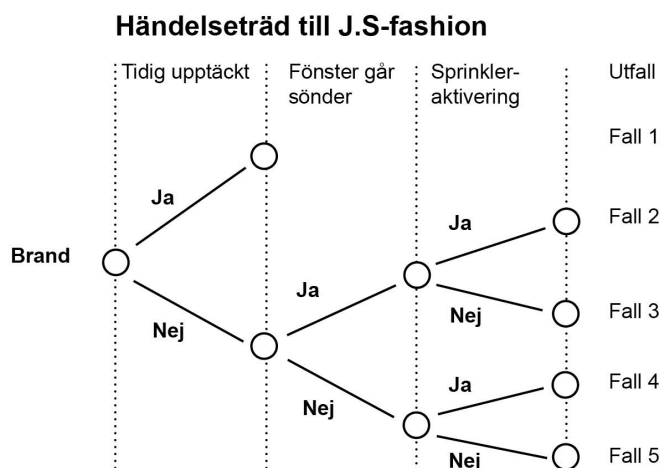


Figur 8.3: Figuren visar effektutvecklingen på J.S Fashion om glasrutorna är hela respektive går sönder.

klädställningarna som finns där.

- **Fall 3:** Detta fall har samma händelseförlopp som fall 2 med skillnaden att sprinklern i passagen inte aktiverar. Detta medför att kläderna i passagen antänder.
- **Fall 4:** Branden tillväxer men fönstren mot passagen går inte sönder. Den maximala effektutvecklingen uppgår till 7,4 MW. Sprinklern i passagen aktiverar på grund av varma brandgaser som strömmar ut genom butikens öppning. Sprinklern förhindrar antändning av klädställningarna i passagen.
- **Fall 5:** Detta fall har samma händelseförlopp som fall 4 med den skillnaden att sprinklern i passagen inte aktiverar. Kläderna i passagen antänds på grund av förbränning ut genom butikens öppning.

Vid fall 1 släcks branden i ett tidigt skede och leder därför inte till några betydliga konsekvenser med avseende på personsäkerheten. Fall 5 anses ha liknande följder som fall 3. Därför simuleras endast fall 2, 3 och 4 i CFAST. Glasrutorna antas med stor sannolikhet gå sönder eftersom en hög temperatur i butiken, på grund av den snabba brandtillväxten, förväntas uppstå relativt snabbt. Sannolikheten för ett fungerande sprinklersystem bedöms som stor och i samband med att varma brandgaser strömmar ut i passagen förväntas sprinkleraktivering ske. Aktiverad sprinkler antas förhindra antändning av klädställningarna i passagen. Därför väljs fall 2 som det mest sannolika scenariot och resultaten från denna simulering presenteras i avsnitt 8.4. Fall 3 och fall 4 behandlas i känslighetsanalysen avsnitt 8.6.



Figur 8.4: Vid brand på J.S Fashion antas fem möjliga fall kunna inträffa med avseende på brandens utveckling.

8.4 Resultat

Nedan presenteras resultat från simuleringar som genomförts i CFAST och Simulex. Tid till kritiska förhållanden bestäms efter de förutsättningar som gäller i fall 2. Brandgaslagrets kritiska höjd över golvet är 1,9 meter i både passagen och butiken enligt ekvation 5.1. CFAST beräknar också om brandens effektutveckling begränsas eller inte. I fall 2 på J.S Fashion visar det sig att den valda branden avtar i tillväxt efter ca 4 minuter och den maximala effektutvecklingen 16 MW uppnås efter ca 7 minuter.

8.4.1 Tid till kritiska förhållanden

Kritiska förhållanden bestäms enligt avsnitt 5.1. I tabell 8.1 redovisas vid vilken tid efter utbruten brand som de olika kriterierna för kritiska förhållanden eventuellt uppfylls.

Tabell 8.1: J.S Fashion fall 2. Tid i minuter till kritiska förhållanden uppstår för respektive lokal och kriterium.

Lokal	Brandgaslagrets höjd	Sikt	Temperatur	Strålning
Butik	1 min	-	4 min	2 min
Passage	1,5 min	-	5 min	3 min
Hela köpcentret	-	3 min	-	-

Glasrutorna mot passagen går sönder efter drygt 2 minuter. Enligt tabell 8.1 uppstår kritiska förhållanden i butiken redan efter ca 1 minut, då brandgaslagret sjunker till kritisk höjd. Vid tidig upptäckt av brand krävs att släckinsatsen påbörjas inom denna tid, därefter är förhållandena för allvarliga. I passagen uppstår kritiska förhållanden efter ca 1,5 minuter, då brandgaslagret sjunker under kritisk nivå. Sprinkler i passagen aktiveras efter ca 3 minuter, se bilaga D. Vid denna tidpunkt har kritiska förhållanden

i passagen redan uppstått. Sprinkleraktiveringen medför att brandgaserna kyls och blir väl omblandade och sikten försämras markant.

Om brandgaserna antas fördelas jämt i hela köpcentret och vara väl omblandade är sikten 10 meter efter 3 minuter. För tillvägagångssätt vid beräkningar se avsnitt D.4.

Att tiderna för kritiska förhållanden som erhållits i CFAST är så pass korta beror på att det inte tagits hänsyn till någon förbrinntid. I den dimensionerade branden antas det bildas flammor momentant vid antändning som avger tillräckligt med energi att antända närliggande bränsle. Brandförloppet blir därmed snabbare än om förbrinntiden tas med.

8.4.2 Utrymning

De förutsättningar som gäller vid utrymningssimuleringen presenteras i bilaga D. I ett utrymningsscenario där brand i J.S Fashion har uppstått tar det totalt 16 minuter att utrymma hela köpcentret. I denna tid ingår varseblivningstid, beslut- och reaktionstid samt förflyttningstid, enligt ekvation 5.2, där förflyttningstiden erhålls i Simulex. Vid simuleringen är det endast personer som befinner sig i butiker kring passagen som använder huvudentrén som utrymningsväg. Den långa utrymningstiden beror på att huvudentrén är blockerad för personerna som befinner sig i övre delen av köpcentret. Detta skapar långa köer vid de befintliga nödutgångarna i övre delen av köpcentret då dörrarna är smala och spiraltrapporna endast tillåter en person i bredd. I simuleringen har 30 personer placerats i J.S Fashion, vilka lämnar butiken inom 1 minut. Passagen och närliggande butiker utryms på 3,5 minuter.

8.5 Konsekvenser

Vid brand i J.S Fashion uppstår kritiska förhållanden väldigt snabbt, efter 1 minut i butiken och efter 1,5 minuter i passagen. Enligt siktberäkningarna uppstår kritiska förhållanden i övriga delar av köpcentret efter 3 minuter. Även om detta är en approximativ tid, visar resultatet att det går väldigt fort för sikten att försämras så att tillfredställande utrymning inte kan ske.

Utrymningssimuleringen visar att utrymning av hela köpcentret tar lång tid på grund av att huvudentrén blockeras och att det finns få alternativa nödutgångar, varav flera endast tillåter passage av en person i taget. I passagen uppstår kritiska förhållanden innan alla personer utrymt via huvudentrén. Personer som utrymmer via nödutgångar i övre delen av köpcentret upplever kritiska förhållanden med brandgaser och dålig sikt under nästan hela utrymningstiden. Utrymningstiden är i nuläget oacceptabelt lång och åtgärder för att minska denna måste genomföras.

8.6 Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen i detta avsnitt genomförs för att undersöka hur olika parametrar påverkar personsäkerheten vid brand på J.S Fashion.

Om sprinklersystemet i passagen inte fungerar är risken stor att klädställningarna i passagen antänder när glasrutorna går sönder, vilket sker efter drygt 2 minuter. För att undersöka om tiden till kritiska förhållanden påverkas av detta simuleras fall 3 i CFAST. Branden tillväxer likt fall 2 med undantag att när glasrutorna går sönder startar ytterligare en brand i passagen utanför butiken. Den nya branden tillväxer enligt en ultrafast αt^2 -kurva. Tid till kritiska förhållanden i butiken och passagen är samma som fall 2, nämligen 1 minut respektive 1,5 minuter, eftersom förhållandena uppnås innan kläderna i passagen antänder. Branden är ventilationskontrollerad med maximal brandeffekt på ca 18 MW efter 6,5 minuter. Den totala brandeffekten är alltså större än i fall 2 och brandgaslagret i passagen är varmare. Detta innebär att en större volym brandgaser strömmar in i resten av köpcentret, vilket resulterar i att det tar kortare tid för sikten att försämras till 10 meter.

Vid fallet att sprinkler i passagen inte fungerar försämras personsäkerheten och utrymningen behöver alltså genomföras på en kortare tid för att personerna inte ska uppleva kritiska förhållanden.

Enligt fall 4 går glasrutorna *inte* sönder och sprinklersystem i passagen fungerar som vanligt, vilket innebär att brandspridning till klädställningarna i passagen förhindras. Även här påverkas inte tiden till kritiska förhållanden i butiken och passagen eftersom dessa uppnås innan glasrutorna går sönder. Branden är ventilationskontrollerad efter 3 minuter med maximal brandeffekt på ca 6,5 MW. Då fallet inte skiljer sig från fall 2 under brandförloppets tre första minuter, förväntas samma utrymningsituation uppstå och personsäkerheten förbättras därmed inte.

Även ett fall genomförs för att studera om brandens tillväxthastighet påverkar tid till kritiska förhållanden och därmed personsäkerheten. I detta fall sätts brandens tillväxthastighet till fast, $\alpha=0,047 \text{ kW/s}^2$, istället för ultrafast. Resultaten som erhålls i CFAST visar att kritiska förhållanden i butiken uppstår efter 1 minut då brandgaslagrets höjd sjunker under kritisk nivå. I passagen uppnås kritiska förhållanden efter 2 minuter. Efter ca 5 minuter är sikten 10 meter i hela köpcentret. Se bilaga D.5 för beräkningar och resultat. Resultaten visar således att tid till kritiska förhållanden inte påverkas nämnvärt av att branden tillväxer enligt fast istället för ultrafast.

Brandscenario 3 - Skokanonens lager

9.1 Lokalbeskrivning

I Skokanonen arbetar upp till tre personer samtidigt och försäljningen består huvudsakligen av skor. Lokalerna är belägna i anslutning till passagen i huskropp D, se figur 2.1. Den total lokalytan är ca 620 m², där lagret utgör ca 160 m². Innertaket sluttar med höjd från 4,7 meter till 5,6 meter. På lagret förvaras varor, huvudsakligen skor i kartonger, staplade i ca 3-4 meter höga hyllor. Lagret skiljs från butiken med en vägg som är 3 meter hög, vilket därmed lämnar en ca 2 meter hög öppning mellan väggen och innertaket. De två lokalerna förbinds också via en utrymningsdörr som normalt hålls stängd, och en lucka för kundtjänst som alltid är öppen. Väggen mellan butiken och passagen utgörs av glaspartier som sträcker sig från golvet upp till taket i passagen. Utrymning från butiken kan ske dels via ordinarie utgång och vidare till huvudentrén, dels via en skyltad utrymningsväg via lagret till en brandtekniskt avskiljd utrymningskorridor, som leder ut till det fria. Lokalen är inte försedd med sprinklersystem men det finns två detektorer som antas vara av rökdetektortyp, en i butiken och en på lagret. Släckutrustning i form av inomhusbrandposter och handbrandsläckare finns tillgängliga i utrymningskorridoren bakom lagret, i butiken vid dörren till lagret, samt utanför butikens entré.

9.2 Motivering till val av brandscenario

En brand i Skokanonens lokaler kan med avseende på butikens placering, brandbelastning, persontäthet och aktiva system anses vara representativ för ett värsta troligt scenario för kluster 2, se tabell 6.1.

På Skokanonens lager finns stora mängder brännbart material placerat i höga hyllor, se figur 9.1. Bränder i material som är staplat på höjden är särskilt intressant att studera, eftersom de ofta har en mycket snabb brandtillväxt. Med tanke på det låga personlantalet inne på lagret kan branden förväntas tillväxa en tid utan att bli upptäckt. Det finns inget sprinklersystem i Skokanonens lokaler och en brand på lagret riskerar att blockera en av butikens två utrymningsvägar. Brandgaser kan även spridas till passagen och därmed försvåra utrymning till huvudentrén.

9.3 Dimensionerande brand

Branden i detta scenario antas starta i en av hyllorna på lagret, se figur 9.1. För att bestämma brandförloppet tas en effektutvecklingskurva fram enligt en metod där brandbelastningen delas upp i mindre enheter. Varje enhet antas brinna enligt en viss

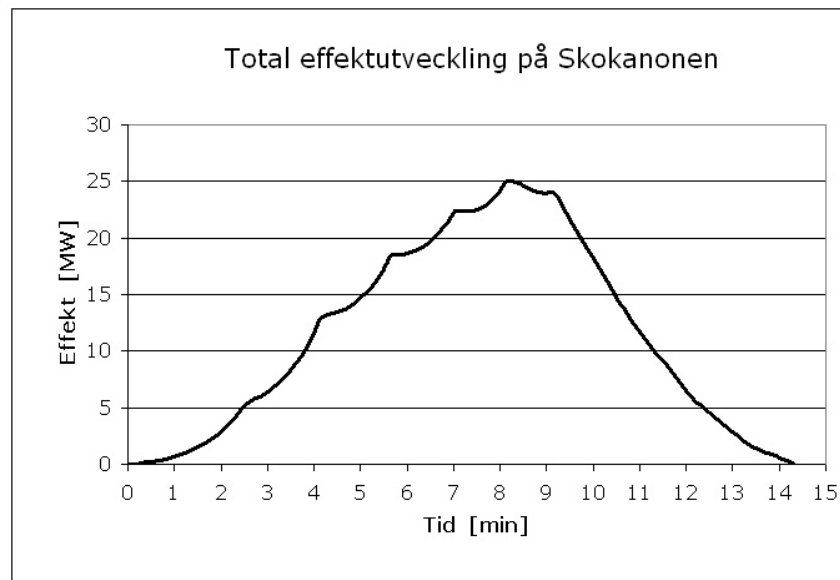


Figur 9.1: Lagret på Skokanonen där den dimensionerande branden startar.

effektutvecklingskurva, se figur E.2 i bilaga E. Vid framtagandet av effektutvecklingen för en enhet har resultat från experiment studerats [25, 15]. Varje enhetsbrand antas tillväxa enligt en αt^2 -kurva med tillväxthastighet ultra fast, $\alpha=0,19 \text{ kW/s}^2$, upp till en maximal effektutveckling på drygt 4 MW. Därefter avtar effektutvecklingen linjärt under 5 minuter ner till 0 MW. Branden startar i en enhet och sprids sidledes till närliggande enheter i två riktningar. För att beskriva spridningsförloppet antas närliggande enheter på båda sidor om initialbranden antändas med en tidsfördröjning på 100 sekunder. För varje ytterligare enhetspar som antänds förkortas tidsfördröjningen med 10 sekunder. Totalt involveras nio enheter i branden och den totala effektutvecklingen beräknas genom att samtliga enheters effektutveckling adderas till varandra, se figur 9.2. För vidare diskussion och beräkningar hänvisas till bilaga E.

Utifrån figur 9.3 har följande möjliga utfall tagits fram:

- **Fall 1:** I detta fall upptäcks branden av en person ur personalen i ett så pass tidigt skede att den går att släcka. I anslutning till lagret finns tillgång till både handbrandsläckare och inomhusbrandpost.
- **Fall 2:** Branden tillväxer och blir så pass stor att den inte går att släcka. Utrymningsvägen från lagret används och lämnas öppen eftersom den inte har någon dörrstängare, vilket i sin tur kan orsaka brandspridning ut i utrymningsvägen. Brandgasluckorna i butiken öppnas efter ca 2 minuter, till följd av de varma brandgaserna.
- **Fall 3:** Detta fall har samma händelseförlopp som fall 2 med den skillnaden att brandgasluckorna inte öppnar.
- **Fall 4:** Branden tillväxer och brandgasluckorna i butiken öppnas. Utrymningsvägen på lagret lämnas stängd.



Figur 9.2: Den totala effektutvecklingen för den dimensionerande branden på Skokanonens lager bygger på addering av flera mindre enhetsbränder, se bilaga E.

- **Fall 5:** Detta fall har samma händelseförlopp som fall 4 med den skillnaden att brandgasluckorna inte öppnar.

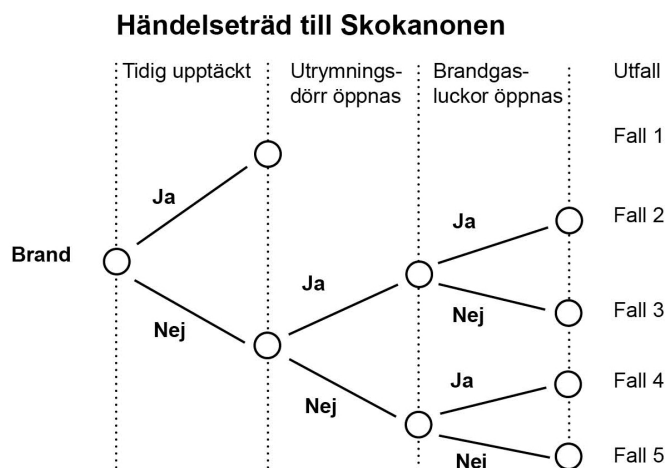
Fall 4 bedöms beskriva det mest troliga händelseförloppet för en brand på Skokanonens lager och väljs därmed till huvudfall. Det är inte troligt att personer väljer att utrymma till och genom den lokal där branden är lokaliserad och brandgasluckorna förväntas fungera som de ska. Dock utförs även simuleringar på fall 2, 3, 5 samt ytterligare en variant av fall 4. Skillnader och likheter mellan fallen diskuteras i avsnitt 9.6. Fall 1 simuleras inte eftersom den förväntade konsekvensen inte är av sådan karaktär att den är intressant att belysa i denna rapport.

9.4 Resultat

Nedan presenteras resultaten från de olika simuleringarna som genomförts i CFAST och Simulex. Observera att tiden till kritiska förhållanden i respektive lokal presenteras för fall 4. Brandgaslagrets höjd i butiken, lagret och utrymningskorridoren får enligt ekvation 5.1 som lägst bli 2,1 meter från golvet. I passagen får brandgaslagret lägst sjunka till 1,9 meter över golvet. CFAST beräknar även om brandens effektutveckling begränsas eller inte. I fall 4 på Skokanonen visar det sig att den valda branden begränsas till en maximal effektutveckling på ca 16 MW.

9.4.1 Tid till kritiska förhållanden

Kritiska förhållanden bestäms enligt avsnitt 5.1. I tabell 9.1 redovisas vid vilken tid efter utbruten brand som de olika kriterierna för kritiska förhållanden eventuellt uppfylls.



Figur 9.3: Vid brand på Skokanonens lager antas fem möjliga fall kunna inträffa med avseende på brandens utveckling.

Det står klart att butiken måste vara utrymd inom 4,5 minuter eftersom strålningsintensiteten från brandgaslagret annars blir för hög. Däremot släpper brandgasluckorna ut tillräckligt med rök för att hålla brandgaslagret i butiken relativt högt upp från golvet vilket i sin tur innebär att brandgaser inte läcker ut till passagen. Resultaten visar också att brandgaslagret inte når nämnvärt höga temperatur under den tid de är i kontakt med glaspartierna mot passagen. Risk för brandgasspridning på grund av att glasrutorna spricker av värme föreligger därmed inte.

För att tidig upptäckt ska leda till släckning av branden krävs att släckinsatsen genomförs inom ca 2,5 minuter, därefter råder kritiska förhållanden på lagret. Det är dessutom viktigt att tänka på att risken är stor för att siktförhållandena försämras när släckning påbörjas, såväl med vatten som med pulver.

Tabell 9.1: Skokanonens fall 4. Tid i minuter till kritiska förhållanden uppstår för respektive lokal och kriterium.

Lokal	Brandgaslagrets höjd	Temperatur	Strålning
Lager	2,5 min	4 min	6,5 min
Butik	-	-	4,5 min
Passage	-	-	-
Utrymningskorridor	-	-	-

I tabell 9.1 har sikten uteslutits eftersom temperaturen i brandgaserna når över 80°C innan brandgaslagret i respektive rum sjunker under kritisk höjd. Detta innebär att även om sikten i brandgaserna är tillräckligt bra så är det för varmt för att utrymning ska vara möjlig.

9.4.2 Utrymning

De förutsättningar som gäller vid utrymningssimuleringen presenteras i bilaga E. I simuleringen har 70 personer placerats i butiken vilken är utrymd efter totalt 3,5 minuter och samtliga personer har lämnat köpcentret efter 9 minuter. En andra simulering görs när personantalet inne på Skokanonen ökas, med syftet att se hur många som lämnat butiken vid en viss tid. Vid denna simulering har 200 personer lämnat butiken när kritiska förhållanden uppstår efter 4,5 minuter. I den senare simuleringen uppstår köbildning i utrymmet precis utanför butiken eftersom personer från andra butiker ska passera genom samma väg.

9.5 Konsekvenser

Enligt beslutat från CFAST inträffar kritiska strålningsnivåer från brandgaslagret efter 4,5 minuter inne på Skokanonen. Inom 4,5 minuter hinner drygt 200 personer utrymma från Skokanonen trots att bakre utrymningsvägen inte används i detta fall. Under rådande förhållanden kan därmed upp till 200 personer vistas inne i butiken vilket är klart över förväntat antal besökare. I passagen uppstår inte kritiska förhållanden eftersom brandgaser ventileras ut genom brandgasluckorna. Skulle personantalet vara mycket stort i de tre butikerna Skokanonen, 10:- butiken och NAC Blomsterhandel så kan problem uppstå på grund av köbildning i det gemensamma utrymmet vid ingångarna.

9.6 Känslighetsanalys

För att kunna jämföra och förankra beslutaten från simulering av fall 4 har som ovan nämnts även fallen 2, 3 och 5 simulerats. Den mest uppenbara skillnaden mellan fallen är att fall 4 har det bästa utfallet eftersom passagen under hela brandförloppet förblir fri från brandgaser. Ett intressant iakttagande är dock att om utrymningsdörrarna mellan butiken och lagret samt mellan lagret och utrymningskorridoren öppnas och förblir öppna får branden ett helt annat förlopp.

I fall 2, då brandgasluckorna fungerar som vanligt och utrymningsdörrarna lämnas öppna, ökar effektutvecklingen i brandrummet kraftigt. Detta är möjligt eftersom de öppna utrymningsdörrarna tillsammans med öppningen under taket ger upphov till större syretillförsel och en sorts skorstenseffekt där luft sugas in nedtill och brandgaser flödar ut upptill. Om detta inträffar visar det sig att brandgaslagret i butiken sjunker så lågt att rök läcker ut till passagen som blir obrukbar för utrymning vid 4,5 minuter efter att branden startat. I utrymningskorridoren uppstår kritiska förhållanden, till följd av rökfyllnad, efter ca 5 minuter. Det är således uppenbart att det relativt lindriga brandförloppet i fall 4 är kraftigt beroende av om utrymningsdörrarna genom lagret hålls stängda eller inte.

Om luckornas funktion fallerar och utrymningsdörrarna genom lagret lämnas öppna, såsom i fall 3, blir effektutvecklingen åter begränsad till ca 16 MW men brandgaser läcker ut till passagen där kritiska förhållanden uppstår efter ca 3 minuter. I fall 3 inträffar också kritiska förhållanden i utrymningskorridoren omkring 4 minuter efter att branden bryter ut. Detta påvisar vikten av brandgasluckornas funktion.

Mest troligt är att utrymningsvägen genom lagret, och därmed brandrummet, inte används. Om brandgasluckorna dessutom förblir stängda uppkommer en situation enligt fall 5. I detta fall blir den maximala effektutvecklingen på grund av syrebrist begränsad till drygt 13 MW. Den begränsade ventilationen leder till att butiken måste utrymmas inom 3 minuter och att brandgasspridning ger kritiska förhållanden i passagen ca 3,5 minuter efter utbruten brand.

Av fall 4 görs ytterligare en simulering för att se hur utrymning påverkas av en fördröjd aktivering av brandgasluckorna. Luckorna aktiveras efter 3 minuter istället för 2 minuter som i huvudfallet, se bilaga E. Efter 3 minuter blir brandgaslagrets höjd kritisk i butiken men brandgaserna stiger igen då luckorna öppnar. När luckorna är öppna nås inte kritiska nivåer. Om aktiveringen av brandgasluckorna fördröjs till 3 minuter läcker brandgaser ut i passagen, men inga kritiska förhållanden uppstår där. En något fördröjd aktivering av brandgasluckorna påverkar därmed inte personsäkerheten vid brand.

I Simulex görs för jämförelse en simulering då dörren till lagret är öppen och personer utrymmer även via den bakre utrymningskorridoren tidigt i brandförloppet, såsom i fall 2. I detta fall har alla personer lämnat butiken efter knappt 3 minuter. Utrymningstiden är marginellt kortare om utrymningsvägen via lagret används. Detta beror antagligen på att ingången till butiken enligt tidigare analys är tillräckligt bred och många personer kan utrymma där samtidigt. Besökare som befinner sig i övre delen av köpcentret utrymmer via egna utrymningsvägar. Inga personer härifrån antas utrymma via passagen och huvudentrén eftersom denna blir obrukbar för utrymning efter ca 4,5 minuter vid fall 2. Alla personer har lämnat köpcentret efter drygt 16 minuter jämfört med tidigare 9 minuter. Huvudentrén kan därför anses som en mycket viktig utrymningsväg.

Brandgasspridning via ventilationssystemet

Eftersom köpcentret med undantag för utrymningskorridoren utgörs av en brandcell, finns endast ett fåtal brandskyddsåtgärder i ventilationssystemet som förhindrar brandgasspridning. Det som är intressant att studera är hur stor brand som krävs för att få brandgasspridning via ventilationssystemet.

Fullständiga ventilationsritningar för objektet har inte varit möjligt att få fram. Vid den senaste ombyggnaden av huskropparna G och F, se figur 2.1, byggdes ventilationssystemet om. Med hjälp av ventilationsritningen från ombyggnaden kan beräkning på brandgasspridning göras, men med vissa antaganden eftersom fullständiga uppgifter saknas. Detta innebär att resultaten från beräkningarna ska anses som approxmativa. Scenariot som väljs att studera är brandgasspridning från J.S Fashion till angränsande butiker.

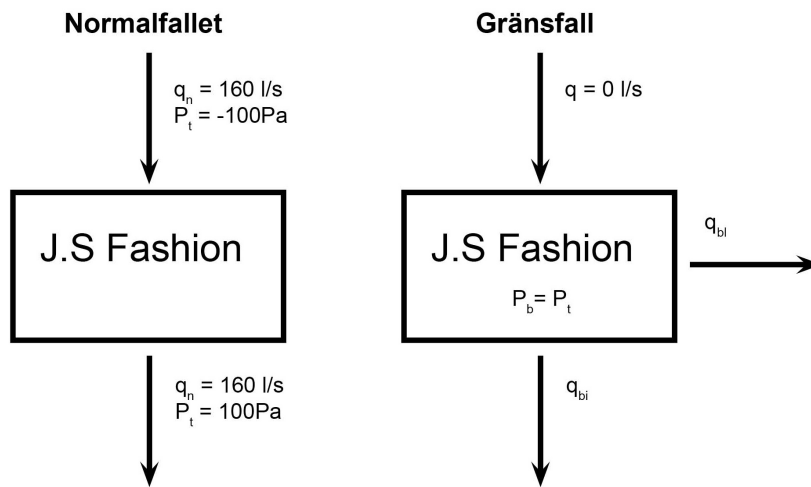
Ventilationssystemet på J.S Fashion utgörs av ett från- och tilluftssystem (FT-system). Gränsfallet för brandgasspridning i T-systemet är när brandrummets tilluftsflöde är noll. Detta innebär att brandtrycket i rummet är lika med trycket i anslutningspunkten. En enkel tumregel är därför att anta att brandtrycket för gränsfallet är lika med det normala övertrycket i anslutningspunkten för brandrummet. Brandgasspridning i T-system innebär att den normala strömningsriktningen ska vändas och att brandgasspridning sker till alla rum anslutna nedströms från brandrummets anslutningspunkt. Eftersom brandtrycket för spridning i T-systemet är mycket lägre än det som krävs för spridning i F-systemet, så är det gränsfallet för brandgasspridning via T-systemet som är begränsande [17].

J.S Fashion har fyra tilluftsdon och ett frånluftsdon som ger ett normalt ventilationsflöde på 160 l/s. Efter konsultation med Lars Jensen, professor i installationsteknik vid Lunds Tekniska Högskola, görs antagandet att tryckfallet för både tilluftsdonen, frånluftsdonen och respektive anslutningskanal är totalt 100 Pa. I figur 10.1 redovisas en förenklad bild av ventilationssystemets funktion vid normala förhållanden och vid brand, då gränsfallet för brandgasspridning inträffar. Brandgasspridning via ventilationssystemet är endast aktuell om dörren till butiken är stängd.

Tumregeln för gränsfallet är att trycket i brandrummet är lika med tryckfallet för tilluftsdonen och anslutningskanalen.

$$p_b = p_t = 100Pa$$

där p_b är brandtrycket och p_t är tryckfallet för tilluftsdon och tilluftens anslutningskanal.



Figur 10.1: Ventilationssystemet vid normalfall och vid gränsfall.

Kanalbrandflödet i frånluftens anslutningskanal kan beräknas enligt:

$$q_{bi} = q_n \cdot \left(1 + \frac{p_t}{p_f}\right)^{0,5} \Rightarrow q_{bi} = 160 \cdot \left(1 + \frac{100}{100}\right)^{0,5} = 226,3 \text{ l/s}$$

där q_n är normalt ventilationsflöde och p_f är tryckfall för frånluftsdon och frånluftens anslutningskanal. Läckbrandflödet från butiken beräknas enligt

$$q_{bl} = q_l \cdot \left(\frac{p_t}{p_l}\right)^{0,5} \text{ l/s}$$

där q_l är läckflöde och p_l är läcktryckfall i normala fall. Den största osäkerheten i beräkningarna är byggnadens täthet. Normkravet för läckage är $1,6 \text{ l/sm}^2$ vid ett tryckfall om 50 Pa [17]. Väggarnas omslutningsarea i butiken är 112 m^2 . Med antagandet att läcktryckfallet är 50 Pa blir läckflödet från butiken:

$$q_l = 1,6 \cdot 112 = 179,2 \text{ l/s}$$

Med känt läcktryckfall och läckflöde kan läckbrandflödet beräknas.

$$q_{bl} = 179,2 \cdot \left(\frac{100}{50}\right)^{0,5} = 253,4 \text{ l/s}$$

Det totala brandflödet kan nu beräknas enligt

$$p_b = q_{bi} + q_{bl} = 226,3 + 253,4 = 479,7 \text{ l/s} \approx 0,48 \text{ m}^3/\text{s}$$

Resultatet visar att vid ett brandflöde på minst $0,48 \text{ m}^3/\text{s}$ sker brandgasspridning via tilluftskanalen i ventilationssystemet till närliggande butiker. Enligt tumregel motsvarar en brandeffekt på 1 MW ett brandflöde på $1 \text{ m}^3/\text{s}$ [18]. Detta innebär att vid en brand med brandeffekt på minst 0,48 MW kommer brandspridning ske via tilluftssystemet. Detta är en grov uppskattning eftersom osäkerhet råder kring butikens läckage och att beräkning med tumregler endast är approximativt. Ett större läckage från butiken innebär att större brandflöde och därmed större brand krävs för att ge brandgasspridning via ventilationssystemet. Vid branden på J.S Fashion utvecklas betydligt mer än 500 kW och brandgasspridning kommer således att ske.

Förslag till åtgärder

Med den nuvarande verksamheten och det befintliga brandskyddet kan personsäkerheten vid brand ej säkerställas. I detta avsnitt presenteras förslag till åtgärder som *ska* respektive *bör* genomföras.

11.1 Åtgärder som *ska* genomföras

Dessa åtgärder är sådana som måste genomföras för att försäkra att tillfredsställande utrymning kan ske samt för att uppfylla de krav som gäller enligt BBR [5].

11.1.1 Dokumentation

Enligt kapitel 3 i denna rapport krävs det att ett köpcenter har dokumentation av brandskyddet. På Veddesta Köpcentrum saknas dokumentation av brandlarm, utrymningslarm och sprinklersystem, vilket innebär att det befintliga brandskyddets funktion vid brand är svår att bedöma. Dokumentation av brandskyddet är inget som primärt påverkar en utrymningssituation men ska ändå upprättas.

11.1.2 Utrustning

Nedan listas förslag på åtgärder till brister som upptäcktes i utrustningen på köpcentret. Vid besöket var inte huvudsyftet att hitta tekniska fel och därför är inte heller listan på åtgärder som ska genomföras komplett utan innehåller endast de detaljer som uppmärksammats.

- Genomlysta utrymningsskyltar ska fungera och vara tända.
- Utrymningsskyltar till huvudentrén ska finnas.
- Belysningen i alla utrymningsvägar ska fungera
- Utrymningsvägar ska vara fria från brännbart material.
- Dörrstängare skall finnas på alla skyltade utrymningsdörrar, med specifik hänvisning till utrymningskorridoren från Klädjätten.
- Brandcellsgränsen som skiljer utrymningskorridoren från butikerna, se nr 5 i figur 4.4, ska kontrolleras så att den uppfyller de krav som gäller angående genomföringar och täthet.

11.1.3 Utrymningsvägar

Nödvändiga åtgärder med avseende på utrymningsvägarna listas nedan. Siffrorna inom parentes hänvisar till figur 4.4.

Alla butiker i anslutning till passagen ska ha en alternativ utrymningsväg eftersom analysen visar att passagen är alltför sårbar. Utrymning från innergården mellan Willy:s och Överskottsbolaget till det fria ska förtydligas.

Sammantaget finns det i hela byggnaden tre utrymningsvägar som måste göras tillgängliga för köpcentrets besökare. Dessa är:

- Grinden i passagen (2) som måste öppnas.
- Utrymningsvägen på Babyproffsen (3) som nu är blockerad av en butikshylla.
- Utrymningsvägen på Överskottsbolagets lager (5) som i dagsläget inte är tillgänglig inifrån butiken.
- Fönstret som utgör utrymningsväg från Willy:s personalutrymme (7) ska bytas till ett öppningsbart fönster.

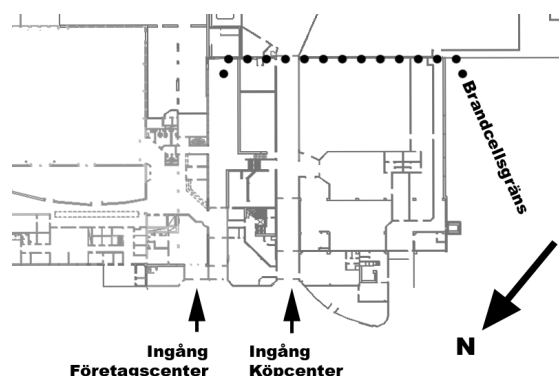
Att tillåta utrymning genom lager är diskutabel åtgärd eftersom det kräver stor disciplin av personalen så att utrymningsvägen inte blockeras. För att inte behöva utrymma via lagret på Överskottsbolaget kan en enkel passage byggas från butiken till utrymningsvägen (5).

11.1.4 Utrymningslarm

I dagsläget är utrymningslarmets funktion oklar och flera av butikerna saknar helt eller delvis detektorer för att upptäcka brand. Resultaten som presenteras i avsnitt 7.4, 8.4 och 9.4 visar att kritiska förhållanden uppstår snabbt, även långt från branden. Ett utrymningslarm i köpcentret är viktigt för att personer som inte ser branden ska uppfatta att det brinner och påbörja utrymning. Därför ska utrymningslarmet omprojekteras så att det täcker hela köpcentret, vilket också kräver att detektorer installeras i samtliga butiker och kompletteras i de lokaler där antalet detektorer inte är tillräckligt. I samband med detta ska även en beskrivning av dess funktion upprättas. Ett talat utrymningslarm bör enligt BBR [5] finnas i samlingslokaler, men är inget som författarna rekommenderar eftersom besökarna på köpcentret representeras av många olika nationaliteter [24] och språkförbistringar lätt kan uppstå. Larmklockor och blixtljus är därför att föredra.

11.1.5 Brandcellsgräns

Köpcentret utgörs av en enda brandcell. Simuleringarna har visat att en brand någonstans i byggnaden snabbt påverkar andra delar och därmed försvårar eller förhindrar utrymning även för personer som befinner sig långt från branden. En brandcellsgräns ska därför avskilja butikerna kring passagen från övriga delar av köpcentret. Därmed begränsas brandgasspridning och utrymningsvägar förkortas. Figur 11.1 visar var brandcellsgränsen ska sättas in.



Figur 11.1: En brandcellsgräns ska avskilja butikerna kring passagen från övriga delar av köpcentret.

11.1.6 Sprinklersystem

På Veddesta Köpcentrum finns sprinklersystem som endast täcker delar av köpcentret. Eftersom köpcentret utgörs av en brandcell ska sprinklersystemet omprojekteras så att det täcker hela ytan. I samband med detta ska en beskrivning av dess funktion upprättas. Notera att om en brandcellsgräns sätts in på föreslagen plats skapas två brandceller som båda är delvis sprinklade. Därmed gäller detsamma även i detta fall, sprinklersystemet ska täcka in hela ytan i respektive brandcell.

11.1.7 Systematiskt brandskyddsarbete

Ett systematiskt brandskyddsarbete ska upprättas, dels sammantaget för hela byggnaden, dels enskilt för respektive verksamhet. För det sammantagna brandskyddsarbetet ansvarar fastighetsägare eller motsvarande, i övrigt ansvarar respektive verksamhet för sitt eget brandskyddsarbete.

11.2 Åtgärder som bör genomföras

Nedan presenteras åtgärder som bör genomföras.

11.2.1 Utrymningsvägar

De utrymningsvägar som bör åtgärdas beskrivs nedan och siffrorna inom parentes anger vilken utrymningsväg som avses i figur 4.4.

Utrymningsdörrar i samlingslokaler ska schablonmässigt vara minst 1,2 meter breda. Därför bör två dörrar på Willy:s (6, 8) breddas. Den invändiga utrymningsvägen (9) är med tanke på dess placering mycket svår att bredda och analysen visar att det inte heller är nödvändigt om övriga åtgärder genomförs. För att breddningen ska fylla någon funktion måste också alla spiraltrappor bytas till raka trappor längs fasaden med minsta bredd 1,2 meter. Alltså bör utrymningsvägen vid kassorna på Willy:s (10) byggas om från invändigt trapphus till utvändigt trappa. Alla utrymningsvägar bör markeras från utsidan för att minska risken för att dessa oavsiktligt blockeras.

Validering av åtgärder

I detta kapitel valideras de åtgärder som författarna anser ska genomföras för att ge tillfredsställande resultat. Valideringen genomförs med samma metoder som respektive brandscenario.

12.1 Utrymning

Validering av åtgärder genomförs med samtliga åtgärder som författarna anses *ska* genomföras.

Vid brand på Veddesta Köpcentrum kan två utrymningssituationer tänkas uppstå, den ena när passagen till huvudentrén är tillgänglig för utrymning och den andra när passagen blockeras av brand eller brandgaser. Båda situationerna simuleras i Simulex med genomförda åtgärder för att verifiera att tillfredsställande utrymning kan ske.

Genom att sätta in en brandcellsgräns på föreslagen plats sektioneras byggnaden på ett bra sätt, vilket innebär att personer som vistas i den icke brandhärjade brandcellen aldrig blir utsatta för kritiska förhållanden. Detta innebär att om det brinner i någon av butikerna längs passagen kan personer som befinner sig i butiker ovanför passagen utrymma lugnt utan att bli utsatta för brandgaser.

Ett heltäckande utrymningslarm leder till att varseblivningstiden för personer på långt avstånd från branden minskar. Simulering i Detact T2 visar att detektoraktivering vid brand i J.S Fashion sker efter 1 minut enligt detektionsmodellen i avsnitt B.4 med indata enligt tabell 12.1.

Tabell 12.1: Indata till Detact T2 vid beräkning av tid till detektoraktivering i J.S Fashion.

Omgivningstemperatur	20°C
RTI	0,5 (ms) ^{1/2}
Aktiveringstemperatur	33°C
Takhöjd	2,6 m
Avstånd mellan detektorer	8 m
Tillväxthastighet	Ultrafast ($\alpha=0,19$ kW/s ²)

Genom att inrätta alternativa utrymningsvägar i de butiker längs passagen som i nuläget inte har två oberoende utrymningsvägar, behöver personerna i dessa butiker inte utrymma via passagen i händelse av brand. Därmed utsätts inte personerna för kritiska förhållanden om utrymning påbörjas i tidigt skede, vilket förväntas ske då varseblivningstiden är kort med ett heltäckande utrymningslarm.

Genom att åtgärda befintliga utrymningsvägar och öppna upp en ytterligare utrymningsväg på Överskottsbolaget förkortas utrymningstiden för hela köpcentret betydligt. Om det släckta trapphuset på Willy:s åtgärdas innebär det att maximalt 550 personer samtidigt får vistas i butiken, se känslighetsanalysen i kapitel 7.

12.2 Sprinkler

I nuläget täcker sprinklersystemet endast delar av köpcentret. Men då köpcentret utgörs av en brandcell, med undantag för en utrymningskorridor och ett brandtekniskt avskilt rum för brandfarliga varor, bör hela ytan täckas av sprinklersystemet. Därför utgör ett av åtgärdsförslagen att en omprojektering av sprinklersystemet genomförs så att hela köpcentret täcks av ett fungerande sprinklersystem. För att undersöka vilken inverkan ett sprinklersystem har görs två simuleringar med sprinkler som begränsar bränderna på J.S Fashion och Skokanonens lager.

12.2.1 Sprinklersystem J.S Fashion

För att validera sprinkler för en brand som representerar kluster 1, se tabell 6.1, görs en simulering av brandscenariot på J.S Fashion med ett fungerande sprinklersystem i butiken. Branden antas följa fall 2, där glasrutorna mot passagen går sönder efter 130 sekunder, se avsnitt 8.3. En viss tid efter branden startat aktiverar sprinklersystemet i butiken och begränsar branden till konstant brandeffekt. Tidpunkten för aktiveringen erhålls i Detact T2 där indata enligt tabell 12.2 används.

Tabell 12.2: Som indata till Detact T2 används följande data.

Omgivningstemperatur	20°C
RTI	65 (ms) ^{1/2}
Aktiveringstemperatur	68°C
Diff. aktiverings temperatur	4°C/s
Takhöjd	2,6 m
Avstånd mellan detektorer	4 m
Effektutveckling	enligt figur 8.3

Simulering i Detact T2 ger att sprinkler aktiverar efter ca 90 sekunder. Fram till denna tidpunkt har branden tillväxt enligt en at^2 -kurva med tillväxthastighet ultrafast, $\alpha = 0.19 \text{ kW/s}^2$. Detta ger en maximal effektutveckling enligt:

$$\dot{Q} = 0,19 \cdot 90^2 = 1539 \text{ kW} \approx 1,5 \text{ MW}$$

Brandens effektutveckling kan därmed beskrivas som

$$\dot{Q} = \begin{cases} 0,19t^2 & 0 \text{ s} < t < 90 \text{ s} \\ 1,5 \cdot 10^3 & 90 \text{ s} < t \end{cases} \quad [\text{kW}]$$

Vid simulering i CFAST kommer resultaten för tid till kritiska förhållanden bli samma som i fall 2, eftersom kritiska förhållanden uppstår i butiken och passagen innan sprinklern aktiverar. Brandgaslagrets höjd blir kritiskt i butiken och passagen efter 1 respektive 1,5 minuter, se avsnitt 8.4. Efter att sprinklern aktiverats kyls brandgaserna och blir väl omblandade. Således blockeras huvudentrén även i detta fall.

För att bestämma när sikten är 10 meter i hela köpcentret används värden och antagande enligt siktberäkningar för fall 2, se bilaga D.3. För att sikten ska sjunka till 10 meter behöver energimängden 360,5 MJ frigöras i branden. Tidpunkten för detta erhålls genom ekvation B.14 nedan:

$$Q = \int_0^t \dot{Q} dt = 360,5 MJ$$

Lösning av ekvationen ger tiden $t \approx 294$ sekunder. Med sprinklersystem i butiken tar det således ca 5 minuter till sikten är 10 meter i hela köpcentret. Dessa resultat baseras dock på att branden endast begränsas till en konstant effektutveckling. I många fall kan sprinkler leda till att branden släcks eller avtar i effektutveckling. Detta minskar brandgasproduktionen varvid sikten endast försämras lite eller inte alls i övriga delar av byggnaden. Sprinkler påverkar inte utrymningsituationen i butiken och passagen men längre upp i köpcentret blir förhållanden bättre med sprinkler. Denna jämförelse görs utan föreslagen brandcellsgräns, vilket ytterligare påvisar behovet av att sektionera byggnaden.

12.2.2 Sprinklersystem Skokanonen

För att validera sprinkler för en brand som representerar kluster 2, se tabell 6.1, görs en simulering av brandscenariot på Skokanonens lager med ett fungerande sprinklersystem i lokalerna. Branden antas tillväxa, likt fall 4, efter en αt^2 -kurva med tillväxthastighet ultra fast, $\alpha = 0,19 \text{ kW/s}^2$. När sprinkler aktiverar antas brandens effektutveckling bli konstant. Tid till sprinkleraktivering beräknas med Detact T2 med ingångsvärden enligt tabell 12.3.

Tabell 12.3: Som indata till Detact T2 används följande data.

Omgivningstemperatur	20°C
RTI	65 (ms) ^{1/2}
Aktiveringstemperatur	68°C
Diff. aktiverings temperatur	4°C/s
Takhöjd	5 m
Avstånd mellan detektorer	4 m
Effektutveckling	enligt figur 9.2

Simulering i Detact T2 ger att sprinkler aktiverar efter ca 120 sekunder. Avläsning i figur 9.2 ger då en konstant brandeffekt på ca 2,9 MW.

Om sprinklern aktiverar antas brandgasluckorna i butiken inte öppna, vilket innebär att brandgaser strömmar ut i passagen och påverkar utrymningsituationen. Simulering

i CFAST visar att kritiska förhållanden, med avseende på brandgaslagrets höjd, inträffar efter 2,5 minuter på lagret, 3,5 minuter i butiken och efter 4,5 minuter i passagen. Sprinklern kommer dock att aktivera innan kritiska förhållanden uppstår, vilket medför att brandgaserna kyls och väl omblandade förhållanden uppstår. Detta innebär att sikten i närområdet där sprinklern löser ut försämras och kritiska förhållanden uppstår. Det är därför viktigt att personerna i butiken hinner utrymma innan sprinklern aktiverar. Dock görs antagandet att branden endast begränsas av sprinkler, men i många fall kan sprinklern släcka en brand. Då branden släcks produceras inte mer brandgaser, vilket medför att sikten endast försämras lite eller inte alls.

En simulering görs för att undersöka hur utrymningssituationen påverkas om branden släcks av sprinklern. Samma antaganden som ovan görs att branden tillväxer enligt en αt^2 -kurva med tillväxthastighet ultra fast, $\alpha = 0,19 \text{ kW/s}^2$, fram till 120 sekunder då sprinkler aktiverar. Efter detta antas branden avta linjärt under 5 minuter tills den är släckt. När sprinklern aktiverar efter ca 2 minuter har brandgaslagret inte nått kritiska nivåer i butiken.

12.2.3 Konsekvens av sprinkler

Ovanstående resonemang visar att sprinkler inte påverkar personsäkerheten nämnvärt vid utrymning från butikerna där det brinner. Med en brand motsvarande den på Skokanonens lager är de befintliga brandgasluckorna fullt tillräckliga. Kritiska förhållanden uppstår inte innan butiken är utrymd och brandgaser kommer inte ut i passagen. För en brand motsvarande den på J.S Fashion hjälper inte sprinkler då kritiska förhållanden uppstår innan sprinklern aktiverar. Dock förbättrar sprinklern utrymningssituationen längre från branden vilket är en bra anledning att installera sprinkler. Sprinkler är även en bra investering för egendomsskyddet då den kan begränsa eller släcka en brand. Detta medför att konstruktionen inte utsätts för lika höga temperaturer och arbetsmiljön för räddningstjänstens personal förbättras. Det faktum att byggnaden inte är helsprinklad kan leda till problem om en brand skulle starta i ett osprinklat utrymme och varma brandgaser sprids till sprinklade utrymmen. Eftersom sprinkler aktiverar på varm rök medför detta att flera sprinkler kan aktivera långt från branden och orsaka massiv vattenåtgång utan att släcka eller begränsa branden. Detta är ytterligare en anledning till att ett heltäckande sprinklersystem bör installeras, så att sprinklern närmast branden aktiverar. Då sker ingen onödig vattenåtgång och branden kan begränsas i ett tidigt skede.

Det är oerhört svårt att förutsäga hur sprinkler påverkar brandgaser och sikt på olika avstånd från aktiveringsplatsen. Författarna anser därför att butiker generellt ska vara utrymda när sprinklern aktiverar.

Slutsatser och utvärdering

I detta avsnitt presenteras de slutsatser författarna kommit fram till och en utvärdering av arbetsgången.

13.1 Slutsatser

Brandsäkerheten på Veddesta Köpcentrum är i dagsläget dålig och en brand i byggnaden skulle kunna få mycket stora konsekvenser.

De brister som uppmärksammats vid besöket på Veddesta Köpcentrum leder till vissa grundläggande slutsatser kring det befintliga brandskyddet. I huvudsak ska det understrykas att brandskyddsorganisationen för byggnaden i helhet och inom respektive verksamhet är outvecklad. För att uppnå ett väl fungerande brandskydd på den här typen av objekt, krävs att samtliga involverade aktörer tar ansvar för sina respektive områden. Författarna vill särskilt betona vikten av systematiskt brandskyddsarbete, såväl för fastighetsägaren som för respektive nyttjare. Det är till exempel inte lämpligt att placera föremål framför eller bakom utrymningsdörrar. Personalens riskmedvetande och konsekvenstänkande måste utökas så att följderna av hur brandskyddet behandlas blir en logisk tanke. Med hjälp av utbildning och kontinuerliga kontroller kan många av de bristande detaljerna i brandskyddet avhjälpas. På det sättet kan också kostnaderna för brandskyddet minskas och fördelas jämnare över tiden.

Vid den genomförda utredningen visar det sig att kritiska förhållanden kan uppstå mycket snabbt i stora delar av köpcentret och att tillfredsställande utrymning i dagsläget inte kan ske. Det är då viktigt att besökare, oavsett var i köpcentret de befinner sig, tidigt får information om en eventuell brand så att utrymning kan ske innan situationen blir farlig. Med det befintliga utrymningslarmet kan det sistämnda inte förutsättas; en omprojektering till heltäckande brand- och utrymningslarm är nödvändig.

I rapporten ställs hårda krav på åtgärder för att klara tillfredsställande utrymning. Analysen visar att fler utrymningsvägar måste skapas och att de befintliga i viss utsträckning måste byggas om. En förutsättning för att åtgärdsförslagen ska vara tillfredsställande är att de utförs tillsammans. Genom att bara sätta in en brandcellsgräns uppnås fortfarande inte tillräcklig säkerhet på exempelvis Willy:s. Omvänt gäller samma sak; det är inte tillräckligt att bara öppna upp blockerade utrymningsvägar. Däremot är det inte avgjort så att de föreslagna och validerade åtgärderna är de enda lösningarna. Förslagen ska snarare tolkas som en indikation på att omfattande åtgärder måste vidtas.

De stora problemen på Veddesta Köpcentrum bottnar i att passagen till huvudentrén

är mycket sårbar för bränder. De flesta butiker kan med hjälp av passagen som en utrymningsväg evakueras innan kritiska förhållanden uppstår. En annan faktor till problemen är att lokalen på 60-talet uppfördes som en industribyggnad. Verksamhet och personantal förväntades troligen inte vara sådant som det är idag.

Sprinkler har visat sig ha många fördelar, både för personsäkerhet och egendomsskydd. Sprinkler förbättrar utrymningssituationen långt från branden, dock påverkas inte personsäkerheten för personer i närheten av branden. Detta gäller under antagandet att branden endast blir begränsad till den effektutveckling som uppnåtts vid sprinkleraktivering. Sprinkler fyller en viktig funktion för byggnadens konstruktion senare i brandförloppet. Vid mer än en av de undersökta situationerna erhålls mycket höga effektutvecklingar. Om branden tillåts bli för stor finns en påtaglig risk för att hela byggnaden tar stor skada eller helt brinner ner. Dessutom blir räddningstjänstens insats mer riskfylld. Med anledning av ovanstående anser författarna att ett heltäckande sprinklersystem ska installeras.

13.2 Utvärdering av arbetet

Under arbetets gång har långa diskussioner förts angående dimensionerande brand, personantal i byggnaden och framförallt resultat från simuleringar. Särskilda svårigheter som dykt upp under arbetet är bland annat utrymningssimulering i Simulex. Att välja vilka och hur många personer som ska gå till en utrymningsväg kan göras på olika sätt och behöver inte nödvändigtvis spegla en verklig utrymningssituation. Likaså har det funnits svårigheter att bestämma varseblivningstider för personerna i köpcentret då utrymningslarmets funktion vid brand är oviss. Besluts- och reaktionstiden är även svårdefinierad då den schablonmässiga tiden visat sig vara längre än tiden till kritiska förhållanden i vissa brandscenarier. Man kan tänka sig att personer som inte ser branden men som upplever brandgaser tar kortare tid på sig att besluta sig för att utrymma.

Arbetet känns värdefullt att ha gjort inför det kommande arbetslivet och innebär träning i kommunikation, kompromisser, diskussioner och resonemang om vad som är rimligt eller inte. Författarna har varit tvungna att dra egna slutsatser då det inte finns några färdiga lösningar samtidigt som ett problem kan ha många lösningar. Det har visat sig att en brandingenjörs värld inte är svart eller vit utan grå.

Litteraturförteckning

- [1] Arvidson, M., *Potatischips och ostbågar brinner intensivt*, Brandposten nr 32:2005 s. 10-11
- [2] Axelsson, Lars, Brave System, telefonsamtal 2007-10-26
- [3] Attunda Brandkår, *Tillsynsprotokoll Veddesta Centrum*, 2007-09-03
- [4] Dr. Vytenis Babrauskas, <http://www.doctorfire.com/glass.html>, Fire Science and Technology Inc. hämtad 2007-10-10
- [5] Boverket, *Boverkets Byggregler 2005:17*
- [6] Boverket, *Utrymningsdimensionering*, Huskvarna, 2006
- [7] Brandteknik, *Brandskyddshandboken*, Wallin & Dalholm, Lund 2005
- [8] DeLauter, L.A & Lee, J & Roadarmel, G.L., *Fire Test of Men's suits and Racks*, National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce. Gaithersburg, 2001
- [9] Drysdale, D., *An Introduction to Fire dynamics*, Second edition, John Wiley and sons West Sussex, England 2004
- [10] Frantzich, H., *Användarmanual till SIMULEX ver 1.2*, 1998-10-19
- [11] Frantzich, H., *Tid för utrymning vid brand*, SRV rapport P21-365/01, Statens räddningsverk, Karlstad, 2001
- [12] Gojkovic, D., Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola, föreläsning 2007-09-19
- [13] Hansson, K., *Utvärdering av metoder för val av dimensionerande brandscenario*, Rapport 5220, Brandteknik, Lunds Universitet, Lund, 2007.
- [14] Ingasson, H., *Samverkan mellan sprinkler och brandventilation*, SP rapport 2001:18, Borås 2001
- [15] Ingason, H., *An Experimental Study of Rack Storage Fires*, SP Rapport 2001:19, Borås 2001
- [16] Integrated Environmental Solutions Limited, http://www.iesve.com/content/default.asp?page=s30_2, hämtad 2007-10-11 kl 16.24

- [17] Jensen, L., *Brandgassspridning via ventilationssystem*, Avdelningen för installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2002
- [18] Jensen, L., *Brand i system med byggnaden och ventilationssystemet*, Kompendium, Avdelningen för installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund
- [19] Johansson, B., *Analys av utrymningssäkerheten vid brand hos nattklubben Underbar i Skellefteå*, Rapport 5135, Brandteknik, Lunds Universitet, Lund, 2004
- [20] Karlsson, B., Quintiere, J., *Enclosure Fire Dynamics*, CRC Press, Boca Raton 2000
- [21] Nilsson, D., Holmstedt, G., *Kompendium i Aktiva System- Detektion*, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2007
- [22] SFS 2003:778, *Lag om skydd mot olyckor*
- [23] SFPE, *Handbook of Fire Protection Engineering - Second edition*, ISBN 0-87765-354-2, National Fire Protection Association, Quincy MA 1995
- [24] Svensson, A., Fastighetschef Kinnarps AB och representant för fastighetsägare, muntlig källa
- [25] Särdaqvist, S., *Initial Fires*, ISSN 1102-8246, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 1993

Nomenklatur

A	Area [m ²]
A ₀	Öppningsarea [m ²]
D ₀	Rökpotential [m ² /g]
D _L	Optisk densitet per meter [m ⁻¹]
D _{L,log}	Optisk densitet per meter [obs] alt. [dB/m]
D _{L,10log}	Optisk densitet per meter [m ⁻¹]
ΔH _c	Förbränningsentalpi [kJ/kg]
H	Rumshöjd [m]
H ₀	Öppningshöjd [m]
I	Ljusintensitet vid mottagare
I ₀	Ljusintensitet vid ljuskälla
L	Längd [m]
m	Massa [kg]
\dot{m}_a	Massflöde luft [kg/s]
\dot{m}_{O_2}	Massflöde syre [kg/s]
P	Tryck [Pa]
P _b	Brandtryck [Pa]
P _f	Tryckfall för frånluftsdon och anslutningskanal fram till anslutningspunkt [Pa]
P _l	Tryckfall uteluftsdon och klimatskal eller läcktryckfall vid läckflöde q _l [Pa]
P _t	Tryckfall för tilluftsdon och tilluftens anslutningskanal [Pa]
q _{bi}	Kanalbrandflöde [l/s]
q _{bl}	Läckbrandflöde [l/s]
q _l	Läckflöde [l/s]
q _n	Normalt ventilationsflöde [l/s]
Q	Energi [kJ]
\dot{Q}	Effekt [kW]
\dot{Q}_c	Konvektiv effektutveckling [kW]
RTI	Response Time Index [(ms) ^{1/2}]
t	Tid [s]
T	Temperatur [°C] alt. [K]
v	Hastighet [m/s]
V	Volym [m ³]
W	Bredd [m]
α	Tillväxtfaktor [kW/s ²]
χ	Förbränningseffektivitet [-]

Beräkningsmodeller

B.1 αt^2 branden

I de flesta verkliga bränder är brandens tillväxt accelererande. Ett enkelt sätt att matematiskt beskriva detta är att använda den så kallade αt^2 branden. I metoden antas brandens effektutveckling vara proportionell mot tiden i kvadrat. Olika tillväxthastigheter fås genom att multiplicera tiden i kvadrat med en faktor α . Effektutvecklingen som funktion av tiden uttrycks som:

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad [kW]$$

där α är en tillväxtfaktor uttryckt i kW/s^2 , och t är tiden från antändning, uttryckt i sekunder. Metoden är framtagen för att dimensionera detektionssystem, men har visat sig stämma väl överens med tillväxtfasen i verkliga brandförlopp. Tidpunkten för starttiden beror på antändningskällan och är generellt tidpunkten då flammor uppkommer. Tillväxtfaktorn α är beroende av brandrummets utformning, bränslets placering samt vad det är för typ av material som brinner. Typiska värden på α finns att tillgå för bränder som tillväxer med hastigheten "ultrafast", "fast", "medium" eller "slow", se tabell B.1.

Tabell B.1: Värden på α för olika tillväxthastigheter, tagit från Karlsson [20].

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

Tiden för antändning, innan brandens tillväxtfas, försummas. Branden antas börja tillväxa vid tiden $t_0 = 0$ sekunder. I verkliga bränder finns det en initial fas efter att bränslet antänts och lite energi frigörs. Då kan glödande bränsle producera tillräcklig mängd brandgaser för att aktivera detektorer.

B.2 Maximal effektutveckling vid ventilationskontrollerad brand

Under förutsättningen att branden är fullt utvecklad kan massflödet luft in i ett rum beräknas med hjälp av öppningens area och höjd:

$$\dot{m}_a = 0,5 \cdot A_o \cdot \sqrt{H_o} \quad [kg/s] \quad (B.1)$$

I luft finns 23 mass% syre och därigenom kan massflödet syre beräknas:

$$\dot{m}_{O_2} = 0,23 \cdot \dot{m}_a \quad [kg/s] \quad (B.2)$$

Då ett kilogram syre förbränns frigörs energin 13,1 MJ enligt [20]. Den maximala effekten som kan uppnås är då:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{O_2} \cdot 13,1 \quad [MW] \quad (B.3)$$

För att kontrollera om det är möjligt att uppnå den maximala effektutvecklingen som beräknats uppskattas hur mycket massa brännbart material som behövs för att brandeffekten ska kunna uppnås. Detta görs genom att beräkna den energi som frigjorts vid tiden t med effektutvecklingen \dot{Q} :

$$Q = \int_{t_0}^t \dot{Q} dt \quad [kJ] \quad (B.4)$$

Den tid det tar tills den maximala effekten vid en αt^2 brand uppnås beräknas genom:

$$t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} \quad [s] \quad (B.5)$$

Den massa som gått åt för att frigöra energin Q beräknas genom:

$$m = \frac{Q}{\Delta H_c \cdot \chi} \quad [g] \quad (B.6)$$

Beräkningarna bygger på resonemang förda av Karlsson och Quintiere [20].

B.3 Siktberäkningar

Siktberäkningarna i detta avsnitt bygger på att en-zonsmodellen tillämpas. Det innebär att brandgaserna fördelas jämt i hela rummet och att de är väl omblandade.

För att kunna mäta och beräkna sikten vid brand används parametern optisk densiteten per meter. Denna bestäms genom att mäta dämpningen per meter av en ljusstråle som passerar genom brandgaserna. Förändringen av ljusstrålens intensitet mäts då den passerat sträckan L mellan en ljuskälla och en ljusmottagare. Dämpningen av ljuset per meter ges av:

$$D_L = -\frac{1}{L} \cdot \ln \frac{I}{I_0} \quad [m^{-1}] \quad (B.7)$$

där D_L är den optiska densiteten per meter [m^{-1}], L är sträckan som ljuset färdas [m], I är ljusintensiteten hos ljusmottagaren (dämpad intensitet), I_0 är ljusintensiteten hos ljuskällan (odämpad intensitet) [21].

I ekvation B.7 uttrycks den optiska densiteten per meter med den naturliga logaritmen. Men den kan även uttryckas på andra sätt beroende på var informationen hämtas. Enligt den Europeiska modellen uttrycks optisk densitet per meter som:

$$D_{L,10log} = -\frac{10}{L} \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad [dB/m] \quad (B.8)$$

där $D_{L,10log}$ uttrycks i obscura alternativt dB/m [21].

Enligt amerikansk modell uttrycks optisk densitet per meter som:

$$D_{L,log} = -\frac{1}{L} \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad [m^{-1}] \quad (B.9)$$

där $D_{L,log}$ uttrycks i m^{-1} [21].

Sikten är kopplad till den optiska densiteten per meter och uttrycks i meter enligt Nilsson [21]:

$$sikt = \frac{\ln 10}{D_L} = \frac{1}{D_{L,log}} = \frac{10}{D_{L,10log}} \quad [m] \quad (B.10)$$

Sikten i okända miljöer skall vara minst 10 meter vid en utrymningsituation [5].

Målet med beräkningarna är att ta fram tiden till sikten är 10 meter eller den optiska densiteten är 1 obscura, det vill säga tiden då kritiska förhållanden uppstår.

För att beräkna hur mycket massa som måste förbrännas för att dämpa sikten till 10 meter används formeln för rökpotential enligt:

$$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m} \quad [m^2/g] \quad (B.11)$$

där D_0 är rökpotentialen [m^2/g], D_L är optisk densitet per meter [m^{-1}], V är rummets volym [m^3] och m är förbränd massa [g]. Rökpotentialen beror på typen av bränsle och finns framtaget för en mängd bränslen. Om både D_L och D_0 är kända, kan alltså den massa bränsle som måste förbrännas för att ge 10 meter sikt beräknas. Rökpotentialen varierar dock även beroende på syretillgången och typen av brand vilket kan medföra att framtagna värden skiljer sig stort från rökpotentialen vid verkliga bränder. I uttrycket B.11 är det viktigt att D_L och D_0 anges efter samma standard, i det här fallet används den amerikanska.

Det går även att beräkna rökpotentialen D_0 utifrån ett ämnes yield värde och POD (Partical Optical Density). Yield värdet, y_s , för ett ämne tas fram experimentiellt och bestäms som bildad massa vid förbränning dividerad med förbränd massa. POD är

relativt oberoende av vilket ämne som brinner men skiljer sig däremot mellan olika typer av förbränning. För flambränder är $POD = 7,6 \text{ m}^2/\text{g}$ och för glödbänder $4,4 \text{ m}^2/\text{s}$. Rökpotentialen beräknas då med ekvation B.12.

$$D_0 = POD \cdot y_s \quad [\text{m}^2/\text{g}] \quad (\text{B.12})$$

Den totala mängden energi som frigörs vid förbränning av den massa som ger kritiska förhållanden beräknas enligt:

$$Q = \Delta H_c \cdot m \cdot \chi \quad [\text{kJ}] \quad (\text{B.13})$$

där Q är den totala energin som frigörs [kJ], ΔH_c är förbränningsentalpin [kJ/g], m är massan [g] och χ är förbränningseffektiviteten [-].

Nästa steg är att lösa ut tiden t det tar att förbränna massan. Detta är möjligt eftersom den totala mängden energi som frigörs även kan erhållas genom att integrera effektutvecklingen över tiden enligt:

$$Q = \int_0^t \dot{Q} dt \quad [\text{kJ}] \quad (\text{B.14})$$

Är effektutvecklingen som funktion av tiden, \dot{Q} , känd så går tiden då energimängden Q frigjorts att beräkna.

B.4 Tid till detektoraktivering

En vanlig detektionsmodell för rökdetektorer är att utnyttja temperaturökningen i brandgaserna för att avgöra aktiveringstiden. Rökdetektorer reagerar egentligen på grund av partiklarna som finns i brandgaserna men det finns dock vissa kopplingar mellan temperatur och partikelfördelningen. I modellen antas rökdetektorerna aktivera då temperaturen höjts ett visst antal grader och vanligen nämns värdet 13°C . De värden på temperaturökningen som föreslås i normer, regler och handböcker ligger mellan 10°C och 20°C , men många av dessa värden är baserade på experiment som utfördes på sjuttio- och åttioalet. Mer aktuella undersökningar visar att nyare detektorer aktiverar vid temperaturökning på 4°C till 5°C [21]. För konservativa värden används värdet 13°C i denna rapport.

Beräkningar för aktiveringstiden i denna rapport görs i datorprogrammen Detact T2 eller Detact QS där aktiveringstemperaturen sätts till omgivningstemperaturen plus temperaturökningen. Ett lågt RTI-värde väljs och i denna rapport används värdet $0,5 \text{ (ms)}^{1/2}$.

Detektionsmodellen ska användas med viss försiktighet eftersom stora osäkerheter råder på grund av grova förenklingar. Resultaten ger således inga exakta aktiveringstider utan ska ses som uppskattningar av aktiveringstiden. Modellen används i rapporten eftersom det i dagsläget inte finns några exakta detektionsmodeller.

B.5 CFAST

CFAST är en två-zons modell som delar in brandrummet i två homogena zoner, ett övre varmt brandgaslager och ett undre svalt lager. I det undre lagret råder normalt tryck och temperatur. I det övre lagret antas brandgaserna vara väl omblandade och temperaturen är lika överallt, oavsett avstånd från branden. Ingen eller liten blandning beräknas ske mellan lagren. I verkligheten råder inte homogena förhållanden i brandgaslagret utan det är en förenkling som två-zonsmodeller gör. I varje zon löses kontinuitetsekvationerna för massa och energi iterativt. Brandgasernas egenskaper approximeras med egenskaperna för luft med avseende på molmassa och värmekapacitet. CFAST modellerar endast brandgasspridning och inte brandspridning. Transienta beräkningar görs och utdata består bland annat av brandgaslagrets höjd, temperatur, effektutveckling, optisk densitet och innehåll i brandgaserna. Branden representeras av ingångsvärden för effektutveckling, massflöde, och förbränningsentalpi. All förbränning beräknas ske i det undre lagret [12].

Branden kan simuleras antingen som en “constrained” eller “unconstrained fire”. En “constrained fire” innebär att branden är instängd och förbränningen begränsas av syretillgången medan en “unconstrained fire” är en förbränning i det fria och begränsas därmed inte av syretillgången. När syrehalten sjunkit under 10 % kan ingen förbränning ske och branden slocknar.

Programmet kan endast bygga upp rektangulära rum. För att kompensera oregelbundna rum måste golvarean i det riktiga rummet beräknas och sedan görs golvarean till en rektangulär area i det modellerade rummet. Zon-modeller har vissa begränsningar och för att resultaten ska vara giltiga ska rummets längd, höjd och breddförhållanden vara inom vissa förhållanden, se tabell B.2.

Tabell B.2: Två-zonsmodellen anses vara giltig för vissa förhållanden på rummets geometri samt brandens effektutveckling i förhållande till rummets storlek.

Acceptabel	Särskild hänsyn krävs	Andra algoritmer krävs
$(L/W) < 3$	$3 < (L/W) < 5$	$(L/W) > 5$
$(L/H) < 3$	$3 < (L/H) < 6$	$(L/H) > 6$
$(W/H) > 0,4$	$0,2 < (W/H) < 0,4$	$(W/H) < 0,2$
$\dot{Q} \geq 5 \cdot A \cdot \sqrt{H}$		

Där L är rummets längd [m], W är rummets bredd [m], H är rummets höjd [m], \dot{Q} är effektutvecklingen [kW] och $A = L \cdot H$ [m²].

För att kompensera för långa korridorer eller stora rum kan dessa delas upp i mindre rum med stora öppningar därmellan. CFAST skapades för att modellera bränder i bostäder och ger därför bäst resultat i liknande utrymmen. CFAST baseras på antaganden och erfarenheter av hur bränder beter sig. Två-zons modellen utgår från MacCafferys plymkorrelation och hanterar branden som en punktkälla som avger massa och energi. Brandplymen är axisymetrisk och räknas inte som en egen zon och ingår egentligen inte i något lager då plymen beräknas vara liten relativt de andra kontrollvolymerna. Vidare tas ingen hänsyn till transporttiden för brandgaserna från branden till brandgaslagret utan de transporteras momentant till brandgaslagret.

Brandens effekt beror på vilken brand som definierats samt byggnadens egenskaper som påverkar massflöden och värmetransport genom byggnaden. En stor begränsning med två-zonsmodeller är hur flöden och brandgasspridning genom öppningar mellan rum hanteras. Ju längre från brandkällan desto osäkrare är resultaten. Andra begränsningar med programmet är att det krävs en temperaturdifferens på 30-40°C för att få en tydlig skiktning mellan det undre och övre lagret. Detta kanske inte inträffar för små bränder i stora utrymmen eller om sprinkler aktiveras så att brandgaserna kyls och förlorar sitkraft. Fördelar med två-zons modeller är att beräkningarna går snabbt.

B.6 Simulex

Simulex är ett utrymningsprogram som kan användas för att beräkna tid för förflyttning för personer som utrymmer en byggnad. Programmet visar även var problem såsom köbildning uppstår [10].

Figurerna som ska utrymma i programmet har tilldelats egenskaper som gånghastighet, area som en person upptar och reaktionstid [16]. Gånghastigheten varierar slumpmässigt mellan 0,8 till 1,7 m/s. Gånghastigheten beror också på avståndet till framförvarande person och när avståndet till framförvarande person minskar, minskar också gånghastigheten. Gånghastighet i trappor fås genom att multiplicera den normala gånghastigheten med 0,5 nedför och 0,35 uppför trappor. Genom dörrar passerar mellan 1,1 till 1,4 personer per meter dörrbredd och sekund.

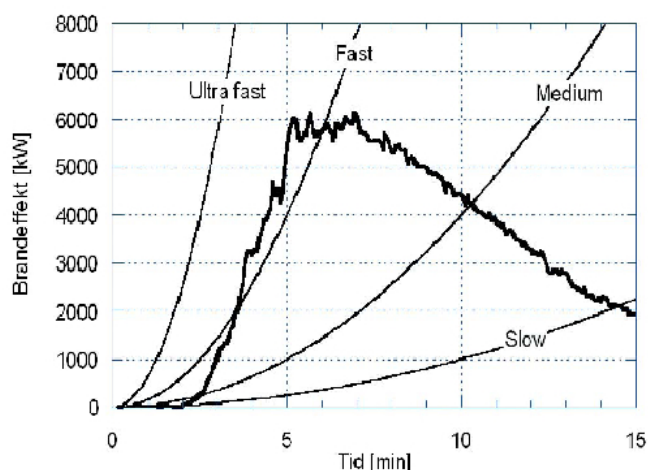
Personer som finns fördefinierade är man, kvinna, barn och medelperson, där medelperson är en blandning av man och kvinna. Även grupper kan definieras där gruppens egenskaper styrs av sammansättningen av olika personkategorier. Vid simuleringar på Veddesta Köpcentrum används kategorin "shoppers" där personfördelningen är 30 % medelperson, 20 % män, 30 % kvinnor och 20 % barn.

Enstaka personer eller grupper av personer placeras ut på valda platser i bygganden. Användaren kan definiera vilka utgångar personerna ska använda och om inget annat anges går personerna till närmaste utgång [10]. I rapporten definieras vilka utgångar som används beroende på vilket scenario som simuleras.

Brandscenario 1 - Willy:s

C.1 Effektutveckling

Figur C.1 är tagen från ett brandförsök utfört av SP Brandteknik 2005. I försöket undersöktes hur en brand i chips och ostbågar utvecklas och totalt användes 275 kg brännbart material med 54 kartonger chips och ostbågar[1]. Figuren visar att branden har en mycket långsam utveckling i brandens initialske (ca 2 minuter) för att sedan efterlikna en αt^2 -kurva med tillväxthastigheten ultrafast.



Figur C.1: Effektutveckling som funktion av tiden för tre hyllplan med chips och ostbågar, taget från [1]

På Willy:s bedöms placeringen och antalet kartonger med chips och ostbågar vara ungefär samma som i försöket i [1] och därför görs antagandet att en brand i chipshyllan på Willy:s kommer att utvecklas enligt figur C.1. Initialskedet uppskattas från figur C.1 vara linjärt i drygt 2 minuter och då ha nått effektutvecklingen 100 kW. Därefter tillväxer branden enligt en αt^2 -kurva med $\alpha = 0,19 \text{ kW/s}^2$. Efter 5 minuter uppnås den maximala effektutvecklingen på 6 MW.

Eftersom Willy:s har ett heltäckande sprinklersystem, kommer en sprinkleraktivering sannolikt att begränsa branden innan den maximala effekten uppnås. Antingen avtar effektutvecklingen tills branden är släckt eller så blir branden begränsad till en konstant effektutveckling. För konservativa värden vid utrymning görs antagandet att branden blir begränsad tidpunkten sprinklern aktiverar. Tid till sprinkleraktivering uppskattas med hjälp av datorprogrammet Detact QS, indata presenteras i tabell C.1.

Tabell C.1: Indata till Detact QS vid beräkning av sprinkleraktivering.

Omgivningstemperatur	20°C
RTI	65 (ms) ^{1/2}
Aktiveringstemperatur	68°C
Diff. aktiverings temperatur	4°C/s
Takhöjd	6 m
Avstånd mellan detektorer	4 m
Effektutveckling	enligt figur 7.2

Resultaten i Detact QS visar att sprinkleraktivering sker efter ca 4 minuter. För att få effektutvecklingen vid denna tidpunkt avläses effektutvecklingen i figur 7.2 till 2,8 MW.

Vid försöket på SP Brandteknik användes ett mindre rum med lägre takhöjd jämfört med fallet på Willy:s. Detta kan medföra att brandens tillväxthastighet i försöket, på grund av en högre återstrålning från väggar och tak, är något högre än vid en brand på Willy:s. Denna skillnad försummas för konservativa värden vid utrymning på Willy:s.

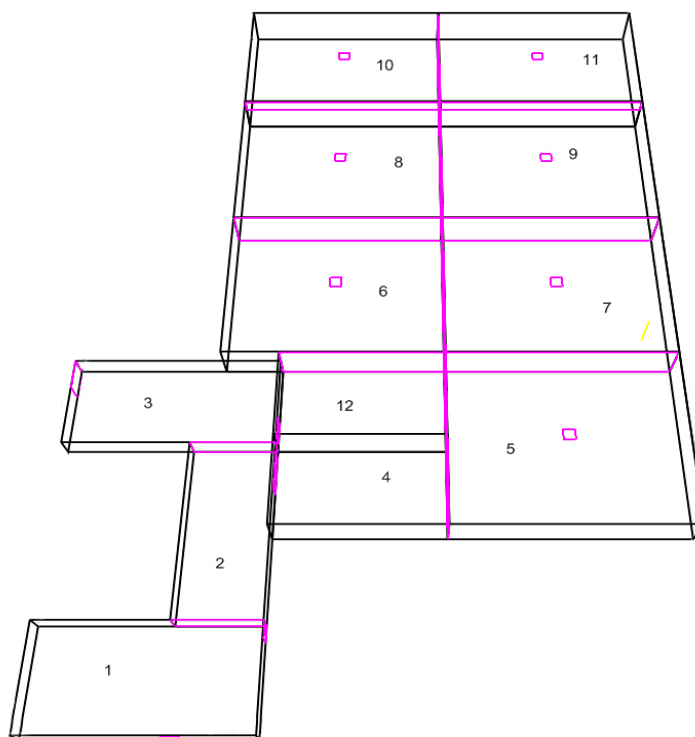
C.2 Simuleringar - CFAST

I CFAST delas Willy:s med intilliggande passage in i tolv mindre rum, se figur C.2, för att längd-, bredd- och höjdförhållanden för CFAST inte ska överstigas, se tabell B.2. Willy:s butik delas in i nio mindre rum, nr 4-12, där rum 10 och 11 är lagret. Mellan rummen är öppningarna lika breda som rummen själva och en balk på 0,2 meter har lagts in i taket så att takhöjden minskar från 6 till 5,8 meter. Branden startar i rum sju. Passagen utanför Willy:s delas in i tre mindre rum, nr 1-3, med balkar som sticker ner från taket 0,1 meter, vilket medför 3,2 meter höga öppningar.

Följande scenarier har simulerats på Willy:s:

- **Fall 3:** Brand i chipshyllorna med en maximal effektutveckling på 2,8 MW se figur 7.2. Sprinkler löser ut efter ca 4 minuter och brandgasluckorna aktiverar inte.
- **Fall 4:** Brand i chipshyllorna med en maximal effektutveckling på ca 6 MW se figur 7.2. Sprinkler fungerar inte men brandgasluckorna antas öppna då brandgaslagrets temperatur är 70°C [2].

För att bestämma vid vilka tidpunkter brandgasluckorna öppnas, det vill säga när temperaturen är 70°C, görs först en simulering utan brandgasluckor. Tiden det tar för brandgaslagret att nå temperaturen 70°C för de rum som har brandgasluckor presenteras i tabell C.2. Genom att göra så här antas att temperaturen i brandgaslagret inte påverkas av att en brandgaslucka öppnat, ett antagande som genom simuleringar visat sig stämma bra.



Figur C.2: Willys geometri i CFAST.

Tabell C.2: Tabellen presenterar hur lång tid det tar för brandgaslagret att nå temperaturen 70°C för de rum som har brandgasluckor

Rum	tid [s]
5	330
6	330
7	240
9	300

C.3 Simuleringar - Simulex

I Simulex har ett uppskattat antal personer placerats i varje butik, se tabell F.1 för personantal i respektive butik. Antalet är baserat på samtal med representant för fastighetsägaren [24] och intervjuer med butikspersonal. Det totala antalet personer i hela byggnaden överskattas avsiktligt och uppgår vid simuleringen till drygt 1100 st varav 600 st på Willy:s. Varseblivning sker genom detektion med en rökdetektor som enligt beräkningar med Detact QS aktiverar efter ca 2,5 minuter, se bilaga B. Värden på besluts- och reaktionstid hämtas från tabell 5.1 och är 1 minut för personer som ser branden. Alla personer inne i butiken kommer inte att direkt se branden men beslut och reaktionstiden ansätts ändå till 1 minut. Personer som börjar utrymma antas få med sig andra personer i lokalen så utrymning påbörjas. Personer i övriga delar av köpcentret antas ha samma varseblivningstid men en beslut och reaktionstid på 3,5 minuter, se tabell 5.1.

Branden kommer inte att blockera någon utrymningsväg, men det mörklägda trapphuset anses obrukbart och används inte i simuleringen. Utrymningsvägarna på lagret används inte heller då det inte finns några skyltar till dessa inifrån butiken. Tillgängliga utrymningsvägar är därmed dörren till innergården, dörren till trapphuset vid kassorna samt huvudingången. Personer har fördelats på dessa utrymningsvägar på ett sätt som kan anses rimligt. En större andel antas använda huvudingången men även de andra utrymningsvägarna används i stor utsträckning.

C.4 Siktberäkningar

Vid beräkning av tiden till kritiska förhållanden på grund av dålig sikt på Willy:s antas alla brandgaser vara väl omblandade i hela lokalen och inga brandgaser antas läcka ut. Den totala volymen inne på Willy:s är ca 27 000 m³. Kritiska förhållanden uppstår då sikten är mindre än 10 meter enligt BBR [5].

För att uppskatta ett värde på rökpotentialen för chips och chipskartonger antas dessa bestå till 70% av cellulosa och 30% mineralolja. Potatisen i chipsen antas här ha samma rökpotential som cellulosa, det vill säga $D_{0,cell} = 0,051 \text{ m}^2/\text{g}$ [21]. För mineralolja används ett yield-värde på $y_s = 0,097 \text{ g/g}$ [23]. Rökpotentialen för olja beräknas med ekvation B.12 och POD värdet för flambränder.

$$D_{0,olja} = 7,6 \cdot 0,097 \text{ m}^2/\text{g} = 0,7372 \text{ m}^2/\text{g}$$

En sammanvägd rökpotential blir då:

$$D_0 = 0,7 \cdot 0,051 + 0,3 \cdot 0,7372 \text{ m}^2/\text{g} = 0,26 \text{ m}^2/\text{g}$$

Enligt ekvation B.10 blir den optiska densiteten vid kritiska förhållanden:

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

Med känd volym kan sedan den massa som krävs beräknas med ekvation B.11:

$$m = \frac{0,23}{0,26} \cdot 27000 = 24000 \text{ g}$$

På samma sätt som för rökpotentialen vägs förbränningsentalpin samman av 70% cellulosa ($\Delta H_c = 16,12 \text{ kJ/g}$ [23]) och 30% mineralolja ($\Delta H_c = 41,5 \text{ kJ/g}$ [23]). Sammanvägt blir dessa:

$$\Delta H_c = 0,7 \cdot 16,12 + 0,3 \cdot 41,5 = 23,79 \text{ kJ/g}$$

Den totala mängd energi som frigjorts när denna massa förbränts blir med förbränningseffektiviteten $\chi = 0,7$ [9]:

$$Q = 23,79 \cdot 24 \cdot 10^3 \cdot 0,7 \approx 400 \text{ MJ}$$

Brandens effektutveckling kan då sprinkler aktiverar beskrivas från figur 7.2 som

$$\dot{Q} = \begin{cases} \frac{100}{130} \cdot t & 0 \text{ s} < t < 130 \text{ s} \\ 0,19(t - 130)^2 + 100 & 130 \text{ s} < t < 250 \text{ s} \\ 2,8 \cdot 10^3 & t > 250 \text{ s} \end{cases} \text{ [kW]}$$

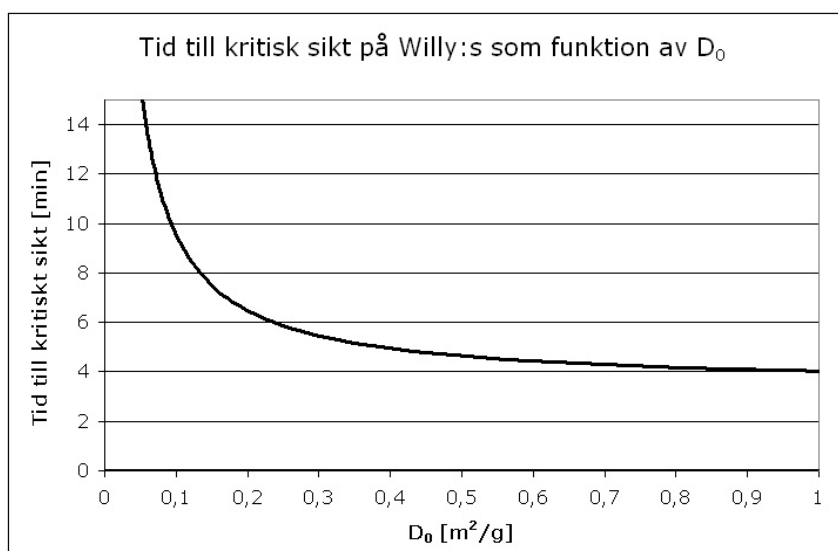
Ekvation B.14 ger den totala mängden frigjord energi vid tiden t .

$$Q = \int_0^t \dot{Q} dt = 400 \text{ MJ}$$

Lösning av ekvationen ovan ger tiden $t = 347 \text{ s}$ vilket betyder att kritiska förhållanden på grund av sikt uppstår efter ca 5,8 minuter.

C.4.1 Känslighetsanalys av siktberäkningar

Tiden till dess att kritiska förhållanden uppstår på grund av nedsatt sikt beror bland annat på det uppskattade värdet på rökpotential (D_0) för chips. Känsligheten hos det uppskattade värdet har bedömts genom att beräkna tiden till 10 meters sikt för flera olika värden på D_0 . Figur C.3 visar att en högre rökpotential, vilket innebär mer rökproduktion, endast i liten utsträckning förändrar förutsättningarna för utrymning. I ovanstående beräkningar uppskattas rökpotentialen till $D_0 = 0,26 \text{ m}^2/\text{g}$ och en ökning med 100 % upp till $0,52 \text{ m}^2/\text{g}$ innebär att tiden till kritiska förhållanden endast förkortas med ca 20 %.



Figur C.3: Tiden till kritiska siktförhållanden på Willy:s minskar endast marginellt för D_0 -värden över $0,3 \text{ m}^2/\text{g}$.

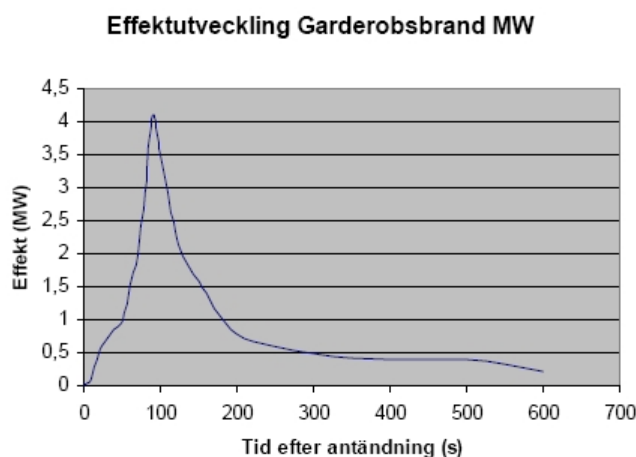
Brandscenario 2 - J.S Fashion

D.1 Effektutveckling

Bestämning av effektutvecklingen vid en brand på J.S Fashion görs i tre steg vilka följer nedan.

D.1.1 Tillväxthastighet

Figurerna D.1 och D.2 redovisar effektutveckling för två skilda försök med brand i kläder.

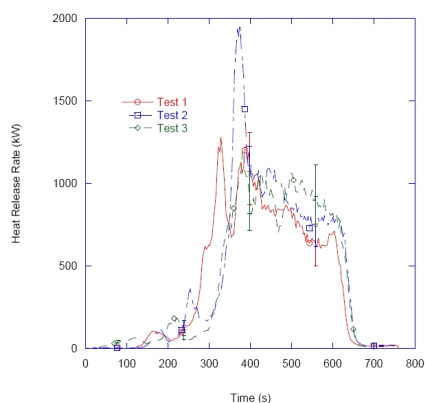


Figur D.1: Effektutveckling för brand i 105 jackor i container där förhållandena vid försöket ska efterlikna en garderobsbrand. Hämtat från försök utförda av Johansson [19].

Tillväxtfasen för effektutvecklingskurvorna i figur D.1 och figur D.2 kan approximeras med αt^2 -kurvor fram tills tidpunkten för den maximala effekten.

I figur D.1 efterliknas förhållandena som råder vid en garderobsbrand genom att låta 105 jackor brinna i en container. Branden tillväxer väldigt snabbt och om effektkurvan anpassas till en αt^2 -kurva, erhålls tillväxthastigheten 0.5 kW/s^2 , det vill säga branden tillväxer snabbare än ultrafast. Figur D.2 representerar en brand i kostymer som får brinna fritt och tillväxthastigheten som erhålls är väsentligt lägre. Om effektkurvan anpassas till en αt^2 -kurva, fås tillväxthastigheten 0.02 kW/s^2 , alltså mellan medium och fast.

På J.S Fashion är brandbelastningen hög och kläderna hänger tätt längs väggar och golv. Förhållandena vid brand i butiken stämmer bäst överens med containerbranden, eftersom butiken är liten (90 m^2) med relativt låg takhöjd. Vid containerbranden är



Figur D.2: Effektutveckling för fritt brinnande kostymer. Hämtat från försök utförda av DeLauter [8].

dock återstrålningen högre på grund av containerns lägre takhöjd. Detta medför att brandens tillväxthastighet i containerförsöket är högre än den förväntade tillväxthastigheten för en brand i J.S Fashion. Därför görs bedömningen att vid uppkomst av brand i J.S. Fashion tillväxer branden enligt en αt^2 -kurva, med tillväxthastigheten ultrafast, $\alpha = 0.19 \text{ kW/m}^2$.

D.1.2 Maximal effektutveckling

En brand i J.S Fashion antas bli ventilationskontrollerad på grund av butikens höga brandbelastning i kombination med en relativt liten öppning. Den maximala effektutvecklingen kan därför baseras på syretillförseln genom öppningen och redovisas i beräkningarna nedan. Två fall antas kunna uppstå, ett då fönstren mot passagen är hela och ett då de går sönder.

Hela glasrutor

Den enda tilluftsöppningen till rummet är ingången till butiken. Öppningens bredd är 1,5 meter och höjd 2,2 meter. Därmed är arean:

$$A_0 = 1,5 \cdot 2,2 \text{ m}^2$$

Massflödet luft in i butiken beräknas med ekvation B.1 vilket ger:

$$\dot{m}_a = 0,5 \cdot 1,5 \cdot 2,2 \cdot \sqrt{2,2} = 2,45 \text{ kg/s}$$

Massflödet syre beräknas med ekvation B.2 till:

$$\dot{m}_{O_2} = 0,23 \cdot 2,45 = 0,56 \text{ kg/s}$$

Den maximala effektutvecklingen som det tillgängliga syret kan ge ges av ekvation B.3:

$$\dot{Q} = 0,56 \cdot 13,1 = 7,4 \text{ MW}$$

Med butikens befintliga öppning blir brandeffekten maximalt 7,4 MW. För att kontrollera att detta är möjligt, uppskattas hur mycket brännbart material som behövs för att branden ska kunna tillväxa och fortgå i 15 minuter med den beräknade effektutvecklingen.

Den tid det tar tills den maximala effekten uppnåtts beräknas med ekvation B.5:

$$t = \sqrt{\frac{7,4 \cdot 10^3}{0,19}} s \approx 200 \text{ s}$$

Brandens effektutveckling kan nu beskrivas som:

$$\dot{Q} = \begin{cases} 0,19t^2 & 0 \text{ s} < t < 200 \text{ s} \\ 7,4 \cdot 10^3 & t > 200 \text{ s} \end{cases} \text{ [kW]}$$

Den totala mängden frigjord energi vid tiden 15 minuter ges av ekvation B.4:

$$Q = \int_0^{200} \alpha t^2 dt + \int_{200}^{900} 7,4 \cdot 10^3 dt = 0,19 \left(\frac{200^3}{3} - \frac{0^3}{3} \right) + 7,4 \cdot 10^3 (900 - 200) \approx 5687 \text{ MJ}$$

För att ta fram ett medelvärde för förbränningsentalpin (ΔH_c) för kläder sammanvägs värdena för olika material. Antagandet görs att kläderna i butiken består av 50 % bomull ($\Delta H_c = 17,0 \text{ MJ/kg}$ [23]), 30 % polyester ($\Delta H_c = 23,8 \text{ MJ/kg}$ [23]), 10 % nylon ($\Delta H_c = 29,58 \text{ MJ/kg}$ [23]) samt 10 % ull ($\Delta H_c = 20,5 \text{ MJ/kg}$ [23]). Det sammanvägda värdet för ΔH_c blir 20,6 MJ/kg och det är alltså denna energi som frigörs när ett kilogram kläder brinner. För att beräkna massan kläder som behövs för att uppnå maximal effekt används ekvation B.6. Förbränningseffektiviteten, χ , sätts till 0,7 [9].

$$m = \frac{5687}{20,6 \cdot 0,7} \approx 400 \text{ kg}$$

Det behövs alltså ca 400 kg kläder vid det aktuella brandförloppet vilket är en rimligt mängd kläder i butiken.

Glasrutor går sönder

Butikens vägg mot passagen består av enkelglas som går sönder och ytterligare luft strömmar in i butiken. Antagandet görs att endast 50% av den totala glasytan går sönder och skapar en öppning med höjden 1,3 meter och bredden 12,5 meter. Dörren enligt ovan är fortfarande öppen. Den totala öppningsarean blir då:

$$A_0 = 1,3 \cdot 12,5 + 1,5 \cdot 2,2 \text{ m}^2$$

Massflödet luft in i butiken beräknas med ekvation B.1 vilket ger:

$$\dot{m}_a = 0,5 \cdot (1,3 \cdot 12,5 + 1,5 \cdot 2,2) \sqrt{1,3} = 11 \text{ kg/s}$$

Massflödet syre beräknas med ekvation B.2 till:

$$\dot{m}_{O_2} = 0,23 \cdot 11 = 2,56 \text{ kg/s}$$

Den maximala effektutvecklingen som det tillgängliga syret kan ge ges av ekvation B.3:

$$\dot{Q} = 2,56 \cdot 13,1 \approx 33,6 \text{ MW}$$

På samma sätt som vid hela fönster kontrolleras om detta är möjligt med avseende på mängden brännbart material.

Den tid det tar tills den maximala effekten uppnåtts beräknas med ekvation B.5:

$$t = \sqrt{\frac{33,6 \cdot 10^3}{0,19}} \text{ s} \approx 420 \text{ s}$$

Brandens effektutveckling kan nu beskrivas som:

$$\dot{Q} = \begin{cases} 0,19t^2 & 0 < t < 420\text{s} \\ 33,6 \cdot 10^3 & t > 420\text{s} \end{cases} \text{ [kW]}$$

Den totala mängden frigjord energi vid tiden 15 minuter ges av ekvation B.4:

$$Q = \int_0^{420} \alpha t^2 dt + \int_{420}^{900} 33,6 \cdot 10^3 dt = 0,19 \left(\frac{420^3}{3} - \frac{0^3}{3} \right) + 33,6 \cdot 10^3 (900 - 420) \approx 21000 \text{ MJ}$$

Förbränd massa kan då beräknas med ekvation B.6:

$$m = \frac{20820}{20,6 \cdot 0,7} \approx 1400 \text{ kg}$$

Det behövs alltså ca 1400 kg kläder vid det aktuella brandförloppet. Så här mycket kläder finns inte inne i butiken och denna effekt kommer alltså inte kunna utvecklas under någon längre tid. Den höga effektutvecklingen kommer sannolikt leda till kritiska förhållanden tidigt vilket gör att det inte är intressant att titta på ett 15 min långt

brandförlopp. Ett brandförlopp på 10 minuter istället är rimligare och mer intressant att undersöka ur utrymningsynpunkt. Den energi som frigjorts efter tio minuter beräknas med ekvation B.4:

$$Q = \int_0^{420} \alpha t^2 dt + \int_{420}^{600} 33,6 \cdot 10^3 dt = 0,19 \left(\frac{420^3}{3} - \frac{0^3}{3} \right) + 33,6 \cdot 10^3 (600 - 420) \approx 11000 \text{ MJ}$$

Ekvation B.6 ger:

$$m = \frac{11000}{20,6 \cdot 0,7} \approx 750 \text{ kg}$$

Massan 750 kg anses som mycket rimligare och lämnar även en del massa kvar till en avsvlningsfas. En maximal effektutveckling på 33,6 MW är ett rimligt värde fram till tiden 10 minuter.

D.1.3 Sprinkleraktivering

I passagen finns sprinklersystem som antas fungera korrekt. För att ta fram tiden till sprinkler aktiverar används Detact T2 och i tabell D.1 redovisas indata.

Tabell D.1: Indata till Detact T2 vid beräkning av sprinkleraktivering.

Omgivningstemperatur	20°C
RTI	65 (ms) ^{1/2}
Aktiveringstemperatur	68°C
Diff. aktiverings temperatur	4°C/s
Takhöjd	3,3m
Avstånd mellan detektorer	10m
Tillväxthastighet	Ultrafast $\alpha=0,19 \text{ kW/s}^2$

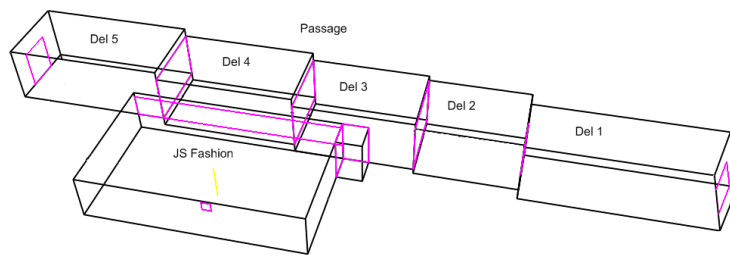
Resultaten i Detact T2 visar att sprinklern aktiverar efter ca 3 minuter. Eftersom inga sprinkler förekommer i brandrummet utan är placerade i passagen utanför har förenklingen i Detact T2 gjorts att de är placerade i samma rum. Detta kan medföra att tiden till sprinkleraktivering blir kortare än vid en verklig brand, men då temperaturen i brandgaslagret i passagen stiger väldigt snabbt i CFAST, från 80°C till 280°C på 1,5 minuter, försummas detta. Avståndet från branden till sprinkler i passagen antas vara 5 meter och därför ansätts avståndet mellan detektorerna till 10 meter då Detact T2 baserar sina beräkningar på att branden är placerad mellan två detektorer.

D.2 Simuleringar - CFAST

Vid brand i J.S Fashion är två-zons modellen lämplig att använda då rummets geometri uppfyller kraven enligt tabell B.2.

I CFAST görs vissa förenklingar av geometrin i butiken och den intilliggande passagen. Eftersom passagen är sluttande delas den upp i fem delar som ligger på olika nivåer över

markplanet. Mellan del 1 och del 5 är höjdskillnaden 2 meter. Butiken ligger på samma nivå som del 3, det vill säga 1 meter över markplan. Mellan passagens olika delar har öppningar, lika breda och höga som passagen, satts in. Undantag gäller mellan del 1 och 2 där en mindre öppning satts in. I del 1 finns entrédörren ut till det fria vilken är öppen under simuleringarna. Även från del 5 går en öppning ut till det fria, men i verkligheten är detta en öppning som leder till övriga delar av köpcentret. Denna förenkling har gjorts därför att CFAST inte ger tillförlitliga resultat för ett stort antal rum och en så pass stor volym som övriga delen av köpcentret utgör. På samma sätt försummas övriga butiker längs passagen. I butiken placeras en liten öppning, 0,5x0,5 meter, strax under taket för att representera läckage från butiken. Geometrin redovisas i D.3.



Figur D.3: Geometrin för J.S Fashion och passagen som använts i CFAST.

Följande tre fall simuleras i CFAST, se figur 8.4.

- **Fall 2:** Glasrutorna mot passagen går sönder och branden tillväxer enligt den framtagna effektkurvan. Brandeffekten blir maximalt ca 16 MW när den simuleras i CFAST och når inte det teoretiska värdet på 33,6 MW. Sprinkler i passagen aktiverar och förhindrar antändning i klädställningarna i passagen.
- **Fall 3:** Detta fall har samma händelseförlopp som fall 2 med den skillnaden att sprinklern i passagen inte aktiverar. Kläderna i passagen antänder.
- **Fall 4:** Glasrutorna mot passagen går inte sönder och branden tillväxer enligt den framtagna effektkurvan. Brandeffekten blir maximalt 7,4 MW. Sprinkler i passagen aktiverar och ingen antändning av klädställningarna i passagen sker.

Glasrutorna mellan butiken och passagen antas gå sönder vid en temperatur på ca 340°C på den brandexponerade sidan [4]. Glasrutorna är vardera 1,5 meter breda och uppdelade i tre partier på höjden. Antagandet görs att de övre rutorna går sönder vilket motsvarar ca 50 % av den totala glasytan. Genom att simulera fall 4 först, kan tidpunkten då temperaturen i butiken uppgår till 340°C och därmed glasrutorna går sönder, erhållas. Detta sker efter drygt 2 minuter och vid denna tidpunkt uppstår alltså en stor öppning i glasväggen.

D.3 Siktberäkning

Då huvudentrén blockeras av branden på J.S Fashion måste utrymmande personer välja andra utgångar och det kommer därför bildas köer vid nödutgångarna. Det är därför intressant att undersöka om brandgaserna medför att sikten blir sämre än det kritiska värdet 10 meter för de utrymmande personerna, speciellt på Willy:s där långa köer förväntas uppstå.

Vid siktberäkningarna görs vissa antaganden. Alla brandgaser antas fördelas jämt i alla tillgängliga utrymmen i köpcentret och vara väl omblandade, även i brandrummet och i angränsande passagen. Det tas därmed inte hänsyn till att viss skiktning av brandgaserna sker samt att det finns mer brandgaser i utrymmen som ligger nära branden än i utrymmen långt från branden. Ingen hänsyn tas heller till transporttid för brandgaserna utan antagandet görs att de sprids och fördelas momentant. Den volym som utgörs av huskroppen där Överskottsbolaget är beläget, se figur 2.1, försummas. Avgränsningen görs eftersom utrymmet är beläget långt ifrån branden och lite brandgaser förväntas nå dit då dessa kyls under transportsträckan. Detta medför att värdena för sikten blir konservativa för resten av köpcentret. Även läckage till omgivningen försummas.

Köpcentrets volym är ca 42400 m³. Värdet för rökpotentialen ansätts till värdet som anges för bomull, $D_0 = 0,17 \text{ m}^2/\text{g}$, enligt amerikanska handboken från SFPE [23].

Enligt ekvation B.10 blir den optiska densiteten per meter vid kritiska förhållanden:

$$D_{L, \log} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ m}^{-1}$$

Med känd volym kan sedan den massa som krävs beräknas med ekvation B.11:

$$m = \frac{0,1}{0,17} \cdot 42400 \approx 25000 \text{ g} = 25 \text{ kg}$$

Det behövs således förbrännas 25 kg kläder för att sikten i hela köpcentret ska understiga 10 meter. Den totala mängd energi som frigörs när denna massa förbränts blir med ΔH_c -värdet 20,6 MJ/kg, taget från tidigare beräkningar, och förbränningseffektiviteten $\chi = 0,7$ [9]:

$$Q = 20,6 \cdot 25 \cdot 0,7 \cdot 10^3 \approx 360,5 \text{ MJ}$$

Brandens effektutveckling kan beskrivas från figur 8.3 som

$$\dot{Q} = \begin{cases} 0,19t^2 & 0s < t < 420s \\ 33,6 \cdot 10^3 & t > 420s \end{cases} \quad [kW]$$

Ekvation B.14 ger den totala mängden frigjord energi vid tiden t .

$$Q = \int_0^t \dot{Q} dt = 360,5 \text{ MJ}$$

Lösning av ekvationen ovan ger tiden $t \approx 180s$ vilket betyder att kritiska förhållanden på grund av sikt uppstår efter ca 3 minuter. Detta är dock en approximativ tid som är konservativ på grund av de antaganden som ligger till grund för beräkningen.

D.4 Simuleringar - Simulex

I varje butik har ett uppskattat antal personer placerats, se tabell F.1 för personantal i respektive butik. Antalet är baserat på samtal med fastighetsägaren [24] samt intervjuer med butikspersonal. I simuleringen har antalet personer i varje butik överdrivits eftersom det krävs viss marginal för att dessa ska kunna anses som konservativa.

Tid till utrymning beräknas enligt ekvation 5.2. På J.S Fashion finns inga detektorer men rökdetektorer finns placerade i passagen. Varseblivningstiden för de personer som befinner sig i butiken antas vara nära noll då butiken är liten och en brand snabbt skulle upptäckas. Tid till detektoraktivering i passagen ansätts till 1 minut då kritiska förhållanden uppstår redan efter 1,5 minuter till följd av brandgaslagrets höjd. Varseblivningstid för övriga personer i köpcentret bedöms därmed vara 1 minut. Värden på besluts- och reaktionstiden hämtas från tabell 5.1 och är 1 minut för personer som ser branden förutom de i butiken samt 3,5 minuter för personer som ej ser branden [11]. Personerna som befinner sig i butikerna som ligger längs passagen förväntas se branden och har därmed en beslut- och reaktionstid på 1 minut, personerna som befinner sig i övre delen av köpcentret har en beslut- och reaktionstid på 3,5 minuter.

Enligt siktberäkningen kommer kritiska förhållanden uppstå redan efter 3 minuter, vilket borde innebära att personer som befinner sig i övre delen av köpcentret ser brandgaser tidigt och har därmed en kortare besluts- och reaktionstid. Detta tas dock inte hänsyn till då brandgaserna inte sprids momentant utan har en viss transporttid. Utrymningstiden blir således konservativ.

De personer som befinner sig i någon av butikerna längs passagen utrymmer via huvudingången, förutom på Skokanonen där ungefär hälften av besökarna utrymmer via den bakre nödutgången. Vid brand på J.S Fashion sprids brandgaserna till passagen och brandgaslagret sjunker snabbt. Passagen leder till huvudingången som därmed anses vara blockerad för personerna som befinner sig i butikerna i övre delen av köpcentret. Dessa besökare utrymmer istället via befintliga nödutgångar, som är skyltade från butikerna. Totalt finns fyra användbara nödutgångar som leder till det fria, två på Willy:s, en på Överskottsbolaget och utrymningskorridoren som är i anslutning till Skokanonen och Klädjätten. Nödutgångar från lagerutrymningen som inte är skyltade från butik samt blockerade nödutgångar används ej.

I verkliga situationer utrymmer många personer via ingången de kom in igenom. Därför antas många personer gå mot huvudingången men då de ser att den är blockerad väljer de att utrymma via nödutgången vid Willy:s kassor istället.

Utrymningssituationen anses vara likartad för alla fall som kan uppstå vid brand i J.S Fashion och i och omkring passagen.

D.5 Känslighetsanalys

I detta avsnitt presenteras beräkningar och resultat från känslighetsanalysen som genomförts för att undersöka vilka parametrar som kan påverka utrymningsituationen.

D.5.1 Fall 4

I fall 4 på J.S Fashion går glasrutorna mot passagen inte sönder. I tabell D.2 redovisas resultaten från CFAST när kritiska förhållanden uppstår. Den kritiska nivån på brandgaslagrets höjd i butiken och passagen är 1,9 meter enligt ekvation 5.1.

Tabell D.2: J.S. Fashion Fall 4. Tid i minuter till kritiska förhållanden uppstår för respektive lokal och kriterium.

Lokal	Brandgaslagrets höjd	Temperatur	Strålning
Butik	1 min	3 min	2 min
Passage	1,5 min	inträffar ej	inträffar ej

Kritiska förhållanden inträffar efter ca 1 minut inne på J.S Fashion och efter ca 1,5 minuter i passagen. Den parameter som påverkar utrymningen först är brandgaslagrets höjd. Personer som befinner sig i butiken förväntas utrymma innan brandgaslagret sjunkit ner under den kritiska nivån. I passagen blir utrymningen problematisk efter 1,5 minuter då brandgaslagret sjunkit under den kritiska nivån. Sprinklern antas aktivera vid samma tidpunkt som i fall 2, efter ca 3 minuter. Detta medför att brandgaserna blir väl omblandade och sikten kraftigt begränsad. Utrymningsvägen via huvudentrén blockeras av brandgaserna och används därför ej av personer som befinner sig ovanför passagen. Branden inne på J.S Fashion fortgår eftersom sprinklern inte släcker branden utan endast kyler brandgaserna i passagen.

D.5.2 Fastbrand

Detta fall genomförs för att studera om tid till kritiska förhållanden påverkas av att branden har en lägre tillväxthastighet. Tillväxthastigheten sätts till fast, $\alpha=0,047 \text{ kW/s}^2$, annars råder samma förhållanden som i huvudfallet, fall 2. I tabell D.3 redovisas resultaten från CFAST.

Tabell D.3: J.S. Fashion fast-brand. Tid i minuter till kritiska förhållanden uppstår för respektive lokal och kriterium.

Lokal	Brandgaslagrets höjd	Temperatur	Strålning
Butik	1 min	7 min	4,5 min
Passage	2 min	9,5 min	6 min

Resultaten visar att tid till kritiska förhållanden inte påverkas nämnvärt om branden tillväxer enligt fast istället för ultrafast. Enda skillnaden är att det tar ca 30 sekunder längre tid innan kritiska förhållanden uppnås i passagen.

Även en siktberäkning genomförs för att undersöka om det tar längre tid till kritiska förhållanden i köpcentret vid en fastbrand. Antagandet görs att brandgaserna blir väl omblandade i hela köpcentret och att inget läckage sker. Ingen hänsyn tas till transport- och utbredningstid för brandgaserna. Enligt avsnitt D.3 måste 360,5 MJ förbrännas för att sikten ska uppgå till 10 meter. Tidpunkten för detta beräknas enligt

$$Q = \int_0^t \dot{Q} dt = 360,5 MJ$$

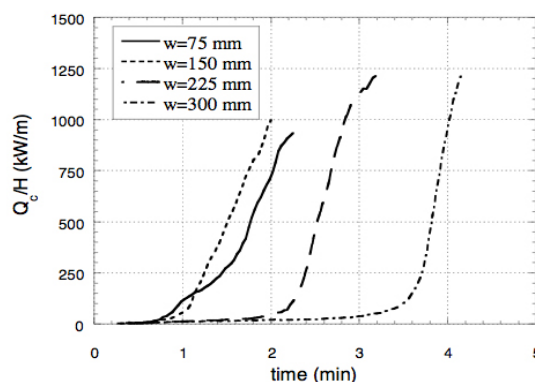
$$Q = \alpha \cdot \frac{t^3}{3} \Rightarrow t = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot Q}{\alpha}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 360,5 \cdot 10^3}{0,047}} \approx 284 \text{ s}$$

Det tar alltså ca 5 minuter innan kritiska förhållanden uppstår på grund av sikten.

Brandscenario 3 - Skokanonens lager

E.1 Effektutveckling

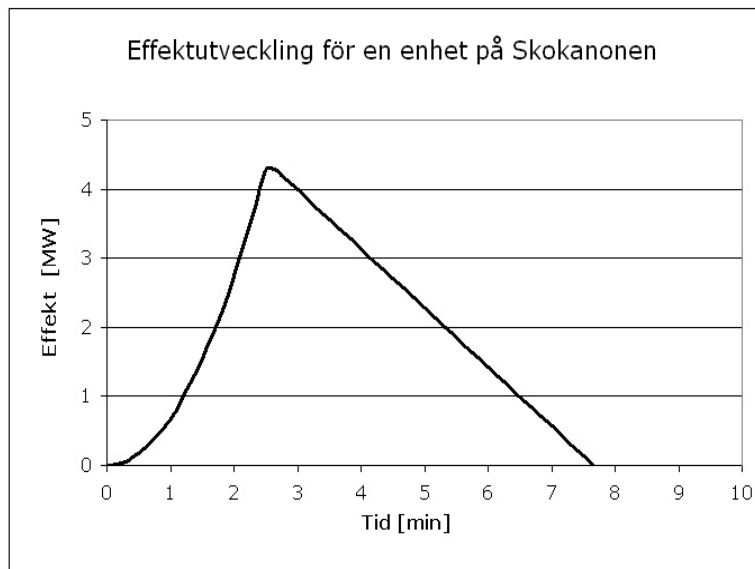
För att bedöma brandens utveckling används en metod, som beskrivs i kapitel 9.3, där effektutvecklingen för små bränslepaket, enheter, adderas till varandra med en viss tidsförskjutning. På detta sätt erhålls en effektutvecklingskurva som tar hänsyn till att allt material inte brinner samtidigt. Vid framtagandet av effektutvecklingskurvan för en enhet har försök utförda av Haukur Ingason på SP Brandteknik i Borås studerats [15]. Försöken fokuserar framförallt på hur det vertikala utrymmet mellan lådorna, w , inverkar på brandens utveckling. Fyra olika storskaleförsök har genomförts där lådor med måtten $0,8 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \text{ m}^2$ placerade i hyllor eldats. Den uppmätta konvektiva effektutvecklingen normaliserad med höjden visas i figur E.1.



Figur E.1: Den konvektiva effektutvecklingen vid brand i lagerhyllor uppmätt vid försök utförda av Ingason [15]. Observera att effektutvecklingen här är normaliserad med höjden. Hämtad från [15].

Som enhet har en sådan ställning valts som används i försöken utförda av Ingason [15]. Från figur E.1 görs uppskattningen att tillväxthastigheten inte skiljer sig så mycket åt mellan de olika fallen och uppskattas till ultra fast ($\alpha = 0,19 \text{ kW/m}^2$), däremot skiljer sig förbrinntiden kraftigt. På Skokanonens lager är lådorna mindre än de som används i experimenten och det vertikala utrymmet anses som litet. Fallet med $w=75 \text{ mm}$ i figur E.1 bedöms vara det mest likartade fallet. Effektutvecklingen för en enhet redovisas i figur E.2.

Ingasson [15] behandlar även hur stor andel av den totala effektutvecklingen som utgör konvektiv effektutveckling vid brand i lagerhyllor. Många gånger sätts den konvektiva effektutvecklingen \dot{Q}_c till 70% av den totala effektutvecklingen och Ingasson kommer fram till att detta även gäller för brand i lagerhyllor.



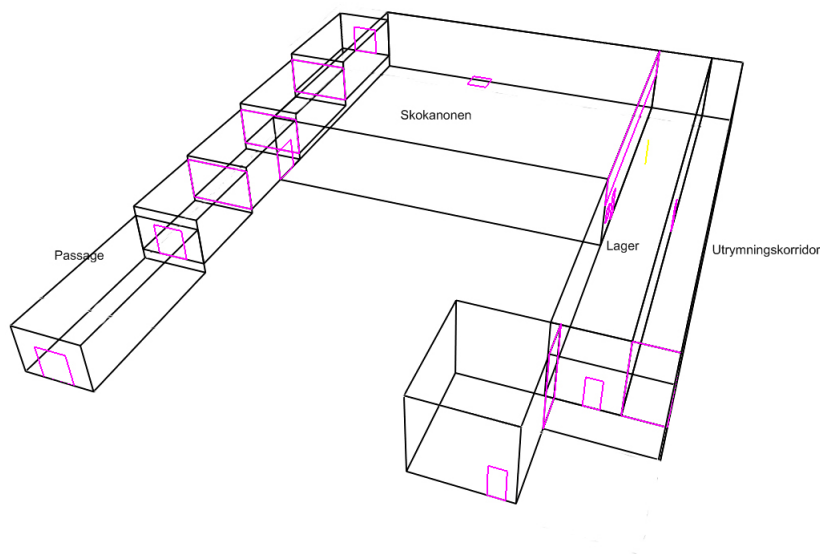
Figur E.2: Enhetsbranden tillväxer enligt ultrafast och avtar linjärt.

E.2 Simuleringar - CFAST

Den geometri som används för att simulera en brand på Skokanonens lager visas i figur E.3. Passagen är uppdelad i fem mindre delar för att kompensera för höjdskillnad i passagen. Mellan den undre och övre delen i passagen är höjdskillnaden 2 meter. Stora öppningar sätts in mellan de olika delarna för att representera en sammanhängande passage, förutom mellan del 1 och 2 där en mindre öppning satts in då det finns en dörr där i verkligheten. Från den nedersta delen finns en öppning som går direkt ut till det fria och som är öppen under simuleringarna. Även från den översta delen i passagen finns en öppning ut till det fria, men i verkligheten är detta en öppning som leder till övriga delar av köpcentret. Denna avgränsning görs då CFAST inte ger tillförlitliga resultat långt från brandrummet. Resterande del av köpcentret utgörs av ett stort antal rum och en så pass stor volym att resultat där ändå inte blir pålitliga. Resterande butiker längs passagen tas inte heller med i simuleringen då resultaten i dessa inte hade blivit trovärdiga då butikerna är för långt från branden. Branden är placerad på lagret och därför tas bara närliggande lokaler med i geometrin.

Följande scenarier simuleras på Skokanonen:

- **Fall 2:** Utrymningsvägen från lagret används och brandgasluckorna aktiveras. Brandens maximala effektutveckling blir ca 22 MW.
- **Fall 3:** Utrymningsvägen från lagret används och brandgasluckorna aktiveras inte. Den maximala effektutveckling blir ca 16 MW.
- **Fall 4:** Utrymningsvägen från lagret använd inte och brandgasluckorna aktiveras. Brandens maximala effektutveckling blir ca 16 MW.
- **Fall 5:** Utrymningsvägen från lagret använd inte och brandgasluckorna aktiveras inte. Maximala effektutveckling blir ca 13 MW.



Figur E.3: Skokanonens geometri i CFAST

På Skokanonen finns två brandgasluckor som vardera är 2x1 meter. Den ena är placerad i butiken och den andra på lagret. Brandgasluckorna antas aktivera när temperaturen i brandgaserna är 70°C [2]. Först görs en simulering utan brandgasluckor för att bestämma vid vilken tidpunkt temperaturen är 70°C. Därefter sätts brandgasluckor in som aktiverar när brandgaserna nått aktiveringstemperatur, det vill säga efter 2 minuter. Antagandet görs att temperaturen i brandgaslagret inte påverkas av att en brandgaslucka öppnat, vilket genom simuleringar har visat sig stämma bra.

E.3 Simuleringar - Simulex

I Simulex har ett uppskattat antal personer placerats i varje butik, se tabell F.1 för personantal i respektive butik. Antalet är baserat på samtal med representant för fastighetsägaren [24] och intervjuer med butikspersonal. Det totala antalet personer i hela byggnaden uppgår vid simuleringen till drygt 1100 st varav 70 st är placerade på Skokanonen. Antalet personer i simuleringen är kraftigt överskattat. I huvudfallet, fall 4, är dörren till utrymningskorridoren och dörren till lagret stängd. Inga personer från Skokanonen utrymmer via lagret utan alla använder huvudentrén som utrymningsväg. Alla butiker kring passagen utrymmer via huvudentrén tillsammans med delar av övriga köpcentret. Utrymningsvägarna på Willy:s och Överskottsbolaget används också i stor utsträckning.

På lagret finns en rökdetektor placerad i taket. Varseblivningstiden är samma som aktiveringstiden för detektorn och uppskattas till 1,5 minuter i Detact T2 enligt detektionsmodellen som redovisas i avsnitt B.4. Indata presenteras i figur E.1. Personer i den nedre delen av byggnaden antas se branden eller brandgaserna inne på Skokanonens och reaktionstiden sätts därför till 1 minut. Övriga besökare har reaktionstiden 3,5

minuter baserat på tabell 5.1. Den totala utrymningstiden beräknas med ekvation 5.2 där förflyttningstiden erhålls i Simulex.

Tabell E.1: Indata till Detact T2 beräkning av tid till detektoraktivering på Skokanonens lager.

Omgivningstemperatur	20°C
RTI	0,5 (ms) ^{0,5}
Aktiveringstemperatur	33°C
Takhöjd	5,1 m
Avstånd mellan detektorer	10 m
Tillväxthastighet	Ultrafast $\alpha = 0,19kW/s^2$

Antal personer i Simulex

Tabell F.1: Vid utrymningssimuleringar har ett antal personer enligt tabell placerats i respektive butik. Personantalet är baserat på uppskattningar och samtal med butikspersonal och fastighetsrepresentant [24].

Butik	Antal	Butik	Antal
Hushåll	10	Veddesta Data	5
Parfymeri Iresia	10	Surprise Shop	5
HG Guld & Klockor	6	Klädjätten	75
NAC Blomsterhandel	20	Willy:s	600
J.S Fashion	30	Veddesta Klippotek	7
10:- butiken	17	Veddesta Glasögon	5
Skokanonen	70	K.U.L. Hund & Katt	15
Farmateket	10	Lynn's Tyger	10
Veddesta Sko & Nyckelservice	5	Överskottsbolaget	200
Babyproffsen	20		
		Summa:	1120

Enkät

Enkät angående brandsäkerheten i butiken

Vi är en grupp Brandingenjörstudenter från Lunds Tekniska Högskola som undersöker brandsäkerheten på Veddesta Köpcentrum. Undersökningen är helt i utbildningssyfte. Vi är tacksamma om ni tar er tid att svara på nedanstående frågor. Alla svar är anonyma.

1. Butikens namn?
2. Hur många anställda har ni?
3. Har butikens anställda deltagit i någon form av brandskyddsutbildning?
Om ja, hur ofta och när?
Vad ingick i utbildningen?
4. Har er butik några rutiner för personalens agerande vid brandlarm?
Om ja, vilka?
5. Har du någon gång hört brandlarmet?
6. Vet du vad systematiskt brandskyddsarbete är?
Om ja, finns det dokumenterat?
7. Vid vilken tidpunkt på året har ni mest besökare och hur många brukar som mest vistas i lokalen?

Tack för din medverkan!