

Brandteknisk riskvärdering av Galleria Gränden



Fredrik Andersson
Lorentz Brännström
Daniel Carlström
Victor Engvall

Department of Fire Safety Engineering and System Safety
Lund University, Sweden
Brandteknik och Riskhantering
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet



LUND
UNIVERSITY

Report 9508, Lund 2018

Brandteknisk riskvärdering av Galleria Gränden

Fredrik Andersson
Lorentz Brännström
Daniel Carlström
Victor Engvall

Lund 2018

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

Titel

Brandteknisk riskvärdering av Galleria Gränden

Title

Fire Safety Evaluation of Shopping Mall Gränden

Rapport nr/Report nr:

9508  

Författare/Authors

Fredrik Andersson
Lorentz Brännström
Daniel Carlström
Victor Engvall

Antal sidor/Number of pages

191

Bilder/Pictures

Alla bilder i rapporten tillhör författarna om ingen annan källa är angiven/ All pictures belong to the authors if no other reference is stated.

Nyckelord

Brandteknisk riskvärdering, BTR, Grovriskanalys, Galleria, Fire Dynamics Simulator, FDS, PyroSim, CFD, Pathfinder, DETACT-T2, Känslighetsanalys, GGG, Utrymnings simulering, Kritiska förhållanden, Utrymning, Brandscenario, Brandsimulering, Personsäkerhet

Keywords

Fire safety evaluation, Fire risk assessment, Shopping mall, Fire Dynamics Simulator, FDS, PyroSim, CFD, Pathfinder, DETACT-T2, Sensitivity Analysis, GGG, Evacuation simulation, Critical conditions, Untenable conditions, Evacuation, Fire scenario, Fire Simulation, Human safety

Språk/Language

Svenska/Swedish

Avdelningen för Brandteknik

Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet
Box 118
221 00 Lund
<http://www.brand.lth.se>
Telefon 046 - 222 73 60
E-postadress: brand@brand.lth.se

**Department of Fire Safety Engineering Faculty
of Engineering**

Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund, Sweden
<http://www.brand.lth.se>
Telephone: +46 46 222 73 60
E-mail: brand@brand.lth.se

Författarna vill rikta ett stort tack till följande personer för betydelsefull hjälp under arbetets gång:

Daniel Nilsson

*Handledare och programledare vid
brandingenjörsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola.
För värdefullt stöd, handledning och kloka råd.*

Marcus Runefors.

*Kursansvarig och doktorand vid Lunds Tekniska
Högskola.
För värdefull handledning under platsbesöket samt
värdefull hjälp under arbetets gång.*

Bjarne Husted

*Universitetslektor vid avdelningen för brandteknik.
För viktig hjälp och stöd gällande simuleringar i FDS.*

Boel Reinecke

*Kontaktperson och brandkonsult på WSP.
För handledning under platsbesöket på Galleria Gränden
samt tack för lunch under besöksdagen.*

Johan Tolf

*Fastighetsskötare på Fastighets AB L E Lundberg.
För ett trevligt mottagande och lärorik rundvandring på
Galleria Gränden.*

Emma Lindh

*Kurskamrat och god vän.
För extra fina fotografier över Galleria Gränden.*

Abstract

The purpose of the report is to evaluate the fire safety design of Galleria Gränden, a mall located in central Linköping. Only the personal safety for the occupants have been taken into consideration. An onsite inspection was conducted to make measurements but also to inspect the fire safety installations to get a general perception of the fire risk in the building.

An initial risk analysis was made where different fire scenarios were discussed. The three worst credible scenarios were chosen for further analysis. The further analysis of the three scenarios was made with the help of hand calculations, computer simulation programs and sound engineering judgements.

Two of the three analyzed scenarios were deemed to pose no threat to the occupants' personal safety. However, it was concluded that one scenario posed a serious threat to the personal safety of the occupants. Suggestions of improvement of the fire safety were made and analyzed. The most crucial improvement to be made was to seal a wall between a store and its storage room. Another improvement to be made was to correctly design the sprinkler system of them mall. The conclusion was made that the improvements would satisfy the personal safety of the occupants in case of fire.

Sammanfattning

Följande rapport har gjorts i utbildningssyfte i kursen Brandteknisk Riskvärdering på brandingenjörsprogrammet på Lunds Tekniska högskola. Rapporten är en brandteknisk riskvärdering med personsäkerhet i fokus över objektet Galleria Gränden i Linköping som är en välbesökt galleria i centrala Linköping med upp till tusentals besökare varje dag.

Objektet har ett omfattande befintligt brandskydd. I stort sätt hela gallerian är försedd med sprinkler, förutom på platser där det är högt i tak som istället har brandgasventilation. På grund av objektets öppna planlösning existerar det få brandceller. De brandceller som finns är främst i utrymningsvägar.

En definition av kritiska förhållanden som utrymmande personer ej fick utsättas för togs fram. De kritiska förhållanden som togs fram baserades på egna bedömningar med underlag från tidigare gjorda studier. En grovanalys över tänkbara brandscenarier gjordes. Tre scenarier som ansågs utmana brandskyddet valdes ut. För de utvalda scenarierna genomfördes handberäkningar och simuleringar. Det simuleringsprogram som användes för brandförloppet var FDS med scenarierna modellerade i PyroSim och det som användes för utrymningsmodellering var Pathfinder. Programmet DETACT-T2 användes för att ta reda på aktiveringstid för sprinkler.

Två av de tre dimensionerande scenarier som analyserades djupare visade att brandskyddet var tillräckligt bra för att garantera personsäkerheten. I ett scenario uppstod dock kritiska förhållanden. Åtgärdsförslag togs fram för att garantera personsäkerheten vid händelse av brand. Handberäkningar, simuleringar i Argos och kvalitativa resonemang visade att personsäkerheten skulle vara tillfredsställd vid införande av nedanstående åtgärdsförslag.

Åtgärder som ska genomföras:

- Tätta väggen mellan Intersports lager och butik

Åtgärder som bör genomföras:

- Dimensionera sprinklersystemet enligt Brandskyddsföreningens krav
- Installera automatiska dörrstängare till lagrets dörrar
- Se till att Intersports nödutgångar är synliga

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Syfte och mål.....	1
1.2 Metod.....	1
1.3 Avgränsningar	1
2 Objektbeskrivning	3
2.1 Historik.....	3
2.2 Verksamhet.....	3
2.3 Objektets utformning.....	3
2.3.1 Källarplan	6
2.3.2 Entréplan.....	9
2.3.3 Våningsplan två.....	12
3 Befintligt brandskydd.....	15
3.1 Brandcellsindelning.....	15
3.2 Branddetektorer	18
3.3 Brandgasventilation	18
3.4 Sprinklersystem.....	20
3.5 Utrymningslarm	20
3.6 Personal	21
3.6.1 Väktare.....	21
3.6.2 Butikspersonal.....	21
3.7 Räddningstjänst.....	21
4 Utrymningsdimensionering.....	23
4.1 Kritiska förhållanden.....	23
4.1.2 Värmestrålning.....	23
4.1.3 Sikt.....	23
4.1.4 Toxicitet.....	24
4.1.5 Temperatur	25
5 Grovriskanalys.....	27
5.1 Utförande.....	27
5.2 Statistik.....	27
5.3 Definiering av sannolikhet och konsekvens.....	28
5.3.1 Konsekvens	28
5.3.2 Sannolikhet	28
5.4 Scenarier	28

5.5 Presentation av scenariernas risk	34
5.6 Val av Brandscenarier	35
5.6.1 Brand i bil	35
5.6.2 Brand i Dressmann	37
5.6.3 Brand i Intersports lager	40
6 Simuleringar	45
6.1 Utrymningssimulering.....	45
6.1.1 Brand i utställningsbil.....	45
6.1.2 Brand i Dressmann	45
6.1.3 Brand i Intersports lager	46
6.2 Brandsimulering.....	46
6.2.2 Geometri	47
6.2.3 Brand i utställningsbil.....	50
6.2.4 Brand i Dressmann	50
6.3.5 Brand i Intersports lager	51
7 Resultat	53
7.1 Brand i utställningsbil.....	53
7.1.1 Tid för utrymning	53
7.1.2 Värmestrålning.....	54
7.1.3 Sikt, toxicitet och temperatur	55
7.2 Brand i Dressmann	56
7.2.1 Tid för utrymning	56
7.2.2 Värmestrålning.....	56
7.2.3 Sikt, toxicitet och temperatur	57
7.3 Brand i Intersports lager	58
7.3.1 Tid för utrymning	58
7.3.2 Värmestrålning.....	58
7.3.3 Sikt, toxicitet och temperatur	59
7.4 Sammanställning av resultat.....	60
8 Känslighetsanalys	61
8.1 Utrymningssimulering.....	61
8.2 Brandscenarier	63
8.2.1 Brand i bil	63
8.2.2 Brand i Dressmann	64
8.2.3 Brand i Intersports lager	65

9 Undersökning av möjliga åtgärder	67
9.1 Undersökning av åtgärder i Intersports lager	67
9.2 Resultat efter åtgärder	68
10 Diskussion	72
10.1 Utrymningssimulering	72
10.2 Brand i Utställningsbil	73
10.3 Brand i Dressmann	74
10.4 Brand i Intersports lager	75
10.5 Åtgärder	77
10.6 Allmänna osäkerheter	78
11 Slutsats	79
Litteraturlista	81
Bilaga A Datorprogram	85
Fire Dynamics Simulator (FDS)	85
PyroSim	85
Smokeview	85
Pathfinder	85
DETECT-T2	85
Argos	85
Bilaga B Effektkurva och handberäkningar för scenariot Brand i utställningsbil	87
Effektutveckling	87
Strålningsberäkning	88
Modaks simple Method	88
Beräkning av rökgaslagrets höjd	91
Plymekvationer	91
Bilaga C Handberäkningar för scenariot brand i Dressmann	95
Effektutveckling vid brandens tillväxtfas	95
Beräkning av sprinkleraktivering	95
Strålningsberäkning	97
Modaks simple method	97
Bilaga D Handberäkningar för scenariot brand i Intersports lager	99
Effektutveckling	99
Ventilationskontrollerad eller bränslekontrollerad brand	99
Maximal effektutveckling vid ventilationskontrollerad brand	99
Maximal effektutveckling baserat på bränslepaketets area	100

Effektutveckling vid brandens tillväxtfas	100
Åtgången energi under brandförloppet.....	102
Beräkning av sprinkleraktivering.....	102
Bilaga E Utrymningssimulering	105
Bilaga F Brandsimuleringar	115
F.1 Brand i utställningsbil.....	115
F.1.1 Avgränsningar	115
F.1.2 Bränslets egenskaper	116
F.1.3 Effektutveckling.....	116
F.1.4 Cellstorlek.....	116
F.2 Brand i Dressman	117
F.2.1 Geometri och avgränsningar	117
F.2.2 Bränslets egenskaper	118
F.2.3 Effektutveckling.....	118
F.2.4 Cellstorlek.....	118
F.3 Brand i Intersports lager	119
F.3.1 Geometri och avgränsningar	119
F.3.2 Bränslets egenskaper	120
F.3.3 Effektutveckling.....	120
F.3.4 Cellstorlek.....	120
Bilaga G Fullständigt resultat från brandsimuleringar	121
G.1 Brand i utställningsbil	121
G.1.1 Sikt	121
G.1.2 Toxicitet	122
G.1.3 Temperatur.....	124
G.2 Brand i Dressmann	125
G.2.1 Sikt	125
G.2.2 Toxicitet	126
G.2.3 Temperatur.....	128
G.2 Brand i Intersports lager.....	129
G.3.1 Sikt	129
G.3.2 Toxicitet	130
G.3.3 Temperatur.....	132
Bilaga H Bilder på orienteringsritningar för objektets sprinklersektioner.....	133
Bilaga I Simulering i Argos.....	137

Bilaga J Kod till brandsimuleringar.....	139
J.1 Brand i utställningsbil	139
Bränsle	139
Effektutveckling	139
J.2 Brand i Dressmann.....	140
Bränsle	140
Effektutveckling	140
J.3 Brand i Intersports lager	141
Bränsle	141
Effektutveckling	141

1 Inledning

Nedan beskrivs syfte, mål, metod och avgränsningar.

1.1 Syfte och mål

Syftet med studien är att undersöka om personsäkerheten är tillfredställande för besökare och personal vid händelse av brand i Galleria Gränden.

Målet är med studien är att utvärdera personsäkerheten vid utrymning i händelse av brand. Det görs genom beräkningar och resonemang och grundar sig i byggnadens befintliga brandskydd. Vid eventuella brister i det befintliga brandskyddet ska förbättrande åtgärder föreslås.

1.2 Metod

Arbetet inleddes med förberedelser inför platsbesöket på Galleria Gränden. Ritningar över gallerian undersöktes och genom diskussion med handledaren gjordes avgränsningar för att komma fram till vilka delar av byggnaden som skulle prioriteras. Diskussion fördes även kring hur platsbesöket skulle utföras i stora drag.

Platsbesöket utfördes 19 februari 2018 tillsammans med en handledare från brandteknik på LTH, en representant från WSP och fastighetsskötaren för Lundbergs fastigheter. Under besöket undersöktes lokalerna i gallerian och data samlades ihop genom mätningar och fotografering. Hela byggnaden undersöktes tillsammans med handledaren och flertalet möjliga brandscenarier diskuterades. Efter resonemang identifierades scenarier där personsäkerheten bedömdes vara under störst hot vid händelse av brand.

Dimensionerande brand- och utrymningsscenarier valdes ut och analyserades sedan med hjälp av handberäkningar samt brand- och utrymningssimuleringar med hänsyn till valda kritiska förhållanden. En känslighetsanalys gjordes sedan för att se vilka parametrar som påverkade resultaten mest.

Där det ansågs nödvändigt togs förslag på åtgärder fram och undersöktes för att kontrollera om de var tillräckliga för att garantera säker utrymning vid brand.

1.3 Avgränsningar

Rapporten behandlar endast personsäkerheten vid brand samt utrymning. Ingen hänsyn kommer därför tas gällande ekonomiska skador, egendomsskador och miljöskador. Kostnaderna för eventuella åtgärder för att förbättra brandskyddet kommer att behandlas ytterst kortfattat.

Rapporten kommer inte utreda hur den eventuella brandbelastningen påverkar objektets bärförmåga utan det förutsätts att byggnaden inte kommer kollapsa.

Analysen avgränsas till de publika delarna samt vissa personalutrymmen i Galleria Gränden. Ingen hänsyn kommer att tas till de angränsande lokalerna i fastigheten Disponenten 2 som gallerian ligger i.

Då objektet saknar utrymningshissar samt utrymningsramper kommer rapporten inte behandla funktionshinder för personer som behöver assistans vid utrymning eller personer som ej kan använda trappor.

2 Objektbeskrivning

Nedan beskrivs objektets historik, verksamhet, utformning.

2.1 Historik

Galleria Gränden byggdes under 1960-talet, då som ett Domusvaruhus. Varuhuset upptog till ytan våningarna. Både kontor och kommersiella lokaler inhyestes i fastigheten och gör det även idag. Vid 1990-talets början byggdes varuhuset om till nuvarande Galleria Gränden. Under en tid därefter, fram till 2009 då Lundbergs köpte fastigheten, hette gallerian Leo. 2010 återfick gallerian namnet Gallerian Gränden, ett namn den mot alla odds lyckats behålla fram till dagens datum. (Linköpings Historia, 2018) (Lundbergs, 2018).

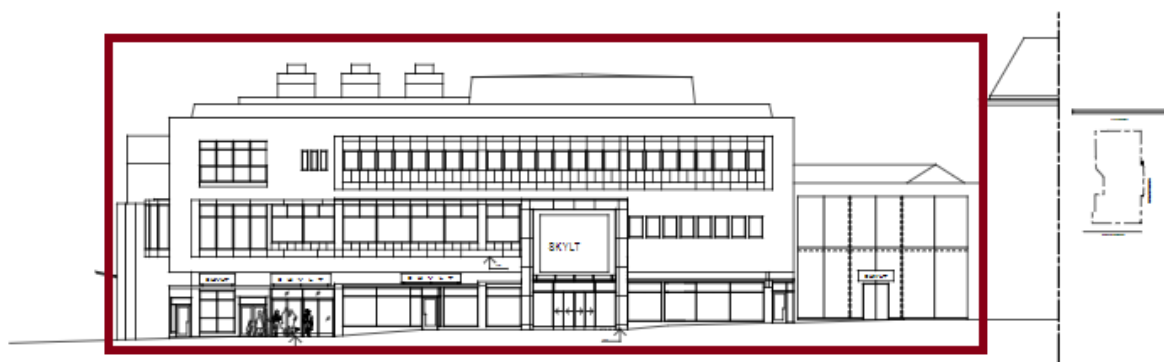
2.2 Verksamhet

Det är Lundbergs som äger och driver Galleria Gränden. I gallerian samsas totalt 39 olika verksamheter, så som caféer, kläd och inredningsbutiker och mindre specialistbutiker om tre våningar i varuhuset. Förutom affärer, butiker och caféer i Galleria Gränden, används en mindre del av fastigheten som gallerian tillhör, Disponenten 2, till kontors och konferensutrymmen.

2.3 Objektets utformning

Galleria Gränden är inhyt i kvartersblocket Disponenten 2. Som tidigare nämnt inhyser Disponenten 2 en blandning av publika lokaler och kontors- samt konferensutrymmen. Hela fastigheten består av totalt sex våningsplan inklusive källare. Galleria Gränden innefattar tre våningsplan, där både ett atrium och källarplan ingår, se Figur 1 och se Figur 4. Den uthyrningsbara delen av Galleria Gränden uppgår till 14 000 m² varav 10 000 m² består av butiker.

Gallerian har två huvudentréer som sammanbinds med ett gemensamt gångstråk, se Figur 2 och Figur. 5. I det gemensamma gångstråket ligger även ett atrium som sammankopplar övervåningen av gallerian med entréplanet. Källarplanet har en förbindelse med rulltrappa upp till huvudgångstråket på entréplan, samt en rulltrappa upp till gatunivån, där en egen entré ner till butiken i källaren finns. Butiken MQ har även en egen entré, se Figur 3.



Figur 1. Skiss över Disponenten 2 med Galleria Gränden inrutad, sett ifrån norr.



Figur 2. Norra huvudentrén till Galleria Gränden.



Figur 3. Entrén till MQ.



Figur 4. Skiss över Disponenten 2 med Galleria Gränden inrutad, sett ifrån öster.



Figur 5. Östra huvudentrén till Galleria Gränden.

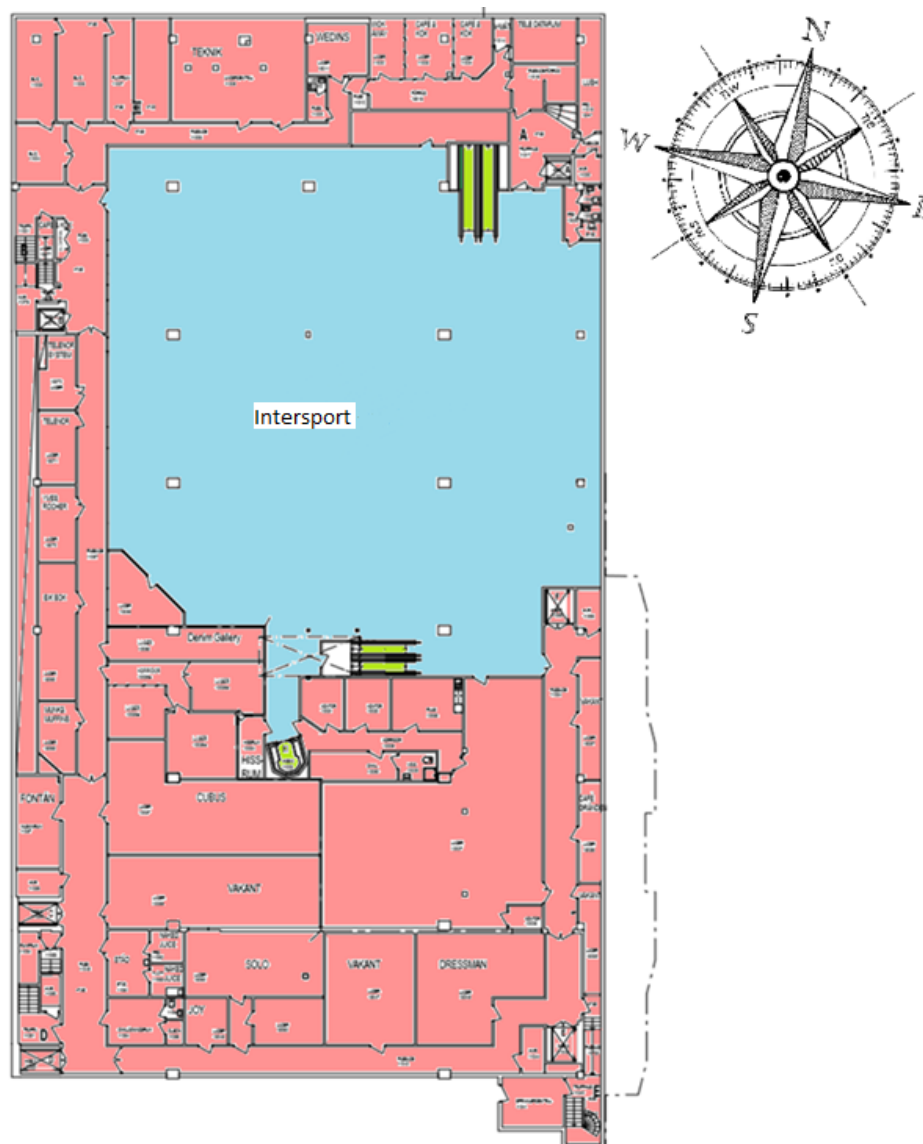
2.3.1 Källarplan

I källarvåningen har Intersport sin butik. Butiken är även den enda delen av källarvåningen som är tillgänglig för allmänheten. Källarvåningen kan nå antingen direkt från utsidan via en rulltrappa ner till butiken eller via en annan rulltrappa som leder ner från entréplanetets gångstråk.

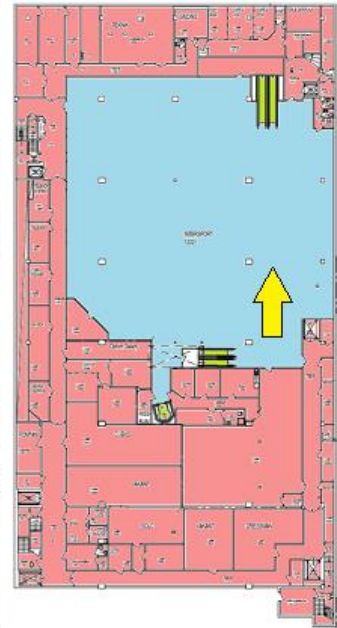
Förutom Intersportbutiken i källarvåningen finns det flera lagerutrymmen för gallerians butiker. En lång gång leder runt Intersportbutiken som sammankopplar lagerutrymmen med varandra. Sprinklercentralen ligger även placerad i källaren.

Intersportbutikens takhöjd ligger på ungefär 4,8 meter. Vid en del bjälklag uppgår dock takhöjden till 3,6 meter.

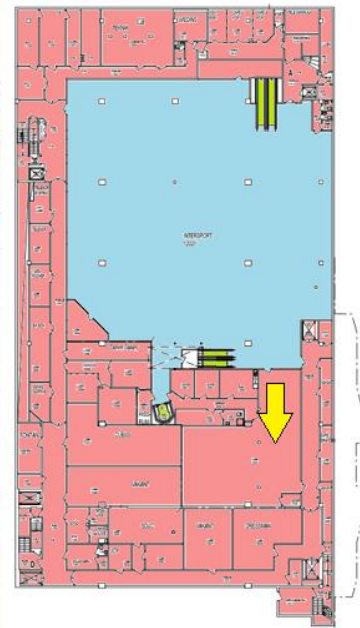
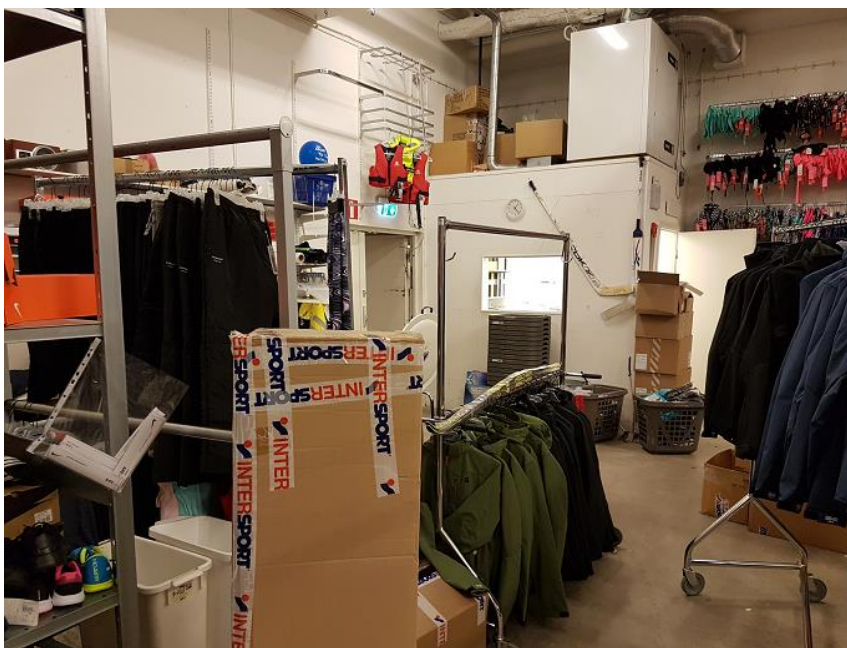
Ritning över källarplanet presenteras nedan i Figur 6 där, följt av bilder från platsbesöket i Figur 7, Figur 8, Figur 9 och Figur 10. Pilarna i figurerna beskriver var fotot är taget någonstans och i vilken riktning.



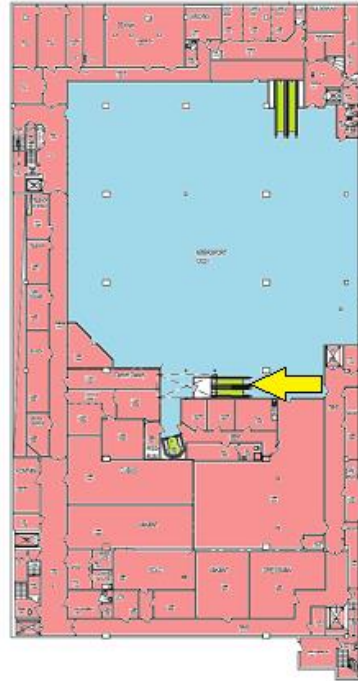
Figur 6. Ritning över källarplanet. Blå färg motsvarar publika utrymmen, grön färg motsvarar gångstråk samt förbindelser mellan våningar och röd färg motsvarar personalutrymmen.



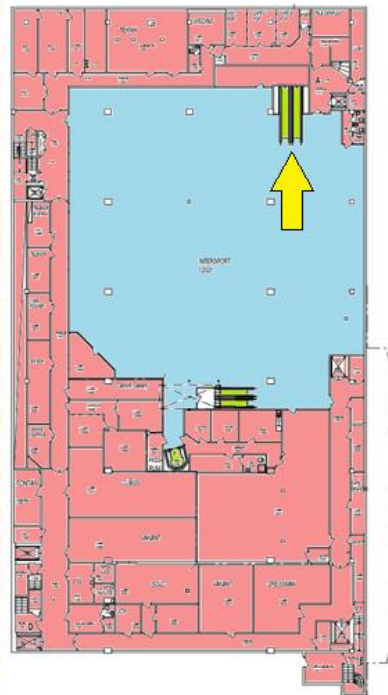
Figur 7. Publika delen av Intersport.



Figur 8. Lager på Intersport.



Figur 9. Rulltrappa upp mot gångstråket.



Figur 10. Rulltrappa som leder till utsidan, norr om Galleria Gränden.

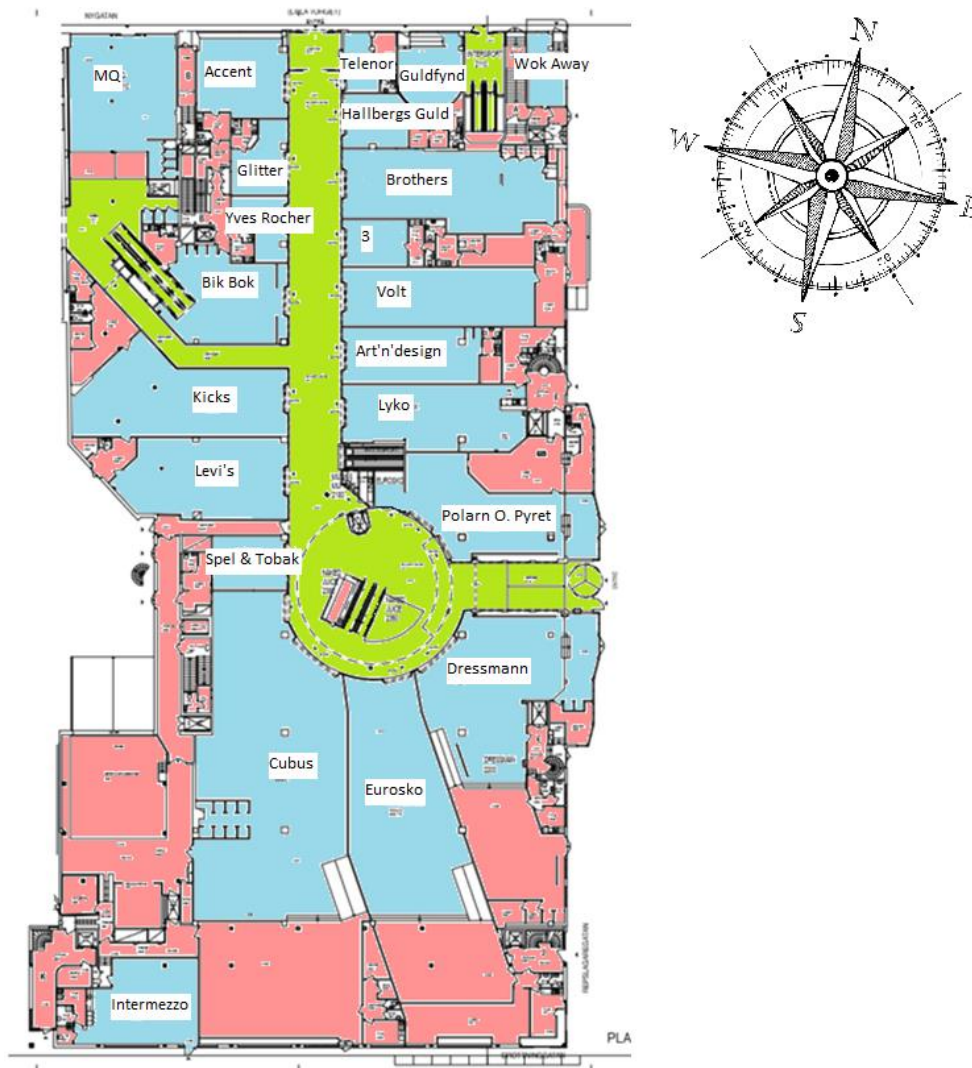
2.3.2 Entréplan

Det är på entréplanet som Gallerians två huvudingångar är belägna. De två entréerna kan kallas entré nord och entré öst, efter vilka väderstreck de ligger i. En ingång med rulltrappor från utsidan, bredvid entré nord, som leder ner till Intersport i källarplanet finns även belägen på entréplanet.

Gallerians gångstråk kopplar samman de två huvudingångarna. Gångstråket kan även delas upp i två, ett längre gångstråk med en ungefärlig takhöjd på 3,1 meter som sträcker sig från entré nord och ett kortare som leder in från entré öst. Det kortare gångstråket har en slutande inglasning med en maximal höjd på ungefär 12,3 meter. Ett atrium binder samman de bägge gångstråket. Det finns även en sekundär entré från HM som ligger vägg i vägg med gallerian. Även en hiss finns placerad i atriet som går till källarvåningen och andra våningen. I det norra gångstråket finns det även en rulltrappa som leder ner till Intersport i källaren. Ett mindre gångstråk leder till en avskild yta av entréplanet där det finns toaletter och ännu en rulltrappa som leder upp in i MQ.

På entréplanet samsas såväl större klädaffärer som mindre aktörer likt en kiosk, hälsokostbutik och Telenorbutik om de uthyrningsbara ytorna. I atriet som sammanbinder gångstråket med de två huvudentréerna finns det även en juicebar och sittplatser. Här finns det även utrymme för tillfälliga utställningar, så som utplacering av en elbil.

Ritning över entréplanet presenteras nedan i Figur 11, följt av bilder från platsbesöket i Figur 12, Figur 13 och Figur 14. Pilarna i figurerna beskriver var fotot är taget någonstans och i vilken riktning.



Figur 11. Ritning över entréplanet. Blå färg motsvarar publika utrymmen, grön färg motsvarar gångstråk samt förbindelser mellan våningar och röd färg motsvarar personalutrymmen.



Figur 12. Viloplatser i atriet.



Figur 13. Vy över den östra entrén.

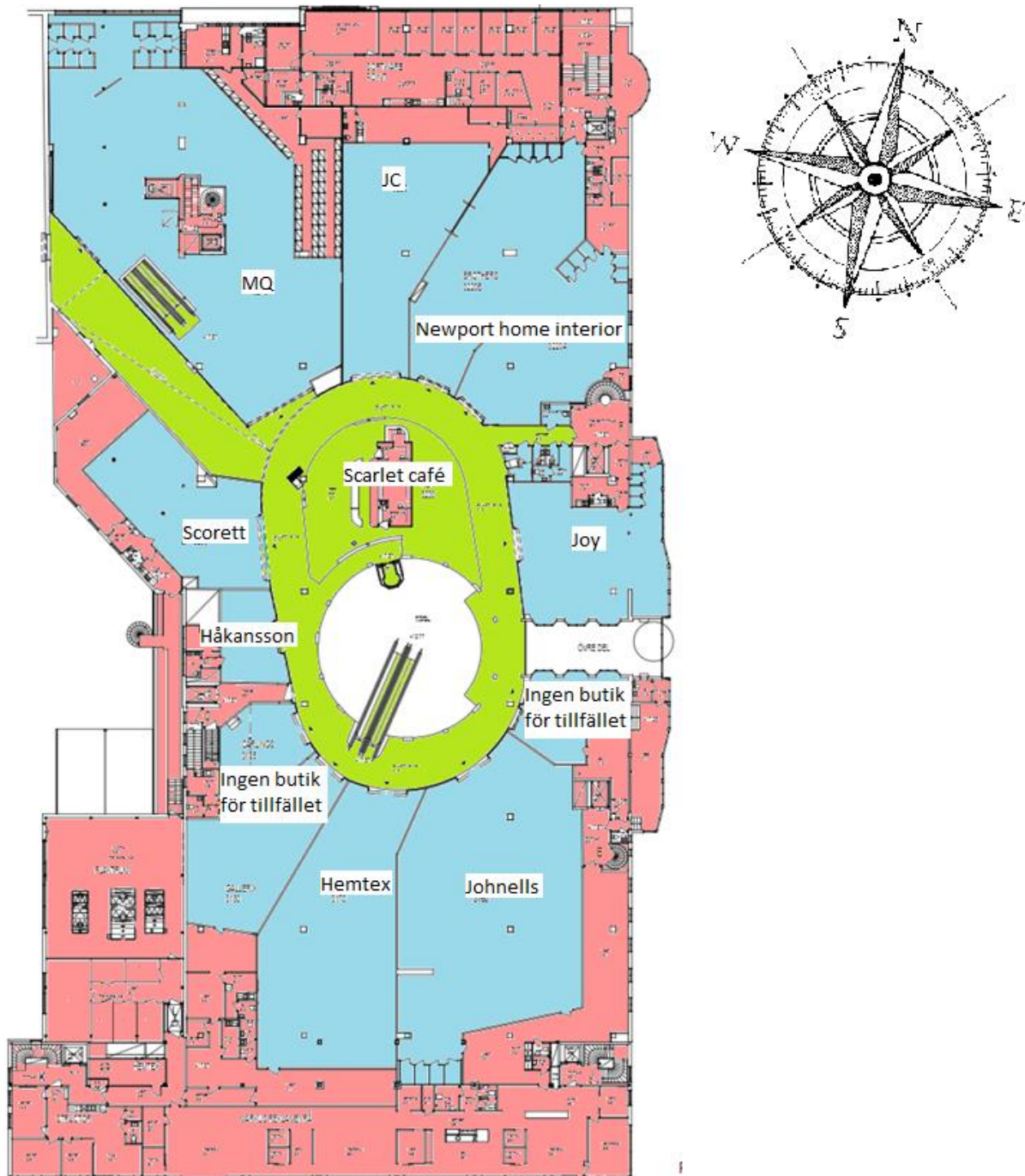


Figur 14. Vy över gallerians primära gångstråk och den norra entrén.

2.3.3 Våningsplan två

Det övre planet är centrerat kring atriet och ett café som ligger öppet i gallerian. Atriet och caféet omgärdas av ett gångstråk som binder samman övre planets öppna ytor med kläd- och inredningsbutiker. I atriet finns den rulltrappa som till största del används för att ta sig mellan markplan och våningsplan två. I MQ-butiken finns en andra rulltrappa som också går mellan entréplan och plan två. Förutom rulltrappan och hissen vid atriet finns det även en ett gångstråk som leder till HM-butiken utanför gallerian. Intill caféet ligger tre allmänna toaletter.

Ritning över våningsplan två presenteras nedan i Figur 15, följt av bilder från platsbesöket i Figur 16 och Figur 17. Pilarna i figurerna beskriver var fotot är taget någonstans och i vilken riktning.



Figur 15. Ritning över plan två. Blå färg motsvarar publika utrymmen, grön färg motsvarar gångstråk samt förbindelser mellan våningar och röd färg motsvarar personalutrymmen.



Figur 16. Caf et i den öppna ytan på plan två.



Figur 17. Vy över atriet.

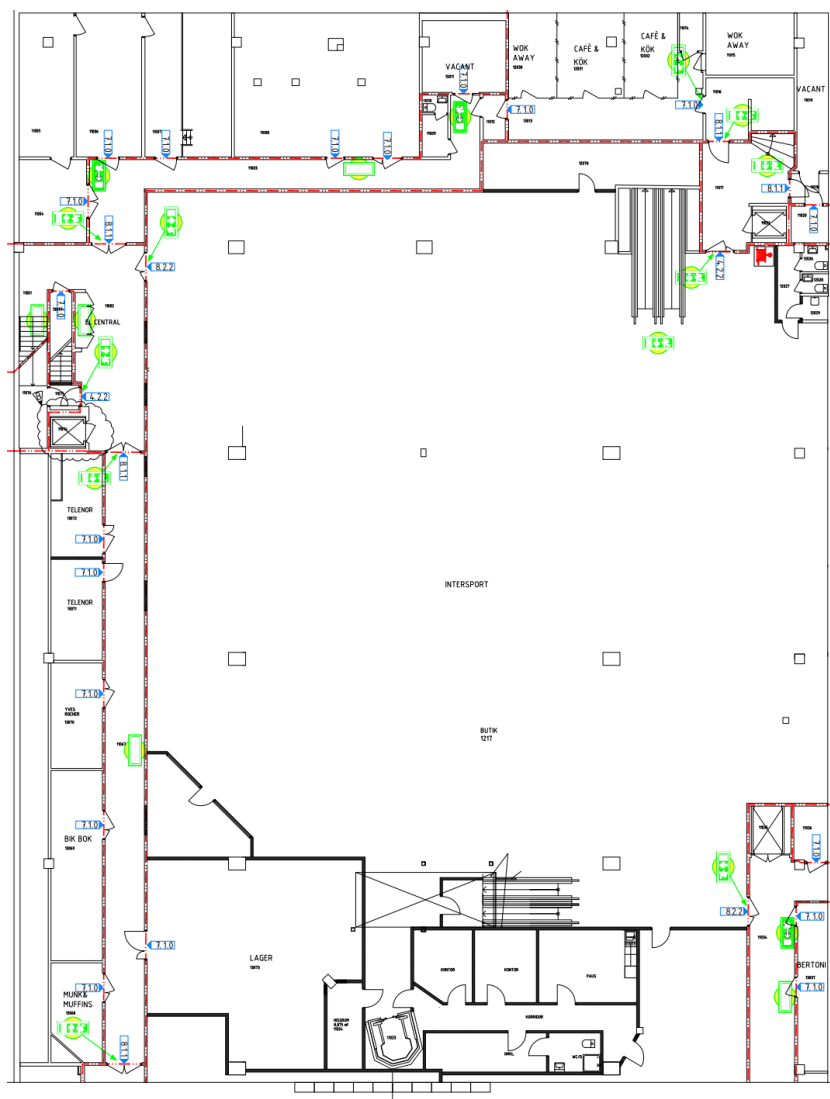
3 Befintligt brandskydd

Nedan beskrivs objektets befintliga brandskydd.

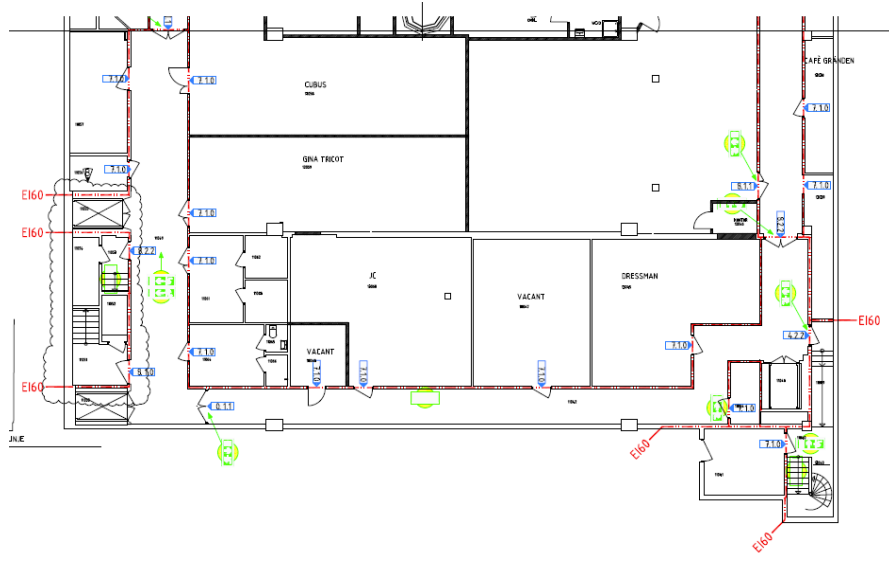
3.1 Brandcellsindelning

Vad som är utmärkande för objektet är i stort sätt inga butiker är indelade i egna brandceller, undantaget Intersport. Förklaringen till detta är att alla butiker har fria öppningar mot gångstråken i Gallerian. Istället är merparten av objektet sprinklat. Den framträdande delen av byggnaden som inte är sprinklad är gallerians atrium. Där finns istället brandgasventilation.

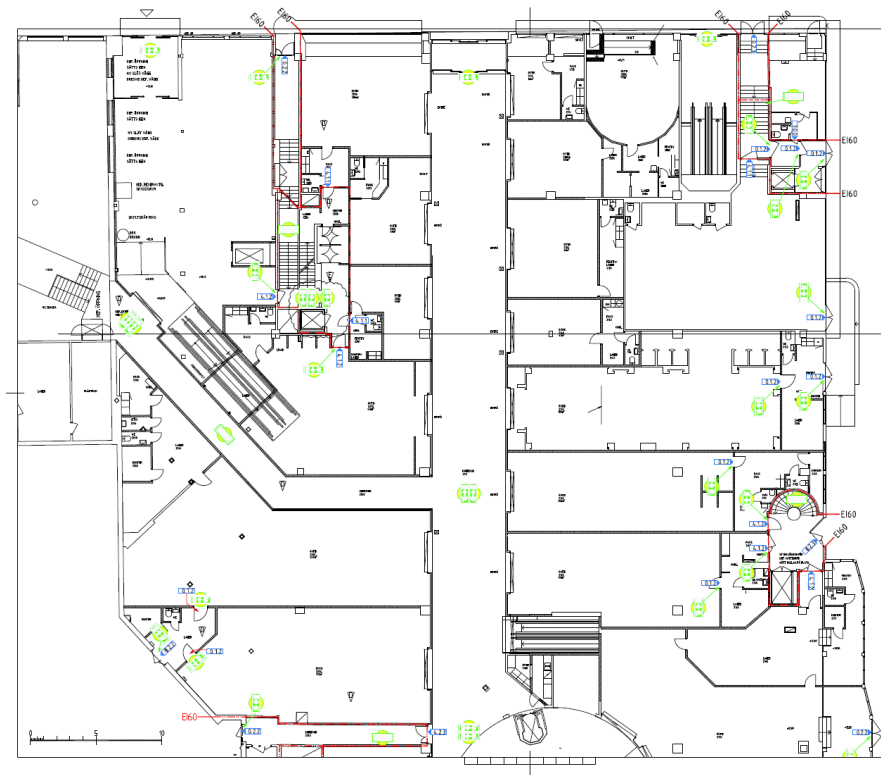
Förutom gallerians två huvudentréer är samtliga utrymningsvägar indelade i brandceller av klass EI60. För indelning av objektets brandceller, se Figur 18, Figur 19, Figur 20, Figur 21, Figur 22 och Figur 23.



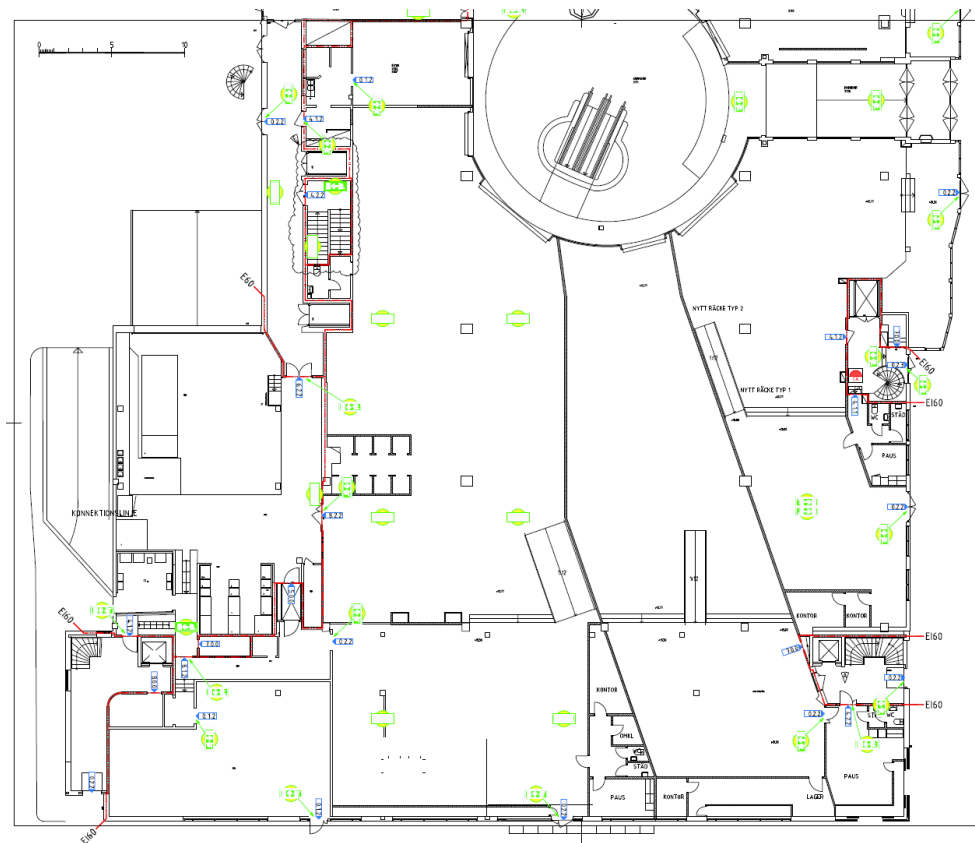
Figur 18. Brandcellsindelningen på källarplan.



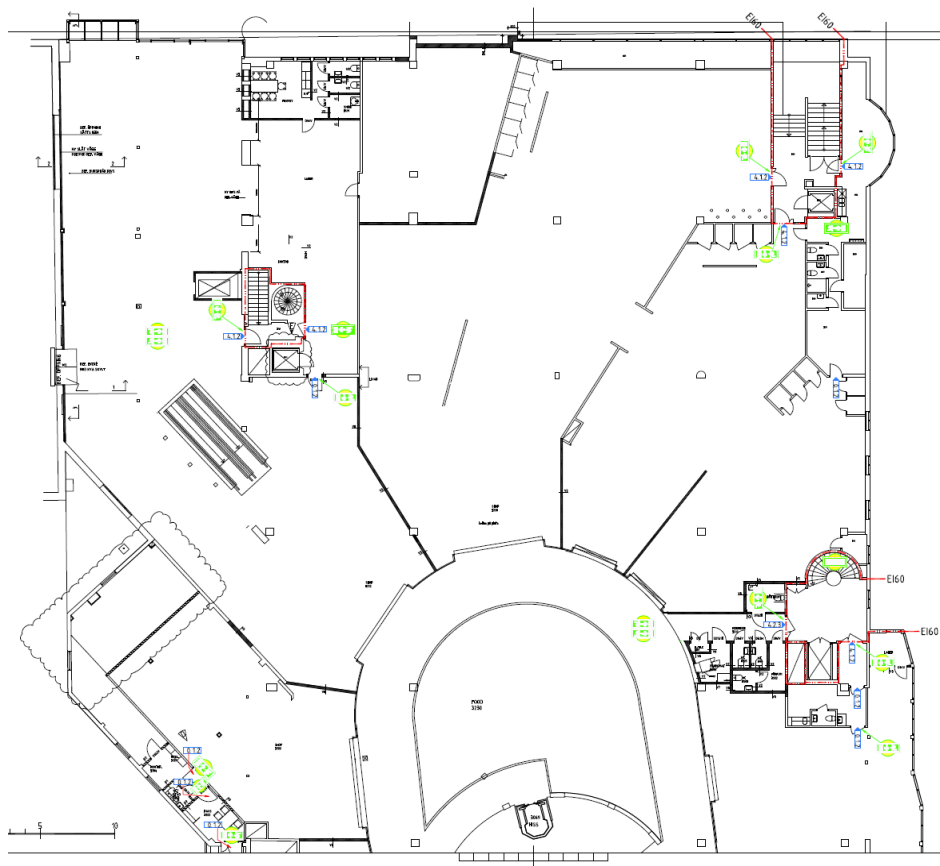
Figur 19. Brandcellsindelning på källarplan.



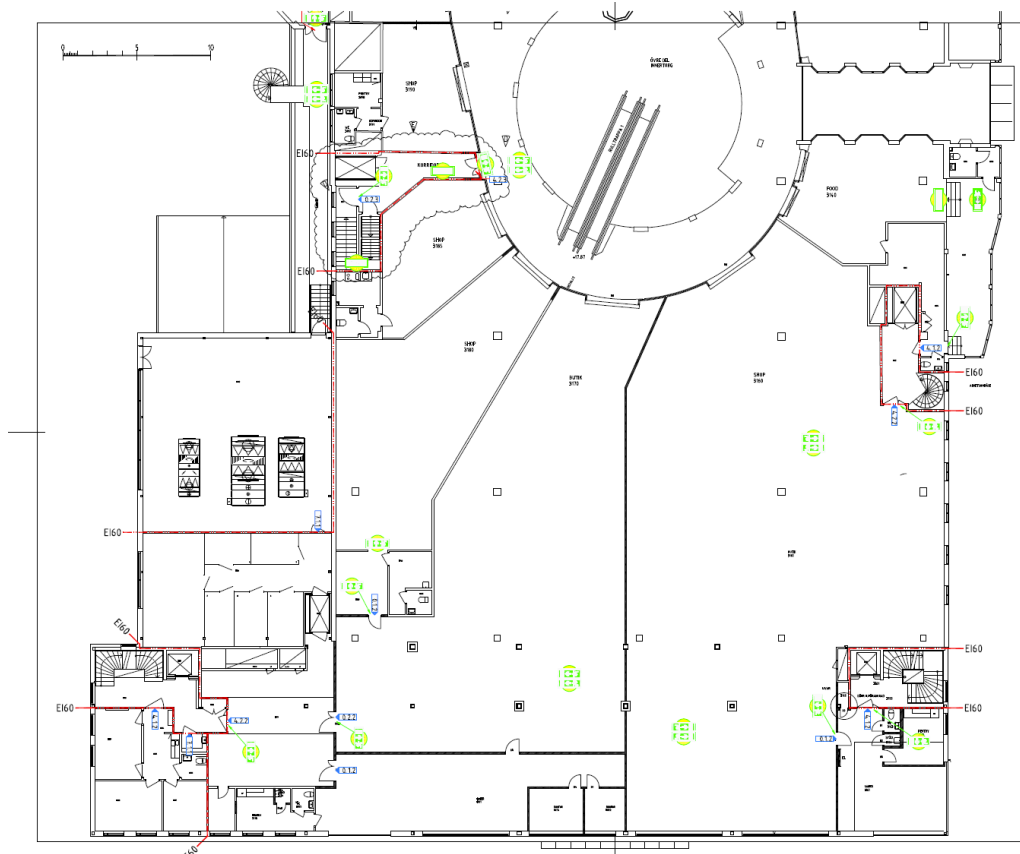
Figur 20. Brandcellsindelning på entréplan, norra delen.



Figur 21. Brandcellsindelning entréplan, södra delen.



Figur 22. Brandcellsindelning våningsplan två, norra delen.



Figur 23. Brandcellsindelning våningsplan två, södra delen.

3.2 Branddetektorer

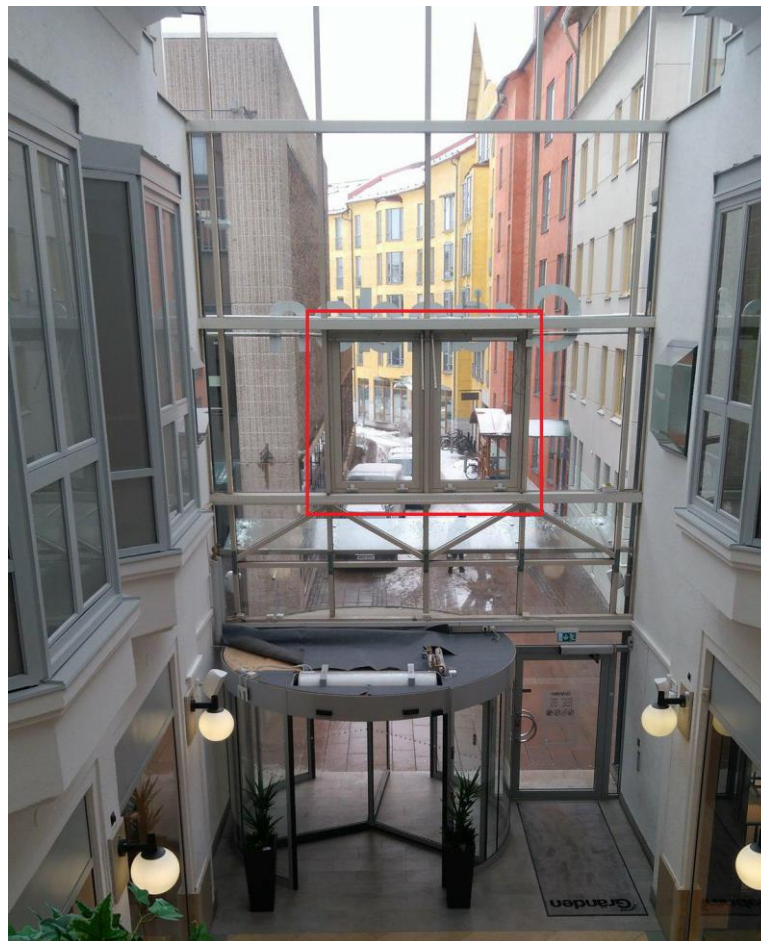
Gallerian har totalt 521 stycken rökdetektorer och 61 stycken värmedetektorer, fördelat på 70 stycken sektioner. Det finns även 53 stycken larmknappar. Vid aktivering av detektorer kvitteras larmet av fastighetskötare, men ingen larmlagring sker. Larmet vidarebefordras direkt till räddningstjänsten.

3.3 Brandgasventilation

Galleria Gränden har omfattande brandgasventilation. Vid den östliga entrén finns det åtta rökgluckor med en uppskattad totalarea på 12 m², se Figur 24. Det finns även två stycken tilluftsöppningar precis ovanför entrén på totalt cirka 3 m², se Figur 25. Atriet i Gallerians mitt har rökgluckor med en uppskattad area på 24 m², se Figur 26. Gångstråket på övervåningen som leder till HM-butiken har även den 24 stycken rökgluckor med en uppskattad area på 39 m². Samtliga trapphus är även de utrustade med brandgasventilation.



Figur 24. Brandgasventilation ovanför den östliga entrén, brandgasluckor är markerade med röda pilar.



Figur 25. Tilluftsöppning ovanför den östliga entrén.



Figur 26. Brandgasventilation i atriet, brandgasluckor markerade med röda pilar.

3.4 Sprinklersystem

Gallerian är försedd med en automatisk vattensprinkleranläggning. Vattentätheten ligger på 5 mm/min. Sprinklerbulberna är av typ Quick Response och aktiveras vid 68 C°. Det dimensionerade flödet och trycket är 2675 l/min respektive 3,51 bar. Vattentillförsel sker via kommunal ringmatad vattenledning.

Gallerian är indelad i fyra sprinklersektioner, där sektion ett täcker hela källarplan. Sektion två och tre täcker merparten av entréplan respektive plan två, förutom vissa kontors och lagerytor som ej är åtkomstbara för allmänheten. Sektion fyra rymmer vissa kontors- och lagerytor på våning ett och två, samt kontorsutrymmen på våning tre. Kontorsutrymmena på våning tre är utanför avgränsningen av objektet, men visas ändå då den har en sammanhängande sprinklersektion med andra våningar. För bilder av orienteringsritningar över objektets sprinklersektioner, se Bilaga J *Bilder på orienteringsritningar för objektets sprinklersektioner.*

3.5 Utrymningslarm

Gallerian har ett talat larm som nämner att en brand har inträffat. Larmet går direkt när en rökdetektor larmar, sprinkler aktiveras eller en larmknapp används.

3.6 Personal

Personalen som arbetar i gallerian har olika rutiner när utrymningslarmet går. Men generellt så ska de utrymma till en uppsamlingsplats.

3.6.1 Väktare

Väktarna har i uppgift att se till att folk utrymmer och att ingen finns kvar.

3.6.2 Butikspersonal

Personalen ska se till att kunderna lämnar butiken och sedan ska de dra ner jalousierna så att det endast finns en glipa på ca 60 cm från golvet innan de utrymmer.

Ansvarig personal på Intersport checka av alla butiker vid uppsamlingsplatsen.

Personalen som arbetar i butikerna som ligger närmast huvudentrén har i uppgift att se till så att personer inte går in i gallerian.

3.7 Räddningstjänst

Brandstationerna Lambohov och Kallerstad ligger cirka 10 minuter bort. Angreppsvägar till byggnaden utgörs av entréer och trapphus. En särskild insatsplats finns upprättad vid ingången närmast larmcentralen. Gallerian är tillgänglig via det kommunala vägnätet.

4 Utrymningsdimensionering

Tiden tills det råder kritiska förhållanden kommer beräknas och anges som tillgänglig utrymningstid ($t_{tillgänglig}$). Tillgänglig utrymningstid kommer att jämföras med tiden det tar att utrymma ($t_{utrymning}$). För att människor inte ska komma till skada måste den tillgängliga tiden vara längre än tiden det tar att utrymma (Frantzich, 2000). Säker utrymning kan beskrivas som:

$$t_{tillgänglig} > t_{utrymning}$$

Tiden det tar för att utrymma ($t_{utrymning}$) kan definieras som den tid som passerar från att en brand startar tills att utrymmande personer befinner sig i säkerhet. ($t_{utrymning}$) kan delas upp i tre delar: *varseblivning, förberedelse och förflyttning*. (Frantzich, 2000). Tiden det tar att utrymma kan beskrivas som:

$$t_{utrymning} = t_{varseblivning} + t_{förberedelse} + t_{förflyttning}$$

Den tiden det tar att utrymma varierar mycket och är där med svår att bestämma. Tiden det tar för personer att förflytta sig är lätt att uppskatta medan varseblivningstiden och förberedelsetiden kan variera mycket. Det som påverkar varseblivningstiden och förberedelsetiden är framförallt hur personerna uppfatta situationen. Personer börjar oftast utrymma när de uppfattar situationen som farlig och bedömer att den bästa åtgärden är att utrymma. (Frantzich, 2000)

4.1 Kritiska förhållanden

Nedan följer de kritiska förhållandena som kommer att användas i denna rapport. Samtliga värden gäller två meter ovan golv då det anses att de allra flesta är kortare än så.

4.1.2 Värmestrålning

Oskyddad hud som exponeras för värmestrålning kan orsaka smärta och brännskador. Flera experiment har undersökt relationen mellan mängden värmestrålning och exponeringstid. Resultaten från dessa olika experiment har sammanställts. Resultatet visar att den effekt som går att tolerera är 2,5 kW/m². Överskrids denna nivå så uppkommer rodnader på huden och smärta efter några sekunder (SFPE, 2002). Personerna som utrymmer får inte utsättas för en högre effekt än 2,5 kW/m².

4.1.3 Sikt

En nedsatt sikt jämfört med normala förhållanden kan ha en inverkan på orienteringsförmåga och gånghastighet.

För att säkert kunna utrymma en byggnad under ett brandförlopp är det av yttersta vikt att personerna ifråga som utrymmer kan se tillräckligt långt för att veta vilken utrymningsväg de kan ta. Man kan föreställa sig att ett krav på sikt är att man skall kunna se hela vägen till en utrymningsväg, att ingenting får blockera sikten alls fram tills nödutgången. Ett sådant krav kan dock bli orimligt konservativt, då det endast krävs mindre rökutveckling precis vid utrymningsvägen för att kravet ska falla.

Det kan istället argumenteras för att det som är viktigt är att en utrymmande person har tillräckligt god sikt i sin närhet för att kunna orientera sig mot en nödutgång, utan att nödvändigtvis behöva se den. I en korridor eller gång kan det räcka med att man har fri sikt i hela korridorrens bredd för att kunna bilda sig en uppfattning om åt vilket håll man kan ta för att hitta en nödutgång. I ett större, öppet utrymme är det dock viktigare att man har längre sikt för att kunna bilda sig en uppfattning om vilken väg man kan ta. Det är osannolikt med en sådan snabb rökutveckling, oavsett var brandförloppet startar i gallerian, för att en utrymmande person inte skulle kunna hinna ta sig ut i

något av gångstråken. Då gångstråken har en maximal bredd på ungefär sex meter, anser vi att det är den minsta fria sikten som krävs för att en utrymmande person ska kunna välja utrymningsväg.

Vad som även är relevant i sammanhanget är hur personers gånghastighet påverkas av minskad sikt. En lägre gånghastighet kommer direkt leda till en långsammare utrymning. En generell tumregel baserat på en mängd olika försök där testpersoner rör sig genom rök, visar på att gånghastigheten börjar sjunka vid tre meters sikt (Frantzich H. , 2018). Då kravet på fri sikt är satt till sex meter av orienteringsskäl är det som blir dimensionerande vid valet av kritiska förhållanden för sikt.

De kritiska förhållandena för sikten är att sikten för någon som utrymmer ej får sjunka under sex meter under någon tidpunkt i deras utrymningsförlopp.

4.1.4 Toxicitet

Den vanligaste dödsorsaken kopplad till bränder är förgiftning av brandgaserna, främst av kolmonoxid samt vätecyanid (Brandrök, 2017). Eftersom dessa gaser ackumuleras i kroppen är effekterna tidsberoende (Purser, 2011), varför det inte är helt enkelt att bestämma en kritisk koncentration att förhålla sig till. Det är svårt att tala om en kritisk dos för vätecyanid då den kritiska dosen för vätecyanid (till skillnad från kolmonoxid) är beroende av exponeringstiden (Purser, 2011). För att bestämma kritiska koncentrationer för giftiga gaser har IC50 konceptet tagits fram. Med IC50 menas den koncentration gas som leder till att 50 % av försöksdjuren i experimentet blir handlingsförlamade (och därmed inte kan utrymma självmant) (Nilsson, Human Behaviour in Fire: Toxicity assessment, 2018). Med hjälp av IC50-konceptet samt ett antagande att utrymningen inte tar mer än 15 minuter kan dessa kritiska koncentrationer beräknas enligt ekvation 1 nedan.

$$X_{FED} = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\varphi_{CO}}{35\,000} \Delta t + \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\varphi_{HCN}^{2,36}}{1,2 \times 10^6} \Delta t$$

ekvation 1

Detta resulterar i en kritisk koncentration på 2330 ppm för kolmonoxid (CO) samt 120 ppm för vätecyanid (HCN). Den kritiska koncentration mäts på två meters höjd.

4.1.5 Temperatur

Om människor exponeras för höga lufttemperaturer leder det till brännskador och värmeslag. Lufttemperaturer på över 120 °C leder till brännskador om bar hud exponeras. Exponeras människor för höga temperaturer under 120 °C under en viss tid kommer man få värmeslag. (SFPE, 2002)

Värmeslag inträffar när kroppens temperatur stiger snabbt eftersom kroppen inte klarar av att kyla ner sig. Värmeslag kan bland annat leda till svimmning, yrsel, förvirring och i värsta fall döden. Faktorer som framförallt påskyndar värmeslag är fysisk aktivitet och luftfuktigheten (staff, 2018).

Luftfuktigheten i Gallerian är normalt på en nivå som inte har någon negativ påverkan för människor. Vid utrymning av Gallerian består de flesta utrymningsvägar av horisontella korridorer samt trappor som leder neråt. En rulltrappa som leder uppåt finns i Intersport lokaler. På grund av detta kommer de personer som utrymmer inte utsättas för någon större fysisk påfrestning vid utrymning.

Temperatur är något som påverkar människor olika. Ålder och hälsoförhållanden är något som har stor påverkan på hur väl man klarar av höga temperaturer. Vid 70 °C börjar människor uppleva obehag och utsätts man för 115 °C i mer än 5 minuter blir förhållandet olidligt (Tretsiakova-McNally, 2016).

Med hänsyn till att Gallerian är en allmänbyggnad kan det förväntas att människor i diverse åldrar och hälsotillstånd kommer att vistas i gallerian. Med hänsyn till allt ovanstående sätts den kritiska temperaturen till 115 °C, det vill säga de som utrymmer ska inte utsättas för en temperatur på 115 °C eller högre under utrymningsförloppet och de får heller inte utsättas för 115 °C i mer än 5 minuter.

5 Grovriskanalys

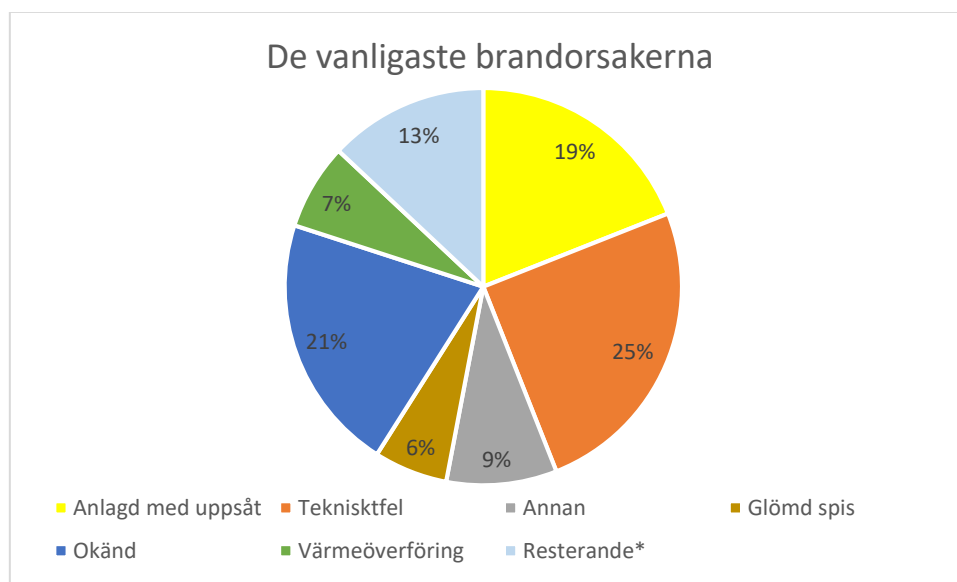
Nedan följer en beskrivning de troliga brandscenarier som fastställdes under platsbesöket.

5.1 Utförande

Inför platsbesöket granskades statistik över brandorsaker i allmänna byggnader som bedriver handel. Tillsammans med informationen från platsbesöket och statistiken identifierades nio troliga brandscenarier. En kvalitativ bedömning gjordes över sannolikheten och konsekvenserna för varje scenario. Resultatet presenterades sedan i en riskmatris. De värsta troliga scenarier som kan tänkas representera en mängd olika scenarier valdes ut.

5.2 Statistik

Statistik över de vanligaste brandorsakerna i allmänna byggnader som bedriver handel mellan åren 1998-2015 presenteras i Figur 27 (MSB, IDA, 2018).



Figur 27. De vanligaste brandorsaker i allmänna byggnader som bedriver handel. Data är hämtad från åren 1998-2015. *Kategorin resterande är en sammanslagning av kategorierna barns lek med eld, fyrverkerier, heta arbeten, levande ljus, rökning, självantändning och återantändning. Källa: (MSB, IDA, 2018)

5.3 Definiering av sannolikhet och konsekvens.

Nedan beskrivs hur sannolikhet och konsekvens definieras i rapporten.

5.3.1 Konsekvens

Mycket låg - Kritiska förhållanden uppnås ej.

Låg - Kritiska förhållanden uppnås endast i brandens direkta närhet.

Hög - Kritiska förhållanden kommer att uppnås under utrymningsförloppet.

Mycket hög - Kritiska förhållanden kommer att uppnås under utrymningsförloppet och branden slår ut en av gallerians huvudentréer.

5.3.2 Sannolikhet

Sannolikheten på brandscenarion är framtagna av kvalitativa bedömningar och delvis från statistik. De olika sannolikheterna är relativa och beskriver inte den faktiska sannolikheten utan snarare hur de förhåller sig till varandra.

Mycket låg – En händelse som bedöms vara mycket osannolik.

Låg – En händelse som bedöms vara osannolik.

Hög – En händelse som bedöms vara trolig.

Mycket hög – En händelse som bedöms vara mycket trolig.

5.4 Scenarier

Nedan diskuteras de identifierade brandscenarierna som anses vara troliga samt kan tänkas utmana personsäkerheten vid utrymning.

1. Brand i soptunna i gångstråket

Att någon person som rör sig genom gångstråket och kastar ner en cigarett, tändsticka eller en liknande tändkälla, bör ej betraktas som en omöjlighet. Även fast gallerian har ett rökförbud kan man föreställa sig att personer nonchalerar det rökförbudet och av oaktsamhet när de fimpar, väljer att göra det i en soptunna. Man kan även tänka sig att någon annan person genomför en antagonistisk handling och startar en anlagd brand i soptunnan. Skälet till att anlägga en brand i soptunnan kan till exempel vara nyfikenheten hos ett mindre barn eller en person som planerar en stöld i en närliggande butik och startar branden som en distraktion. Oavsett om anledningen till antändning är av oaktsamhet eller med vilja, kan sannolikheten för en brand i soptunna ses som mycket hög.

Inget brännbart finns i närheten av soptunnan som kan antända, samtidigt som den maximala strålningen från soptunnans effektutveckling omöjligen kan antända brännbart material som inte är precis i närheten. Då soptunnans effektutveckling heller inte kan bidra till någon omfattande rökbildning eller kraftig värmestrålning finns ingen risk att kritiska förhållanden uppnås eller att en entré blockeras. Konsekvensen anses vara mycket låg.

- **Sannolikhet: Mycket hög**
- **Konsekvens: Mycket låg**

2. Brand i utställningsbil

Enligt uppgift från personal i Gallerian sker det tillfälliga utställningar av bilar i atriet. Under besöket framgick det att det planerades en utställning i atriet av en bil, se Figur 28. Det antas att bilarna kommer vara uppkopplad med elektricitet, för att kunna visa de som besöker den tillfälliga utställningen alla bilens funktioner, så som radio, lampor och annan extra utrustning i bilen. Risken finns alltså att det sker ett elfel som orsakar brand. Tekniskt fel är en av de vanligaste brandorsakerna och även om det inte framgår hur stor del av de tekniska felen som är elfel, kan det antas att det inte är en obetydlig del. Sannolikheten för en brand i bil bedöms som låg.

En bil har en stor mängd brännbart material i sig och en brand i bil kan leda till en mycket hög effektutveckling såvida branden inte begränsas i sitt tidiga skede. Eftersom atriet saknar sprinkler, har god tilluft och då antagandet göras att ingen person i närheten gör en snabb första insats med brandsläckare, kan branden i bilen växa till sig mycket snabbt med hög effektutveckling. Kritiska förhållanden kan komma att uppnås och en av entréerna samt rulltrappan i atriet kan blockeras för utrymning. Konsekvensen bedöms därför vara mycket hög.

- **Sannolikhet: Låg**
- **Konsekvens: Mycket hög**



Figur 28. Vy ner på atriet från våningsplan två.

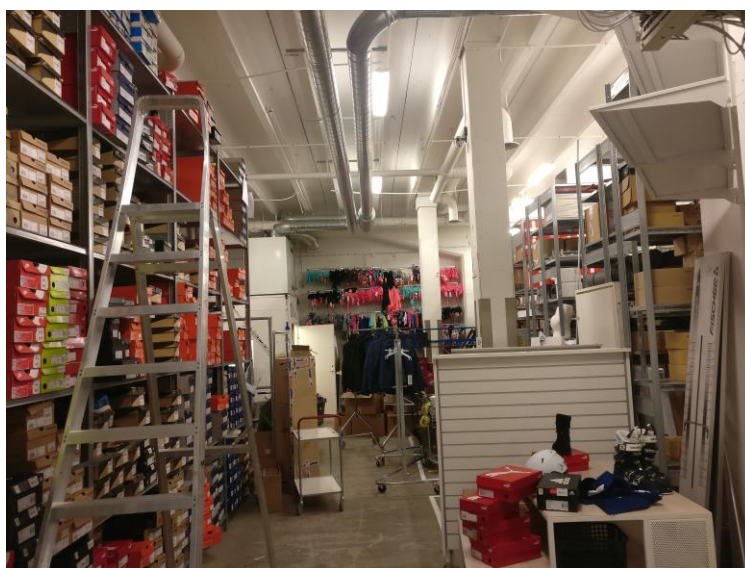
3. Brand i Intersports lager

Ett tänkbart brandscenario är att en illvillig person anlägger en brand inne på Intersports lager. Lagret är i en avskild del av butiken med en låst dörr. Enligt Intersports personals utsaga står dock dörren öppen ibland, vilket möjliggör för en obehörig person att smita in och starta en brand. Sannolikheten kan därför ses som hög.

Det finns mycket brännbart material som samtidigt är lättantändligt inne på lagret så som kartonger, jackor, skor, platstillbehör och liknande, se Figur 29. Lagringshöjden är även väldigt hög, på vissa platser på lagret lagrades det hela vägen upp till taket. Hyllorna i lagret var även utformade på sådant vis att vatten från ett sprinklerhuvud skulle ha svårt att tränga ner genom hyllorna, eftersom de inte var ribbade. Ifall ingen personal skulle befinnas sig på lagret för att genomföra en första släckinsats vid en eventuell brand finns kan branden komma att växa okontrollerat.

Då branden kan bli mycket stor väldigt snabbt, samtidigt som dess placering nere i Intersports butik möjliggör rökfyllnad i gångstråket ovanför via rulltrapporna, görs bedömningen att kritiska förhållanden kommer uppnås under ett utrymningsförlopp, samtidigt som en av huvudentréerna kan bli blockerade. Konsekvensen bedöms således bli väldigt hög.

- **Sannolikhet: Hög**
- **Konsekvens: Mycket hög**



Figur 29. Bild på Intersports lager.

4. Brand på toalett

De allmänna toaletterna i byggnaden är utrymmen som är oövervakade öppna för alla. Det skulle kunna innebära att en person anlägger en brand antingen med vilja eller av misstag. Till exempel att någon slänger en cigarettfimp i papperskorgen. Sannolikheten kan ses som mycket hög.

Då det i normalfall inte finns mycket brännbart i en toalett så antas branden inte bli jättestor och det är inte troligt att den sprids. Eftersom det endast finns en i sammanhanget obetydlig risk att kritiska förhållanden nås, sätts konsekvensen för en brand på toalett till mycket låg.

- **Sannolikhet: Mycket hög**
- **Konsekvens: Mycket låg**

5. Brand i klädbutik

Om en person har som uppsåt att anlägga en brand så kan en klädbutik vara en potentiell plats för det. Anlagd brand med uppsåt utgör 19 % av alla bränder allmänna byggnader som bedriver handel och därför ses sannolikheten som hög.

Dressmann bedöms vara den butik där en brand ger högst konsekvens på grund av att den ligger intill en utrymningsväg, se Figur 30. En brand skulle också innebära rökspridning till båda våningsplanen. Butiken har en stor mängd brännbart material och branden kan få en snabb tillväxt. Därför är konsekvensen för detta scenario hög.

- **Sannolikhet: Hög**
- **Konsekvens: Hög**



Figur 30. Ingången till Dressmann i atriet.

6. Brand i kök på Café Scarlet

På våningsplan två ligger ett café med ett restaurangkök, se Figur 31. En brand skulle kunna uppkomma i köket och spridas till närliggande brännbart material. Enligt statistik har det mellan 1998 och 2005 uppkommit 506 bränder i kök i allmänna byggnader som bedriver handel. Därför ses sannolikheten som hög.

Det kan antas att personal ofta befinner sig på platsen och därför kan släcka branden. Intill caféet kan kritiska förhållanden nås men utrymning kan ske i många olika riktningar. Därför ses konsekvenserna som låga.

- Sannolikhet: Hög
- Konsekvens: Låg



Figur 31. Bild på Cafe Scarlet.

7. Brand i skidslip

Ett möjligt brandscenario är en brand i Intersports verkstad där skidor slipas. Slipning av skidor kan ses som en typ av heta arbeten vilket ofta kan innebära risk för brand. I och med att gnistor bildas och att det har hänt förr så anses sannolikheten vara mycket hög.

Om det uppstår en brand är det i samband med att skidor slipas och det betyder att det befinner sig personal på plats. Därför kan det antas att personalen kan släcka branden direkt. Detta scenario har inträffat en gång tidigare där utfallet blev just att personalen kunde släcka branden. Konsekvensen bedöms vara låg.

- Sannolikhet: Mycket hög
- Konsekvens: Låg

8. Brand på grund av att en bil kraschar in i en entré

En händelse som kan framkalla en brand är om ett fordon skulle krascha in i någon av Gallerians två huvudentréer. Plötsligt sjukdomsfall som får en förare att tappa kontrollen över sitt fordon eller en antagonistisk handling är två typer av händelser som kan inträffa. Gekås i Ullared och Åhléns på Drottninggatan i Stockholm skulle kunna likställas med Galleria Gränden gällande typ av verksamheter som bedrivs. 2017 kraschade det in fordon i entréer till båda handelsplatserna. Det var en bil som körde in i Gekås entré och anledningen till kraschen berodde på ett sjukdomsfall. Bilen fattade inte eld. (Cardell, 2017)

I Stockholm genomförde en terroristattacker då folk mejades ned med en lastbil på Drottninggatan innan han slutligen kraschade in i en av Åhléns entréer, varpå lastbilen fattade eld (Dagens Nyheter, 2017).

Med bakgrund av de två händelserna, är det inte att betrakta som uteslutet att ett fordon kraschar in i en av gallerians entréer och fattar eld. Det är alltså inte helt osannolikt brandscenario, men sannolikheten får ändå bedömas som mycket låg i förhållande till andra brandscenarier som kan uppstå i Galleria Gränden.

En effektutveckling av branden likt den som beskrivs för scenario två är att förvänta sig eller eventuellt större, beroende på fordon som kraschar in i entrén. Konsekvensen skulle kunna sättas till mycket hög för detta brandscenario då dess effektutveckling riskeras att skapa kritiska förhållanden samtidigt som den definitivt kommer blockera en av entréerna. Eftersom bilen ej tar sig in i gallerian utan stannar vid entrén, antas det att branden är i det fria, utanför gallerian. Rökutvecklingen i Gallerian kan därför antas bli mindre jämfört med om bilen brunnit i Gallerian. Konsekvensen bedöms således inte att vara mycket hög, men åtminstone hög.

- **Sannolikhet: Mycket låg**
- **Konsekvens: Hög**

9. Brand i kiosk

En brand i kiosken som ligger i anslutning till ariet i gallerian är ett troligt scenario. Kiosken kan vara ett mål för anlagd brand i och med lättillgängligheten samt de lättantändliga varorna som säljs, till exempel tidningar och vykort. Det är även troligt att någon av kylarna kortsluter och leder till brand i kiosken. Eftersom det kiosken är relativt liten i storlek samt alltid bemannad anses sannolikheten för anlagd brand vara något lägre än i andra närliggande butiker. Dessutom finns det endast ett fåtal kylskåp och annan teknisk utrustning vilket minskar sannolikheten något för brand på grund av tekniskt fel. Den sammanlagda sannolikheten för brand i kiosken anses alltså vara något mindre än i de andra lättillgängliga utrymmena i gallerian, men fortfarande hög.

Brandspridning kan ske snabbt i kiosken och snabbt bli ohanterlig av personalen, men på grund av den låga brandbelastningen kommer branden och de kritiska förhållandena begränsas till inne i kiosken eller strax utanför. Detta innebär att konsekvensen bedöms vara låg.

- **Sannolikhet: Hög**
- **Konsekvens: Låg**

5.5 Presentation av scenariernas risk

Riskmatrisen placerar ut scenarierna med avseende på sannolikhet och konsekvens, se Figur 32. Placeringen grundar sig i definitionerna som beskrivs i avsnitt 5.3. Scenarier som placerats i de röda fälten anses utgöra en risk för att hota människors liv och hälsa. I de gula fälten anses de kunna störa verksamheten, men utgör inget stort hot mot människors liv och hälsa. Scenarier i de gröna fälten anses utgöra en låg risk för att störa verksamheten eller hota människors liv och hälsa.

		Konsekvens			
		Mycket låg	Låg	Hög	Mycket hög
Sannolikhet	Mycket hög	1,4	7		
	Hög		6,9	5	3
	Låg				2
	Mycket låg			8	

Figur 32. Riskmatris för olika brandscenarier som kan uppstå i objektet.

Av de scenarier som identifierats i grovriskanalysen bedöms tre utgöra av dem utgöra dimensionerande scenarier för objektet. Brand i klädbutik, närmare bestämt som brand i Dressmann, anses vara ett dimensionerande scenario då sannolikheten och konsekvensen för en sådan brand bedöms vara hög. Scenariot *Brand i utställningsbil* antas täcka in *Brand på grund av att en bil kraschar in i en entré* eftersom en brand i gallerian anses vara värre än en brand i en entré. En bilbrand har en låg sannolikhet men potentiellt mycket hög konsekvens och anses således täcka in sannolikheten och konsekvensen för scenariot *Brand på grund av att en bil kraschar in i en entré*.

En brand i Intersports lager har den högsta risken att hota människors liv och hälsa av alla scenarier framtagna i grovriskanalysen, då den branden bedöms ha en hög sannolikhet och mycket hög konsekvens. Således kommer även det scenariot vara med i de tre scenarier som undersöks närmare.

5.6 Val av Brandscenarier

Nedan beskrivs de Brandscenarier som anses kunna utmana objektens säkerhet samt täcker in alla aktuella scenarier i riskmatrisen.

5.6.1 Brand i bil

Då bilen är placerad i atriet i närheten av både rulltrappan som leder till våning två samt en av huvudingångarna kan både rulltrappan och entrén bli utslagen vid en brand. Bilen är placerad inne i ett område där många personer rör sig vilket gör att den är mer trolig att den vid en brand kommer att påverka mer personer än om den var placerad i entrén närmast atriet. För tänkt placering av bil, se Figur 33.

Scenario

En trolig start till en brand i en bil att ett tekniskt elfel inträffar antingen i bilens elektriska utrustning eller i någon av utställningens utrustning, vilket leder till att gnistbildning eller en värmeutveckling sker, varpå antändning inträffar (Andersson, 2018). För el-bilar är ett exempel på en komponent som kan felfunkera är en elbils litiumbatteri. Om batteriet av någon anledning skadas, kan en kortslutning med efterföljande gnista ske vilket kan antända litiumet i bilen. (Helmenstine, 2018). Det som är avgörande för effektutvecklingen är framförallt vilket material som bilen innehåller. För bilar med flytande drivmedel är det framförallt mängden vätska som finns i tanken som har en avgörande roll i effektutvecklingen även om det inte är så troligt att en utställningsbil har full tank så finns det övriga brännbaravätskor som kan antända som motorolja, servoolja, bromsolja, vätska i luftkonditioneringssystemet, glykol och spolarvätskan. I moderna bilar är det också vanligt att ha komponenter gjorda av aluminium samt magnesium som till exempel fälgar vilket kan brinna kraftfullt. (MSB, Brand i moderna bilar, 2017)

Man kan tänka sig att någon anställd i gallerian, till exempel en väktare, ordningsvakt eller vaktmästare, väljer att göra en första insats med en handbrandsläckare och på så vis släcker branden. Det är svårt att bedöma sannolikheten för att en första insats genomförs samt ifall den lyckas släcka branden. I detta scenario förutsätts det att ingen första insats sker mot branden sker.

Ingen sprinkler existerar i atriet. Således kommer branden heller ej att begränsas eller släckas av ett sprinklersystem. Som **Fel! Hittar inte referenskälla.** visar kan effektutvecklingen för bilar som brinner öka väldigt fort. Det ska undersökas är hur strålningen samt rökutvecklingen kommer påverka utrymningsmöjligheterna.

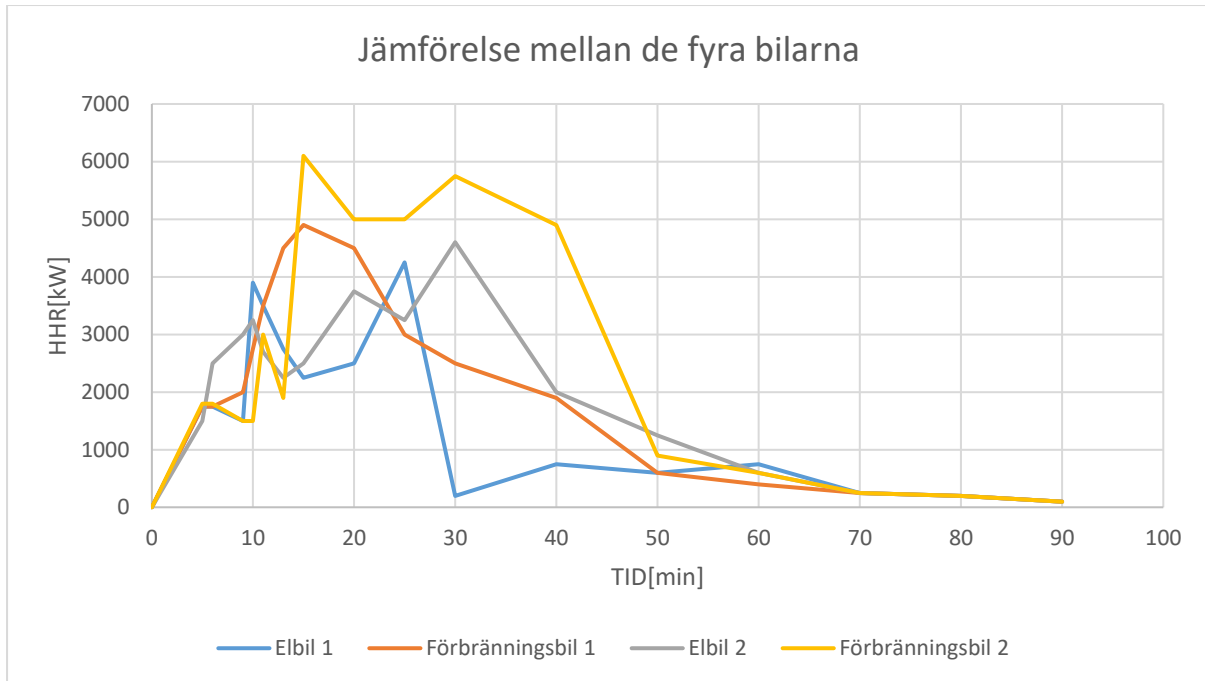
Atriet har brandgasventilation vilket kommer att undersökas om den har tillräcklig kapacitet. Då det är öppet in till våningsplan två kan röken sprida sig dit, vilket också kommer undersökas.



Figur 33. Vy över atriet där röd cirkel markerar platsen där de tillfälliga bilutställningarna hålls.

5.6.1.1 Effektutveckling

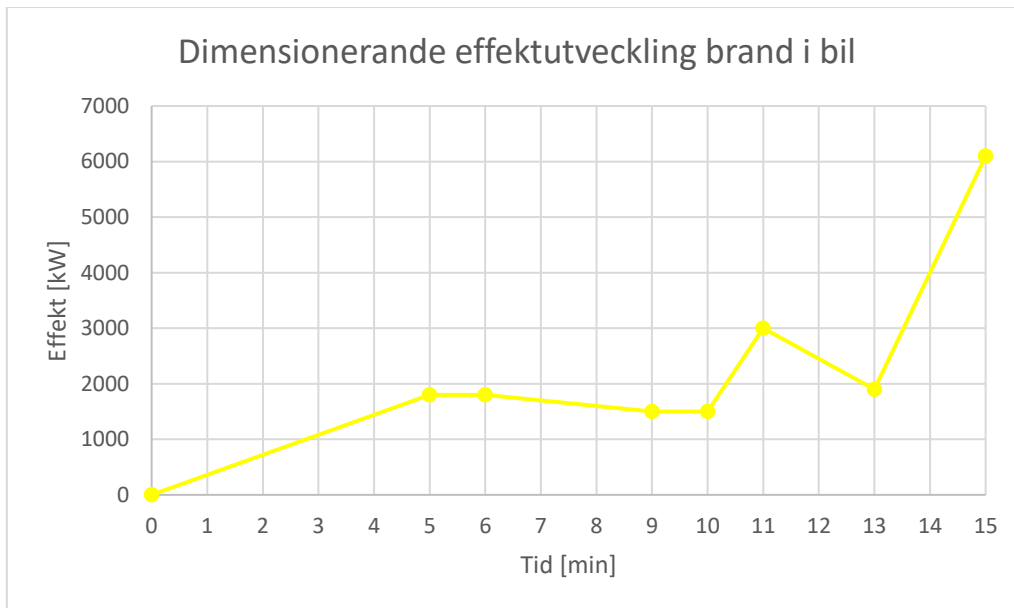
Två biltillverkare har gjort två tester vardera där de har undersökt skillnaden på brandförloppet mellan en el-bil och en bil med förbränningsmotor. Branden startar i motorn för att sedan sprida sig till kupén. Resultatet presenteras i **Fel! Hittar inte referenskälla.** (Bertana, 2014).



Figur 34 Sammanställning av fyra bilars brandförlopp.

Det som är av intresse är framförallt brandens tillväxtfas. Beräkning av effektutvecklingen avslutas efter 15 minuter då det antas att samtliga har utrymt ur gallerian vid den tidpunkten.

Då det inte finns en specifik biltyp som ställs ut i atriet antas det att både typ av bil och storlek kommer variera under gallerians livslängd. För att välja en dimensionerande effektkurva till scenariot kommer den kurva som har snabbast tillväxtfas upp till 15 minuter att väljas ut, då denna troligtvis täcker in flest typer av bilbränder. Ur **Fel! Hittar inte referenskälla.** går det att avläsa att förbränningsbil 2 har den högsta effektutvecklingen samt den högsta effekten av alla de fyra försöken. För att göra kurvan ytterligare konservativ avrundas den högsta punkten från cirka 18 minuter till tiden 15 minuter. Se Figur 35 nedan för framtagna effektutvecklingskurva.



Figur 35. Dimensionerande effektutveckling för scenariot brand i bil.

Materialval och yilder

En bil består av flera olika material. Beroende på bilmodell kan materialsammansättningen variera. Likt att både typ och storlek på de utställningsbilar som kan komma att finnas i atriets kommer variera under gallerians livslängd, kommer även materialsammansättningen att göra det. Materialsammansättningen har inverkan på vilken yilderna av sot, kolmonoxid och vätecyanid blir. Vidare väljs yilderna på ett sådant vis att de ska vara en konservativ men samtidigt representativ bild av materialsammansättningen som kan finnas i olika bilar. Bränslet i detta scenario antas bestå till 100 % av PUR-skum med en CO-yield på 0,051 g/g, en HCN-yield på 0,00053 g/g och en sot-yield på 0,113 g/g, se F.1.2 *Bränslets egenskaper* för mer information om bränslet och hur valet av material gick till.

5.6.2 Brand i Dressmann

Om objektet klarar av en brand på Dressmann antas det även klara av bränder i andra butiker i Gallerian. Dressmann ligger i atriets bottenplan och angränsar till huvudentrén som leder in till atriets. Om en brand skulle uppstå i butiken kan entrén bli utslagen och på grund av atriets utformning med en balkonglösning mellan bottenplan och våningen över kan en balkongplym uppstå vid en brand. Detta är något som kan ha stor påverkan på våningen över i form av rökspridning.

Scenario

En möjlig orsak till brand är att en antagonistisk handling begås genom att en eller fler personer tänder eld på ett klädställ i butiken. Värsta tänkbara scenario i detta sammanhang anses vara ifall ett klädställ fyllt med jackor vid entrén börjar brinna, då det som tidigare nämnt kan skapa en balkongplym upp till gångstråket ovanför på våning två samtidigt som den östliga entrén blir utslagen. För en tänkbar placering av klädstället vid entrén (med t-shirts istället för jackor vid fototillfället), se Figur 36.

Dressmann är sprinklad likt övriga butiker i gallerian. Det kan därför antas att branden begränsas i ett relativt tidigt skede. Både sannolikheten för spridning till övriga delar av butiken samt övriga delar av gallerian bedöms således som låg.

Då bedömningen gjorts att den trots det utgör det värsta tänkbara scenariot för en brand i butik på entréplanet, är den ändå relevant som ett dimensionerande scenario.



Figur 36. Entrén till Dressmann.

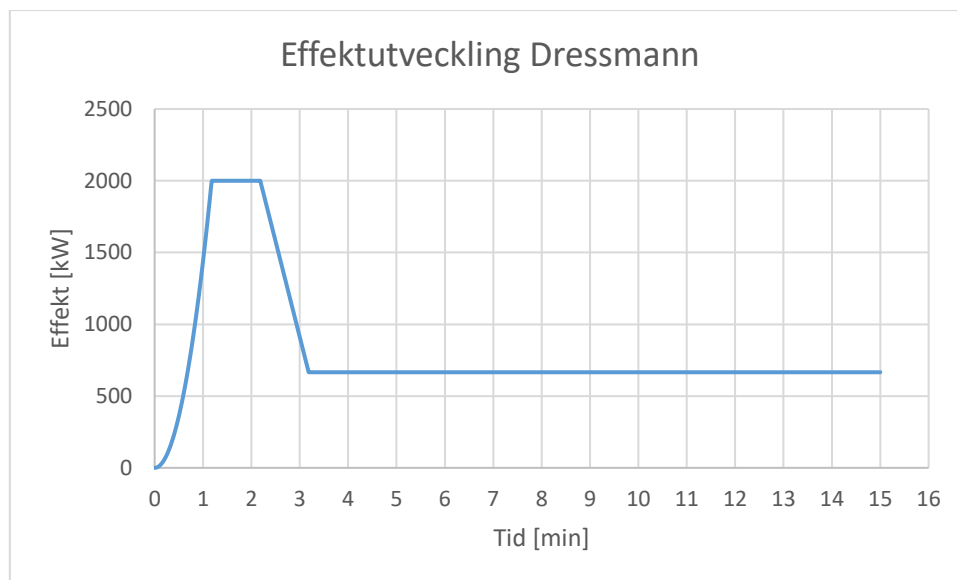
5.6.2.1 Effektutveckling

Ett tidigare utfört experiment visar att en garderob fylld med jackor når en maxeffekt på 4 MW efter cirka 100 sekunder (Johansson, 2004). Med hjälp av känd tid samt effekt kan en tillväxthastighet (α) bestämmas till $0,4 \text{ kW/s}^2$ med hjälp av ekvation 2 nedan (Karlsson & Quintiere, 2000).

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2$$

ekvation 2

Därefter kunde tid till sprinkleraktivering bestämmas till cirka 70 sekunder vid en maxeffekt på cirka 2 MW med hjälp av DETACT-T2, se Bilaga C Handberäkningar för scenariot brand i Dressmann. Beräkning av sprinkleraktivering. Effekten kommer därefter att stagnera i 60 sekunder för att sedan sjunka linjärt till en tredjedel av maxeffekten under 60 sekunder. Därefter kommer denna effekt vara konstant resterande del av brandförloppet (Staffansson, 2010). Brandens effektutveckling presenteras i Figur 37 nedan. Vidare är det endast intressant att se på effektutvecklingen i 15 minuter, då det antas att samtliga utrymt ur gallerian vid denna tidpunkt.



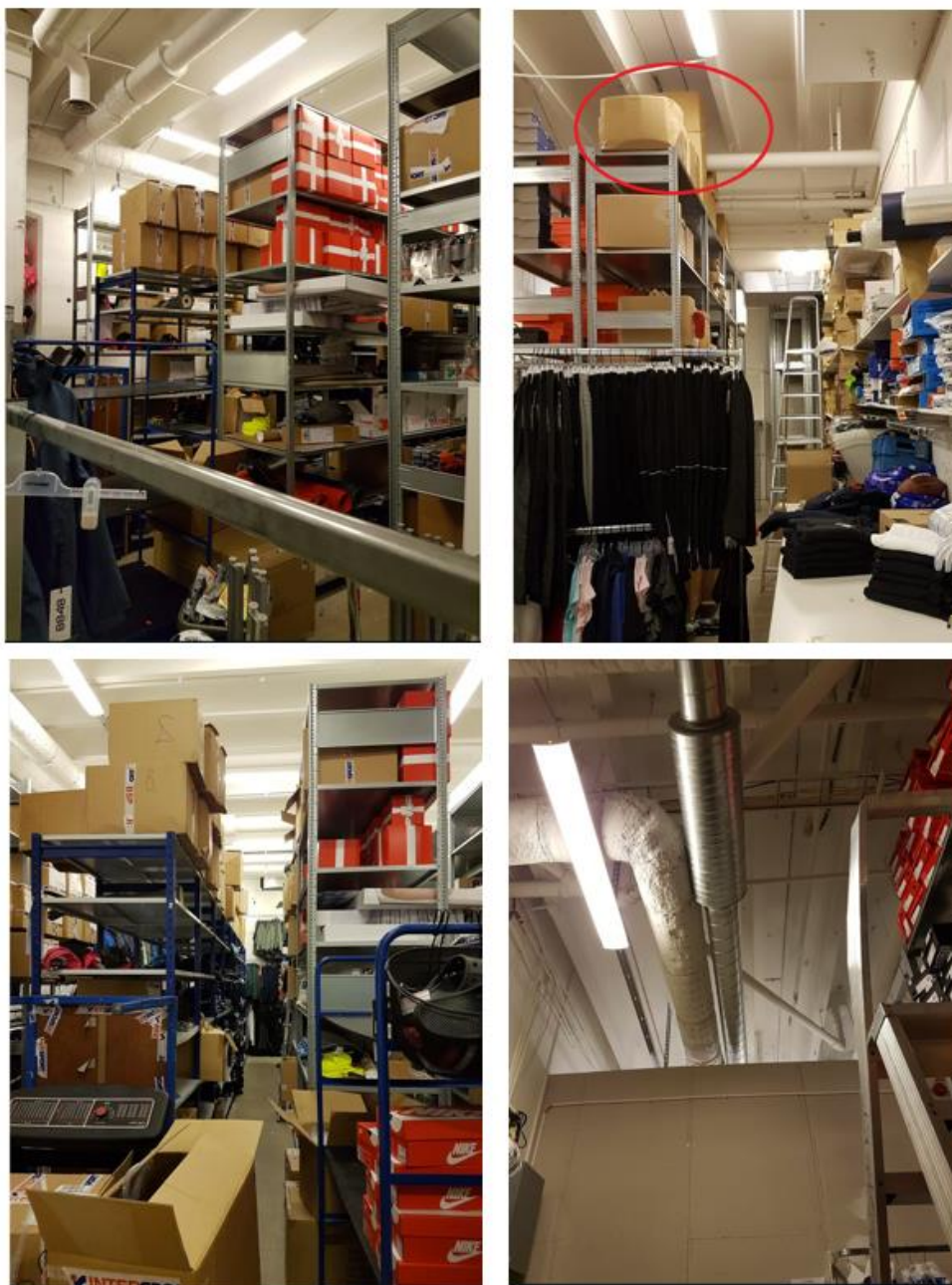
Figur 37. Effektutveckling för den dimensionerande branden i Dressmann.

Materialval och yelder

Materialsammansättningen kan variera kraftigt beroende på vad det är för kläder som finns i klädställning. Antagandet har gjorts att det är jackor som hängts i klädställningen. Givetvis varierar även materialsammansättningen beroende på vilken typ av jackor det är. Yielderna för sot, kolmonoxid och vätecyanid har valt på ett sådant sätt att det bedöms ge en representativ med samtidigt konservativ bild av den typ av jackor som kan förväntas finnas där i Dressmann. Med konservativ menas i detta fall en hög yield av sot och kolmonoxid. Bränslet i detta scenario antas bestå till 100 % av polyester med en CO-yield på $0,07 \text{ g/g}$ och en sot-yield på $0,091 \text{ g/g}$, se F.2.2 *Bränslets egenskaper* för mer information om bränslet och hur valet av material gick till.

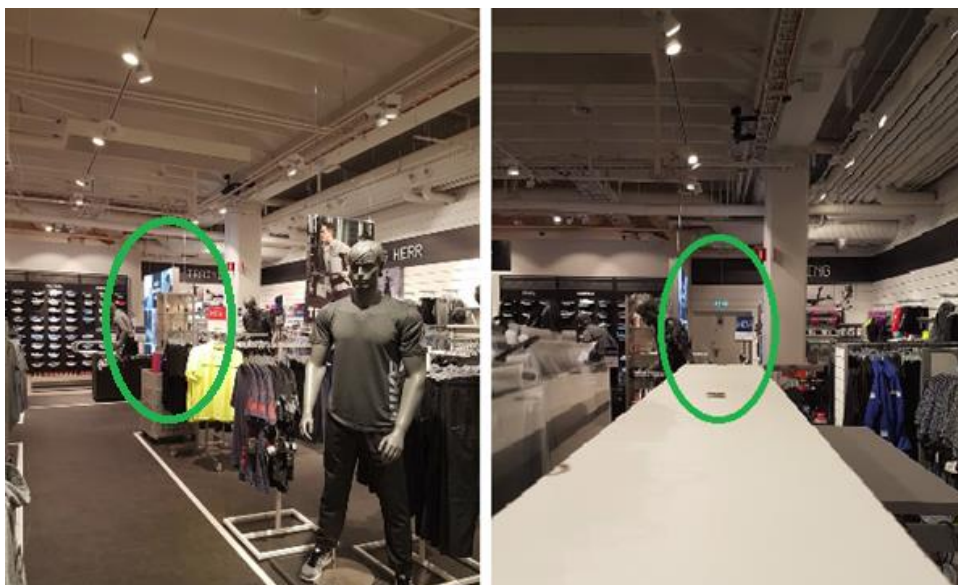
5.6.3 Brand i Intersports lager

På Intersports lager lagras som tidigare nämnt skor, kläder, sportartiklar m.m. Lagret har en yta på cirka 175 m². Lagerhyllorna uppskattades uppta cirka 100 m². Lagringen sker på täta stålhyllor. Lagringen sträcker sig ungefär 3,5 meter upp på de flesta hyllor, även om det på besöket kunde observeras att det lagrades hela vägen upp till taket på en hylla, vilket är kring 4,8 meter, se Figur 38 nedan.



Figur 38. Intersports lager. Röd markering visar en av hyllorna där lagring sker ända upp till taket.

En av nödutgångarna på från Intersport var skynda vilket gör att den troligtvis kommer vara svår att upptäcka där med att försena utrymningen ut från intersportslokaler.



Figur 39. Den skynda nödutgången från två vinklar.

Sprinklersystemets förmåga att dämpa branden

Gallerians sprinklersystem är dimensionerat med en vattentäthet på 5 mm/min. Frågan är dock om Intersports lager bör vara dimensionerat för en högre vattentät än 5 mm/min.

Det är en blandad typ av varor som lagras, allt ifrån kläder som ej är av syntet till syntetkläder, men även stora mängder wellpappkartonger, oexpanderande plaster i form av sportartiklar och även mindre mängder expanderande plast som artiklar lagras i. Viss elektronikutrustning i mindre skala finns även på lagret. En uppskattning av fördelningen av materialet gör att materialfaktorn kan sättas till 2. Vidare är lagrets hyllor klassade som ST5 täta hyllor på grund av att de är täta. En kategori II tillåter en lagring av 3,4 meter, 4,2 meter samt 5 meter högt material ifall vattentätheten är på 7,5 mm/min, 10 mm/min eller 12,5 mm/min på systemet (Brandskyddsföreningen, 2016).

På vissa platser inne på lagret var material lagrat nästan hela vägen upp till taket, något som Intersport fått anmärkning för vid en tidigare besiktning för fyra år sedan (Asp & Bladh, 2014). Då den ungefärliga höjden på taket var 4,8 meter är det således rimligt att sätta den genomsnittliga lagringshöjden till 4,2 meter. Som tidigare nämnt kräver en lagringshöjd på 4,2 meter en vattentäthet på 10 mm/min, vilket är dubbelt så högt som sprinklersystemet förnuvarande är dimensionerat för. Det kan alltså ifrågasättas om huruvida en vattentäthet på 5 mm/min är tillräckligt för att dämpa branden. Beroende på vad för material som lagras och hur det lagras har experiment visat att en skillnad på vattentäthet för sprinklersystemet med upp till en faktor två kan avgöra om branden begränsas eller ej. (Xin, 2017)

Förutom att sprinklersystemet är underdimensionerat, kan den höga lagringen leda till att sprinklerhuvuden blockeras samt att vattnet från sprinklerna inte kommer låtas spridas som det ska vid aktivering.

Då det är osäkert hur detta ska behandlas för att ge ett rimligt brandförlopp som inte blir allt för konservativ, görs antagandet att i den hylla där initialbranden uppstår kommer sprinklersystemet ej

att kunna begränsa branden. Sprinklersystemet kommer dock att hindra branden från att sprida sig mellan hyllorna och på så sätt minska brandens storlek.

Scenario

En möjlig orsak till brand att en eller flera personer, likt i scenariot *Brand i Dressmann*, tänder eld inne på lagret. Branden kan antas starta på en av hyllornas nedre delar. Intersports lager har en väldigt hög brandbelastning och det brännbara materialet består till stora delar av tyger, plaster, kartong och en del trä. Kläder och andra syntetmaterial kan ge upphov till en snabb brandspridning.

Det är möjligt att en ur personalen skulle kunna göra en första insats mot branden och även en lyckad sådan. Som tidigare nämnt har det brunnit på Intersport tidigare i en skidslip. Jämfört med en eventuell brand på lagret, inträffade branden i skidslipen då en ur personalen var närvarande och använde sig av skidslipen. Personen i fråga kunde således direkt inleda en första insats riktad mot branden, vilket även i det fallet, lyckades.

Eftersom det inte alltid finns personal på lagret är det svårare att bedöma huruvida en ur personalen skulle upptäcka branden snabbt nog för att genomföra en första insats. En person som startar en eld inne på lagret lär samtidigt inte göra det om en ur personalen befinner sig på lagret. Visserligen kan man föreställa sig att en ur personalen upptäcker branden efter tillräckligt kort tid för att genomföra en första lyckad insats. Det är dock oerhört svårt att bedöma. Antagandet görs således att ingen första insats från personalen sker överhuvudtaget och branden tillåts således att växa obehindrat.

Det antas sprinklersystemet kommer att utlösa men vara oförmöget att begränsa branden mer än partiellt.

Då en brand framförallt växer vertikalt, är det rimligt att föreställa sig att en brand på en nedre hylla växer sig snabbt uppåt för att sedan sprida ut sig horisontellt i hyllplanen (Xin, 2017). Eftersom det brännbara materialet är väldigt tätt lagrat är det rimligt att anta att hela lagret står i fulla lågor efter ett par minuter. Övertändningen ska inte uteslutas.

Sammanfattningsvis bedöms en brand inne på Intersports lager, givet att den ej släcks i en första insats eller av sprinklersystemet, väsentligt utmana objektets brandskydd. På grund av brandens effektutveckling, typ av brännbart material och placering i objektet kan kritiska förhållanden komma att uppnås snabbt i framförallt källaren där Intersport ligger, men även i gångstråket ovanför Intersport.

Effektutveckling

För att kunna uppskatta hur stor effektutveckling samt brandens tillväxthastighet som kan ske inne i lagret används ett experiment där ett lager som förvarades skor byggdes upp i en hangar och eldades. Lagret bestod av skokartonger med skor i samt hyllor som de förvarades på. Utifrån experimentet framgick det att den genomsnittliga effektutvecklingen var 2500 kW/m² (Hietaniemi & Mikkola, 2000) Stora delar av Intersports lager bestod av skokartonger med skor i samt andra varor paketerade i kartonger. Därför antas det att datan från detta experiment ge en god uppskattning av effektutvecklingen. Under platsbesöket uppskattades det att hyllor samt varor upptog cirka 100 m² av lagret.

Utifrån effektutvecklingskurvan från experimentet med skolagret som eldades upp, kunde en tillväxthastighet α bestämmas till 0,152 kW/s² med hjälp av ekvation 2 nedan (Karlsson & Quintiere, 2000).

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2$$

ekvation 2

Branden antas vara begränsad till hyllan som den startar i och hyllans maximala effektutveckling vid fri syretillförsel beräknas till 26 500 kW, se Bilaga E *Handberäkningar för scenariot brand i Intersports lager*.

Då branden inte befinner sig i det fria kommer den vid någon tidpunkt att gå över från att vara bränslekontrollerad till att vara ventilationskontrollerad. Rummets maximala öppningsarea kommer således vara det som avgör brandens maximala effektutveckling, ty in genom öppningarna flödar det syre. Rummets maximala öppningsarea bedömdes vara 9,5 m² baserat på två dörrar med varsin area på 2 m² samt en öppning ovanför skiljeväggen mellan Intersports lager och butik som bedömdes vara 5,5 m², se Figur 40. Med antagandet att luft består av 23 % syre och att allt syre förbränns i reaktionen, bestäms brandens maximala effektutveckling till 17191 kW med hjälp av ekvation 3 nedan (Karlsson & Quintiere, 2000)

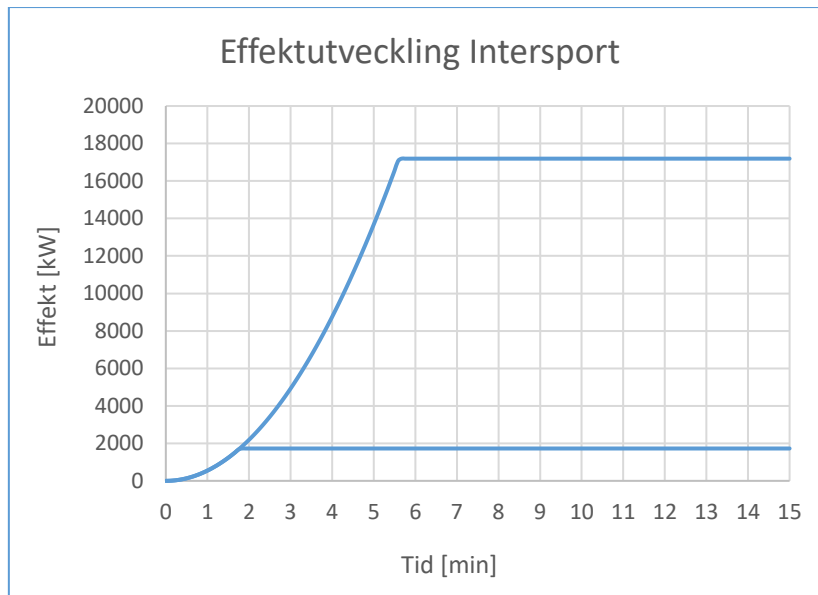
$$\dot{Q}_{\max} = 1,518A_0\sqrt{H_0} \quad \text{ekvation 3}$$

Hyllans totala energiinnehåll uppskattas till 18480 MJ. Det antas att samtliga personer i gallerian utrymt efter 15 minuter, varför det inte är intressant att räkna på effektutvecklingen mer än i 15 minuter. Det totala energiinnehållet som kommer förbrukas under branden på 15 minuter beräknas till cirka 11 457 MJ. Då 18 480 MJ > 11 457 MJ kommer branden inte att brinna ut under 15 minuters tid. Det konservativa antagandet görs att brandens effektutveckling inte kommer att avta under dess brandförlopp.

Med känd tillväxthastighet, maximal effektutveckling och tiden 15 minuter går det att ta fram en dimensionerad brand i Intersports lager, se Figur 41. För beräkningar, se Bilaga E *Handberäkningar för scenariot brand i Intersports lager*.



Figur 40. Öppning ovanför skiljeväggen mellan Intersports lager och butik.



Figur 41. Dimensionerande brand till scenariot Brand i Intersports lager.

Materialval och yelder

Det är som tidigare nämnt en mängd olika typer av material som lagras i Intersports lager. Det antas att branden startar i en hylla där skor lagras och det antas även att sprinklern lyckas begränsa branden till hyllan där skor lagras. Materialvalet blir alltså någon typ av skor och det antas att denna typ av skor är gymnastikskor av kombinerat plast och textilmaterial. Det har uppskattats att skons massa till största del består av plastmaterial och till mindre del av textilmaterial. Ett plastmaterial som är vanligt förekommande i gymnastikskor har således valt som det material som ligger till grund för yelderna av kolmonoxid, vätecyanid och sot. Bedömningen har gjorts att det valet av material varit både representativt för de material som finns på hyllan och även konservativt sett hur stora yelderna blir. Bränslet i detta scenario antas bestå till 100 % av PUR-skum med en CO-yield på 0,051 g/g, en HCN-yield på 0,00053 g/g och en sot-yield på 0,113 g/g, se F.3.2 *Bränslets egenskaper* för mer information om bränslet och hur valet av material gick till.

6 Simuleringar

Nedan beskrivs vilka program som användes, hur simuleringarna byggdes upp samt beskrivning av de olika simuleringarna.

6.1 Utrymningssimulering

För att simulera utrymningstiden användes programmet Pathfinder där människor representeras av cylindriska agenter med olika egenskaper. Totalt gjordes 5 simuleringar per brandscenario. Fokus lades på följande fem parametrar som varierades mellan de olika scenarierna för att kunna få en så verklighetstrogen simulering som möjligt.

- Varseblivningstiden och förberedelsetiden
- Rörelse och navigering
- Val av utgång
- Val av väg
- Flödesbegränsningar

Dessa fem parametrar utgör huvudkärnkomponenterna i utrymningssimuleringar (Ronchi, Kuligowski, Reneke, Peacock, & Nilsson, 2013).

Agenterna delades upp i fyra grupper med olika egenskaper: unga, vuxna, gamla och funktionshindrade. För att få en varseblivningstid användes en Argos simulering för att ta reda på vid vilken tid rökdetektorn larmade samt kvalitativa resonemang. För att få en förberedelsetid som kan spegla verkligheten användes data ur ett experiment från ett klädvarhus där dessa tider har undersökts. De olika grupperna fick olika hastighetsprofiler där grupperna unga och vuxna var de snabbaste. Grupperna gamla och funktionshindrade är de grupper som har långsammast hastighet. Beroende på vilket brandscenario som simulerats tar hänsyn till parametrarna *val av utgång* och *val av väg*. Dessa kommer låtas variera beroende på hur brandförloppet ser ut i FDS-simuleringarna. Det kommer antas att inga agenter kommer att passera genom kritiska förhållanden om ett säkert utrymningsalternativ finns att tillgå. För att få ett korrekt flöde genom öppningar och trappor angavs den uppmätta bredden från platsbesöket på alla dörrar och öppningar i simuleringen. Rulltrappor och trappors hastighetsprofiler och flöden togs från experiment där miljön var snarlik. För all ingående data samt antaganden, se Bilaga F *Utrymningssimulering*.

6.1.1 Brand i utställningsbil

Fem simuleringar utfördes på scenariot *Brand i utställningsbil*. Med de fem simuleringarna beräknades sedan en genomsnittstid. Branden antogs skrämman människor från att använda rulltrapporna i atriets då de är placerade intill varandra. Bilen var även placerad intill en av huvudentréerna och därför antogs människor röra sig mot andra utgångar. Entrén till Dressmann är placerad intill bilens placering. Därför använde agenterna placerade i Dressmann nödutgången inne i butiken. Branden antogs alltså slå ut en huvudentré samt rulltrapporna i atriets och därför var de avstängda under simulering. Då bilen stod synligt i en av de publika delarna av gallerian antogs det att branden skulle upptäckas innan brandlarmet gick igång och därmed sattes blev varseblivningstiden noll.

6.1.2 Brand i Dressmann

Fem simuleringar utfördes på scenariot *Brand i Dressmann*. Med de fem simuleringarna beräknades sedan en genomsnittstid. Branden antogs slå ut en del av den närmst belägna huvudentrén och därför var de avstängda under simulering till en början. Nödutgången inne i Dressmann användes av samtliga agenter då det antogs att de inte valde att passera branden i huvudentrén. På grund av att

det bildas en balkongplym som spred sig till gångvägen på våningen över entrén så stängs det området av. Efter 60 sekunder stängdes huvudentrén av helt och hållet eftersom den växande branden antogs göra att människor valde en annan väg. 60 sekunder valdes på grund av att branden uppnådde maxeffekt vid den tiden, se Figur 37. Branden startar i närheten av en de publika delarna av gallerian antogs det att branden skulle upptäckas innan brandlarmet gick igång och därmed sattes blev varseblivningstiden noll.

6.1.3 Brand i Intersports lager

Eftersom branden uppkom nära rulltrappan som leder upp i entréplanet stängdes den av i simuleringarna. Då återstod rulltrappan som leder ut mot de fria samt två nödutgångar. Tre olika simuleringsfall utfördes, varav två endast tog hänsyn till källarplanet.

Ett simuleringsfall utfördes även där de övre våningarna inkluderades för att se när hela byggnaden var utrymd. Eftersom mycket rök kommer att strömma ut från lagret redan i brandförloppets tidiga skede modifieras programmet så att agenter inte väljer att utrymma via rulltrappan upp till huvudgångstråket i entréplanet. Då branden startar i ett dolt utrymme användes Argos för att få fram en detektionstid. Då Gallerians utrymningsalarm går igång direkt när en rökdetektor larmar så sattes varseblivningstiden till detektionstiden vilket var 49 sekunder, se Bilaga K *Simulering i Argos*.

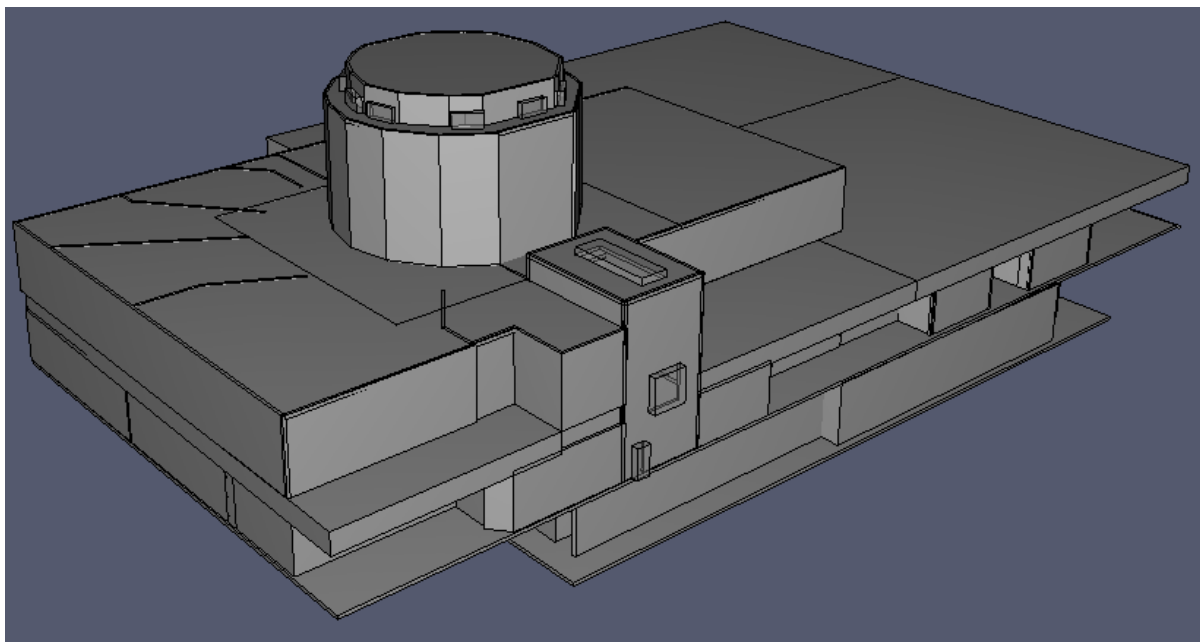
.

6.2 Brandsimulering

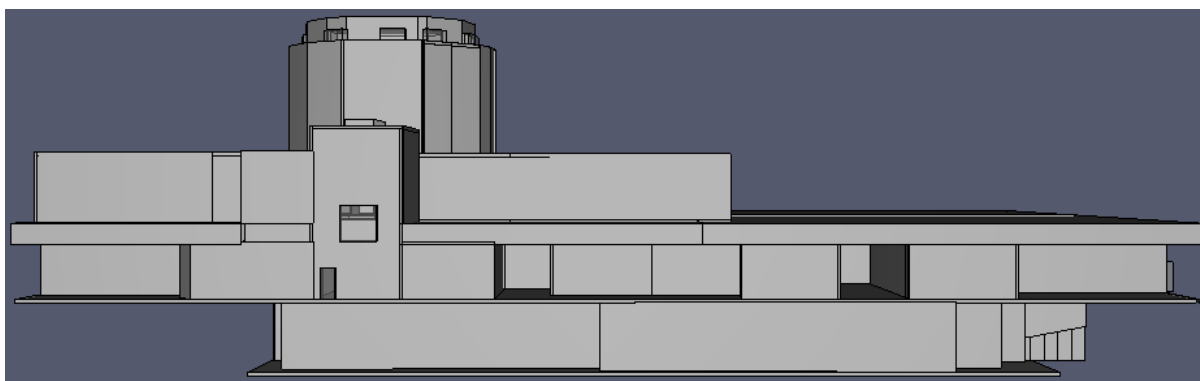
Samtliga brandscenarion har modellerats i PyroSim och sedan simulerats i FDS där sikt, toxicitet och temperatur har mätts upp i flertalet mätpunkter, samtliga två meter ovan mark. Nedan presenteras hur geometrierna för byggnaden i sin helhet representeras i FDS och därefter beskrivs det bränsle som används i varje enskilt scenario. Samtliga bränders effektutveckling följer de dimensionerande effektkurvor som presenteras under respektive scenario i 5.6 *Val av Brandscenarier*. Hur dessa effektutvecklingar representerades i FDS, hur verifieringen av cellstorlekarna gick till samt hur avgränsningarna gjordes för varje scenario finns presenterat i Bilaga G *Brandsimuleringar*.

6.2.2 Geometri

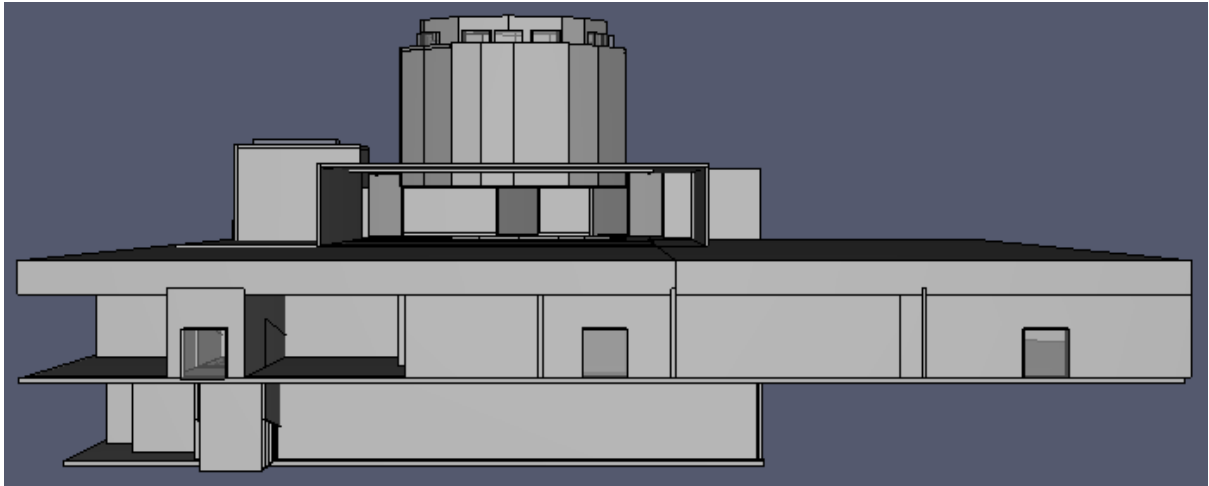
De delar av gallerian som ansågs vara relevant för brandsimuleringarna ritades upp i PyroSim. De delar som ansågs vara relevanta var Intersportbutikerna med tillhörande lager, samtliga affärer och gångstråk på entréplanet samt de närliggande butikerna och gångstråken till atriet på våning 2. Många förenklingar och justeringar har gjorts av praktiska skäl, till exempel har taken gjorts raka istället för lutande, många små rökgasluckor har ersatts med få större luckor med samma öppningsarea, undertak och de flesta takbjälkar har bortsetts från samt väggarna i byggnaden har antagits bestå av 0,4 meter tjock betong förutom väggarna i brandrummen som antas vara isolerade med en gipsskiva för att undvika orealistiska värmeförluster. Se Figur 42, Figur 43, Figur 44, Figur 45, Figur 46 och Figur 47 för överskådliga bilder av hur geometrin representeras i simuleringarna.



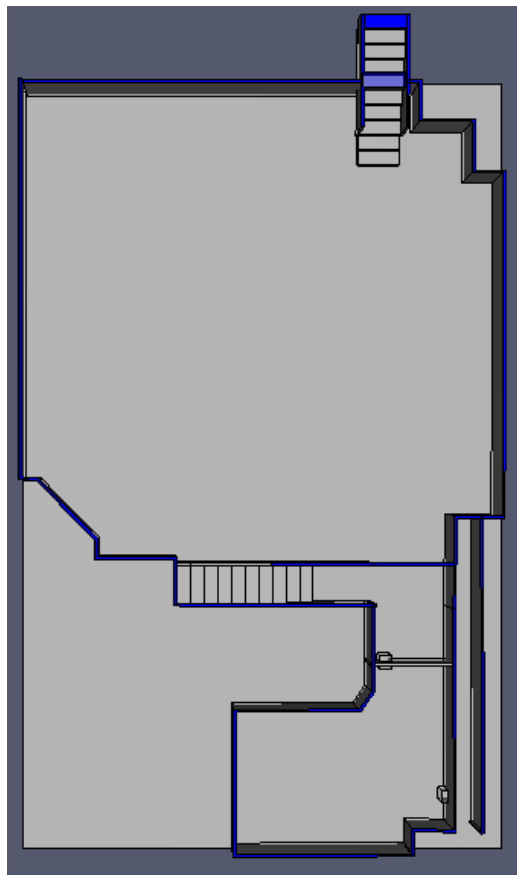
Figur 42. Objektets representerade geometri i FDS.



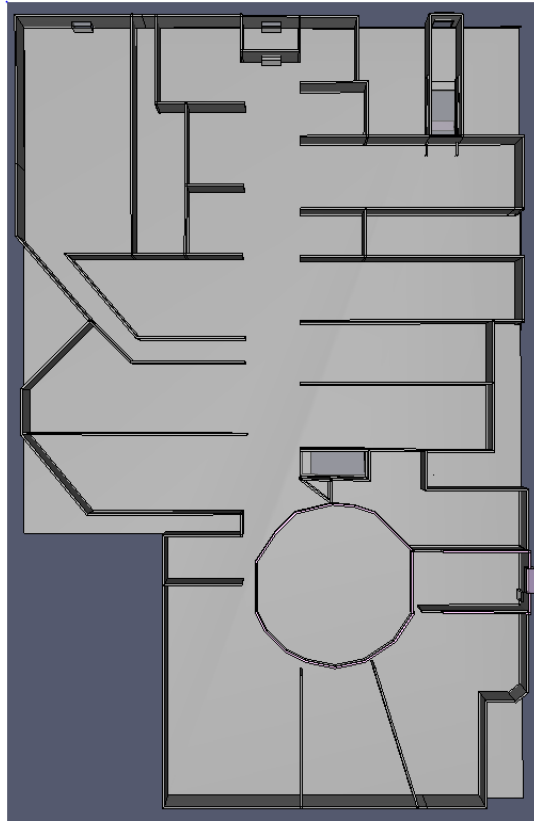
Figur 43. Objektets representerade geometri i FDS, sett från öster.



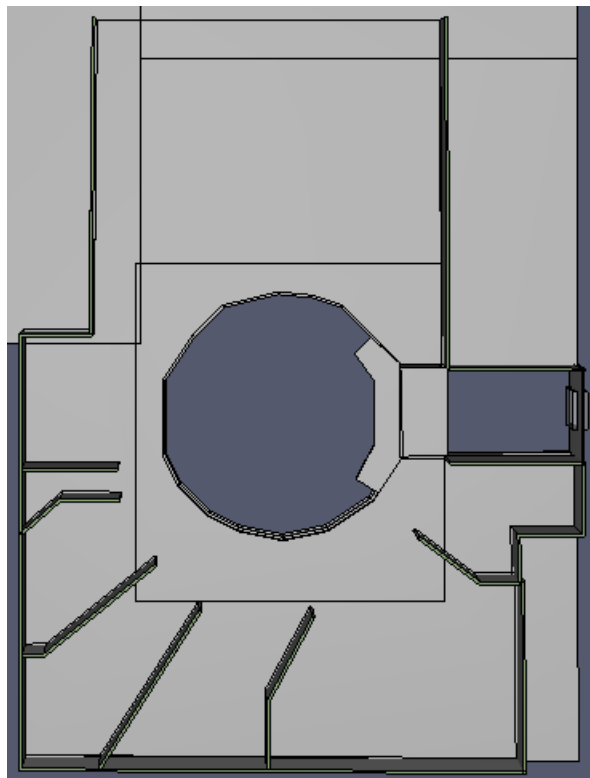
Figur 44. Objektets representerade geometri i FDS, sett från norr.



Figur 45. Källarvåningens representerade geometri i FDS.



Figur 46. Entréplanets representerade geometri i FDS.

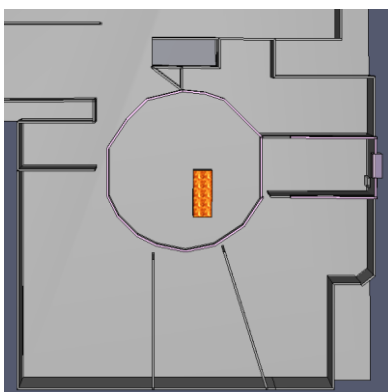


Figur 47. Andra våningsplanet representerade geometri i FDS.

6.2.3 Brand i utställningsbil

En modern bil består vanligtvis till stor del av plaster, där de plaster som tar upp mest plats är polypropen (till exempel stötfångare och dörrmattor) samt polyuretan (till exempel säten och däck) (Craftech Industries, Inc, u.d.). Polyuretan (till skillnad från polypropen) innehåller kväve vilket bidrar till bildning av HCN vid förbränning. Eftersom koncentrationen av HCN är ett av de kritiska förhållandena som vill kontrolleras i simuleringen väljs bränslet i simuleringen till polyuretan, närmare bestämt stelt polyuretanskum (rigid foam) i och med att den övervägande massan av polyuretananet finns i däck. För information om materialet som används i simuleringen, se F.1.2 *Bränslets egenskaper*.

En typisk utställningsbil upptar en golvyta på cirka 2 x 5 meter (Tesla, 2018) och därför representeras den dimensionerande bilbranden av en 2 x 5 meter stor rektangel, där bränsleytan är 1,5 meter ovanför marken. Branden är placerad mitt i atriet, till vänster om rulltrappan (sett nedifrån), se Figur 48.

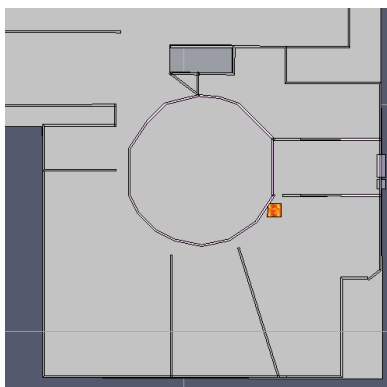


Figur 48. Den dimensionerande brandens placering för scenariot Brand i bil.

6.2.4 Brand i Dressmann

Polyester är ett typiskt material som används i vinterjackor (Uses of Polyester, 2014) och används därför som bränsle i brandsimuleringen för scenariot. För information om materialet som används i simuleringen, se F.2.2 *Bränslets egenskaper*.

Den dimensionerande branden ska representera ett klädställ med jackor och uppskattas i brandsimuleringen till en kvadrat 1,5 meter över golvet med ytan 1,5 x 1,5 meter. Branden är placerad vid den vänstra sidan av butikens ingång (sett utifrån), vilket visas i Figur 49 nedan.

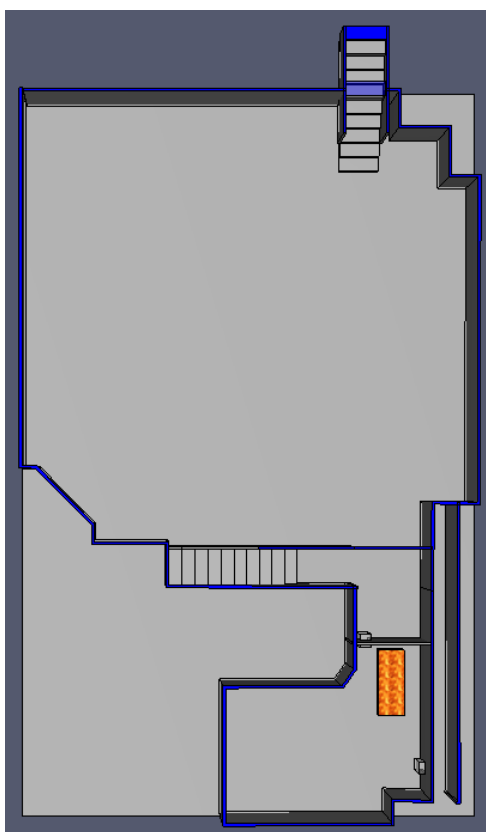


Figur 49. Den dimensionerande brandens placering för scenariot Brand i Dressmann.

6.3.5 Brand i Intersports lager

Hyllan som antas antända i det dimensionerande scenariot används till största del för att lagra skor. En stor del av de skor som lagras (och säljs) på Intersport är löparskor, varför det är relevant att undersöka vad konsekvenserna är vid en brand med just löparskor som bränsle. Löparskor består av en kombination av flera material, där sulan som vanligtvis består av stelt polyuretanskum tar upp en stor del av massan (Advameg, Inc, u.d.). Polyuretan innehåller kväve vilket bidrar till bildning av HCN vid förbränning. Eftersom koncentrationen av HCN är av de kritiska förhållandena som vill kontrolleras i simuleringen väljs bränslet i simuleringen till stelt polyuretanskum (rigid foam). För information om materialet som används i simuleringen, se F.3.2 *Bränslets egenskaper*.

Den dimensionerande branden ska representera ett ställage med skor och uppskattas i brandsimuleringen till en rektangel 1 meter över golvet med ytan 2 x 5 meter. Branden är placerad i närheten av lagrets ingång från butiken, vilket visas i Figur 50 nedan.



Figur 50. Den dimensionerande brandens placering för scenariot Brand i Intersports lager.

7 Resultat

Nedan presenteras utrymningstider samt tid till kritiska förhållanden för respektive brandscenario. Därefter sammanställs resultaten där tid till agenterna utsätts för kritiska förhållanden presenteras.

7.1 Brand i utställningsbil

Nedan presenteras resultatet av den dimensionerande branden utifrån de kritiska förhållandena.

7.1.1 Tid för utrymning

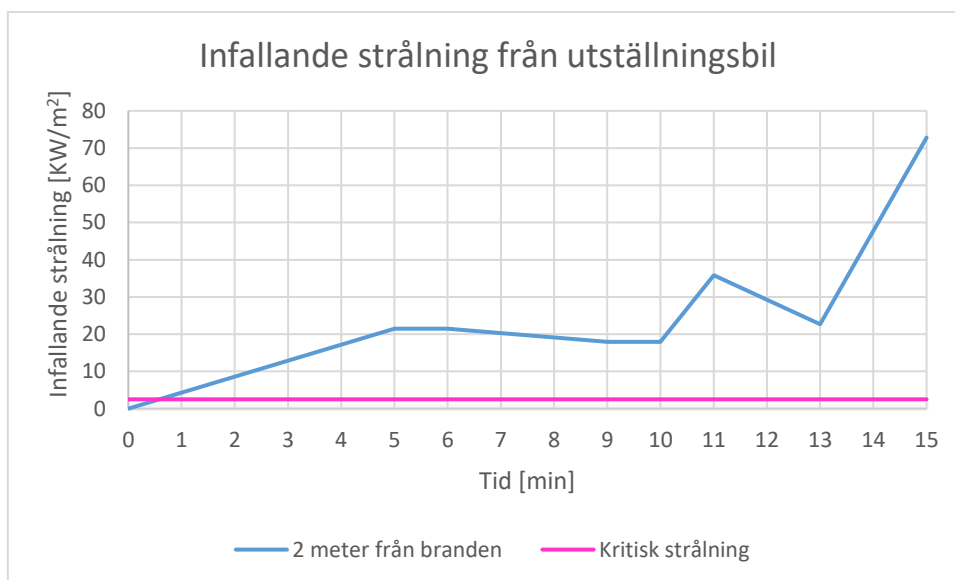
För det aktuella brandscenariot utfördes fem simuleringar med samma förutsättningar men där agenterna har slumpmässigt olika startpositioner. För att få en tid för total utrymning ur hela byggnaden togs sluttiden från dessa simuleringar och sedan beräknades en genomsnittstid som blev 6:12 minuter. Tider och genomsnittstid för total utrymning ges nedan i Tabell 1.

Tabell 1 Utrymningstider för scenariot brand i bil.

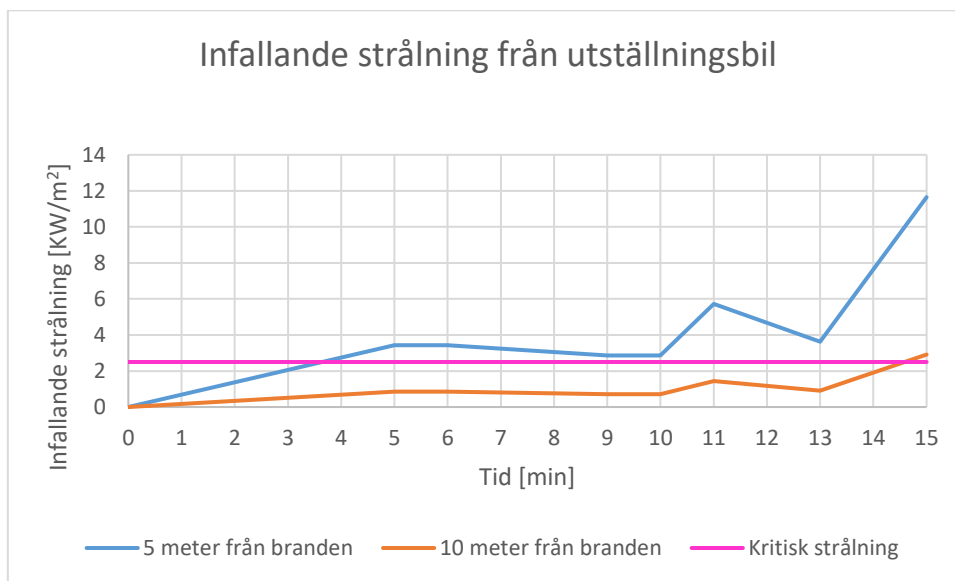
Försök	Tid [min]
1	6:17
2	6:23
3	6:05
4	6:17
5	6:00
Genomsnittstid	6:12

7.1.2 Värmestrålning

Resultat över strålningsberäkning, se Figur 51 och Figur 52. För tidpunkt då kritiska förhållanden uppnås, se Tabell 2.



Figur 51. Den beräknade infallande strålningen från utställningsbilen 2 meter från branden.



Figur 52. Den beräknade infallande strålningen från utställningsbilen 5 och 10 meter från branden.

Tabell 2. Då atriets rulltrappor samt atriets huvudentré blir obrukbara.

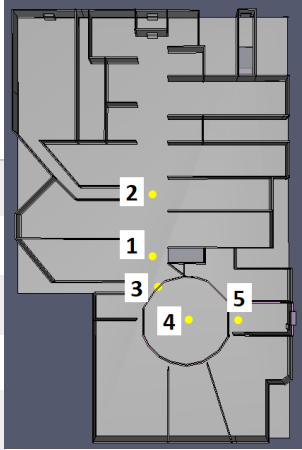
Utrymningsvägar	Kritiska förhållanden uppnås
Rulltrapporna	<1 min
Gången till atriets huvudentré	Ca 3,5 min

7.1.3 Sikt, toxicitet och temperatur

Nedan presenteras den i FDS beräknade tiden till kritiska förhållanden i mätpunkterna (samtliga placerade 2 meter ovan golvnivå) från den gjorda brandsimuleringen, först på entréplanet i Tabell 3 och sedan på våningsplan två i Tabell 4. För att se fullständiga, detaljerade resultat från brandsimuleringen, se G.1 *Brand i utställningsbil*.

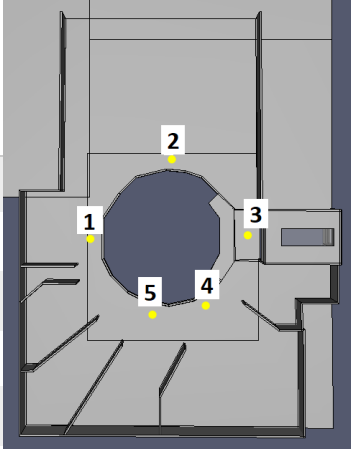
Tabell 3. Den i FDS beräknade tiden till kritiska förhållanden på entréplanet för scenariot Brand i utställningsbil.

Mätpunkt	Tid till kritisk sikt [min]	Tid till kritisk koncentration CO [min]	Tid till kritisk koncentration HCN [min]	Tid till kritisk temperatur [min]
1	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
2	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
3	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
4	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
5	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej



Tabell 4. Den i FDS beräknade tiden till kritiska förhållanden på plan två för scenariot Brand i utställningsbil.

Mätpunkt	Tid till kritisk sikt [min]	Tid till kritisk koncentration CO [min]	Tid till kritisk koncentration HCN [min]	Tid till kritisk temperatur [min]
1	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
2	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
3	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
4	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
5	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej



7.2 Brand i Dressmann

Nedan presenteras resultatet av den dimensionerande branden utifrån de kritiska förhållandena.

7.2.1 Tid för utrymning

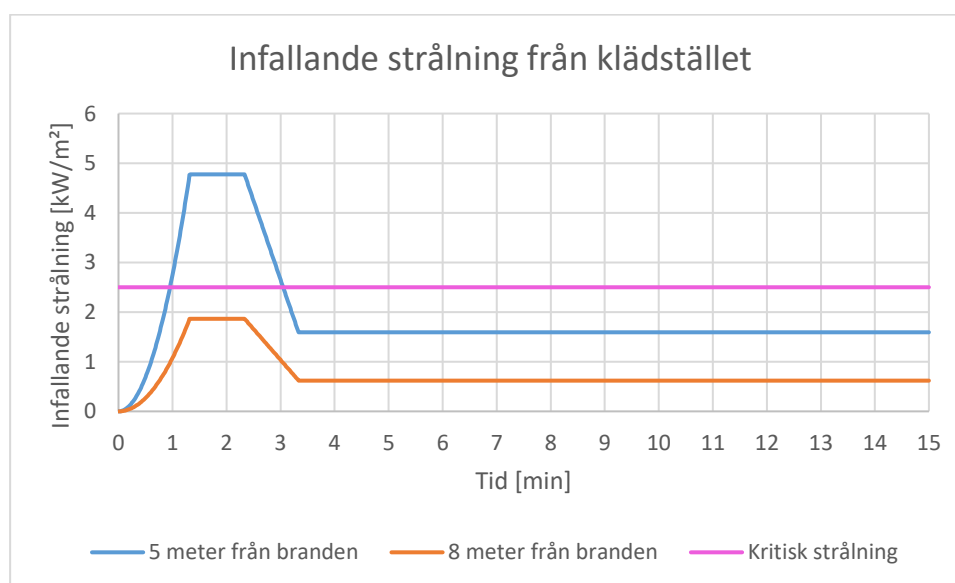
För det aktuella brandscenariot utfördes fem simuleringar med samma förutsättningar men där agenterna har slumpmässigt olika startpositioner. För att få en tid för total utrymning ur hela byggnaden togs sluttiden från dessa simuleringar och sedan beräknades en genomsnittstid som blev 6:13 minuter. Tider och genomsnittstid för total utrymning ges nedan i Tabell 5.

Tabell 5 Utrymningstider för scenariot brand i Dressmann.

Brand i Dressmann	Tid [min]
Försök 1	6:51
Försök 2	6:30
Försök 3	6:39
Försök 4	6:21
Försök 5	6:35
Medelvärde av alla försöken	6:35

7.2.2 Värmestrålning

Resultat över strålningsberäkning, se Figur 53. För tidpunkt då kritiska förhållanden uppnås, se Tabell 6.



Figur 53. Den beräknade infallande strålningen från klädstället 5 och 8 meter från branden.

Tabell 6. Tid till kritiska förhållanden vid de närmaste utrymningsvägarna.

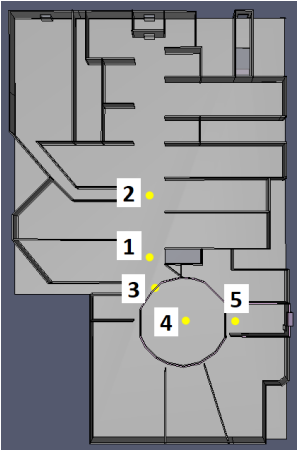
Utrymningsvägar	Kritisk strålning uppnås
Ingången till Dressmann	1 min
Gången till atriets huvudentré och rulltrappan	Uppnås aldrig.

7.2.3 Sikt, toxicitet och temperatur

Nedan presenteras den i FDS beräknade tiden till kritiska förhållanden i mätpunkterna (samtliga placerade 2 meter ovan golvnivå) från den gjorda brandsimuleringen, först på entréplanet i Tabell 7 och sedan på våningsplan två i Tabell 8. För att se fullständiga, detaljerade resultat från brandsimuleringarna, se G.2 *Brand i Dressmann*.

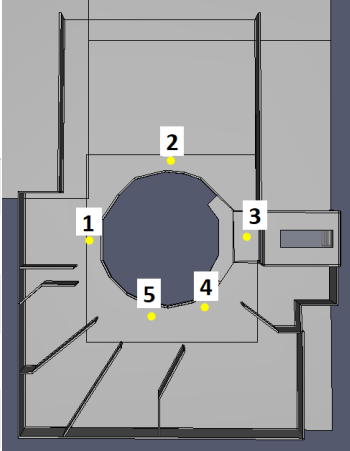
Tabell 7. Den i FDS beräknade tiden till kritiska förhållanden på entréplanet för scenariot Brand i Dressmann.

Mät punkt	Tid till kritisk sikt [min]	Tid till kritisk koncentration CO [min]	Tid till kritisk koncentration HCN [min]	Tid till kritisk temperatur [min]
1	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
2	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
3	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
4	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
5	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej



Tabell 8. Den i FDS beräknade tiden till kritiska förhållanden på plan två för scenariot Brand i Dressmann.

Mät punkt	Tid till kritisk sikt [min]	Tid till kritisk koncentration CO [min]	Tid till kritisk koncentration HCN [min]	Tid till kritisk temperatur [min]
1	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
2	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
3	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
4	9:20	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
5	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej



7.3 Brand i Intersports lager

Nedan presenteras resultatet av den dimensionerande branden utifrån de kritiska förhållandena.

7.3.1 Tid för utrymning

För det aktuella brandscenariot utfördes fem simuleringar med samma förutsättningar där agenternas placerades ut slumpmässigt inför varje simulering. Resultatet presenteras från alla simuleringar i Tabell 9.

Tabell 9 Utrymningstider för scenariot brand i Intersports lager, hela byggnaden.

Försök	Varseblivningstid [min]	Förberedelsetid och förflyttningstid [min]	Totaltid [min]
1	0:49	8:19	9:08
2	0:49	7:48	8:37
3	0:49	7:54	8:43
4	0:49	7:42	8:31
5	0:49	7:51	8:40
Genomsnittstid	0:49	7:55	8:44

7.3.2 Värmestrålning

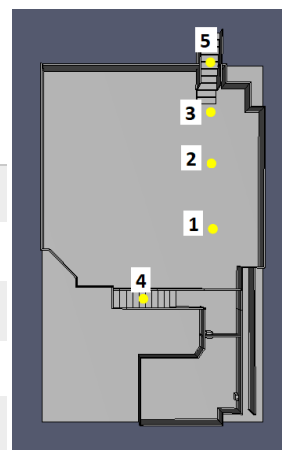
Ingen beräkning gjordes på brandens strålningsvärme, eftersom branden var placerad i ett stängt utrymme som ingen från allmänheten skulle vistas i och då alltså ej riskeras att utsättas för strålningen från branden.

7.3.3 Sikt, toxicitet och temperatur

Nedan presenteras den i FDS beräknade tiden till kritiska förhållanden i mätpunkterna (samtliga placerade 2 meter ovan golvnivå) från den gjorda brandsimuleringen, först på källarplanet i Tabell 10. och sedan på entréplanet i Tabell 11. För att se fullständiga, detaljerade resultat från brandsimuleringarna, se G.2 *Brand i Intersports lager*.

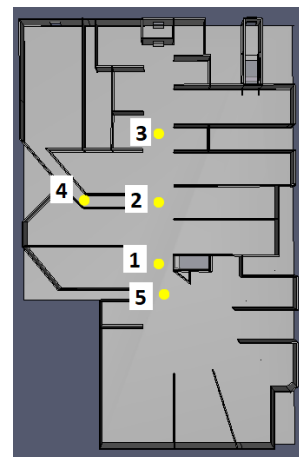
Tabell 10. Den i FDS beräknade tiden till kritiska förhållanden på källarplanet för scenariot Brand i Intersports lager.

Mät punkt	Tid till kritisk sikt [min]	Tid till kritisk koncentration CO [min]	Tid till kritisk koncentration HCN [min]	Tid till kritisk temperatur [min]
1	4:24	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
2	3:45	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
3	4:28	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
4	1:07	Uppnås ej	Uppnås ej	5:17
5	2:00	Uppnås ej	Uppnås ej	9:00



Tabell 11. Den i FDS beräknade tiden till kritiska förhållanden på entréplanet för scenariot Brand i Intersports lager.

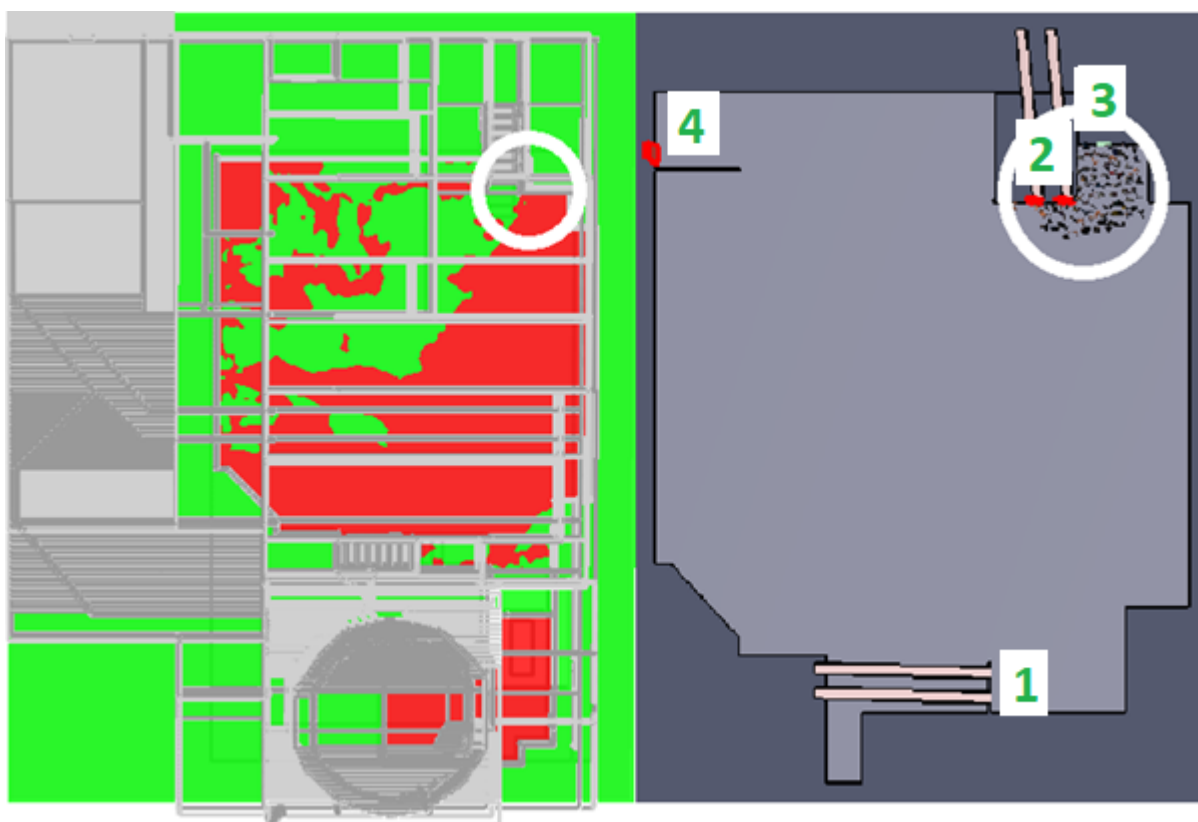
Mät punkt	Tid till kritisk sikt [min]	Tid till kritisk koncentration CO [min]	Tid till kritisk koncentration HCN [min]	Tid till kritisk temperatur [min]
1	3:00	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
2	5:42	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
3	6:12	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
4	6:30	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
5	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej



7.4 Sammanställning av resultat

Agenterna utsätts endast för kritiska förhållanden i scenariot *Brand i Intersports lager*. Agenterna utsätts för kritiska förhållanden på källarplanet och inte på entréplanet eller på våningsplan två. Visserligen uppnås kritiska förhållanden i utrymningsvägar på samtliga plan, men agenterna på entréplanet och våningsplan två kan alltid vända om och välja en alternativ utgång, till skillnad från agenterna i källarplanet som saknar alternativ.

Kritiska förhållanden uppnåddes vid nödutgång 2 efter 2 minuter och nödutgång 4 efter 2:30 minuter. Detta innebar att samtliga resterande agenter utrymde genom nödutgång 3. Nödutgångarnas placering samt var agenterna befinner sig när de utsätts för kritiska förhållanden presenteras i Figur 54.



Figur 54. Cirkel visar var agenter befinner sig när kritisk sikt uppstår. Till vänster visas brandsimulering och till höger visas utrymningsmodellerna, båda 4:28 minuter in i brandförloppet. Röd färg i brandsimuleringen visar kritisk sikt. Siffrorna visar nödutgångarnas placering.

Nedan i Tabell 12 sammanställs resultaten från utrymningsmodellerna, strålningsberäkningarna och brandsimuleringarna.

Tabell 12. Tid till agenterna utsätts för kritiska förhållanden för samtliga dimensionerande scenarier.

Scenario	Tid till agenterna utsätts för kritiska förhållanden [min]
Brand i utställningsbil	Uppnås ej
Brand i Dressmann	Uppnås ej
Brand i Intersports lager	4:28

8 Känslighetsanalys

Nedan redovisas de känslighetsanalyser som har gjorts.

8.1 Utrymningssimulering

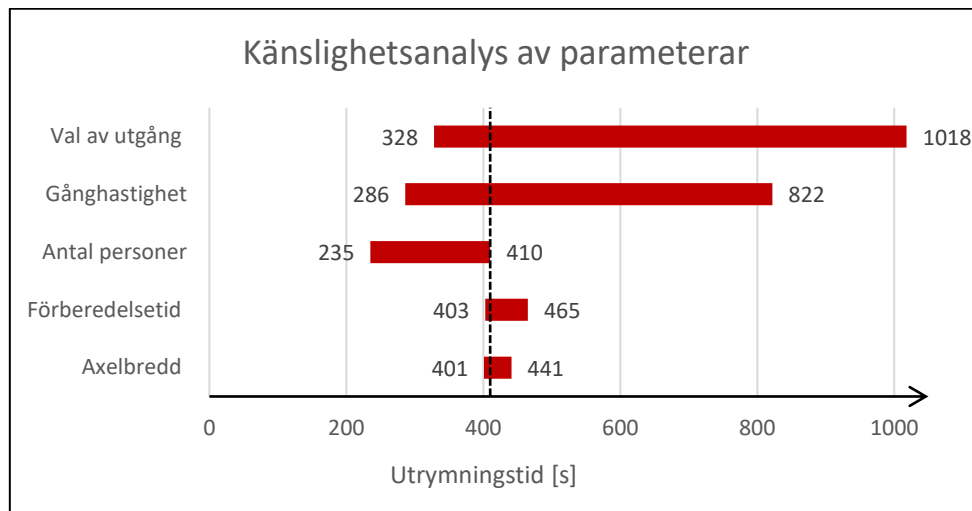
När utrymningssimuleringar gjordes valdes parametrar som ansågs vara mest troliga att ge ett verkligt händelseförlopp av utrymningen, se Bilaga F *Utrymningssimulering*. För att ta reda på vilken parameter som påverkade utrymningstiden mest och där med påverkade säkerhetsmarginalen negativt samt positivt gjordes ett tornodiagram över de parametrar som ansågs intressanta.

Flera simuleringar gjordes där ingen hänsyn togs till hur bränderna påverkade utrymningen. Resultatet blev en medelutrymningstid på 410 sekunder. De parametrar som var intressanta att undersöka var antalet agenter, gånghastighet, val av utgång, axelbredd samt agenternas förberedelsetid. Alla parametrar fick ett troligt största och minsta värde, se Tabell 13.

Tabell 13. Parametrarnas största och minsta värden.

Val av utgång
Max = Endast de två huvudentréerna används, agenterna tar den som är närmast
Min = Alla nödutgångar används, agenterna tar den som är närmast.
Antal personer
Max = Enligt vad objektet är dimensionerat för
Min = 50 % av vad objektet är dimensionerat för
Gånghastighet
Max = Grupper går enligt sin minsta hastighet
Min = Grupperna går enligt sin högsta hastighet
Förberedelsetiden
Min = Alla börjar gå direkt
Max = Alla har sin grupps högsta förberedelsetid
Axelbredd
Min = Grupper har sina minsta värden
Max = Grupper har sina största värden

En parameter ändrades åt gången och läts anta sitt största och minsta värde. Resultatet presenteras i Figur 55.



Figur 55. De parametrar som påverkar utrymningstiden och deras påverkan på resultatet.

Utifrån Figur 55 går det att avläsa att val av utgång är den parametern som påverkade utrymningstiden mest.

8.2 Brandscenarier

Nedan följer analyser om hur valet av antaganden påverkar resultatet.

8.2.1 Brand i bil

Ett antagande som var avgörande för resultatet var hur stor från- och tilluftsarean var. I det dimensionerande scenariot antogs det att 100 % var tillgänglig. För att se hur detta antagande påverkade resultatet gjordes handberäkningar med hjälp av Yamana-Tanakas beräkningsmetod för rökgasfyllnad för att se hur högt upp brandgaslagret hamnade vid effekten 6100 kW respektive 1800 kW där tillgänglig area på frånluften varierade. Se resultaten i Tabell 14, Tabell 15, Tabell 16 och Tabell 17. Om brandgaslagrets höjd når ner till 8 meter kan röken sprida sig till våningsplan två vilket kan leda till att kritiska förhållanden uppstår.

Tabell 14. Relation mellan brandgaslagrets höjd och storleken på frånluftsarean vid en effekt på 6100 kW.

Effekt 6100 kW		
Frånluftsarea [m ²]	Tilluftsarea [m ²]	Brandgaslagrets höjd från marken [m]
24 (100 %)	20 (100 %)	10,3
18 (75 %)	20 (100 %)	9,7
12 (50 %)	20 (100 %)	8,4

Tabell 15. Relation mellan brandgaslagrets höjd och storleken på frånluftsarean vid en effekt på 1800 kW.

Effekt 1800 kW		
Frånluftsarea [m ²]	Tilluftsarea [m ²]	Brandgaslagrets höjd från marken [m]
24 (100 %)	20 (100 %)	9,6
18 (75 %)	20 (100 %)	9
12 (50 %)	20 (100 %)	8

Tabell 16. Relation mellan brandgaslagrets höjd och storleken på tilluftsarean vid en effekt på 1800 kW.

Effekt 1800 kW		
Frånluftsarea [m ²]	Tilluftsarea [m ²]	Brandgaslagrets höjd från marken [m]
24 (100 %)	20 (100 %)	9,6
24 (100 %)	15 (75 %)	8,8
24 (100 %)	10 (50 %)	7,5

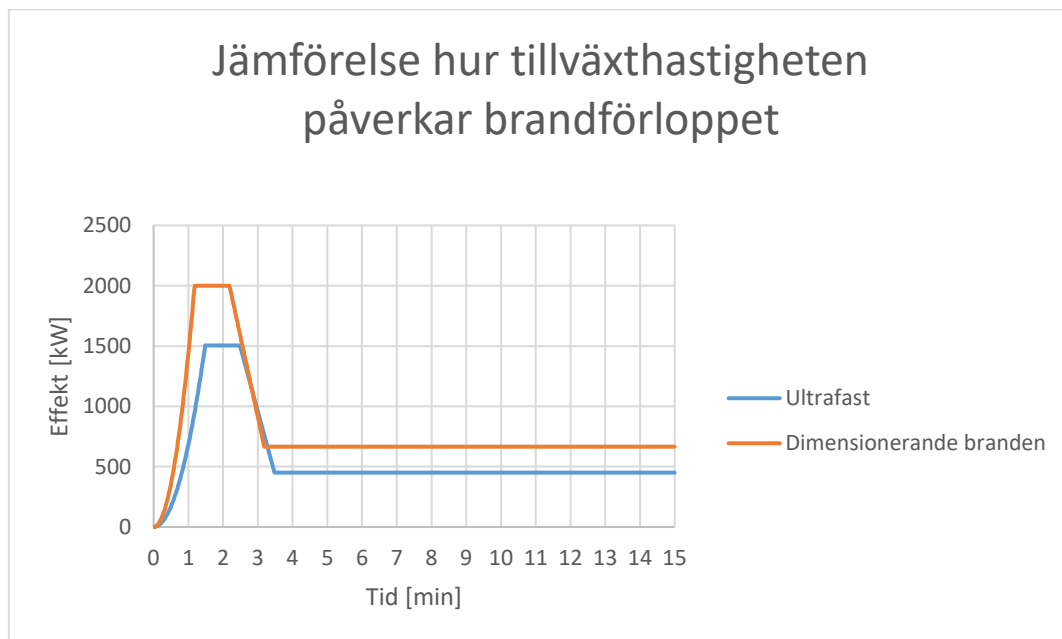
Tabell 17. Relation mellan brandgaslagrets höjd och storleken på tillufts- samt frånluftsarean vid en effekt på 1800 kW.

Effekt 1800 kW		
Frånluftsarea [m ²]	Tilluftsarea [m ²]	Brandgaslagrets höjd från marken [m]
24 (100 %)	20 (100 %)	9,6
18 (75 %)	15 (75 %)	8,4
12 (50 %)	10 (50 %)	6,8

Resultatet visar att om antingen till- eller frånluftens areor minskar med 50 % eller om bådas areor minskas med mer än 25 % kan brandgaserna spridas in till våningsplan två vilket kan leda till att kritiska förhållanden uppnås.

8.2.2 Brand i Dressmann

Då den dimensionerande brandens tillväxthastighet var väldigt hög och konservativt skattat ansågs det inte behövas undersökas hur en brand med ännu högre tillväxthastighet skulle påverka resultatet. För att påvisa detta antagande gjordes en jämförelse hur effektkurvan hade sett ut om en tillväxthastighet som motsvarade ultra fast hade valt, se Figur 56.



Figur 56. Diagram över skillnaden mellan den dimensionerande branden och en ultrafastkurva. Ultrafastkurvan är framtagen på samma sätt som den dimensionerande branden, se ingående värden i Figur 57.

Effektkurvan togs fram på samma sätt som den dimensionerade effektkurvan. Detact T2 användes för att få fram aktiveringstiden på sprinklerna se Figur 57.

DETECTOR ACTuation - Time squared

Ambient temperature (°C)	<input type="text" value="20"/>
Detector Response Time Index (RTI)	<input type="text" value="50"/>
Detector Activation Temperature (°C)	<input type="text" value="68"/>
Detector Rate of Temperature Rise (°C/min)	<input type="text" value="1"/>
Room Ceiling Height (m)	<input type="text" value="4"/>
Detector Spacing (m)	<input type="text" value="3"/>
Fire Growth Rate	<input type="text" value="Ultrafast"/>
Fire Growth Rate (W/s ²)	<input type="text" value="187,55556"/>
	<input type="button" value="Calculate!"/>

For temperature actuated detector:

Time to Activation (min)	<input type="text" value="1,49"/>
Heat Release Rate (kW)	<input type="text" value="1499"/>

For rate of rise actuation detector:

Time to Activation (min)	<input type="text" value="0,47"/>
Heat Release Rate (kW)	<input type="text" value="147"/>

Figur 57. De ingående värdena som användes för att få fram aktiveringstiden på sprinklerna till ultrafastkurvan.

Brandens placering är ett så kallat värsta troliga scenario där den befinner sig vid butikens entré och har möjlighet att slå ut rulltrapporna och en av huvudentréerna. Hade branden placerat på ett annat ställe hade detta haft en positiv inverkan.

8.2.3 Brand i Intersports lager

I simuleringen var alla dörrar öppna vilket gav god tilluft som gynnade effektutvecklingen. Enligt våra beräkningar är det tillgången på syre som kommer begränsa brandens effektutveckling, se Bilaga E *Handberäkningar för scenariot brand i Intersports lager*. Enligt personal är alla dörrar vanligtvis inte öppna så om en brand inträffar kommer effektutvecklingen bli lägre eftersom tillflödet av luft begränsas och därmed även den maximala effektutvecklingen. Hålet ovanför väggen som vetter mot Intersportsbutiken är dock alltid att betrakta som öppen. Brandsimuleringen som gjordes gav således ett konservativt resultat, se Tabell 18.

Tabell 18. Möjliga kombinationer av öppningsarean och dess inverkan på effektutvecklingen vid ventilationskontrollerad brand.

Kombination av öppningar	Öppningsarea [m ²]	Karakteristisk öppningshöjd [m]	Effektutveckling [kW]
Två dörrar öppna	9,5	1,42	17191
En dörr öppen	7,5	1,27	12813
Ingen dörr öppen	5,5	1	8349

Om sprinklersystemet hade fungerat som tänkt så hade det blivit en väsentligt lägre effektutveckling och branden hade kunnat begränsas. Beräkning i DETACT-T2 visar att sprinklern skulle aktiverats vid 1726 kW efter 1,75 min, se Bilaga E *Handberäkningar för scenariot brand i Intersports lager*.

Förutsatt att sprinklern skulle vara korrekt dimensionerad är det rimligt att anta att brandens effektutveckling inte hade blivit större än 2000 kW. 2000 kW är väsentligt mycket lägre än den maximala effektutveckling på 17191 kW som använts i simuleringen. Ingen hänsyn tas till sprinklerns påverkan och även det är en faktor som gör att simuleringen ger ett konservativt resultat.

Sammanfattningsvis är de två faktorer som avgör hur hög effektutvecklingen blir inne på lagret dels om sprinklern fungerar som den ska och lyckas begränsa branden i sin linda, samtidigt som storleken på öppningarna avgör hur stor effektutvecklingen blir om sprinklern fallerar.

9 Undersökning av möjliga åtgärder

Det enda brandscenariot som bedömts resultera i att säkerutrymning ej uppnås är *Brand i Intersports lager*. Nedan presenteras de åtgärder som är intressanta att undersöka.

9.1 Undersökning av åtgärder i Intersports lager

För att göra brandskyddet skäligen behöver åtgärder genomföras. Resultatet från simuleringen i FDS visar att de kritiska förhållandena som uppnås är temperatur och sikt. Jämförelse mellan FDS och Pathfinder visar att agenterna utsätts för kritiska förhållandet för sikt.

Då branden är begränsad i lagret är det endast röken från branden som bidrar till att kritiska förhållanden uppnås. Hur brandgaslagrets sprider sig har till stor del att göra med hur byggnadens geometri är utformad. Då det fanns en stor öppning i takhöjd mellan lagret och butiken som tillät brandgaserna att transporteras ut till butiken nästan direkt efter branden uppstått är det intressant att se hur brandgasspridningen hade påverkats om öppningen blev igenbyggd.

Brandgaslagrets spridning påverkas också av brandgasernas temperatur och brandgasernas hastighet. Dessa parametrar är något som påverkas av brandens effektutveckling. En hög- och snabb effektutveckling kan bidra till höga temperaturer och höga hastigheter på brandgaserna. Effektutvecklingen är i sin tur beroende på tillgången syre och typen samt mängden brännbart material. Hur röken sprider sig är också beroende på byggnadens geometri. På platsbesöket noterades det att mellan taket och väggen som skilde lagret från butiken var det en glipa på ungefär en meter. Skulle väggen vara tät hela vägen upp till taket skulle rummet behövas rökfyllas ner till dörröppningen innan röken skulle börja sprida sig in i butiken. Detta är något som troligtvis skulle fördröja tiden tills kritiska förhållanden uppnås. För att undersöka detta kommer simuleringar att utföras i programmet Argos. Lagrets geometri är enkel vilket gör att en tvåzonsmodell går att applicera.

Känslighetsanalysen visar att brandens effektutveckling minskar om syretillförseln minskar och/eller om sprinklersystemet är dimensionerat för den typen av lagring som sker på lagret. Det som sänker effektutvecklingen mest är sprinklern men att minska syretillförseln till branden minskar också effektutvecklingen markant.

Då utrymningssimuleringarna visade att utrymningstiden var högre än tiden tills kritiska förhållanden uppnåddes är det intressant att undersöka hur man kan förbättra utrymningstiden. Enligt känslighetsanalysen är det parametern *val av utgång* som påverkar utrymningstiden mest. Under platsbesöket var nödutgångarna i Intersports butik delvis skymda vilket gjorde de svåra att upptäcka. Detta togs hänsyn till i utrymningssimuleringarna vilket då påverkade utrymningstiden negativt.

Därför är det intressant att undersöka hur mycket snabbare utrymningen går när de skymda utgångarna anses vara synliga och då användas direkt vid utrymning.

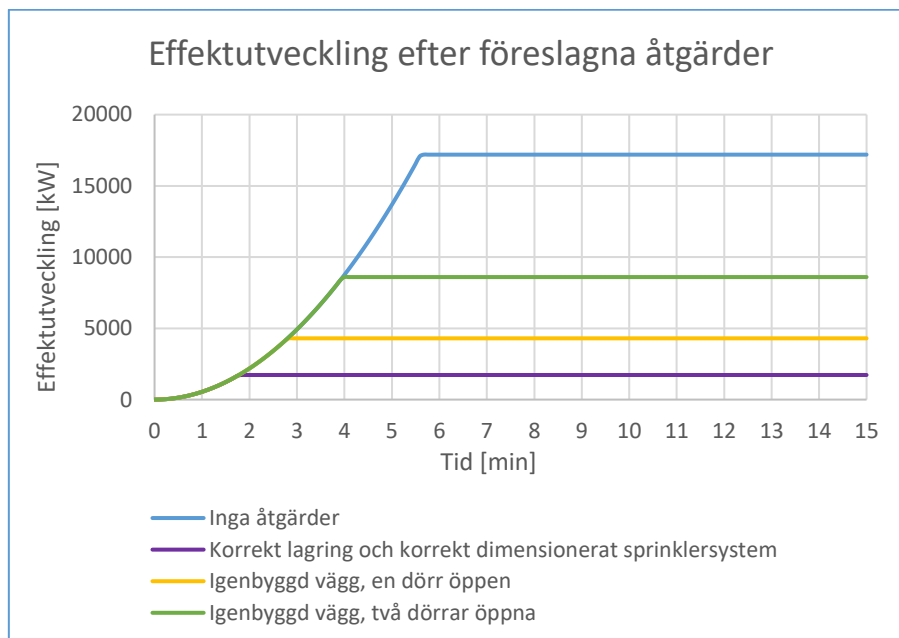
Även om det existerar osäkerheter kring beräkningen av de olika åtgärdsförslagens effektutveckling, kommer den maximala effektutvecklingen som kan uppnås att minska drastiskt jämfört med om inga åtgärder vidtas.

De åtgärder som anses intressanta att undersöka är således:

- Hur ett korrekt dimensionerat sprinklersystem med korrekt lagring påverkar effektutvecklingen och hur en tät väg skulle påverka rökspridning och effektutvecklingen.
- Hur synliga och tydligt markerade utrymningsdörrar påverkar utrymningstiden.

9.2 Resultat efter åtgärder

Nedan presenteras resultatet av de beräkningar som gjorts effektutvecklingen för scenariot *Brand i Intersports lager* efter att förbättringar gjorts. De förbättringar som gjorts är att sprinklersystem dimensionerats om rätt och väggen från lagret mot Intersports butik har tätats, se Figur 58. Se Bilaga E *Handberäkningar för scenariot brand i Intersports lager* för alla beräkningar.

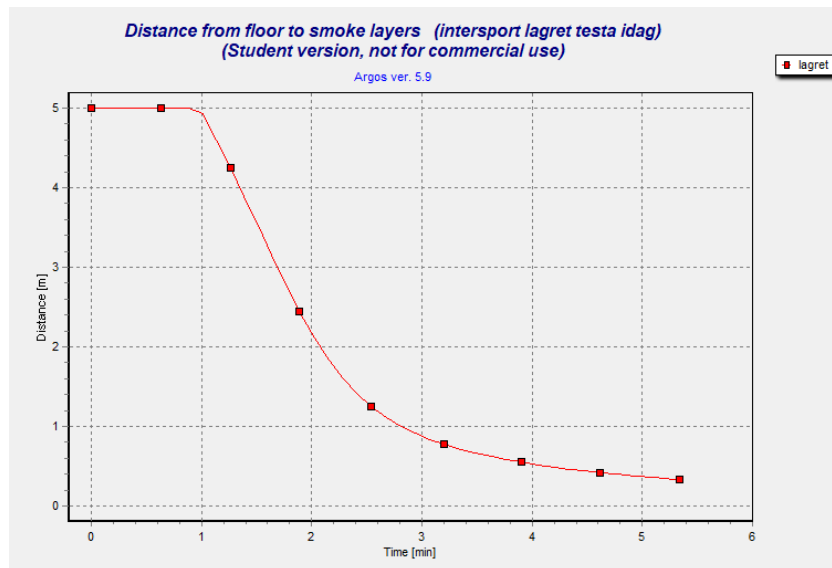


Figur 58. Jämförelse mellan maximal effektutveckling för Brand i Intersports lager då inga åtgärder vidtagits jämfört med då föreslagna åtgärder vidtagits.

Nedan presenteras resultaten från simuleringar gjorda i Argos. För fullständiga beräkningar, se Bilaga I Simulering i Argos.

I Figur 59 presenteras brandgaslagrets höjd över tid när sprinklersystemet är dimensionerat korrekt och endast dörren mellan lagret och butiken är öppen och väggen ut mot butiken är tätad.

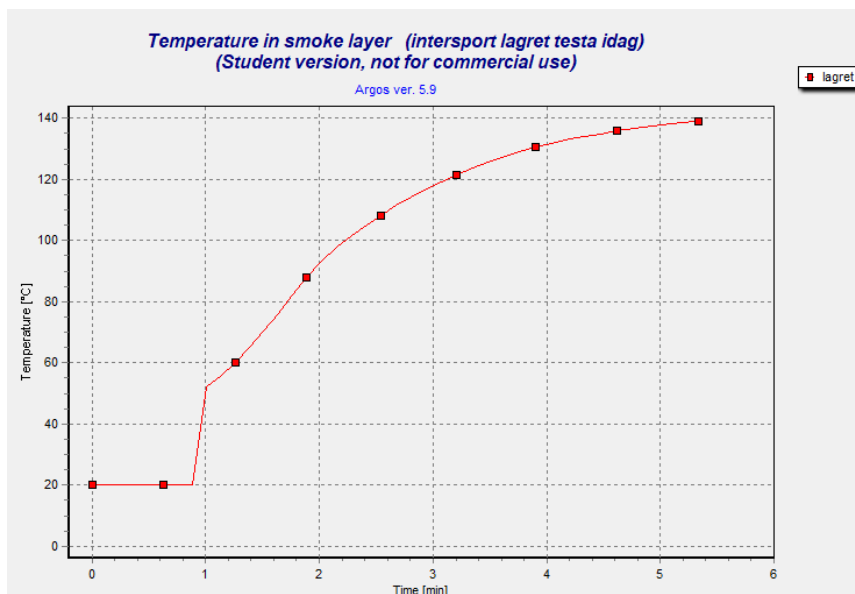
När röken sjunker ner till 2,1 meter kan röken sprida sig till butiksytorerna. Detta sker efter cirka 2 minuter.



Figur 59. Förhållandet mellan tiden och rökgaslagrets höjd i lagret då ett korrekt dimensionerat sprinklersystem används och endast dörren ut mot lagret är öppet.

Nedan presenteras brandgaslagrets temperatur över tid när sprinklersystemet är dimensionerat korrekt och endast dörren mellan lagret och butiken är öppen och väggen ut mot butiken är tätad, se Figur 60.

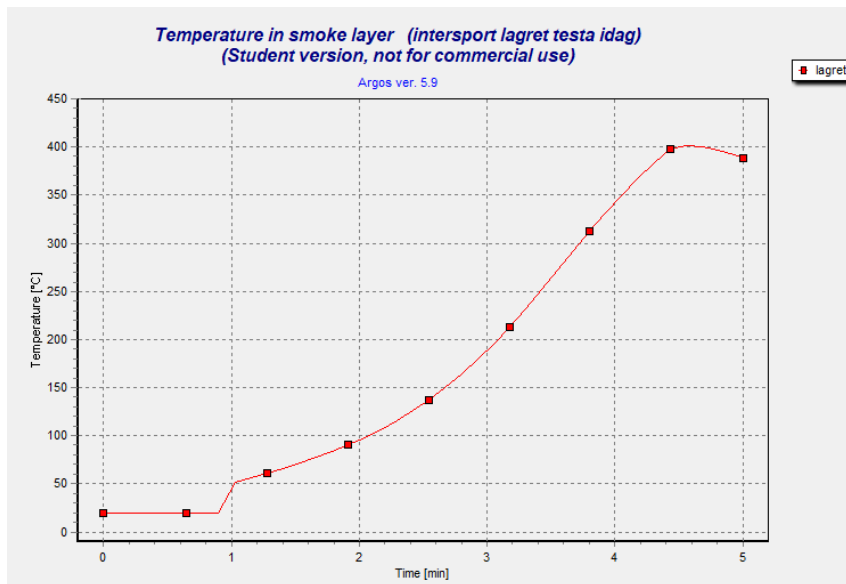
Röken kan sprida sig till butiken efter cirka två minuter. Den har då en temperatur på cirka 95 °C.



Figur 60. Brandgaslagrets medeltemperatur över tiden.

Nedan presenteras brandgaslagrets temperatur om sprinklersystemet är fel dimensionerat och inte antas dämpa brandens effektutveckling, se Figur 61.

Simuleringar av brandgaslagrets höjd i Argos när sprinklersystemet är fel dimensionerat blir likadant som Figur 59. Brandgaserna kan därför spridas till butiken efter cirka 2 minuter men har här en maximal temperatur på cirka 400 °C.



Figur 61. Brandgasernas medeltemperatur över tiden då sprinklerna ej fungerar som de ska.

Nedan visas en jämförelse mellan utrymning av källaren med och utan den skymda nödutgången. Jämförelsen bygger på scenariot där brand uppkommer i Intersport. Därför fick agenterna använda rulltrappan ut i det fria och nödutgången intill den, men inte rulltrappan upp i korridoren. Tabell 19 visar tiden för 5 simuleringar och dess genomsnittstid i fallet då agenterna får nyttja den skymda nödutgången. Tabell 20 visar tiden för 5 simuleringar och dess genomsnittstid i fallet då agenterna inte får nyttja den skymda nödutgången. Skillnaden mellan de två fallens genomsnittstid är 1:52 minuter. Efter åtgärdsförslag visar det sig att alla agenter hinner utrymma säkert, det vill säga utan att utsättas för kritiska förhållanden.

Tabell 19. Utrymning från Intersport där den skymda nödutgången ej användes.

Utrymning skymd nödutgång	Tid [min]
Försök 1	5:32
Försök 2	5:31
Försök 3	5:32
Försök 4	5:20
Försök 5	5:37
Medelvärde av alla försöken	5:29

Tabell 20. Utrymning från Intersport där den skymda nödutgången användes.

Utrymning ej skymd nödutgång	Tid [min]
Försök 1	3:39
Försök 2	3:40
Försök 3	3:36
Försök 4	3:33
Försök 5	3:35
Medelvärde av alla försöken	3:37

10 Diskussion

Nedan följer en diskussion över de dimensionerande scenarierna, simuleringarna, tillvägagångssätt, åtgärdsförslag samt de osäkerheter som finns i resultatet.

10.1 Utrymningssimulering

Simuleringarna som gjordes i Pathfinder behandlar utrymningen under de tre brandscenarioer samt en allmänutrymning. Den allmänna utrymningen gjordes i samband med känslighetsanalysen för att ta reda på vilken parameter som påverkar utrymningstiden mest.

För att kunna validera simuleringarna kollade vi på agenternas varseblivningstid samt förberedelsetid, rörelse samt navigering, val av utgång, val av väg och flödesbegränsningar. Data som användes i simuleringarna togs från verkliga studier och experiment. Simuleringarnas geometri varierade beroende på vilket brandscenario som skulle representeras. Detta gjordes för att göra simuleringarna så verklighetstroga som möjligt. Det är viktigt att påpeka att resultaten inte visar exakt hur en utrymning skulle ske i verkligheten utan endast är ett verktyg för att uppskatta en ungefärlig utrymningstid. I simuleringarna antogs det att agenterna inte skulle gå nära bränderna och att de skulle utrymma. Tidigare nämnt är det framförallt varseblivningstiden och förberedelsetiden som tar störst tid under utrymningsförloppet. Oftast utrymmer inte personer förrän de anser att lämna lokalen de befinner sig i är det bästa att göra, ofta i samband med att situationen då anses kunna bli farlig. (Frantzich, 2000).

I våra simuleringar användes en gammal studie som underlag när förberedelsetiden till agenterna bestämdes. Idag har det bland annat blivit populärt att både filma och fota olyckor och andra farliga situationer (SvD, 2018). En annan teori varför det är svårt att uppskatta förberedelsetiden är att personer ser oftast ett brandförlopp som linjärt medan det i själva verket är exponentiellt. (Nilsson, Human behaviour theories). Detta påverkar tiden det tar att inse att man faktiskt befinner sig i en farlig situation och bör utrymma. Ett scenario kan vara att istället för att man förbereder sig för att utrymma så ställer man sig och filmar alternativt kollar på branden.

Agenterna fick inte heller något grupp beteende. Detta är något som troligtvis skiljer sig från verkligheten då personer kan besöka gallerior i grupper. Detta är något som med största sannolikhet påverkar utrymningstiden då man ofta väljer att utrymma som grupp samt vänta in alla i gruppen innan man påbörjar utrymningen.

I simuleringarna har vi valt att ta bort majoriteten av affärernas utrymningsvägar då det antogs att de skulle användas i så pass liten utsträckning eftersom människor oftast väljer de vägar de är familjära med (Sime, 1985). Enligt känslighetsanalysen är det parametern val av utgång som är den parametern som påverkar utrymningstiden mest. Skulle butikernas nödutgångar användas skulle utrymningen gå betydligt fortare. För att få folk att använda dessa nödutgångar behöver nog butikspersonalen initiera att de går och bör användas. Personalens agerande vid brand har helt bortsetts från vid simuleringarna då det inte går att göra något konkret antagande av personalens inverkan på utrymningsförloppet.

Då butikerna interiör ofta ändras bortsågs affärernas interiör i simuleringarna. Då stora delar av butikernas golvytor oftast är täckta av varor har det en negativ effekt på flödet framförallt om de varorna blockerar delar av butikernas entréer. Dock ansågs den tiden försumbar eftersom butikernas entréer är så pass stora att det inte bildas någon kö utifrån butikerna även fast butiken var full med agenter. Undantaget var källarplanet som bestod enbart av en butik. Där bildades det kö vid utrymningsvägarna och vid huvudentrén. Detta för att utrymningsvägarna inte var tillräckligt breda och att personer behövde utrymma upp för rulltrappor vilket begränsade flödet.

Agenternas antal bestämdes efter vad de olika våningarna är dimensionerade för. Det gav en väldigt hög persontäthet. Agenterna placerades sedan helt slumpmässigt. Detta gjorde att det blev en väldigt jämn spridning av agenterna i simuleringens geometri. I verkligheten är antalet personer mer varierande där vissa områden har en högre persontäthet än andra vilket kan påverka utrymningstiden då det förändrar antalet personer som måste ta sig förbi vissa flödesbegränsande objekt så som dörrar och trappor.

10.2 Brand i Utställningsbil

När valet gjordes att ha med *Brand i utställningsbil* som en av de dimensionerande bränderna var det framförallt intressant att undersöka hur väl det befintliga brandskyddet skulle klara av en stor brand mitt i ariet där det ofta rör sig mycket människor. Resultatet visar att röken från bilbranden transporteras ut genom brandgasventilation och det sker ingen betydande rökspredning till våningsplan två. Strålningen från branden är så pass hög att rulltrapporna mellan entréplanet och våningsplan två inte går att använda vid utrymning efter ett antal sekunder och att atriets huvudentré blir obrukbar efter några minuter.

Det var dock ingen fara när det kom till utrymning. Utrymningssimuleringar visar att agenterna inte utsatts för några kritiska förhållanden då antagandet gjordes att de väljer andra utrymningsalternativ som inte går i närheten av branden, då det antas att ingen person skulle gå i närheten av en brinnande bil om det absolut inte var nödvändigt, till exempel om en brinnande bil stod i vägen för den enda utrymningsvägen. Varseblivningstiden sattes till noll då det antogs att branden skulle upptäckas direkt. Det antagandet är något som kan ha stor inverkan på resultatet men eftersom det enbart var strålningen som uppnådde kritiskt förhållande hade en ökad varseblivningstid ej påverkat resultatet.

En av osäkerheterna som påverkar resultatet är effektkurvan som representerar branden. Den hämtades från ett experiment där bilar har antänts och låtit brinna fritt. I experimentet angavs det inte vilka bilmodeller som användes utan bara bilarnas vikter samt om det var en elbil eller en förbränningsbil. Vikterna på försöksbilarna visade att det troligtvis rörde sig om vanliga personbilar som användes i experimenten. Den effektkurva som gav högst effektutveckling av alla experimenten var en förbränningsbil och blev därför den dimensionerande branden.

Bilars brandbelastning påverkas bland annat av mängden och typen brännbart material som finns tillgängligt. Mängden och typen brännbart material i sin tur varierar beroende på bilens storlek, modell och hur mycket förbränningsvätskor som finns i bilens tank. En större bilmodell så som en van har en högre brandbelastning än en mindre modell likt en Peel P50. Detta är en osäkerhet när det kommer till storleken på branden och hur dess effektkurva skulle se ut. En bil består också av flera olika material där det råder skillnad på till exempel tillväxthastighet. I experimenten antändes bilarna i motorhuvu och branden spred sig senare bakåt. Utifrån experimentet så nådde bilarna maxeffekt när inredningen i kupperna brann. Det var också där som den hastigaste tillväxthastigheten skedde. Beroende på var initialbranden uppstår kommer effektutvecklingen se olika ut. Hur detta skulle påverka resultatet undersöktes i känslighetsanalysen då brandgasventilationens kapacitet testades vid den maximala effekten under stationära förhållanden.

Då det också fanns osäkerheter gällande till- och frånluften gjordes en känslighetsanalys på hur dessa osäkerheter påverkade branden. Resultatet från analysen visar att om antingen till- eller frånluftens areor minskar eller om bådas areor minskas kan brandgaserna spridas in till våningsplan två vilket kan leda till att kritiska förhållanden uppnås. Även om detta skulle ske är planlösningen på våningsplan två väldigt öppen vilket gör att det skulle ta tid innan någon betydande rökfyllning skulle ske och utrymningen skulle vara klar långt innan kritiska förhållanden skulle uppnås på våningsplan

två. Därför anses personsäkerheten vara godkänd och inga åtgärder behöver göras, trots det ickekonservativa antagandet att branden upptäcks direkt och varseblivningstid saknas.

10.3 Brand i Dressmann

Valet av dimensionerande brand gjordes med motiveringen att det skulle vara den mest allvarliga butiksbranden som kunde uppstå i gallerian på både entréplan och våningsplan två. Resultatet från simuleringarna i FDS bekräftar att en balkongplym uppstår samt att röken sprider sig till våningsplan två och att det uppstår kritiska förhållanden. Resultatet från strålningsberäkningarna visar att kritisk strålning uppnås i 5 meter från branden och där med gör Dressmans entré samt området utanför entrén obrukbar vid utrymning.

Det var dock ingen fara när det kom till utrymningen. När FDS simuleringen jämfördes med resultatet från utrymningssimuleringarna ser man att inga personer utsätts för några kritiska förhållanden. Dressmann och gångstråket ovanför dressman är de ställen som påverkas mest av branden. I de områdena är det endast sikten som når kritiska värden och detta efter cirka 9 minuter efter att branden startat.

Medelutrymningstiden från de fem utrymningssimuleringarna visar att alla personer har utrymt gallerian efter cirka 6 minuter. Detta betyder att de utrymmande personerna har en marginal på cirka 3 minuter. De områden som blir obrukbara på grund av brandens strålning hade ingen betydande påverkan på utrymningen. Inga personer behöver utsätta sig för kritisk strålning någon gång under utrymningen.

När den dimensionerande effektkurvan togs fram användes ett verkligt experiment som underlag. Data från experimentet gav ett stort bränslepaket som hade en snabb tillväxt och en hög effektutveckling. Branden placerades också på den plats som ansågs vara minst fördelaktig i en utrymningssituation. Känslighetsanalysen visar att valet av brand är konservativt gjort och därmed utgör ett värsta troligt fall.

De antaganden som gjordes angående hur sprinklern påverkade effektutvecklingen är något som påverkar resultatet. Sprinkleraktiveringens tid beräknades med hjälp av DETACT-T2 vilket inte ger en exakt tid utan mer en uppskattning vid vilken tid och effekt som sprinklern aktiveras. När sprinklern aktiverande antogs branden sjunka linjärt till en viss effekt som sedan var konstant hela brandförloppet ut.

I FDS simuleringen användes den tidigare framtagna effektkurvan och brandens material sattes till polyester med en matchande sot-yield. Materialet användes då det är vanligt förekommande material i jackor. Jackor består oftast av en mängd olika material vilket FDS inte kan simulera. Detta är en osäkerhet då branden som simulerades i FDS enbart bestod av materialet polyester. Även om ett annat troligt material samt dess sot-yield används i stället för polyester skulle inte resultatet påverkats märkbart.

I utrymningssimuleringarna stängdes den närliggande huvudentrén av efter en minut för att simulera hur branden påverkar utrymningen. Det antogs då att branden vuxit sig så stor att personer inte skulle välja att passera den för att utrymma så länge det fanns andra utrymningsalternativ. Skulle dock personer i verkligheten välja att gå nära branden kommer de utsättas för en kritisk strålningsnivå. Avståndet från branden till halva huvudentréns bredd var 5 meter och det området låg därmed över de kritiska förhållandena gällande värmestrålning. Därför var halva huvudentréns bredd avstängd under hela simuleringen för att se hur det påverkade utrymningstiden.

Varseblivningstiden sattes till noll sekunder då det antogs att branden skulle upptäckas direkt. Detta är ett icke konservativt antagande som påverkar resultatet positivt. Att undersöka hur detta antagande påverkar resultatet ansågs inte behövas då resultatet visade att säkerhetsmarginalen var så pass stor att en ökad varseblivningstid inte skulle innebära att säker utrymning ej kunde fastställas.

Även om flera antaganden och förenklingar gjorts anses det inte vara någon sannolikhet att personer kommer utsättas för kritiska förhållanden under utrymningen, trots det ickekonservativa antagandet att branden upptäcks direkt och varseblivningstid saknas.

10.4 Brand i Intersports lager

En brand i Intersports lager valdes som ett dimensionerande scenario då det antogs att det var den brand som skulle utmana brandskyddet mest. Brand- och utrymningssimuleringarna bekräftade att en brand i Intersports lager kan mycket väl leda till att kritiska förhållanden uppnås. Simuleringen i FDS visade att röken spred sig ut från lagret, upp för rulltrappan och ut det huvudsakliga gångstråket på entréplan. Rök spred sig även i hela Intersportbutiken och upp för dess andra rulltrappa som leder ut mot det fria.

På två platser överskreds det kritiska förhållandet när det gäller temperatur. Temperaturen överskreds dock efter så pass lång tid in i utrymningsförloppet att de agenter som fanns kvar befann sig långt från dessa två platser.

De toxiska nivåerna av kolmonoxid och vätecyanid var så pass låga att ingen skulle utsättas för kritiska doser av de två ämnena under utrymningsförloppet.

Efter en minut sjönk sikten under sex meter i rulltrappan mellan Intersportsbutiken och entréplan. Två minuter in i brandförloppet blev sikten under sex meter även i den rulltrappa som ledde ut till det fria från Intersportsbutiken. Sikten var under sex meter i hela Intersportsbutiken efter fyra och en halv minuts brandförlopp. Ingen av agenterna i utrymningssimulering utsattes för en sikt under sex meter i rulltrappan upp till entréplan, ty det förutsattes att ingen använde den utrymningsvägen då den var full med rök och det fanns andra utrymningsalternativ där det inte nådde kritiska förhållanden. Det uppstod köbildning till den sista återstående utrymningsvägen och agenter som befann sig i kön utsattes för en sikt som var lägre än sex meter under slutet av sin utrymning.

När brandens maximala effektutveckling beräknades gjordes antagandet att alla öppningar var öppna och att det fanns obegränsat med syre utanför öppningarna. I FDS simuleringar var en av öppningarna till lagret öppen ut mot det fria vilket gav branden obegränsat med syre. Då det endast är intressant att undersöka brandförloppets tidiga skedde anses detta inte påverka resultatet då det kan antas finns tillräckligt med syre.

I resultatet redovisas tider till då alla våningar i byggnaden är utrymda. Utrymningen tar längst tid på entréplanet men agenterna som befinner sig på det planet behöver inte utsättas för kritiska förhållanden då valet av utgångar är stort och agenter kan alltid välja en säker väg. Det är i källarplan som de kritiska förhållandena kan utgöra ett problem då val av utrymningsvägar är mer begränsat.

Det är problematiskt att utrymmande personer utsätts för kritiska siktförhållanden. Vad som dock bör tas i beaktning är att agenterna befinner sig i slutet av utrymningen och står i kö endast några meter ifrån de utrymningsvägar som leder till det fria. Det kan antas att utrymmande personer vid det här laget av utrymningen har en god uppfattning om var utrymningsvägen finns och avståndet till den. Dock ska hänsyn tas till att Pathfinder endast är ett verktyg som ger en uppskattning av verkligheten. Även om tid lades för att få simuleringen att likna en verklig utrymning så går det inte

att bevisa att en utrymning skulle ske som i simuleringen. Även om alla personer i ett verkligt scenario agerar precis som agenterna i simuleringen kan det antas att det inte är en särskilt behaglig upplevelse att stå i en kö till en utrymningsväg när röken är så pass tjock att sikten sjunker och blir dålig. Då kritiska förhållanden faktiskt uppstår är det rimligt att införa åtgärder.

10.5 Åtgärder

Scenariot *Brand i Intersports lager* anses inte kunna uppfylla de krav som är ställda på personsäkerheten vid utrymning och därmed måste åtgärder göras för att minska sannolikheten att utrymmande personer utsätts för kritiska förhållanden.

Den öppna ytan ovanför väggen som vetter mot Intersports butiksdel ska byggas igen. Denna åtgärd skulle ha två positiva effekter. Dels skulle den maximala effektutvecklingen som kan uppstå vid ventilationskontrollerad brand förutsatt att sprinklern ej fungerar effektivt, begränsas. Samtidigt skulle även brandgasspridningen från lagret ut till övriga gallerian begränsas. Sannolikheten att personer som utrymmer utsätts för kritiska förhållanden minskas därmed kraftigt. En tätad vägg skulle åtminstone minska den maximala effektutvecklingen vid ventilationskontrollerad brand med ungefär 50 %, samtidigt som spridningen av rökgaserna från branden skulle begränsas kraftigt. Åtgärden bedöms vara mycket kostnadseffektiv. Därmed anses det motiverat att åtgärdsförslaget om att tätas väggen ska genomföras.

För att minska öppningsarean kan även de dörrar som finns in till lagret förses med automatiska dörrstängare som stänger dörrarna vid brand. Detta för att minska syretillförseln till branden vilket gör att effektutvecklingen minskar. Då detta är en åtgärd som till stor del är beroende av huruvida de anställda eller andra personer väljer att förbigå tekniken genom att till exempel ställa upp en felfungerande dörr med en kil, är denna brandtekniska lösning inte helt pålitlig. Helt stängda dörrar minskar dock effektutvecklingen och i kombination med åtgärdsförslaget om korrekt dimensionering av sprinklersystemet och tätad vägg, är sannolikheten att brandgaser sprider sig till övriga delar av gallerian att betrakta som obefintlig. Att införa två automatiska dörrstängare skulle inte vara en större kostnad i relation till dess effektivitet. Således är införande av automatiska dörrstängare en åtgärd som bör genomföras.

Vad som även kan göras är att säkerhetsställa att sprinklersystemet fungerar som det är tänkt och därigenom begränsa brandens effektutveckling i ett tidigt skede. Motiveringen till att sprinklersystemet ej skulle fungera var att sprinklerns spridningsbild kunde blockeras av för högt lagrat material, samtidigt som bedömningen gjordes att vattentätheten var hälften så stor som den borde varit för den typen av verksamhet och lagring.

Förutsatt att sprinklern fungerar som den ska, visar beräkningar i DETACT-T2 att branden skulle begränsas i ett mycket tidigt skede med en effektutveckling på under 2000 kW. För att sprinklern skall fungera effektivt krävs det först och främst att dess spridningsbild ej blockeras av höglagrat föremål, men även att vattentätheten är tillräckligt hög. Visserligen existerar det fortfarande osäkerheter i kring aktiveringstiden som DETACT-T2 ger samt hur effektiv sprinklern skulle vara om den var rätt dimensionerad, men det är ändå rimligt att anta att effektutvecklingen inte blivit mycket större än 2000 kW. En effektutveckling på 2000 kW i relation till den maximala effektutvecklingen på 17000 kW som kan uppnås vid en ineffektiv sprinkler och maximal öppningsarea, är en klar förbättring ur ett brandsäkerhetsperspektiv. Eftersom den öppna ytan ovanför väggen mellan butiken och lagret ska tätas igen är dock inte ett rätt dimensionerat sprinklersystem nödvändigt för att garantera säker utrymning. Det kan bli dyrt och omfattande att dimensionera om sprinklersystemet. Eftersom en minskad effektutveckling på nästan 90 % fördröjer tid till kritiska förhållanden drastiskt (dessutom minskar ekonomiska skador) motiveras åtgärdsförslaget om att sprinklersystemet dimensioneras rätt enligt Brandskyddsföreningens krav bör genomföras.

En jämförelse utfördes mellan utrymningstider för att se hur mycket snabbare källaren kunde utrymmas då den skydda nödutgången användes. Den visade att användandet av den skydda utgången har en betydande inverkan på utrymningstiden. Kostnaden för att förtydliga nödutgången

placering får ses som mycket liten. Att göra den mer synlig är en åtgärd som bör genomföras då personsäkerheten ökar med snabbare utrymning.

10.6 Allmänna osäkerheter

Under platsbesöket då geometrin på objektet skulle mätas uppstod osäkerheter i de mått som sedan användes i simuleringar och handberäkningar. Visserligen fanns det exakta mått på bredder och längder för de olika våningsplanen och butikerna som fanns på våningsplanen i gallerian. En del ritningar var dock gamla och vissa ombyggnationer hade gjorts i gallerian. T.ex. hade en vägg som var av betydande karaktär för geometrin i scenariot *Brand i Intersports lager* flyttats, vilket ledde till att dess faktiska placering fick uppskattas och ej kunde tas ifrån ritningarna.

Vidare existerar det en hel del osäkerheter kring mycket av objektets höjdmått. Totalt sätt är gallerian och dess beståndsdelar att betraktas som en relativt komplicerad geometri. I källaren där Intersport ligger hänger exempelvis flera bjälkar och ventilationstrummor ned från taket, vilket gör det svårt att bedöma den faktiskt takhöjden, då det finns många objekt som totalt sätt "sänker" höjden upp till taket. I gallerians atrium var inte taket platt, utan var närmare att betrakta som en inneslutande kupol.

Geometrin samt byggnadens material förenklades i både simuleringarna samt i handberäkningarna. I handberäkningarna antogs atriets geometri vara en cylinder och byggnadens material antogs till betong. I FDS gjordes flera förenklingar, se Bilaga F Brandsimuleringar. I taket fanns det flera nedstickande bjälkar bara en av balkarna togs med i simuleringen och det var bjälken utanför lagret. Detta är en osäkerhet i resultatet då rökspridningen i verkligheten hade påverkats av dessa hinder. I FDS kan det material som brinner bara utgöras av ett material. Detta påverkar framförallt resultatet sikt och koncentrationerna av kolmonoxid och vätecyanid. Dock är dessa förenklingar så pass små att de inte påverkar resultatet i någon större uträkning.

En annan osäkerhet är tillgänglig till- och frånluft. I Simuleringen samt handberäkningar antogs det att 100 % av den tillgängliga till- och frånluften användes. Att 100 % av både till- och frånluften är tillgänglig är något som påverkar resultatet. Atriets frånluft uppskattades till 24 m² under platsbesöket och enligt brandskyddsdocumentationen är den runt 20 m². Den tillgängliga frånluftarean påverkar hur brandgasventilation är uppbyggd det vill säga hur mycket av brandgasluckorna öppnar när de aktiveras.

Den tillgängliga tillluftarean var svår att uppskatta på platsen men enligt brandskyddsdocumentationen utgörs den av några luckor samt huvudentréerna som uppgår till minst 20 m². Den tillgängliga tillluften kan variera mycket då den till stor del utgörs av entréerna. Under utrymningen är det ett stort flöde av personer som passerar genom entréerna vilket minskar den tillgängliga arean. Entréerna är inte heller öppna hela tiden utan är stängda när de inte används. I FDS-simuleringarna togs ingen hänsyn till vindens påverkan utan det antogs att det var vindstilla då vinden kunde påverka resultatet positivt genom att öka flödet genom till- och frånluften.

När det gäller de handberäkningar som gjordes för rökfyllnaden av atriet i scenariot *Brand i utställningsbil* existerar det också osäkerheter. Heskestads och Zukoskis plymekvationer i kombination med Yamana-Tanakas rökfyllnadsmodell bygger på många antaganden och innehåller en del begränsningar. I sammanhanget viktigt att poängtera att de ger en hyfsad uppskattning av rökfyllnaden i atriet, som ett komplement till de gjorda FDS simuleringarna.

11 Slutsats

Två av de tre dimensionerande scenarier som analyserats djupare har visat att brandskyddet är tillräckligt bra för att garantera personsäkerheten. I scenariot *Brand i Intersports lager* har brister gällande dimensionering av sprinklersystemet, förhindrade av rökgasspridning mellan deras lager och gallerian samt vägledning till utrymningsvägar identifierats. Bristerna har bedömts vara så pass allvarliga att det finns åtgärder som ska genomföras för att brandskyddet ska garantera säker utrymning samt åtgärder som bör genomföras även om åtgärderna inte är nödvändiga för att garantera personsäkerheten.

Åtgärder som ska genomföras:

- Tätta väggen mellan Intersports lager och butik

Åtgärder som bör genomföras:

- Dimensionera sprinklersystemet enligt Brandskyddsföreningen krav
- Installera automatiska dörrstängare till dörrarna in till Intersports lager
- Se till att Intersports nödutgångar är synliga

Litteraturförteckning

- Advameg, Inc. (u.d.). *Running Shoe*. Hämtat från How Products are Made: <http://www.madehow.com/Volume-1/Running-Shoe.html>
- a-focus. (2016). *Statistiksammanställning över funktionsnedsättningar*. okänd: a-focus.
- American Fiber Manufacturers Association, Inc. (2017). *Health & Safety*. Hämtat från <http://www.fibersource.com/fiber-world-classroom/health-safety/>
- Andersson, F. (2018). Utbildad elektriker som jobbat med svagström.
- Asp, A., & Bladh, Å. (2014). *Besiktningssintyg automatiskt vattensprinklersystem*. (2013). *BBRAD 3*.
- Bertana, B. T. (2014). *Comparison of the Fire Consequences of an Electric Vehicle and an Internal Combustion Engine Vehicle*. Verneuil-en-Halatte: National Institute of Industrial Environment and Risks.
- Björn Karlsson, J. G. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. United States of America: CRC Press.
- Brandrök*. (den 22 09 2017). Hämtat från Janusinfo - Stockholms läns landsting: <http://www.janusinfo.se/Akut-internmedicin/Forgiftningar/Brandrok/>
- Brandskyddsföreningen. (2016). *Sprinklersystem Regler och Standard 2016*. Brandskyddsföreningen Service AB.
- Cardell, J. (07 2017). En bil körde in i Gekås Ullared – det här vet vi. Hämtat från <https://www.expressen.se/gt/en-bil-korde-in-i-gekas-ullared-det-har-vet-vi/>
- Craftech Industries, Inc. (u.d.). *13 high performance plastics used in the automotive industry*. Hämtat från Craftech Industries: <http://www.craftechind.com/13-high-performance-plastics-used-in-the-automotive-industry/>
- Dagens Nyheter. (den 08 04 2017). Lastbil in i folkmassa – detta vet vi. Hämtat från <https://www.dn.se/sthlm/lastbil-in-i-folkmassa-detta-vet-vi/>
- Drysdale, D. (2011). *An Introduction to Fire Dynamics Third Edition*. Edinburgh.
- Engineers, N. F. (2002). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association.
- Erica D. Kuligowski, R. D. (2015). *Movement on Stairs During Building Evacuations*. National Institute of Standards and Technology .
- Frantzich. (2000). *Tid för utrymning vid brand*. karlstad: Räddningsverket.
- Frantzich, H. (2018). *Movement through smoke*. Lund, Sweden: Division of Fire Safety Engineering, Lund University.
- Helmenstine, A. M. (2018). Hämtat från Thought.Co: <https://www.thoughtco.com/why-lithium-batteries-catch-fire-606814>
- Hietaniemi, J., & Mikkola, E. (2000). *Design Fires for Fire Safety Engineering*. VTT Technical Research Centre of Finland. Hämtat från <http://www.km.fgg.uni-lj.si/PREDMETI/POZAR/Literatura/Design%20fires%20VTT.pdf>

- Hostikka, T. K. (2009). *Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac*. Finland: JULKAISIJA.
- Information National Center for Biotechnology. (den 28 04 2018). *4-Oxonioicarbonylbenzoate*. Hämtat från PubChem Open Chemistry Database: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/4356128#section=Top>
- Ingason, H., Li, Y., & Lönnemark, A. (2015). *Tunnel Fire Dynamics*. New York: Springer.
- Jiang-ling Wu, S.-r. Z.-p. (2017). *Pedestrian Walking Speed Characteristics at Signalized Intersections in New Urban District Communities*.
- Johansson, B. (2004). *Analys av utrymnings säkerheten vid brand hos nattklubben Underbar i Skellefteå*. Lund: Department of Fire Safety Engineering, Lund University.
- K.E. Boyce, T. S. (1999). *Toward the characterization of building occupancies for fire safety engineering: Capabilities of disabled people moving horizontally and on incline*. Belfast: Ulster university .
- Karlsson, B., & Quintiere, J. G. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. CRC Press Inc.
- Linköpings Historia. (2018). Hämtat från 1940–1970 Expansion och omstrukturering: <http://www.linkopingshistoria.se/1940-2000/1940-1970/>
- Lundbergs. (2018). *Lundbergs Lokaler Linköping Handel*. Hämtat från <https://www.lundbergs.se/lokaler/linkoping/handel.aspx>
- McGrattan, K., Forney, G., Klein, B., Floyd, J., Hostikka, S., & Korhonen, T. (2007). *Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide*. Washington: National Institute of Standards and Technology Special Publication .
- Michael J. Kinsey, E. R. (2011). *Modelling Evacuation using Escalators: a London*. London : University of Greenwich, UK.
- MSB. (2017). *Brand i moderna bilar*. msb .
- MSB. (den 14 03 2018). *IDA*. Hämtat från MSB: <https://ida.msb.se/ida2#page=a0109>
- Nilsson, D. (2018). *Human Behaviour in Fire: Toxicity assessment*. Lund, Sweden: Division of Fire Safety Engineering, Lund University.
- Nilsson, D. (u.d.). *Human behaviour theories*. lund, skåne, sweden: Department of Fire Safety Engineering.
- Nilsson, D., & Holmstedt, G. (2008). *Kompendium i Aktiva system - Detektion*. Lund: Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety.
- Nystedt, F., & Frantzich, H. (2011). *Kvalitetsmanual för brandtekniska analyser vid svenska kärntekniska anläggningar*. Lund: Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University, Sweden.
- Phenomenon, T. M. (den 24 april 2018). <http://www.jcdecauxna.com>. Hämtat från <http://www.jcdecauxna.com/sites/default/files/assets/mall/documents/studies/mallphenomenon.pdf>
- Purser, D. (2011). *Fire Toxicity and Toxic Hazard Analysis*. Hartford Environmental Research.

- Ronchi, E., Kuligowski, E. D., Reneke, P. A., Peacock, R. D., & Nilsson, D. (2013). *The Process of Verification and Validation of Building Fire Evacuation Models*. Lund: LUND UNIVERSITY.
- Ronchi, E., Norén, J., Delin, M., Kuklane, K., Halder, A., Arias, S., & Fridolf, K. (2015). *Ascending evacuation in long stairways: Physical exertion, walking speed and behaviour*. Lund: LUND UNIVERSITY.
- SFPE. (2002). *SFPE*. Quincy, Massachusetts 02269: National Fire Protection Association, Inc.
- SFPE. (u.d.). *ADVANCES IN SPRINKLER TECHNOLOGY*. Hämtat från SFPE: http://www.sfpe.org/?page=FPE_ET_Issue_1
- Sime, J. D. (1985). movement toward the familiar person and place affiliation in a fire entrapment setting .
- staff, M. c. (den 22 03 2018). *diseases conditions/heat exhaustion/symptoms cause*. Hämtat från MayoClinic : <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/heat-exhaustion/symptoms-causes/syc-20373250>
- Staffansson, L. (2010). *Selecting design fires*. Lund: Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University.
- SvD. (den 4 maj 2018). Hämtat från Svenska Dagbladet: <https://www.svd.se/manniskor-maste-anvanda-sunt-fornuft>
- Tesla. (2018). *Model S*. Hämtat från Tesla: https://www.tesla.com/sv_SE/models
- Thunderhead Engineering Consultants, I. (2015). *Powerful Fire Simulation*. Hämtat från PyroSim: <https://www.thunderheadeng.com/pyrosim/pyrosim-features/>
- Tidning. (den 4 maj 2018). Hämtat från Svenska Dagbladet: <https://www.svd.se/manniskor-maste-anvanda-sunt-fornuft>
- Tretsiakova-McNally, S. (2016). - *Harm criteria for people and environment, damage criteria for structures and equipment*. Ulster University.
- Uses of Polyester*. (2014). Hämtat från <http://schwartz.eng.auburn.edu/polyester/uses.html>
- Wright, P., & Adams, C. (1976). *Toxicity of Combustion Products from Burning Polymers: Development and Evaluation of Methods*. Monsanto Company.
- Xin, Y. (2017). *Effects of storage height on critical delivered flux of representative fuels*. Norwood: Research Division, FM Global.
- Zalok, E., & Hadjisophocleous, G. (2007). *CHARACTERIZING OF DESIGN FIRES FOR CLOTHING STORES*. Ottawa: Department of Civil and Environmental Engineering, Carleton University.

Bilaga A Datorprogram

Nedan beskrivs de datorprogram som användes i de utförda beräkningarna.

Fire Dynamics Simulator (FDS)

FDS är ett simuleringsprogram som är utvecklat och verifierat av den amerikanska organisationen The National Institute of Standards and Technology (NIST). Programmet hanterar termiskt drivna flöden i låga hastigheter som fokuserar på rök och värmetransport från bränder. Detta görs genom att rummets geometrier delas in i små celler (ju mindre celler desto mer noggrant resultat men längre simuleringsstid) där programmet löser Navier-Stokes-ekvationer vid varje tidssteg, normalt cirka en gång per sekund. (McGrattan, o.a., 2007).

PyroSim

PyroSim är ett program som används för att underlätta arbetet (främst hantering av geometrier) som krävs för att skapa ett scenario som sedan kan simuleras i FDS (Thunderhead Engineering Consultants, 2015).

Smokeview

Smokeview är ett program som är utvecklat av The National Institute of Standards and Technology (NIST) för att visualisera resultaten i tredimensionellt från en simulering gjord i FDS (McGrattan, o.a., 2007).

Pathfinder

Pathfinder är ett simuleringsprogram som behandlar utrymning från byggnader. Programmets simulering ger användaren ett animerat 3D-resultat som sedan kan analyseras och utvärderas. Resultatet visar hur människor rör sig i byggnaden vid utrymning och användaren ges en tid då alla har utrymt.

DETECT-T2

DETECT-T2 är ett datorprogram som beräknar aktiveringstid för sprinkler och värmedetektorer placerade under tak. I programmet antas brandens effektutveckling tillväxa med tiden upphöjt till två. I programmet värms detektorn upp av takstrålen och det tas ingen hänsyn till uppvärmning av ett varmt övre brandgaslager (Nilsson & Holmstedt, Kompendium i Aktiva system - Detektion, 2008).

Argos

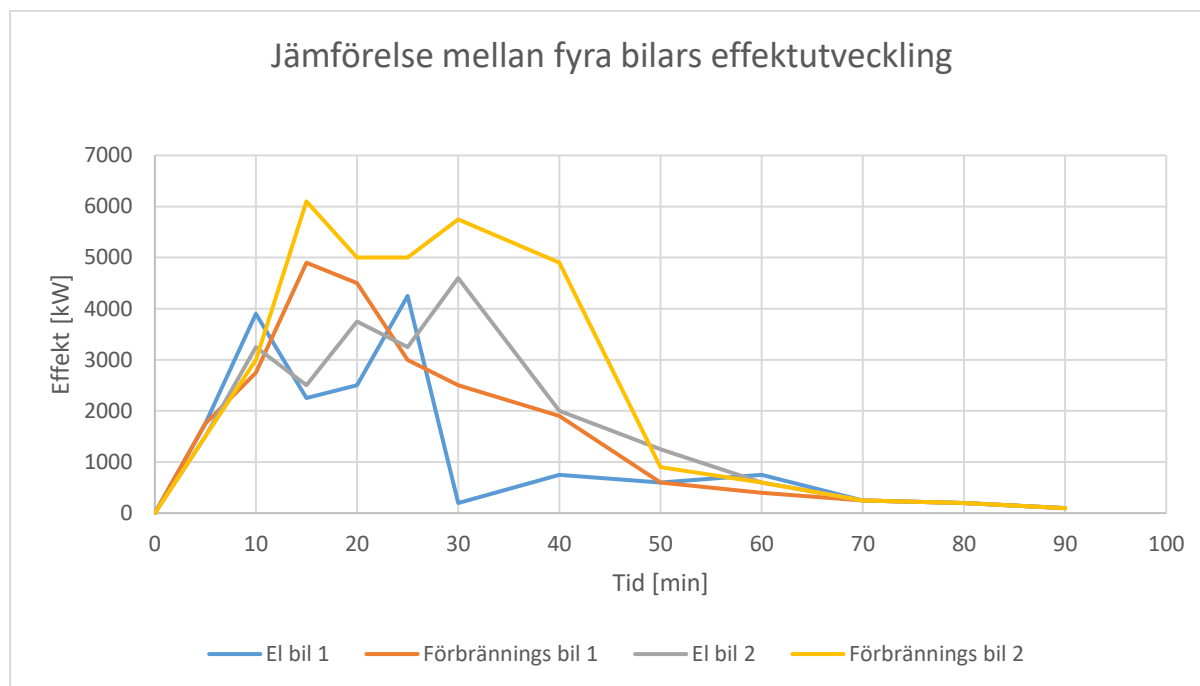
Argos är ett program som används för att simulera brandutvecklingen och röktransporter i och mellan rum. Programmet använder sig av tvåzonsmodellering vilket delar upp rummen i tvåzoner där den övre zonen representerar de varma brandgaserna och den undre representerar rummets lufttemperatur.

Bilaga B Effektkurva och handberäkningar för scenariot Brand i utställningsbil

Nedan följer beräkningar som är gjorda för effektutvecklingen för scenariot *Brand i utställningsbil*

Effektutveckling

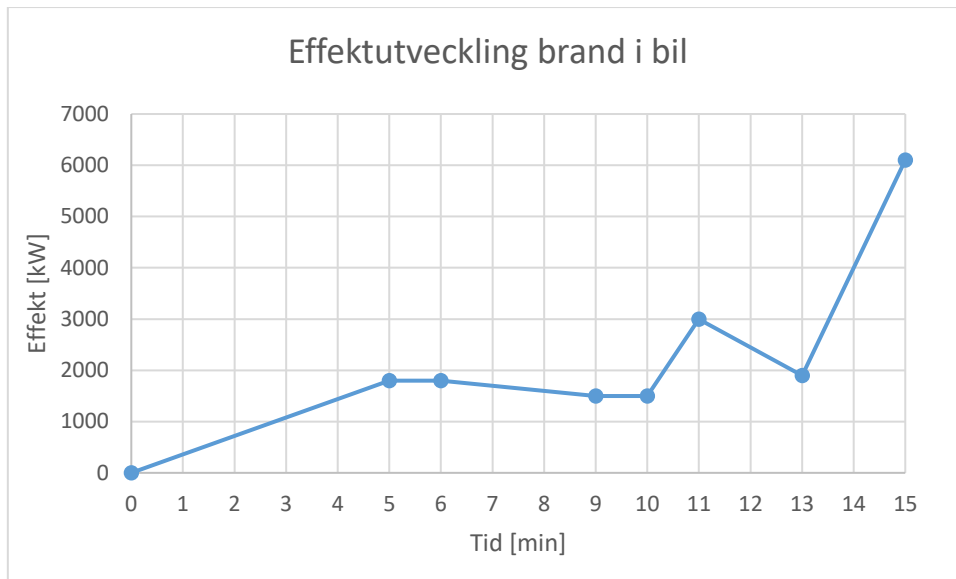
Två biltillverkare har gjort två tester vardera där de har undersökt skillnaden på brandförloppet mellan en elbil och en bil med förbränningsmotor (Bertana, 2014). Resultatet presenteras i Figur 62.



Figur 62. Sammanställning av fyra bilars brandförlopp.

Det som är av intresse är framförallt brandens tillväxtfas då det antas att räddningstjänsten har påbörjat en första insats efter 15 minuter.

Då det inte finns en specifik biltyp som ställs ut i ariet antas det att både typ av bil och storlek kommer variera under gallerians livslängd. För att välja en dimensionerande HRR-kurva till scenariot kommer den kurva som har snabbast tillväxtfas upp till 15 minuter att väljas ut, då denna troligtvis täcker in flest typer av bilbränder. Ur Figur 62 går det att avläsa att förbränningsbil 2 har den högsta effektutvecklingen samt den högsta effekten av alla de fyra försöken. För att göra kurvan ytterligare konservativ avrundas den högsta punkten från cirka 18 minuter till tiden 15 minuter. Effektkurvan presenteras i Figur 63.



Figur 63. Dimensionerande effektutveckling för scenariot brand i bil.

Strålningsberäkning

Utställningsplatsen där bilen ställs ut är bredvid rulltrapporna som sammanbinder entréplanet med våningsplan två och den huvudentré som leder ut från atriet. För att ta reda på hur strålningen från bilbranden påverkar området runt rulltrapporna samt området runt huvudentrén användes "Modaks Simple Method" där en uppskattad radiell strålningsbild kan tas fram där branden ses som en punktkälla, (Karlsson & Quintiere, 2000). Strålningen beräknades vid avstånden 2 meter, 5 meter och 10 meter. Området som ligger runt två meter representerar rulltrapporna, området som ligger runt 5 meter representerar gångvägen som leder till huvudentrén och 10 meter representerar gångstråket som leder bort från atriet. Skulle kritisk strålning uppnås inom 2 meter betyder det att rulltrapporna blir obrukbara vid utrymning, uppnås kritisk strålning vid 5 meter innebär att huvudentrén blir obrukbar och uppnås kritisk strålning vid 10 meter blir gångstråket obrukbart vid utrymning.

Modaks simple Method

$$\dot{q}'' = \frac{X_r \dot{Q}}{4\pi R_0^2}$$

ekvation 4

där

\dot{q}'' - Infallande strålning per kvadratmeter [kW/m²]

\dot{Q} - Effektutveckling [kW]

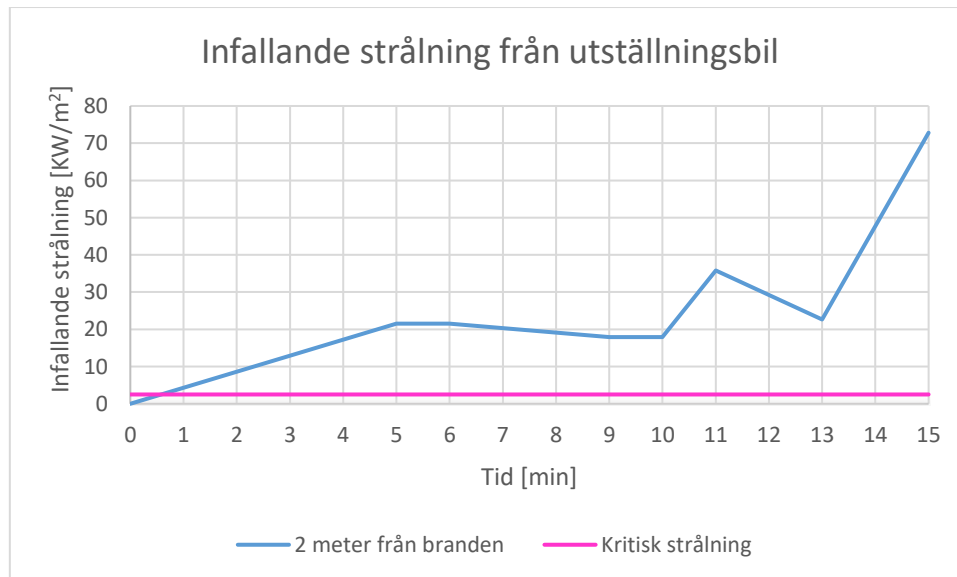
X_r - Strålningsfraktion [-]

R_0^2 - Avståndet från brandens mitt i kvadrat [m]

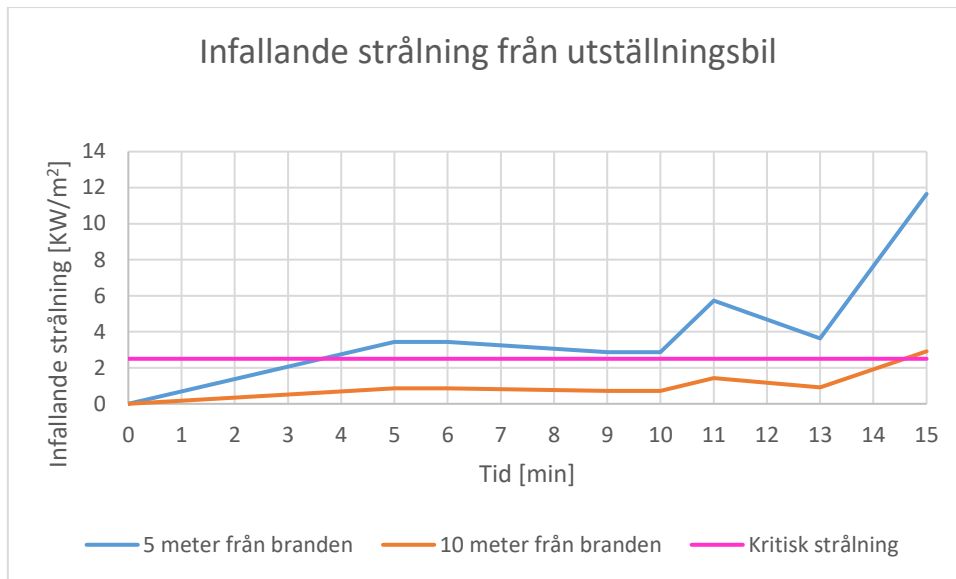
Strålningsfraktionen antogs vara 0,6 då detta kan antas vara ett vanligt värde (Karlsson & Quintiere, 2000) och effektutvecklingen varierade med tiden. Resultatet presenteras i Tabell 21 och i Figur 64 samt i Figur 65.

Tabell 21. Strålningsnivåer vid varierande effekt och avstånd.

Tid [min]	Effekt [kW]	Strålningsnivå vid 2 m [kW/m ²]	Strålningsnivå vid 5 m [kW/m ²]	Strålningsnivå vid 10 m [kW/m ²]
0	-	-	-	-
5	1800	21,48591732	3,437746771	0,859436693
6	1800	21,48591732	3,437746771	0,859436693
9	1500	17,9049311	2,864788976	0,716197244
10	1500	17,9049311	2,864788976	0,716197244
11	3000	35,8098622	5,729577951	1,432394488
13	1900	22,67957939	3,628732702	0,907183176
15	6100	72,81338646	11,65014183	2,912535459



Figur 64. Den beräknade infallande strålningen från utställningsbilen 2 meter från branden.



Figur 65. Den beräknade infallande strålningen från utställningsbilen 5 och 10 meter från branden.

Resultatet visar att kritisk strålning uppnås inom 2 meter samt 5 meter. Tiden tills Utrymningsvägarna blir obrukbara presenteras i Tabell 22.

Tabell 22 Visar vid vilken tid atriets rulltrappor samt atriets huvudentré blir obrukbara.

Utrymningsvägar	Kritiska förhållanden uppnås
Rulltrapporna	<1 min
Gången till atriets huvudentré	Ca 3,5 min

Beräkning av rökgaslagrets höjd

Då utställningsplatsen är ungefär i mitten av atriets är det intressant att undersöka om atriets brandgasventilation klarar av att hålla rökgaslagret på en sådan höjd att röken inte kommer kunna spridas ner i till våningsplan två och där med påverka utrymningen. För att undersöka detta används handberäkningsmetoden enligt Yamana-Tanka för rökfyllnad i stora utrymmen och en FDS-simulering.

Handberäkningar av brandgaslagrets höjd redovisas nedan och FDS-simuleringen finns i F.1 Brand i utställningsbil.

Plymekvationer

För att beräkna rökgaslagret höjd behöver först ett massflöde av rök från branden tas fram. Både Zukoskis och Heskestads plymekvationer användes för att ta fram ett massflöde för branden för att sedan kunna jämföra resultatet.

Zukoskis plymekvation

Nedan visas beräkningarna för Zukoskis plymekvation (Karlsson & Quintiere, 2000).

$$\dot{m}_p = 0,21 \left(\frac{\rho_\infty^2 g}{c_p T_\infty} \right)^{1/3} \dot{Q}^{1/3} \cdot z^{5/3} \quad \text{ekvation 5}$$

där

\dot{m}_p – Plymens massflöde [kg/s]

ρ_∞ – Omgivande luftens densitet [kg/m³]

g – Gravitationskonstanten [m/s²]

c_p – Specifik värmekapacitet [kJ/(kg·K)]

T_∞ – Omgivande lufts temperatur [K]

\dot{Q} – Effektutveckling [kW]

vid antagandena om att $T_\infty = 293 \text{ K}$, $\rho_\infty = 1,1 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 1,0 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$ och $g = 9,82 \text{ m/s}^2$ kan Zukoskis plymekvation förenklas till $\dot{m}_p = 0,071 \dot{Q}^{1/3} \cdot z^{5/3}$.

Heskestads plymekvation

Nedan följer beräkningsgången för Heskestads plymekvation som visas nedan (Karlsson & Quintiere, 2000).

$$\dot{m}_p = 0,071 \dot{Q}_c^{1/3} \cdot (z - z_0)^{5/3} + 1,92 \cdot 10^{-3} \cdot \dot{Q}_c \quad \text{ekvation 6}$$

Först beräknas en tänkt punktkälla för branden under eller över brandens faktiska placering.

$$z_0 = 0,235 \dot{Q}^{2/5} - 1,02D \quad \text{ekvation 7}$$

Där

z_0 – Brandens karakteristiska placering [m]

D – Brandens diameter [m]

Den högsta uppskattade effektutvecklingen från branden ansattes. Bilens uppskattade area på 10 m² räknades om som en cirkel och diametern beräknades till 1,8 meter. Då bilens area från början var uppskattades, avrundades 1,8 till 2 meter.

$$z_0 = 0,235 \cdot 6100^{2/5} \text{ kW} - 1,02 \cdot 2 \text{ m} = 0,6715 \text{ m}$$

Branden hamnar 0,6715 meter ovanför marken, ty z_0 är positivt.

Medelflamhöjden på branden beräknades därefter med hjälp av följande ekvation

$$L = 0,235\dot{Q}^{2/5} - 1,02D \quad \text{ekvation 8}$$

Där

L – Medelflamhöjd [m]

\dot{Q} – Effektutveckling [kW]

D – Brandens diameter [m]

Samma effekt och diameter på branden användes för att beräkna medelflamhöjden

$$L = 0,235 \cdot 6100^{2/5} \text{ kW} - 1,02 \cdot 2 \text{ m} = 5,64 \text{ m}$$

Ekvationen nedan användes sedan för att beräkna massflödet från bilbrandens plym.

$$\dot{m}_p = 0,071\dot{Q}_c^{1/3} \cdot (z - z_0)^{5/3} + 1,92 \cdot 10^{-3} \cdot \dot{Q}_c$$

Där

z Brandgaslagrets höjd [m]

Då brandgaslagret z var okänt itererades ett svar/lösning fram med hjälp av beräkningsmetoden för att ta fram brandgaslagrets höjd i fallet med naturlig ventilation som finns beskriven i Enclosure Fire Dynamics (Karlsson & Quintiere, 2000)

1. Ett värde antogs för z
2. \dot{m}_p beräknades med antingen Heskestads eller Zukoskis plymekvation.
Det antogs att $\dot{m}_p = \dot{m}_d = \dot{m}_e = \dot{m}$
3. Tryckskillnaden över de lägre öppningarna (tilluften) beräknades med hjälp av

$$\Delta P_1 = \frac{\dot{m}^2}{2p_\infty(C_d A_d)} \quad \text{ekvation 9}$$

Där

C_d – Flödeskoefficient [-]

A_d – Arean på tilluftens öppningar [m²]

4. Det antogs att brandgaslagrets temperatur var uniform och brandgaslagrets temperatur beräknades sedan enligt

$$T_g = T_\infty + \frac{\dot{Q}}{c_p \dot{m}_e + h A_w} \quad \text{ekvation 10}$$

Där

A_w – Omslutningsarean i rummet som är i kontakt med brandgaslagret [m^2]

h – Värmeöverföringskoefficienten [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]

T_∞ – Omgivande lufts temperatur [K]

\dot{Q} – Effektutveckling [kW]

\dot{m}_e – Massflödet ut genom frånluftsöppningarna [kg/s]

T_g – Brandgaslagrets temperatur [K]

5. Brandgaslagrets densitet togs fram enligt

$$\rho_g = 353/T_g \quad \text{ekvation 11}$$

Där

ρ_g – De heta gaserna i brandgaslagrets densitet [kg/m^3]

6. Massflödet ute genom atriets rökgasluckor beräknades med hjälp av

$$\dot{m}_e = C_d A_E \sqrt{2 \rho_g (-\Delta P_1 + (p_\infty - p_g) g (H_E - z))} \quad \text{ekvation 12}$$

Där

H_E – Rummets höjd [m]

A_E – Arealen på frånluftens öppningar [m^2]

7. Kontroll gjordes huruvida $\dot{m} \approx \dot{m}_p$. Då så ej var fallet, testades olika värden z på brandgaslagrets höjd tills ett z -värde gav ett $\dot{m} \approx \dot{m}_p$

Luften i rummet antogs ha normal rumstemperatur, det vill säga 293 K, med en densitet, p_∞ på 1,2 kg/m³. Vidare antogs c_p vara 1,0 kJ/(kg · K).

Under platsbesöket uppskattades arean på brandgasluckorna (frånluftens öppningar), A_E , vara 24 m². Enligt tidigare upprättad brandskyddsdocumentation var arean på tilluftsöppningarna, A_d , minst 20 m², vilket även var det värde som användes vid ovanstående beräkningar. Vidare antogs flödeskoefficienten C_d , vara 0,6.

Rummets höjd hade vid platsbesöket mätts till som högst 21 meter i atriets mitt, 18,6 meter där glastaket lägsta punkt fanns samt 16,7 meter där betongtaket fanns. Geometrin förenklades och det antogs att atriet kunde ses som en cylinder med ett platt tak bestående av betong med en höjd på 18 meter. Således antogs H_E , vara 18 meter. Det antogs att allt material som kom i kontakt med brandgaslagret var av betong. Då betong och glas har snarlika $k\rho c$ -värden (Karlsson & Quintiere, 2000) ansågs detta vara en acceptabel förenkling.

Värmeledningskoefficienten för det material som omslöt brandgaslagret beräknades enligt följande formel,

$$h_k = \sqrt{\frac{k\rho c}{t}} \quad \text{ekvation 13}$$

Där

k – materialets konduktivitet [W/(m·K)]

ρ – materialets densitet [kg/m³]

c – specifik värmekapacitet [kJ/(kg)]

t – tid [s]

Då det antogs att atriet var format som en cylinder, beräknades arean som var i kontakt med brandgaslagret, A_w , som totalarean på en cylinder, med "botten" subtraherade från totalarean. Beroende på hur z itererades varierade givetvis arean som var i kontakt med brandgaslagret.

Iterering av höjden på branden gav slutligen följande resultat, se Tabell 23.

Tabell 23. Massflöde och höjd på brandgaslagret i atriet.

Plymmodell	Brandgaslagrets höjd z [m]	Massflödet $\dot{m} \approx \dot{m}_p \approx \dot{m}_d \approx \dot{m}_e$ [Kg/s]
Heskestad	10,382	59
Zukovski	9,67	61

Förutom de begränsningar och förutsättningar som ligger till grund för Heskestads och Zukoskis plymmodeller, är en viktig förutsättning för rökfyllnadsberäkningen av atriet att rökgaslagret ej sjunker så pass lågt att brandgaser börjar flöda in på våningsplan två. Då brandgaslagret höjd ej faller under 8 meter är detta kriterium uppfyllt. Det antas även att det inte bildas en balkongplym från bilbranden. Då bilen inte står direkt under andra våningsplanen utan relativt fritt i atriet, anses detta vara rimligt.

Bilaga C Handberäkningar för scenariot brand i Dressmann

Nedan följer handberäkningar som är gjorda för effektutvecklingen i Dressmann.

Effektutveckling vid brandens tillväxtfas

För att kunna få ut brandens effektutveckling behövs ett värde för dess tillväxtfas. En brands tillväxtfas kan beräknas med hjälp av en αt^2 -kurva. En αt^2 -kurva beskriver hur branden växer exponentiellt (Karlsson & Quintiere, 2000). Omvänt kan α lösas ut ifall tid och maxeffekt är känt.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad \text{ekvation 2}$$

där

\dot{Q} – effektutveckling [kW]

α – tillväxthastighet [kW/s²]

t – tid [s]

Ett tidigare utfört experiment visar att en garderob fylld med jackor når en maxeffekt på 4 MW efter cirka 100 sekunder (Johansson, 2004). Klädstället i Dressmann antas ha samma brandegenskaper. Med hjälp av känd tid samt effekt kan en tillväxthastighet (α) bestämmas till 0,4 kW/s² med hjälp av ekvation 2.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \Rightarrow \alpha = \frac{\dot{Q}}{t^2} = \frac{4000}{100^2} = 0,4 \text{ kW/s}^2$$

Beräkning av sprinkleraktivering

Det observerades på platsbesöket att de sprinklers som fanns i gallerian och är av typen Quick Response. Sprinklerbulben var röd. Således antas RTI-värdet till 50 och aktiveringstemperaturen till 68. Avståndet mellan sprinklerbulberna i butiken bedömdes vara 3 meter och höjden 4 meter. Tillväxthastigheten 0,4 kW/s² gavs ur ekvation 2. Se Figur 66 för beräkningar gjorda i DETACT-T2 på sprinklernas aktivering i Dressmann.

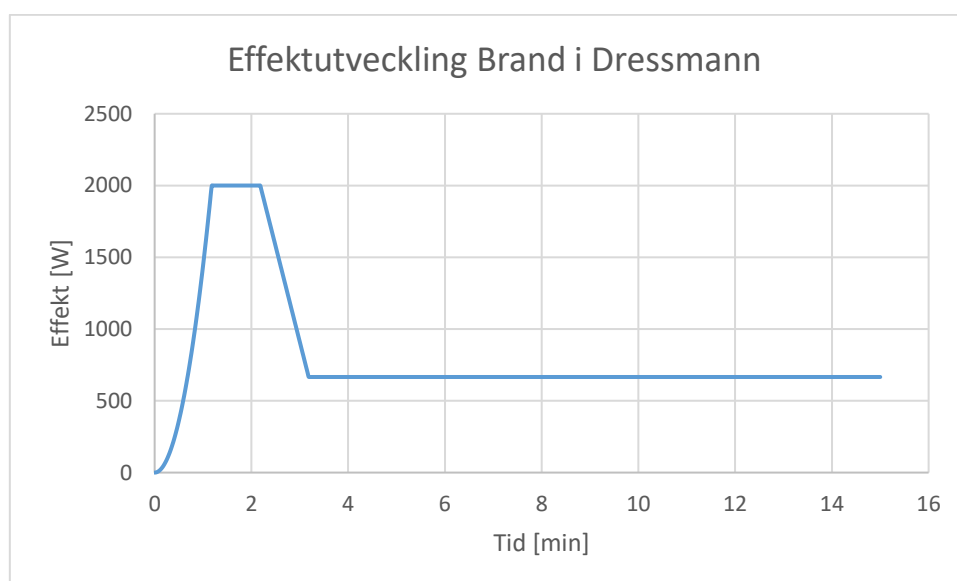
DETECTOR ACTuation - Time squared

Ambient temperature (°C)	<input type="text" value="20"/>
Detector Response Time Index (RTI)	<input type="text" value="50"/>
Detector Activation Temperature (°C)	<input type="text" value="68"/>
Detector Rate of Temperature Rise (°C/min)	<input type="text" value="1"/>
Room Ceiling Height (m)	<input type="text" value="4"/>
Detector Spacing (m)	<input type="text" value="3"/>
Fire Growth Rate	<input type="text" value="Other"/>
Fire Growth Rate (W/s ²)	<input type="text" value="400"/>
	<input type="button" value="Calculate!"/>
For temperature actuated detector:	
Time to Activation (min)	<input type="text" value="1,18"/>
Heat Release Rate (kW)	<input type="text" value="1995"/>
For rate of rise actuation detector:	
Time to Activation (min)	<input type="text" value="0,39"/>
Heat Release Rate (kW)	<input type="text" value="222"/>

Figur 66. Indata och resultat från Detact-T2.

Sprinklern kommer att aktiveras efter 1,18 minuter enligt DETACT och förutsatt att sprinkleraktivering begränsar effektutvecklingen direkt blir den maximala effektutvecklingen för branden i Dressmann ungefär 2000 kW.

Effekten kommer därefter att stagnera i 60 sekunder för att sedan sjunka linjärt till en tredjedel av maxeffekten under 60 sekunder. Därefter kommer denna effekt vara konstant resterande del av brandförloppet (Staffansson, 2010). Bedömningen görs att det endast är intressant att se på effektutvecklingen i 15 minuter eftersom det antas att brandkåren efter den tiden påbörjat sin släckinsats.



Figur 67. Effektutvecklingskurva för brand i Dressmann.

Strålningsberäkning

För att ta reda på hur strålningen från klädstället påverkar området runt rulltrapporna samt området runt huvudentrén användes "Modaks Simple Method" där en uppskattad radiell strålningsbild kan tas fram där branden ses som en punktkälla, (Karlsson & Quintiere, 2000). Strålningen beräknades vid avstånden 5 och 8 meter ifrån branden. Området som ligger inom 5 meter representerar området runt entrén in till Dressman, området som ligger runt 8 meter representerar rulltrapporna och gångvägen som leder till huvudentrén. Skulle kritisk strålning uppnås inom 5 meter betyder det att entrén ut från Dressman görs obrukbar vid utrymning, uppnås kritisk strålning vid 8 meter innebär att rulltrapporna och gångstråket som leder till huvudentrén görs obrukbar.

Modaks simple method

$$\dot{q}'' = \frac{X_r \dot{Q}}{4\pi R_0^2}$$

ekvation 14

där

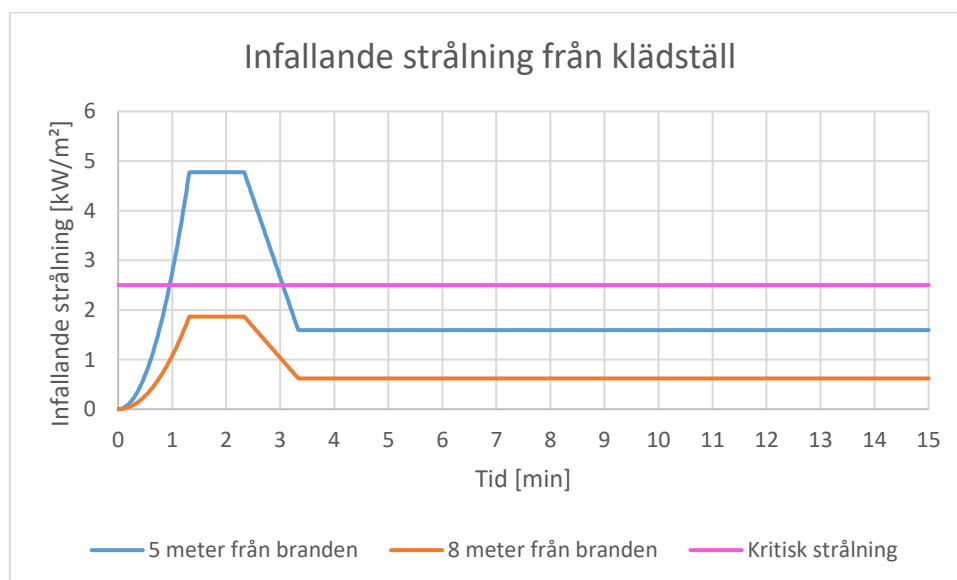
\dot{q}'' - Infallande strålning per kvadratmeter [kW/m²]

\dot{Q} - Effektutveckling [kW]

X_r - Strålningsfraktion [-]

R_0^2 - Avståndet från brandens mitt i kvadrat [m]

Strålningsfraktionen antogs vara 0,6 då detta kan antas vara ett vanligt värde (Karlsson & Quintiere, 2000) och effektutvecklingen varierade med tiden. Se Figur 68 för resultat av infallande strålning från klädstället.



Figur 68. Den beräknade infallande strålningen från klädstället 5 och 8 meter från branden.

Nedan redovisas tiden tills att kritisk strålning uppstår vid ingången till Dressmann och vid rulltrapporna samt huvudentrén. Se Tabell 24.

Tabell 24. Tid till kritiska förhållanden vid de närmaste utrymningsvägarna.

Utrymningsvägar	Kritisk strålning uppnås
Ingången till Dressmann	1 min
Gången till atriets huvudentré och rulltrappan	Uppnås aldrig.

Bilaga D Handberäkningar för scenariot brand i Intersports lager

Beräkningar och antaganden för den dimensionerande branden i Intersports lager visas nedan.

Effektutveckling

För att kunna uppskatta hur stor effektutvecklingen kan bli inne på lagret samt brandens tillväxthastighet används ett experiment där ett lager som förvarades skor byggdes upp i en hangar och eldades. Lagret bestod av skokartonger med skor i, samt hyllor som de förvarades på. Utifrån experimentet framgick det att den genomsnittliga effektutvecklingen per kvadratmeter var 2500 kW/m² (Hietaniemi & Mikkola, 2000). Stora delar av Intersports lager bestod av skokartonger med skor i samt andra varor paketerade i kartonger. Därför anats det att data från detta experiment ge en god uppskattning av effektutvecklingen. Under platsbesöket uppskattades det att hyllor samt varor upptog cirka 100 m² av lagret.

Utifrån effektutvecklingskurvan från experimentet med skolagret som eldades upp, kunde en tillväxthastighet α bestämmas till 0,152 kW/s² med hjälp av ekvation 2 nedan (Karlsson & Quintiere, 2000).

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad \text{ekvation 2}$$

Där

\dot{Q} – effektutveckling [kW]

α – tillväxthastighet [kW/s²]

t – tid [s]

Omvänt kan tillväxthastigheten α lösas ut ur ekvationen ifall tid och maxeffekt är känt. Den maximala effektutvecklingen som observerades i skolagerbranden var 40 000 kW och tiden till att maximal effektutveckling uppnåddes var 513 sekunder.

$$\frac{\dot{Q}}{t^2} = \alpha = 40000 \text{ kW} / 513^2 \text{ s} = 0,152 \text{ kW/s}^2$$

Ventilationskontrollerad eller bränslekontrollerad brand

För att avgöra huruvida branden i Intersports lager kommer vara en ventilationskontrollerad eller bränslekontrollerad brand, tas den maximala effektutvecklingen fram vid båda fallen. Den maximala effektutvecklingen som blir lägst av de två fallen ventilationskontrollerad och bränslekontrollerad kommer vara den som begränsar den maximala effektutvecklingen.

Maximal effektutveckling vid ventilationskontrollerad brand

Den maximala effektutvecklingen som branden kan uppnå bestäms antingen av mängden syre eller mängden bränsle, beroende på om den är ventilations respektive bränslekontrollerad. Då vi har ett rum med hög brandbelastning och en begränsad mängd syre, kommer brand att bli ventilationskontrollerad.

Det som avgör den maximala effektutvecklingen i en ventilationskontrollerad brand är storleken på rummets öppningar, ty storleken på öppningarna avgör hur mycket luft det är som kan flöda in i rummet. Syrehalten i luften antas vara 23% och varje kilogram syre kan max producera 13,2 MJ. Det förutsätts att fullständig förbränning sker i rummet. (Karlsson & Quintiere, 2000)

$$\dot{Q}_{max} = 1,518A_0\sqrt{H_0} [MW]$$

Där

A_0 – öppningens area [m^2]

H_0 – höjden på öppningen

Det fanns två dörrar öppna intill lagret, en från butiken och en mot en bakkorridor som bägge uppskattades ha en bredd på 1 m och en höjd på 2 m, eller $2 m^2$ area totalt per dörr. Väggen som vette från lagret mot butiken var inte tät hela vägen upp till taket, utan det uppskattades att hålet mellan väggen och taket var 1 m högt och 5,5 m brett, med en total area på $5,5 m^2$

$$\dot{Q}_{max} = 1,518A_0\sqrt{H_0} [MW] = 1,518 \cdot 9,5 m^2 \cdot \sqrt{1,42m} = 17190,97 kW$$

Maximal effektutveckling baserat på bränslepaketets area

Den maximala effektutvecklingen som en brand i en hylla kan uppnå bestäms av den maximala effektutvecklingen per kvadratmeter multiplicerat med hyllan area.

$$\dot{Q}_{max} = \dot{Q}''_{max} \cdot A$$

Där

\dot{Q}_{max} – maximal effektutveckling [kW]

\dot{Q}''_{max} – maximal effektutveckling per kvadratmeter [kW/ m^2]

A – area [m^2]

Hyllans mått uppskattades till 1,5 m bred och 7 m lång, med en area på $10,5 m^2$. Maximal effektutveckling per kvadratmeter antogs vara $2500 kW/m^2$ (Hietaniemi & Mikkola, 2000).

$$\dot{Q}_{max} = \dot{Q}''_{max} \cdot A = 2500 kW/m^2 \cdot 10,5 m^2 = 26250 kW$$

Förutsatt att tillgången på luft är obegränsad, kan den maximala effektutvecklingen i branden i Intersports lager bli 26250 kW.

Då $26250 kW > 17190,97 kW$, kommer branden begränsas av rummets ventilation.

Effektutveckling vid brandens tillväxtfas

En brands tillväxtfas kan beräknas med hjälp av en αt^2 -kurva. En αt^2 -kurva beskriver hur branden växer exponentiellt (Karlsson & Quintiere, 2000).

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \tag{ekvation 2}$$

Där

\dot{Q} – effektutveckling [kW]

α – tillväxthastighet [kW/ s^2]

t – tid [s]

Då den maximala effektutvecklingen för branden är framtagen till 17190,97 kW, kan tiden som tillväxtfasen pågår lösas ut ur ovanstående formel.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \leftrightarrow \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = t = \sqrt{\frac{17190,97 kW}{0,152 kW/s^2}} = 336 \approx 335 s$$

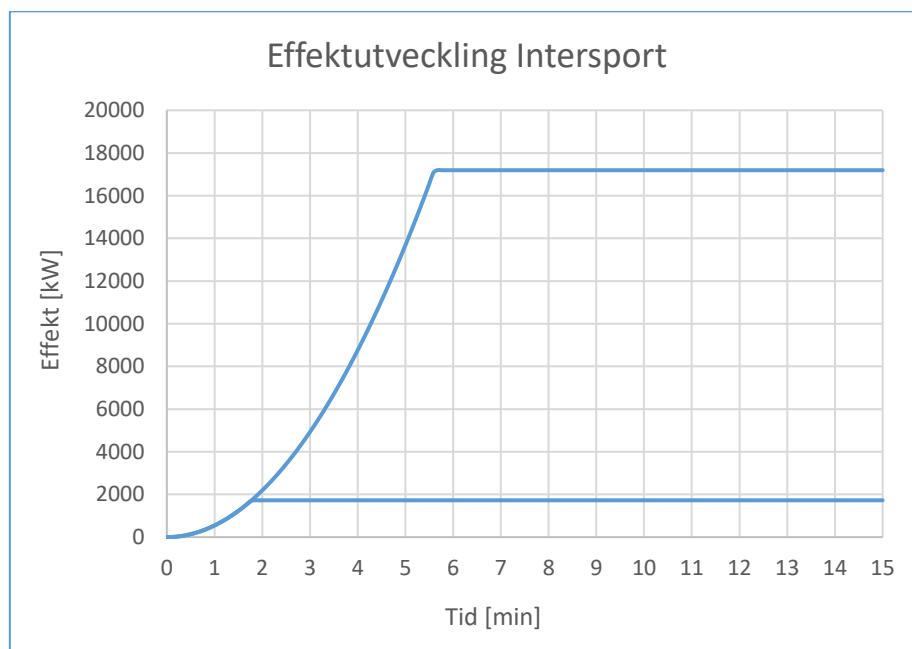
Tiden som tillväxtfasen av branden pågår är således 335 s.

Med en känd tillväxthastighet, maximal effektutveckling och tiden 15 minuter, kan en dimensionerande effektutvecklingskurva tas fram för brand i Intersports lager. Hyllans totala energiinnehåll uppskattas till 18480 MJ, se Bilaga E *Handberäkningar för scenariot brand i Intersports lager*.

Det antas att räddningstjänsten påbörjat sin släckinsats efter 15 minuter, varför det inte är intressant att räkna på effektutvecklingen mer än i 15 minuter. Det totala energiinnehållet som kommer förbrukas under branden på 15 minuter beräknas till cirka 11 457 MJ, se Bilaga E *Handberäkningar för scenariot brand i Intersports lager*.

Då $18\,480\text{ MJ} > 11\,457\text{ MJ}$ kommer branden ej att brinna ut under 15 minuters tid. Det konservativa antagandet görs att brandens effektutveckling ej kommer att avta under dess brandförlopp.

Med känd tillväxthastighet, maximal effektutveckling och tiden 15 minuter går det att ta fram en dimensionerad brand i Intersports lager, se Figur 69



Figur 69. Dimensionerande effektutveckling till scenariot Brand i Intersports lager.

Maximal effektutveckling vid minskad area på öppningar

Ifall arean på öppningarna minskar, minskar även den maximala effektutvecklingen vid ventilationskontrollerad brand. Nedan i Tabell 25 visas olika kombinationer av hur öppningsarean A_0 och den totala höjden på öppningarna H_0 varierar beroende på var man i rummet stänger till öppningar.

Tabell 25. Effektutveckling som resultat av variation på öppningsareans storlek.

Kombination av öppningar	Öppningsarea [m ²]	Karakteristisk öppningshöjd [m]	Effektutveckling [kW]
Två dörrar öppna	9,5	1,42	17190,97
En dörr öppen	7,5	1,27	12813,39
Ingen dörr öppen	5,5	1	8349

Ifall hålet ovanför väggen som vetter mot Intersports butik byggs igen skulle följande maximala effektutveckling uppnås vis en ventilationskontrollerad, beroende på storleken på öppningarna, se Tabell 26. Det förutsätts att någon av dörrarna är öppna så att en ventilationskontrollerad brand är möjlig.

Tabell 26. Effektutveckling som resultat av variation på öppningsareans storlek.

Kombination av öppningar	Öppningsarea [m ²]	Karaktäristisk öppningshöjd [m]	Effektutveckling [kW]
Två dörrar öppna	4	2	8587,105
En dörr öppen	2	2	4293,552

Åtgången energi under brandförloppet

För att avgöra huruvida brandens bränsle, hyllan och dess lagrade material kommer förbrukas i branden innan 15 minuter har passerat, jämförs den förbrukade energin som den dimensionerade branden kommer ge under 15 minuters tid med hyllans totala energiinnehåll.

Arean under grafen på effektutvecklingskurvan ger den totala frigjorda energin under brandens första 15 minuter.

$$\int_0^{340} (\alpha \cdot t^2) dt + \dot{Q}_{max} \cdot 560 s = 11457312,33 \text{ kJ}$$

Den totala frigjorda energin under brandförloppet på 15 minuter blir således 11457312,33 kJ

Hyllans totala energiinnehåll beräknas genom att multiplicera dess uppskattade energitäthet med dess area enligt nedanstående ekvation 15.

$$Q = q'' \cdot A \tag{ekvation 15}$$

Där

Q – energi [kJ]

q'' – energi per kvadratmeter [kJ/m²]

A – area [m²]

Hyllans energitäthet antogs till 1760 MJ/m² (Hietaniemi & Mikkola, 2000). Hyllans area uppskattades till 10,5 m².

$$1760000 \text{ kJ/m}^2 \cdot 10,5 \text{ m}^2 = 18480000 \text{ kJ}$$

Då 18480000 kJ > 11457312 kJ kommer hyllan att brinna under hela det satta tidsförloppet på 15 minuter eftersom att all energi inte kommer förbrukas.

Beräkning av sprinkleraktivering

Det observerades på platsbesöket att de sprinklers som finns i gallerian är av typen Quick Response. Sprinklerbulben var röd. Således antas RTI-värdet till 50 och aktiveringstemperaturen till 68 (SFPE, u.d.). Avståndet mellan sprinklerhuvudena i butiken bedömdes vara 3 meter, se Figur 70 för de beräkningar som gjorts i DETACT-T2.

DETECTOR ACTUATION - Time squared

Ambient temperature (°C)	20
Detector Response Time Index (RTI)	50
Detector Activation Temperature (°C)	68
Detector Rate of Temperature Rise (°C/min)	1
Room Ceiling Height (m)	5
Detector Spacing (m)	3
Fire Growth Rate	Other ▼
Fire Growth Rate (W/s ²)	157
<input type="button" value="Calculate!"/>	

For temperature actuated detector:

Time to Activation (min)	1,75
Heat Release Rate (kW)	1726

For rate of rise actuation detector:

Time to Activation (min)	0,54
Heat Release Rate (kW)	165

Figur 70. Indata och resultat från Detact-T2.

Bilaga E Utrymningssimulering

Nedan beskrivs den indata som användes i programmet Pathfinder.

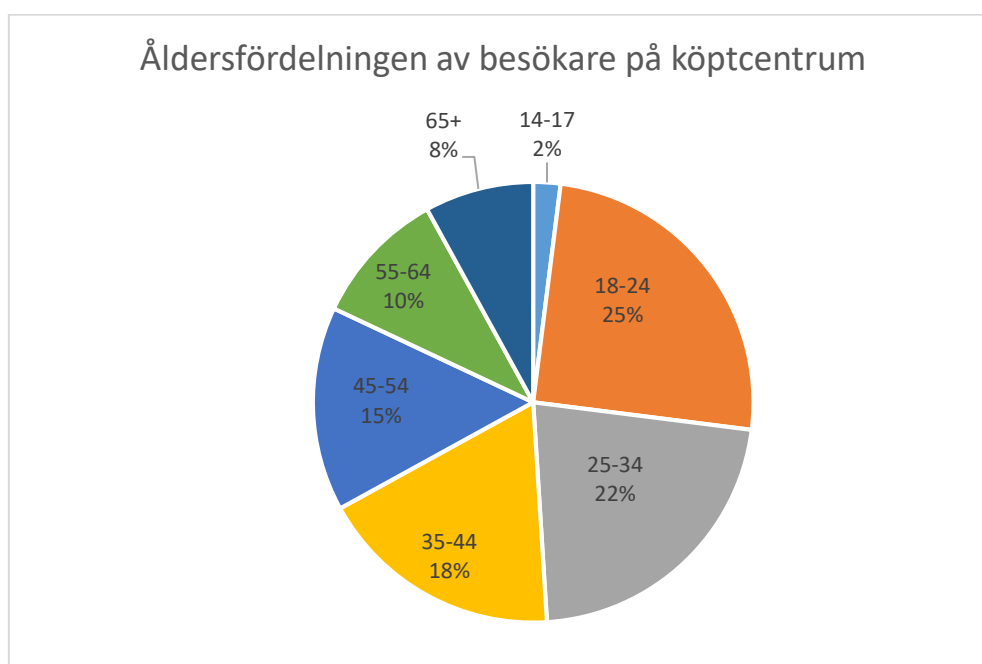
Population

Antalet agenter som användes i simuleringarna motsvarar det antal som Gallerians plan är dimensionerad för. Se Tabell 27 för antalet personer som varje våningsplan är dimensionerat.

Tabell 27. Fördelningen av personer på de tre våningsplanen.

Våningsplan	Antal dimensionerande personer
Källarplan	500
Entréplan	1200
Våningsplan två	1200

För att få en fördelning som kan likna verkligheten delades agenterna upp i grupper där varje grupp har olika egenskaper. Grupperna är unga, vuxna, äldre, funktionshindrade. Där unga är <18 år, vuxna är 18-65 år och äldre är 65+ år. Funktionshindrade är de som har ett hinder som påverkar rörelse samt motorik. För att få en rimlig fördelning mellan grupperna användes en studie från USA se Figur 71 (Phenomenon, 2018).



Figur 71. Åldersfördelningen av köpcentrumbesökare angivet i procent.

Utifrån detta utgjordes fördelningen av 2 % unga, 90 % vuxna och 8 % äldre. I Sverige har cirka 7,3 % av befolkningen något funktionshinder som rör rörelse och motorik (a-focus, 2016). Dessa 7,3 % togs av gruppen vuxna eftersom den gruppen representerade mest antal personer.

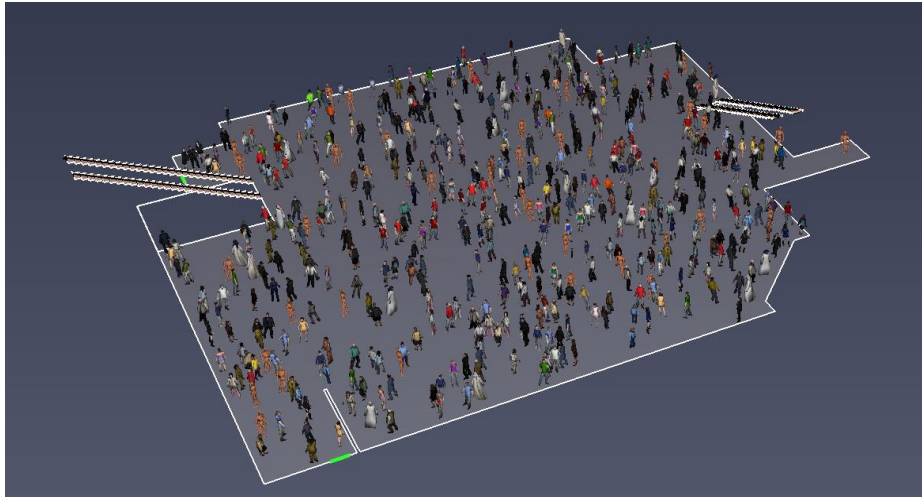
Fördelningen visas i Tabell 28 och i Tabell 29 Se Figur 72, Figur 73 och Figur 74 för bild på populationerna på de tre våningsplanen.

Tabell 28. Den procentuella fördelningen av totala antalet agenter.

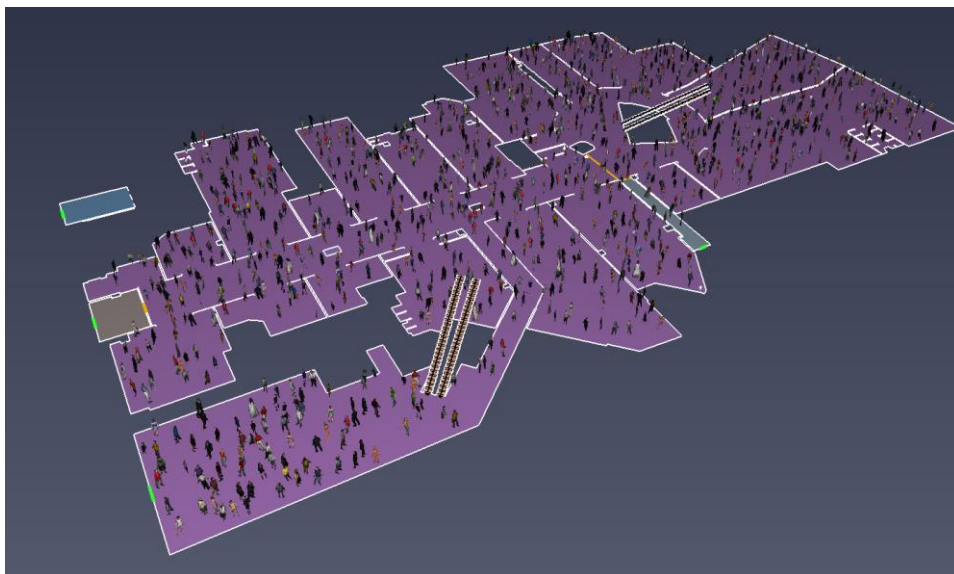
Grupper	Fördelning [%]
Unga	2
Vuxna	82,7
Äldre	8
Funktionshindrade	7,3

Tabell 29. Antalet personer per grupp fördelat på de tre våningsplanen.

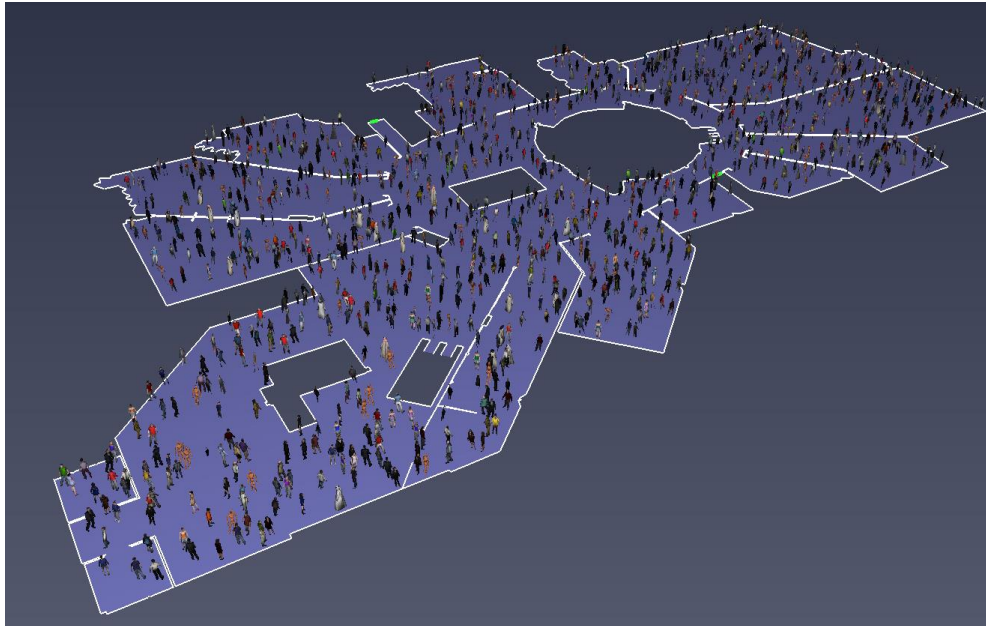
Våningsplan	Unga	Vuxna	Gamla	Funktionshindrade	Totalt
Källarplan	10	413	40	37	500
Entréplan	24	992	96	88	1200
Våningsplan två	24	992	96	88	1200



Figur 72. Populationen på källarplan.



Figur 73. Populationen på entréplan.



Figur 74. Populationen på våningsplan två.

Varseblivningstid och förberedelsestid

Varseblivningstiden är den tid från att branden startar tills att personer upptäcker att något har skett. Denna tid beror på flera faktorer bland annat brandens startutrymme och vilket typ av detektion system samt larmsystem som är installerat. Om branden startar i ett utrymme där personer ser branden är det troligt att personer blir varse branden innan brandlarmet går igång. Startar branden i ett gömt utrymme är det framförallt vilken typ av brandlarm som påverkar varseblivningstiden. Scenarierna *Brand i utställningsbil* och *Brand i Dressmann* startar båda bränderna i publika delar av gallerian där det befinner sig personer i närheten. Då antalet personer i gallerian är så pass högt så att det i princip befinner sig en person per kvadratmeter anses det troligt att branden kommer att bli upptäckt väldigt tidigt. Där med sätts varseblivnings tid till noll i dessa två scenarion. För scenariot *brand i Intersport* startar branden i ett dolt utrymme. Då påverkas varseblivningstiden av vilket brandlarmsystem som finns installerat. Galleria Gränden har ett automatiskt brandlarmsystem vilket gör att när en rökdetektor, larmknap eller sprinkler aktiveras går ett automatiskt brandlarm i hela gallerian. För att ta reda på tiden till aktivering gjordes en simulering i Argos. Tiden tills att första rökdetektorn aktiverades blev 49 sekunder, se Tabell 30.

Tabell 30 varseblivningstiden för de tre scenarierna.

Scenario	Varseblivningstid [s]
Brand i utställningsbil	0
Brand i Dressman	0
Brand i Intersport	49

Förberedelsestid

I Nordirland har två utrymningsövningar genomförts, på två Mark & Spencer varuhus där varseblivningstiden och förberedelsestiden observerades. Resultatet från de två utrymningsövningarna presenteras i Tabell 31 och Tabell 32 (Frantzich, 2000).

Tabell 31. Resultat för personers varel och förberedelsetid från Mark & Spencer varuhuset i Sprucefield.

Ålder	Medeltid [s]	Maxtid [s]	Std avvikelse [s]	Antal
< 15 år	39	47	7	3
15-60 år	31	87	15	121
> 60 år	38	71	17	19

Tabell 32. Resultat för personers varel och förberedelsetid från Mark & Spencer varuhuset i Belfast.

Ålder	Medeltid [s]	Maxtid [s]	Std avvikelse [s]	Antal
< 15 år	34	38	6	2
15-60 år	32	110	19	103
> 60 år	46	91	22	65

Då dessa utrymningsövningar gjordes i byggnader med snarlik verksamhet som galleria Gränden kommer resultatet från dessa utrymningsövningar att användas vid beräkningar och simuleringar. Det som skiljer sig åt är att Mark & Spencer varuhuset använde sig av ett signalutrymningslarm medan Galleria Gränden har ett talande larm. Detta är något som kommer att behandlas i simuleringarna.

I simuleringarna användes resultatet från butiken i Belfast då antalet medverkande personer var högst. I Pathfinder användes data till att skapa en log-norm-profil till agenternas varelblivningstid och förberedelsetid. Den lägsta tiden sattes till 0 sekunder då det antogs att i ett fullt köpcentrum är det alltid någon som redan är på väg ut från köpcentrumet och är där med redan förberett sig för förflyttning.

Tabell 33. Lognormalfördelningen som användes i simuleringarna.

Grupper	Min. tid [s]	Medeltid [s]	Maxtid [s]	Std avvikelse [s]
Unga	0	34	38	6
Vuxna	0	32	110	19
Äldre	0	46	91	22
Funktionshindrade	0	32	110	19

Rörelse och navigering

Något som kan ha en betydelse för utrymningen är hur stor plats agenterna upptar i simuleringen.

För att få ett resultat som kan likna verkligheten användes data från Tabell 34. (Hostikka, 2009)

Tabell 34. Hur värden som kan användas vid bestämmings av agenternas storlek.

Kroppstyp	Axelbredd [m]
Vuxen	0,255 ± 0,035
Man	0,270 ± 0,020
Kvinna	0,240 ± 0,020
Barn	0,210 ± 0,015
Äldre	0,250 ± 0,020

Det som var av intresse var framförallt är agenternas axelbredd. Axelbredden motsvarar längden från agenternas mittpunkt ut till slutet av deras "axel". I simuleringen valdes en exponentiell fördelning på agenternas axelbredd där minsta och största värden valdes enligt Tabell 35. Funktionshindrades axelbredd fick samma fördelning som gruppen vuxna. Då gruppen vuxna hade störts axelbredd.

Tabell 35. Tabell över minsta och största värdet av agenternas axelbredd.

Grupp	Min axelbredd [cm]	Max axelbredd [cm]
Unga	39	45
Vuxna	50	58
Gamla	41	54
Funktionshindrade	50	58

Agenternas hastighet sattes som en lognormal fördelning där de olika gruppernas gånghastighet tog från en studie som mätt olika åldersgruppers horisontella gånghastighet. (Jiang-ling Wu, 2017). Data till gruppen funktionshindrade tog från en studie där gånghastigheten mätts från av personer som har rörelsehinder och/eller använder sig av gånghjälpmedel så som kryckor, skeppar rullatorer. (K.E. Boyce, 1999)

Hastigheterna för de olika grupperna sattes enligt Tabell 36.

Tabell 36 Gånghastighet för de olika grupperna.

Grupp	Min hastighet [m/s]	Medelhastighet[m/s]	Max hastighet [m/s]	Std avvikelse [m/s]
Unga	0,62	1,25	2,25	0,31
Vuxna	0,52	1,13	2,06	0,27
Gamla	0,5	1,02	2,00	0,25
Funktionshindrade	0,1	1,00	1,77	0,42

Val av utgång

Agenterna ställdes in så att de i början rör sig mot de närmaste huvudentréerna och först när det börjar bli långa köer så öppnas nödutgångarna så att de kan väljas. Detta för att få det likna ett verkligt utrymnings scenario.

Val av väg

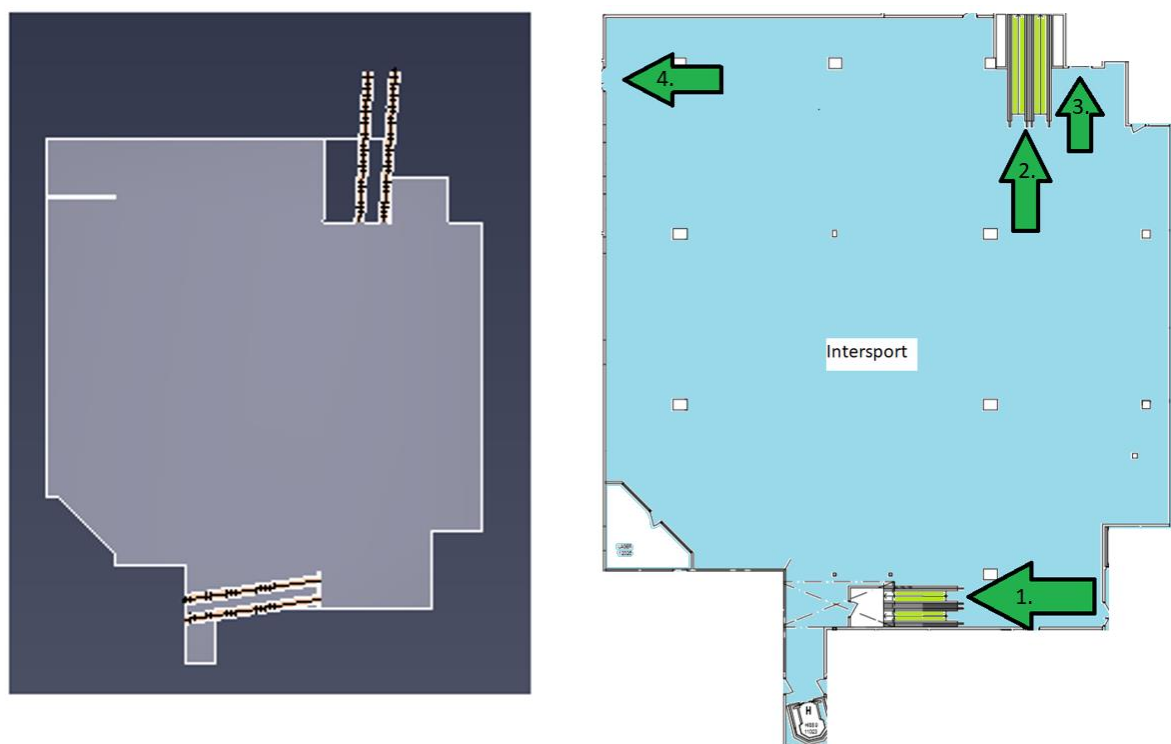
Beroende på vilket scenario som simulerades såg agenternas val av väg olika ut. Agenterna ställdes in så att de skulle ta den kortaste vägen till utgångarna men bränderna tilläts påverka valet av väg. Det antogs här att agenterna inte skulle gå emot eller i närheten av bränderna om det fanns en annan säker väg att välja.

Flödesbegränsningar och geometri

Nedan beskrivs vilka utrymningsvägar som användes i simuleringen samt vilka egenskaper de har. De så kallade "bakhandsutrymningsvägarna" togs ej med i simuleringarna då det antogs att de inte skulle användas i någon begränsande omfattning vid en verkligutrymning då människor tenderar att använda sig av utgångar som de är bekanta med. (Sime, 1985).

Källarplanet

I simuleringen användes källarplanets rulltrappor som utrymningsvägar, se Figur 75, Figur 76 och Figur 78. För bakhandsutrymningsvägar som inte användes, se Figur 77.



Figur 75. Vänstra bilden visar geometrin som byggdes upp i Pathfinder. Högra bilden visar de ytor från källarplanet som togs med i simuleringarna. Pil 1 markerar den väg som leder upp till entréplanet. Pil 2 markerar den väg som leder ut till det fria. Pil 3 och 4 markerar två nödutgångar.



Figur 76 De två utrymningsvägarna. Bild 1 är rulltrappan som leder upp till entréplanet. Bild 2 är rulltrappan som leder ut till det fria.



Figur 77. Nödutgång 4 från två olika vinklar.

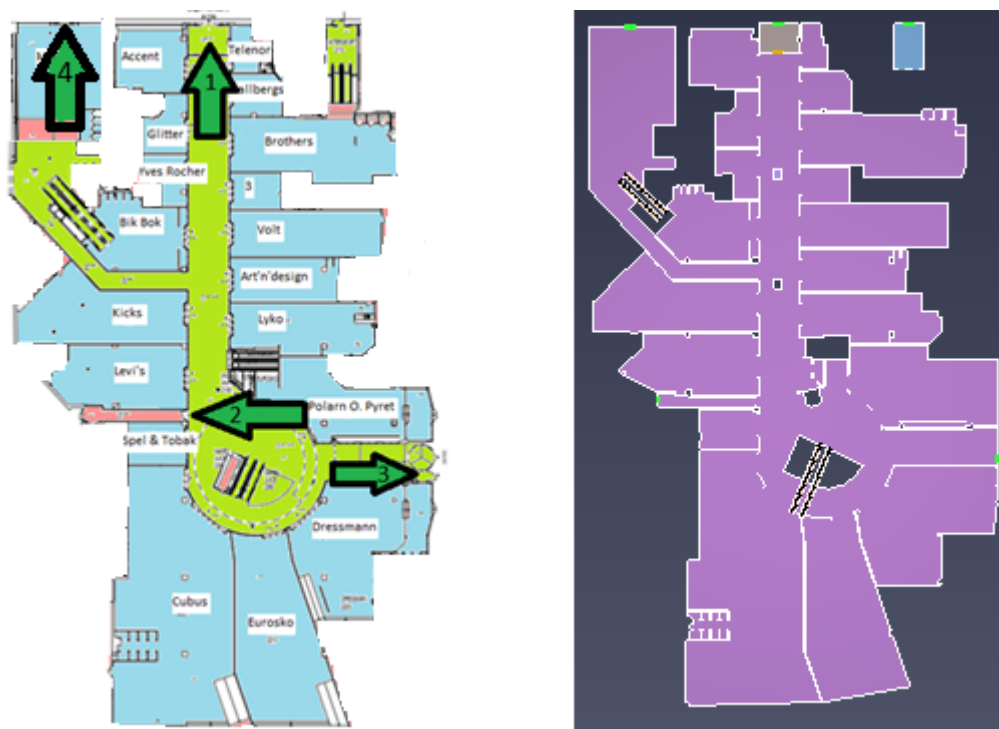


Figur 78. Nödutgång 3.

Nödutgångarnas bredd uppmättes till 1 meter under platsbesöket och i sattes till 1 meter i simuleringen. För att hitta värden på rulltrapporna användes en studie från England där bland annat personflödet mättes. Det maximala flödet som mättes var 1,25 personer/min när rulltrappan hade en horisontella hastighet på 0,5 m/s (Michael J. Kinsey, 2011). Dessa värden användes på rulltrappor i objektet. De rulltrappor som går åt fel håll blir trappor i simuleringen då de stannas när brandlarmet går. De trappor som går uppför sattes i simuleringen att de begränsar agenternas hastighet till 40 % av deras vanliga. Detta då enligt en tysk studie har personer en medelhastighet på 0,44 m/s i trappor som leder upp. (Ronchi, o.a., 2015). Medelhastigheten för personer som går horisontellt är 1.13 m/s. (Hostikka, 2009)

Entréplan

I simuleringen användes entréplanets två huvudentréer samt nödutgången i atriets och entrén till MQ ut mot det fria, se Figur 79. Vid huvudentrén vid atriets finns det en karuselldörr, den togs ej med i simuleringen. Karusellen dörren har en nödstoppfunktion som gör att den stannar om människor kommer för nära någon av väggarna. Detta gör att det blir väldigt svårt att få ett korrekt flöde därför bortsågs denna.



Figur 79. Vänster bild visar de ytor som togs med i simuleringen. Pilarna markerar de utrymningsvägar som användes i simuleringen. Samtliga utrymningsvägar leder ut till det fria. Bilden till höger visar geometrin som byggdes upp i Pathfinder.

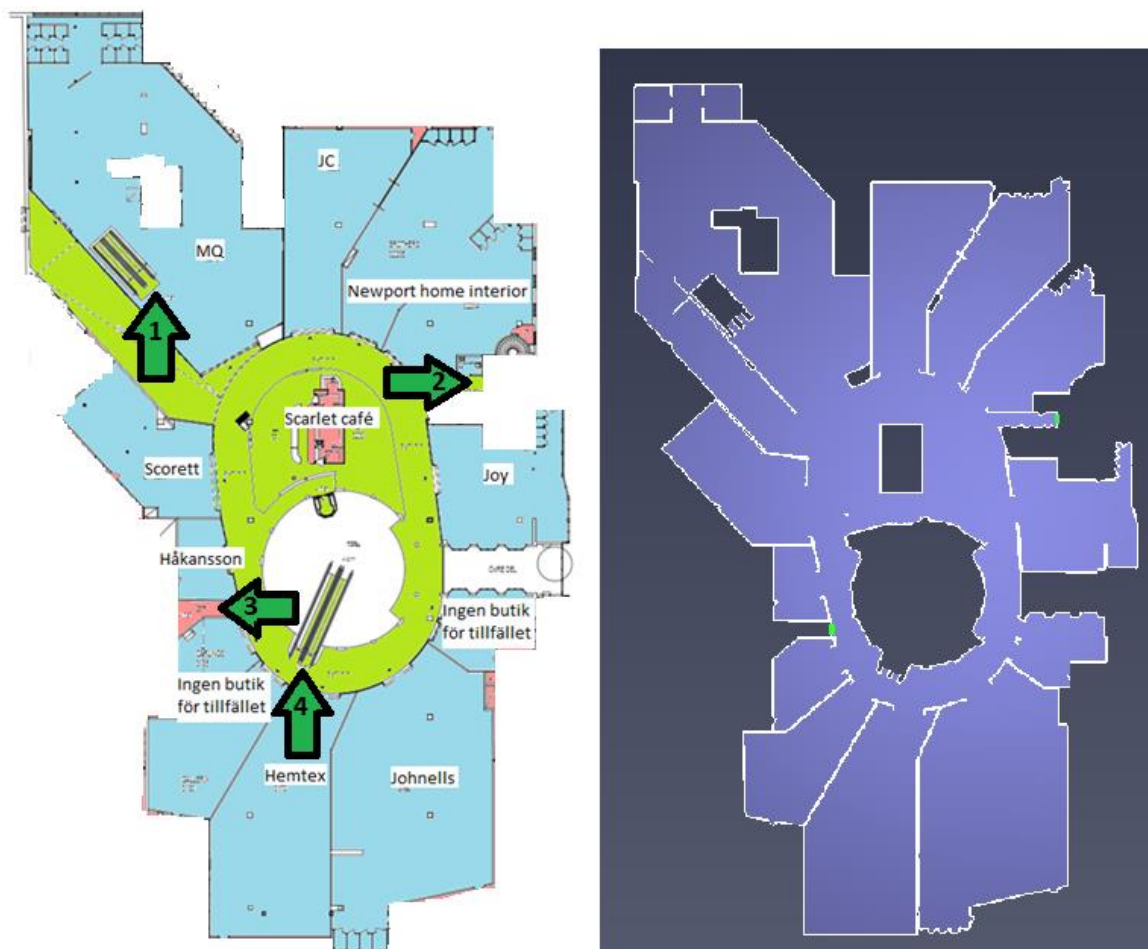
Nedan presenteras entréplanets utgångar samt deras olika bredder. Se Tabell 37.

Tabell 37. Entréplanets utrymningsvägar och dess bredder.

Utrymningsväg	Bredd [m]
Huvudentré 1	1,55
Nödutgång 2	1,26
Huvudentré 3	1,26
MQ's Entré	1,55

Våningsplan två

I våning två användes fyra utrymningsvägar, se Figur 80.



Figur 80. Den vänstra bilden visar de områden som togs med i simuleringen. Gröna pilar markerar utrymningsvägar. Pil 1 markerar rulltrappan som går ner till entréplanet i butiken MQ. Pil 2 markerar en av de två nödutgångarna som leder ut till det fria. Pil 3 markerar den andra nödutgången som leder ut till det fria. Pil 4 markerar rulltrappan som går nertill entréplanet i atriet. Den högra bilden visar geometrin som byggdes upp i Pathfinder.

De två rulltrapporna som är markerade av pil 1 och pil 4 har samma tekniska specifikationer som rulltrapporna i källarplanet. Nödutgång 2 som leder ut till det fria har en bredd på 1 meter. Nödutgång 3 leder också ut till det fria.

Bilaga F Brandsimuleringar

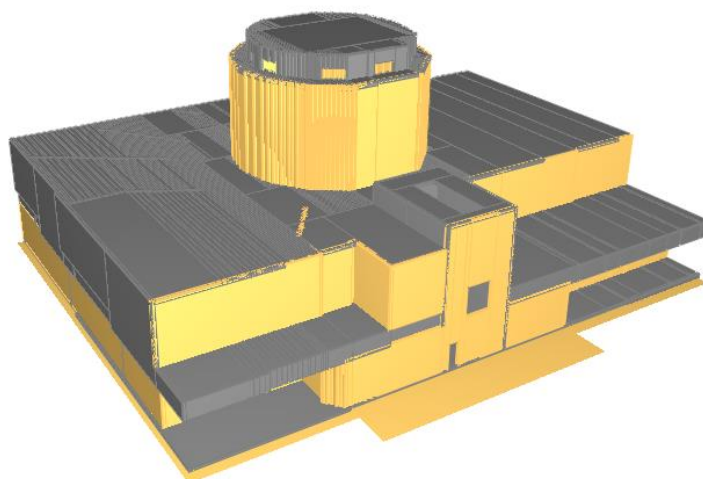
Nedan beskrivs de begränsningar som gjordes för att undvika alldeles för långa simuleringstider samt bränslets egenskaper som valdes till varje enskilt scenario. Yelder är hämtade från gjorda studier och är inte direkt matchade med energiinnehållet i materialet som förbränns i scenarierna.

F.1 Brand i utställningsbil

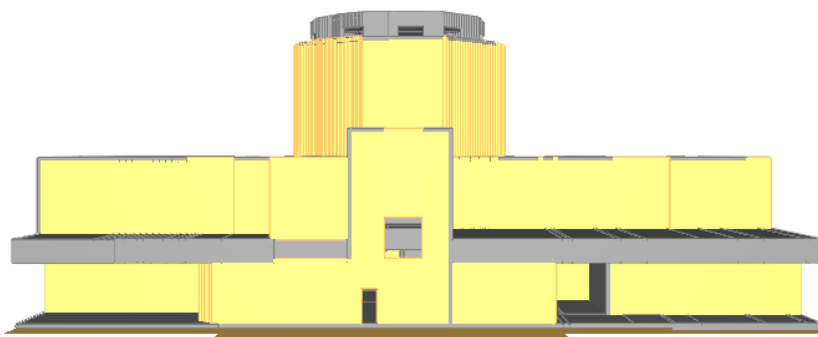
Nedan beskrivs hur avgränsningar gjordes och hur indata valdes gällande bränslets egenskaper för brandsimuleringen i scenariot *Brand i utställningsbil*.

F.1.1 Avgränsningar

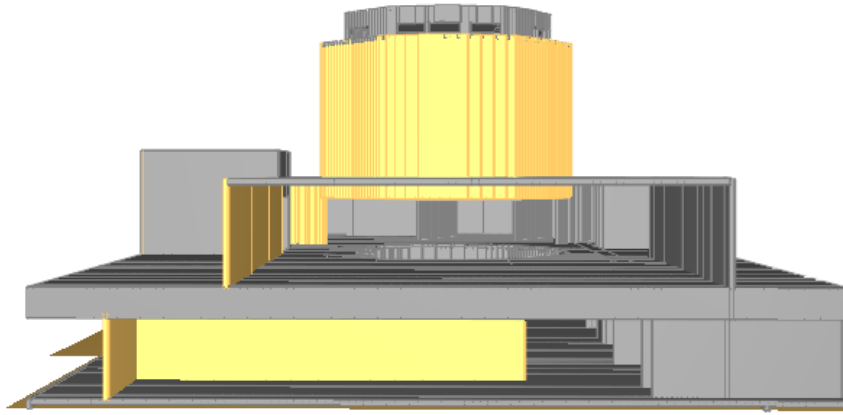
Om en brand i atriet skulle leda till kritiska förhållanden i den södra delen av entréplanet kommer det ske först i de närliggande affärerna till atriet och den delen av huvudgångstråket nära atriet. Därför bedöms den delen av entréplanet vara av mindre intresse vid en brandsimulering och har därför inte varit med i brandsimuleringen. Dessutom anses inte en brand i atriet påverka utrymningen i källarplanet, varför även den delen av gallerian bortsågs från i brandsimuleringen. Nedan i Figur 81, Figur 82 och Figur 83 ses överskådliga som visar vilka delar av byggnaden som var aktuella vid brandsimuleringen för den dimensionerande branden i bilen i atriet.



Figur 81. Den del av objektet som anses vara aktuell vid brandsimuleringen för den dimensionerande branden i bilen i atriet.



Figur 82. Den del av gallerian som anses vara aktuell vid brandsimuleringen för den dimensionerande branden i bilen i atriet, sett från öster.



Figur 83. Den del av gallerian som anses vara aktuell vid brandsimuleringen för den dimensionerande branden i bilen i atriet, sett från norr.

F.1.2 Bränslets egenskaper

Eftersom det är omöjligt att veta exakt vilken sorts polyuretanskum som kommer att användas i en utställningsbil görs det konservativa antagandet att välja det materialet som avger mest kolmonoxid vid förbränning, det vill säga PUR-skummet GM43. Molekylformeln för GM43 är $\text{CH}_{0.93}\text{O}_{0.20}\text{N}_{0.11}$ och vid förbrännings produceras 0,051 gram kolmonoxid (CO-yield) samt 0,113 gram sot per gram avbrunnet material (Sot-yield) (SFPE, 2002). Eftersom det saknas data för HCN-yielder för just detta PUR-skum används värdet för bilsäten, 0,00053 g/g (Ingason, Li, & Lönnemark, 2015), eftersom det är en betydande del av det verkliga bränslets massa.

F.1.3 Effektutveckling

Effektutvecklingen är angiven i kW/m^2 och följer den förenklade dimensionerande effektutvecklingen som visas i Figur 35. Eftersom den dimensionerande brandens area är 10 m^2 är alltså den maximala effekten $6100 \text{ kW}/10 \text{ m}^2 = 610 \text{ kW/m}^2$.

Effekten anges därefter som andel av den maximala effekten där förändringshastigheten av effektutvecklingen ändras och antas förändras linjärt mellan tidstegen.

F.1.4 Cellstorlek

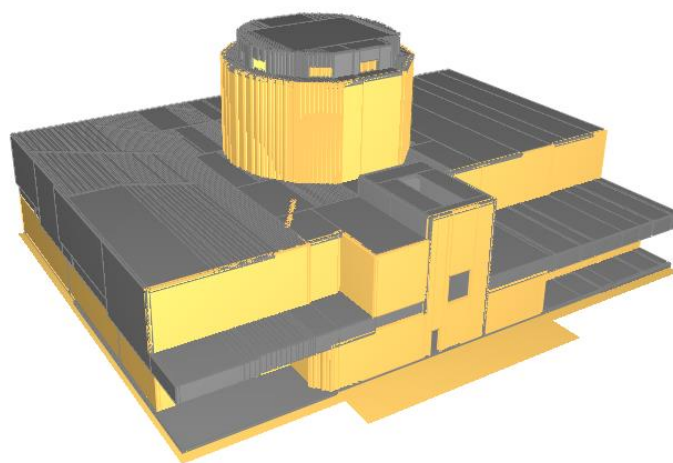
Cellerna i brandens närhet är av storleken $0,1 \times 0,1 \times 0,1$ meter. Detta följer av att den dimensionerande branden för scenariot *Brand i Dressmann* har en lägre maximal effektutveckling än den dimensionerande branden i bilen och därför kräver en mindre cellstorlek (se F.2.4 *Cellstorlek*), vilket innebär att samma cellstorlek är godkänt i detta scenario. Resterande celler, det vill säga de som inte är i brandens direkta närhet, är av storleken $0,2 \times 0,2 \times 0,2$ meter.

F.2 Brand i Dressman

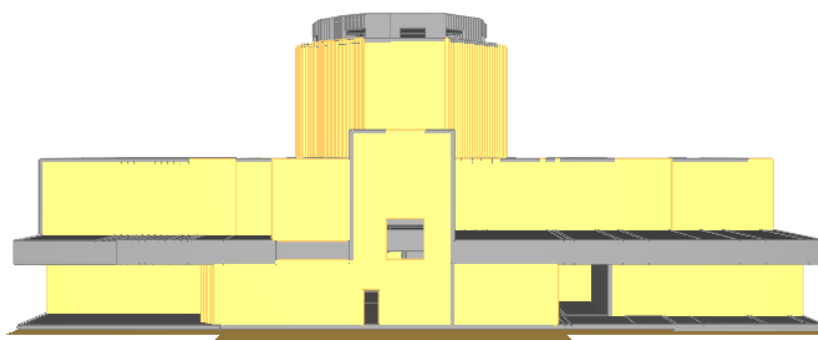
Nedan beskrivs hur avgränsningar gjordes och hur indata valdes gällande bränslets egenskaper för brandsimuleringen i scenariot *Brand i Dressmann*.

F.2.1 Geometri och avgränsningar

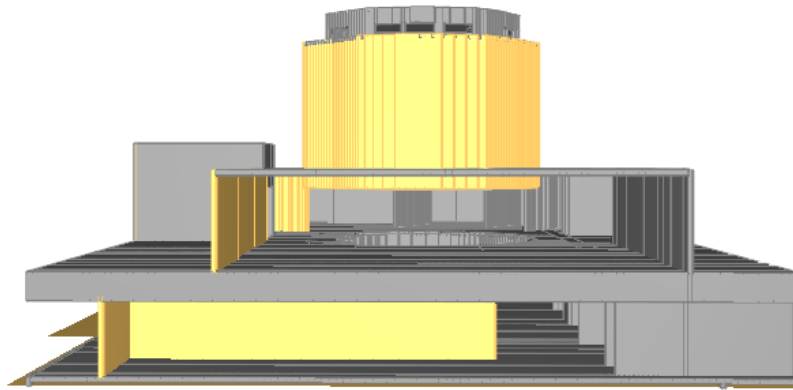
Om en brand i Dressmann skulle leda till att kritiska förhållanden uppnås i den södra delen av entréplanet kommer det ske först i de närliggande affärerna till atriet och den delen av huvudgångstråket nära atriet. Därför bedöms den delen av entréplanet vara av mindre intresse och har därför inte varit med i brandsimuleringen. Dessutom anses inte en brand i Dressmann påverka utrymningen i källarplanet, varför även den delen av gallerian bortsågs från i brandsimuleringen. Nedan i Figur 84, Figur 85 och Figur 86 ses överskådliga som visar vilka delar av byggnaden som var aktuella vid brandsimuleringen för den dimensionerande branden i Dressmann.



Figur 84. Den del av objektet som anses vara aktuell vid brandsimuleringen för den dimensionerande branden i Dressmann.



Figur 85. Den del av gallerian som anses vara aktuell vid brandsimuleringen för den dimensionerande branden i Dressmann, sett från öster.



Figur 86. Den del av gallerian som anses vara aktuell vid brandsimuleringen för den dimensionerande branden i Dressmann, sett från norr.

F.2.2 Bränslets egenskaper

Den kemiska sammansättningen för polyester som används i kläder är $C_8H_6O_4$ (Information National Center for Biotechnology, 2018) och vid förbränning produceras 0,07 gram kolmonoxid samt 0,091 gram sot per gram avbrunnet material (SFPE, 2002).

F.2.3 Effektutveckling

Effektutvecklingen är angiven i kW/m^2 och följer den dimensionerande effektutvecklingen som visas i Figur 37. Eftersom den dimensionerande brandens area är $1,96 m^2$ ($1,5 \times 1,5$ meter) är alltså den maximala effekten $2000 kW/1,96 m^2 = 1020,4 kW/m^2$. Effekten anges därefter var femte sekund som andel av den maximala effekten och antas förändras linjärt mellan tidstegen.

F.2.4 Cellstorlek

Kvoten mellan brandens karaktäristiska diameter (D^*) samt cellstorleken storlek (δx) nära branden bör vara i storleksordningen 15-20 vid stora rumshöjder (Nystedt & Frantzych, 2011). Detta ger att cellstorleken nära branden kan beräknas till $0,085 \times 0,085 \times 0,085$ meter med hjälp av ekvation 16 och 17 för sedan avrundas till $0,1 \times 0,1 \times 0,1$ meter för att få en rimlig simuleringstid i FDS.

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\varphi_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{2/5} \quad \text{ekvation 16}$$

$$\frac{D^*}{\delta x} = 15 \quad \text{ekvation 17}$$

Där

D^* Brandens karaktäristiska diameter [meter]

\dot{Q} – Maximal effektutveckling [kW] (2000)

φ_{∞} – Densitet på omgivande luft [kg/m^3] (Antas vara 1,2)

T_{∞} – Temperatur på omgivande luft [K] (Antas vara 293)

c_p – Värmekapacitet för omgivande luft [$J/(kg \cdot K)$] (antas vara 1000)

g – Gravitationskonstanten [m/s^2] (antas vara 9,81)

δx – Cellstorlek [meter]

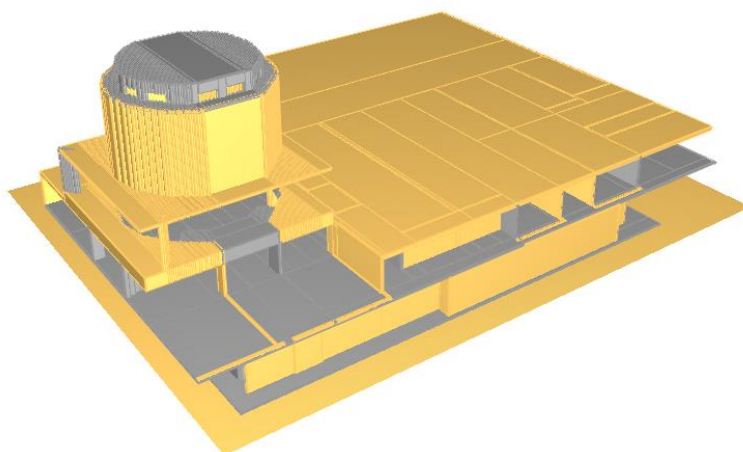
Resterande celler, det vill säga de som inte är i brandens direkta närhet, är av storleken $0,2 \times 0,2 \times 0,2$ meter.

F.3 Brand i Intersports lager

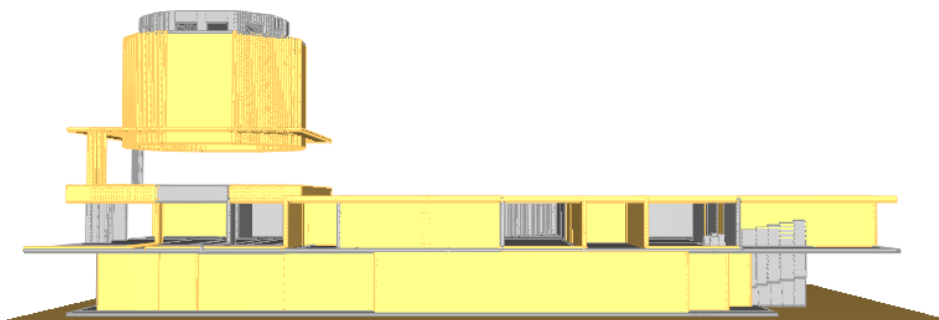
Nedan beskrivs hur avgränsningar gjordes och hur indata valdes gällande bränslets egenskaper för brandsimuleringen i scenariot *Brand i Intersports lager*.

F.3.1 Geometri och avgränsningar

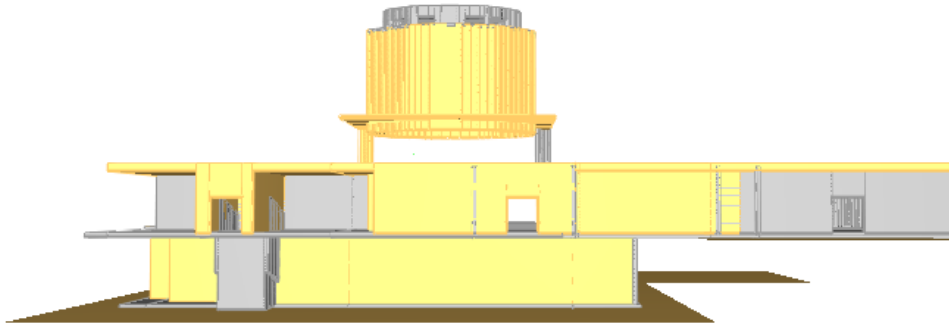
Eftersom en brand i Intersports lager främst kommer att påverka utrymningen i källaren samt i huvudgångstråket samt dess närliggande butiker är det de delar som är med i brandsimuleringen. Om en brand på Intersports lager skulle resultera i att kritiska förhållanden uppnås på andra våningen eller vid östra utgången har det högst troligen redan uppnåtts i huvudgångstråket utanför rulltrappan som leder ned till Intersport. Just av den anledningen är de inte med i brandsimuleringen för detta scenario, se Figur 87, Figur 88 och Figur 89 nedan.



Figur 87. Den del av objektet som anses vara aktuell vid brandsimuleringen för den dimensionerande branden i bilen i atriet.



Figur 88. Den del av gallerian som anses vara aktuell vid brandsimuleringen för den dimensionerande branden i bilen i atriet, sett från öster.



Figur 89. Den del av gallerian som anses vara aktuell vid brandsimuleringen för den dimensionerande branden i bilen i atriets, sett från öster.

F.3.2 Bränslets egenskaper

Eftersom det är sannolikt används olika sorters sorts polyuretanskum i olika skor görs det konservativa antagandet att välja det materialet som avger mest kolmonoxid vid förbränning, det vill säga PUR-skummet GM43. Molekylformeln för GM43 är $\text{CH}_{0.93}\text{O}_{0.20}\text{N}_{0.11}$ och vid förbränning produceras 0,051 gram kolmonoxid samt 0,113 gram sot per gram avbrunnet material (SFPE, 2002). Eftersom det saknas data för HCN-yielder för just detta PUR-skum används samma värde som i scenariot *Brand i utställningsbil* (0,00053 g/g) eftersom bränslet i dessa scenarion antas bestå av samma sorts PUR-skum, se F.1.2 *Bränslets egenskaper*.

F.3.3 Effekttutveckling

Effekttutvecklingen är angiven i kW/m^2 och följer den dimensionerande effekttutvecklingen som visas i Figur 41. Eftersom den dimensionerande brandens area är 10 m^2 är alltså den maximala effekten $17190 \text{ kW}/10 \text{ m}^2 = 1719 \text{ kW/m}^2$.

Effekten anges därefter var femte sekund som andel av den maximala effekten och antas förändras linjärt mellan tidstegen. Efter det att maximal effekt har nåtts efter cirka 5,5 minuter är den konstant under resterande tid av simuleringen.

F.3.4 Cellstorlek

Cellerna i brandens närhet är av storleken $0,1 \times 0,1 \times 0,1$ meter. Detta följer av att den dimensionerande branden för scenariot *Brand i Dressmann* har en lägre maximal effekttutveckling än den dimensionerande branden i bilen och därför kräver en mindre cellstorlek (se F.2.4 *Cellstorlek*), vilket innebär att samma cellstorlek är godkänt i detta scenario. Resterande celler, det vill säga de som inte är i brandens direkta närhet, är av storleken $0,2 \times 0,2 \times 0,2$ meter

Bilaga G Fullständigt resultat från brandsimuleringar

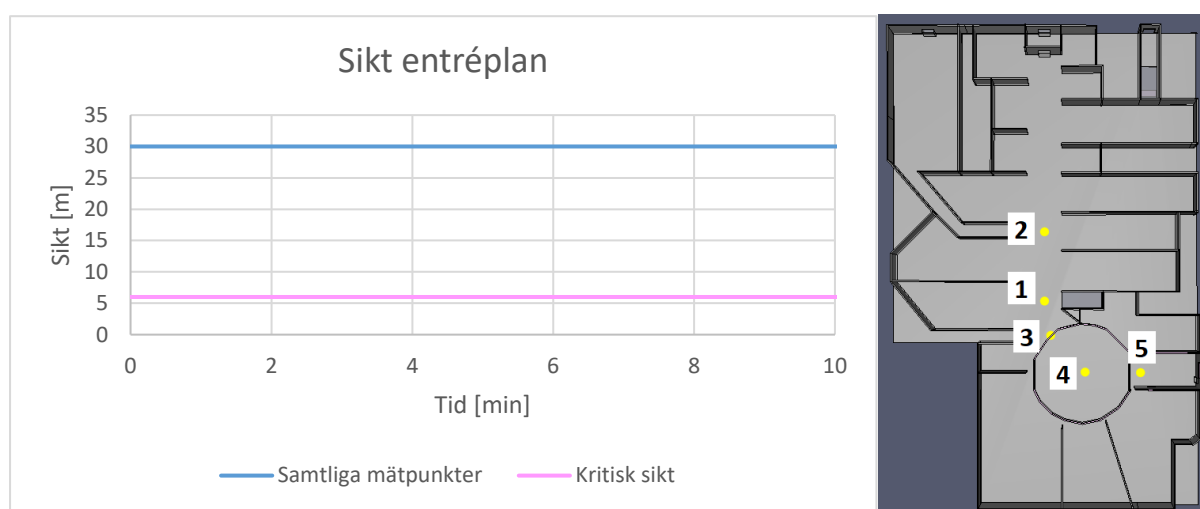
Nedan presenteras utförligt samtliga resultat från de utförda brandsimuleringarna. Samtliga mätpunkter som används i simuleringarna är placerade 2 meter ovan golvnivå. I de scenarion där samtliga mätvärden är så lika varandra att de inte kan urskiljas i grafen slås de samman till *Samtliga mätpunkter*.

G.1 Brand i utställningsbil

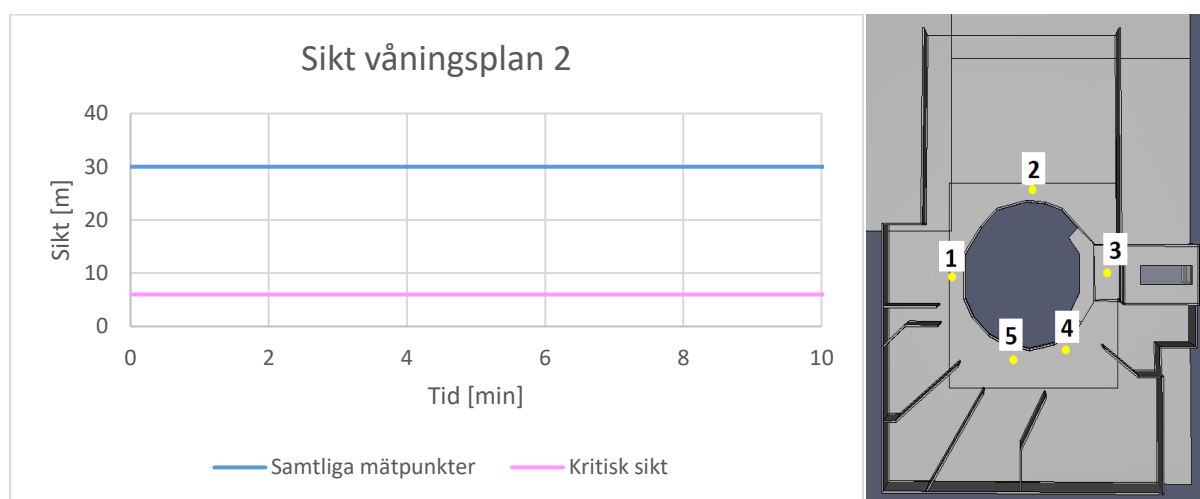
Nedan presenteras resultatet av simuleringen gällande den dimensionerande branden i utställningsbilen i atriet utifrån de kritiska förhållandena.

G.1.1 Sikt

Nedan presenteras den i FDS beräknade sikten i mätpunkterna från den gjorda brandsimuleringen, först på entréplanet i Figur 90 och sedan på våningsplan två i Figur 91.



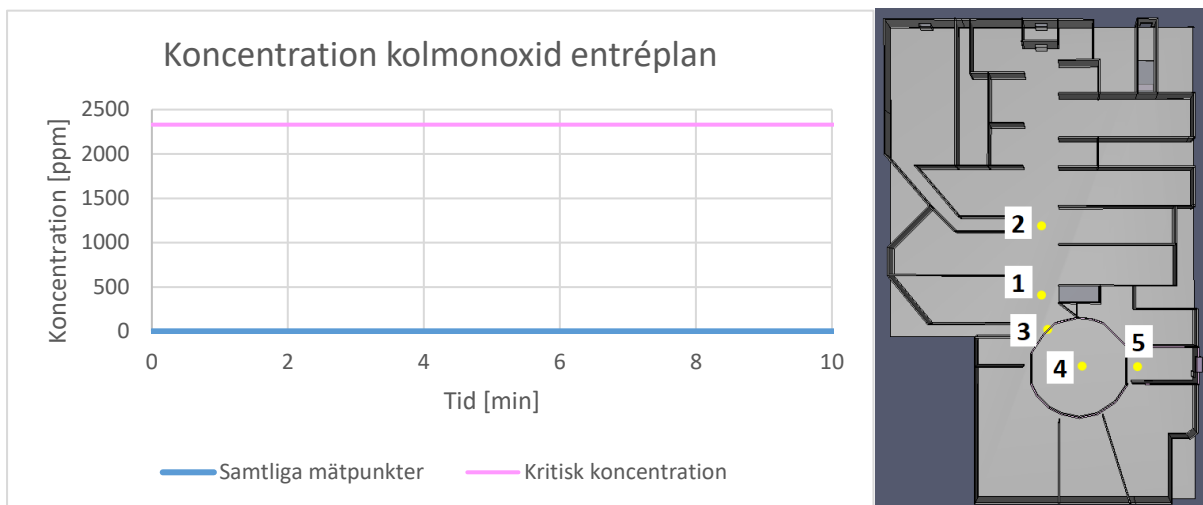
Figur 90. Den i FDS beräknade sikten på entréplanet för scenariot Brand i utställningsbil.



Figur 91. Den i FDS beräknade sikten på våningsplan två för scenariot Brand i utställningsbil.

G.1.2 Toxicitet

Nedan presenteras den i FDS beräknade koncentrationen kolmonoxid i mätpunkterna från den gjorda brandsimuleringen, först på entréplanet i Figur 92 och sedan på våningsplan två i Figur 93.

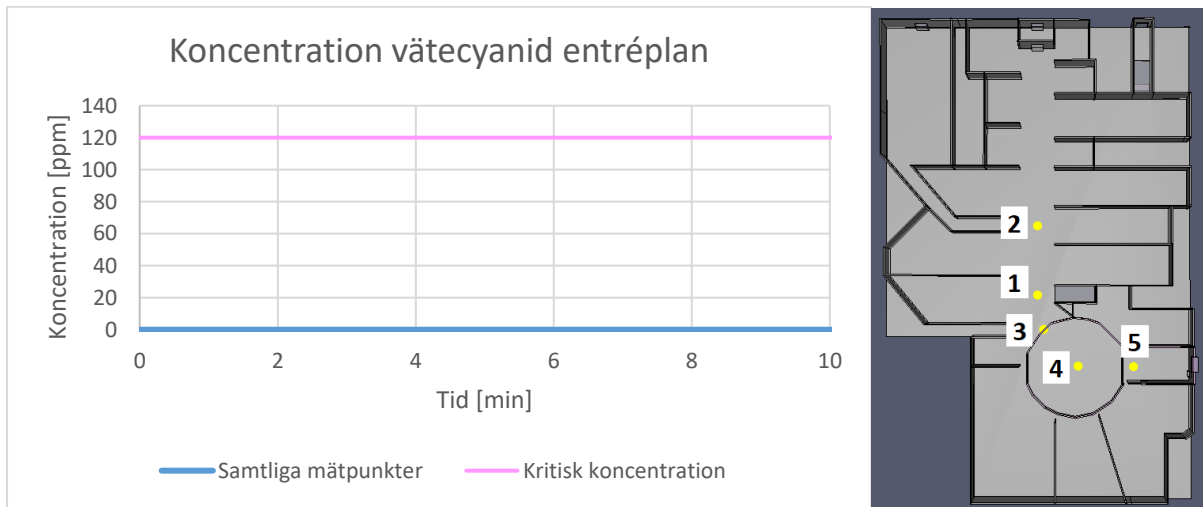


Figur 92. Den i FDS beräknade koncentrationen kolmonoxid på entréplanet för scenariot Brand i utställningsbil.

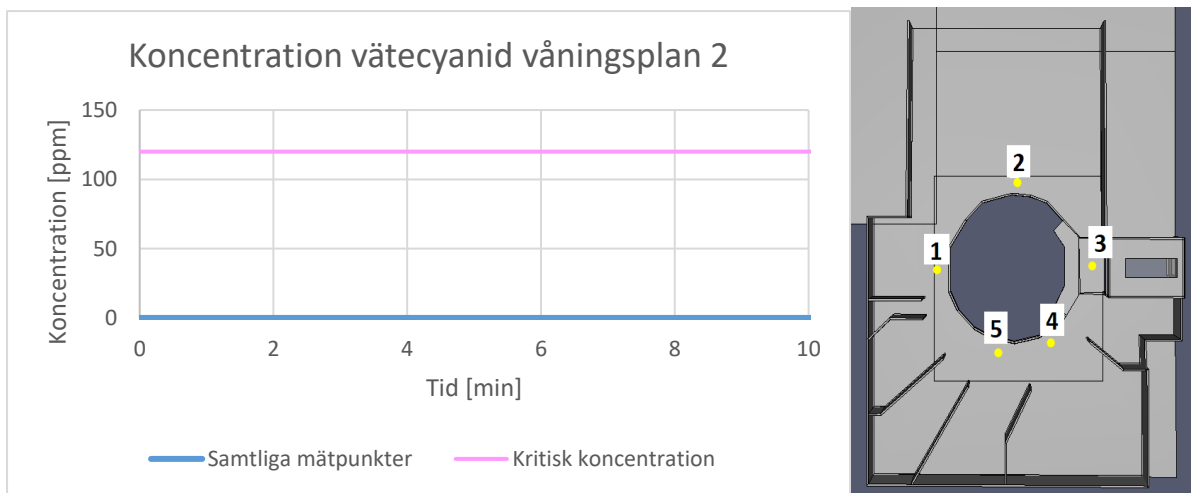


Figur 93. Den i FDS beräknade koncentrationen kolmonoxid på våningsplan två för scenariot Brand i utställningsbil.

Nedan presenteras den i FDS beräknade koncentrationen vätecyanid i mätpunkterna från den gjorda brandsimuleringen, först på entréplanet i Figur 94 och sedan på våningsplan två i Figur 95.



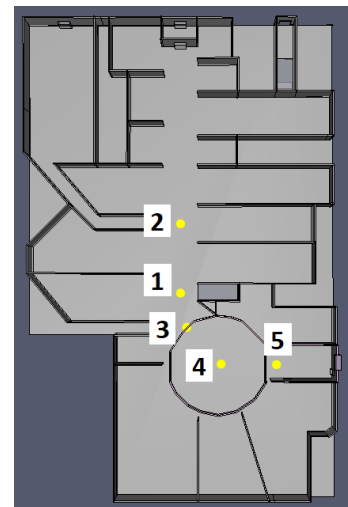
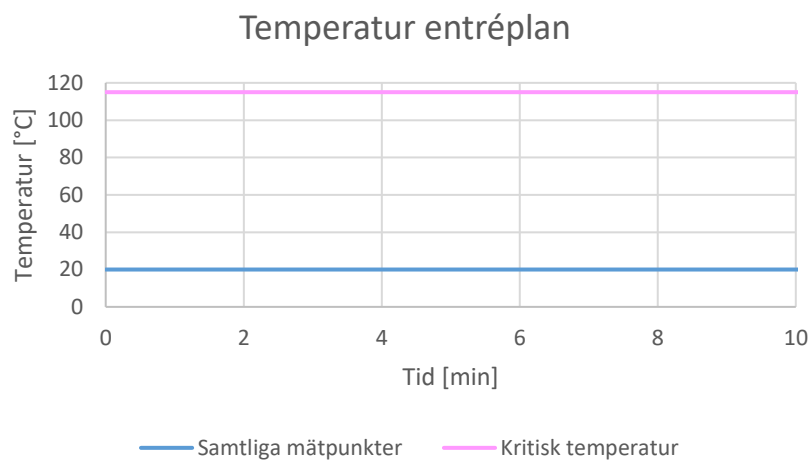
Figur 94. Den i FDS beräknade koncentrationen vätecyanid på entréplanet för scenariot Brand i utställningsbil.



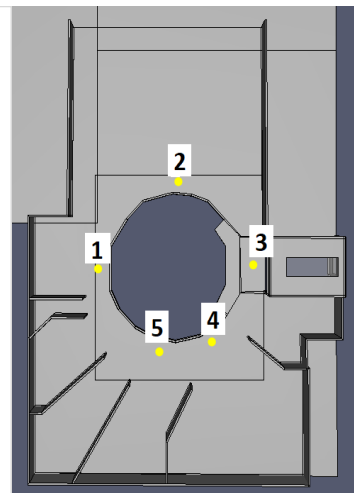
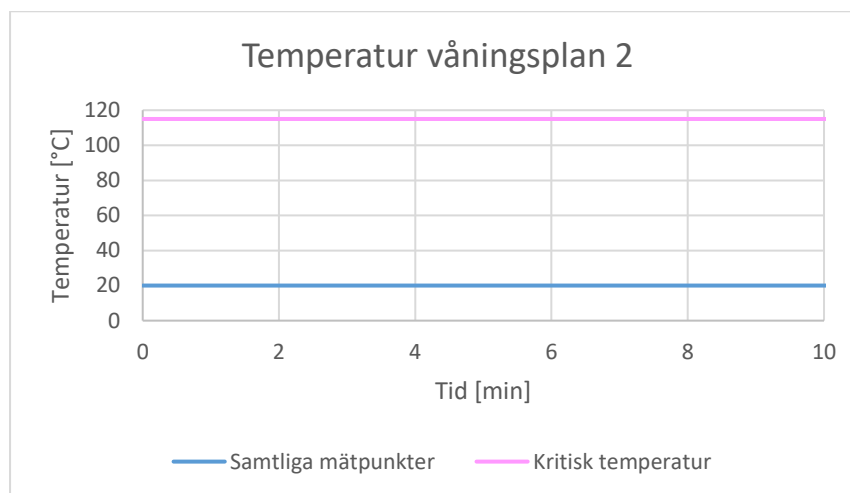
Figur 95. Den i FDS beräknade koncentrationen vätecyanid på våningsplan två för scenariot Brand i utställningsbil.

G.1.3 Temperatur

Nedan presenteras den i FDS beräknade temperaturen i mätpunkterna från den gjorda brandsimuleringen, först på entréplanet i Figur 96 och sedan på våningsplan två i Figur 97.



Figur 96. Den i FDS beräknade temperaturen på entréplanet för scenariot Brand i utställningsbil.



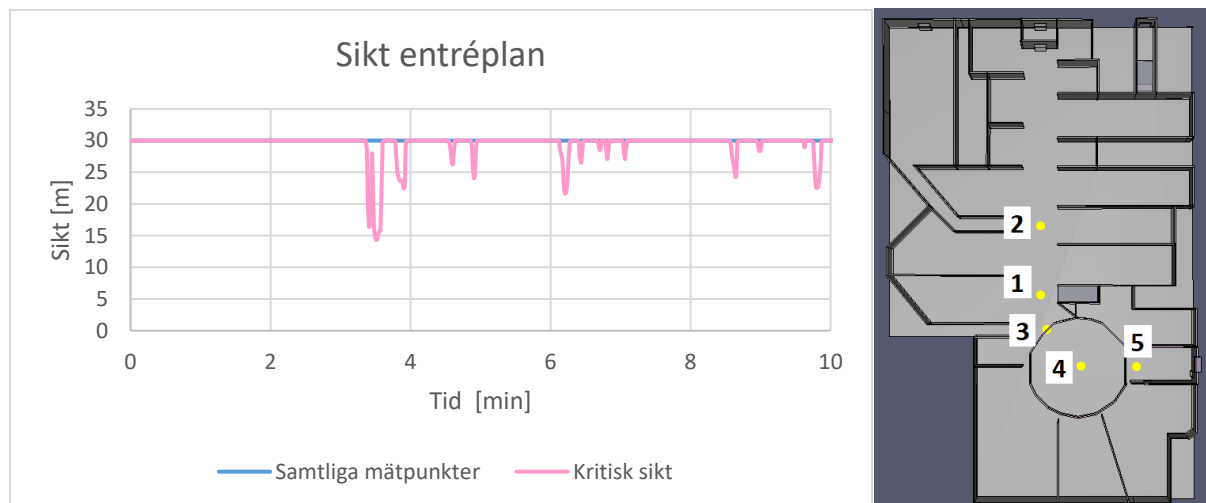
Figur 97. Den i FDS beräknade temperaturen på våningsplan två för scenariot Brand i utställningsbil.

G.2 Brand i Dressmann

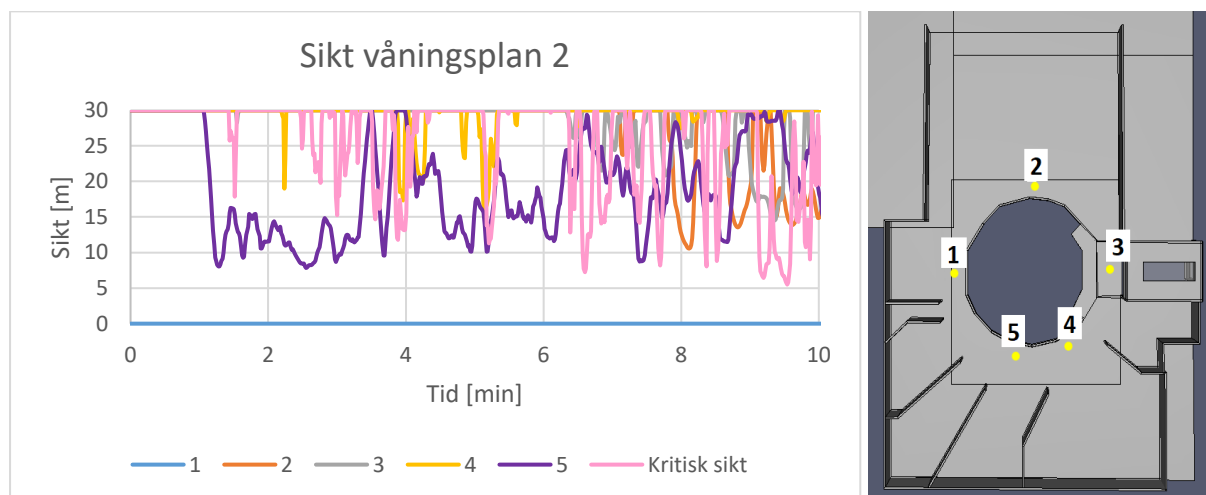
Nedan presenteras resultatet av simuleringen gällande den dimensionerande branden i Dressmann utifrån de kritiska förhållandena.

G.2.1 Sikt

Nedan presenteras den i FDS beräknade sikten i mätpunkterna från den gjorda brandsimuleringen, först på entréplanet i Figur 98 och sedan på våningsplan två i Figur 99.



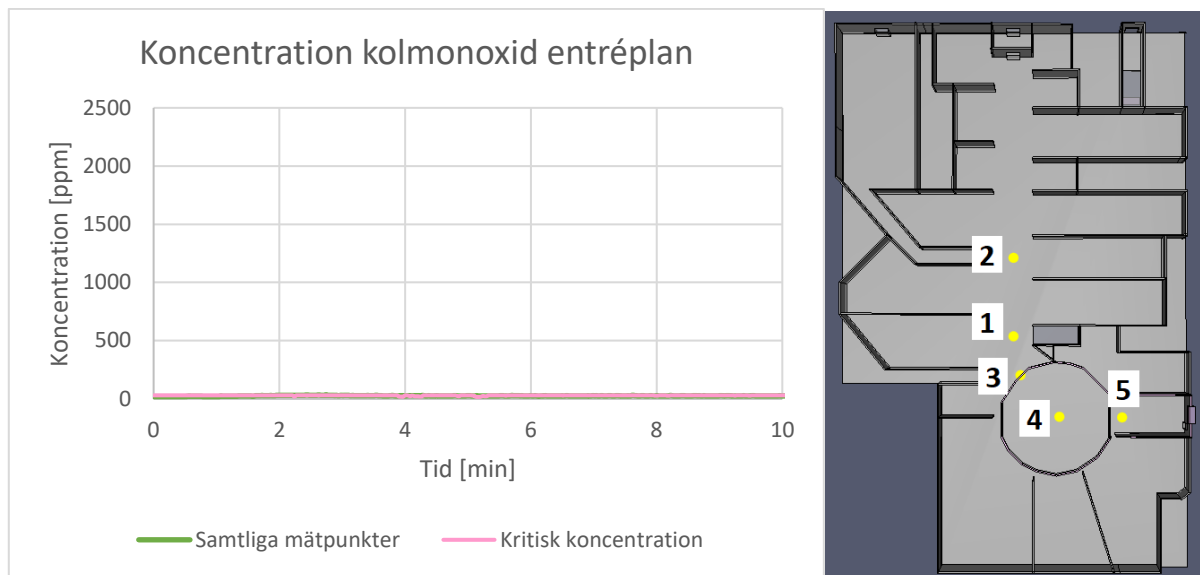
Figur 98. Den i FDS beräknade sikten på entréplanet för scenariot Brand i Dressmann.



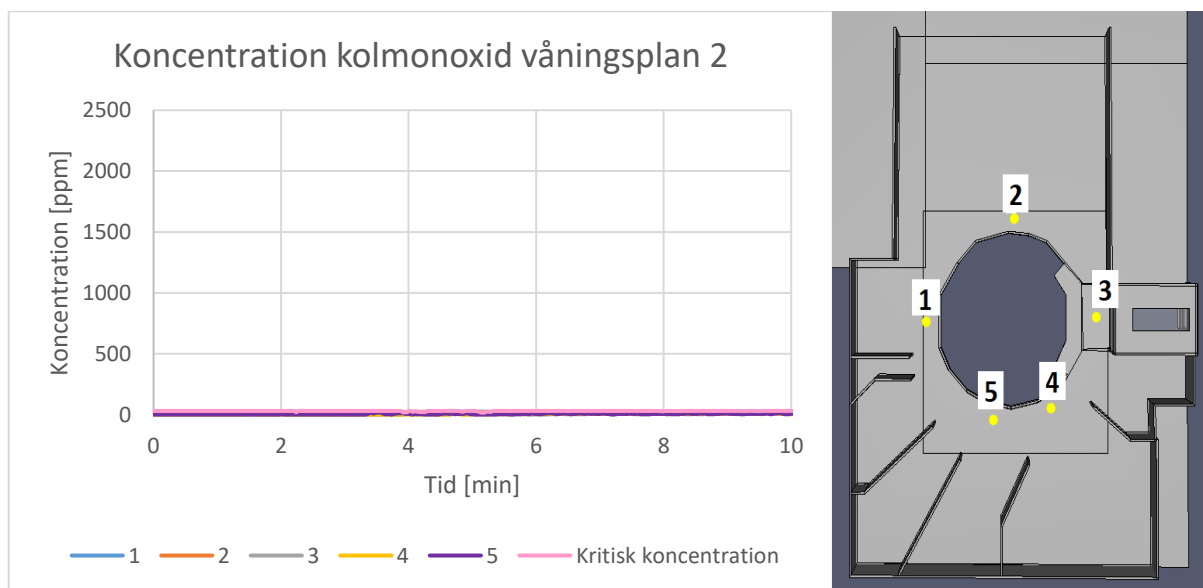
Figur 99. Den i FDS beräknade sikten på entréplanet för scenariot Brand i Dressmann.

G.2.2 Toxicitet

Nedan presenteras den i FDS beräknade koncentrationen kolmonoxid i mätpunkterna från den gjorda brandsimuleringen, först på entréplanet i Figur 100 och sedan på våningsplan två i Figur 101.

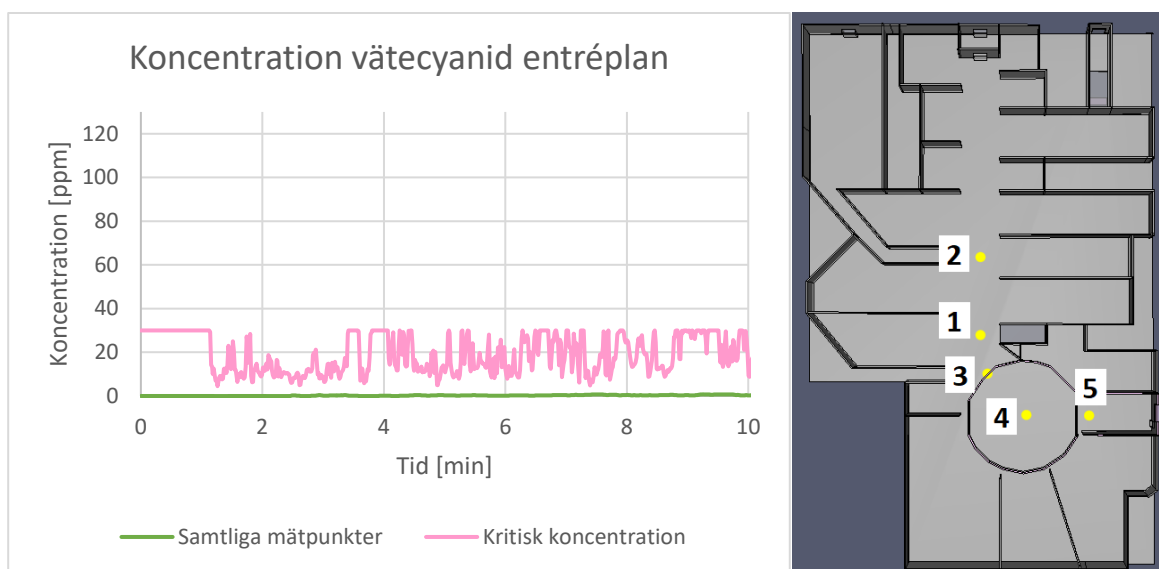


Figur 100. Den i FDS beräknade koncentrationen kolmonoxid på entréplanet för scenariot Brand i Dressmann.

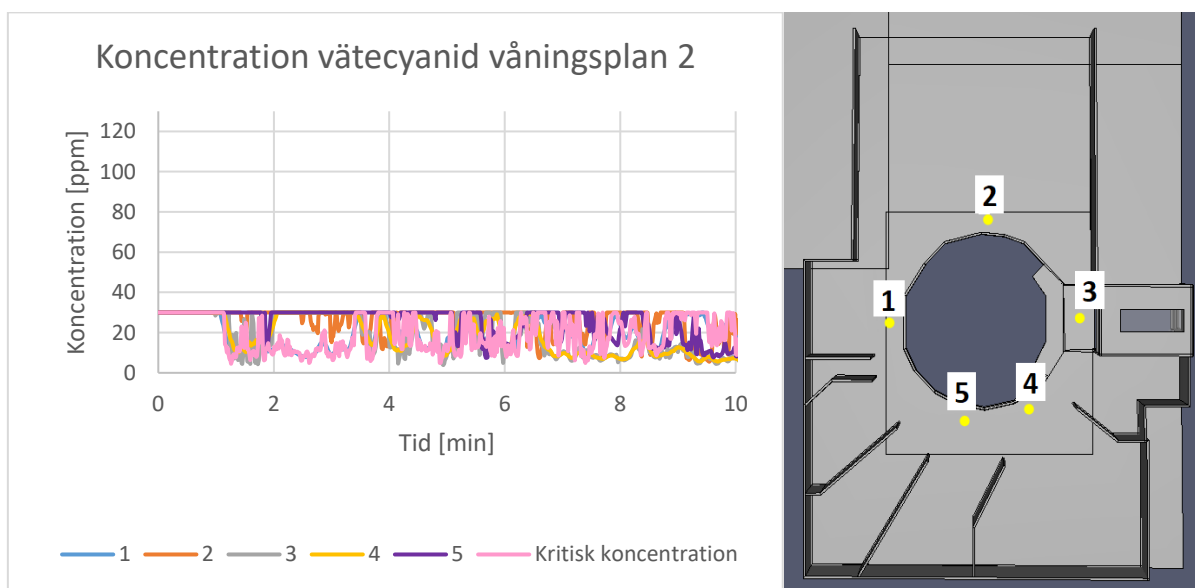


Figur 101. Den i FDS beräknade koncentrationen kolmonoxid på våningsplan två för scenariot Brand i Dressmann.

Nedan presenteras den i FDS beräknade koncentrationen vätecyanid i mätpunkterna från den gjorda brandsimuleringen, först på entréplanet i Figur 102 och sedan på våningsplan två i Figur 103.



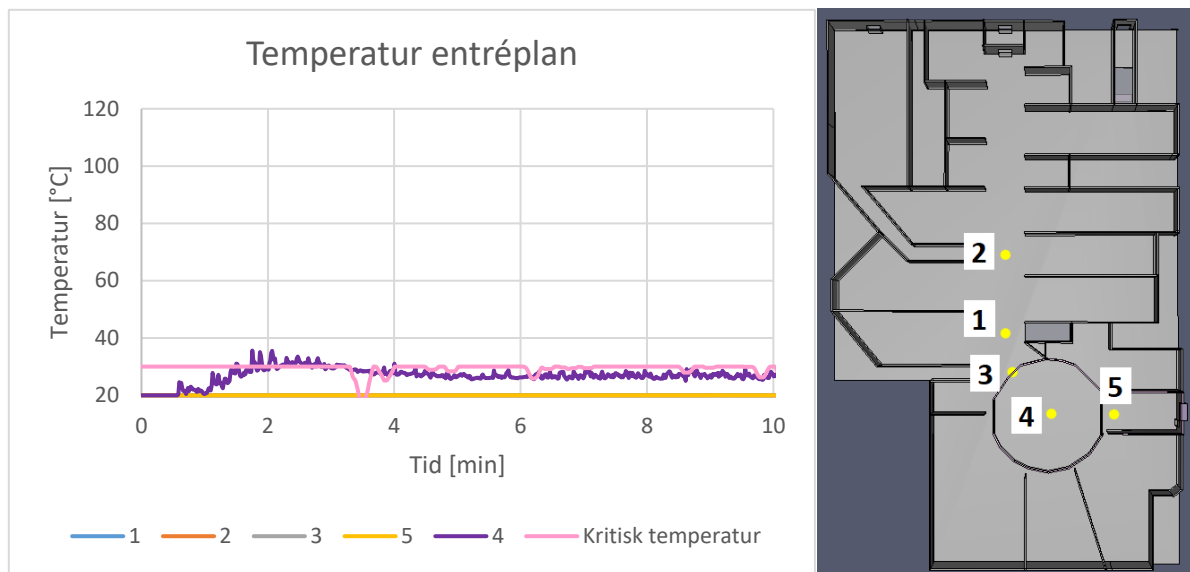
Figur 102. Den i FDS beräknade koncentrationen vätecyanid på entréplanet för scenariot Brand i Dressmann.



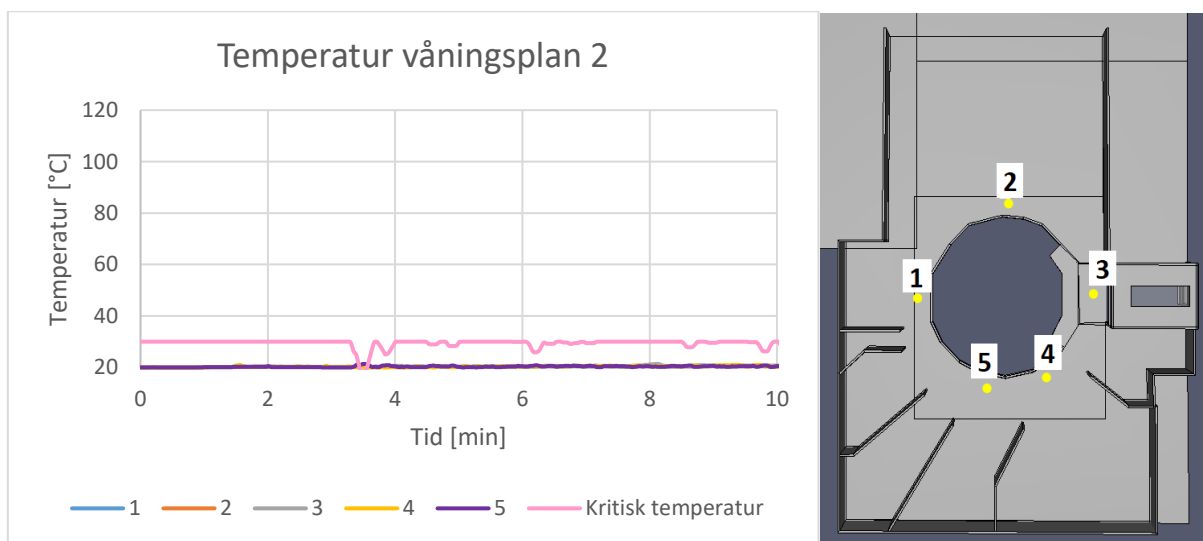
Figur 103. Den i FDS beräknade koncentrationen vätecyanid på våningsplan två för scenariot Brand i Dressmann.

G.2.3 Temperatur

Nedan presenteras den i FDS beräknade temperaturen i mätpunkterna från den gjorda brandsimuleringen, först på entréplanet i Figur 104 och sedan på våningsplan två i Figur 105.



Figur 104. Den i FDS beräknade temperaturen på entréplanet för scenariot Brand i Dressmann.



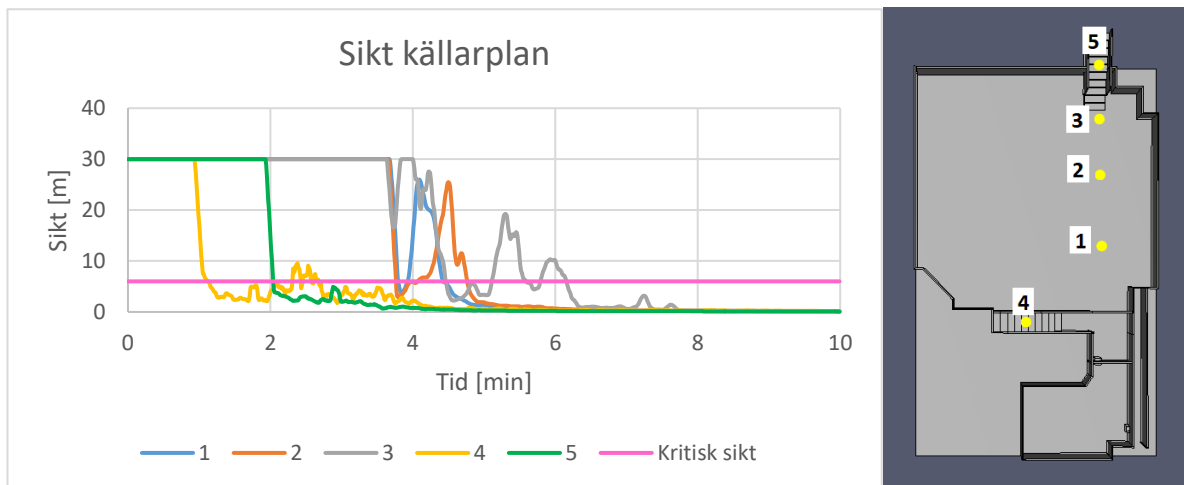
Figur 105. Den i FDS beräknade temperaturen på våningsplan två för scenariot Brand i Dressmann.

G.2 Brand i Intersports lager

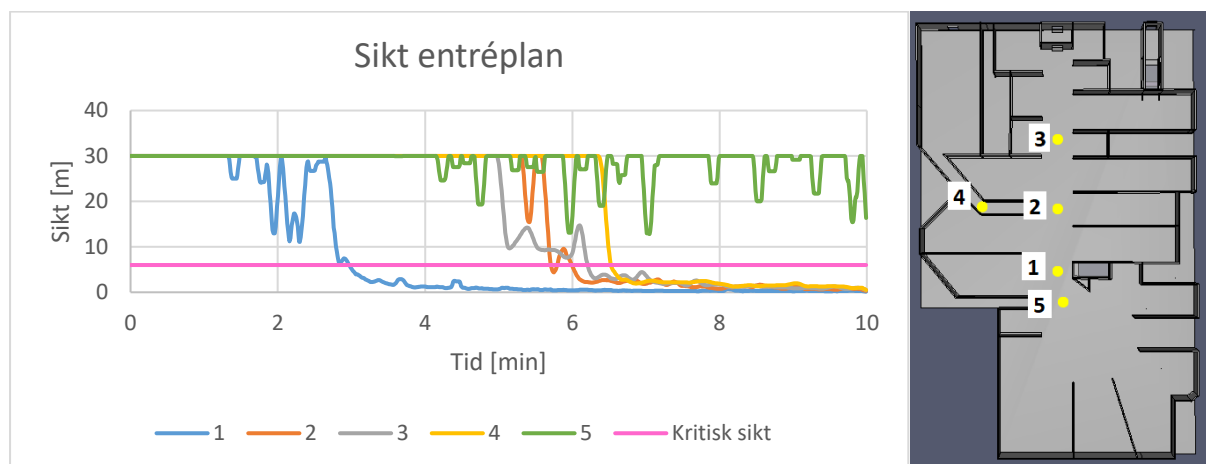
Nedan presenteras resultatet av simuleringen gällande den dimensionerande branden i Intersports lager utifrån de kritiska förhållandena.

G.3.1 Sikt

Nedan presenteras den i FDS beräknade sikten i mätpunkterna från den gjorda brandsimuleringen, först på entréplanet i Figur 106 och sedan på våningsplan två i Figur 107.



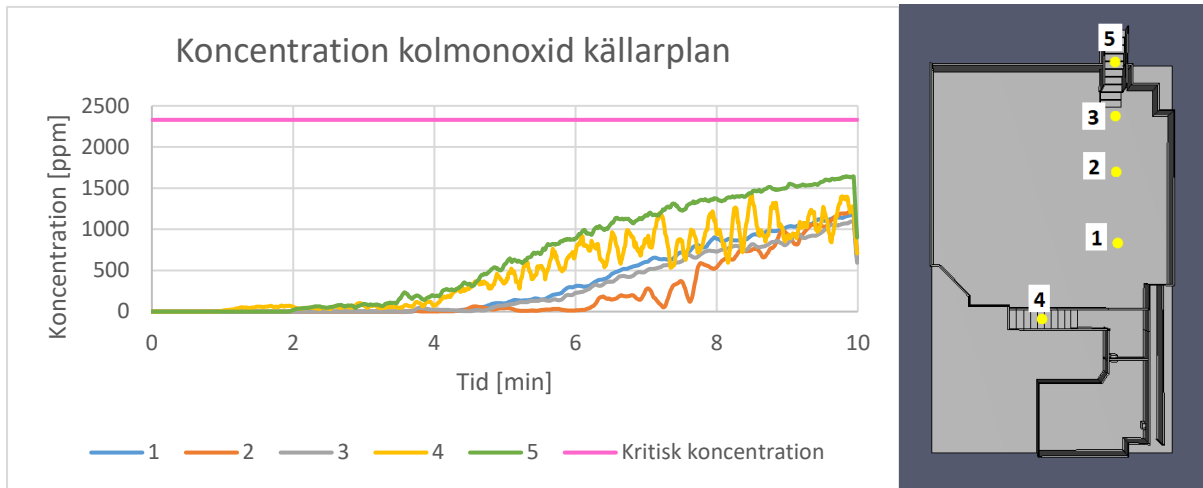
Figur 106. Den i FDS beräknade sikten på källarplanet för scenariot Brand i Intersports lager.



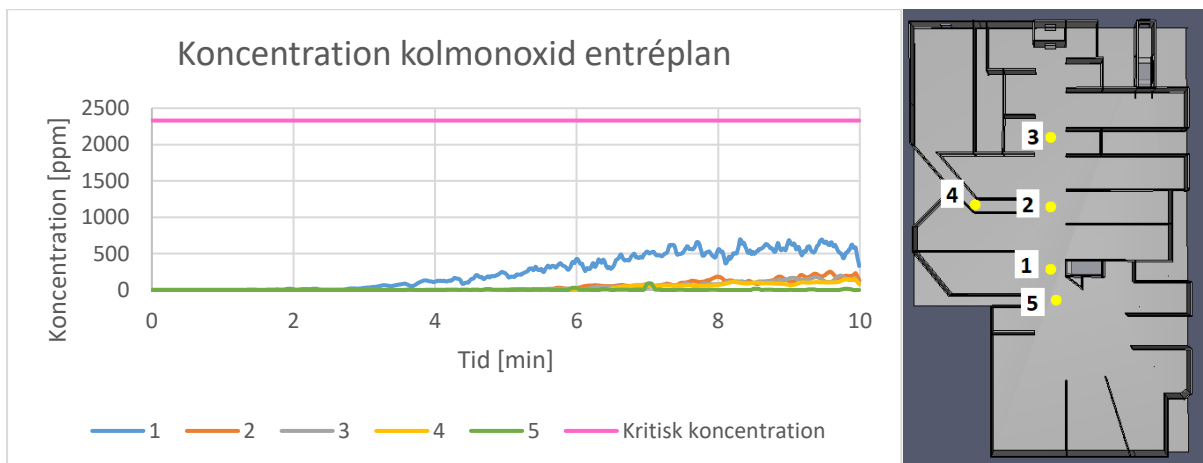
Figur 107. Den i FDS beräknade sikten på entréplanet för scenariot Brand i Intersports lager.

G.3.2 Toxicitet

Nedan presenteras den i FDS beräknade koncentrationen kolmonoxid i mätpunkterna från den gjorda brandsimuleringen, först på entréplanet i Figur 108 och sedan på våningsplan två i Figur 109.

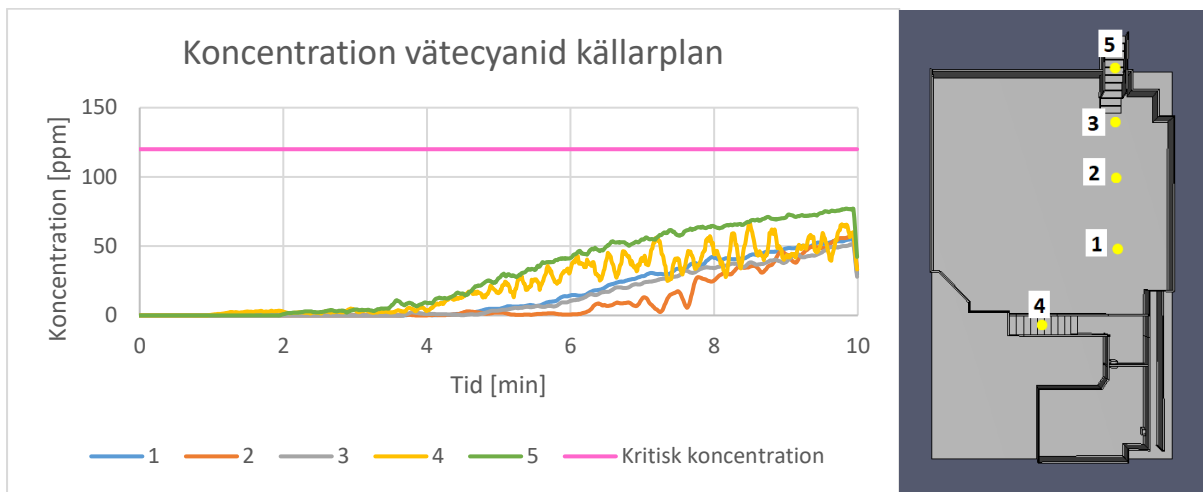


Figur 108. Den i FDS beräknade koncentrationen kolmonoxid på källarplanet för scenariot brand i Intersports lager.

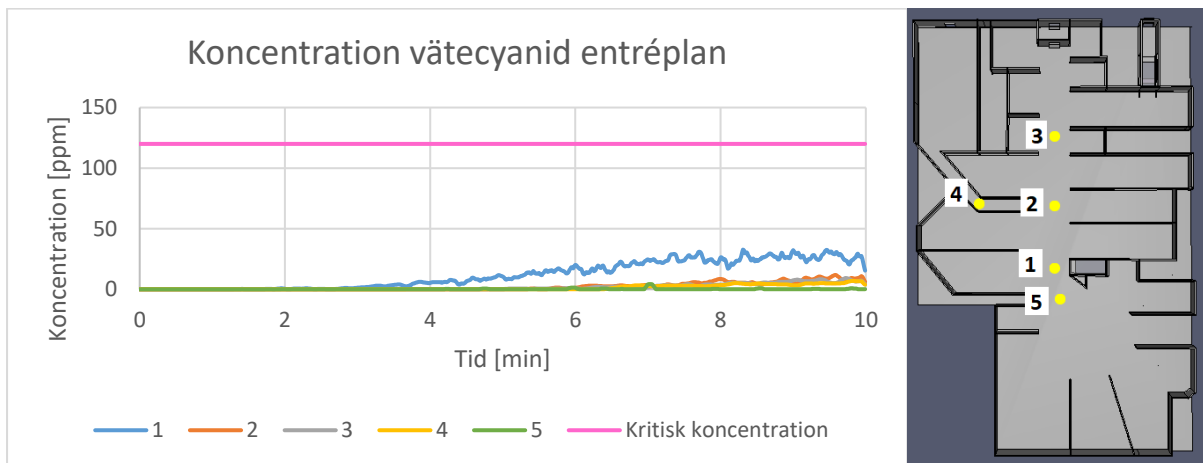


Figur 109. Den i FDS beräknade koncentrationen kolmonoxid på entréplanet för scenariot Brand i Intersports lager.

Nedan presenteras den i FDS beräknade koncentrationen vätecyanid i mätpunkterna från den gjorda brandsimuleringen, först på entréplanet i Figur 110 och sedan på våningsplan två i Figur 111.



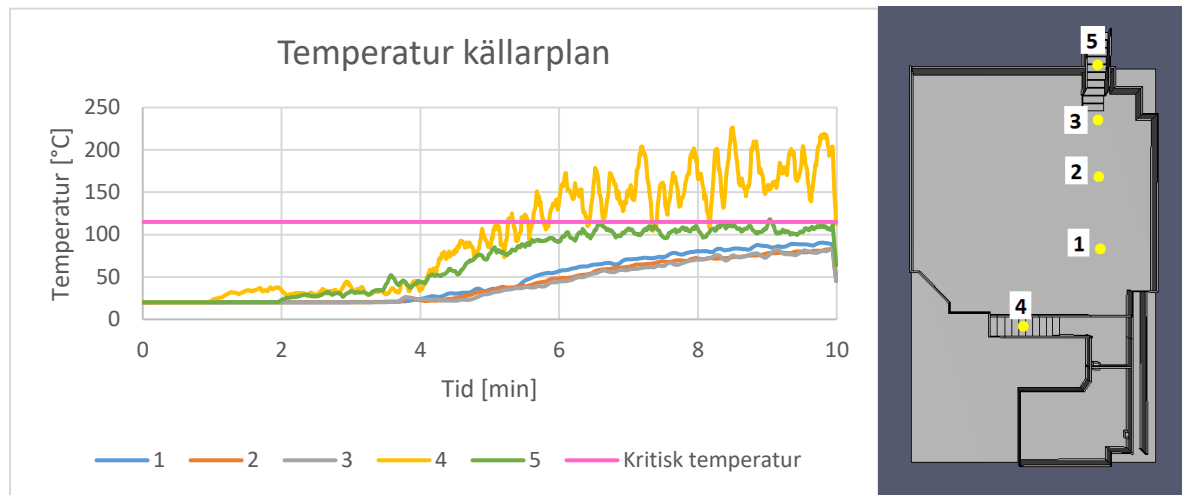
Figur 110. Den i FDS beräknade koncentrationen vätecyanid på källarplanet för scenariot Brand i Intersports lager.



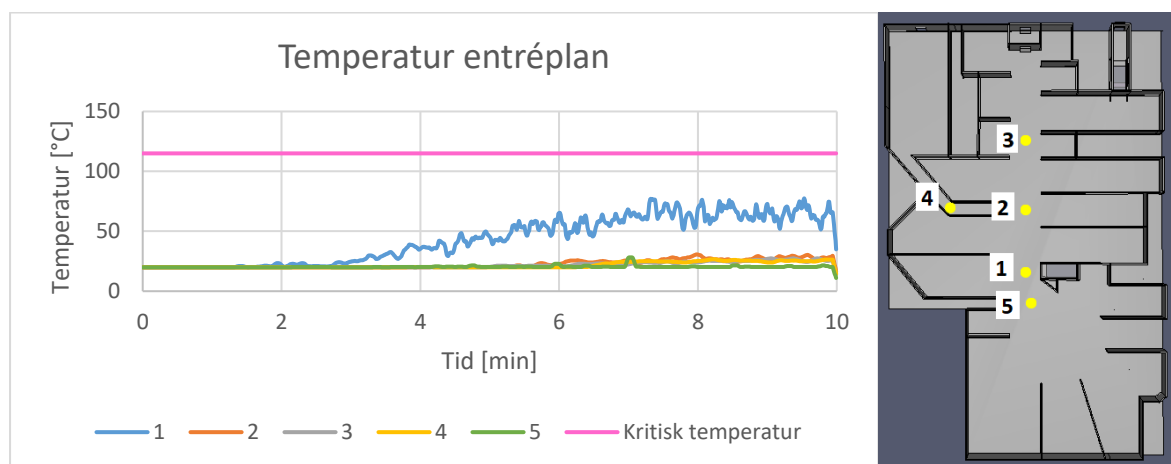
Figur 111. Den i FDS beräknade koncentrationen vätecyanid på entréplanet för scenariot Brand i Intersports lager.

G.3.3 Temperatur

Nedan presenteras den i FDS beräknade temperaturen i mätpunkterna från den gjorda brandsimuleringen, först på entréplanet i Figur 112 och sedan på våningsplan två i Figur 113.



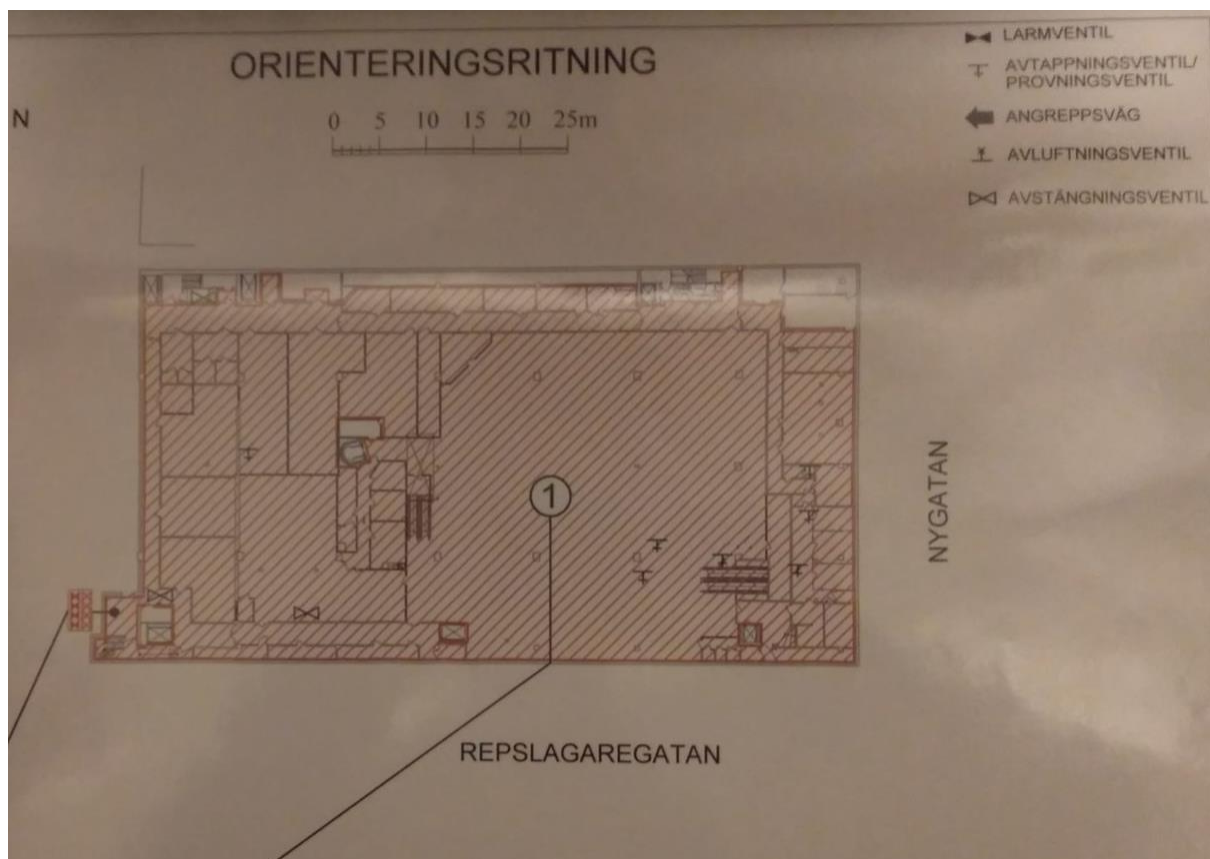
Figur 112. Den i FDS beräknade temperaturen på källarplanet för scenariot Brand i Intersports lager.



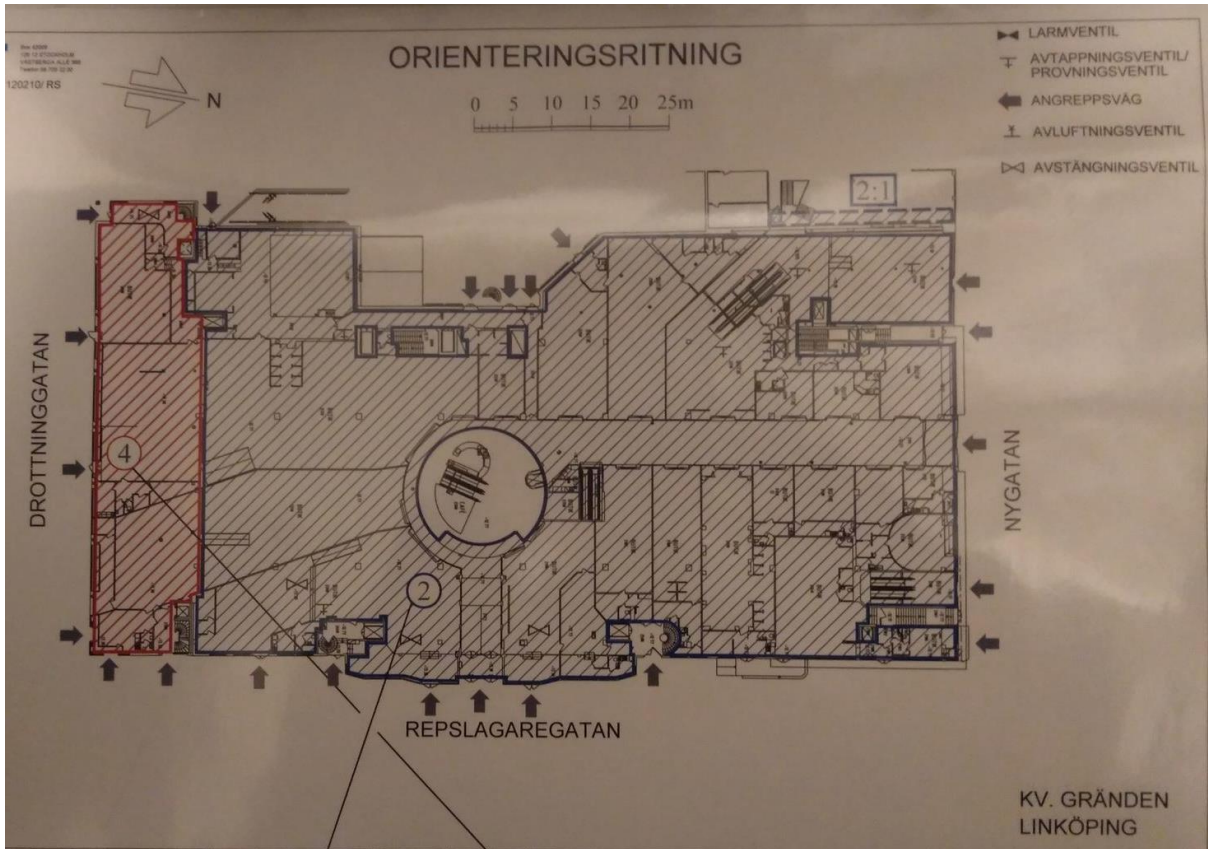
Figur 113. Den i FDS beräknade temperaturen på entréplanet för scenariot Brand i Intersports lager.

Bilaga H Bilder på orienteringsritningar för objektets sprinklersektioner

Nedan visas bilder tagna på ritningar över objektets sprinklersektioner, se Figur 114, Figur 115, Figur 116 och Figur 117



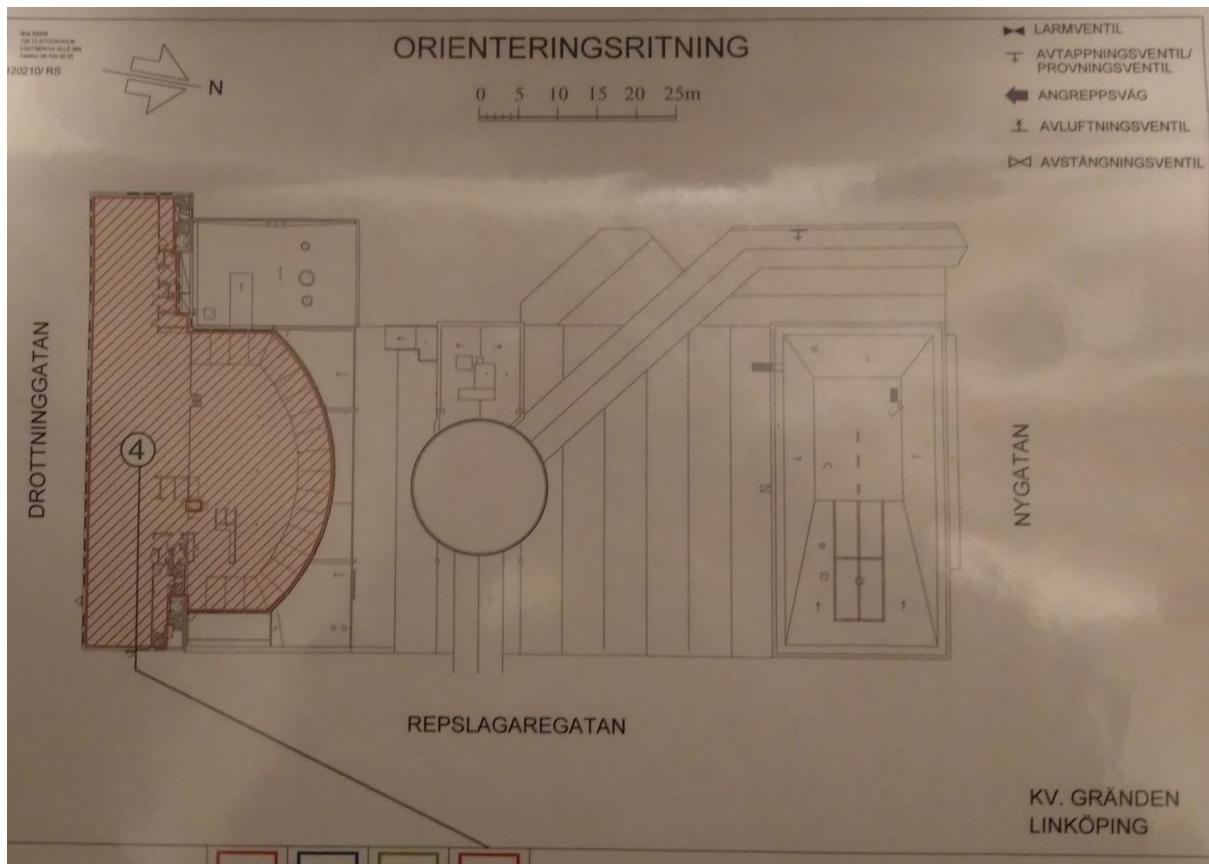
Figur 114. Sprinklersektion ett på källarplan.



Figur 115. Sprinklersektion två och fyra på entréplan.



Figur 116. Sprinklersektion tre och fyra på våningsplan två.



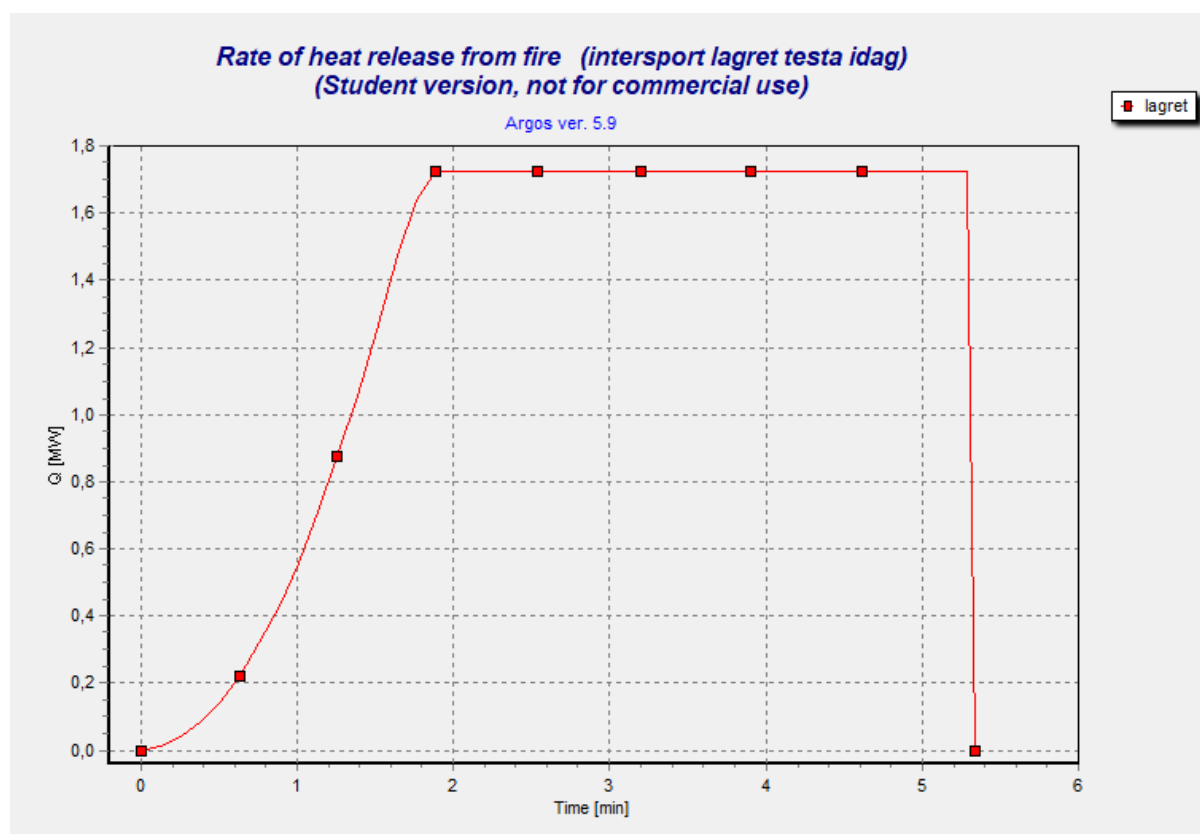
Figur 117. Sprinklersektion fyra på våningsplan tre.

Bilaga I Simulering i Argos

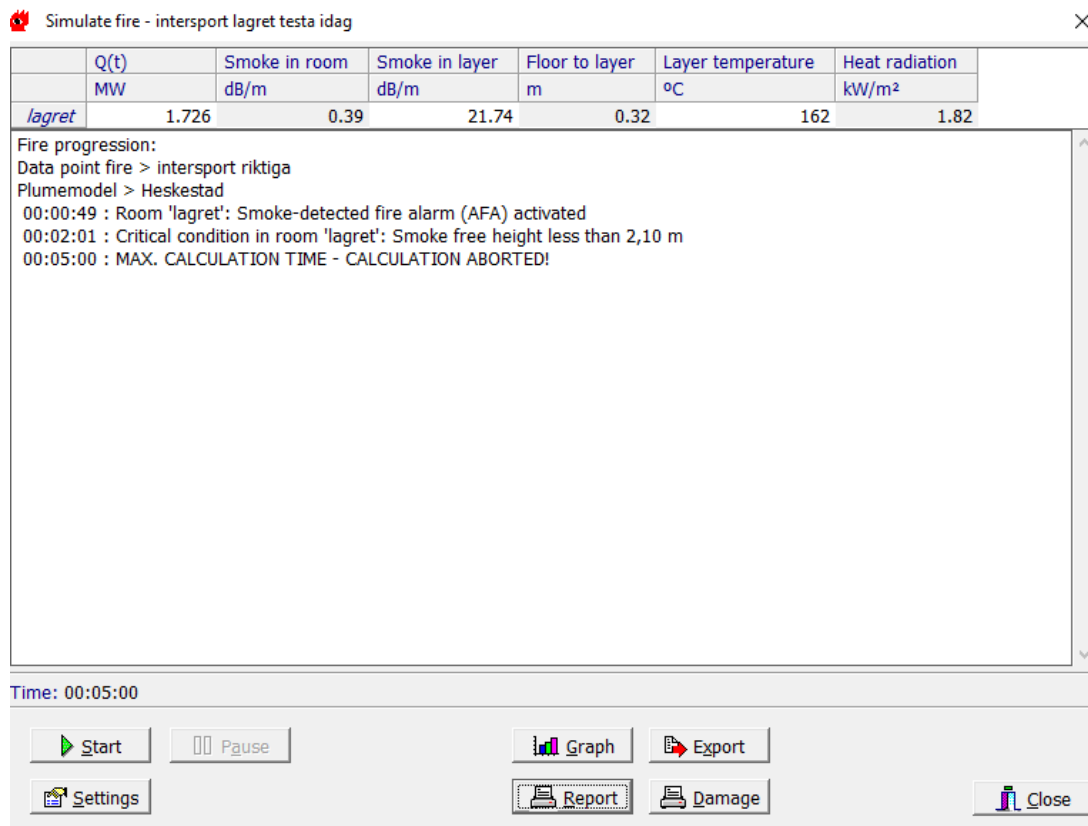
För att kolla våra åtgärder användes Argos. Lagrets geometri förenklades till ett fyrkantigt rum med en area på 172,5 m², en takhöjd på 5 meter och en öppen dörr med måtten 0,9 x 2.1 meter. Golvet bestod av betong och väggarna bestod av 2 x 13 mm gips och 50 mm isolering. Taket bestod av betong och isolering.

Branden där sprinklerna ansågs fungera utgjordes av en *data point fire* och branden där sprinklerna inte fungerade var en *energy formula fire*. Båda byggde på den dimensionerande intersportbranden.

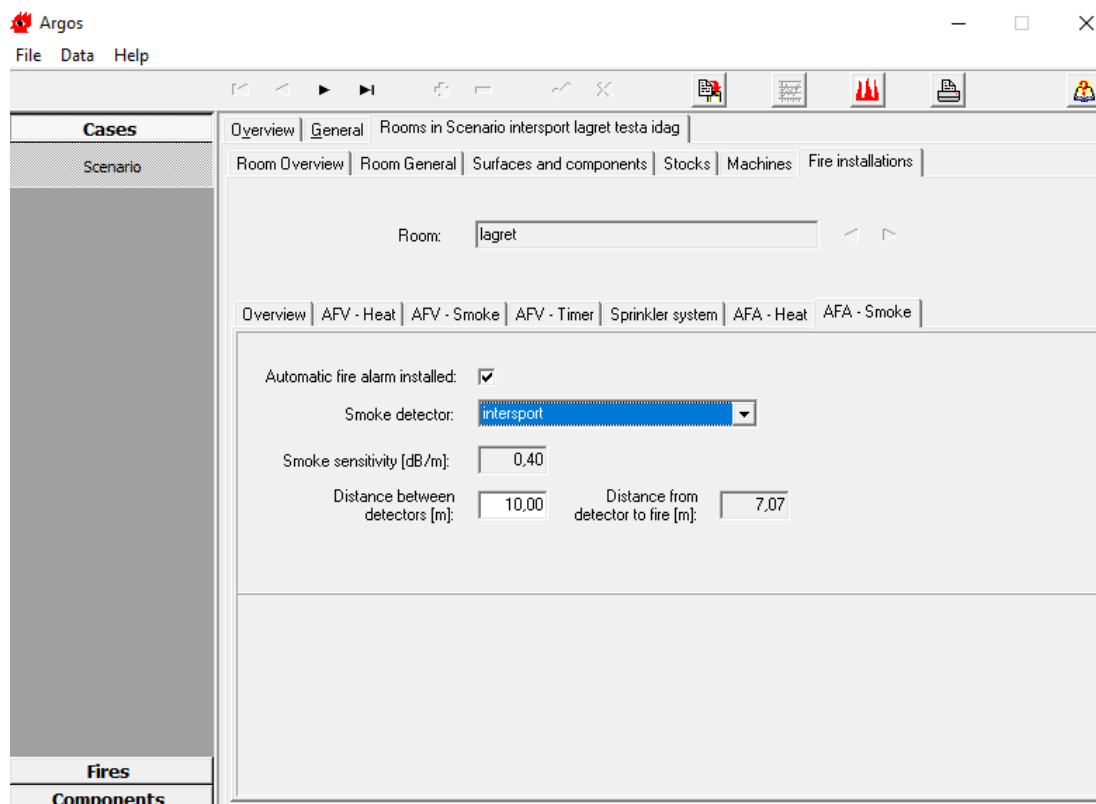
Effektutvecklingen för data point fire visas nedan i Figur 118. Indata till simuleringen presenteras i Figur 119 och Figur 120.



Figur 118. Effektutvecklingskurvan för Data point elden.



Figur 119. Tiden tills rökdetektorn aktiverades.



Figur 120. Rökdetektorernas placering och egenskaper.

Bilaga J Kod till brandsimuleringar

Nedan presenteras den kod som använts till genomförda brandsimuleringar, först den gemensamma geometrin och sedan resterande indata. Notera att inte alla mätpunkter i koden användes i resultatet.

J.1 Brand i utställningsbil

Nedan presenteras den kod som används i brandsimuleringen för scenariot *Brand i utställningsbil*.

Bränsle

```
&REAC ID='Bil',  
  
  FYI='Polyrethane',  
  
  FUEL='REAC_FUEL',  
  
  C=1.0,  
  
  H=0.93,  
  
  O=0.2,  
  
  N=0.11,  
  
  CO_YIELD=0.051,  
  
  SOOT_YIELD=0.113/
```

Effektutveckling

```
&SURF ID='Eld',  
  
  FYI='Bil',  
  
  COLOR='RED',  
  
  TEXTURE_MAP='psm_fire.jpg',  
  
  HRRPUA=610.0,  
  
  RAMP_Q='Eld_RAMP_Q'/  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
&RAMP ID='Eld_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/  
  
&RAMP ID='Eld_RAMP_Q', T=300.0, F=0.295/  
  
&RAMP ID='Eld_RAMP_Q', T=360.0, F=0.295/  
  
&RAMP ID='Eld_RAMP_Q', T=540.0, F=0.246/  
  
&RAMP ID='Eld_RAMP_Q', T=600.0, F=0.246/
```

J.2 Brand i Dressmann

Nedan presenteras den kod som används i brandsimuleringen för scenariot *Brand i Dressmann*.

Bränsle

```
&REAC ID='Polyester',  
  
    FYI='Jackor',  
  
    FUEL='REAC_FUEL',  
  
    FORMULA='C8H6O4',  
  
    CO_YIELD=0.07,  
  
    SOOT_YIELD=0.091/
```

Effektutveckling

```
&SURF ID='Surface01',  
  
    COLOR='RED',  
  
    TEXTURE_MAP='psm_fire.jpg',  
  
    HRRPUA=1020.4,  
  
    RAMP_Q='Surface01_RAMP_Q'/  
  
  
&RAMP ID='Surface01_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/  
&RAMP ID='Surface01_RAMP_Q', T=5.0, F=0.005/  
&RAMP ID='Surface01_RAMP_Q', T=10.0, F=0.02/  
&RAMP ID='Surface01_RAMP_Q', T=15.0, F=0.045/  
&RAMP ID='Surface01_RAMP_Q', T=20.0, F=0.08/  
&RAMP ID='Surface01_RAMP_Q', T=25.0, F=0.125/  
&RAMP ID='Surface01_RAMP_Q', T=30.0, F=0.18/  
&RAMP ID='Surface01_RAMP_Q', T=35.0, F=0.245/  
&RAMP ID='Surface01_RAMP_Q', T=40.0, F=0.32/  
&RAMP ID='Surface01_RAMP_Q', T=45.0, F=0.405/  
&RAMP ID='Surface01_RAMP_Q', T=50.0, F=0.5/  
&RAMP ID='Surface01_RAMP_Q', T=55.0, F=0.605/  
&RAMP ID='Surface01_RAMP_Q', T=60.0, F=0.72/  
&RAMP ID='Surface01_RAMP_Q', T=65.0, F=0.845/  
&RAMP ID='Surface01_RAMP_Q', T=70.0, F=1.0/  
&RAMP ID='Surface01_RAMP_Q', T=130.0, F=1.0/  
&RAMP ID='Surface01_RAMP_Q', T=190.0, F=0.333/  
&RAMP ID='Surface01_RAMP_Q', T=600.0, F=0.333/
```

J.3 Brand i Intersports lager

Nedan presenteras den kod som används i brandsimuleringen för scenariot *Brand i Intersports lager*.

Bränsle

```
&REAC ID='Intersport',  
    FYI='Intersport lager',  
    FUEL='Polyrethane',  
    C=1.0,  
    H=0.93,  
    O=0.2,  
    N=0.11,  
    CO_YIELD=0.051,  
    SOOT_YIELD=0.113/
```

Effektutveckling

```
&SURF ID='Brand',  
    FYI='Intersport lager',  
    COLOR='RED',  
    TEXTURE_MAP='psm_fire.jpg',  
    HRRPUA=1719.0,  
    RAMP_Q='Brand_RAMP_Q'/  
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/  
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=5.0, F=2.0E-4/  
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=10.0, F=9.0E-4/  
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=15.0, F=0.001989/  
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=20.0, F=0.003537/  
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=25.0, F=0.005526/  
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=30.0, F=0.008/  
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=35.0, F=0.0108/  
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=40.0, F=0.0141/  
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=45.0, F=0.0179/  
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=50.0, F=0.0221/  
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=55.0, F=0.026747/  
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=60.0, F=0.0318/  
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=65.0, F=0.037357/  
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=70.0, F=0.043325/  
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=75.0, F=0.0497/  
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=80.0, F=0.057/  
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=85.0, F=0.064/  
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=90.0, F=0.072/
```

&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=95.0, F=0.08/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=100.0, F=0.088/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=105.0, F=0.097/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=110.0, F=0.107/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=115.0, F=0.117/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=120.0, F=0.127/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=125.0, F=0.138/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=130.0, F=0.149/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=135.0, F=0.161/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=140.0, F=0.173/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=145.0, F=0.186/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=150.0, F=0.199/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=155.0, F=0.212/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=160.0, F=0.226/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=165.0, F=0.241/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=170.0, F=0.256/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=175.0, F=0.271/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=180.0, F=0.286/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=185.0, F=0.303/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=190.0, F=0.319/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=195.0, F=0.336/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=200.0, F=0.354/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=205.0, F=0.372/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=210.0, F=0.39/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=215.0, F=0.409/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=220.0, F=0.428/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=225.0, F=0.448/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=230.0, F=0.468/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=235.0, F=0.488/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=240.0, F=0.509/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=245.0, F=0.531/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=250.0, F=0.553/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=255.0, F=0.575/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=260.0, F=0.598/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=265.0, F=0.621/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=270.0, F=0.645/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=275.0, F=0.669/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=280.0, F=0.693/

&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=285.0, F=0.718/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=290.0, F=0.744/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=295.0, F=0.769/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=300.0, F=0.796/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=305.0, F=0.823/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=310.0, F=0.85/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=315.0, F=0.877/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=320.0, F=0.905/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=325.0, F=0.934/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=330.0, F=0.963/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=335.0, F=0.992/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=340.0, F=1.0/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=345.0, F=1.0/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=600.0, F=1.0/