

Avdelningen för brandteknik och riskhantering  
Lunds Tekniska Högskola  
Lunds Universitet

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

2017

# Brandteknisk riskvärdering Bildningscentrum i Flen

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA

GUSTAV HÄRLIN, HADI SALEH, HENRIK LUNDIN, KUJTIM UKAJ



# Brandteknisk riskvärdering av Bildningscentrum i Flen

**Gustav Hahlin**

**Hadi Saleh**

**Henrik Lundin**

**Kujtim Ukaj**

**2017**

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



**Titel**

Brandteknisk riskvärdering av Bildningscentrum i Flen

**Title**

Fire Safety Evaluation of an elementary school in Flen

**Rapport/Report**

9504

**Författare/Authors**

Gustav Hahlin, Hadi Saleh, Henrik Lundin, Kujtim Ukaj

**Nyckelord/Keywords**

Brandteknisk, Riskanalys, Riskvärdering, Bildningscentrum i Flen, Riskanalys skola, Brandteknisk riskvärdering, LTH riskvärdering, BTR

**Antal sidor/Number of Pages**

79

**Språk/Language**

Svenska/Swedish



## Förord

Vi har skrivit denna rapport som en del av kursen VBR054 Brandteknisk Riskvärdering på Lunds Teknisk Högskola i Lund. Syftet med denna kurs är tvådelad, det första syftet är att knyta ihop kunskaper från denna kurs och tidigare kurser och visa hur dessa kunskaper kan tillämpas för att värdera personsäkerheten vid händelse av brand i ett byggnadsverk. Det andra är att öka ingenjörsmässigheten hos studenterna och förmågan att kunna bygga och analysera modeller.

För att uppnå dessa syften har vi studenter fått genomföra en brandteknisk riskvärdering av bildningscentrum i Flen. Vi tycker att det har varit väldigt lärorikt att få arbeta med en så pass unik och komplex byggnad och vill därför tacka Tony Ottosson samt annan hjälpsfull personal på bildningscentrum och även Johan Åqvist, brandkonsult på WSP för deras hjälp.

Vi vill även tack vår handledare Stefan Svensson som med stort tålamod har fått agera som ett bollplank för många idéer och funderingar samt alla andra på brandtekniska institutionen som i smått och stort har erbjudit hjälp.





## Abstract

This study has been carried out, as part of the course Fire Safety Evaluation at Lund Technical University, to assess the fire safety of an elementary school in Flen. The study is made up of three parts, an overview and description of the school, an analysis of possible fire scenarios within the school compound, and a set of action proposals based on the findings from the analysis. In the analysis, we identified several possible fire scenarios and subsequently limited these to three which were – based on a quantitative risk assessment – selected for further analysis. The chosen scenarios consist of fire in auditorium, fire in toilet, and fire in mini-auditorium. The computer programs *Fire Dynamics Simulator* and *Pathfinder* were used to simulate smoke spread and evacuation respectively. The results of the report show that certain measures may be required to assure the personal safety of staff and students. These measures can be summarized to a lowered number of people or/and new evacuation routes.



## Sammanfattning

Den här rapporten är en brandteknisk riskanalys av grundskolan Bildningscentrum i Flen. Arbetet ingår i kursen Brandteknisk riskvärdering (VBR054) som ges av Avdelningen för Brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola.

Skolan består av fyra äldre tegelbyggnader som förenas med ett inglasat gångstråk. Verksamheten innefattar elever från årskurs 5 till 9 och byggnaden utgör 13,000 kvadratmeter golvyta. Det befintliga brandskyddet på skolan består av rökdetektorer i korridorer och trapphus, sprinklersystem i särskilda utrymmen på plan 1 och 2, och brandgasventilation i stråket och trapphus.

I rapporten granskades det befintliga brandskyddet med avseende på personsäkerhet. En grovanalys utfördes och ett antal scenarier identifierades varefter de som utgör störst risk för personsäkerheten på skolan valdes för vidare analys. Scenarierna som valdes var brand i aula, brand på toalett och brand i miniaula. I riskanalysen ingick brandsimuleringar i *Fire Dynamics Simulator* och utrymningssimuleringar i *Pathfinder* där utrymningstid jämfördes med tillgänglig tid. Därtill utfördes även känslighetsanalyser i Pathfinder för att undersöka de olika parametrarnas inverkan på resultatet.

Resultaten av analysen visar på ett behov av åtgärder avseende personsäkerheten på skolan för samtliga tre scenarier som djupanalyserades. Dessa åtgärder kan sammanfattas i att ett sänkt personantal alternativt en ny utrymningsväg i aulan ska införas. Dessutom ska nya utrymningsvägar till musikrum respektive miniaula uppföras.



# Innehåll

1 Inledning	1
1.1 Syfte och mål	1
1.2 Avgränsningar	1
1.3 Metod	1
1.3.1 Fire Dynamics Simulator	2
1.3.2 Pathfinder	3
2 Objektbeskrivning	5
2.1 Sektioner	6
2.1.1 Sektion A (Stråket)	6
2.1.2 Sektion B	7
2.1.3 Sektion C	7
2.1.4 Sektion D	7
2.1.5 Sektion E	7
2.2 Befintligt brandskydd	7
2.2.1 Brandlarm	7
2.2.2 Sprinklersystem	7
2.2.3 Räddningstjänst	7
2.2.4 Utrymning	8
2.2.5 Brandgasventilation	8
2.2.6 Övrigt	9
3 Grovanalys/Riskidentifiering	11
3.1 Scenario A: Brand i Stora aulan	11
3.2 Scenario B: Brand i korridor sektion E, plan 3	12
3.3 Scenario C: Brand i bibliotek	13
3.4 Scenario D: Brand i kök	13
3.5 Scenario E: Brand i stråk	14
3.6 Scenario F: Utomhusbrand vid Huvudentrén	14
3.7 Scenario G: Toalettbrand på första våningen, sektion D	15
3.8 Scenario H: Brand i matsal	16
3.9 Scenario I: Brand i trapphus, sektion C	16
3.10 Slutsatser	17
4 Brandscenarier	19
4.1 Generella antaganden och förutsättningar	19

4.1.1 Brandsimuleringar	19
4.1.2 Utrymnings-simuleringar	21
4.2 Scenario A: Brand i Stora aulan	22
4.2.1 Brandmodellering i FDS	22
4.2.2 Utrymningsmodellering	27
4.2.3 Slutsatser	30
4.3 Scenario G: Toalettbrand på första våningen, sektion D	30
4.3.1 Brandmodellering i FDS	31
4.3.2 Utrymningsmodellering	35
4.3.3 Slutsatser	38
4.4 Brand i korridor sektion E, Plan 3	39
4.4.1 Brandmodellering i FDS	39
4.4.1.1 Indata	39
4.4.2 Utrymningsmodellering	42
4.4.3 Slutsatser	45
5 Känslighetsanalys	47
6 Diskussion	49
7 Åtgärdsförslag	53
7.1 Stora aulan	53
7.2 Toalettbrand	54
7.3 Korridor	54
Referenser	55
Bilaga A: Planritningar	57
Bilaga B: Sprinklerritningar	61
Bilaga C: Brandlarmsplaner	63
Bilaga D: Beräkning av effektkurva aula	67
Bilaga E: Beräkning av effektkurva toalettbrand	69
Bilaga F: Aktivering av rökdetektor i FDS	71
Bilaga G: FDS-kod	73

# 1 Inledning

”Svenska skolor brinner mest” är titeln på en artikel från tidskriften *Forskning & Framsteg*. I artikeln framgår det att skolor i Sverige är särskilt utsatta vad gäller anlagda bränder. Ungefär hälften av de hundratals skolbränder som sker varje år i Sverige är anlagda. Vad som är ytterligare oroväckande är att det har skett en fördubbling av antalet skolbränder per år sedan 1990-talet, och år 2009 nåddes en toppnotering med en totalkostnad för svenska skattebetalare på över 500 miljoner kronor. (Höjer, 2012) Mot bakgrund av detta är det befogat att framhäva vikten av det systematiska brandskyddsarbetet, inte minst i form av brandtekniska riskanalyser. Denna rapport är resultatet av en brandteknisk riskanalys av Bildningscentrum i Flen och bygger på tidigare SBA-rapporter och brandskyddsdocumentation.

## 1.1 Syfte och mål

Syftet med rapporten var att utvärdera brandskyddet på *Bildningscentrum* i Flen för att sedermera identifiera möjliga brandscenarier där de som medfört störst risk har djupanalyserats. Målet var att bedöma huruvida skolan, eller delar av den, kan utrymmas vid brand utan att risk för personskador föreligger, och om byggnaden inte uppfyller de krav som ställs ska lämpliga åtgärder föreslås.

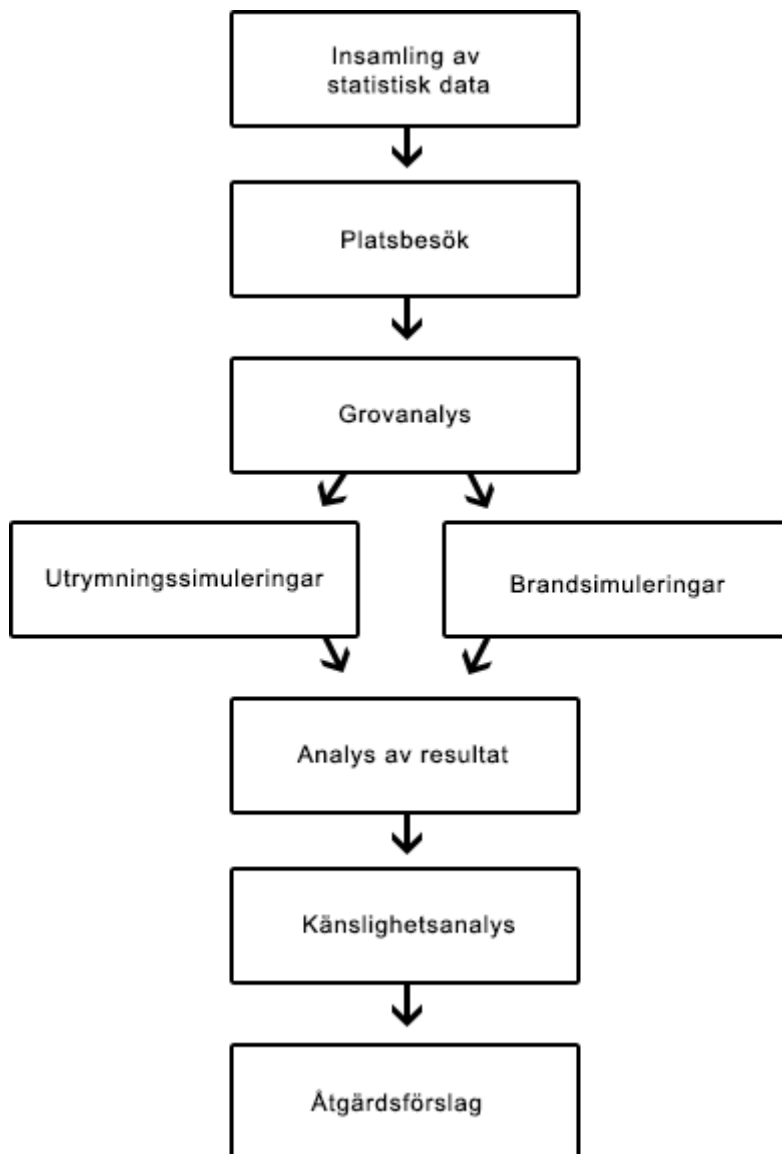
## 1.2 Avgränsningar

Fokus i detta arbete kommer ligga på personsäkerhet. En följd av detta blir att endast risker under arbetstid är av intresse. Vidare tas ingen hänsyn till ekonomiska förluster vid val av dimensionerande brandscenarier. I simuleringsmodeller har avgränsningar gjorts där endast den mest nödvändiga omgivningen beaktats.

## 1.3 Metod

Arbetet inleddes med att söka efter statistiskt underlag för skolbränder via *LUBSearch*, *Google scholar*, och *Google*. Sökorden som användes för detta ändamål var bland annat: ”skolbränder”, ”skolbränder statistik”, ”riskanalys skolor”, o s v. Därefter sammanställdes lärdomar från dessa rapporter i ett övergripligt dokument för att användas som underlag under platsbesöket. Under detta besök identifierades ett antal riskscenarion och ytterligare ett antal andra riskscenarion identifierades i efterhand vid genomgång av ritningar. Dessa scenarion värderades i en så kallad grovriskanalys och tre av dessa valdes för vidare analys. Som grund för dessa analyser utfördes brandsimuleringar i programmet *Fire Dynamics Simulator* med hjälp av programmet *Pyrosim* samt utrymningssimuleringar i *Pathfinder*, se avsnitt 1.3.1 respektive 1.3.2. En känslighetsanalys utfördes sedan för att få en uppfattning om hur de olika ingående parametrarna påverkade resultatet. Denna analys gjordes endast på utrymningssimuleringarna på grund av begränsad datorkapacitet. Analysen utfördes på sättet att olika konfigurationer testades för varje scenario, med ett annat personantal eller en till utrymningsväg. Dessa parametrar valdes eftersom det är de parametrar som kan komma att ändras vid eventuella åtgärdsförslag. Dessutom gjordes en så kallad one-way känslighetsanalys där alla parametrar ökades och minskades med samma andel, se avsnitt 5. Med simuleringarna samt

känslighetsanalysen som grund gjordes sedan ett antal åtgärdsförslag. Tillvägagångssättet illustreras i Figur 0.



Figur 0. Flödesschema av tillvägagångssätt.

### 1.3.1 Fire Dynamics Simulator

Programmet *PyroSim* erbjuder ett gränssnitt för CFD-programmet *Fire Dynamics Simulator* vilket användes för att simulera de brandförlopp som valdes för vidare analys. CFD är en akronym för *Computational Fluid Dynamics*, och är precis som namnet antyder en datormodell för att lösa dynamiska flödesproblem. Programmet använder en modell som heter *Large Eddy Simulation (LES)* – baserad på Navier-Stokes ekvationer – för att beräkna flödet i mindre volymer, vars dimensioner definieras av användaren, i ett 3-dimensionellt rutnät. Detta rutnät brukar även betecknas som "grid" eller "mesh".



*Fire Dynamics Simulators* (FDS) tillförlitlighet är starkt beroende på antalet celler<sup>1</sup> i modelldomänen<sup>2</sup>, och ju fler celler för en given modelldomän desto tillförlitligare resultat. Det finns emellertid en praktisk gräns för hur många celler som kan inrymmas i en modelldomän på grund av den processorkraft som erfordras. I många fall är det en fråga om kostnaden, dvs. längre simuleringstid, uppväger nyttan i form av bättre precision.

När simuleringar med högre upplösning, dvs. fler celler, inte längre ger bättre resultat har man uppnått något som kallas för nodkonvergens, vilket i praktiken innebär att nyttoaspekten blir försumbar. I den här rapporten har inga försök att uppnå nodkonvergens gjorts då detta skulle medföra alldeles för långa simuleringstider. Däremot har vikten av antalet celler *rent generellt* tagits hänsyn till.

FDS-simuleringarna utfördes på datorklustret *AURORA* som tillhandahålls av *LUNARC - Centrum för Tekniska och Vetenskapliga Beräkningar vid Lunds Universitet*. Ur resultaten erhöles, efter analys, den kritiska tiden för utrymning,  $t_{kritisk}$ , samt varseblivningstiden,  $t_{varsel}$ . Den kritiska tiden erhöles genom att avläsa tidpunkten då brandgaslagrets höjd hade passerat det definierade gränsvärdet. Varseblivningstiden erhöles genom att avläsa utslag från rökdetektorer. Om inga rökdetektorer fanns installerade, uppskattades ett värde för  $t_{varsel}$ .

### 1.3.2 Pathfinder

Programmet *Pathfinder* användes i syfte att simulera utrymning för de brandscenarier som valdes för vidare analys. I *Pathfinder* bygger man upp geometrier genom att lägga till golv, men även trappor och dörrar som sammanbinder golven, dvs. rummen. I rummen anges därefter antalet människor som förväntas vistas där. En viktig del av simuleringen är att genom egna försök eller litteratursökning ta fram statistiskt underlag för parametrar förknippade med tiden det tar för människor att utrymma. Detta innefattar gånghastighet och axelbredd.

---

<sup>1</sup> Celler är ett annat ord för rätblocken i modelldomänen.

<sup>2</sup> Modelldomänen är den fysikaliska miljö som ska simuleras. En modelldomän kan bestå av ett eller flera rutnät.



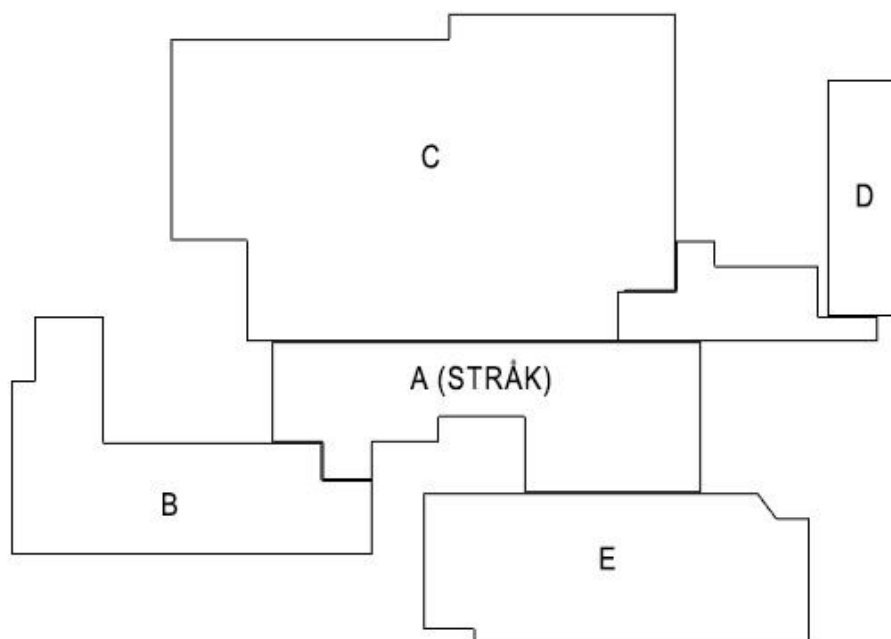
## 2 Objektbeskrivning

Bildningscentrum i Flen är en grundskola bestående av fyra äldre tegelbyggnader som förenats med ett inglasat gångstråk designat av Kenneth Gärdestad. Detta stråk stod, tillsammans med ombyggnationen av de äldre byggnaderna, klart sommaren 1999 och var resultatet av en arkitekttävling där ett av ledorden för det vinnande bidraget var "ses och synas".



Figur 1: Bildningscentrum i Flen efter ny- och ombyggnation. Huvudentrén till gångstråket syns till höger i bilden. (Bild med tillstånd från Flens kommun)

Skolan har elever från årskurs 5 till 9 och innefattar 13,000 kvadratmeter golvyta. Verksamhetsklass för skolan är i enighet BBR avsnitt 5 Vk2a, 2b, och Vk1 beroende på var i skolan man vistas. Byggnadsteknisk klass är Br1, alternativ Br0 om man tar hänsyn till bland annat ett stort personantal. Skolan är vidare uppdelad i sektioner enligt översiktsritningen i figur 2. Dessa sektioner är dock ej egna brandceller.



Figur 2: Översiktsritning. Skolans sektioner. Stråket länkar samman sektionerna.

Stråket utgör en samlingspunkt för eleverna och sammanbinder resterande fyra sektioner med varandra. En schematisk beskrivning av de olika sektionerna ges av tabell 1.

Tabell 1. Skolan består av flera byggnader som i sin tur består av olika plan.

Sektion	Plan	Källare	Vind/Loft
<b>A (Stråk)</b>	2	Nej	Nej
<b>B</b>	1	Ja	Nej
<b>C</b>	4	Nej	Ja
<b>D</b>	2	Ja	Ja
<b>E</b>	1	Ja	Ja

## 2.1 Sektioner

En genomgång av skolans olika sektioner presenteras nedan.

### 2.1.1 Sektion A (Stråket)

Stråket vars fasad består av glas är en kreativ miljö och präglas av ljus och öppenhet vilket gör det till en populär samlingsplats för elever. I direkt anslutning till stråket finns en innergård som utgör en del av utrymningsplanen. Denna nås via sammanlagt tre utrymningsvägar från stråket, två från plan 1 respektive en från plan 2. Dessa leder genom innergården, vidare in till Sektion B för att sedan leda ut till det fria. Utöver passager och innergård finns det i anslutning till stråket klassrum, kapprum, bibliotek och matsal.

### 2.1.2 Sektion B

Sektion B består av ett plan samt källarvåning. Byggnaden har en enkel planlösning i form av en L-formad korridor i anslutning till stråket som leder till resterande delar av byggnadens utrymmen. Vid brand aktiveras en brandklassad magnetuppställd dörr vilket innebär att passagen mellan stråk och sektion B på första våningen blockeras. Denna passage utgör en del av utrymningsplanen från stråket via innergården.

### 2.1.3 Sektion C

Sektion C består av fyra plan samt vindsutrymme och är den enda byggnaden där elever förväntas befinna sig i lokaler ovanför plan 2. På plan 3 och 4 antas persontätheten emellertid vara betydligt lägre än underliggande plan. En stor del av ytarean på plan 1 utgörs av de två innergårdarna samt biblioteket.

### 2.1.4 Sektion D

I sektion D finns i huvudsak lokaler ämnade åt musikalisk verksamhet. Dessa utgör en betydande del av tillgängliga utrymmen.

### 2.1.5 Sektion E

Sektion E består av ett plan samt källarvåning och vind. På källarvåningen bedriver kökspersonalen sin dagliga verksamhet. I anslutning till köket finns en korridor som leder till ett antal loger där elever förväntas befinna sig några gånger per månad. Ovanför källarplanet finns, utöver kök och matsal, en 320 kvadratmeter stor aula – varav 110 m<sup>2</sup> utgörs av scenen – med 230 sittplatser och en maxkapacitet på 360 människor. Takhöjden i aulan är 8 m, och inga aktiva system finns installerade. Bakom sittplatserna finns en entresol där instrument och annan elektronik förvaras öppet.

## 2.2 Befintligt brandskydd

Skolan är dimensionerad för maximalt 1140 personer.

### 2.2.1 Brandlarm

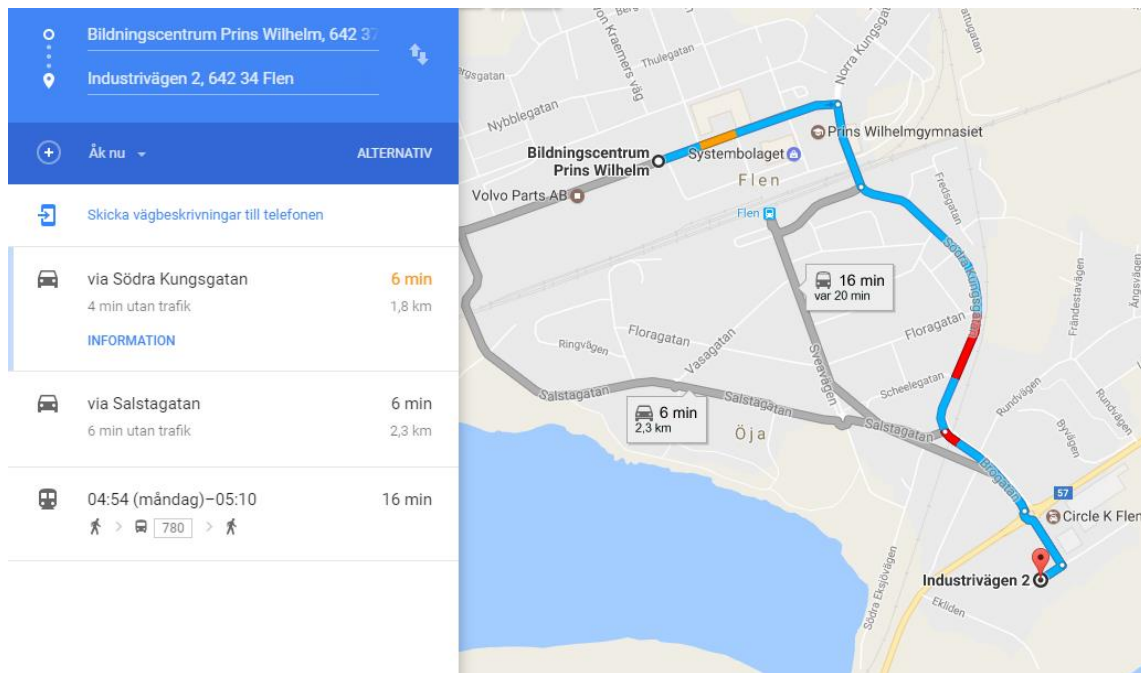
Ett brandlarmsystem med rökdetektorer finns installerat i korridorer och trapphus. Stråket täcks med hjälp av linjerökdetektorer och övriga delar med punktdetektorer. I bilaga C hittas fullständig brandlarmslarmplan.

### 2.2.2 Sprinklersystem

Ett sprinklersystem finns i stora delar av skolan för plan 1 och 2. Det matas med kommunalt vatten och som utlösande mekanism har man glasbulber som aktiveras vid 68° C. Se bilaga B för ritningar över sprinklersektioner.

### 2.2.3 Räddningstjänst

Räddningstjänsten är belägen ungefär 2 km från skolan. Det beräknas inte ta mer än 10 minuter för räddningstjänsten att vara på plats från det att larmet går, se figur 3.



Figur 3: Körväg från räddningstjänst till skolan

Befintligt vägnät runt byggnaden anses uppfylla de kriterier som finns vad gäller räddningsvägar. Vidare är utrymningsvägar i skolan dimensionerade i den grad att stegutrymning ej förväntas någonstans.

## 2.2.4 Utrymning

Utrymningsplanen är dimensionerad enligt schablonregler från Boverkets "Utrymningsdimensionering". För gångavstånd till närmsta utrymningsväg gäller därmed

- 45 m från osprinklade kontor och liknande
- 30 m från skollokaler. Vid "återvändsgränd" ska sträckan multipliceras med 2
- 40 m om det är sprinklat

Vidare är samtliga dörröppningar minst 0,8 m i brandceller dimensionerade för färre än 150 personer. I brandceller med högre personantal är fri dörrbredd 1,2 m. Detta gäller även för dörrar och trapplopp som leder till det fria. Utrymningsplaner finns uppsatta, men det skall dock tas i beaktning att dessa på flertalet ställen inte är uppdaterade. Det finns även brister vad gäller skyltning.

## 2.2.5 Brandgasventilation

Stråket är försett med brandgasventilerande takfönster som aktiveras vid larm. Den sammanlagda öppningsarean för frånluft är 20 m<sup>2</sup>. Tilluftsarean vid golvnivå är av samma storlek. Detta ger, enligt beräkningar utförda vid projekteringen, en brandgasfri höjd på 7 och 8 m för 7,5 respektive 15 MW effektutveckling. En förutsättning för beräkningarna var att brandbelastningen antogs understiga 200 MJ/m<sup>2</sup> samt att tillväxthastigheten antogs följa NPFA:s mediumutveckling.

Därutöver har 1 m<sup>2</sup> brandgasventilation installerats i trapphus som saknar öppningsbara fönster i något plan. Aktivering sker från entréplanet av räddningstjänst.

### 2.2.6 Övrigt

Utöver det tidigare nämnda finns det handbrandsläckare och brandposter utplacerade i byggnaden. Brandspjäll finns installerade i ventilationssystemet och aktiveras vid detektion av brand.

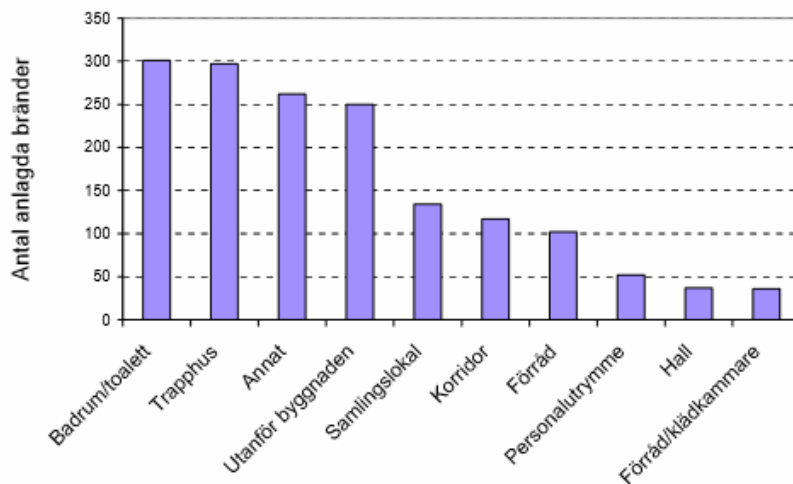




### 3 Grovanalys/Riskidentifiering

Efter genomfört platsbesök kunde ett antal risker identifieras. Med risker avses potentiella brandscenarier där människoliv riskeras. Dessa scenarier har därefter bedömts kvalitativt utefter två faktorer, sannolikhet och konsekvens. För dessa faktorer har en skala på 1–5 använts där ett högre nummer är allvarigare än ett lägre. Respektive scenario representerar ett "värsta möjliga fall" vilket innebär att om en brand uppstår i t.ex. korridor väljs endast den korridor som bedöms som värst belägen och brandbelastning väljs sedan utefter vad som kan ses som troligt men ändå utmanande.

Underlag för sannolikhetsbedömningar baseras i huvudsak på statistik från myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). Mellan åren 1998 och 2007 skedde det mellan 300 och 450 bränder per år på skolor i Sverige och ungefär hälften av dessa var anlagda. Statistik över var bränder i skolor startas (Per Blomqvist, 2009) visas i figur 4 nedan. Som synes i detta diagram anläggs bränder ej endast i vissa lokaler och det innebär att det krävs en viss fantasi för att förutsäga startutrymmen och brandscenarier.



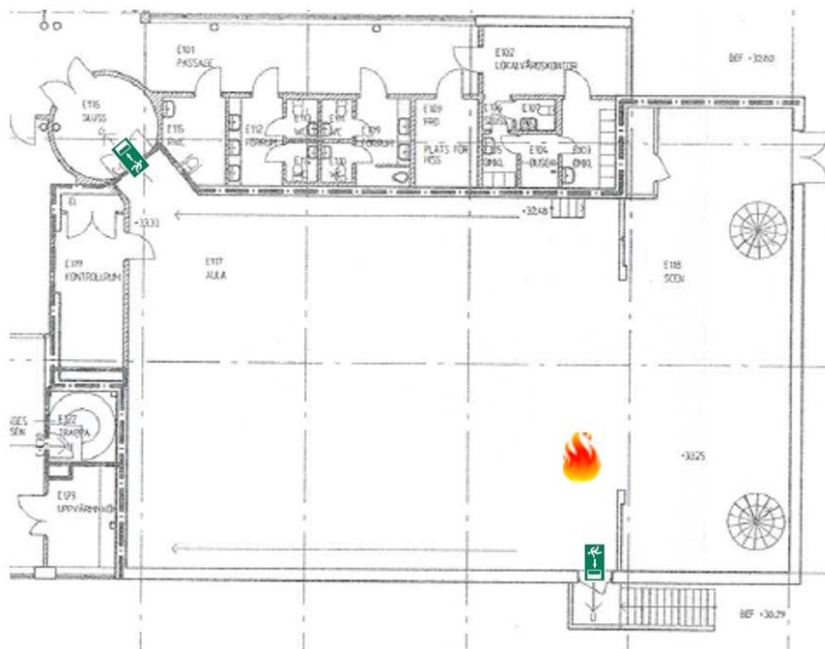
Figur 4: Statistik från Myndigheten för samhällsskydd och beredskap över startutrymmen vid brand i skola.

#### 3.1 Scenario A: Brand i Stora aulan

I sektion E av byggnaden inryms den stora aulan som är dimensionerad för 360 personer. I den främre delen av rummet är det en scen på 110 m<sup>2</sup>. På höger sida, sett från bakre kortsida, om denna scen finns en av två nödutgångar, den andra återfinns längst bak i det vänstra hörnet. Större delen av rummet tas upp av ca 230 sittplatser. I den bakre delen av rummet finns det en upphöjd balkong där det förvaras mycket elektronik som används för att styra belysning och annan utrustning. Denna elektronik är en av de två identifierade brandriskerna. Utöver denna är det rekvisita som finns på scenen vid evenemang som är av intresse. Varken sprinkler eller rökdetektorer finns installerade i aulan.

Konsekvensgraden bedöms som stor. Detta baserar sig i huvudsak på den stora persontätheten i lokalen. Sannolikheten för en brand bedöms som trolig, detta med ursprung i den statistik som presenterats tidigare. Man kan där se att sannolikheten för brand i samlingslokaler är jämlig med den för en brand i korridorer.

Konsekvens: 4 Sannolikhet: 3

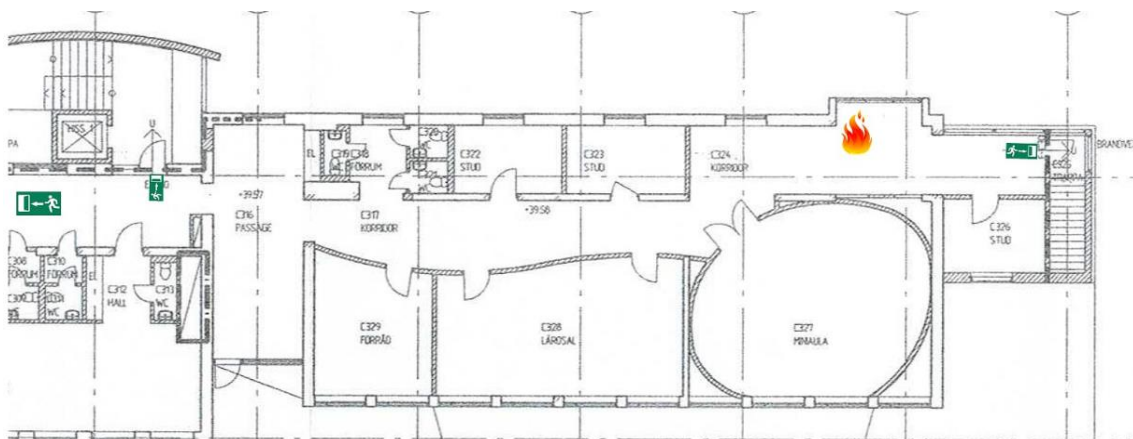


Figur 5: Figur över scenariot brand i stora aulan.

### 3.2 Scenario B: Brand i korridor sektion E, plan 3

I byggnaden utgör flera korridorer knytpunkterna för utrymning. Detta har som följd att i ett scenario där en korridor helt eller delvis rökfylld bedöms utrymningen bli problematiskt. Enligt statistik är bränder i korridorer inte ovanliga. En korridor av intresse är den som visas i figur 6 nedan. Den är belagd på plan 3 i sektion E och till denna korridor ansluter flera klassrum samt en mindre aula. Korridoren är vidare utrustad med rökdetektorer. Notera att denna aula endast har en utrymningväg. Konsekvensen av en brand i denna korridor bedöms därför som hög, givet att personer befinner sig i miniaulan.

Konsekvens: 5 Sannolikhet: 3



Figur 6: Figur över scenariot brand i korridor

### 3.3 Scenario C: Brand i bibliotek

Skolans bibliotek på plan 1 innehåller mycket lättantändligt material samt har en hög brandbelastning. Den ligger även i anslutning till och i samma brandsektion som två korridorer samt stråket. Vid en välutvecklad brand antas läckage till dessa närliggande korridorer ske. En sådan utveckling tar dock tid, speciellt med tanke på att biblioteket är sprinklat. Mot bakgrund av detta samt att persontätheten i bibliotek och närliggande utrymmen är låg bedöms risken för människoliv som låg.

Det är svårt att med god säkerhet bedöma sannolikheten för en sådan brand då denna kategori inte är med som en egen kategori i det statistiska underlaget, men den uppskattas som likvärdig med sannolikheten för en brand i en korridor.

Konsekvens: 2 Sannolikhet: 3

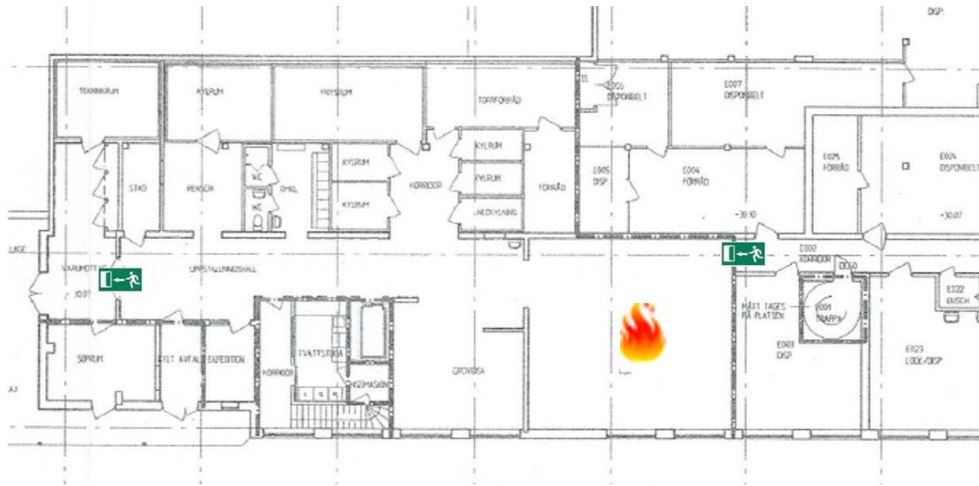


Figur 7: Figur över scenariot brand i bibliotek.

### 3.4 Scenario D: Brand i kök

Sannolikheten för brand i köket på plan 0 bedöms vara medelstor. Även om kök inte utgör någon riskzon vad gäller anlagda bränder medför hanteringen av oljor och annat brännbart att mindre bränder kan förväntas uppkomma. Konsekvensen bedöms som ringa då det inte antas vistas några elever i köket samtidigt som köket är belagt i skolans källarplan och utgör en egen brandcell. Därtill förväntas anslutande utrymmen ha en låg persontäthet. Risken vid en brand är följaktligen att kökspersonalen skadas. Personalen har dock god lokalkännedom och förväntas utrymma snabbt. En negativ effekt är dock att det går en utrymningsväg för andra delar av byggnaden genom köket och vid en eventuell brand skulle den bli oanvändbar. Det finns dock alternativa utrymningsvägar som bedöms som dugliga.

Konsekvens:1 Sannolikhet: 3

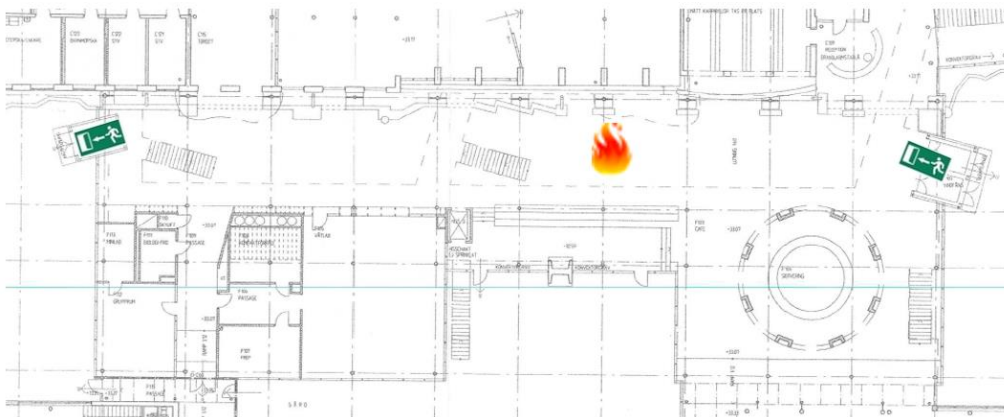


Figur 8: Figur över scenariot brand i kök

### 3.5 Scenario E: Brand i stråk

En brand i det inglasade stråket kan ge stora konsekvenser ifall den förhindrar utrymning. Då flera stora utrymningsvägar går genom entréhallen är det möjligt att resterande utrymningsvägar blir överfulla. Dock bedöms sannolikheten som väldigt låg att detta sker. Brandbelastningen är låg samt att stråket är sprinklat, larmat samt försett med brandgasventilation. Den öppna miljön leder vidare till att en eventuell brand i byggnaden kan upptäckas fort och att utrymningen därmed kan ske på ett obehindrat sätt.

Konsekvens: 2 Sannolikhet: 2

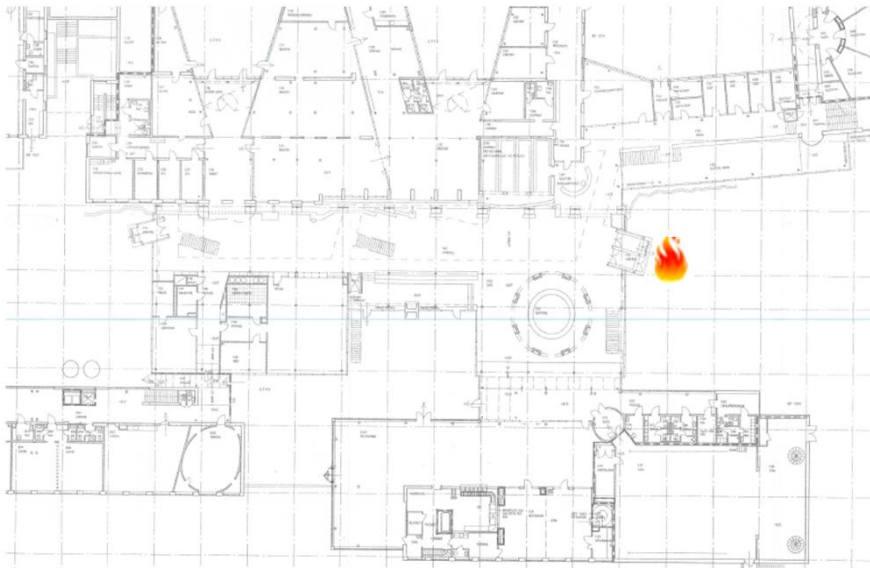


Figur 9: Figur över scenariot brand i stråket

### 3.6 Scenario F: Utomhusbrand vid Huvudentrén

Ett vanligt scenario är att något föremål, till exempel en bil, moped eller en barnvagn, positioneras vid en Entré och sedan antänds. (Klason, Johansson, & Andersson, 2010) Huvudentrén har identifierats som en trolig position där detta kan ske men konsekvensen för detta bedöms som låg. Entrén, och husfasaden, är gjord av brandtåliga material såsom cement, tegel, och metaller. Även om dessa kan ta skada vid en brand som denna bedöms individsäkerheten som opåverkad. Det finns fler utrymningsvägar ut ur stråket och persontätheten är normalt låg.

Konsekvens: 1 Sannolikhet: 4



Figur 10: Figur över brand vid huvudentrén.

### 3.7 Scenario G: Toalettbrand på första våningen, sektion D

Sannolikheten för att en brand på toalett bedöms som väldigt hög. Konsekvensgraden är beroende av ett antal faktorer: hur mycket brännbart material finns i utrymmet, hurvida dörren är stängd eller öppen, och hur närliggande utrymmen är utformade. Även om brandbelastningen i toaletten är låg kan branden utvecklas och bli till en reell fara innan varseblivning. Det är även ett dolt utrymme vilket gör detektion svårare. I vårt fall startar branden på en toalett i sektion D på plan 1 som är i anslutning till ett litet slutet utrymme. Enda utrymningsväg från en av skolans musikrum är via detta utrymme vilket kan bli problematiskt vid en utvecklad brand. Slussutrymmet i anslutning till musikrummet är utrustat med rökdetektor.

Konsekvens: 3 Sannolikhet: 5

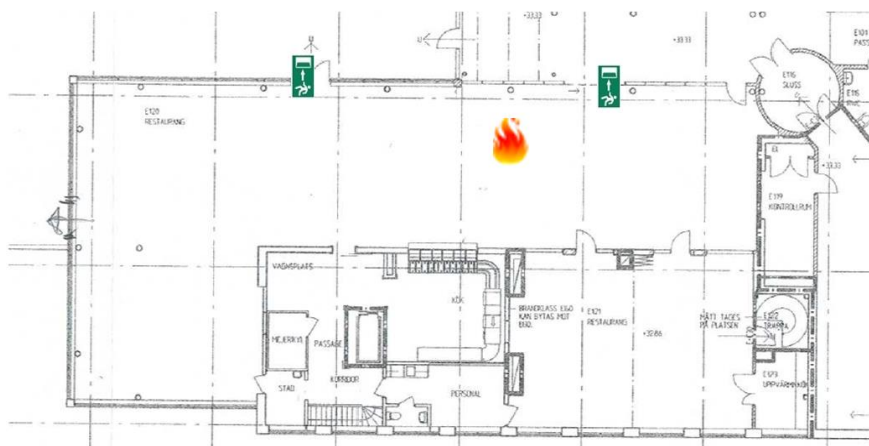


Figur 11: Figur över scenariot brand i toalett.

### 3.8 Scenario H: Brand i matsal

Skolans matsal serverar ca 500–600 personer per dag. Matsalen är därför ett av de mer persontäta utrymmena i skolan och det kan därför vara en högriskzon under lunchtid. Det finns två utrymningsvägar ut ur den sprinklade lokalen. Sannolikheten för att en anlagd brand skall ske i lokalen bedöms dock som låg då lokalen är öppen och folk lär ha uppsikt över ett eventuellt illdåd. Om det ändå skulle ske en form av anlagt brand torde den snabbt upptäckas och kunna släckas och konsekvenserna kan därför också räknas som låga.

Konsekvens: 2 Sannolikhet: 2



Figur 12: Figur över brand i matsal

### 3.9 Scenario I: Brand i trapphus, sektion C

Av statistiken att döma är detta ett av de mer sannolika scenarierna. Konsekvenserna bedöms dock bli låga, även om trapphuset rökfylls påverkas ej individsäkerheten markant. Det finns andra utrymningsvägar och trapphus att ta sig ut genom och i ett brandscenario kommer elever samt personal välja dessa vägar istället.

Konsekvens: 1 Sannolikhet: 5



Figur 13: Figur över scenariot brand i trapphus

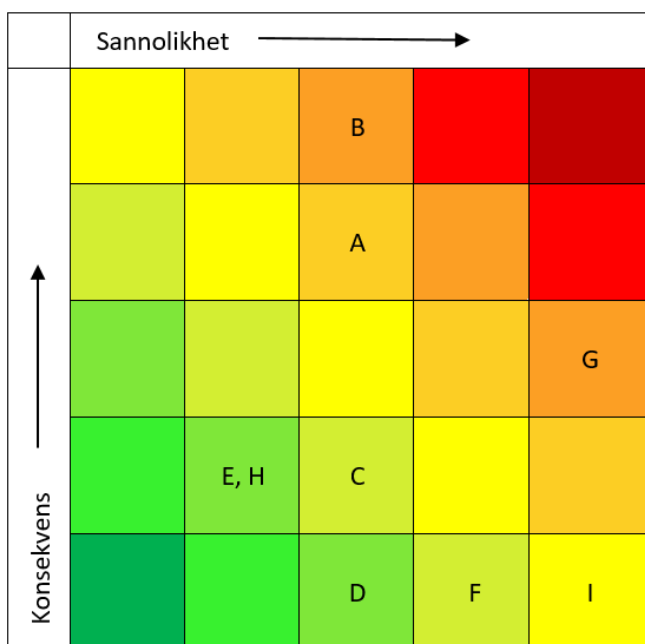


### 3.10 Slutsatser

Målet med grovanalysen var att kvalitativt utvärdera ett antal scenarion för att sedan avgöra vilka av dessa som är lämpade för en grundligare utvärdering. Utgångspunkten har varit att de scenarion som är av intresse är de som bedöms ha högsta risken. Begreppet *Risk* har i detta fall definierats enligt

$$Risk = Sannolikhet \cdot Konsekvens$$

Detta har även visualiserats med hjälp en riskmatris vilket syns nedan. I denna framgår att det är scenariona A (*Brand i Stora Aulan*), B (*Brand i korridor sektion E*) samt G (*Toalettbrand i sektion D*) som bedöms utgöra de största riskerna. Dessa väljs därför för vidare utvärdering.



Figur 14: Riskmatris där konsekvens och sannolikhet för de olika riskerna jämförs





## 4 Brandscenarier

Nedan beskrivs de brandscenarier som valts för vidare analys. Först beskrivs förutsättningar och antaganden. Därefter redogörs underlag som ligger till grund för brand- och utrymningsmodeller i programmen *Fire Dynamics Simulator* och *Pathfinder*. Resultat från simuleringar presenteras därefter under respektive avsnitt.

### 4.1 Generella antaganden och förutsättningar

I de två nedanstående avsnitten presenteras de antaganden och förutsättningar som gäller för alla scenarion.

#### 4.1.1 Brandsimuleringar

Eftersom det finns oändligt många scenarier som kan tänkas uppstå är det i praktiken omöjligt att utvärdera samtliga. Därför konstrueras scenarier som bedöms representera de "värsta troliga" scenarierna i respektive utfallsrum. Detta kan närmast beskrivas som en kvalitativ uppskattning av 95 percentilen av möjliga utfall. Framtagna effektkurvor presenteras under respektive brandscenarioavsnitt och har använts som underlag för att konstruera effekttutvecklingen i FDS genom *RAMP*-parametern. Uppskattad brandbelastning och effekttutveckling är i många fall i grund och botten en ingenjörsmässig bedömning, och således subjektiv. Det går alltid att argumentera för en högre brandbelastning, men även en lägre sådan. Strikta vetenskapliga eller statistiska motiveringar är ofta inte möjliga och i slutändan måste gränsen dras någonstans, i den mån det är möjligt.

För brandtekniska indata till FDS-simuleringarna där specifikt informationsunderlag saknas används schablonvärden enligt riktlinjer för brandtekniska riskanalyser. Detta innefattar sot- och CO<sub>2</sub>-produktion som antas till 0.03 kg/kg respektive 0,01kg/kg för samtliga scenarier. Värdena har hämtats från rapporten *Selecting design fires* (Staffansson, 2010). Dessa värden står i kontrast till allmänna råd från *BBRAD* som anger 0,1 g/g för sot- och CO<sub>2</sub>-produktion. I verkligheten är det ekvivalensförhållandet som styr CO<sub>2</sub>- och sotproduktionen; välventilerade bränder ger i regel upphov till låga koncentrationer kolmonoxid och sot. Kolmonoxid är, precis som sotpartiklar, en restprodukt som bildas vid ofullständig förbränning. (Beyler, 1986) (Rhodes, 2011) Under antagandet att samtliga brandscenarier är välventilerade är det motiverat att använda de lägre värdena från *Selecting design fires* som utgångspunkt vid simuleringarna.

För att avgöra vilken cellstorlek som ska användas i respektive simulering gjordes beräkningar. FDS-handboken (NIST, 2014) rekommenderar att cellerna i modelldomänen som omfattas av branden väljs i enighet med karakteristisk branddiameter  $D^*$ , se ekvation 4.1, genom cellstorleken  $dx$ . Detta ger en uppskattning av huruvida meshen är fin nog för de beräkningar som sker i, och omkring flammen. Mellan 10 – 15 anses vara tillräckligt bra men över 15 är att föredra. (NIST, 2014). Detta har beaktats vid val av meshstorlek.

$$D^* = \left( \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} C_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (4.1)$$

där

- $\dot{Q}$  = Brandeffekt
- $\rho$  = Densitet för omgivande luft
- $C_p$  = Specifik värme för omgivande luft
- $T_{\infty}$  = Temperatur för omgivande luft (293 K)
- $g$  = Tyngdacceleration (9,82 m/s<sup>2</sup>)

Målet med simuleringarna i FDS är att få fram information om brandgaslagrets höjd och temperatur samt strålning från brandgaslagret. Övriga variabler som också påverkar utrymning är siktbarhet och toxicitet. Dessa är emellertid av sekundärt intresse eftersom både toxicitet och siktbarhet beror på brandgaslagrets höjd. Siktbarhet och toxicitet förväntas försvåra utrymning endast om brandgaslagret nått ner till en nivå som redan överskrider gränsvärdet för brandgaslagrets höjd.

Gränsvärden för "Godtagbar exponering vid utrymning", så kallade kritiska förhållanden, hämtas från BBRAD (Boverkets författningssamling, 2013), se figur 15. Dessa kriterier gäller i regel vid analytisk dimensionering av brandskydd, men kan vara användbara vid brandtekniska riskanalyser då kvantitativa bedömningar erfordras. Exempelvis är gränsvärdet för brandgaslagrets höjd för en 2,5 m hög lokal 1,85 m, vilket är något över medellängden för en man i Sverige. (Samuelsson, 2012). Det ska också tas i beaktning att tid till kritiska förhållanden är då personer förväntas utsättas för "obehag", det är inte ett dödligt tillstånd.

Kriterium	Nivå
1. Brandgaslagrets nivå ovan golv	lägst 1,6 + (rumshöjden (m) x 0,1)
2. Siktbarhet, 2,0 ovan golv	10,0 m i utrymmen > 100 m <sup>2</sup>
	5,0 m i utrymmen ≤ 100 m <sup>2</sup> . Kriteriet kan även tillämpas för situationer där köbildning inträffar i ett tidigt skede vid den plats kön uppstår.
3. Värmestrålning/Värmedos	max 2,5 kW/m <sup>2</sup> eller en kortvarig strålning på max 10 kW/m <sup>2</sup> i kombination med max 60 kJ/m <sup>2</sup> utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m <sup>2</sup>
4. Temperatur	max 80 °C
5. Toxicitet, 2,0 m ovan golv	Kolmonoxidkoncentration (CO) < 2 000 ppm Koldioxidkoncentration (CO <sub>2</sub> ) < 5 % Syrgaskoncentration (O <sub>2</sub> ) > 15 %

(BFS 2012:13).

Figur 15: Nivå för kritisk påverkan vid analys av utrymnings säkerhet.

I samtliga fall har bränslen i FDS definierats genom att anta ett representativt bränsle, men ingen större vikt läggs vid valet av bränsle i koden. Detta beror på att det definierade bränslet i FDS inte har någon betydelse för resultaten som efterfrågas så länge värden för sot produktion, CO-produktion och förbränningsentalpi anges. (NIST, 2014)

Värmetransport genom väggar antas ha en försumbar betydelse för resultatet under den korta simuleringstiden. Detta leder till ett antal simplifieringar och antaganden i FDS vad gäller väggarnas värmetekniska egenskaper, såsom tjocklek och material; om inget annat anges antas väggar bestå av betong eller tegel. Vidare görs även förenklingar för geometrier. Detta beror till viss del på ovan nämnda antaganden, men även på programmets begränsningar samt att valda celldimensioner är förhållandevis grova. Exempelvis förenklas runda utrymmen till fyrkantiga geometrier.

#### 4.1.2 Utrymningssimuleringar

Förenklat kan utrymningstiden delas upp i tre skilda delar enligt följande ekvation

$$t_{utrymning} = t_{varsel} + t_{förberedelse\text{tid}} + t_{förflyttning} \quad (4.2)$$

där

- $t_{utrymning}$  = den totala utrymningstiden
- $t_{varsel}$  = tiden från att branden har börjat till att personen blir medveten om detta
- $t_{förberedelse\text{tid}}$  = tiden mellan att en person blir medveten om branden till att den beslutar sig för att evakuera
- $t_{förflyttning}$  = tiden det tar för personen att förflytta sig från sin startposition ut ur huset.

Varseltiden och förberedelse tiden fås genom att använda tabellvärden eller andra metoder, medan förflyttningstiden är det som egentligen simuleras i Pathfinder. Varseltiden och förberedelse tiden kan dock påverka förflyttningstiden. Ett exempel på detta är en person som står i vägen för en utrymmande person. Men även andra parametrar påverkar utrymningstiden, såsom gånghastighet, axelbredd, handikapp för att nämna några. Alla dessa parametrar måste definieras av ingenjören och grundar sig förhoppningsvis på forskning och, om detta saknas, på rimliga antaganden.

För utrymningssimuleringarna har programmet Pathfinder använts. Målet med dessa utrymningssimuleringar har varit att ta fram en tid för utrymning, som har definierats som den tid det tar för alla personer att utrymma till säkerhet. Då utrymningstiden har en naturlig variation samt att simuleringarna har en viss osäkerhet användes medelvärdet från nio iterationer som ett representativt värde.

Nedan följer en lista med allmänt simuleringsunderlag till Pathfinder som, om inget annat anges gäller för varje scenario:

Tabell 2: Generell indata till Pathfinder simuleringar

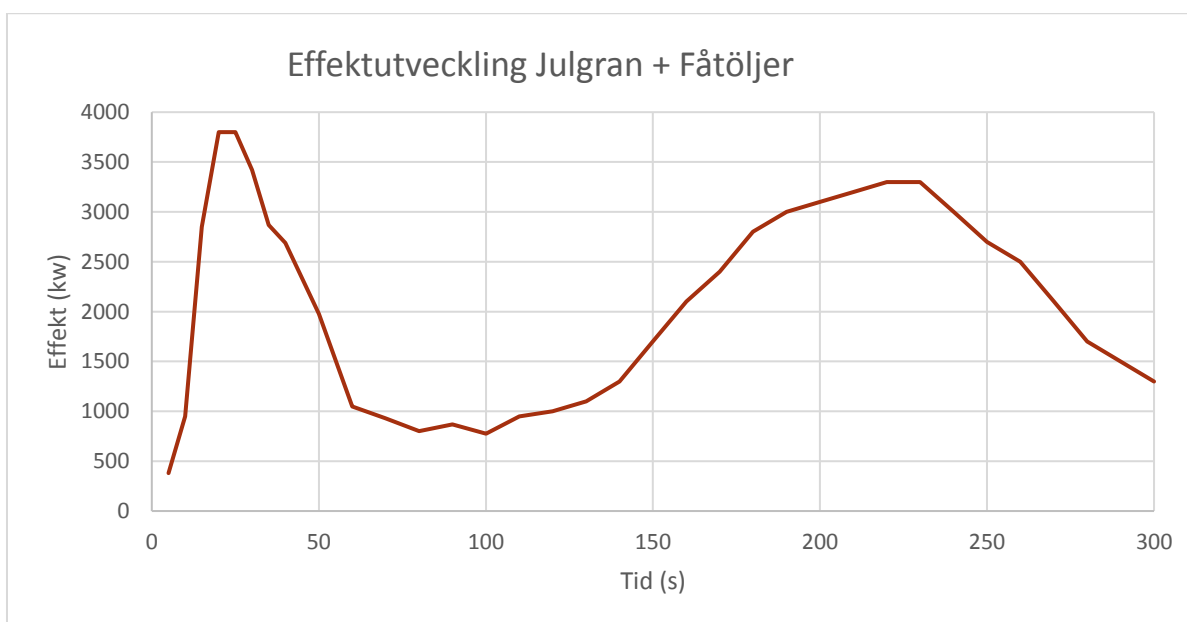
Parameter	Värde	Källa
$t_{förberedelse\text{tid}}$	60 (s)	(Boverkets författningssamling, 2013)
<b>Andel funktionshindrade elever</b>	16 %	(Stiftelsen Funka, 2015)
<b>Axelbredden</b>	40,46-45,72 (cm)	(Rotatori, 1985)

<b>Hastighet för Funktionshindrade</b>	0,1 – 1,77 (m/s)	Tabell 3-13,2 (SFPE, 2015)
<b>Gånghastighet</b>	0,51 – 1,77 (m/s)	(Boverkets författningssamling, 2013)

Andel funktionshindrade elever valdes konservativt till 16 %. Hastighet och axelbredd angavs i Pathfinder som fördelningar.

#### 4.2 Scenario A: Brand i Stora aulan

I detta fall görs antagandet att värsta troliga fall är en brand under ett uppträdande. Aulan antas vara fullsatt med 360 personer inklusive de som står vid scenen. Branden uppstår i rekvisita i form av en julgran som fattar eld. Julgranen är placerad nära den främre nödutgången vilket inkapaciterar denna. Se figur 5 för brandens placering i rummet. Branden sprider sig sedan till ytterligare rekvisita i form av två fåtöljer. En effektkurva för det tidiga brandförloppet har tagits fram genom att använda försöksdata dels från ett försök med julgran (Madrzykowski, 2008; Hurley, 2016), där en julgran av en större modell valdes och dels från försök med möbler (U.S. Department of Commerce, 1982). Ett konservativt antagande om effektutvecklingen har gjorts då den inledande fasen av fåtöljbranden trunkerades för att få en snabbare effektutveckling. Enligt detta försök kommer granen nå sin maxeffekt efter ca 30 sekunder och då antas Fåtölj 1 antända. Fåtölj 2 antänds efter ytterligare 30 sekunder. Effektkurvan åskådliggörs i figur 16 nedan.



Figur 16: Effektutveckling för brand pönerad brand i aula, beräkning av effektkurvan återfinns i bilaga C.

#### 4.2.1 Brandmodellering i FDS

Nedan presenteras indata och resultat från simuleringen av brandförloppet i FDS.

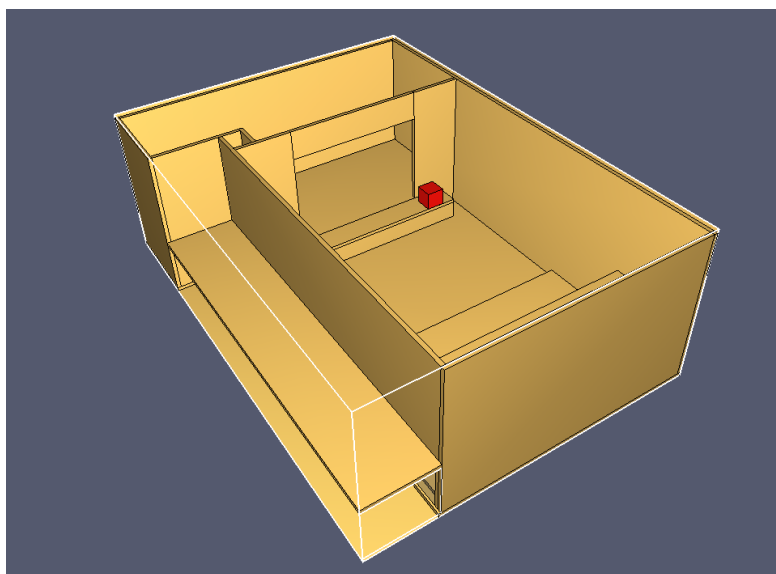
##### 4.2.1.1 Indata

De viktigaste parametrarna presenteras överskådligt i tabell 3 nedan. För fullständig kod, se Bilaga G.

Tabell 3. Några av parametrarna för FDS-kod till Aulabrand

Parameter	Värde
Cellstorlek	0,2 m
$D^*/dx$	8
Simuleringstid	300 sekunder
Förbränningsentalpi	17,9 MJ/kg

Effektkurvan lades in i indatafilen och ett värde på förbränningsentalpi angavs till 17.9 MJ/kg hämtat från samma rapport som effektutvecklingen för fåtöljen hämtades från (U.S. Department of Commerce, 1982). Förbränningsvärmens är här uppmätt för fåtöljen, men i simuleringen approximeras julgranen ha samma förbränningsvärme. Detta kan göras då förbränningsvärme för trä ligger mellan 15 och 20 MJ/kg beroende på träslag och fukttinnehåll. Väggar och tak har antagits bestå av tegel och approximeras till 20 cm tjocka. Andra förenklingar som gjorts är att golvet har gjorts plant med två nivåer istället för ett lutande golv. Branden har approximerats till en kub med sidorna  $1 \times 1 \times 1$  m med effektutveckling per area enhet som motsvarar maxeffekten från branden delat med de fem sidorna ovan golv. Geometrin åskådliggörs i figur 17.



Figur 17: Geometrin till FDS-simulering gjord i Pyrosim (tak har i figuren gjorts osynligt)

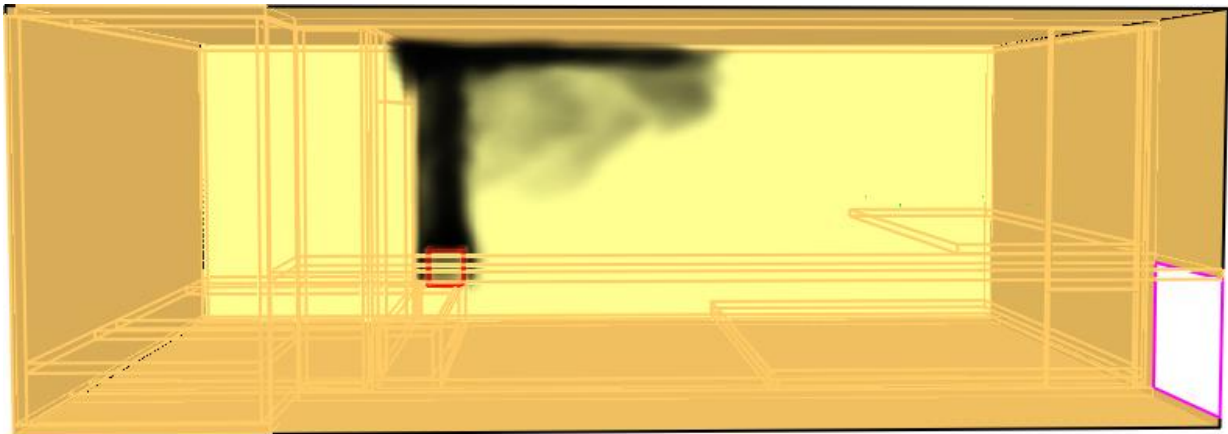
Beräkning av karakteristisk branddiameter genom  $dx$  enligt ekvation 1.1 gav ett värde på ungefär 8 för 0,2 meters celler och 16 för 0,1. Trots detta valdes 0,2 m cellstorlek i simuleringen då 0,1 m gav orimligt lång simuleringsstid. Större celler antas ge konservativa värden för tid till rökfylldhet samt temperatur i rummet. Detta eftersom FDS räknar på medelvärden i varje cell och större celler gör då att det tar mindre tid för att sprida brandgaserna gentemot små celler. Simuleringstiden sattes till 300 sekunder då personsäkerhet ligger i fokus och mer tid ansågs ge för lång simuleringsstid.

#### 4.2.1.2 Resultat av simulering

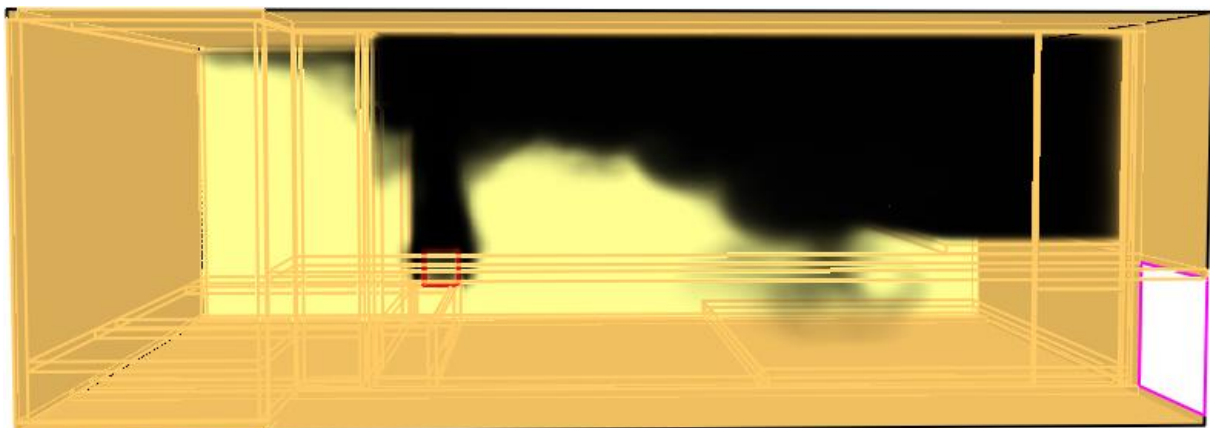
Takhöjden i aulan är 8 meter vilket i enlighet med nivån för kritiska förhållanden, figur 13, så blir gränshöjden för brandgaser:  $1,6 \cdot 0,1 \cdot 8 = 2,4$  meter. Detta ger enligt CFD-simulering att tiden till då brandgaserna är under 2,4 meter blir 125 sekunder, se figur 24.

För de övriga förhållandena görs bedömningen att de kommer ta längre tid att överstiga gränsvärdena för dessa. Siktbarheten anses inte överstiga gränsvärdet innan brandgaserna har nått ner till höjden. Temperaturutvecklingen i rummet visas i figur 23, efter 200 sekunder är inte temperaturen över kritisk nivå 80 °C vid 2,4 meter. Eftersom temperaturen i brandgaserna är så pass låg bedöms inte strålningen överstiga kritisk nivå innan 125 sekunder. För toxicitet antas gränsvärden ej överstigas innan brandgaserna nått kritiska höjden av 2,4 meter.

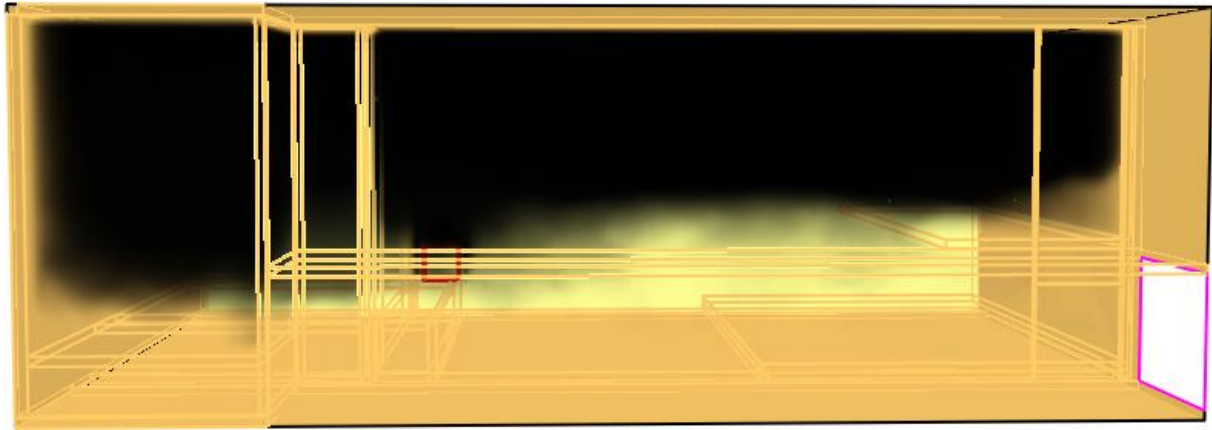
Rökutvecklingen efter 10, 30, 60, 90 respektive 150 sekunder framgår av figur 18-22.



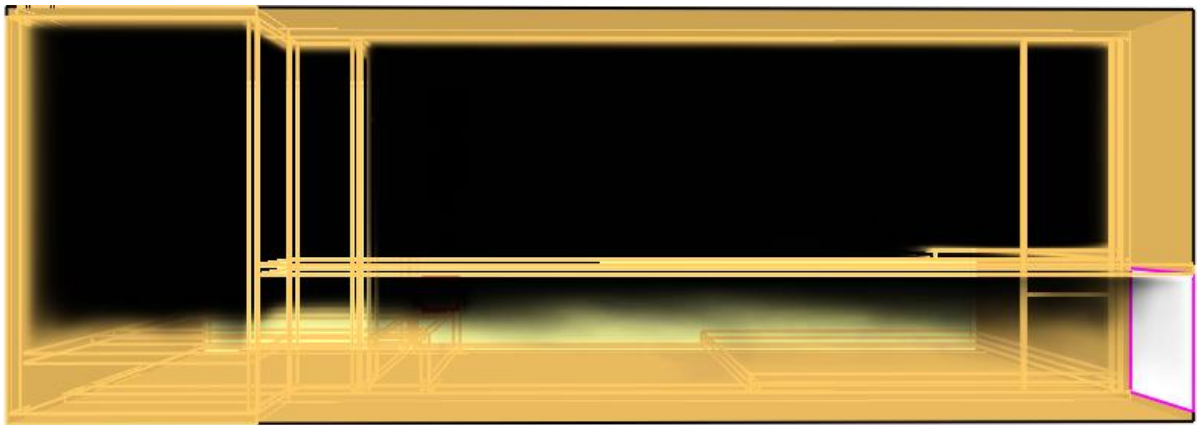
Figur 18. Rökutveckling efter 10 sekunder.



Figur 19. Rökutveckling efter 30 sekunder



Figur 20. Rökutveckling efter 60 sekunder

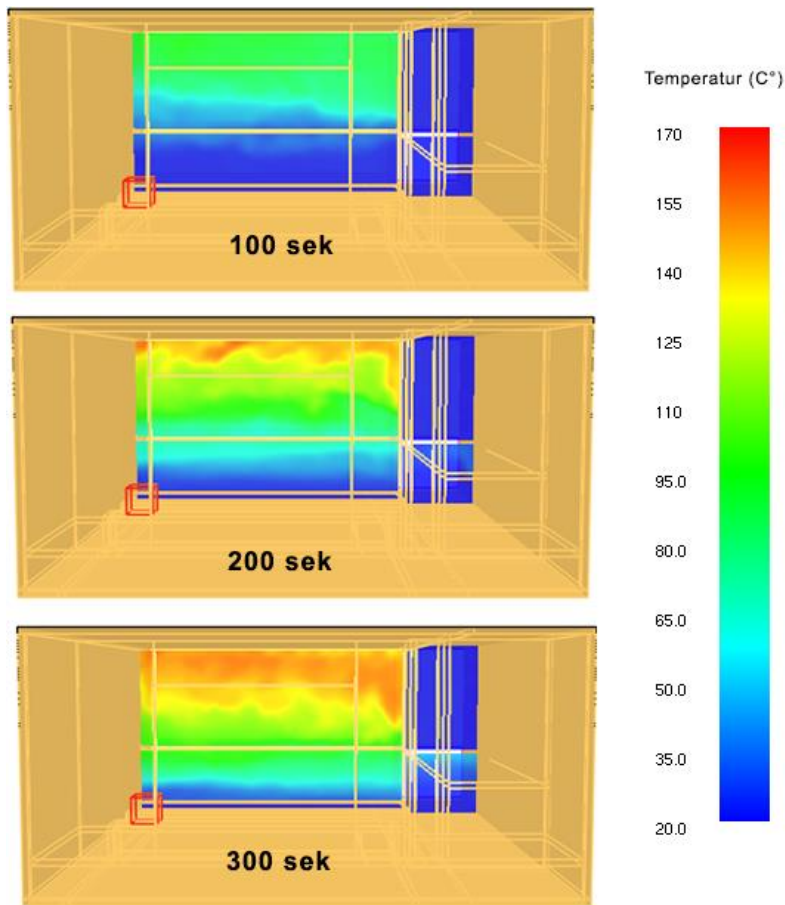


Figur 21. Rökutveckling efter 90 sekunder

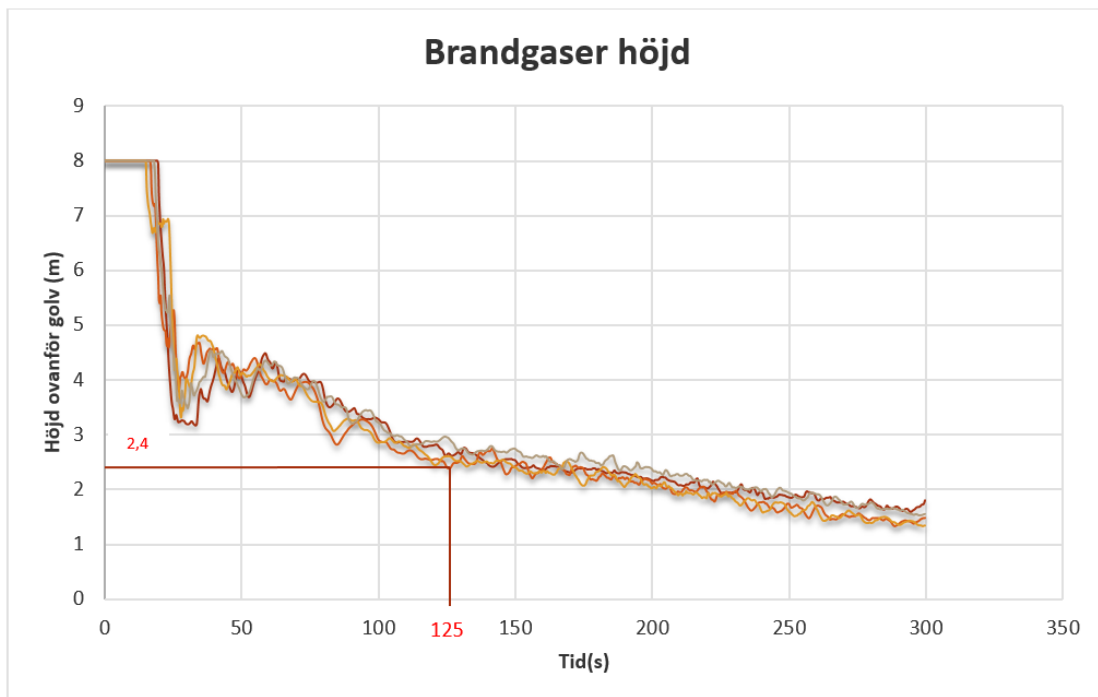


Figur 22. Rökutveckling efter 150 sekunder

Temperaturen i aulan efter 100, 200 respektive 300 sekunder framgår av figur 23.



Figur 23: Temperaturen i aulan efter 100, 200 och 300 sekunder se figur 24 för brandgasernas höjd över golvet.



Figur 24: Brandgasernas höjd över golv, på de fyra mätpunkterna, enligt simulering i CFD, efter 125 sekunder nås den kritiska höjden av 2,4 meter.

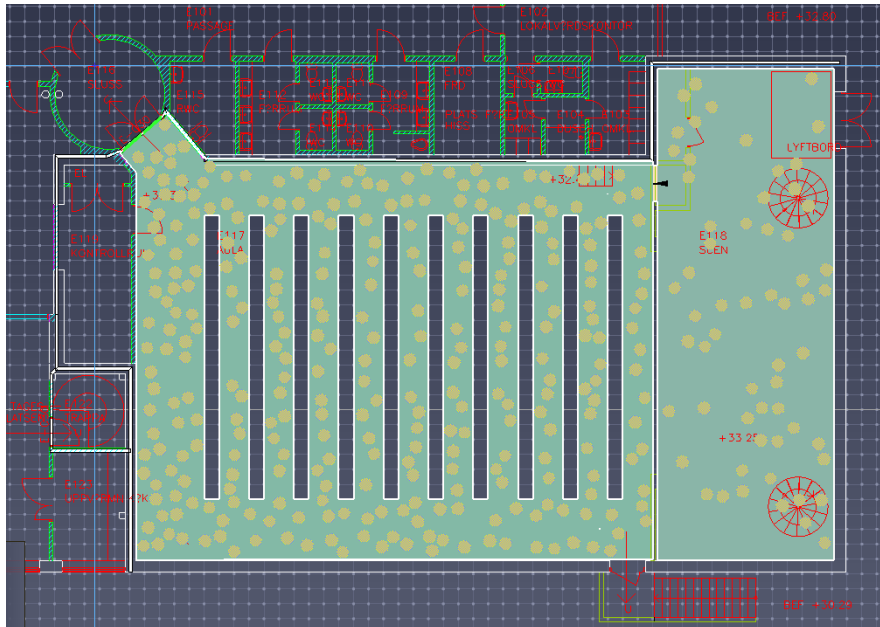


## 4.2.2 Utrymningsmodellering

Här presenteras data och resultat för detta specifika scenario. Allmänna förutsättningar och antaganden presenteras innan scenarierna under "Generella antaganden och förutsättningar".

### Indata 4.2.2.1

Rummets geometri hämtades från CAD-ritningar och hinder för stolar och scen lades in. I figur 25 nedan åskådliggörs hur geometrin modellerades i Pathfinder



Figur 25: Geometrin för simulering i pathfinder, stora aulan.

Personerna i rummet antogs befinna sig i hela utrymmet och antalet personer antogs vara 360 stycken. Då branden startar nära utgången vid scenen antas den vara blockerad. Varseltiden i aulan antogs vara 0, då personerna i lokalen kommer se branden direkt när den startar.

### 4.2.2.2 Resultat av simulering

Resultatet av simuleringarna presenteras i tabell 4 nedan. Medelvärdet av de nio simuleringarna används sedan för jämförelse med tid till kritiska förhållanden.

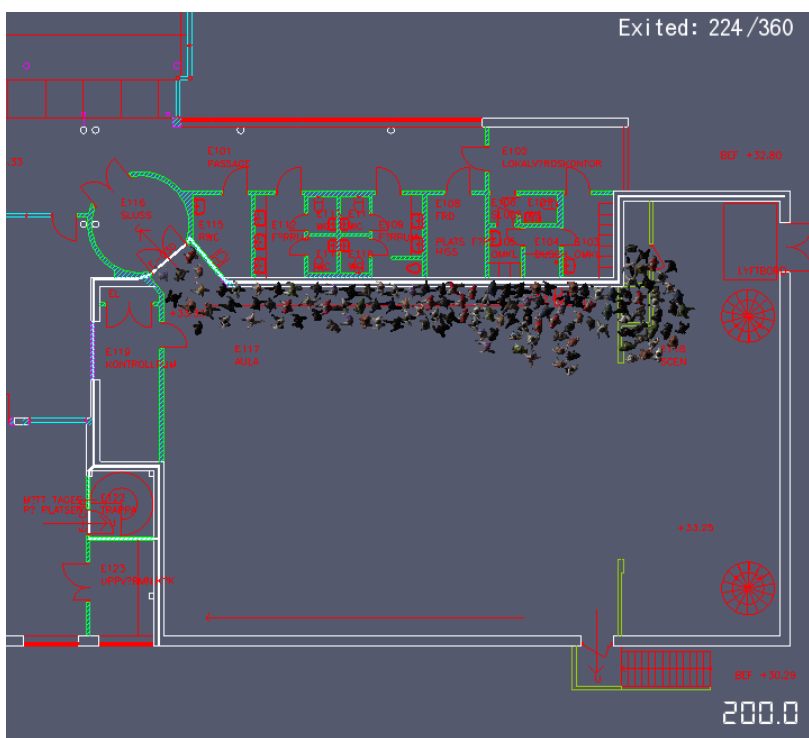
Tabell 4: Resultat av Pathfinder simulering, stora aulan.

Värde	Tid (s)
Minimum	284,8
Maximum	350,8
Medel	305,111

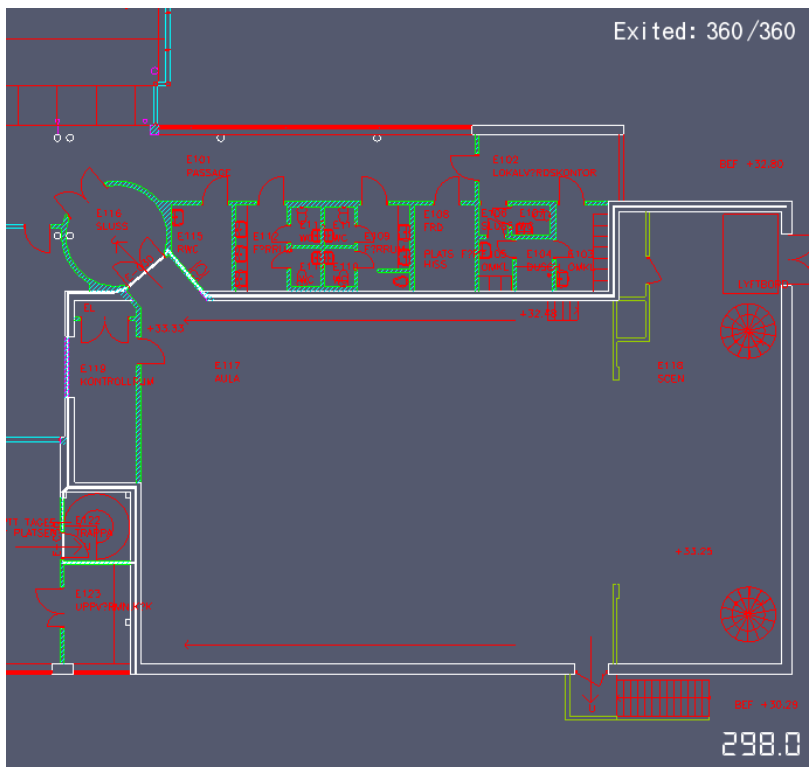
Nedan visas bilder från simulering.



Figur 26: Simulering vid start



Figur 27: efter 200 sekunder, alla kvarvarande personer, 136 st., står i kö

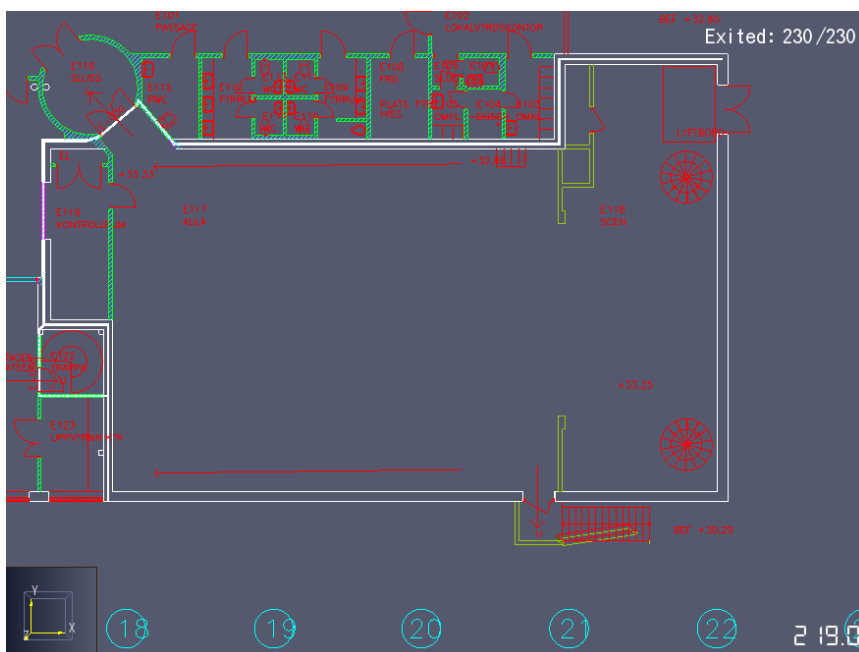


Figur 28: efter ca 300 sekunder är alla ute.

### Variation av personantal och utrymningsvägar

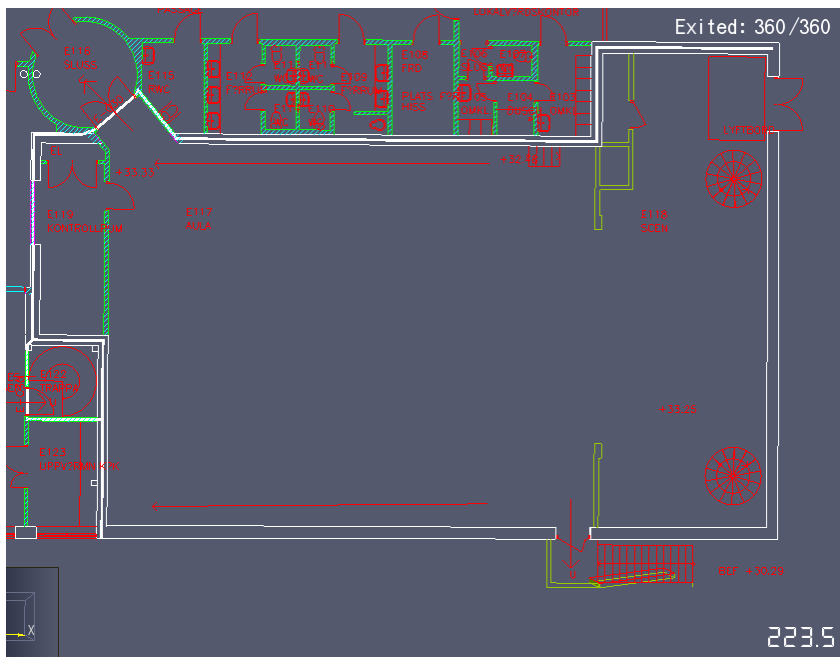
För att se hur stor påverkan ett minskat personantal och/eller en extra utrymningsväg påverkar utrymningstiden har simuleringar utförts med dessa förutsättningar.

Personantal 230 personer:



Figur 29: med ett personantal på 230 pers. är alla ute efter 219 sekunder.

En till utrymningsväg (120 cm) 360 personer:



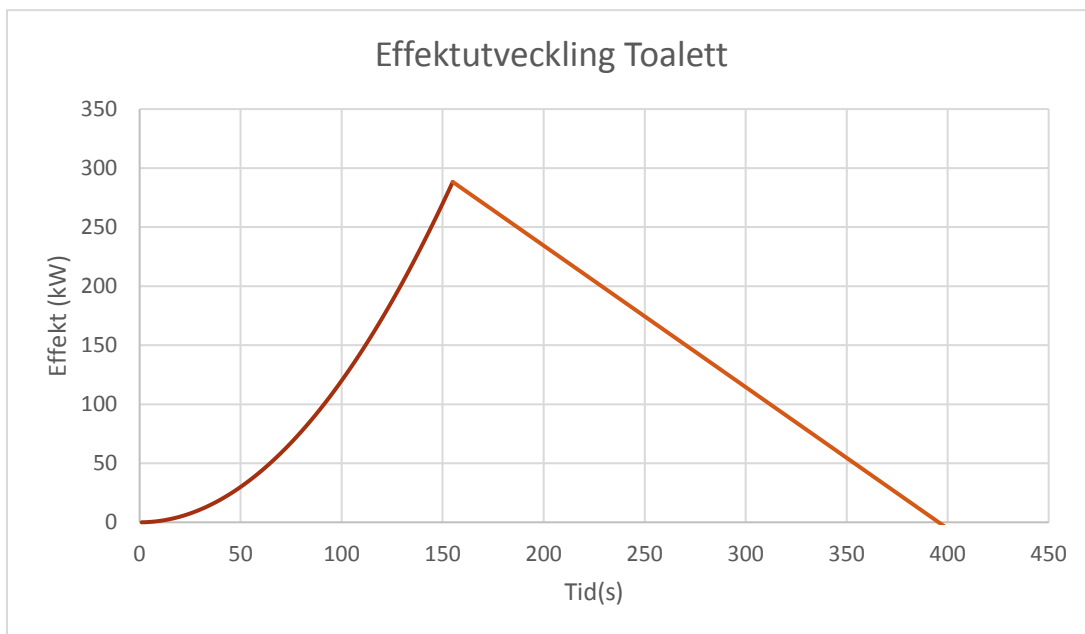
Figur 30: med en till utrymningsväg kortas tiden ner till 223 sekunder.

#### 4.2.3 Slutsatser

Tiden till att kritisk nivå nås i CFD-simuleringen är 125 sekunder. Då tiden till utrymning, som blev 305 sekunder i Pathfinder, överstiger denna krävs åtgärder för att säkerställa att personer inte utsätts för fara. Se vidare avsnitt 7.

#### 4.3 Scenario G: Toalettbrand på första våningen, sektion D

Empiriska försök med toalettbränder saknades varför ett antal antaganden fick göras. Dessa låg till grund för den beräknade effektkurvan som redovisas nedan, se figur 32



Figur 31. Framtagen effektkurva för toalettbrand.

Brandbelastningen uppskattades till fem pappersrullar à 150 gram, och två plastdispensers för toalettpapper respektive pappershanddukar à 500 gram var. (Produktblad Tork) Plastdispenserna antas bestå av 100 % *Akrylnitril-butadien-styren* vilket är en vanlig typ av polymer för produkter av detta slag. (ABS, 2017)<sup>[OBJ]</sup> Vidare antas allt papper på toaletten bestå av 100 % cellulosa. Då det sammanlagda bränslet bestod av två skilda material, cellulosa och ABS, beräknades ett viktat värde för förbränningsentalpin till 28 MJ/kg, se Bilaga D. Ett konservativt antagande om 100 % förbränningseffektivitet gjordes för beräkningarna. I verkligheten är förbränningseffektiviteten lägre än 100 %, inte minst för plastämnen.

Branden antas vara bränslekontrollerad och tillväxtfasen antas följa ett mediumförlopp i enlighet med rekommendationer för skolor. (Staffansson, 2010) Utmärkande för bränslekontrollerade bränder är att den avtagande fasen anträder nästan omedelbart efter att branden uppnått sin pik. Detta innebär att det inte uppstår något stationärt tillstånd efter tillväxtfasen som det gör vid ventilationskontrollerade bränder. (Poon, 2002)

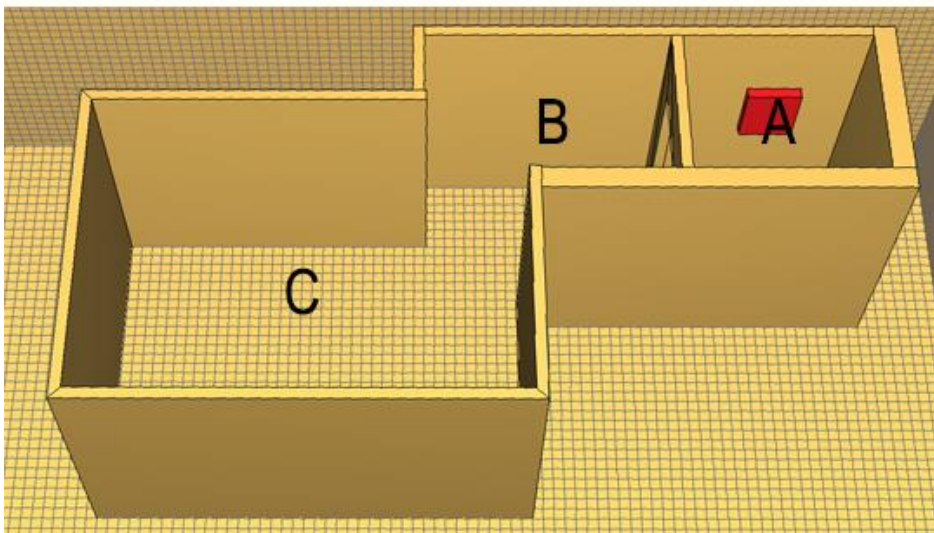
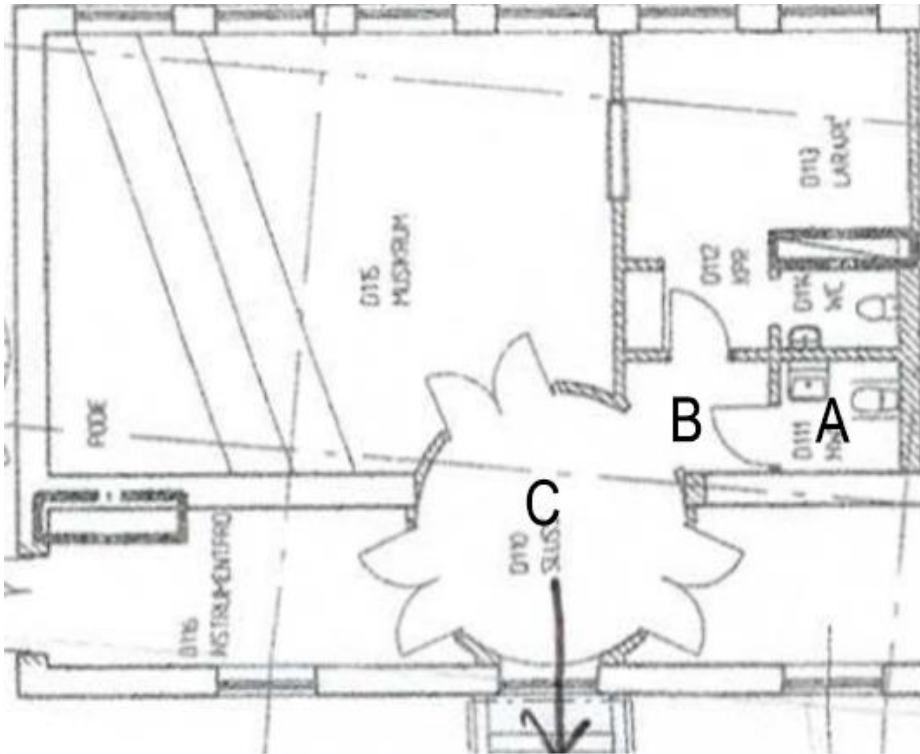
Som framgår av figur 32 sker övergången från tillväxtfas till avtagande fas efter 150 sekunder vilket ger en maxeffekt på strax över 290 kW. Tidpunkten för övergången beräknades genom att anta att 30 % av energin, vilket motsvarar arean under kurvan, förbränns under tillväxtfasen medan resterande 70 % förbränns under avtagande fas. Enligt *Poon* frigörs *minst* 50 % av energin under avtagande fas. (Poon, 2002) Detta betyder att – i brist på empiriska experiment – måste en ingenjörsmässig bedömning göras över hur mycket energi som förbränns under respektive fas, i det här fallet 30 % för tillväxtfasen och 70 % för den avtagande fasen. För beräkningsunderlag samt faktiska beräkningar se Bilaga D.

#### 4.3.1 Brandmodellering i FDS

Nedan presenteras indata och resultat från simuleringen av brandförloppet i FDS.

##### 4.2.1.2 Indata

Toalett och anslutande utrymmens geometrier approximerades i FDS enligt figur 32 nedan.



Figur 32. Geometri för toalett och anslutande utrymmen i ritning och FDS. Branden har approximerats med en röd låda. Det rundade slussutrymmet har gjorts fyrkantigt.

Geometrin förenklades genom att rundade väggar gjordes fyrkantiga, men rummet har dock likvärdig area med det verkliga objektet. Endast dörren till toaletten antogs vara öppen. Branden approximerades med en låda hängandes 1 meter upp på väggen. De viktigaste parametrarna presenteras överskådligt i tabell 5 nedan. För fullständig kod, se Bilaga G.

Tabell 5. Några av parametrarna för FDS-kod till toalettbranden

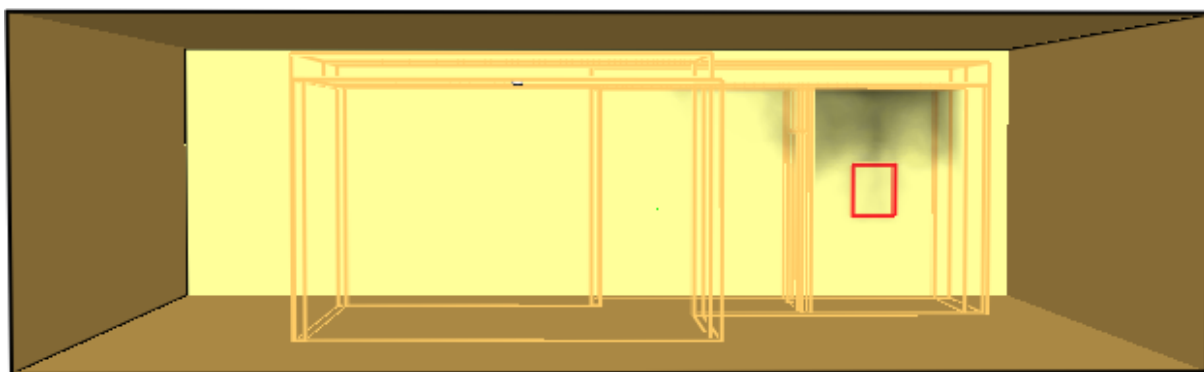
Parameter	Värde
Cellstorlek	0,05 m
$D^*/dx$	10
Simuleringstid	100 sekunder
Förbränningsentalpi	28 MJ/kg

#### 4.3.1.2 Resultat av simulering

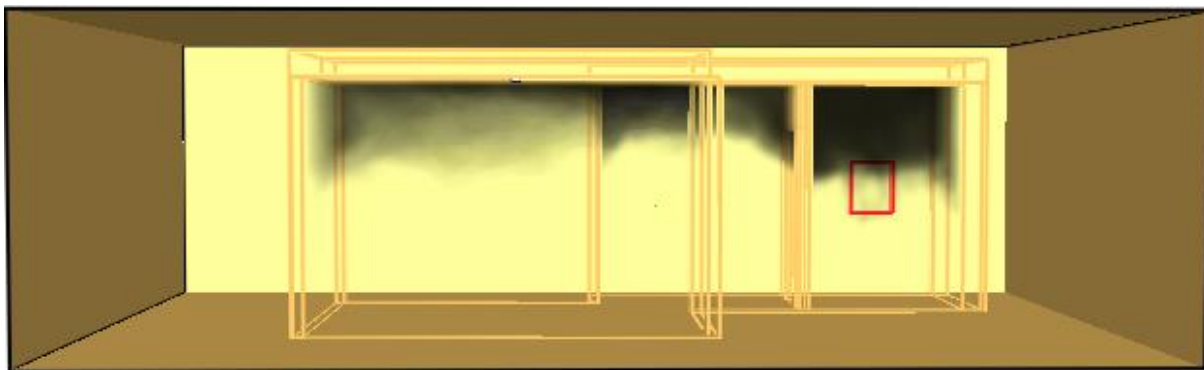
Takhöjden i slussutrymmet är 2,5 meter vilket i enighet med nivån för kritiska förhållanden, figur 13, så blir gränshöjden för brandgaser:  $1,6 \cdot 0,1 \cdot 2,5 = 1,85$  meter. Detta ger enligt CFD-simulering att tiden till brandgaserna är under 1,85 meter blir 55 sekunder, se figur 38.

Även i detta fall bedöms de andra förhållandena överstiga gränsvärden efter en längre tid än vad det tar för brandgaserna att nå kritisk nivå. Exempelvis kan man se att temperaturen efter 100 sekunder som mest är 55 C°, se figur 37. Varseltiden för rökdetektor i slussutrymmet blev i simuleringen lika med:  $t_{varsel} = 40$  s. Se bilaga F.

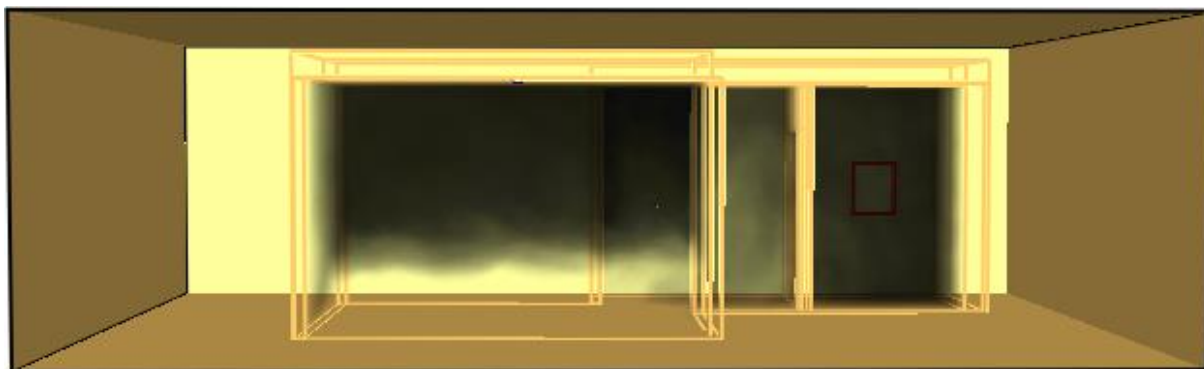
Rökutvecklingen efter 30, 60, 90 respektive 100 sekunder framgår av figur 33-36



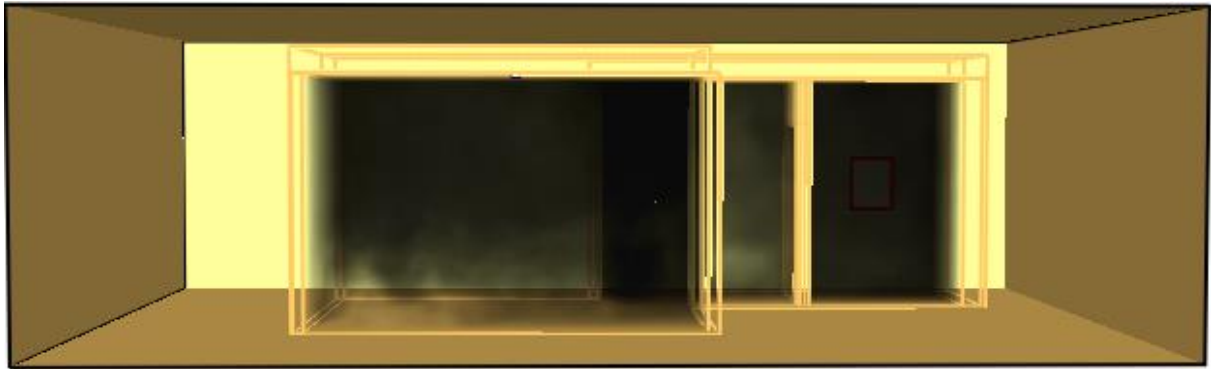
Figur 33. Rökutveckling efter 30 sekunder



Figur 34. Rökutveckling efter 60 sekunder

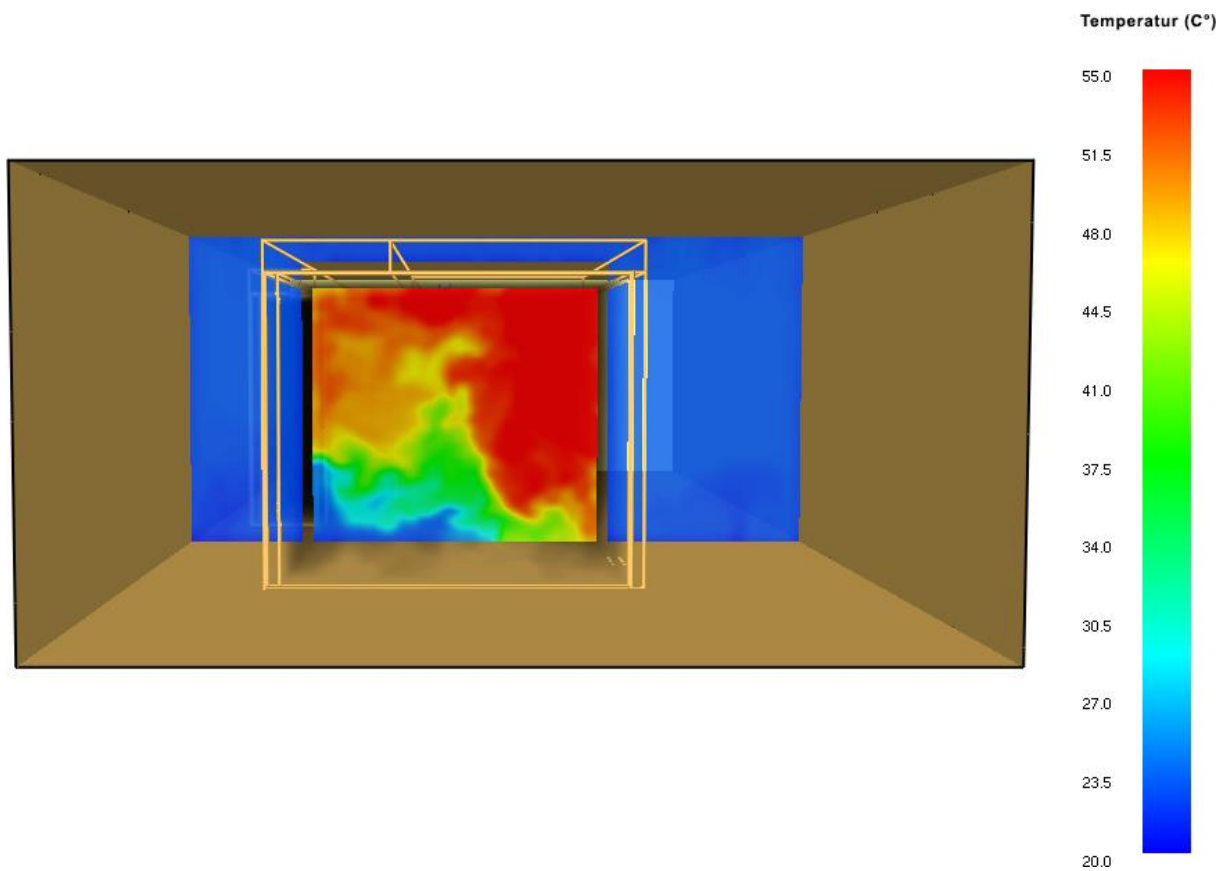


Figur 35. Rökutveckling efter 90 sekunder



Figur 36. Rökutveckling efter 100 sekunder

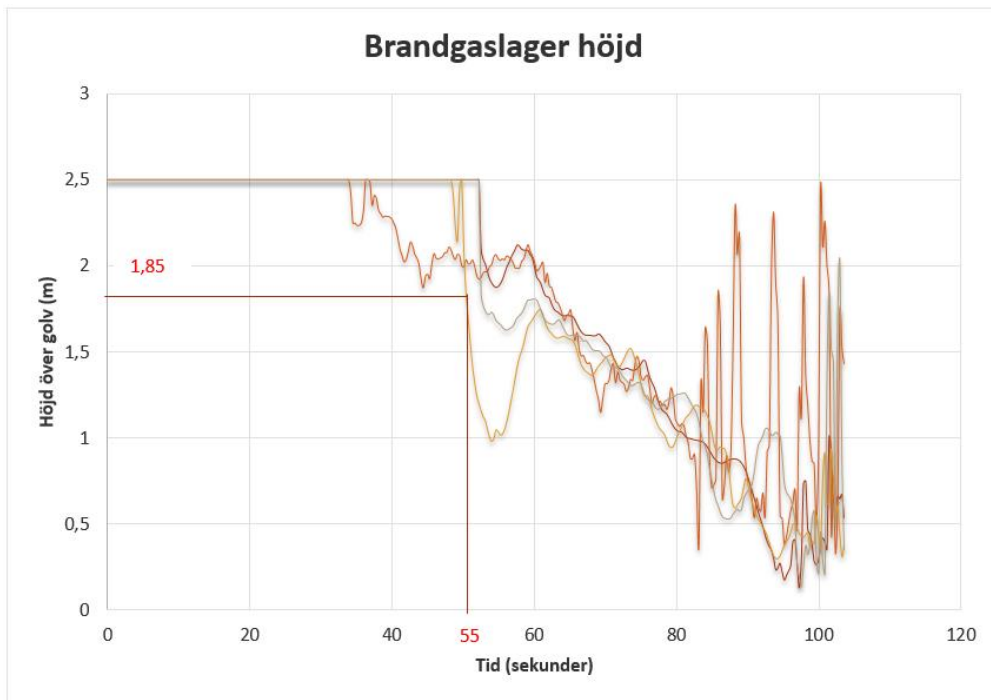
Temperaturen i slussutrymmet efter 100 sekunder överstiger aldrig 55 °C, se figur 37. Vid samma tidpunkt har brandgaserna nått ner till en nivå på omkring 0,5 meter ovanför golvet.



Figur 37. Temperatur i rummet efter 100 sekunder

Brandgasernas höjd i slussutrymmets fyra hörn visas i figur 39 nedan.





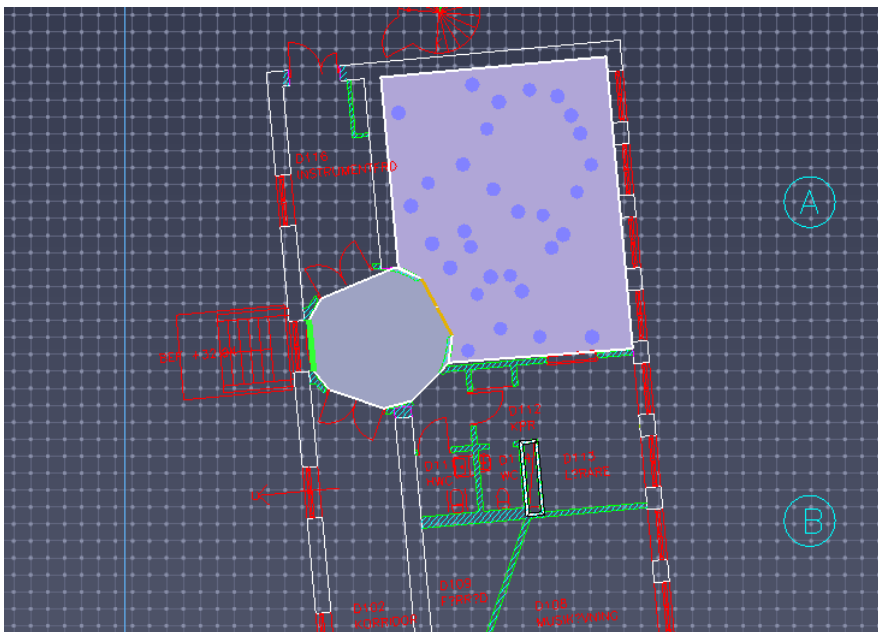
Figur 38. Brandgasernas höjd över golv, enligt simulering i CFD, efter 55 sekunder nås den kritiska höjden av 1,85 meter.

#### 4.3.2 Utrymningsmodellering

Här presenteras data och resultat för detta specifika scenario. Allmänna förutsättningar och antaganden presenteras innan scenarierna under "Generella antaganden och förutsättningar".

##### 4.3.2.1 Indata

Nedan presenteras gematrin som ritades upp i Pathfinder. Personantalet antogs vara 30 stycken och varseltiden hämtades från FDS simuleringen och adderades till förberedelse tiden.



Figur 40:: Geometrin som användes för att simulera scenariot "Brand i toalett".

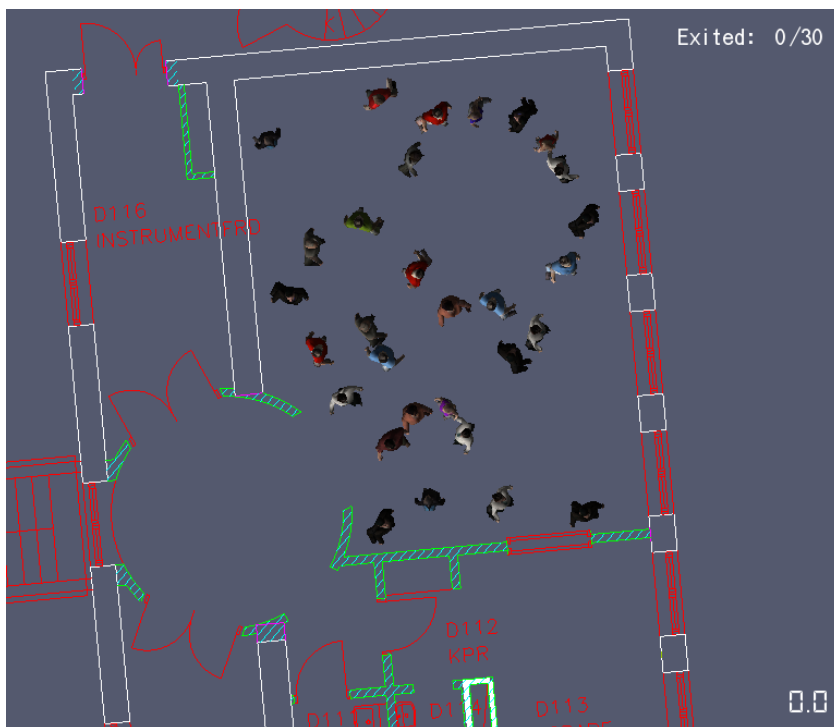
#### 4.3.2.2 Resultat av simulering

Resultatet av simuleringarna presenteras i tabell 6 nedan. Medelvärdet av de nio simuleringarna används sedan för jämförelse med tid till kritiska förhållanden.

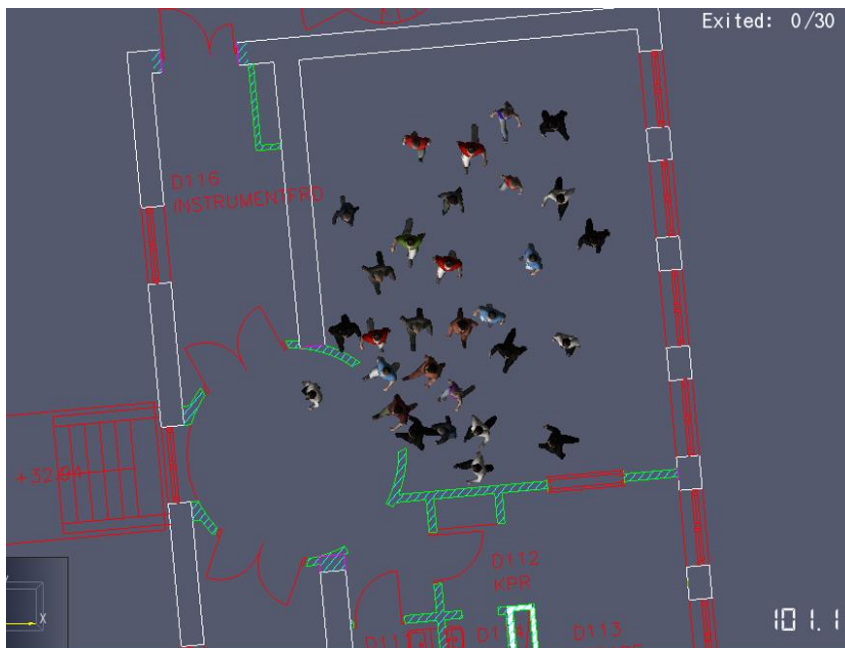
Tabell 6: Resultat av Pathfinder simulering, toalett.

Värde	Tid (s)
Minimum	124,5
Maximum	135,3
Medel	129,356

Nedan visas bilder från simulering.

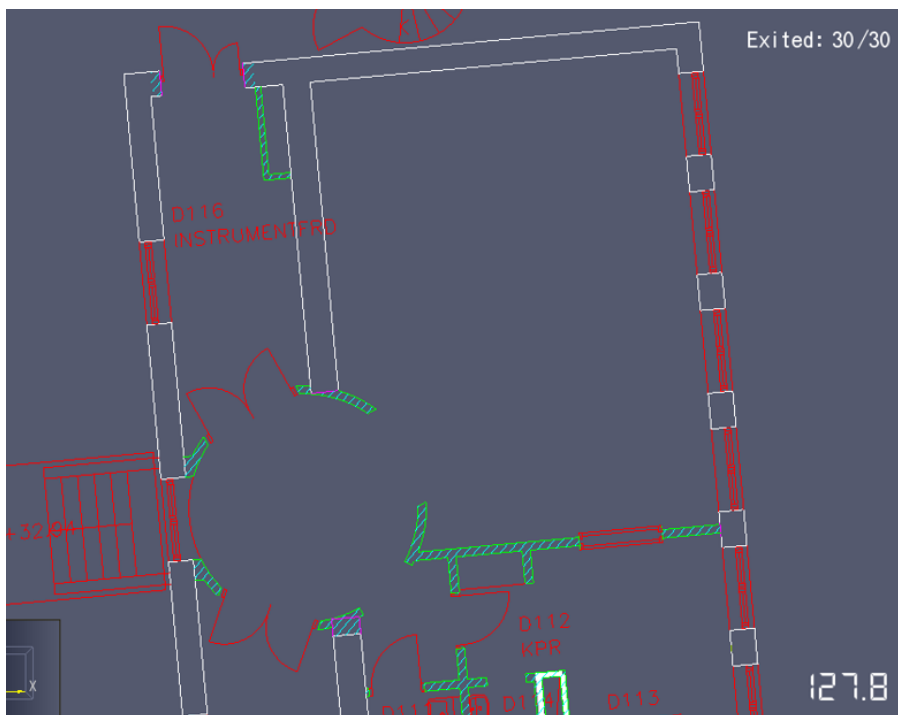


Figur 41: Simulering vid start.



Figur 42: Efter 60 sekunder börjar personerna röra sig ut ur lokalen.

Köbildning uppstår inte då personerna kan röra sig fritt ut ur lokalen.

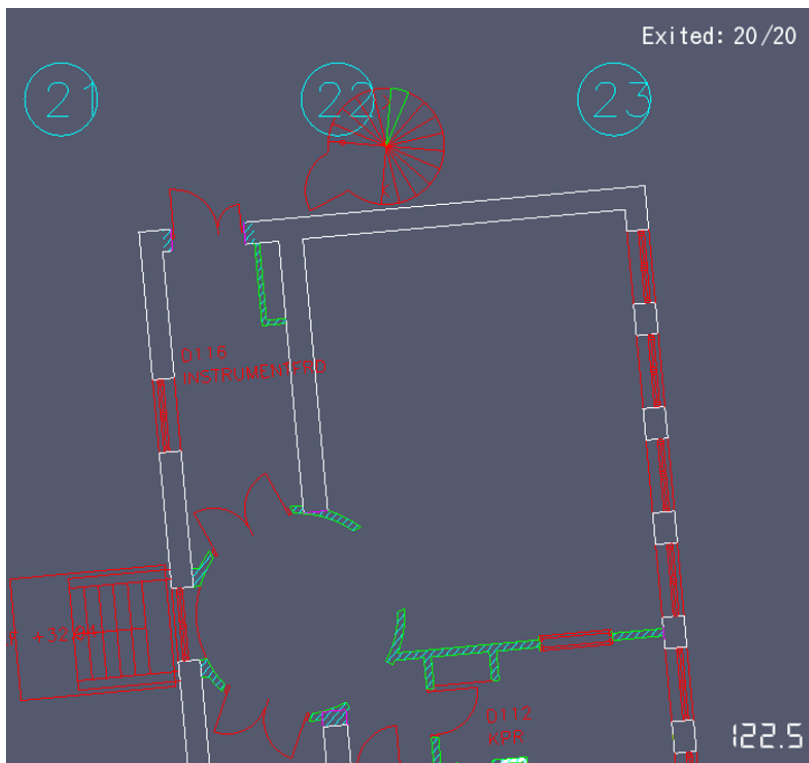


Figur 43: Efter ca 88 sekunder är alla ute.

### Variation av personantal och utrymningsvägar

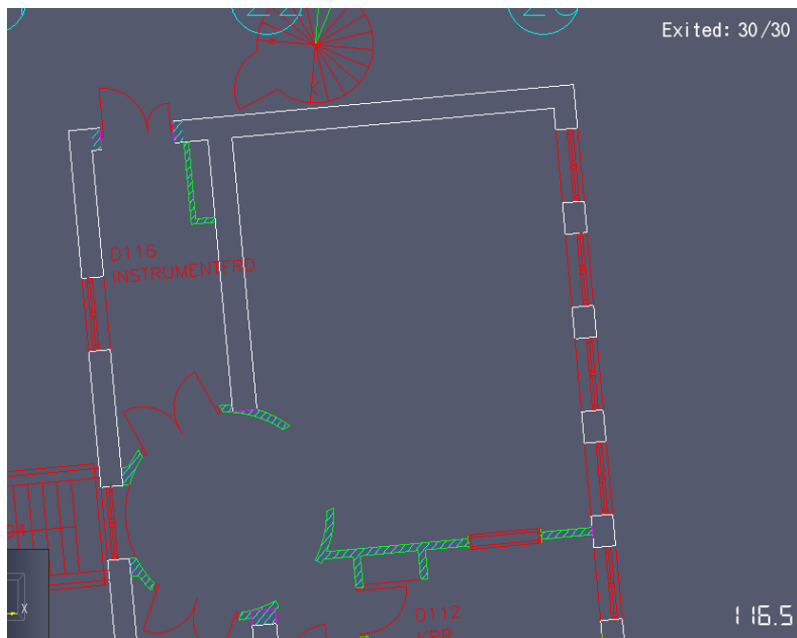
För att se hur stor påverkan ett minskat personantal eller en extra utrymningsväg påverkar utrymningstiden har simuleringar utförts med dessa förutsättningar.

Personantal 20 personer:



Figur 44: Med 20 personer istället för 30 blir utrymningstiden 82,5 sekunder.

En extra utrymningsväg (120 cm) 30 personer:



Figur 45: Med en till utrymningsväg blir tiden 76,5 sekunder.

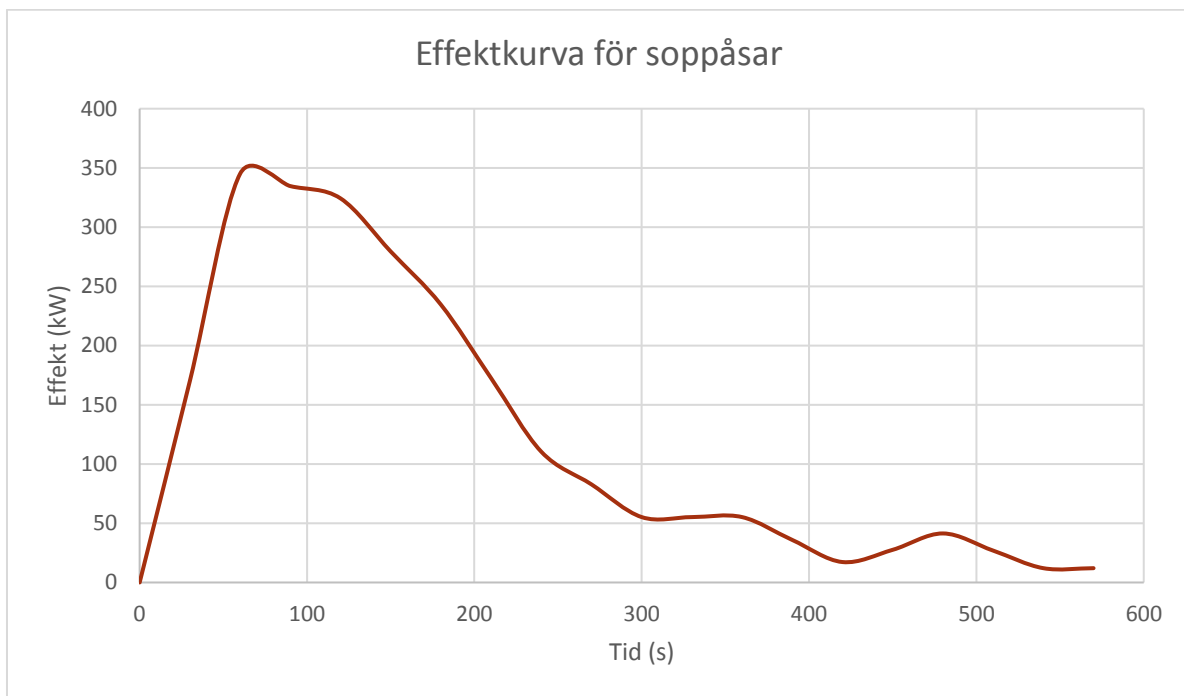
#### 4.3.3 Slutsatser

Efter 55 sekunder nås en kritisk nivå i slussutrymmet. Utrymningstiden från Pathfinder är 89,5 s, vilket medför att  $t_{kritisk} < t_{utrymning}$ . Detta innebär att åtgärder behövs, se vidare avsnitt 7.

#### 4.4 Brand i korridor sektion E, Plan 3

Det övergripande målet med detta scenario har varit att det skall vara representativt för en stor del av de bränder som sker på skolor idag, därför att har en relativt liten dimensionerande brand använts. Man kan lätt argumentera för att större bränder kan uppkomma men vi bedömer att de flesta bränder som sker idag, är mindre än denna dimensionerande brand.

Effektutvecklingen ges av figur 46. Som underlag för denna har ett empiriskt försök med soppåsar fyllda med 3.51 kg papper från litteraturen använts (Hurley, 2016). Det totala energiinnehållet har beräknats till 36 MJ vilket motsvarar arean under kurvan. Detta ger en effektiv förbränningsentalpi på  $\frac{36}{3.51} \approx 10$  MJ/kg.



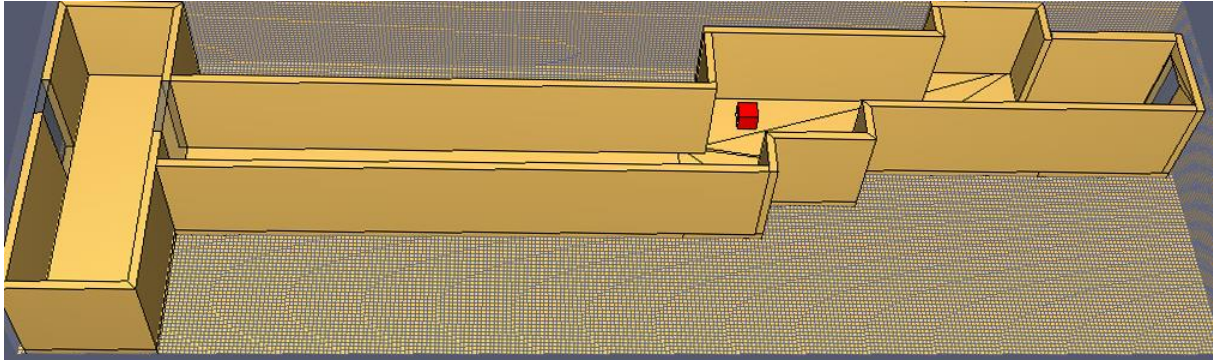
Figur 46. Effektkurva för brand i korridor

##### 4.4.1 Brandmodellering i FDS

Nedan presenteras indata och resultat från simuleringen av brandförloppet i FDS.

###### 4.4.1.1 Indata

Korridoren approximerades enligt figur 47.



Figur 47. Objektbeskrivning av korridor i PyroSim (FDS). Branden finns utmarkerad som en röd låda.

De viktigaste parametrarna presenteras överskådligt i tabell 7 nedan. För fullständig kod, se Bilaga G.

Tabell 7. Några av parametrarna för FDS-kod till korridorbranden

Parameter	Värde
Cellstorlek	0,10 m
$D^*/dx$	6
Simuleringstid	300 s
Förbränningsentalpi	10 MJ/kg

Notera att  $D^*/dx$  endast är 6 vilket är lägre än det rekommenderade 10–15. Detta beror på att en mindre meshstorlek skulle medföra orimligt långa simuleringstider. Men detta ger konservativa resultat för tid till kritiska förhållanden, se avsnitt 4.2.1.2.

#### 4.4.1.2 Resultat av simulering

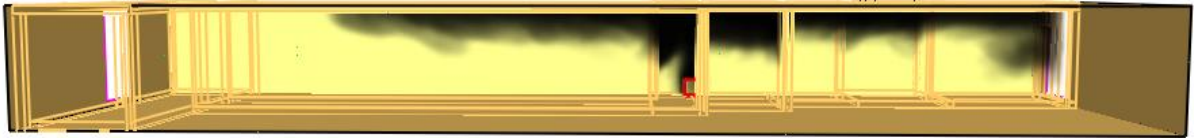
Takhöjden i korridoren är 2,7 meter vilket i enighet med nivån för kritiska förhållanden, figur 13, så blir gränshöjden för brandgaser:  $1,6 \cdot 0,1 \cdot 2,7 = 1,87$  meter. Detta ger enligt CFD-simulering att tiden till brandgaserna är under 1,85 meter blir 45 sekunder, se figur 53.

Även i detta fall bedöms de andra förhållandena överstiga gränsvärden efter en längre tid än vad det tar för brandgaserna att nå kritisk nivå. Exempelvis kan man se att temperaturen inte är högre än 80 grader efter 45 sekunder, se figur 53. Varseltiden för rökdetektor i korridoren blev i simuleringen lika med:  $t_{varsel} = 15$  s. Se bilaga F.

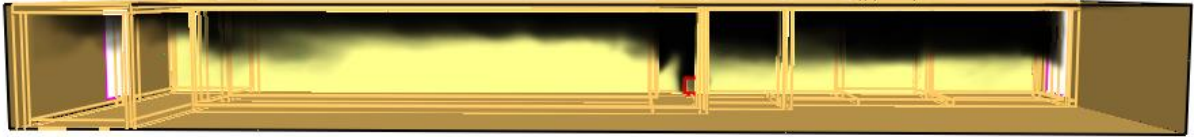
Rökutvecklingen efter 10, 30, 50 respektive 80 sekunder framgår av figur 48-51.



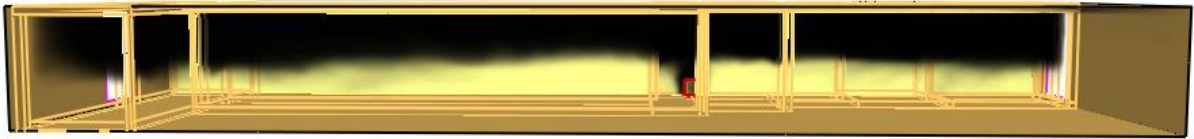
Figur 48: Rökutveckling efter 10 sekunder



Figur 49: Rökutveckling efter 30 sekunder

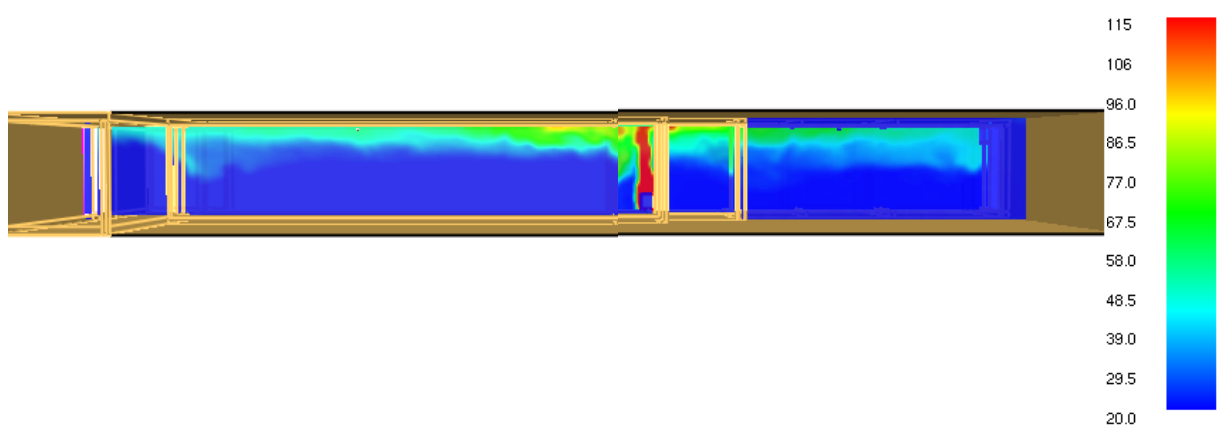


Figur 50: Rökutveckling efter 50 sekunder

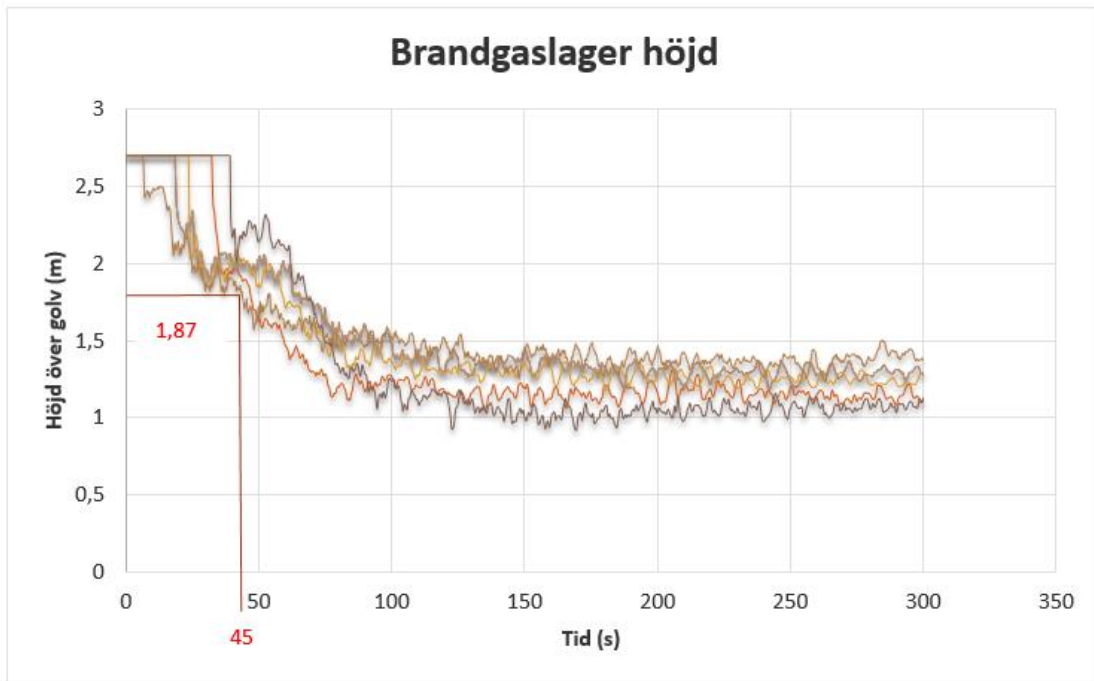


Figur 51: Rökutveckling efter 80 sekunder

Temperaturen i korridoren efter 45 sekunder åskådliggörs i figur 52. Man kan se att brandgaserna inte når en temperatur över 80 °C vid höjden 1,87 meter förutom precis vid branden.



Figur 52: Temperaturprofil i korridoren vid tiden 45 sekunder.



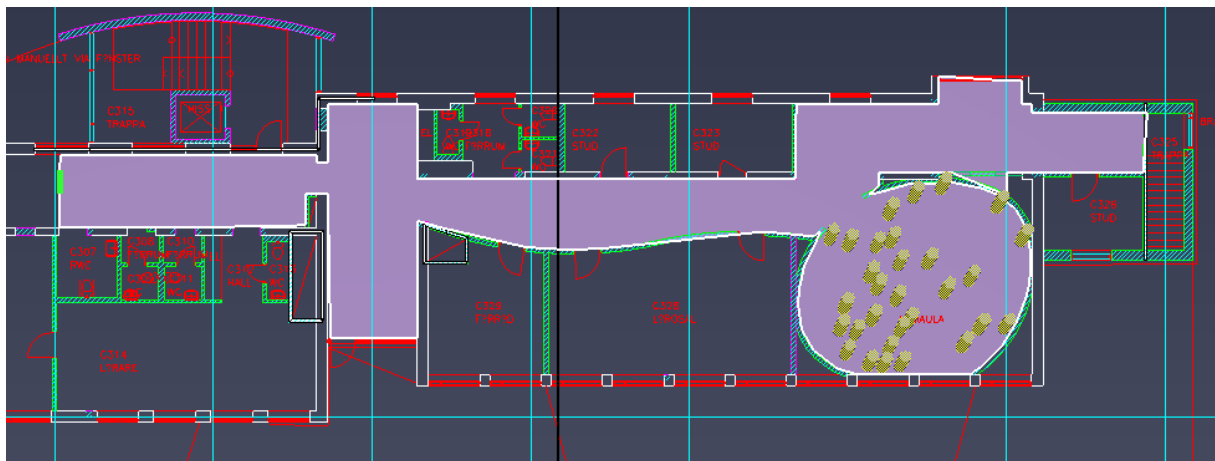
Figur 53: Brandgasernas höjd över golv

#### 4.4.2 Utrymningsmodellering

Här presenteras data och resultat för detta specifika scenario. Allmänna förutsättningar och antaganden presenteras innan scenarierna under "Generella antaganden och förutsättningar".

##### 4.4.2.1 Indata

Nedan presenteras gematrin som ritades upp i Pathfinder. Personantalet antogs vara 30 stycken och varseltiden hämtades från FDS simuleringen och adderades till förberedelsetiden.



Figur 54: Geometrin som användes för att simulera scenariot "Brand i korridor".

##### 4.4.2.2 Resultat av simulering

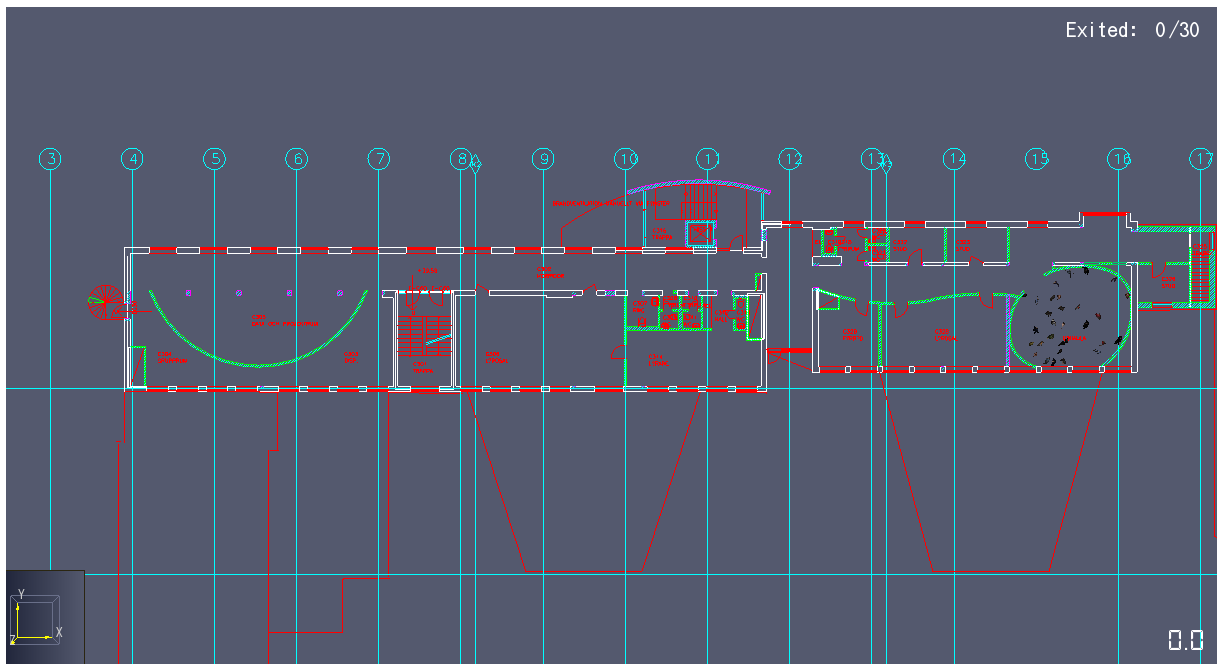
Resultatet av simuleringarna presenteras i tabell 8 nedan. Medelvärdet av de nio simuleringarna används sedan för jämförelse med tid till kritiska förhållanden.



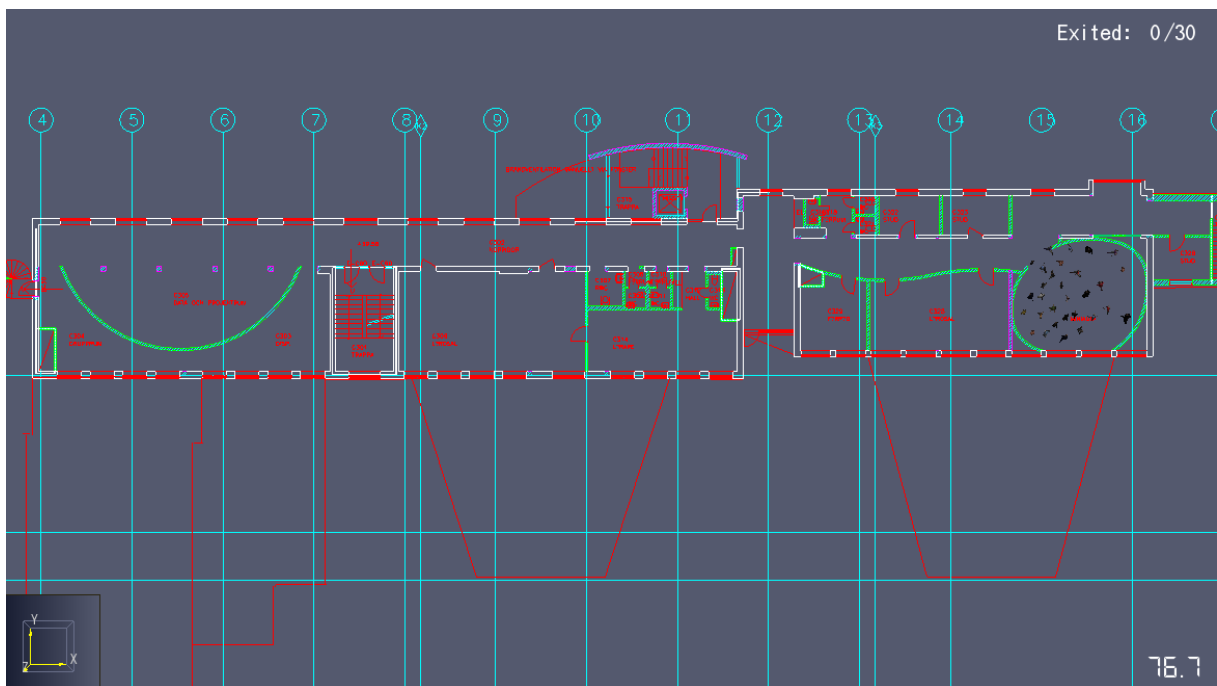
Tabell 8: Resultat av simulering i Pathfinder

Värde	Tid (s)
Minimum	149
Maximum	166,3
Medel	157,233

Nedan visas bilder från simulering.

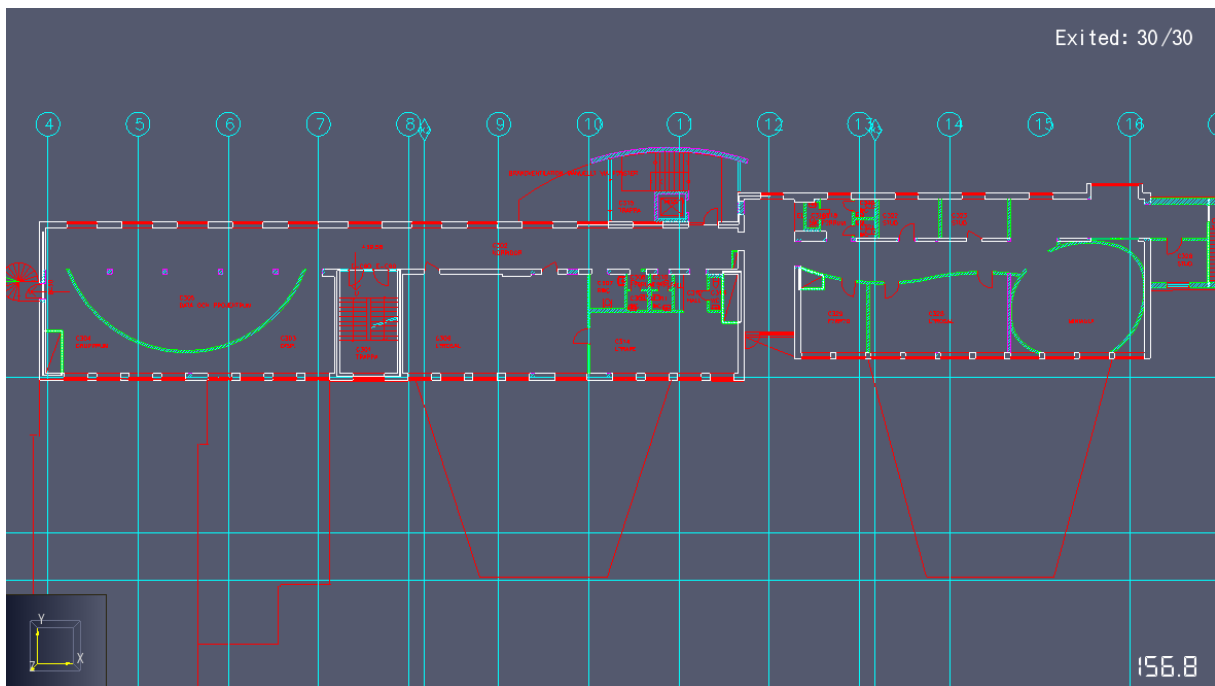


Figur 55: Simulering vid start.



Figur 56: Efter 75 sekunder börjar personerna i lokalen att röra på sig.

Köbildning uppstår inte då personerna kan röra sig fritt ut ur lokalen.

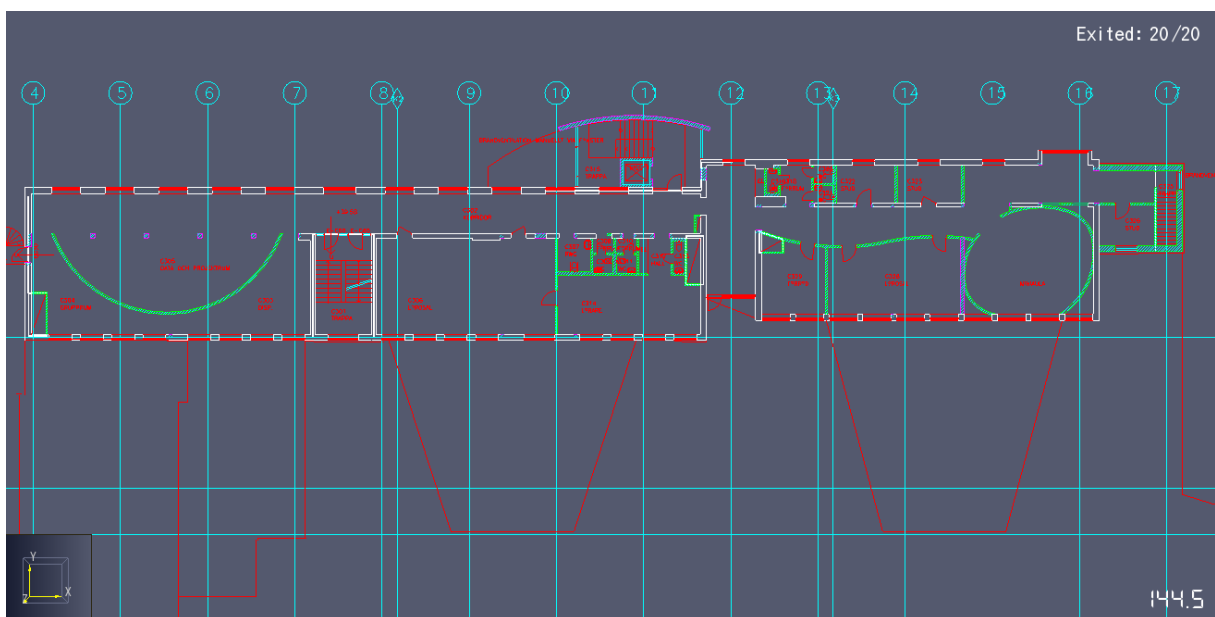


Figur 57: Efter ca 157 sekunder är alla ute

### Variation av personantal och utrymningsvägar

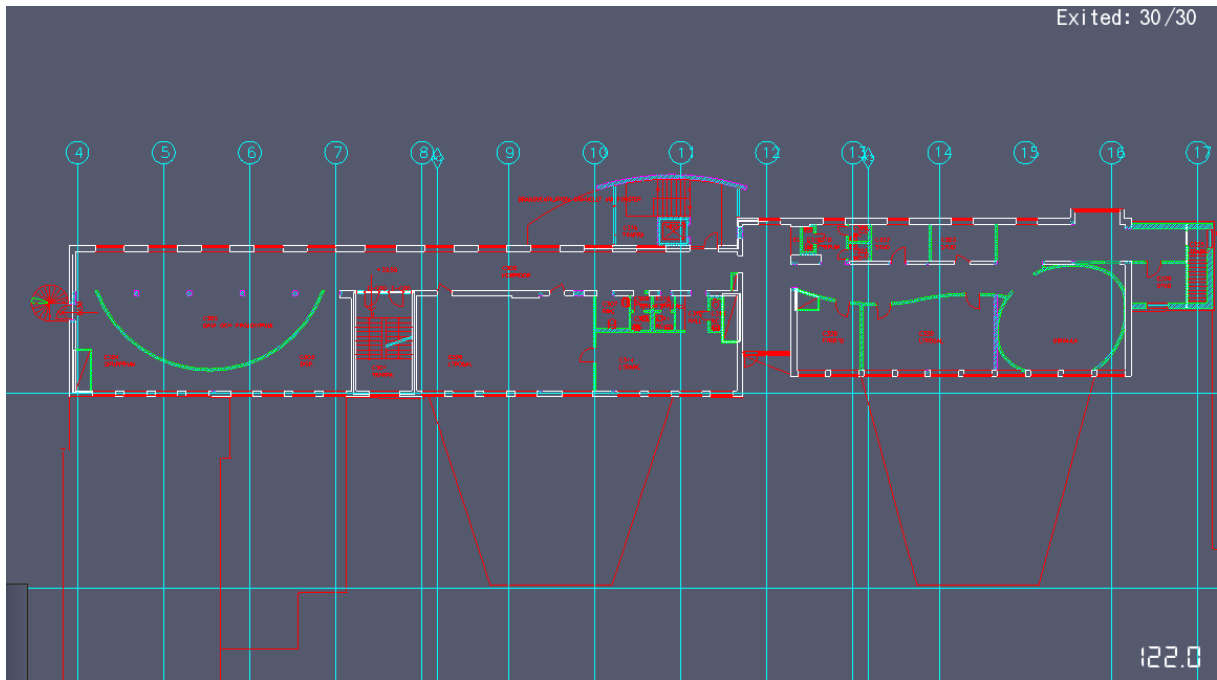
För att se hur stor påverkan ett minskat personantal eller en extra utrymningsväg påverkar utrymningstiden har simuleringar utförts med dessa förutsättningar.

Personantal 20 personer:



Figur 59: Med ett personantal på 20 personer minskar tiden till 144,5 sekunder.

En extra utrymningsväg (120 cm) personaltal 30 personer:



Figur 60: Med en extra utrymningsväg blir tiden 122 sekunder.

#### 4.4.3 Slutsatser

Kritisk nivå för branden i korridoren nås efter 45 sekunder. Detta innebär att utrymningstiden från Pathfinder, 157 sekunder, är över denna och åtgärder krävs, se vidare avsnitt 7.



## 5 Känslighetsanalys

För att kunna analysera resultatet av simuleringarna har en känslighetsanalys gjorts. Detta för att kunna avgöra hur mycket de olika parametrarna påverkar resultatet. På grund av brist på datorkapacitet kommer analysen inte göras på CFD-simuleringarna då simuleringstiderna är för långa. Analysen görs därför på simulering i Pathfinder. Då det mest komplexa scenariot var brand i aula valdes detta scenario för att användas i analysen. Tillvägagångssättet var att en parameter varierades åt gången och de andra hölls kvar på de ursprungliga värdena. Parametrarna varierades med plus minus 20 %, då axelbredder inte kan öka med mer än 20 % p.g.a. att personerna kommer överlappa varandra i modellen.

Parametrar som varierades är enligt följande

- Axelbredd
- Personantal
- Gånghastighet
- Dörrbredder

Nedan presenteras resultatet av analysen i form av ett tornadodiagram.



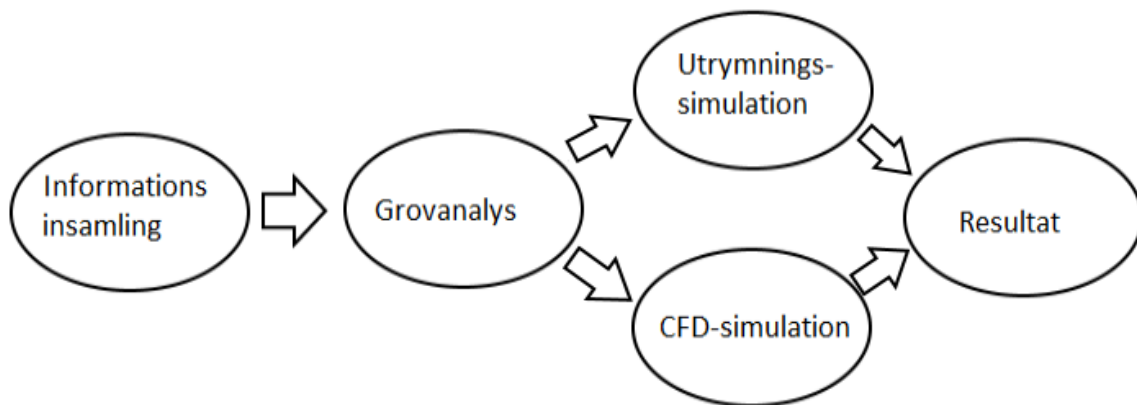
Figur 61: Känslighetsanalys i form av tornadodiagram (s)

Resultatet av analysen visar att personantalet är det som påverkar utrymningstiden klart mest. Detta är en parameter som är svår att ändra i vår analys av brandsäkerheten då det är klart definierat hur många personer som får vistas i lokalen.



## 6 Diskussion

En fundering som uppstod under projektets gång var ifall arbetsmetodiken som användes egentligen var den bästa. Metodiken som användes kan något förenklat beskrivas med figur 62 nedan. Vi samlade först in information, gjorde sedan en grovanalys och arbetade sedan med utrymnings-simulationer och CFD simulationer parallellt. Denna metod var väldigt bra ur ett effektivitetsperspektiv, efter att grovanalysen var färdig kunde gruppen dela upp arbetsuppgifter och arbeta vidare.



Figur 62 – Arbetsprocessen

En förbättring hade dock varit att som en del av grovanalysen utföra förenklade utrymnings-simuleringar för respektive scenario. Eftersom CAD-ritningar var tillgängliga hade detta ej varit särskilt tidskrävande. Dessa hade gett ett bättre underlag för grovanalysen och det är möjligt att andra scenarion hade valts.

För de tre scenarierna som valdes ur grovanalysen har effektkurvor skapats. Dessa har följt ”värsta troliga scenario” principen, men detta kräver en bedömning som är högst subjektiv. Eftersom utgångspunkten har varit ”anlagda bränder” är det svårt att definiera vad som är ”det värsta troliga scenariot”. Dessa scenarier är som tidigare nämnts egna uppskattningar. Andra scenarier hade möjligen kunnat testas för att se om dessa hade gett ett ”värre” resultat. Men bedömningen gjordes att dessa scenarier var representativa för skolan. Resultaten pekar också på att dessa scenarier var utmanande för byggnaden med avseende på personsäkerhet och de ger i alla fall en liten trygghet i att representativa scenarier valdes.

Antaganden som gjorts har lett till resultat som pekar på att utrymning inte kan ske säkert i scenarierna som analyserades. Detta beror till stor del på de konservativa antaganden som gjorts. Det är dock vår uppfattning att konservativa antaganden leder till resultat som uppmuntrar kreativa lösningar och en allmänt proaktiv inställning. Så länge samtliga förutsättningar redogörs kan resultaten analyseras mot bakgrund av dessa vilket ger visst tolkningsutrymme av resultaten.

Exempelvis visar CFD-simuleringarna från aulan på en tid till kritiska förhållanden på 125 sekunder för den kritiska nivån 2,5 m. Om man granskar rökgaslagrets höjd från golv ser man dock att denna tid inte skall tas som något absolut värde. Höjden minskar väldigt långsamt mellan 100 och 200 sekunder, endast 0,5 meter, se figur 9. Efter ytterligare 30 sekunder är höjden 1,8 meter över golvet. Eftersom rökgaslagret håller sig på denna höjd kan längre utrymningstider accepteras. Dock bör inte

en längre utrymningstid än ungefär 230 sekunder accepteras då röken vid denna tid har hunnit allt för långt ner. Undantag kan göras om det är väldigt få personer kvar i lokalen och dessa är nära utgången eller i kö. Det skall även noteras att tid till kritiska förhållanden är då personer förväntas utsättas för "obehag" vilket inte är ett dödligt tillstånd. Därför kan en längre tid fortfarande ge en säker utrymning.

En faktor som påverkar obehagskänslan mycket är sotproduktionen från branden. I FDS-simuleringarna angavs ett värde för sotproduktion som är lägre än det rekommenderade från BBRAD, men trots detta var rökutvecklingen förhållandevis snabb vilket ledde till att  $t_{kritisk}$  för samtliga fall blev lägre än  $t_{utrymning}$ . Detta innebär rent kvantitativt att utrymmena, utifrån våra antaganden, inte är säkra och att lämpliga åtgärder erfordras. Vid närmare undersökning av de värden som använts framgår det emellertid ganska snabbt att resultaten bygger på, som tidigare nämnt, väldigt konservativa antaganden vilket tycks vara praxis i Sverige. Exempelvis antogs  $t_{förberedelse}$  i utrymningssimuleringen till 60 sekunder för alla scenarier. Detta värde har hämtats från BBRAD, men det finns sannolikt goda skäl till att påstå att det inte alltid är applicerbart för utrymmen i skolor, speciellt mindre sådana med lägre persontäthet.

För alla scenarier gjordes en viss grad av förenklingar av geometrin. Detta var nödvändigt då vissa former ej är lätt att simulera i FDS eftersom all geometri byggs genom en sammansättning av rätblock, men verkligheten är såklart ej sådan. Detta framgår inte minst i *Scenario C (Toalettbrand)*. I detta scenario finns det ett rum som är helt sfäriskt, och för att representera detta i FDS skapades istället ett fyrkantigt rum med samma golvarea som det sfäriska rummet. Konsekvensen av denna förenkling är inte uppenbar, men antas vara försumbar vad gäller brandgaslagrets höjd. Även om det finns alternativa metoder för att modellera mer realistiska geometrier är nyttan inte självklar om man tar hänsyn till syftet med simuleringen, dvs. brandgaslagrets höjd som en funktion av tiden för utrymmet.

Vid dimensionering av miniaulan samt musikrummet har projektörerna utgått från att endast en utrymningsväg behövs. Detta beror sannolikt på att man resonerat att dessa utrymmen inte förväntas användas mer än tillfälligt. Två av scenarierna är därmed analyser av utrymmen som, enligt dimensionering, antas ha låg nyttjandegrad. Detta borde möjligtvis ha tagits hänsyn till i grovanalysen. Den låga brandbelastningen i toalettbranden skulle möjligen även motivera att ett scenario där en dold brand anlades i ett annat utrymme. Detta valdes dock bort då den höga sannolikheten för toalettbränder i skolor, samt att toaletten låg i anslutning till det nämnda slussutrymmet gjorde att brand i toalett valdes som representativt scenario. Ett alternativ hade då kunnat vara att öka effektutvecklingen på toaletten för att vara konservativa. Då resultaten visade på en så pass snabb rökfyllnad redan med den relativt låga effektutvecklingen togs beslutet att detta var överflödigt. En större brand hade gett samma resultat.

För scenariot *Brand i Aula* bestämdes tidigt att scenariot skulle anordnas på ett sådant sätt att en av utrymningsvägarna skulle bli oanvändbar. I efterhand har vi funderat på om detta var ett misstag. Om tanken med en riskanalys är att rådande utrymningsplan ska bedömas är det bättre att först utvärdera risken med ett fungerande brandskydd, för att sedan slå ut delar av brandskyddet i känslighetsanalysen. Detta kräver dock mer resurser i form av bl.a. datorkapacitet och programmeringstid. Resultatet hade dock varit ett bättre underlag för åtgärder.



Vid framtagandet av utrymningstider så itererades simulationen ett antal gånger för att få fram ett medelvärde. En annan metod som diskuterades var att framställa en fördelningskurva och sedan använda, till exempel, den 95te percentilen av den kurvan som utrymningstid. Det hade förmodligen inte påverkat resultatet nämnvärt i dessa fall men en viss osäkerhet hade förmodligen försvunnit. Även personantalet vid utrymningssimuleringarna hade kunnat ökat för att ge bättre simuleringar. Detta då endast de personer som vistas i de direkt berörda rummen tagits i beaktning. Bedömningen gjordes dock att våra resultat redan visade på brister i säkerheten. Ett ökat personantal skulle då endast ge längre utrymningstider och därför ge en större skillnad i ASET – RSET. Då åtgärdsförslagen inte innefattar att personer utrymmer via samma vägar så påverkar inte heller ett ökat personantal våra åtgärdsförslag.



## 7 Åtgärdsförslag

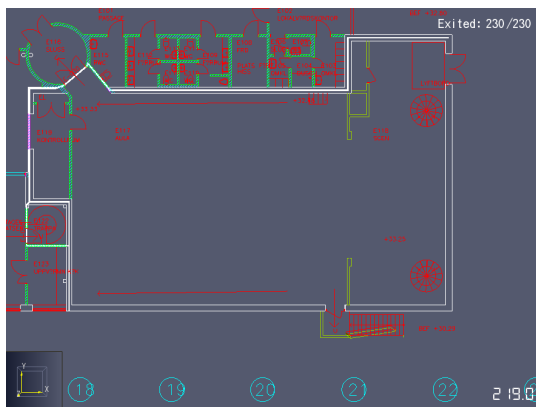
Nedan presenteras åtgärdsförslag för att säkerställa personsäkerheten i de fall som enligt våra simuleringar visat sig osäkra.

### 7.1 Stora aulan

Simuleringarna visade att tiden till utrymning med marginal översteg tiden till kritiska förhållanden i rummet. För att korta ner utrymningstiden så att personerna i lokalen hinner utrymma innan de utsätts för fara i enighet med resonemanget i diskussionsavsnittet, presenteras här två olika åtgärdsförslag.

#### Sänka personantal

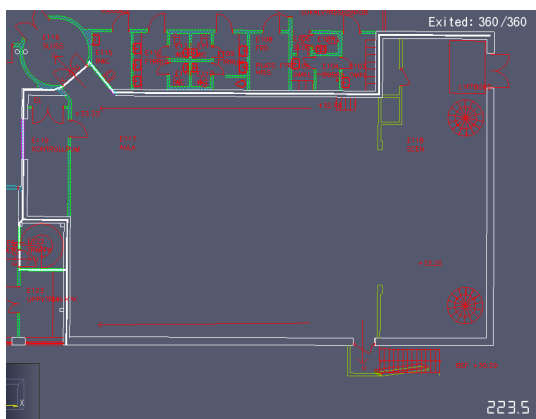
Genom att sänka antalet personer som får vistas samtidigt i lokalen till 230 personer kan utrymningstiderna förkortas avsevärt. Detta förtydligas också i känslighetsanalysen där man tydligt ser att just personantal är den viktigaste parametern.



Figur 63: Åtgärdsförslag sänka personantal till 230 personer ger en ny utrymningstid på ca 220 sekunder vilket är acceptabelt.

#### Öppna en ny utrymningsväg

Som synes i avsnitt 4.2.2 kan en extra utrymningsväg minska utrymningstiderna till acceptabla nivåer.



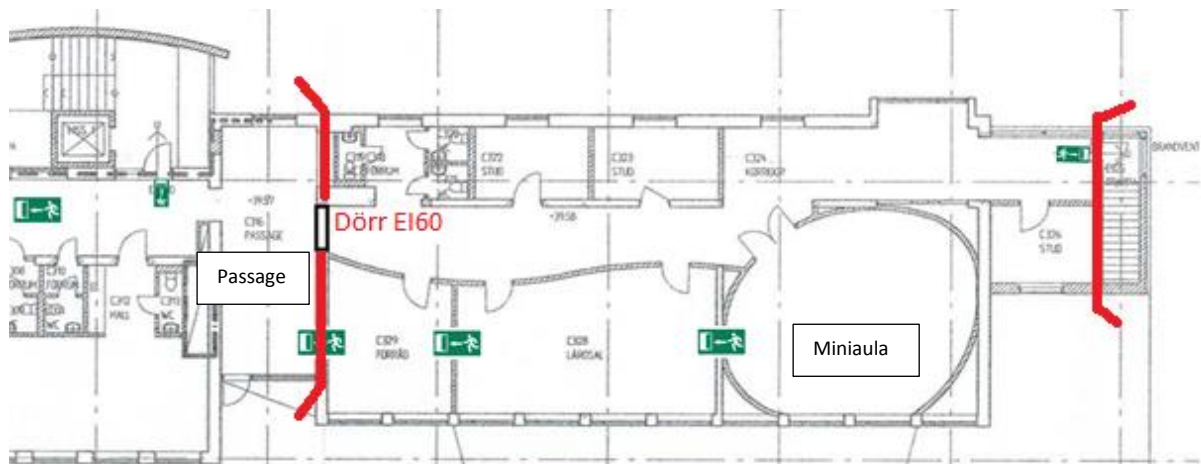
Figur 64: Åtgärdsförslag öppna en ny utrymningsväg ger en utrymningstid på 223,5 sekunder vilket är acceptabelt.

## 7.2 Toalettbrand

Eftersom musikrummet endast är utrustat med en utrymningsväg är en tänkbar lösning att göra det möjligt att utrymma via andra vägar. Det låga personantalet innebär att parametrar såsom axelbredd och gånghastighet troligtvis inte har någon större inverkan på utrymningstiden. Vår rekommenderade lösning är utrymning via fönster vilket är möjligt eftersom rummet är beläget på plan 1. Enligt BBR gäller följaktligen att "Fönstrets underkant får vara beläget högst 2,0 meter över marknivån utanför och om möjlighet till utrymning i övrigt ges på ett tillfredsställande sätt" (Boverket, 2015). Lokalen får dock högt inhysa 50 personer i detta fall. Ett fönster avsett för utrymning får som högst tjäna 30 personer, därför rekommenderas att minst två fönster uppfyller BBR-kraven för utrymning via fönster, avsnitt 5:323 (Boverket, 2015).

## 7.3 Korridor

På grund av rummets läge kan inte åtgärden för toalettbranden appliceras på detta scenario. Då korridoren rökfylls så pass snabbt är det inte tänkbart att utrymma via den. Därför rekommenderar vi att det skapas en alternativ utrymningsväg genom att öppna upp mellan rummen, se skiss i figur 65



Figur 65: Åtgärdsförslag för säker utrymning från miniaula.

För att göra det möjligt att utrymma via denna alternativa väg krävs det att rök inte kan spridas till passage-utrymmet därför rekommenderas det utrymnet i vilket miniaulan ingår utgör en egen brandcell enligt skiss ovan. Brandcellsgränser ska uppfylla kraven för EI 60 och krav på dörrstängare föreligger. (Boverket, 2015)

## Referenser

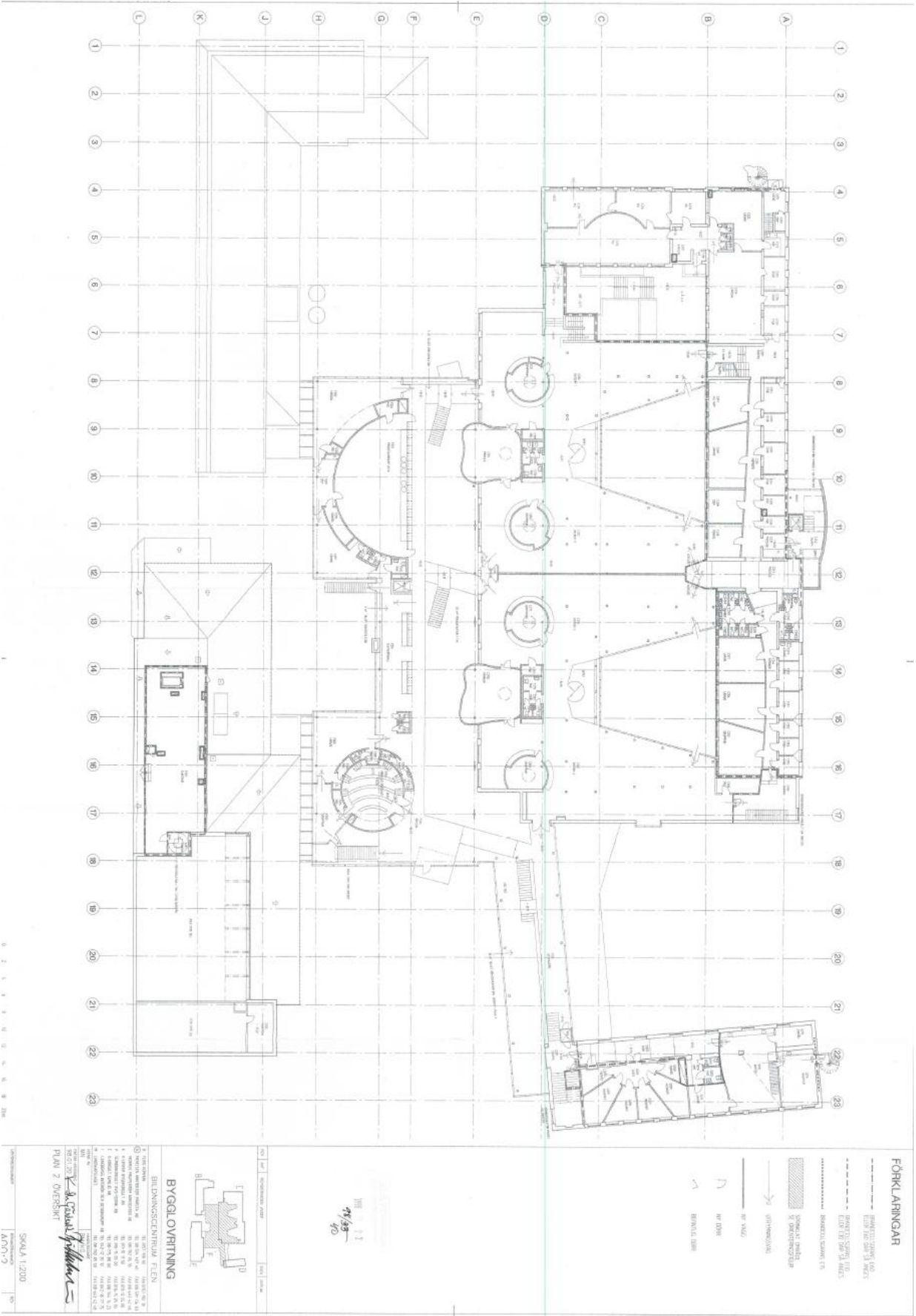
- ABS. (2017). Retrieved from plastbearbetningen.se: <http://www.plastbearbetning.se/abs/>
- Beyler, C. L. (1986). Major Species Production by Diffusion Flames in a Two-layer Compartment Fire. *Fire Safety Journal*.
- Boverket. (2015). *Boverkets byggregler, BBR*. Boverket.
- Boverkets författningssamling. (2013). *BBRAD 3*. Boverket.
- Elnér-Haglund, K. (2017, 03 07). (K. Ukaj, Interviewer)
- Hurley, M. J. (2016). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. New York: Springer.
- Höjer, H. (2012, 7). Svenska skolor brinner mest. *Forskning & Framsteg*.
- Klason, L. G., Johansson, N., & Andersson, P. (2010). *Dimensionerande brand: anlagda*. Brandforsk.
- Madrzykowski, D. (2008). *Impact of a Residential Sprinkler on the Heat Release Rate of a Christmas Tree Fire*. Gaithersburg: NIST.
- NIST. (2014). *Fire Dynamics Simulator*. Baltimore, USA: NIST.
- Per Blomqvist, H. J. (2009). *Brandstatistik - Vad vet vi om anlagd*. Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut .
- Poon, L. (2002). Modelling Fire Development for Fire Engineering Design. *4th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods* (p. 268). Melbourne: Society of Fire Protection Engineers.
- Produktblad Tork. (n.d.). Sverige: Tork. Retrieved from [Tork.se](http://Tork.se).
- Rhodes, S. S. (2011). Characterisation of soot particulates from fire retarded and nanocomposite materials, and their toxicological impact. *Polymer Degradation and Stability*.
- Rotatori, A. F. (1985). *Teaching nutrition, exercise, and weight control to the moderately/mildly handicapped*. Charlottesville, VA: Thomas.
- Samuelsson, H. (2012, 10 03). *Statistiska centralbyrån*. Retrieved from [ww.scb.se](http://www.scb.se): [http://www.scb.se/sv\\_/Hitta-statistik/Artiklar/Vi-vaxer-pa-bredden/](http://www.scb.se/sv_/Hitta-statistik/Artiklar/Vi-vaxer-pa-bredden/)
- SFPE. (2015). *Handbook of Fire Protection Engineering*. New York: Springer-Verlag.
- Staffansson, L. (2010). *Selecting design fires*. Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Stiftelsen Funka. (2015). *Reportage*. Retrieved from Funkaportalen: <http://www.funkaportalen.se/Reportage/Utbildning-arbete/Stod-i-grundskolan/En-av-tio-friskolor-nekar-funktionshindrade.aspx>
- U.S. Department of Commerce. (1982). *Upholstered Furniture Heat Release Rates Measured With A Furniture Calorimeter*. Washington D.C.: National Bureau of Standards.



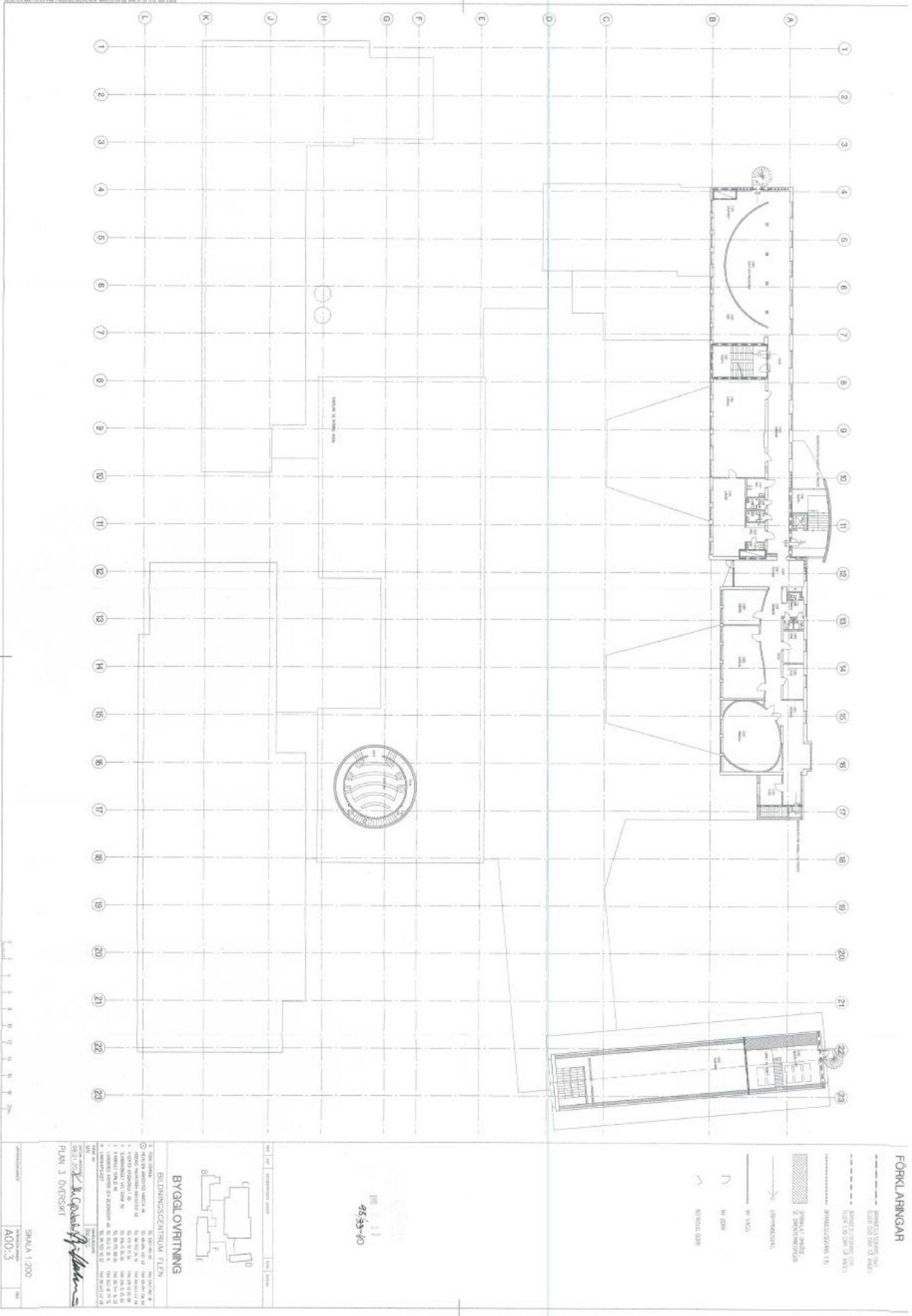






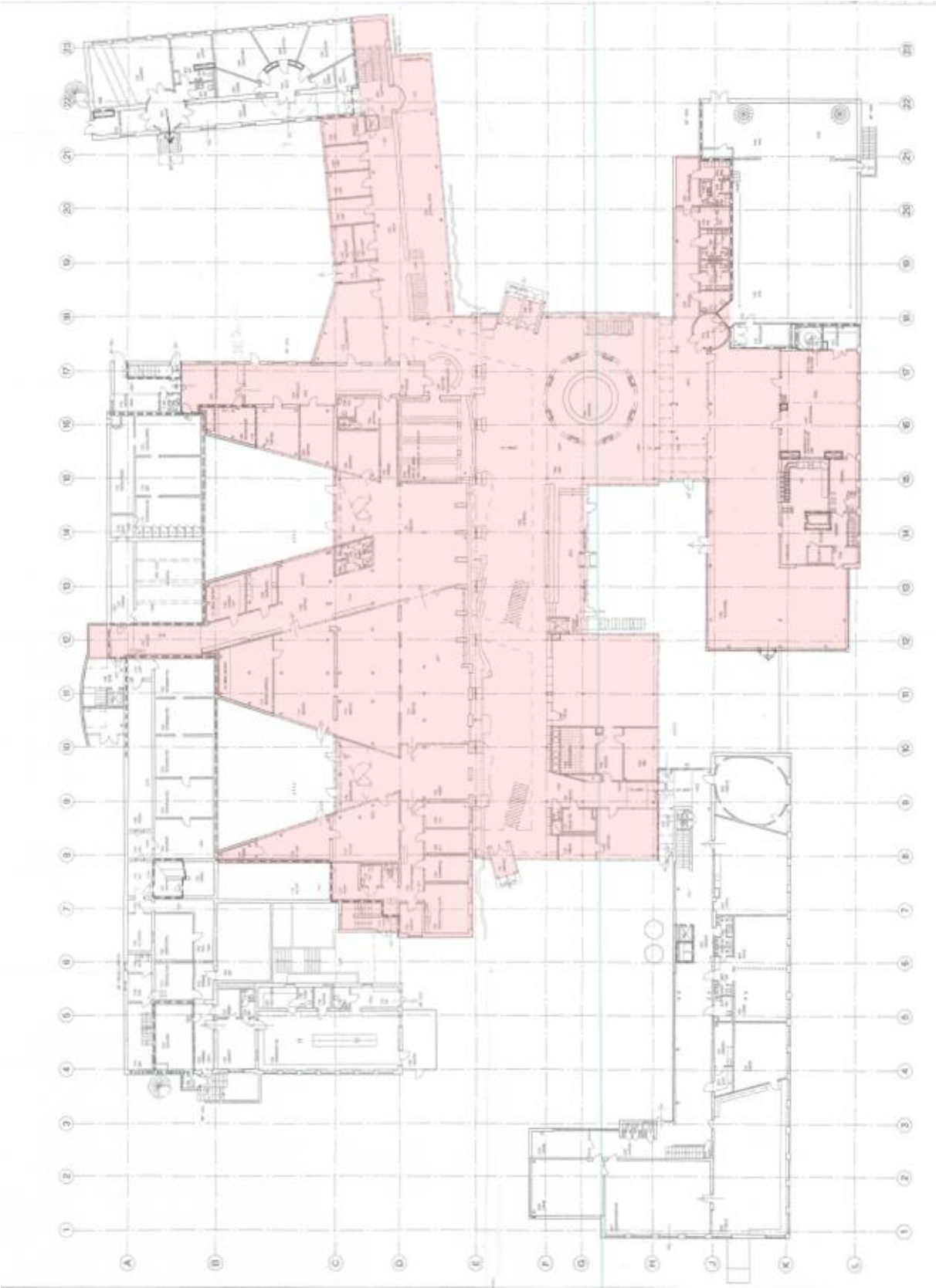


Figur 68: Ritning plan 2

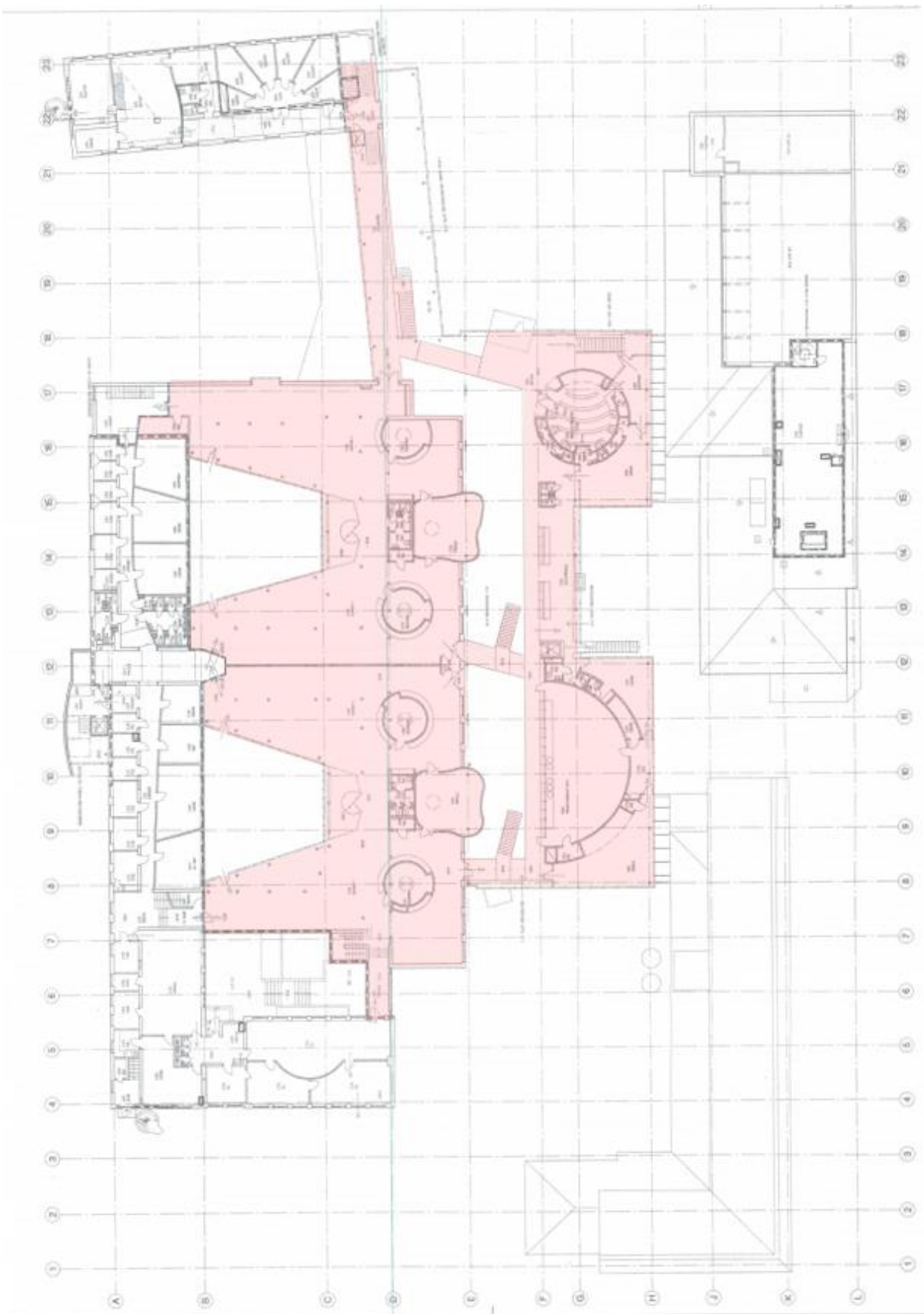


Figur 69: Ritning plan 3

Bilaga B: Sprinklerritningar



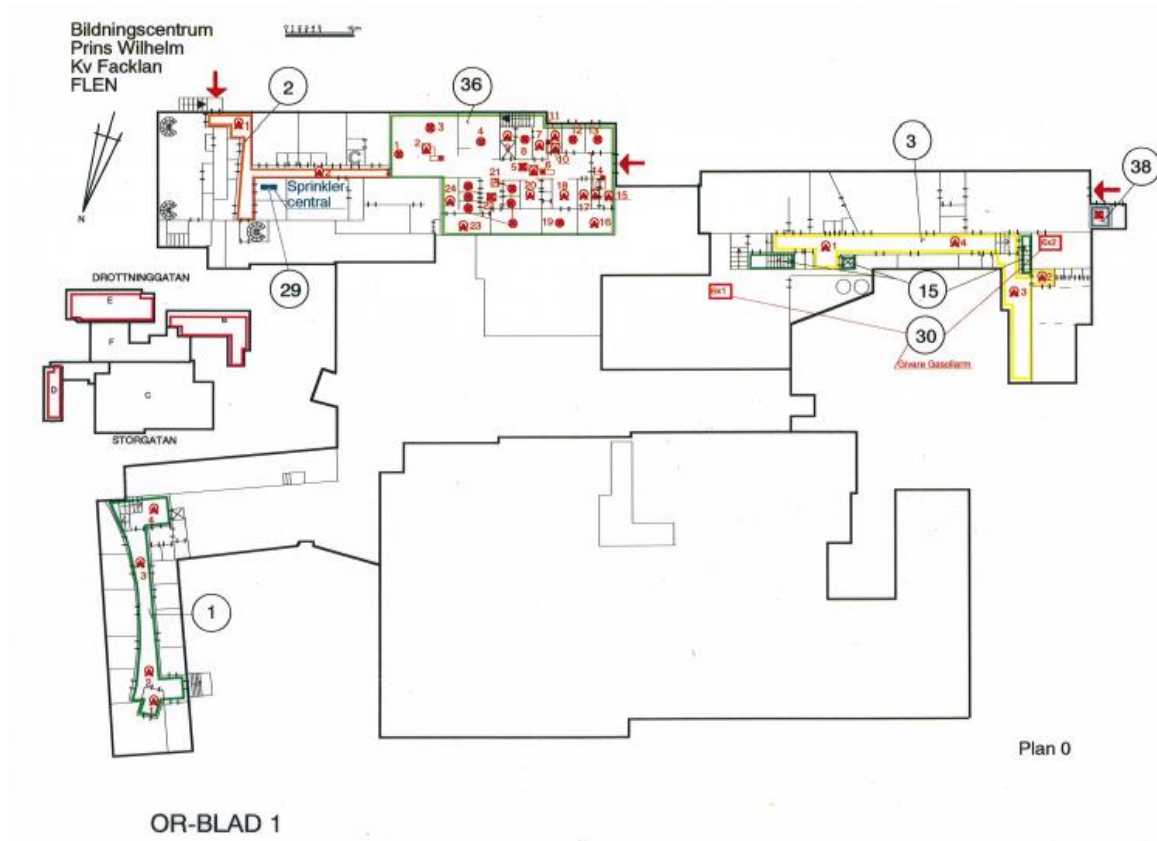
Figur 70. Rödmarkerat området visar sprinklersystem på plan 1



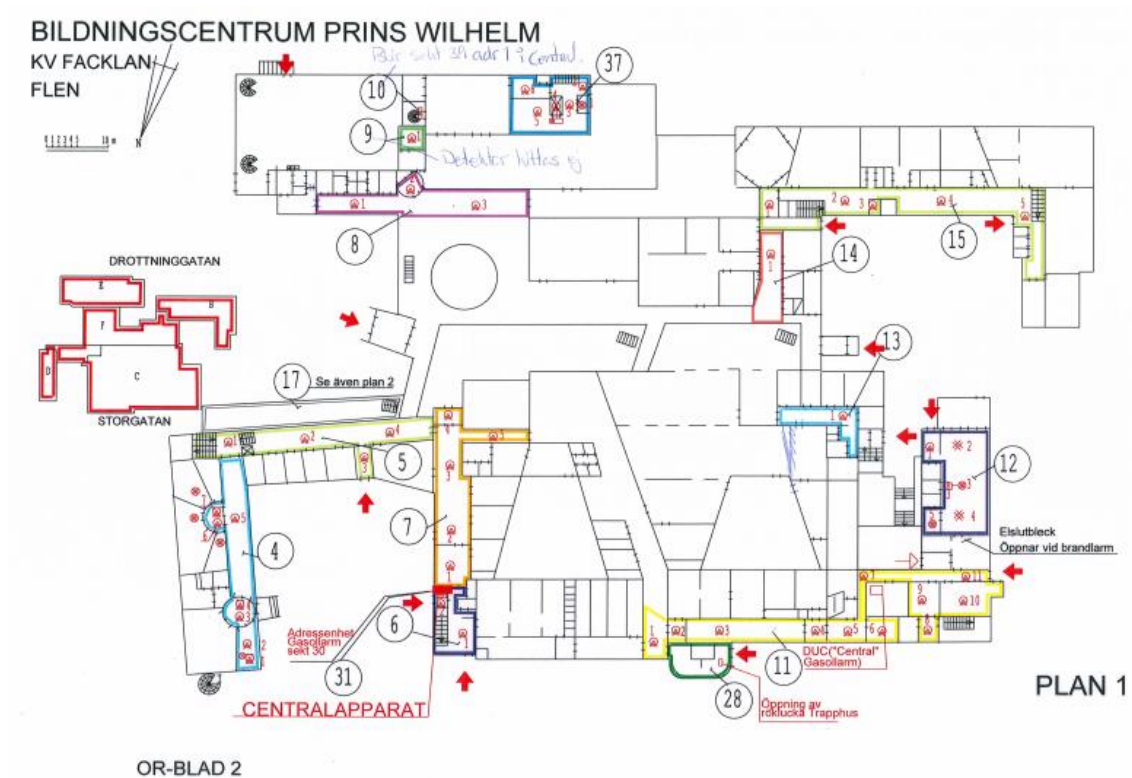
Figur 71. Rödmarkerat område visar sprinklersystem på plan 2



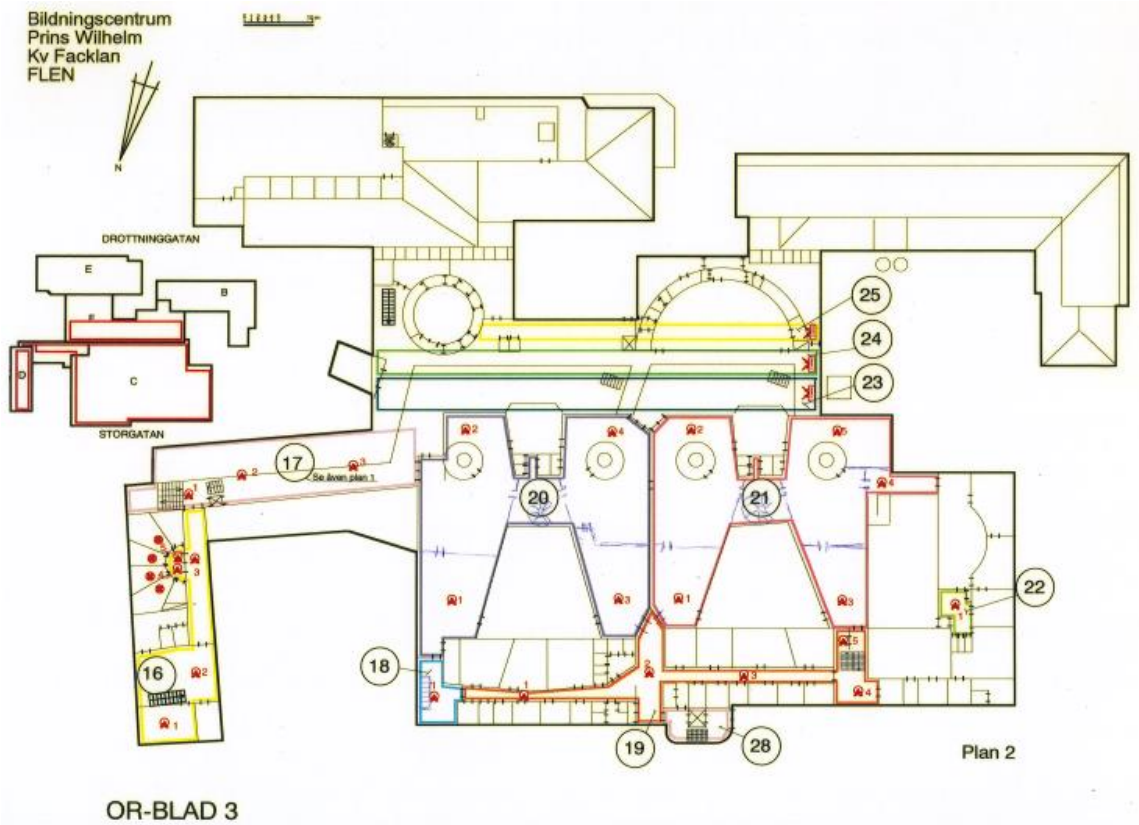
## Bilaga C: Brandlarmsplaner



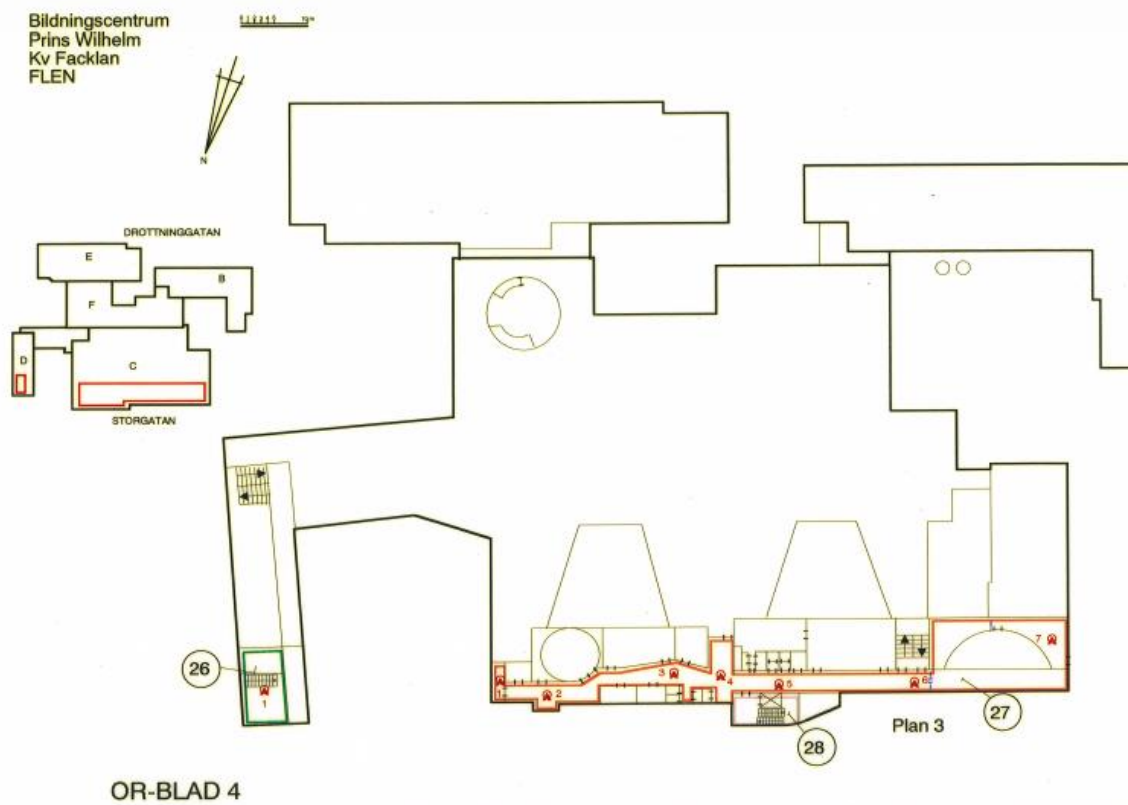
Figur 72: Plan över brandlarm plan 0



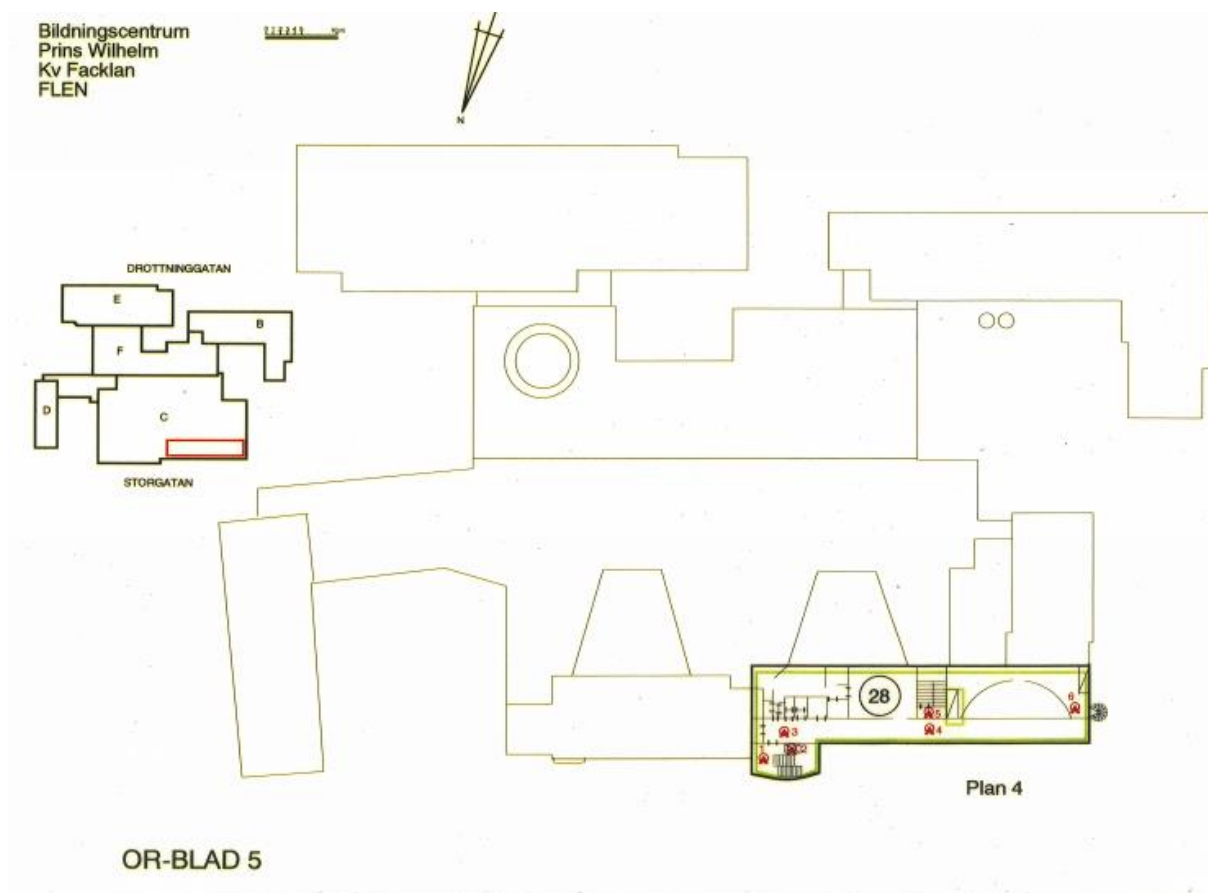
Figur 73: Plan över brandlarm plan 1



Figur 74: Plan över brandlarm plan 2



Figur 75: Plan över brandlarm plan 3



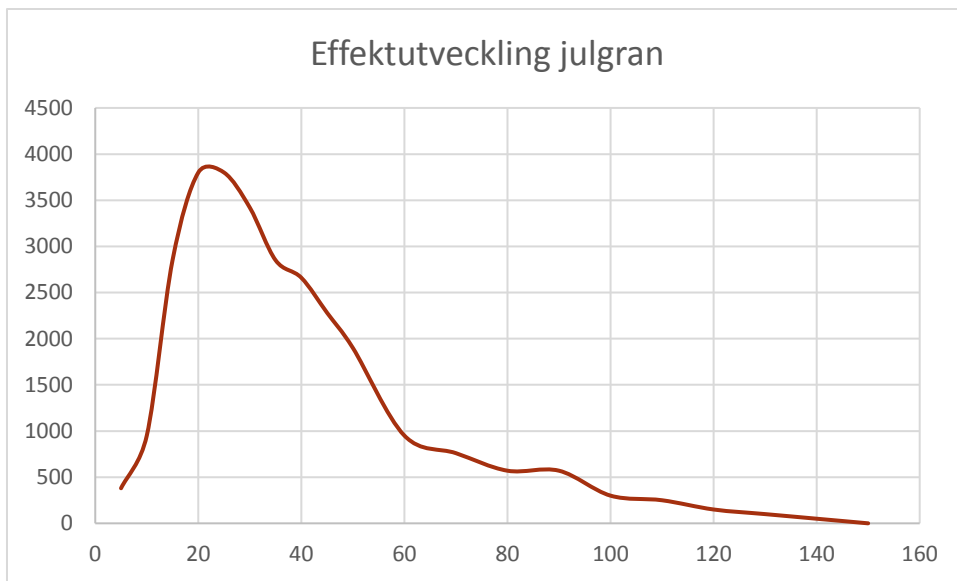
Figur 76: Plan över brandlarm plan 4





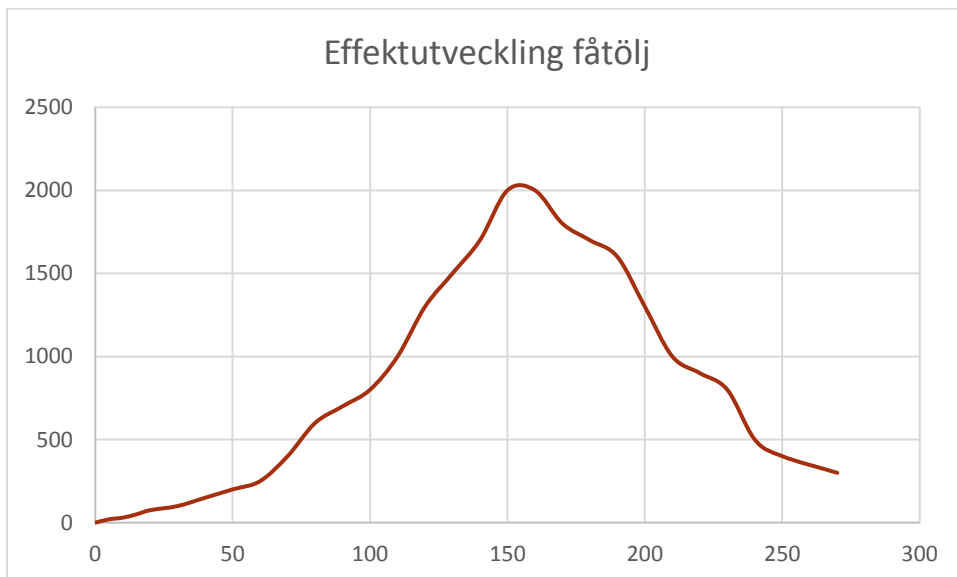
## Bilaga D: Beräkning av effektkurva aula

Från rapporten *Impact of a Residential Sprinkler on the Heat Release Rate of a Christmas Tree Fire* (Madrzykowski, 2008) hämtades följande effektkurva för en julgran (försök I kalorimeter).



Figur 77: Effektkurva för julgran

Sedan hämtades effektkurva från en fåtölj från *Upholstered Furniture Heat Release Rates Measured With A Furniture Calorimeter*. (U.S. Department of Commerce, 1982).



Figur 78: Effektkurva för en "standardfåtölj"

För att få ett rimligt brandscenario som vi bedömde till ett värsta troliga lades effektkurvorna för julgranen samt två fåtöljer ihop genom att värdena adderades. Värdena för fåtölj 1 adderades till värdena till julgranen vid tid 30 s, i enighet med antagandet som gjorts, se avsnitt. Sedan lades värdena för fåtölj 2 till den gemensamma kurvan för fåtölj 1 och julgranen vid tiden 60 sekunder. Den gemensamma effektkurvan användes följaktligen i simuleringarna och presenteras i figur 16.



## Bilaga E: Beräkning av effektkurva toalettbrand

Brandbelastningen uppskattades till 1,750 gram brännbart material bestående av plast och papper varefter det totala energiinnehållet,  $E$ , kunde beräknas enligt ekvation D.1

$$E = \sum vikt_i \cdot antal_i \cdot brandbelastning_i \cdot \Delta H_{c_i} \quad (E.1)$$

Se tabell 9 för beräkningsdata.

Tabell 9. Data för toalettbrand

Material	Vikt (g)	Antal	Brandbelastning (g)	$\Delta H_c$ (kJ/kg)	Energiinnehåll (kJ)
Papper	150	5	750	16	12,000
Plast	500	2	1,000	38	38,000
					<b>Totalt energiinnehåll</b>
					50,000 kJ

För att få fram en effektkurva för branden krävdes även information om brandens tillväxtfas samt hur stor andel av energin som frigjordes under tillväxtfasen. Ingen sådan information om toalettbränder specifikt kunde hittas varför uppskattningar och förenklingar fick göras. Brandens tillväxt antogs följa NFPA:s mediumförlopp enligt alfa-t2-modellen, se ekvation D.2, och den frigjorda energin under denna fas uppskattades till 30 %. Detta värde baseras på en ingenjörsmässig bedömning utifrån visuella uppskattningar av effektkurvor för andra bränder samt uppgifter från Poon. (Poon, 2002)

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

Genom att integrera alfa-t2-kurvan och därefter likställa den med förbränningsentalpin under tillväxtfasen,  $0,3 \cdot 50,000 = 15,000$ , erhålls ett värde för tiden,  $t_{pik}$ , då branden antas ha uppnått sin maxeffekt,  $\dot{Q}_{max}$ .

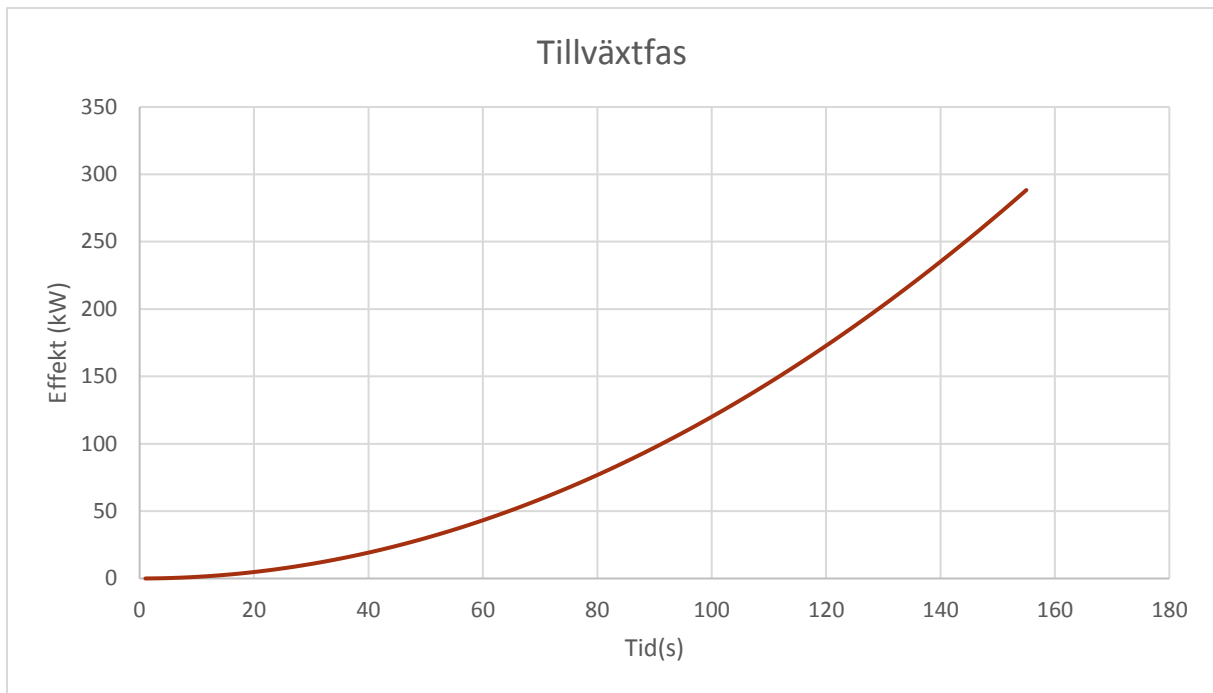
$$0,3 \cdot 50,000 = \int_0^t \alpha t^2 \Rightarrow t_{pik} = \left(3 \frac{15,000}{\alpha}\right)^{1/3} = 155 \text{ s}$$

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \Rightarrow \dot{Q}_{max} = \alpha 155^2 \approx 290 \text{ kW}$$

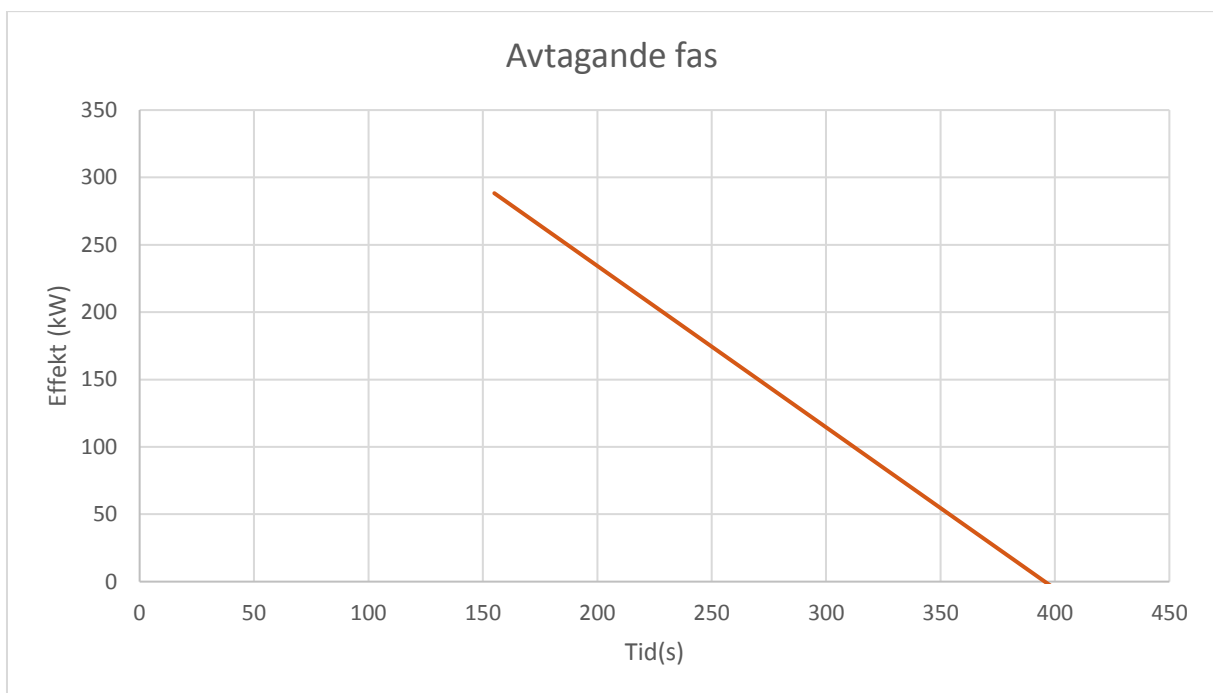
För den avtagande fasen antogs förloppet vara linjärt. Tidpunkten då branden avtagit helt,  $t_{stut}$ , beräknades enligt

$$t_{stut} = \frac{(2 \cdot 0,7 \cdot 50,000)}{\dot{Q}_{max}} + t_{pik} = \frac{(2 \cdot 0,7 \cdot 50,000)}{290} + 155 = 242 + 155 = 397 \text{ s}$$

Detta ger en tillväxtfas respektive avtagande fas enligt figur 79 och 80.

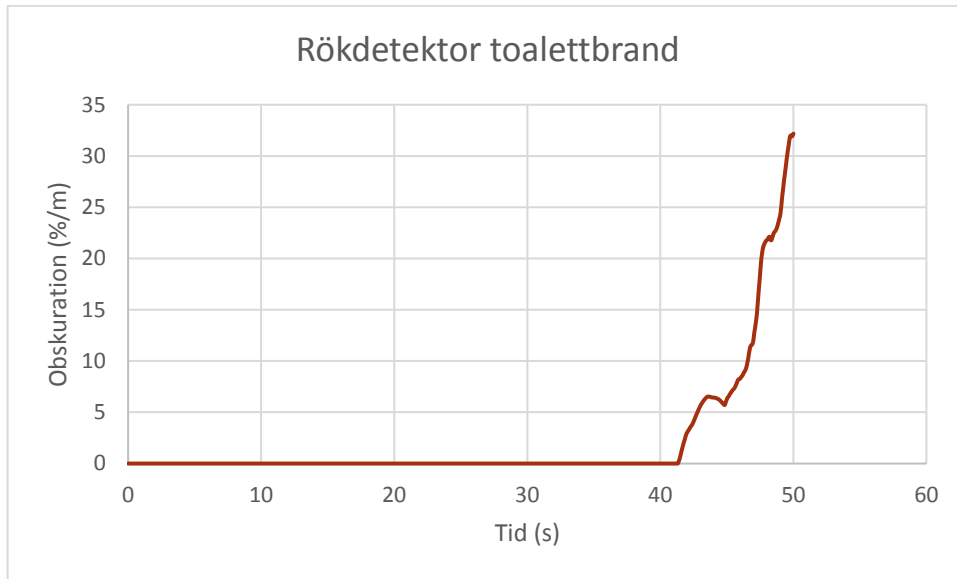


Figur 79. Tillväxtfas toalettbrand

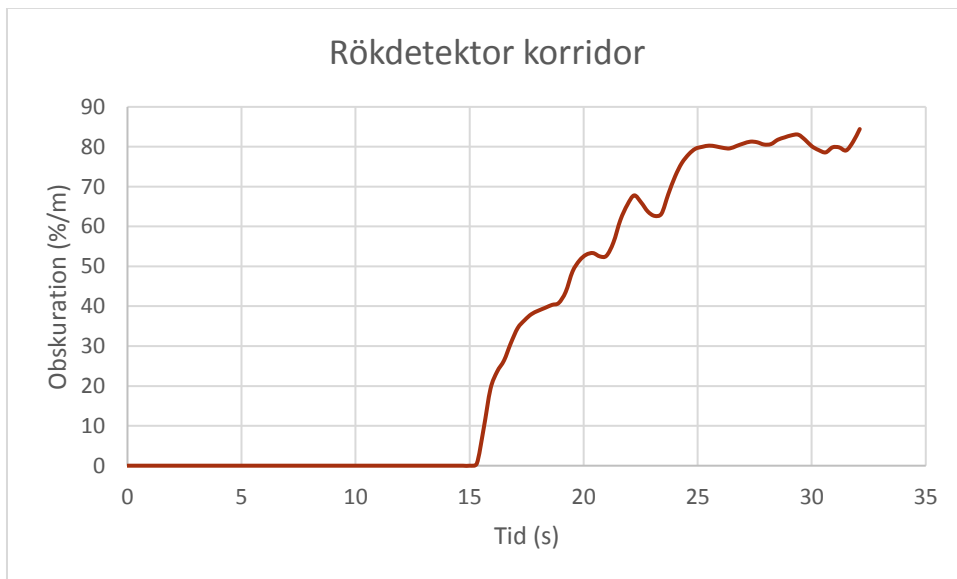


Figur 80. Avtagande fas toalettbrand

## Bilaga F: Aktivering av rökdetektor i FDS



Figur 81. Rökdetektor toalettbrand



Figur 82. Rökdetektor korridor



## Bilaga G: FDS-kod

&HEAD CHID='Korridor', TITLE='Matsal'/

&TIME T\_END=300.0/

&DUMP RENDER\_FILE='Korridor.ge1'/

&MESH ID='MESH', IJK=88,289,31, XB=5.2,14.0,0.8,29.7,-0.2,2.9/

&REAC ID='WOOD\_PINE',

  FYI='SFPE Handbook, 3rd Ed',

  FUEL='REAC\_FUEL',

  C=1.0,

  H=1.7,

  O=0.83,

  CO\_YIELD=0.01,

  SOOT\_YIELD=0.03,

  HEAT\_OF\_COMBUSTION=1.02247E4/

&PROP ID='Cleary Photoelectric P1',

  QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',

  ALPHA\_E=1.8,

  BETA\_E=-1.0,

  ALPHA\_C=1.0,

  BETA\_C=-0.8/

&DEVC ID='LAYER', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=10.0,10.0,17.0,17.0,0.0,2.7/

&DEVC ID='LAYER01', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=10.0,10.0,24.0,24.0,0.0,2.7/

&DEVC ID='LAYER02', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=10.0,10.0,20.0,20.0,0.0,2.7/

&DEVC ID='LAYER03', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=10.0,10.0,17.0,17.0,0.0,2.7/

&DEVC ID='LAYER04', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=10.0,10.0,28.0,28.0,0.0,2.7/

&DEVC ID='LAYER05', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=11.2,11.2,11.4,11.4,0.0,2.7/

&DEVC ID='SD01', PROP\_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=11.8,5.9,2.6/

&DEVC ID='THCP', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=10.0,24.0,1.6/

&DEVC ID='THCP01', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=11.2,11.4,1.6/

&DEVC ID='SD02', PROP\_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=9.9,21.3,2.6/

&MATL ID='BRICK',

  SPECIFIC\_HEAT=0.84,

  CONDUCTIVITY=0.69,

  DENSITY=1600.0/

&SURF ID='WALL',

  MATL\_ID='BRICK',

  THICKNESS=0.25/

&SURF ID='FIRE',

  COLOR='RED',

  HRRPUA=276.0,

  RAMP\_Q='FIRE\_RAMP\_Q'/

&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=0.0, F=0.0/

&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=30.0, F=0.493/

&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=60.0, F=1.0/

&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=90.0, F=0.97/

&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=120.0, F=0.94/

&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=150.0, F=0.81/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=180.0, F=0.68/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=210.0, F=0.5/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=240.0, F=0.32/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=270.0, F=0.24/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=300.0, F=0.16/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=330.0, F=0.16/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=360.0, F=0.16/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=390.0, F=0.104/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=420.0, F=0.05/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=450.0, F=0.08/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=480.0, F=0.12/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=510.0, F=0.078/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=540.0, F=0.035/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=570.0, F=0.035/

&OBST ID='Obstruction', XB=10.5,13.0,1.0,1.2,0.0,2.7, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=12.75,13.0,1.2,4.5,0.0,2.75, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=11.2,12.8,13.3,13.5,0.0,2.7, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=8.5,8.7,12.2,26.5,0.0,2.7, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=11.0,11.2,13.3,26.5,0.0,2.7, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=11.8,12.3,11.9,12.4,0.0,0.5, SURF\_IDS='FIRE','FIRE','INERT'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.2,5.4,26.7,29.3,-0.2,2.7, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.2,13.5,26.5,26.7,-0.2,2.7, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.2,13.5,29.3,29.5,-0.2,2.7, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.4,13.3,26.7,29.3,-0.2,0.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=8.5,9.7,12.0,12.2,-0.2,2.7, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=8.5,11.2,13.5,26.5,-0.2,0.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=8.5,12.8,12.2,13.5,-0.2,0.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=9.5,9.7,9.7,12.0,-0.2,2.7, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=9.5,10.7,9.5,9.7,-0.2,2.7, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=9.7,12.8,9.7,12.2,-0.2,0.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=10.5,10.7,1.2,9.5,-0.2,2.7, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=10.5,13.0,1.0,1.2,-0.2,0.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=10.7,12.7,4.5,4.7,-0.2,0.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=10.7,12.8,7.3,9.7,-0.2,0.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=10.7,13.0,1.2,4.5,-0.2,0.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=10.7,13.8,4.7,7.3,-0.2,0.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=12.7,14.0,4.5,4.7,-0.2,2.7, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=12.8,13.0,7.5,13.5,-0.2,2.7, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=12.8,14.0,7.3,7.5,-0.2,2.7, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=13.3,13.5,26.7,29.3,-0.2,2.7, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=13.8,14.0,4.7,7.3,-0.2,2.7, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.2,13.5,26.5,29.5,2.7,2.9, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=8.5,11.2,13.5,26.5,2.7,2.9, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=8.5,13.0,12.0,13.5,2.7,2.9, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=9.5,13.0,9.5,12.0,2.7,2.9, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=10.5,13.0,1.0,4.5,2.7,2.9, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=10.5,13.0,7.5,9.5,2.7,2.9, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=10.5,14.0,4.5,7.5,2.7,2.9, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='WALL'/

&HOLE ID='Hole', XB=9.5,11.0,26.5,26.7,0.0,2.7/



```

&HOLE ID='Hole', XB=10.0,11.0,29.3,29.5,0.0,2.7/
&HOLE ID='Hole', XB=11.7,12.7,1.0,1.2,0.0,2.2/

&VENT ID='Vent03', SURF_ID='OPEN', XB=9.8,11.2,29.7,29.7,0.0,2.7/
&VENT ID='Vent', SURF_ID='OPEN', XB=11.4,13.0,0.8,0.8,0.0,2.7/

&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=9.9/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=9.9/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=12.0/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=12.0/

&TAIL /

&HEAD CHID='Toalett'/
&TIME T_END=100.0/
&DUMP RENDER_FILE='Toalett.ge1', COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_RESTART=300.0/

&MESH ID='Mesh02', IJK=200,120,60, XB=0.0,10.0,0.0,6.0,0.0,3.0/

&REAC ID='PROPYLENE',
  FYI='FM SNL FDS5 Validation',
  FUEL='REAC_FUEL',
  FORMULA='C3H6',
  CO_YIELD=0.01,
  SOOT_YIELD=0.03,
  HEAT_OF_COMBUSTION=28000.,
  IDEAL=.TRUE. /

&PROP ID='Cleary Photoelectric P1',
  QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',
  ALPHA_E=1.8,
  BETA_E=-1.0,
  ALPHA_C=1.0,
  BETA_C=-0.8/

&DEVC ID='NV_LAYER', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=2.5,2.5,4.5,4.5,0.0,2.5/
&DEVC ID='NO_LAYER', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=5.5,5.5,4.5,4.5,0.0,2.5/
&DEVC ID='SV_LAYER', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=2.5,2.5,2.2,2.2,0.0,2.5/
&DEVC ID='SO_LAYER', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=5.5,5.5,2.2,2.2,0.0,2.5/
&DEVC ID='SD', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=4.1,3.5,2.4/
&DEVC ID='THCP', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=4.1,3.5,1.85/
&DEVC ID='Visibility', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=3.6,3.55,1.85/

&MATL ID='CONCRETE', FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation', SPECIFIC_HEAT=1.04,
CONDUCTIVITY=1.8, DENSITY=2280.0/

&SURF ID='StdBetongvägg',
  MATL_ID='CONCRETE',
  THICKNESS=0.2/

```

&SURF ID='FIRE',  
RGB=252.0,30.0,37.0,  
HRRPUA=554.0,  
RAMP\_Q='FIRE\_RAMP\_Q'/

&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=0.0, F=0.0/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=10.0, F=0.004/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=20.0, F=0.016/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=30.0, F=0.037/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=40.0, F=0.066/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=50.0, F=0.1/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=60.0, F=0.15/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=70.0, F=0.2/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=80.0, F=0.27/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=90.0, F=0.34/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=100.0, F=0.42/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=110.0, F=0.5/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=120.0, F=0.6/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=130.0, F=0.7/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=140.0, F=0.82/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=150.0, F=0.94/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=155.0, F=1.0/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=395.0, F=0.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,9.0,5.5,5.6,0.0,2.5, SURF\_ID='StdBetongvägg'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=9.0,9.2,4.1,5.6,0.0,2.5, SURF\_ID='StdBetongvägg'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,9.2,3.9,4.1,0.0,2.5, SURF\_ID='StdBetongvägg'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=4.9,5.0,4.9,5.6,0.0,2.5, SURF\_ID='INERT'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=7.2,7.3,4.1,5.5,0.0,2.5, SURF\_ID='StdBetongvägg'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=8.0,8.5,5.4,5.5,1.0,1.6, SURF\_ID6='FIRE','FIRE','FIRE','INERT','FIRE','FIRE'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=2.1,5.0,4.8,4.9,0.0,2.5, SURF\_ID='INERT'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=2.0,2.1,2.0,4.9,0.0,2.5, SURF\_ID='INERT'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=2.0,6.1,1.9,2.0,0.0,2.5, SURF\_ID='INERT'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,6.1,2.0,3.9,0.0,2.5, SURF\_ID='INERT'/  
&OBST ID='Roof', XB=2.0,6.0,1.9,3.9,2.5,2.75, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='StdBetongvägg'/  
&OBST ID='Roof', XB=2.0,9.2,3.9,4.9,2.5,2.75, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='StdBetongvägg'/  
&OBST ID='Roof', XB=4.9,9.2,4.9,5.6,2.5,2.75, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='StdBetongvägg'/

&HOLE ID='Hole', XB=7.15,7.35,4.4,5.2,0.0,2.0, COLOR='INVISIBLE'/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=8.2/  
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=8.2/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=4.0/  
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=3.5/

&TAIL /

Aula.fds

Generated by PyroSim - Version 2016.2.0922  
2017-mar-09 10:51:19

&HEAD CHID='Aula', TITLE='BTR'/  
&TIME T\_END=300.0/  
&DUMP RENDER\_FILE='Aula.ge1'/

&MESH ID='MESH', IJK=120,86,42, XB=-0.4,23.6,4.0,21.2,-0.2,8.2/

&REAC ID='WOOD', FUEL='WOOD',  
FYI='WOOD, C\_1 H\_1.7',  
C=1.0,  
H=1.7,  
O=0.83,  
N=0.0,  
SOOT\_YIELD=0.03,  
CO\_YIELD=0.01,  
HEAT\_OF\_COMBUSTION=17940.0,  
IDEAL=.TRUE. /

&RADI RADIATION=.TRUE., RADIATIVE\_FRACTION=0.35, NUMBER\_RADIATION\_ANGLES=104 /

&DEVC ID='LAYER->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=2.0,2.0,16.0,16.0,0.0,8.0/  
&DEVC ID='LAYER->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE', XB=2.0,2.0,16.0,16.0,0.0,8.0/  
&DEVC ID='LAYER01->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=5.0,5.0,16.0,16.0,0.0,8.0/  
&DEVC ID='LAYER01->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE', XB=5.0,5.0,16.0,16.0,0.0,8.0/  
&DEVC ID='LAYER02->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=5.0,5.0,12.0,12.0,0.0,8.0/  
&DEVC ID='LAYER02->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE', XB=5.0,5.0,12.0,12.0,0.0,8.0/  
&DEVC ID='LAYER03->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=2.0,2.0,12.0,12.0,0.0,8.0/  
&DEVC ID='LAYER03->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE', XB=2.0,2.0,12.0,12.0,0.0,8.0/

&MATL ID='BRICK',  
SPECIFIC\_HEAT=0.84,  
CONDUCTIVITY=0.69,  
DENSITY=1600.0/

&SURF ID='WALL',  
MATL\_ID='BRICK',  
THICKNESS=0.2/

&SURF ID='FIRE',  
RGB=255.0,20.0,12.0,  
HRRPUA=760.0,  
RAMP\_Q='FIRE\_RAMP\_Q'/

&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=0.0, F=0.0/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=5.0, F=0.1/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=10.0, F=0.25/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=15.0, F=0.75/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=20.0, F=1.0/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=25.0, F=1.0/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=30.0, F=0.9/

&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=35.0, F=0.755263/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=40.0, F=0.707895/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=45.0, F=0.613158/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=50.0, F=0.519737/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=60.0, F=0.276316/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=70.0, F=0.244737/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=80.0, F=0.210526/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=90.0, F=0.228947/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=100.0, F=0.203947/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=110.0, F=0.25/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=120.0, F=0.263158/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=130.0, F=0.289474/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=140.0, F=0.342105/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=150.0, F=0.447368/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=160.0, F=0.552632/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=170.0, F=0.631579/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=180.0, F=0.736842/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=190.0, F=0.789474/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=200.0, F=0.815789/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=210.0, F=0.842105/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=220.0, F=0.868421/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=230.0, F=0.868421/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=240.0, F=0.789474/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=250.0, F=0.710526/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=260.0, F=0.657895/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=270.0, F=0.552632/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=280.0, F=0.447368/  
&RAMP ID='FIRE\_RAMP\_Q', T=300.0, F=0.342105/

&OBST ID='Obstruction', XB=-0.4,23.6,4.0,4.2,0.0,8.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=23.4,23.6,4.2,21.0,0.0,8.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=18.6,18.8,16.4,21.0,0.0,8.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=17.0,17.2,4.2,7.0,0.0,8.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,18.6,17.4,17.6,0.0,8.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=18.6,23.6,21.0,21.2,0.0,8.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=17.0,17.2,14.4,17.4,0.0,8.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=17.2,18.8,16.2,16.4,0.0,8.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.4,-0.2,4.0,17.6,0.0,8.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=8.0,8.2,4.2,17.4,0.0,0.2, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=17.0,17.2,7.0,14.5,0.0,1.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=17.0,17.2,7.0,14.4,6.4,8.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=15.6,16.6,6.0,7.0,1.2,2.2, SURF\_IDS='FIRE','FIRE','INERT'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,8.2,4.2,17.4,0.2,0.4, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.4,15.6,5.2,16.0,-0.2,-5.55112E-17, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.4,23.6,4.0,5.2,-0.2,-5.55112E-17, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.4,23.6,16.0,17.6,-0.2,-5.55112E-17, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=15.6,15.8,5.4,15.8,-0.2,1.2, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=15.6,17.0,5.2,5.4,-0.2,1.2, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=15.6,17.0,15.8,16.0,-0.2,1.2, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=15.8,17.0,5.4,7.0,1.0,1.2, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=15.8,17.0,14.4,15.8,1.0,1.2, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=15.8,23.4,7.0,14.4,1.0,1.2, SURF\_ID='WALL'/

&OBST ID='Obstruction', XB=15.8,23.6,5.4,15.8,-0.2,-5.55112E-17, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=17.0,23.6,5.2,5.4,-0.2,-5.55112E-17, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=17.0,23.6,15.8,16.0,-0.2,-5.55112E-17, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=17.2,23.4,4.2,7.0,1.0,1.2, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=17.2,23.4,14.4,16.2,1.0,1.2, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=18.6,23.6,17.6,21.2,-0.2,-5.55112E-17, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=18.8,23.4,16.2,21.0,1.0,1.2, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,4.0,4.2,17.4,3.0,3.2, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.4,18.6,17.6,21.2,2.8,3.0, SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.4,23.4,4.0,17.6,8.0,8.2, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='WALL'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=18.6,23.4,17.6,21.2,8.0,8.2, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='WALL'/

&HOLE ID='Hole', XB=0.0,2.0,17.6,17.8,0.0,2.2/

&VENT ID='Vent', SURF\_ID='OPEN', XB=-0.4,-0.4,17.6,21.2,0.0,2.8/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=16.0/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=6.6/  
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=4.0/  
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=6.0/  
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBY=15.0/  
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBY=13.0/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=6.0/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=4.0/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=13.0/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=15.0/

&TAIL /