

DEN 10 JUNI 2018

UPPSALA UNIVERSITETSHUS

BRANDTEKNISK RISKVÄRDERING



LUNDS
UNIVERSITET

ARON FRANSSON
JAKOB KULLMANN
MANNE MALMBERG
FELICIA KLINT

Brandteknisk riskvärdering av Uppsala Universitetshus

Författare:

Aron Fransson

Felicia Klint

Jakob Kullmann

Manne Malmberg

Handledare:

Bjarne Husted

Lund 2018

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

Titel/Title

Uppsala Universitetshus – brandteknisk riskvärdering/ Uppsala University Building / Fire Protection Risk Evaluation

Av/By

Aron Fransson, Felicia Klint, Jakob Kullmann och Manne Malmberg

Rapport/report

9514

Antal sidor/ number of pages

1147

Bilder och illustrationer/ pictures and illustrations

Bilder som används i rapporten är tagna på platsbesöket samt från skärmlapp i olika simuleringsprogram.

Nyckelord/ Keywords

Uppsala Universitetshus, Brandteknisk riskvärdering, BTR, brand på scen, brand i garderob, brand i kläder, aula, FDS, Pathfinder, Smokeview, mänskligt beteenden, RSET, ASET, utrymning, brandscenario, riskidentifiering

Språk/language

Svenska/Swedish

Förord

Rapporten utgör en del av kursen VBRN70 Brandteknisk riskvärdering som ges av Avdelningen för brandteknik på Lunds Tekniska Högskola. Kursen kopplar ihop tidigare kunskaper från flera olika kurser.

Vi skulle vilja tacka följande personer som gjort denna rapport möjlig.

Bjarne Husted för vägledande och viktiga kommentarer under rapportens skrivande samt för hjälp vid simulering i FDS

Cecilia Svensson, Brandingenjör vid Uppsala brandförsvär för viktiga kommentarer under besöket

Greger Hjelm, säkerhetssamordnare Uppsala universitet för viktiga kommentarer under besöket

Enrico Ronchi, för all hans hjälp med programmet Pathfinder

Maurice Hart, för hans passionerade och uppskattade rundvisning av Universitetshuset.

Abstract

Uppsala University building was built in the 19th century. A larger renovation was conducted in 2016, when the buildings fire protection systems was improved. This report investigates and evaluates the existing fire protection with consideration to both human safety and economic damage.

After conducting a risk scenario analysis, two scenarios were determined to be more crucial to investigate than the others. For one scenario a fire initiated in the provisional closet, used during larger events, and for the other a fire on the auditorium stage. These two cases were analyzed by using a CFD-model for the fire and a continuous model for evacuation. The software's used was FDS and Pathfinder. With simulations in FDS and Pathfinder the time until critical values could be determined, as well as an estimated total evacuation time.

The results for the fire initiated in the auditorium showed that the total evacuation time exceeded the time until critical values were met. After 100 seconds the smoke layer height became critical in the auditorium and after an additional 15 seconds visibility was critical on the terrace. Additionally, after 209 seconds the visibility was critical on the ground level in the auditorium. After 153 seconds the audience from the terrace was evacuated and after, in total, 313 seconds the remaining audience had also evacuated. As the audience safety could not be certified recommended measures were necessary. For the fire in the provisional closet, time until critical values exceeded the time necessary for total evacuation. The total evacuation took 160 seconds and the affected parameter that reached critical values, which was visibility, was reached after 195 seconds. To investigate how the input data for the simulations affect the results, a sensitivity analysis was conducted for both cases.

Recommended improvements are as follows:

- Technical solution for the auditorium– Smoke ventilation is recommended for the auditorium since the smoke layer and visibility reach critical conditions.
- Blinking lights that activate when alarm initiates– To make people more aware of the doors in evacuation, blinking lights above the doors is a recommended measure. This is based on research within human behavior in fire, connected to the theory of affiliation and the theory of affordances.
- Routines for evacuation – to make people more prepared for an emergency a short safety tutorial should be performed at every event. The introduction would inform people about the different exits.

Since the interior of the building has a large historical and economic value, emphasis has been on solutions that would be effective whilst preserving the building. In consequence, to reduce the evacuation time instead of increasing the time until critical conditions by the means of technical solutions.

Sammanfattning

Uppsala universitetshus byggdes på 1800-talet och renoverades 2016 där brandskyddet förbättrades i byggnaden. Rapporten analyserar och utvärderar det befintliga brandskyddet där personskador främst står i fokus men även ekonomiska skador kommer att ta hänsyn till.

Vid scenarioanalys framkom det att de största riskerna var brand i provisorisk garderob samt en stor brand på scenen i aulan. Scenarierna simulerades i FDS och i Pathfinder för att få fram tiden till kritiska värden respektive evakueringstiden.

Efter analys framkom det att kritiska värden uppkom i brand på scen då utrymning av lokalen ej var klar. I aulan uppnåddes kritiska värden efter 100 s. Motsvarande blev utrymningstiden 153 s i övre del av aulan och 313 s i nedre del av aulan. I garderoben framkom det kritiska värdet efter 195 s vilket var efter personerna utrymt. Det kritiska värdet från brand i garderob framkom i trapphuset precis utanför. Inga kritiska värden framkom på övrig yta under simuleringstiden. De kritiska värdena som framkommer är sikt och höjden till brandgaslagret.

För att se hur värdena i simuleringen påverkar görs känslighetsanalyser. För FDS görs en känslighetsanalys på cellstorlek och för Pathfinder analyseras ingående parametrars påverkan (axelbredd, gånghastighet, förberedelsetid, val ut av dörr).

De åtgärder som föreslås är:

- Brandgasventilation – i Aula kommer det ges förslag till brandgasventilation för att få bort brandgaserna. Här kommer både brandgaslager och sikt att vara avgörande.
- Skyltning av dörrar – För att göra människorna mer uppmärksamma på existerande utrymningsvägar kommer det ges förslag till insättande av grönt blinkande ljus ovanför dörrarna för att lättare fånga personers uppmärksamhet
- Rutiner för utrymning – För att göra människor mer uppmärksamma och förberedda för brand föreslås en säkerhetsgenomgång inför varje event där brandvakterna presenteras samt utrymningsvägarna pekas ut.

Fokus att vara på att minska utrymningstiden för att inte behöva bygga om i huset. För utrymning av aulan kommer det däremot inte räcka med att minska utrymningstid enbart vilket gör att en ytterligare teknisk installation i form av ökad brandgasventilation föreslås. Dock kommer att utrymningstiden att kunna minskas genom att ge en informationsgenomgång samt uppmärksamma utrymningsdörrarna mer.

Nomenklaturlista & teckenförklaring

s – sekunder

t- tid

°C - grader Celsius

kW –kilowatt

MJ – Megajoule

Kg – kilogram

A_0 – Area öppning

H_0 – Höjd i öppning

\dot{m} – massflöde i sekund

m – meter

X_r - fraktionsfaktor av avgiven energi

\dot{Q} - effektutveckling

R_0 - är avståndet till mitten av flamman

\dot{q}'' - Strålning

ρ_∞ - omgivningens densitet

c_p – Specifik värmekapacitet

T_∞ - omgivningens temperatur

g –allmänna gravitationskonstanten

\dot{Q} – effektutveckling

D^* - karaktäristisk densitet

δ_x - cellstorlek

z - är höjden av brandgaslagret

H - höjden av lokalen

h – Värmekonduktivitet

A_w – Area av innerväggar, golv och tak

BBR – Boverkets byggregler

NIST – National Institute of Standards and Technology

FDS – Fire Dynamics Simulator

ASET – Available Safe Egress Time

RSET – Required Safe Egress Time

NFPA – National Fire Protection Association

IDA – Informationssystemet IDA (Indikationer, Data och Analys)

FED – Fractional Effective Dose

SFPE – Society of Fire Protection Engineers

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Syfte	1
1.2 Mål	1
1.3 Skyddsmål	1
1.4 Avgränsningar	1
2. Metod	3
2.1 Skadekriterier	4
2.1.1 Värmestrålning	4
2.1.2 Temperatur	4
2.1.3 Toxicitet	5
2.1.4 Sikt	5
2.1.5 Höjd från golv till brandgaslagret	5
2.2 Teoretisk bakgrund för utrymning	5
2.2.1 Utrymningsmodellen	6
2.2.2 Människors beteende vid brand	7
2.3 Simuleringsprogram – Begränsningar och Antaganden	8
2.3.1 Fire Dynamics Simulator	8
2.3.2 Pathfinder	9
3. Objektbeskrivning	11
3.1 Plan 1 - Källarplanet	12
3.2 Plan 2 - Entréplan	13
3.3 Plan 3	14
3.4 Plan 4 - Vinden	15
3.5 Verksamhet	15
4. Befintligt brandskydd	17
4.1 Detektion	17
4.1.1 Detektorernas funktion	18
4.2 Utrymning	18
4.3 Ventilation	18
4.4 Nödbelysning	19
4.5 Systematiskt brandskyddsarbete	19
4.6 Möjlighet för manuell släckinsats	20
4.7 Räddningstjänstens roll i brandskyddet	20

5. Riskidentifiering	21
5.1 Antaganden	21
5.2 Statistik	21
5.3 Grovanalys	22
5.3.1 Scenarier då branden startar i aulan	23
5.3.2 Scenarier då branden startar utanför aulan	28
5.4 Presentation av Risk	35
6. Scenario 1: Brand på scen	37
6.1 Dimensionerande brand	37
6.2 Resultat från FDS	39
6.2.1 Sikt i Aulan	39
6.2.2 Toxicitet	42
6.2.2 Temperaturökning samt strålning orsakat av branden i Aulan	42
6.2.3 Höjden till brandgaslagret i Aulan	42
6.3 Utrymningssimulering	43
6.3.1 Resultat från Utrymningssimulering	46
6.4 Känslighetsanalys – FDS	47
6.4.2 Pathfinder - Andel som uppfattar faran	48
6.4.3 Känslighetsanalys Pathfinder – val av dörr	48
6.5 Bedömning av personsäkerhet	49
6.6 Förslag på förbättring	49
6.6.1 Brandgasventilation	50
6.6.2 Omskytning av dörrar	51
6.6.3 Rutiner för utrymning	51
7. Scenario 6: Brand i provisorisk garderob	53
7.1 Dimensionerande brand	53
7.2 Resultat från FDS	55
7.2.1 Sikt i trapphuset och atriet	55
7.2.2 Temperaturen i trapphuset och atriet	57
7.2.3 Toxicitet i trapphuset och atriet	58
7.2.4 Höjden till brandgaslagret i atriet	58
7.3 Utrymningssimulering	58
7.3.1 Förberedelsetiden	58
7.3.2 Val av utrymningsvägar	59
7.3.3 Nyttjande av de inre trapphusen	61
7.3.4 Resultat	61

7.4	<i>Känslighetsanalys - FDS</i>	62
7.5	<i>Känslighetsanalys - Pathfinder</i>	63
7.5.1	Axelbredd	63
7.5.2	Gånghastighet	64
7.5.3	Könsfördelning – Distribution av förberedelsetiden i populationen	64
7.5.4	Val ut av dörr – Entréplan	65
7.5.5	Andel som nyttjar trapphuset intill den provisoriska garderoben	67
7.6	<i>Bedömning av personsäkerhet</i>	67
7.7	<i>Förslag på förbättring</i>	68
8.	Diskussion	69
8.1	<i>Scenario 1: Brand på scen</i>	69
8.2	<i>Scenario 6: Brand i provisorisk garderob</i>	70
8.3	<i>Osäkerhet i rapporten</i>	70
9.	Slutsats	71
	Referenser	72
	Bilaga A – Beräkning av den dimensionerande branden	75
	<i>Maximal effektutveckling av ventilationskontrollerad brand i garderob</i>	75
	<i>Effektutveckling av bränslepaketet i garderob</i>	75
	<i>Strålningsberäkningar för spridning av initialbranden</i>	76
	Bilaga B - FDS	79
	<i>Teori för beräkning av cellstorlek</i>	79
	<i>Brand i garderob</i>	79
	FDS kod	80
	<i>Brand i aula</i>	84
	FDS kod	85
	Bilaga C – Pathfinder	89
	<i>Indata till Utrymningssimuleringar</i>	89
	Agenters Profil	89
	Agenters beteende	89
	Agenters placering & aulans utformning	90
	Bilaga D – Beräkningar av mekanisk ventilation	93
	<i>Beräkning av brandgaslager</i>	93
	<i>Utsug från taket</i>	93
	<i>Mekanisk ventilation – FDS</i>	94

1. Inledning

Uppsala universitetshus renoverades i februari 2016 där bland annat brandskyddet förbättrades. Detta var den första renoveringen på 70 år. Denna rapport kommer att analysera och utvärdera det befintliga brandskyddet utifrån personsäkerhet och ekonomiska skador.

1.1 Syfte

Syftet är att utvärdera universitetshusets brandskydd och möjligheter till utrymning vid händelse av brand.

1.2 Mål

Målet med rapporten är att genom utvärdering av byggnadens brandskydd och utrymningsmöjligheter bedöma om byggnaden uppfyller skyddsmålet.

1.3 Skyddsmål

Skyddsmålet är att ingen människa ska skadas i byggnaden på grund av bristande brandskydd. Skyddsmålet uppfylls då skadekriterierna inte överskrids. Om utrymningstiden för de dimensionerande scenarierna är högre än tiden till kritiska värden nås, uppfylls inte skyddsmålet. När skyddsmålet inte uppfylls undersöks eventuella åtgärder.

1.4 Avgränsningar

Byggnaden används dagligen av personal, studenter och besökare. Det förekommer även större evenemang i byggnaden vilket innebär att vissa partier av byggnaden med jämna mellanrum används till dess fulla kapacitet. Detta medför att det regelbundet vistas många människor i lokalen, var av en del är välbekanta med dess utformning och andra helt obekanta. I byggnaden finns det också stora ekonomiska tillgångar i form av antika instrument och dyrbar konst. Detta innefattar även objekt vilket kan anses omöjliga att ersätta på grund av dess unika historiska värde. Analysen kommer därmed riktas åt att utvärdera personsäkerheten samt ekonomiska konsekvenser för representativa scenarier. Miljöpåverkan kommer inte att utvärderas.

Majoriteten av de personer som vistas i byggnaden under större evenemang förväntas vara besökare utan god lokalkännedom och detta medför att stor hänsyn tas till inverkan psykologiska faktorer för utrymning. Dessa faktorer beskrivs närmare i avsnittet 2.2.2 Människors beteende vid brand. Besökare förväntas endast befinna sig i de publika delarna av byggnaden och ingen extra hänsyn kommer att riktas åt personalen då de förväntas ha god kännedom om byggnaden och utrymningsvägarna.

I byggnaden kommer det att finnas personer som är rörelseförhindrade. En enskild utvärdering av dess säkerhet kommer att genomföras kvalitativt och därmed inte kvantitativt. Detta för att undvika användande av indata med väsentligt större osäkerheter för utrymningstider.

2. Metod

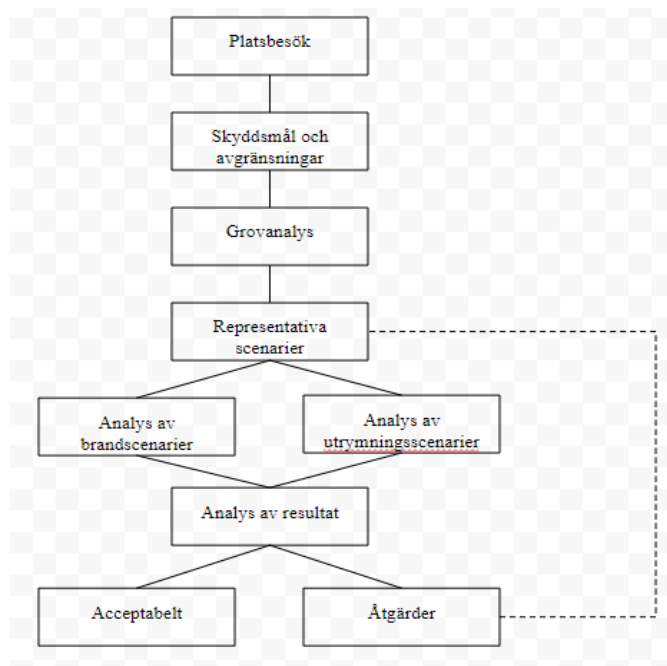
Nedan beskrivs den använda metodiken i arbetsprocessen samt den teoretiska bakgrunden vilket har applicerats vid kvantitativa beräkningar.

Först gjordes ett platsbesök i Uppsala universitetshus. Där undersöktes byggnadens utformning och de verksamheter som finns. Besöket var tillsammans med en intern handledare, en representant från universitetshuset, räddningstjänsten och från ett konsultföretag.

Efter besöket bestämdes skyddsmål och avgränsningar gjordes utefter vad som ansågs mest aktuellt för objektet. En grovanalys, inom ramarna för avgränsningarna, utfördes sedan. Potentiella riskscenarier identifierades och genom semi-kvantitativa bedömningar rankades de utifrån sannolikhet och konsekvens. Dessa scenarier presenterades sedan i en riskmatris. Utifrån denna grovanalys ansågs två stycken scenarier nödvändiga att analysera vidare och därmed utvaldes till dimensionerande scenarier. Det utfördes vidare en kvantitativ analys av scenarierna med hjälp av datorprogrammen FDS samt Pathfinder, för att analysera dimensionerande brandscenario respektive utrymningsscenario. Val av program diskuteras närmare i avsnittet 2.3 Simuleringsprogram – Begränsningar och Antaganden.

Resultatet från simuleringarna användes för att utvärdera om skyddsmålet uppfylls för scenarierna eller om det behövs tillämpas åtgärder. Förslagets effektivitet analyseras sedan vidare för att kunna fastställa om säkerheten förbättrats eller inte. Om åtgärderna inte medför att skyddsmålet uppfylls analyseras brandskyddet på nytt för att kunna få fram andra eller ytterligare åtgärder. Denna process fortsätter iterativt tills brandskyddet är acceptabelt.

Arbetsgångens flödesschema presenteras i Figur 1 nedan.



Figur 1. Arbetsgångens flödesschema

2.1 Skadekriterier

Skadekriterierna beskriver den maximala nivån för ett kriterium. När den maximala nivån överskrids kommer personer att ha ökad svårighet för utrymning vilket kan leda till att personer kommer ta skada av branden. Skadekriterierna kommer att vara grunden för utvärdering av brandscenerierna och presenteras Tabell 1 nedan.

Tabell 1: Skadekriterier vid utvärdering av objektets säkerhet. Kritiska nivåer för värmestrålning, temperatur och toxicitet hämtas från (D.A, 2008). Kritiska nivåer för sikt är från (Tadahisa, 1997) och slutligen för höjden till brandgaslagret är värden hämtade från (NFPA, 2009).

Kriterium	Nivå
Värmestrålning [kW/m ²]	2,5
Temperatur [°C]	115
Toxicitet, FED (2 meter ovan golv)	< 0,3
Sikt (2 meter ovan golv) [m]	Fall 1: Andra skadekriterier uppfylls → 10 Fall 2: Andra skadekriterier uppfylls ej → 3
Höjd till brandgaslagret [m]	3,1

2.1.1 Värmestrålning

För värmestrålning finns det data, med tydlig variation, tillgänglig från olika författare. Det som anses vara gränsen är då blodet börjar transportera värme ytterligare till en sådan grad att kroppstemperaturen höjs. Detta leder till att kroppens funktioner blir sämre och vid en exponering av värmestrålning lägre än 2.5 kW/m² i över 5 minuter kan termisk chock orsakas. Vid exponering av 2.5 kW/m² skulle brännskador uppstå efter ungefär 30 s. Denna strålning avges ungefärligen från ett brandgaslager då dess temperatur motsvarar 200 °C (D.A, 2008). Antagandet görs att strålning enbart kommer att vara påverkande från brandgaslaget då branden sker i ett instängt utrymme där människor inte vistas.

2.1.2 Temperatur

Den påverkan vilket omgivningens temperaturförändring har på människor, under en brand, är en väsentlig faktor att ta hänsyn till när utrymningstider beräknas och säkerheten uppskattas. Exponerade områden på kroppen som saknar skydd i form av kläder, exempelvis huvudet, kan klara av en temperatur på 115 °C under en längre tid utan brännskador. Dock finns det en stor risk att vid exponering av denna temperatur efter 15 minuter drabbas av termisk chock. För att undvika ökad risk av termisk chock anses därför 115 °C som kritiskt värde. (D.A, 2008)

2.1.3 Toxicitet

Skadekriterium för toxicitet utgörs av modellen FED, *Fractional Effective Dose*, vilket baseras på integrering av koncentration över tid. (Hartzell G. E, 1988) Vid FED = 1 är det visat att dosen av toxiska ämnen har blivit tillräckligt stor för att kunna anta en dödlighet av 50 % av de exponerade. Detta gäller för försök av djur och med hänsyn till osäkerheten i dessa data bör det antas en lägre gräns för människor. Statistik visar att när FED = 0,3 kommer 11,4 % av människorna som utsätts för koncentrationen få mindre allvarliga skador. FED <0,3 används vid utrymning då det tar hänsyn till att människor kan vara mer känsliga och om mindre allvarliga skador har orsakats har skyddsmålet ej uppfyllts. (D.A, 2008)

2.1.4 Sikt

Det har utförts forskning i Japan där en analys av påverkan av en ökad densitet hos brandröken hade hos personer. Det uppskattades att vid en densitet på 0,15 1/m började testpersonerna att känna sig osäkra vid okända miljöer. Densiteten på 0,15 1/m motsvarar en sikt på 13m (Tadahisa, 1997). Dock är de kritiska nivåerna för svenska kärntekniska anläggningar sikt lägre än så (Nystedt, 2011). De värdena baseras på att en person inte kan fullfölja utrymning utan upplevelse av större obehag. För en okänd omgivning är det kritiska värdet på sikten 10 meter (Nystedt, 2011). Vid dessa nivåer kan det alltså förutsättas att utrymning fördröjs och att det finns riskpersoners säkerhet. I fallet då personens förmåga att orientera sig har förminskats men säkerhet ej direkt påverkats anses därmed skyddsmålet fortfarande uppfyllt. Dock har det konstaterats vid experiment att när sikten når ungefärligen 3 meter finns det stor risk att personer vänder och byter riktning (Bryan, 2008). Detta kan orsaka att personen förflyttar sig tillbaka mot brandkällan till exempel och därmed anses 3 meter vara den absolut lägsta sikten accepterad även om andra skadekriterier ej har uppfyllts.

2.1.5 Höjd från golv till brandgaslagret

Höjden till brandgaslagret är ett viktigt kriterium för en säker utrymning vid brand. Om brandgaslagret sjunker för långt påverkas sikten samt att värmestrålningen kan ge brännskador. För att beräkna till det kritiska värdet på höjden används ekvation 1. (NFPA, 2009)

$$z = 1,6 + 0,1H \quad (\text{Ekvation 1})$$

Detta leder till att den kritiska höjden på brandgaslagret innan det ej längre klassas som säkert blir 3,1 m. Se Bilaga D – Beräkningar av mekanisk ventilation för beräkning.

2.2 Teoretisk bakgrund för utrymning

Nedan beskrivs de modeller som används i analysen samt de faktorer och teorier som tillämpas vid utrymning.

2.2.1 Utrymningsmodellen

'Available Safe Egress Time' (ASET) är den tiden från att branden startar tills kritiska värden nås. 'Required Safe Egress Time' (RSET) är utrymningstiden, den tid det tar för samtliga personer i byggnaden att evakuera från den tiden då branden startar. För att människorna som vistas i byggnaden ska klara sig från att utsättas för kritiska värden vid eventuell brand måste värdet för ASET, vilket motsvarar tiden till kritiska värden (t_{krit}), vara högre än RSET. (Reax engineering, 2014).

Utrymningstiden, $t_{utrymning}$, utgörs av tre enskilda delar av utrymningsprocessen där varje del är beroende av flera faktorer. Dessa tre delar består av:

- Varseblivningstiden, t_{varse}
- 'Beslut och reaktion' eller förberedelsetiden, $t_{förbered}$
- Förflyttningstiden, $t_{förflyttning}$

Därmed kan förhållandet mellan den tiden det tar att nå kritiska förhållanden, ASET, och tiden det tar att utrymma, RSET, beskrivas samt beräknas med ekvation 2 (Boverket, 2006).

$$t_{krit} > t_{varse} + t_{förbered} + t_{förflyttning} \quad (\text{Ekvation 2})$$

Varseblivningstiden är tiden det tar för en person att uppfatta att situationen avviker från det normala och att det utgörs ett hot mot personens säkerhet. Detta innebär att personer upptäcker flammor, rök eller blir informerad på annat sätt om brandens närvaro, t.ex. via en siren eller talat meddelande. (Frantzich, 2001, s. 35)

Förberedelsetiden innefattar den tid det tar för personer att bearbeta information om branden. Detta motsvarar tiden från när personen mottagit information om branden tills personen aktivt börjar utrymma. I en rapport av 'Society of Fire Protection Engineers' uttrycks det tydligt att en noggrann uppskattning av denna tid är väsentligt vid beräkning av evakueringstiden (Society of Fire Protection Engineers, Human Behavior in Fire Task Group, 2017). Dessvärre är det problematiskt att uppskatta förberedelsetiden eftersom det existerar många inverkande faktorer.

Förflyttningstiden är den tiden det tar för personen att nå en säker plats från den tidpunkten då förflyttningen påbörjades. Påverkande faktorer inkluderar köbildning, närvaro av rök, dörröppningars bredd, personers individuella egenskaper, trappors utformning etc. (Society of Fire Protection Engineers, Human Behavior in Fire Task Group, 2017) Faktoreernas påverkan kommer att tas hänsyn till i varierande grad och detta redovisas mer noggrant för varje scenario senare i rapporten.

Tiden tills kritiska förhållanden har uppnåtts beräknas matematiskt med hjälp av olika handberäkningsmetoder eller simuleringar.

2.2.2 Människors beteende vid brand

Vid utrymning är det många faktorer vilket påverkar hur personer väljer att agera och därmed finns det även ett stort antal teorier vilket används för att beskriva olika faktorerers inverkan. Ett urval av några primära teorier för människors beteende vid brand beskrivs kortfattat nedan.

Beteendesequenser: Utrymning kan beskrivas med hjälp av så kallade beteendesequenser, utvecklat utifrån empiriska studier, där människors agerande vid utrymning har delats upp i fyra följande kronologiska steg; mottag information, tolka, förbered och agera (Breaux, Canter, & Sime, 1980). När människor mottar information och påbörjar sin tolkning är det vanligt förekommande att människor först söker efter mer information om vad som händer. Detta är en bidragande faktor till att utrymning fördröjs. Under förberedelsefasen är en påverkande faktor till vilken grad en person är 'investerad' i dess position. Vid studier utfört på IKEA observerades det att personer med obetalda varor i kassan var mer benägna att ta längre tid på sig att påbörja utrymning och även personer fokuserad på aktiviteter så som att äta tog också längre tid (Frantzich, 2001). Med hjälp av förståelsen för beteendesequenser har utformningen av talade meddelanden bland annat kunnat optimeras till mer effektiva sådana.

Rollregel modellen: Teorin bygger på att människor har en viss roll om hur de förväntas agera. Detta kan till exempel vara att personal förväntas hjälpa människor ut vid en situation. Rollerna som människorna tar kan bero på flera olika faktorer som ålder, kön eller tidigare erfarenheter. (Tong & Canter, 1985)

Teorin om tillhörighet: Teorin betyder att människor går mot det som känns bekant och som de känner sig trygga med. Detta kan vara att man väntar på sina kompisar innan utrymning för att det inte känns tryggt att utrymma själv. Vid utrymning kommer en stor del människor att utrymma genom den vägen som de kom in från eftersom att de känner igen vägen och vet vart den leder. Detta kan leda till att människor går genom farliga situationer som till exempel genom brandrök. (Tong & Canter, 1985)

Riskuppfattning: Människor har olika riskuppfattningar vilket gör att det någon anses som farligt gör inte någon annan. De får olika syner på hotnivån och det tar olika lång tid för utrymning. Vidare har det påvisats att människor generellt är dåliga på att uppskatta tillväxten av en brand och detta kan orsaka att faran underskattas. (Douglas & Wildavsky, 1983)

Social påverkan/ hjälp vid utrymning: När personer befinner sig i en grupp tar det längre tid att utrymma. Detta är på grund av att man inte vill sticka ut och göra något som ingen annan gör. Vid utrymning tar hela gruppen ett beslut om att utrymma eller inte vilket fördröjer utrymningstiden. Människor utrymmer inte om ingen annan gör det. (Darley & Lantané, 1968)

'Theory of Affordances': Denna teori syftar till hur människor uppfattar saker de ser och hur de kan användas av individen. För människors beteende vid brand kan teorin appliceras för hur människor uppfattar utrymningsvägar och hur detta påverkar deras val gällande utrymningsvägar.

Det existerar fyra stycken aspekter att ta hänsyn till; den sensoriska, kognitiva, fysiska och funktionella. Sensorisk innebär hur människor ser objektet. Då en utrymningsväg är svår att se kommer den inte att användas i större utsträckning. Detta kan vara att en dörr inte skiljer sig tillräckligt från sin omgivning i miljön och därmed inte uppmärksammas. Kognitiva aspekten är hur väl människor förstår hur objektet fungerar. Till exempel utrymningsskylten hjälper användaren att förstå hur den specifika dörren skall användas för utrymning. Den fysiska delen innefattar delar av designen vilket hjälper användaren att fysiskt nyttja objektet. Till exempel utformningen av dörrhandtaget, vilket påverkar hur lätt dörren är att öppna. Den funktionella aspekten gäller objektets förmåga att uppfylla sitt mål och i detta sammanhang är målet att utrymma. (Nilsson, 2009)

2.3 Simuleringsprogram – Begränsningar och Antaganden

Nedan introduceras de simuleringsprogram som kommer att användas vid analys. Programmen ger en uppskattad bild av verkligheten vilket måste tas i åtanke. Det finns begränsningar med programmen och antaganden som behövs göras. Dessa diskuteras i detta kapitel. FDS valdes då programmet ger en bra uppskattning av verkligheten samt att det är användarvänligt.

2.3.1 Fire Dynamics Simulator

För att kunna beräkna ASET kan det användas bland annat program baserade på 'Computational Fluid Dynamics'-modeller (CFD-modeller). Detta möjliggör för användaren att utföra mer verklighetstroga beräkningar för utrymmen utanför applikationsområdet för handberäkningar, vilket oftast är empiriskt bestämda. På grund av objektets storlek och komplexitet i detta fall kommer att handberäkningar att ej genomföras utan ASET kommer att beräknas med hjälp av ett simuleringsprogram baserat på CFD-modeller. Genom att använda sig av det valda programmets mätutrustnings funktioner kan tiden bestämmas då kritiska förhållandena erhålls. I detta fall används programmet Fire Dynamics Simulator, vilket även är välkänt med förkortningen 'FDS'. Detta är ett simuleringsprogram som främst används för att designa system för rökventilering samt analysera detektions- och sprinklersystems aktivering i byggnader. FDS beräkningar bygger på Navier-Stokes ekvationer som kräver att den simulerande branden är har låga flöden och är termisk driven. FDS genererar simuleringar som genom ekvationerna uppskattar till exempel temperatur, strålning, rökutveckling, och toxicitet. (McGrattan, o.a., 2017)

En begränsning med programmet är att det inte är validerat för ventilationskontrollerade bränder. Detta är den fasen av en brand då brandens utveckling inte längre styrs av tillgången till bränsle utan istället av tillgången till syre (B. Karlsson, J.G. Quintere, 2000). Detta blir en viktig begränsning att ta i beaktning vid användning av programmet för riskscenarier där det uppfattas finnas en väsentlig risk för övertändning.

Vid simulering är volymen uppdelad i kvadratiska celler och detta har en stor inverkan på simuleringarna. Cellerna påverkar geometrin genom att väggar och golv anpassas till cellerna då en vägg inte får uppta en del av en cell utan endast hela celler. Då ett medelvärde används i cellerna

kommer cellstorlekarna ha en påverkan på resultatet i simuleringen. Cellernas storlek väljs efter önskad upplösning och noggrannhet hos resultatet. Beräkningen av cellstorleken som används i rapportens simulering beskrivs i Bilaga A – FDS.

Vid uppbyggnad av simuleringskoden till FDS används programmet Pyrosim. Pyrosim tillåter användaren att bygga upp strukturen i ett dataprogram istället för att skriva det i kod. Pyrosim producerar sedan fram koder som kan användas för att simulera i FDS.

För att analysera den data som framkommer i simuleringarna används Smokeview. Smokeview är ett program som genom illustrationer visar hur brandförloppet påverkar byggnaden. I Smokeview finns så kallade Slice Files som visar, vid positioner bestämda av användaren, hur olika parametrar förändras över tid. I simuleringarna kommer parametrarna sikt och temperatur att användas för att visuellt bedöma när kritiska värden uppstår (McGrattan, o.a., 2017). Det bör kommenteras att bilder vilket används för Smokeview är momentana och det kan ske kraftiga förändringar på kort tid. Detta medför att användaren behöver använda programmet på ett ansvarsfullt sätt där den momentana bilden inte överskattas utan används istället för att indikera främst förändringar.

2.3.2 Pathfinder

Det finns ett flertal program vilket kan nyttjas vid utrymningssimuleringar. Valet togs att använda programmet Pathfinder på grund av den höga komplexiteten av objektet samt det stora antalet utrymmande. Den kontinuerliga modellens komplexitet, vilket Pathfinder använder gör att den ger en bra avspegling av verkliga förhållanden, samtidigt som detta medför en längre beräkningstid än andra evakueringsmodeller. (Ronchi, 2016)

Programmet använder sig av en kontinuerlig modell, vilket innebär att geometrin är representerat av ett kontinuerligt utrymme med innefattade agenter, som motsvarar personer i modellen. Detta medför att agenterna i simuleringen har friheten att röra sig i alla riktningar utan begränsning av cellstorlek (Ronchi, 2016).

Agenternas storlek kan bestämmas av användaren och detta skapar möjligheten att ha agenter med varierande kroppsstorlekar. Till exempel kan samma simulering innehålla agenter motsvarande barn, rullstolsbundna och vuxna. För att mer realistisk avspegla människors rörelse och undvika kollision är agenterna även programmerade till att bibehålla ett minimumavstånd mellan dem själva och andra agenter samt objekt.

En viktig begränsning med programmet är att rök inte har en direkt påverkan på gånghastigheten för agenterna. Detta medför att vid nyttjande av programmet behöver användare beräkna rökens påverkan på gånghastighet *före* simulering. För att sedan implementera en reducering av den initiala gånghastigheten (E. Ronchi, 2012).

3. Objektbeskrivning

Uppsala universitetshus är en ståtlig byggnad i romersk renässansstil. Den byggdes år 1880 och används till många olika sorters evenemang. Byggnaden består av fyra plan och har tillsammans en area på cirka 39 000 m². Byggnaden användas huvudsakligen för föreläsningar, konferenser, akademiska högtider. Universitetshuset ligger centralt i Uppsala och är universitetets huvudbyggnad. Byggnaden består till största del av en aula, ett atrium, flera föreläsningssalar och konferensrum. Det maximala antalet personer som får vara i byggnaden är 2400 personer (Uppsala universitet, 2018).

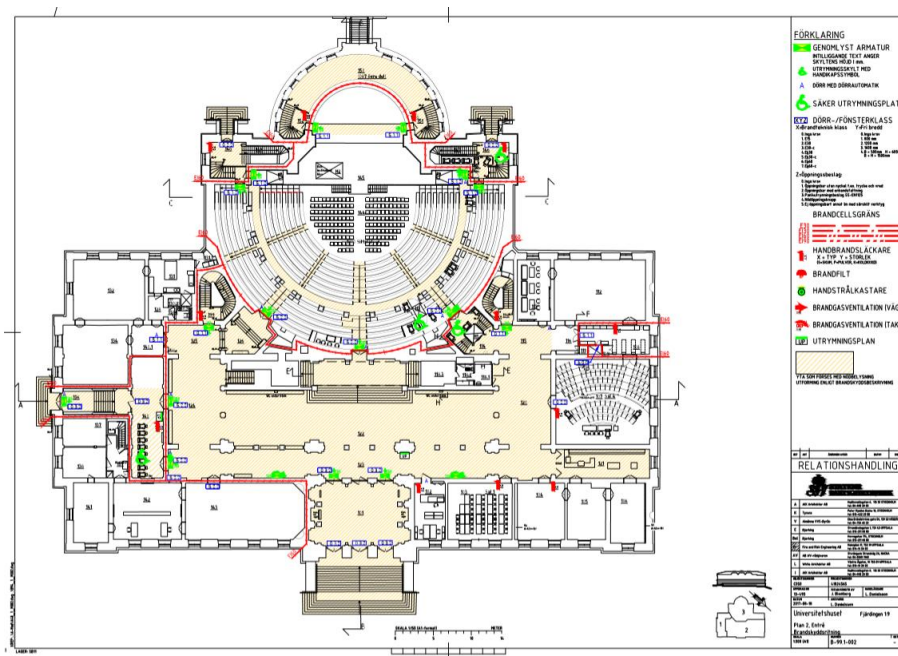
Det finns fyra stycken trapphus i byggnaden, var av två är anslutna till utsidan. Byggnaden består av är främst av sten då både stomme, bjälklag och fasad är i sten.

Under studiebesöket framkom det att bokningssystemet som finns tar inte hänsyn till antalet personer som lokalerna bokas för. Personalen kontrollerar bokningarna så att personantalet inte överskrider 2400 personer. När aulan är fullsatt, 2000 personer, är byggnadens kapacitet nästan full vilket gör att resterande föreläsningssalar inte kan användas. Byggnaden är dimensionerad för 2400 personer, detta för att man inte kan säkerställa hur många som rör sig i de allmänna utrymmena.

3.2 Plan 2 - Entréplan

Entréplanet innefattar ett atrium, aula, rektorsrum, garderob och även föreläsningssalar, se Figur 3. Det finns två stora ingångar som används dagligen av besökare, dessa ingångar ligger i anslutning till atriet. Utrymmet i atriet är öppet med bänkar längs med väggarna och öppet i tak upp till plan tre. Vid sidan av aulan finns det direkt anslutning till utsidan via trapphusen. Aulan har 1800 sittplatser för åskådare, varav 1400 på plan 2, och det kan vara upp till 200 personer på scen. Aulan är vanligtvis inte öppen för besökare men öppnas upp vid tillställningar.

Garderoben är en egen brandcell och ligger i nära anslutning till aulan. Denna är öppen och bemannad vid större evenemang i aulan. Skulle kapaciteten i den befintliga garderoben inte räcka används ett mötesrum i närheten som en provisorisk garderob. Detta rum utgör inte en egen brandcell.



Figur 3 Överblick plan 2

3.3 Plan 3

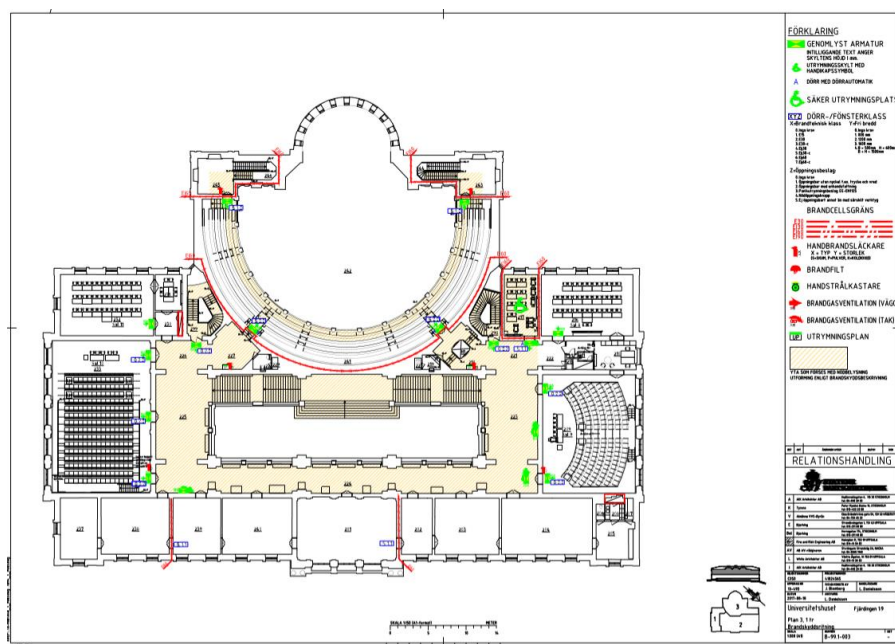
Från plan två går det två stora trappor och mindre trapphus till plan 3. Plan 3 är bestående av föreläsningssalar, entréer till övre parkett i aulan, fakultetsrum, och mötesrum. Övre parkett på aulan har 400 sittplatser för åskådare.

I atriet är det öppet mellan plan 2 och 3

Fakultetsrummen ligger längs byggnadens långsida mot nordöst och är uppdelade med två brandväggar till tre separata sektioner. I fakultetsrummen hänger det många tavlor samt andra möbler som tillsammans uppgår till högt ekonomiskt- och affektionsvärde. Fakultetsrummen är vanligtvis låsta och ej öppna för allmänheten.

Föreläsningssalarna är två mindre med kapacitet på cirka 40 personer och två större föreläsningssalar med kapacitet på cirka 100 personer.

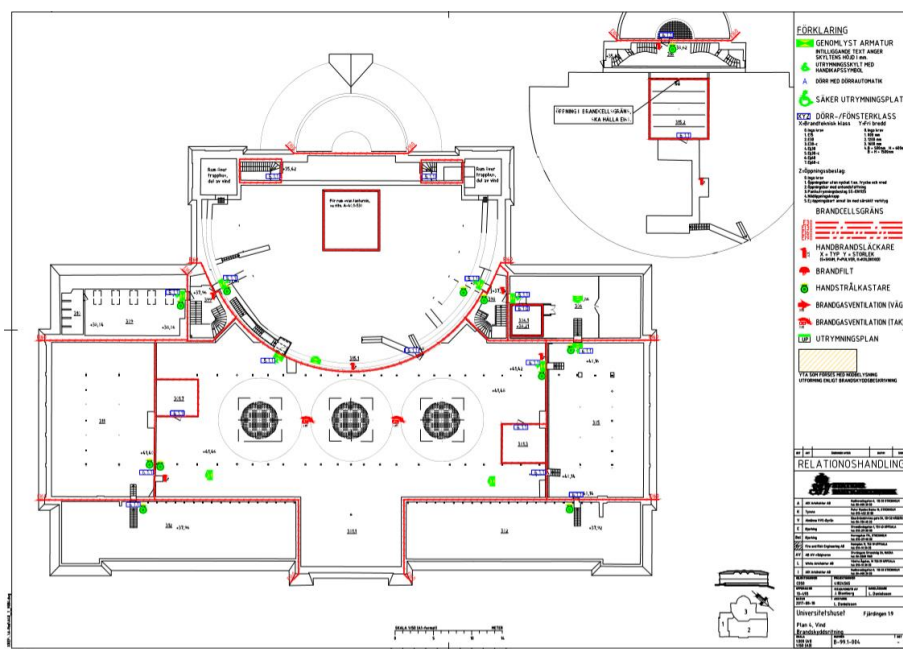
En överblick av planet visas i Figur 4.



Figur 4. Överblick plan 3

3.4 Plan 4 - Vinden

Plan 4 består av förvaring och olika el- och ventilationscentraler vilket visas i Figur 5. Det som förvaras uppe på vinden är en mängd föremål som för universitetet har affektionsvärde men som ej får säljas vidare. Föremålen förvaras i ett förrådsutrymme. På plan 4 finns en stor del av ventilationen. Stora delar av vinden fylls av ventilationsrör och även två brandfläktar som verkar för atriet. Även nödbelysningen för aulan ligger på denna våning. Vinden är låst och inte tillgänglig för allmänheten.



Figur 5. Överblick plan 4

3.5 Verksamhet

Universitetet inhyser flera typer av verksamhet varav den dagliga främst består av föreläsningar. Större evenemang förekommer på regelbunden basis där det kommer ett stort antal människor som fyller upp personantalet. Byggnaden nyttjas för olika syften och därmed klassas byggnadens delar i olika verksamhetsklasser. Kontor samt myntkabinett och konstsamlingen på plan ett och två är Vk 1. På plan ett är det även ett café, vilket klassas som Vk 2A. Vidare klassas förhallen med tillhörande hörsalar och fakultetsrummen till Vk 2B. Även aulan klassas till Vk 2B.

4. Befintligt brandskydd

I följande del sker en redovisning av brandskyddet i byggnaden, vilket består av installationer för att uppfylla nödvändiga krav eller för egen ambition. Räddningstjänstens roll i brandskyddsarbete diskuteras, samt den utbildning tillhandahållen personal för att kunna effektivt medverka till ett bättre brandskydd. Universitetshuset klassas som en Br1 byggnad. Förhallen och aulan inrymmer stora personantal och dess brandsäkerhet har verifierats analytiskt.

Den information som finns i detta kapitel framkom vid platsbesök på objektet.

4.1 Detektion

Det finns rökdetektorer i större delen av byggnaden men även samplade system och linjeröksdetektorer. Linjeröks detektorn finns i den stora förhallen på grund av dess volym och de samplade systemen används bland annat i rum med värdefull interiör, där konventionella system inte lämpar sig av estetiska skäl.

På plan ett är det främst synliga rökdetektorer installerade, där minst en detektor är installerad i varje rum. I köket, i anslutning till Cafét, finns det även två stycken alarmknappar. Ytterligare alarmknappar är placerade under aulan vid ett av förvaringsutrymmena och även vid utrymmet bakom scenen.

På entréplanet finns det alarmknappar vid de två utrymningsplatserna, i personalutrymmet angränsande till huvudentrén och i angränsade utrymme till utrymningsplatsen närmast den västra entrén. Vid utrymningsplatserna är det även indikeringslampor installerade, samt i bland annat garderobsutrymmet. I övrigt används synliga rökdetektorer i föreläsningssalarna och personalrummen.

Detektion i aulan sker främst genom samplade system men även rökdetektorer. De samplade systemen har en kanal där omgivningens luft sugas in och leds vidare till en detektor. Denna är placerade på fjärde våningen ovanför kupolen tillhörande aulan. Känsligheten hos detektorn går att anpassa för att kunna få detektion snabbt. Det samplade systemet passar bra i aulan som finns på plan två och tre eftersom det är högt i tak och inte ska störa miljön. Ovanför sittplatserna på första planet i aulan sitter dolda rökdetektorer under läktargolvet. Dessa är anslutna till indikeringslampor vilket är placerade i närheten av utgångarna till läktaren. I det västra trapphuset finns även en alarmknapp då detta utrymme nyttjas som utrymningsplats. Ytterligare två alarmknappar är installerade i aulan var av en är placerad bakom mixerbordet som ligger vid ingången till aulan från atriet och en är placerad vid utrymningsvägen ansluten till utrymningsplatsen vid förhallen.

På andra våningen i förhallen är det en linjeröksdetektor installerad tvärs över hallen. Inuti fakultetsrummen på samma plan används ett samplande system, där luften transporteras vidare till tre skilda detektorer placerade ovanför rummens tak inuti vinden. Utöver detta är två detektorer kopplade till samplande hål placerade i den delen av förhallen vilket angränsar fakultetsrummen. I

utrymningsplats rummet, placerade väster om aulan finns det en alarmknapp installerad. I övrigt består detektionssystemet på våningen av synliga rökdetektorer.

I vindsutrymmet ovanför aulan är det tre stycken detektorer vilket är sammanslutna med det samplande systemet i aulan placerade. Resterande delen av vinden innefattar främst rökdetektorer utspridda över planet och två stycken alarmknappar, var av en är placerad vid el-centralen och ett i den delen av vindsutrymmet ovanför förhallen där brandfläktarna är placerade.

4.1.1 Detektorernas funktion

Funktioner vid utlöst brand- och utrymningslarm som antingen sker manuellt av brandvakt eller då detektion uppstått.

Nedanstående funktioner ska styras då brandlarmet aktiveras:

- Utrymningslarm (talat meddelande, ringklocka/siren, optiskt blixtljus i vissa rum) ska starta.
- Utrymningsskyltar i aulan ska lysa upp i full styrka.
- Dörrar uppställda på magnet ska stänga.
- Vidarekoppling till SOS ska ske.
- Allmänbelysning ska tändas i aulan och förhallen.
- Ventilationsaggregat i byggnaden ska stängas av.
- Brandgasfläktar ska starta.

4.2 Utrymning

Utrymningslarmet är direkt kopplat till brandlarmet. Signal för utrymning sker via talat meddelande i aulan, förhallen och i de större föreläsningssalarna. Signal för utrymning kompletteras med optiskt blixtljus i rum 102 och 217. I övriga lokaler utgörs den akustiska signalen av siren/ringklocka.

Utrymmen där personer med hörselnedsättning kan vistas själva utan direktkontakt med andra personer (t.ex. WC) är kompletterade med optisk signal.

Alla lokaler där personer vistas mer än tillfälligt har tillgång till minst två av varandra oberoende utrymningsvägar inom skäligt gångavstånd. På alla våningsplan finns det tillgång till minst en utrymningsväg från samma våning.

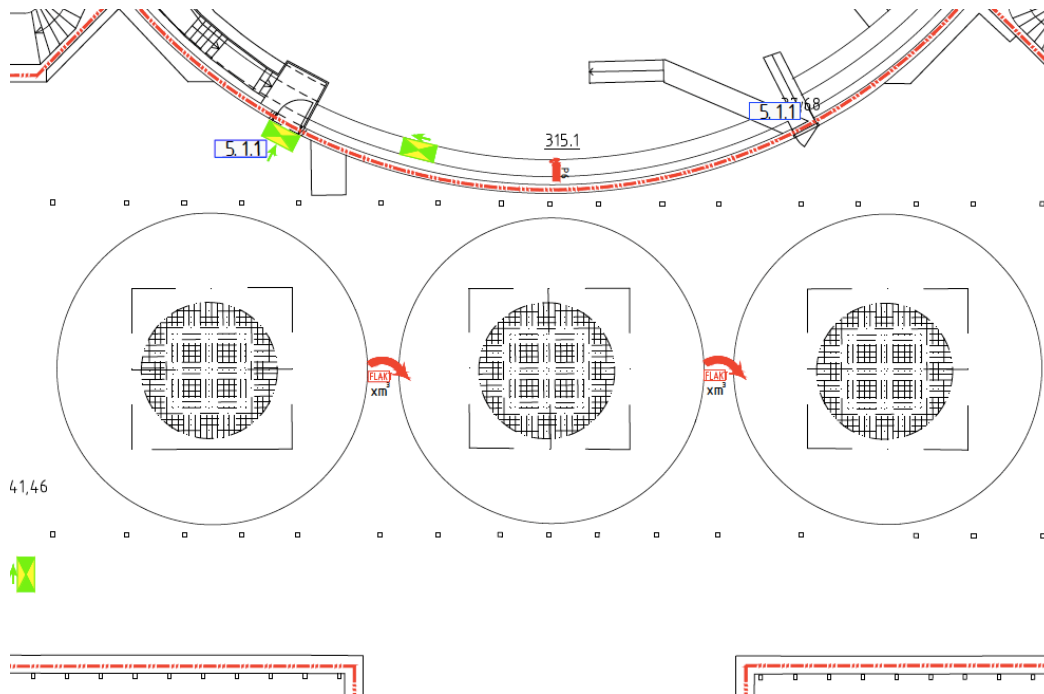
Plan ett, förhallen, hörsalar och aula, utryms via dörrar i fasaden direkt till det fria.

För personer med funktionsnedsättning finns möjlighet på varje våning att utrymma till det fria eller till specifika säkra utrymningsplatser i byggnaden där personal inväntas.

4.3 Ventilation

Hela byggnaden är försedd med till- och frånluftssystem. Kanalsystem och isolering var vid platsbesöket utfört på ett korrekt sätt med obrännbart material.

Förhallen(atriet) är försedd med brandgasventilation. Detta innefattar två stycken brandgasfläktar placerade i vinden, mellan kupolerna i förhallens tak, se Figur 6. Dessa motverkar att atriet blir rökfyllt en brand som har hög rökutveckling. Brandfläktarna är av tillräcklig storlek och kapacitet att kunna anses som korrekt dimensionerande för att hålla rökgaslagret på en säker nivå.



Figur 6. Brandgasfläktarnas placering i vinden.

4.4 Nödbelysning

Utrymningsvägar är försedda med allmänbelysning och nödbelysning finns för att möjliggöra utrymning vid strömavbrott. Utrymningsskyltar är ständigt lysande och är nödströmförsörjda via batteri. Strömförsörjningen till nödbelysning samt utrymningsskyltar sker via elkablar som är avskilda i lägst brandteknisk klass EI 30 eller matas via brandresistent/brandsäker kabel.

4.5 Systematiskt brandskyddsarbete

Vid större event i aulan finns det brandvakter placerade vid utrymningsvägarna. Deras jobb är att hjälpa till vid utrymning genom att till exempel utrymma personer och hjälpa rullstolsbundna till utrymningsplatser. Brandvakterna har genomgått en intern utbildning.

Då aulan önskas användas av externa aktörer krävs det att dessa aktörer utför en riskanalys av evenemanget före ett godkännande.

Under föreställningar är det strikt förbjudet att använda levande ljus i aulan och om detta inte skulle följas ingriper personal.

4.6 Möjlighet för manuell släckinsats

Lokalerna är utrustade med skumhandbrandsläckare. Avståndet till utrustningen är max 25m. Kök och pentry är utrustade med kolsyresläckare.

4.7 Räddningstjänstens roll i brandskyddet

Insats bedöms kunna ske inom tio minuter enligt avstånd till brandstation från platsbesöket. Slangdragningen för räddningstjänsten överstiger inte 50 m. Det finns en alternativ väg in i byggnaden för räddningstjänsten vilket går under mark. I de fall då det går undviks denna väg då det tar längre tid att nå byggnaden. I övrigt används huvudentrén, sidoentrén och baksidans dörrar som angrepps vägar. En brandförvarstablå finns vid huvudentrén, i ett av personalrummen, och en ytterligare vid en av ingångarna på baksidan av byggnaden. Släckvattnet kommer från det kommunala vattensystemet.

5. Riskidentifiering

Syftet med riskidentifiering är att identifiera existerande risker i Uppsalas Universitetshus, och övergripande undersöka dessa med hjälp av scenarioanalys. Målet är att hitta representativa scenarier som sedan kommer att analyseras mer utförligt och utgöra underlaget för säkerhetsbedömningen av byggnaden.

De scenarier som behandlas i denna analys är utvalda efter information tillgiven under platsbesöket på objektet, utfört 19/2–2018, samt objektbeskrivningen och den sammanlagda erfarenheten inom arbetsgruppen.

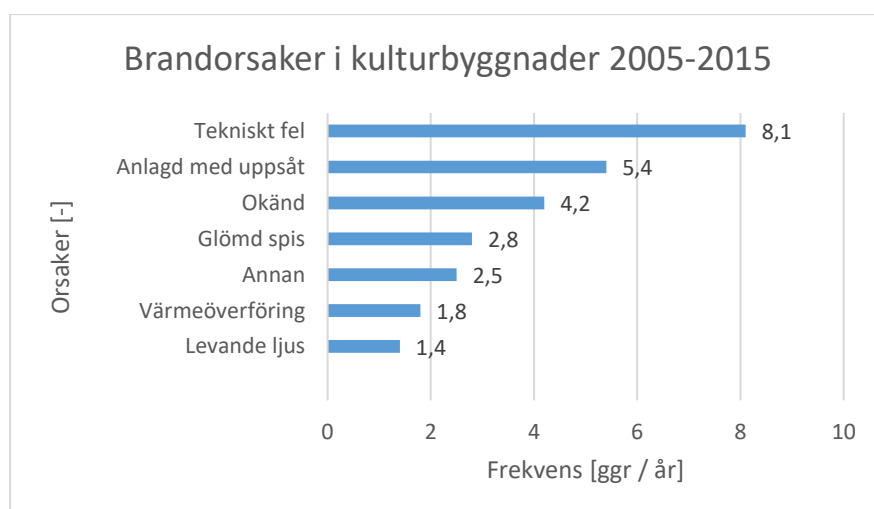
5.1 Antaganden

Vid identifiering i scenarier antas personantalet vara fullsatt i aula och föreläsningssalar. Att personantalet är maximalt i salarna vid analys är för att få ett konservativt tänkande samt att sannolikheten för brand antas vara högre vid stort antal personer. Dessutom kommer utrymningen att försvåras vid ett större antal personer. Personerna som vistas i byggnaden antas inte ha god lokalkännedom. Detta eftersom nivån på lokalkännedomen hos personerna i byggnaden varierar.

Alla scenarier kommer att bedömas utifrån en semi-kvantitativ skala. Detta för att lättare kunna sätta dessa i perspektiv till varandra och hitta de värsta troliga fallen.

5.2 Statistik

I Figur 7 nedan presenteras frekvensen för brandorsaker i kulturbyggnader som teater, museum och bibliotek. Frekvensen är baserat på ett medelvärde mellan åren 2005–2015 och är tagen från MSB:s databas IDA (MSB, 2018). Data för mobiltelefoner är inte inkluderad eftersom inte tillräckligt många fall har registrerats ännu. Statistiken kommer senare att vara grunden för riskbedömning.



Figur 7 Sammanställning av medelvärden för brandorsaker i kulturbyggnader. Källa: IDA

5.3 Grovanalys

Nedan ges en beskrivning av potentiella riskscenarier identifierade i lokalen. Sannolikhet och konsekvens för varje scenario kommer vara grunden till bedömning av risken. Risken kommer att presenteras i en riskmatris. Analysen kommer att vara semikvalitativ. Den kvalitativa skalan för sannolikhet och konsekvens beskrivs i Tabell 2 respektive Tabell 3 nedan.

Tabell 2 Skala för sannolikhet

Gradering	Sannolikhet
1	Förekommer extremt sällan
2	Mycket ovanligt förekommande
3	Ovanligt förekommande
4	Förekommande
5	Ofta förekommande

Tabell 3 Skala för konsekvens

Gradering	Konsekvens
1	Inga personskador förekommer
2	Lindriga personskador eller/och ekonomiska förluster motsvarande 10 miljoner <kostnad <50 Miljoner
3	Personskador eller/och ekonomiska förluster > 50 Miljoner
4	Allvarliga personskador eller/och förlust av ovärderliga föremål
5	Dödsfall

Bedömning av sannolikhet kommer att grundas på den statistiken redovisad i avsnittet Statistik, frekvensen uppskattas genom att undersöka brandorsaken och summera de olika riskerna med varandra. För bedömning av konsekvens kommer resonemang föras som baseras på typ av brand, byggnadens brandskydd och utrymningsmöjligheter. Bedömningarna innefattar utöver statistiken även omgivningen, dvs. hur mycket riskkällor som skulle kunna finnas för en initialbrand, samt personal för larm och släckmöjligheter som finns tillgängliga.

De undersökta riskscenarierna delas upp utefter det relevanta startutrymmet och detta innebär att scenarierna kategoriseras som bränder innanför respektive utanför aulan.

5.3.1 Scenarier då branden startar i aulan

1. Brand startar på scenen

Beskrivning av potentiellt brandförlopp: De mest relevanta brandorsakerna anses vara levande ljus som mot förmodan används under en föreställning, anlagd brand eller tekniskt fel i utrustning. Om det är mycket material på scenen kan en stor effektutveckling åstadkommas, dock anses avståndet till första parkett vara tillräckligt för att hindra spridning av branden, se Figur 8. Tiden det tar att utrymma lokalen kommer då att påverkas, genom att förberedelsetiden förlängs. När personer börjar resa på sig finns det risk för att branden hinner utvecklas så pass mycket att de åskådarna närmast scenen påverkas av den avgivna strålningen och farlig rök.

Personer som vistas på scenen kan få mildra men även allvarliga brandskador, beroende på bland annat hur lång tid det tar för individen att uppmärksamma branden, hur de agerar när de uppmärksammat branden och hur snabbt branden sprider sig.

Medförda konsekvenser på utrymning: Utrymningsvägarna i aulan förblir generellt fria under en pågående brand på scenen. Undantagen blir trapphusen till höger respektive vänster om scenen vilket antas användas i mindre omfattning, eftersom andra alternativ längre bort ifrån branden blir mer attraktiva. På grund av personers tendens att utnyttja samma passage ut som in i utrymmet skulle majoriteten av besökare oavsett använda sig av de tre ingångarna in i aulan från foajén enligt teorierna i kapitel 2.2.2 Människors beteende vid brand ovan.

Sannolikhetsbedömning: 4

Uppskattad konsekvens: 4



Figur 8. Överblick av scenen i den stora aulan.

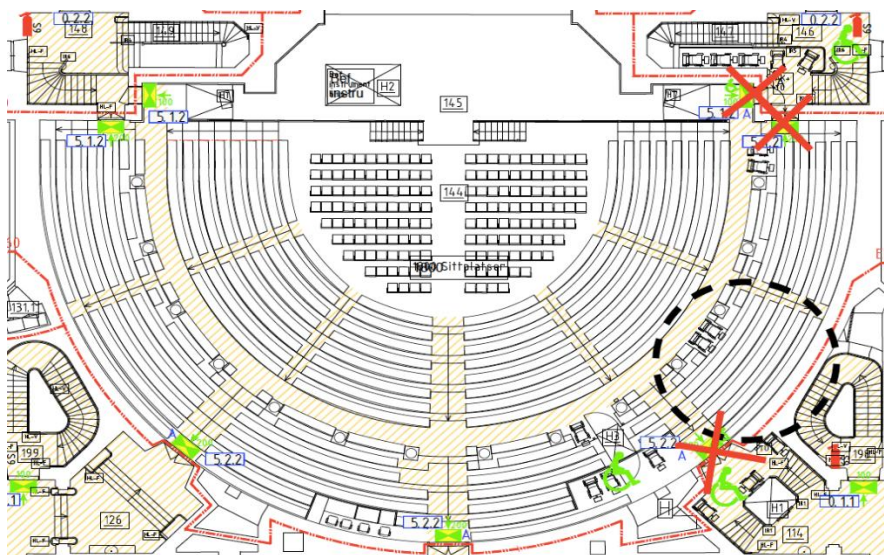
2. Brand startar under bänkarna i aulan.

Beskrivning av ett potentiellt brandförlopp: Undertill bänkarna i aulan finns det eluttag vilket kan utnyttjas till exempel för att ladda mobilen. Vid nyttjande av dessa medförs en risk att ett tekniskt fel uppstår som startar en brand. Det är även möjligt att en brand vid bänkarna kan vara anlagd. Då branden startar där personer är närvarande antas detektionen ske snabbt. Dock är ingen handbrandsläckare utplacerad i närheten och bänkarna är vadderade, vilket skapar förutsättningar för en snabb ohindrad spridning. Det finns även en risk för att medtagna personliga tillhörigheter bidrar till en snabbare brandspridning. Möjligtvis är vadderingen även av det slaget att en toxisk effekt åstadkommas väldigt tidigt i brandutveckling.

Medförda konsekvenser på utrymning: Beroende på positioneringen av branden kommer utrymningsmöjligheter att minska i olika utsträckningar. Mest sannolikt kommer i vilket fall minst en av utrymningsvägarna från aulan få begränsad åtkomlighet på grund av branden. Antingen åstadkommas denna effekt i princip omedelbart eller efter branden har hunnit sprida sig längs en bänkzonen, se Figur 9 där ett exempel på en zon har markerats. Detta försvårar utrymning, dock antas bänkarna inte kunna orsaka en tillräckligt snabb brandspridning för att personer utsätts för kritiska förhållanden. Personer som sitter intill branden dock förväntas kunna få lindriga skador. Den ekonomiska kostnaden av incident uppskattas vara mindre än 10 miljoner, då det antas att räddningstjänst anländer i tid för att släcka branden.

Sannolikhetsbedömning: 2

Uppskattad konsekvens: 2



Figur 9. Exempel på hur en brand i en 'bänk zon' skulle begränsa utrymning. De utrymningsvägar markerade med ett rött 'X' bör mest sannolikt få begränsad åtkomlighet när branden har hunnit sprida sig i zonen.

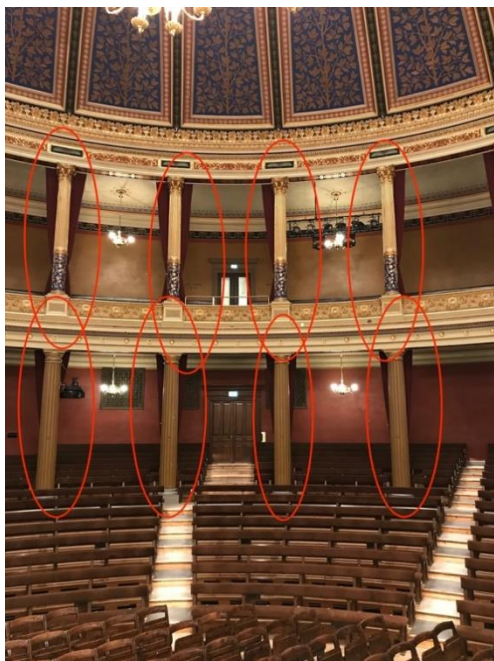
3. **Brand startar vid en av gardinerna**

Beskrivning av potentiellt brandförlopp: Den mest troliga brandorsaken i detta fall vore en anlagd brand. Branden börjar vid gardinerna och kan sprida sig relativt snabbt om vadderingen i bänkarna antänds eller besökande har med ytterligare privata tillhörigheter, som väskor och dylikt. Gardinerna är långa och om gardinen tappar fäste kan det falla över någon och orsaka personskador eller bidra till ytterligare brandspridning.

Medförda konsekvenser på utrymning: Mest sannolikt kommer branden att orsaka att minst en av utrymningsvägarna används i liten utsträckning eller inte alls. Detta medför ökad påfrestning på de resterande utrymningsvägarna. Ett speciellt fall är då en gardin skulle orsaka en brand i de markerade zonerna i Figur 10, eftersom att detta skulle potentiellt medföra utrymningskomplikationer för samtliga immobila i aulan. En säker utrymning beror på hur snabbt branden skulle hinna sprida sig och därmed begränsa gångar angränsande till zonen. Det finns risk för lindriga skador och ekonomiska förluster understigande 10 miljoner kr förväntas.

Sannolikhetsbedömning: 1

Uppskattad konsekvens: 3



Figur 10. Markering av gardinernas positionering gentemot den vänstra utrymningspassagen från aulan till foajén.

4. **Brand under scenen.**

Beskrivning av potentiellt brandförlopp: Under scenen finns dyrbara spelinstrument och vid ett utvecklat brandförlopp kan detta orsaka en mycket stor ekonomisk förlust. Det är även en del instrument, så som cembalon, vilket är mycket sällsynta och därmed kan klassas som inte ersättningsbar.

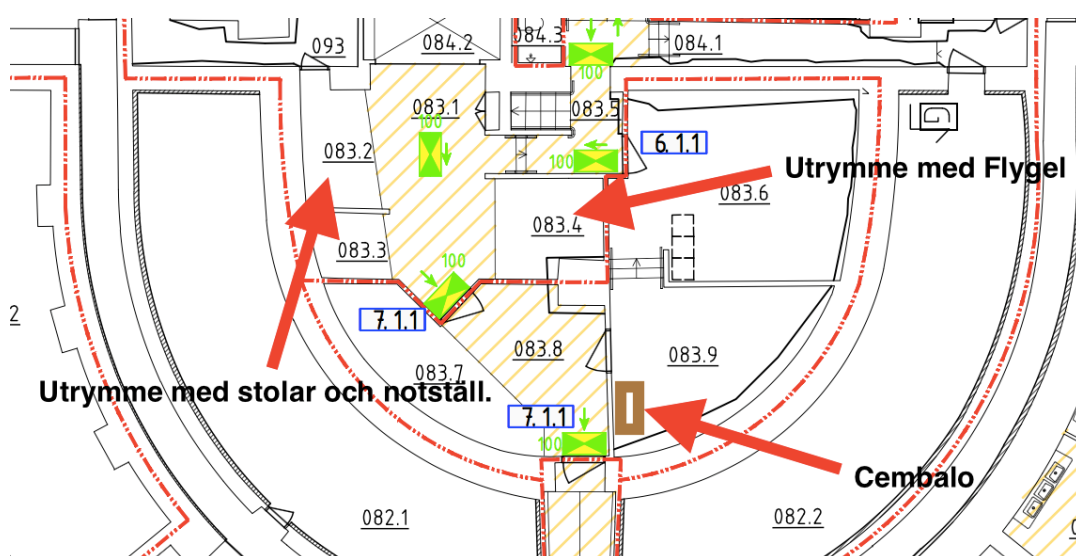
Under scenen är det en hiss vilket används för att förflytta flygeln och denna står annars i ett eget utrymme avskilt från ett närliggande utrymme vilket används för lagring av stolar. Fast än de är avskilda skulle ett utvecklat brandförlopp i lagringsutrymmet kunna skapa allvarliga skador genom de varma brandgaserna vilket kan ta sig in till flygeln. Området under scenen är dock uppdelat i två brandceller och därmed skulle en brand inte kunna sprida sig vidare från t.ex. utrymmet med flygeln till utrymmet med cembalon, se Figur 11.

Under scenen får inte obehöriga vistas vilket gör att risken för anlagda bränder är minimal och då det är knappt någon elektronik i utrymmet är risken för tekniskt fel som brandsorsak också mycket liten.

Medförda konsekvenser på utrymning: Under scenen är det vanligtvis inga personer vilket gör att personskador ej förväntas förekomma. Dock innehåller utrymmena under scenen mycket dyra instrument och beroende på vilken brandcell branden skulle starta i kan ovärderliga föremål som inte går att ersätta förstöras av branden.

Sannolikhetsbedömning: 1

Uppskattad konsekvens: 4



Figur 11. Utrymme under scenen med markering av nämnda utrymmen i 'beskrivning av potentiellt brandförlopp' för scenario fyra.

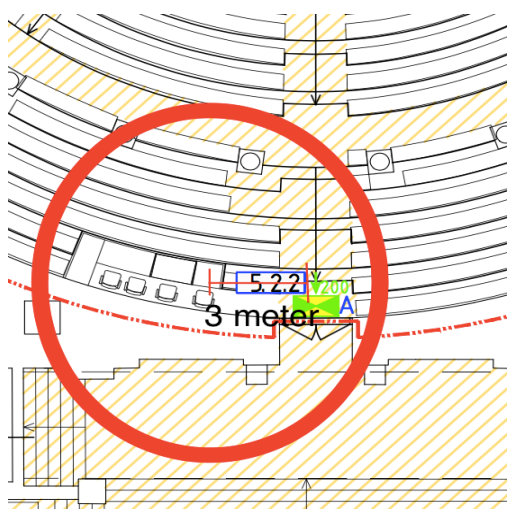
5. Tekniskt fel i mixerbord

Beskrivning av mixerbordets placering samt funktion: Inne i aulan finns ett mixerbord vilket är placerat i bakre delen av salen intilliggande en av utgångarna. Vid bordet finns det personal vilket styr över ljud och ljus under arrangemangen hållna i aulan. Vid bordet existerar det även funktioner för att styra dörrarna i aulan, så att de kan öppnas eller stängas utefter preferens. Det existerar mycket tekniskt material vid positionen och detta medför en risk för att en brand startar i anläggningen på grund av tekniskt fel.

Beskrivning av potentiellt brandförlopp: Ett tekniskt fel uppstår vilket medför att det börjar brinna i mixerbordet. Personal är på plats och därmed sker en snabb detektion, dock saknas handbrandsläckare vilket gör att någon i personalen får lämna aulan för att hämta en brandsläckare alternativt att någon tillkallas. Detta medför att en viss värmeutvecklings låts fortskrida och om branden hinner utvecklas tillräckligt snabbt, så att den ej kan släckas med handbrandsläckare, kan detta medföra att branden sprids till intilliggande bänkar och bås. Dess placering, ungefärligt tre meter ifrån ingången, innebär även att den aktuella nödutgången intill mixerbordet, se Figur 12, hindras och slutligen kommer mest sannolikt inte att brukas efter en viss tid. Den snabba detektionen, antingen av personal eller av detektorer, innebär att utrymningen inleds relativt fort. Detta medför att lindriga eller inga personskador bör uppstå. Det finns dock en risk för att branden hinner sprida sig väsentligt förrän ytterligare åtgärder tas t.ex. att räddningstjänsten anländer och påbörjar dess släckningsinsats.

Sannolikhetsbedömning: 2

Uppskattad konsekvens: 2



Figur 12. Markering av mixerbordets placering gentemot en av nödutgångarna från aulan, första plan.

5.3.2 Scenarier då branden startar utanför aulan

6. Brand i det provisoriska garderobsutrymmet.

Beskrivning av potentiellt brandförlopp: Branden startar i det provisoriska utrymmet, på grund av att ett el-fel i utrymmet. Detta kan orsakas av en kortslutning i kontakten tillhörande Tv:n som skapar gnistor vilket leder till att en jacka antänder. Utan ingripande av personal skulle en omfattande brand utvecklas. Vidare kan branden även vara anlagd. Dock anses sannolikheten för detta minimal då personal alltid är på plats under föreställningar samt att aulan vore sannolikt mer av intresse för anläggaren.

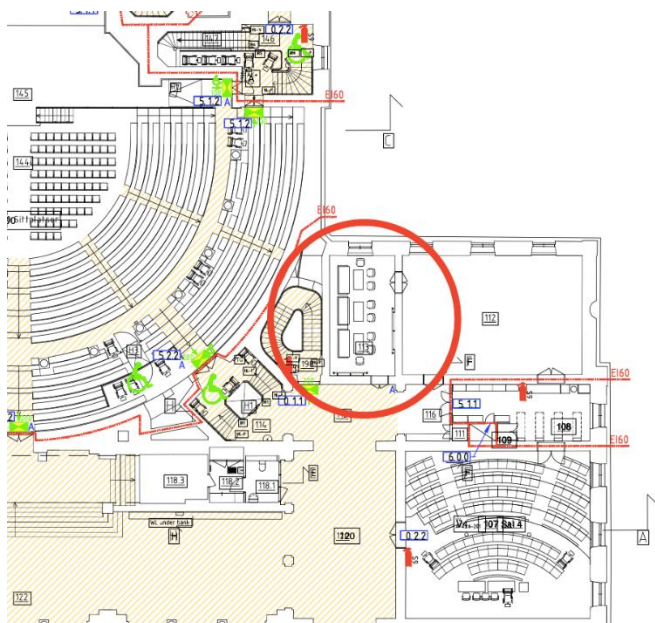
Utrymmet är inte stort i förhållande till den höga brandbelastning vilket medför att det existerar en risk för att det sker en lokal övertändning med rök och flammor vilket rör sig genom öppningen mot den stora hallen. Röken i hallen kan potentiellt ta sig in i aulan.

Medförda konsekvenser på utrymning: Röken i hallen hindrar personer att använda utgången närmast rum 112, vilket även är en av utrymningsvägarna avsedda för funktionellt varierande. Detta medför även att rum 114 inte kan brukas som utrymningsplats, se Figur 13. Detta bör medföra en väsentlig påverkan på utrymningsflödet i aulan. Ytterligare tid för att assistera rullstolsbundna eller andra immobiliserade personer förväntas.

Före övertändning är det möjligt att både funktionellt nedsatta samt resterande personer fortsätter att använda sig av utrymningsvägen där det är rök ändå. Detta grundas i att människor tenderar att gå igenom rök (Bryan, 2008), samt att människor är generellt dåliga på att uppskatta bränders utveckling (Douglas & Wildavsky, 1983). Utöver detta kan det även diskuteras utefter teorin om tillhörighet att personerna som använde sig av utrymningsvägen som ingång har tendens att utnyttja samma vid utrymning (Tong & Canter, 1985). Risken existerar därmed att människor exponeras för den toxiska gasen, samt den avgivna strålningen från branden, i tillräcklig omfattning för att orsaka medvetslöshet eller/och allvarliga skador.

Sannolikhetsbedömning: 3

Uppskattad konsekvens: 4

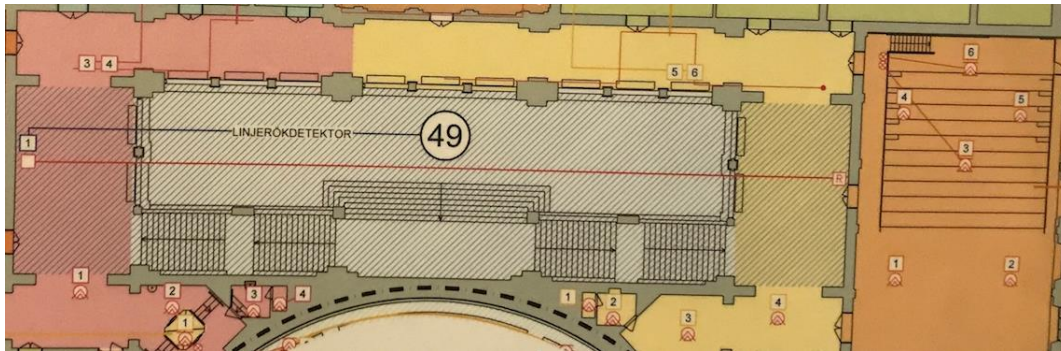


Figur 13. Markering av rum 11, vilket nyttjas som provisoriskt garderobsutrymme då ordinaries kapacitet överskrids.

7. Föreläsning i sal 10, rum 233, andra våningen

Beskrivning av startutrymmet: Utanför föreläsningssal 10 finns klädkrokar för att hänga av jackor, se Figur 15. Klädkrokarna hänger på väggen till föreläsningssalen och finns ute i atriet, väggen är ingen brandvägg.

Potentiellt brandförlopp: Antändningskällorna är få och den mest troliga brandorsaken vore anlagd. Brandskyddet är inte dimensionerat för krokarna då dessa tillkommit senare. Eftersom krokarna finns i atriet, vilket är mycket stort, anses inte rökutvecklingen påverka sikten. Det finns inte något i närheten som är brännbart vilket gör att strålning inte orsakar ytterligare brandspridning. Väggen vilket jackorna hänger mot är inte brandklassad vilket gör att branden kan spridas via väggen. Inne i föreläsningssalen finns en brandsläckare som kan användas för att bekämpa branden och reducera konsekvenserna. Krokarnas position i atriet gör att det är sannolikt att branden detekteras tidigt av linjeröksdetektorn, se Figur 14.

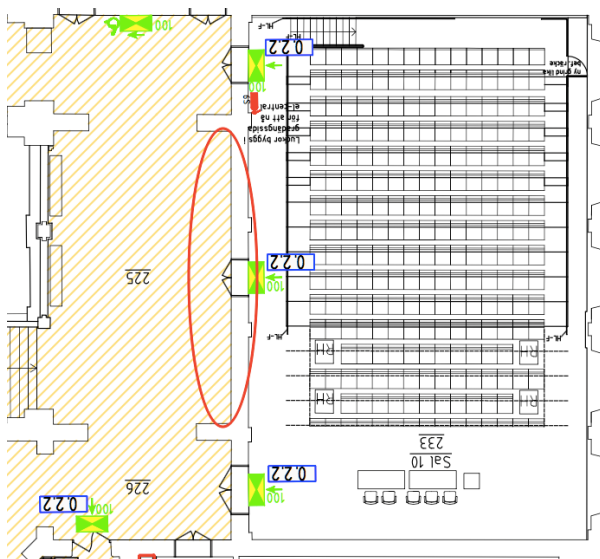


Figur 14: Positionering av linjerökdetektorn på tredje våningen.

Medförda konsekvenser på utrymning: Utrymningen kommer mest påverkas för vistande i föreläsningssal 10 då personerna med stor sannolikhet behöver gå igenom röken vid utrymning. Det finns en brandsläckare inne i salen som kan användas om nödutgångarna är blockerade av branden. Det finns tre utrymningsvägar från salen där en av dem antas kunna användas vid pågående brand. Konsekvenserna förväntas bli lindriga - eller inga personskador.

Sannolikhetsbedömning: 2

Uppskattad konsekvens: 2



Figur 15.: Markering av krokarnas placering, på tredje våningen utanför den aktuella föreläsningssalen.

8. Brand i en av föreläsningssalarna

Beskrivning av startutrymmet: I föreläsningssalarna kan det förekomma undervisning eller konferens och det kan vara upp mot 100 personer i utrymmet vid fullsatt. Jackor uppmanas inte att hängas utanför vilket gör att det speciellt under vintertid kommer att finnas mycket jackor längs väggar och över stolar.

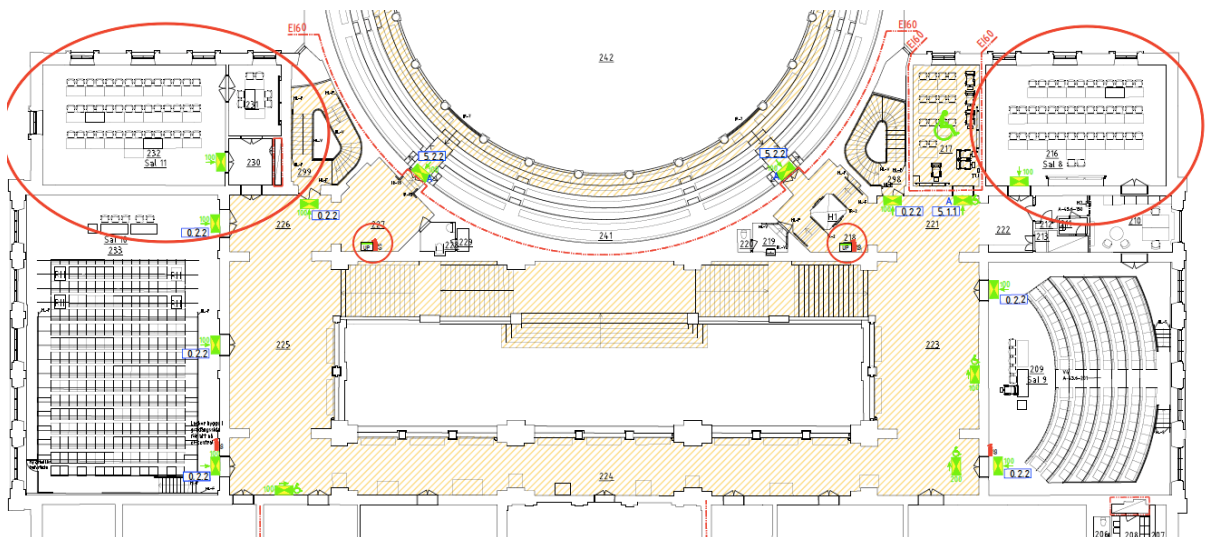
Beskrivning av potentiellt brandförlopp: Brandorsaken kan vara anlagd eller fel i mobil- eller datorladdare.

Föreläsningssalarna är små vilket gör att det finns mycket bränsle i rummet förhållande till dess volym, vilket kan ha en väsentlig påverkan på brandförloppet om branden sprider sig. Jackorna är relativt lättantändliga och har en snabb effektutveckling. Om branden inte upptäcks i tid kommer den snabbt kunna sprida sig och bli svår att bekämpa utan ytterligare hjälpmedel. Det finns dock brandsläckare i alla föreläsningssalar i byggnaden, förutom två stycken. De två salarna som inte har brandsläckare är mindre, ligger på plan 3 och har endast en utrymningsväg var, se Figur 16. Observera att det finns brandsläckare i närheten av dessa salar placerade vid utrymningsplanerna.

Medförda konsekvenser på utrymning: Eftersom det är personer i föreläsningssalarna vid tillfället kan det antas att branden kommer att upptäckas snabbt. I de rum det finns brandsläckare kommer branden antingen kunna släckas eller reduceras, så att samtliga hinner ta sig ut. Den eller de som sitter vid branden innan den detekteras kan få lindriga brännskador.

Sannolikhetsbedömning: 2

Uppskattad konsekvens: 2



Figur 16.: Markering av de två föreläsningssalarna, på tredje våning, utan brandsläckare. Brandsläckare placerade i närheten av salarna har också markerats.

9. Brand på plan 4, vinden.

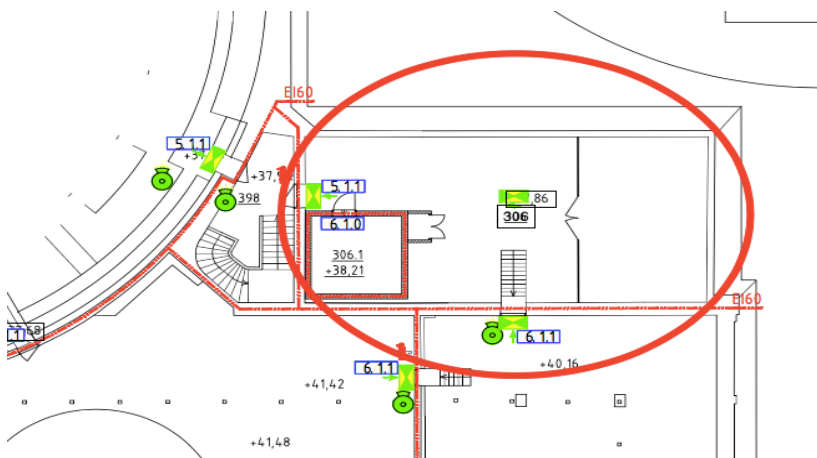
Beskrivning av startutrymmet: Vinden nyttjas inte generellt av besökare utan det är ett fåtal personer som rör sig i området. Detta gör att detektion vid potentiell brandincident sker mest sannolikt via ett detektionssystem. Då obehöriga inte har tillgång till utrymmet är anlagd brand inte en aktuell brandorsak, utan det som sannolikt orsakar en brand är elfel. Dock är det generellt få elinstallationer på vinden, utöver de kopplade till ventilation och centralen placerad i en egen brandcell.

Beskrivning av potentiellt brandförlopp: Uppe på vinden finns förrådsutrymme med böcker, vadderade möbler och mycket trävirke. Denna del är markerad i Figur 17. Brandbelastning i dessa delar av vinden är mycket hög. I övriga delen av vinden är det mestadels trä vilket är svårantändligt och ventilationsrör vilket förutom innefattande isolering, är gjort av icke-brännbart material. Skulle förrådet med hög brandbelastning börja brinna kan det snabbt leda till en stor effektutveckling. Släckinsatsen för räddningstjänsten kommer att vara svår då det är ett utrymme som innebär lång insatsväg. Troligtvis är det inte heller någon personal på plats som kan släcka branden i det tidiga stadiet av brandförloppet.

Medförda konsekvenser på utrymning: På vinden är det mest sannolikt inte människor, vistandes vilket gör att personskador inte förväntas förekomma. Om personal är på plats är det även goda förutsättningar för att kunna utrymma obehindrat på grund av oberoende utrymningsvägar och storleken på utrymmet där ett fåtal vistas samtidigt. Byggnaden ska klara av branden under sextio minuter vilket gör att personerna i byggnaden har dessutom hunnit utrymma innan spridning till undervåningen. Då det finns mycket antikt i vindsförrådet skulle en brand orsaka främst ekonomiska förluster. Däremot anses inte föremålen vara av stort värde.

Sannolikhetsbedömning: 1

Uppskattad konsekvens: 2



Figur 17. Markering av utrymmet på vinden, det vill säga plan fyra, med hög brandbelastning.

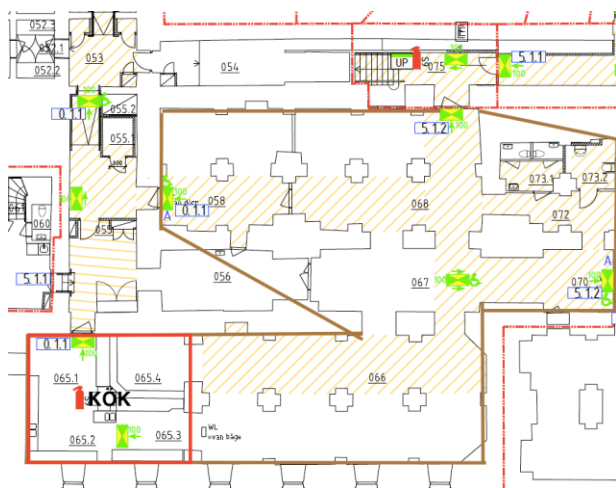
10. Brand i caféets kök i källarvåningen.

Beskrivning av potentiellt brandförlopp: Universitetshusets café ligger på källarplanet och dess utformning kan observeras i Figur 18. Om en brand uppstår kommer det låga taket i lokalen orsaka att sikten påverkas snabbt. I delen av Cafét utsett för gäster finns det bord och stolar men dessa anses inte vara i risk för att antändas på grund av den uppskattade låga brandbelastningen i köket. Köket anses ha en låg brandbelastning då det utgörs främst av köksredskap och mat vilket generellt inte är lätt antändligt. Avståndet från sittplatser till köket anses även vara tillräckligt för att utgöra ett effektivt säkerhetsavstånd. Strålningen från en brand mot gästerna antas också därmed inte utgöra ett hot för personskador. göra ett hot för personskador.

Medförda konsekvenser på utrymning: Personalen har god lokalkännedom och kan utrymma innan kritiska värden uppnås. Däremot kan det finnas risk för lindriga skador för personal när branden utbryts. I köket finns en brandsläckare och två av varandra oberoende utrymningsvägar. Då brand startar antas personalen försöka släcka branden vilket också kan leda till lindriga skador. Om branden inte släcks finns det risk för att gäster blir exponerade för giftiga gaser vilket kan orsaka lindriga och även allvarliga personskador. Detta beror dock på hur effektivt utrymningen sker och hur snabbt utrymningen påbörjas. Eftersom branden ej ses av gästerna kan det vara svårt att uppfatta allvarligheten i situationen.

Sannolikhetsbedömning: 2

Uppskattad konsekvens: 2



Figur 18. Skiss över kökets placering i caféet, markerat med röd box, och gästande delen av caféet vilket är märkt med en brun zon-indelning.

11. Brand i fakultetsrummen

Beskrivning av startutrymmet: Fakultetsrummen finns placerade på andra våningen i byggnaden, se Figur 19. Här finns många dyrbara tavlor, stora träbord och stolar. Det finns även en del textilier. Rummen används inte dagligen vilket gör att personantalet i dessa utrymmen vanligtvis är minimalt. Rummen innefattar generellt lite möbler men mycket av innehållet i rummen är ovärderliga.

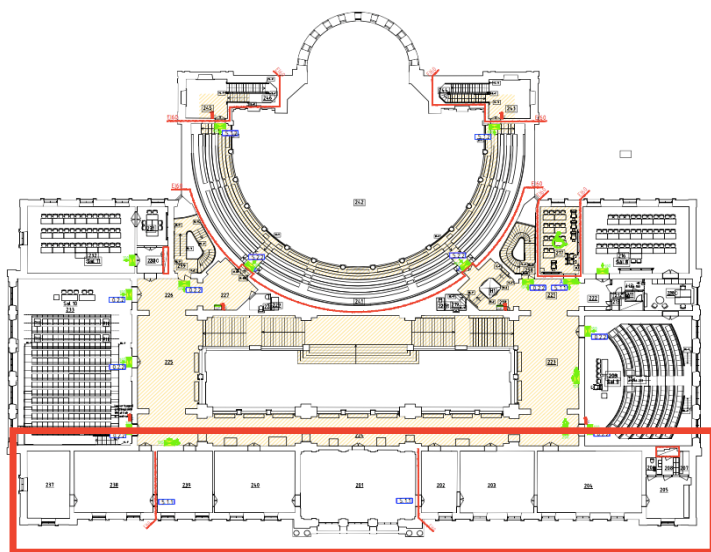
Beskrivning av potentiellt brandförlopp: Den mest troliga brandorsaken i fakultetsrummen är ett kvarglömmt levande ljus, vilket orsakar att till exempel någon textil antänds och branden utvecklar sig därmed vidare. Det brännbara materialet i utrymmet består främst av trämöblerna och då dessa är svårantändliga finns det en god chans att branden inte utvecklas ytterligare. Om branden skulle utvecklas ytterligare blir dess spridning mellan rum begränsad av två stycken brandcellsgränser.

Användandet av levande ljus är begränsat och används enbart av behöriga personer. Det anses inte sannolikt att personal eller fakultet skulle glömma att släcka alla levande ljus ordentligt, på grund av den höga emotionella samt ekonomiska värdet av utrymmet.

Medförda konsekvenser på utrymning: Antalet personer som vistas i rummen är generellt mycket låg. Då rummen nyttjas är det ett begränsat antal personer som vistas samtidigt och därmed bör evakuering kunna ske tillräckligt snabbt för att risken för personskador skall anses försumbar. Dock är inredningen i fakultetsrummen är värda miljardbelopp, vilket gör att en brand kan orsaka en mycket stor ekonomisk förlust.

Sannolikhetsbedömning: 1

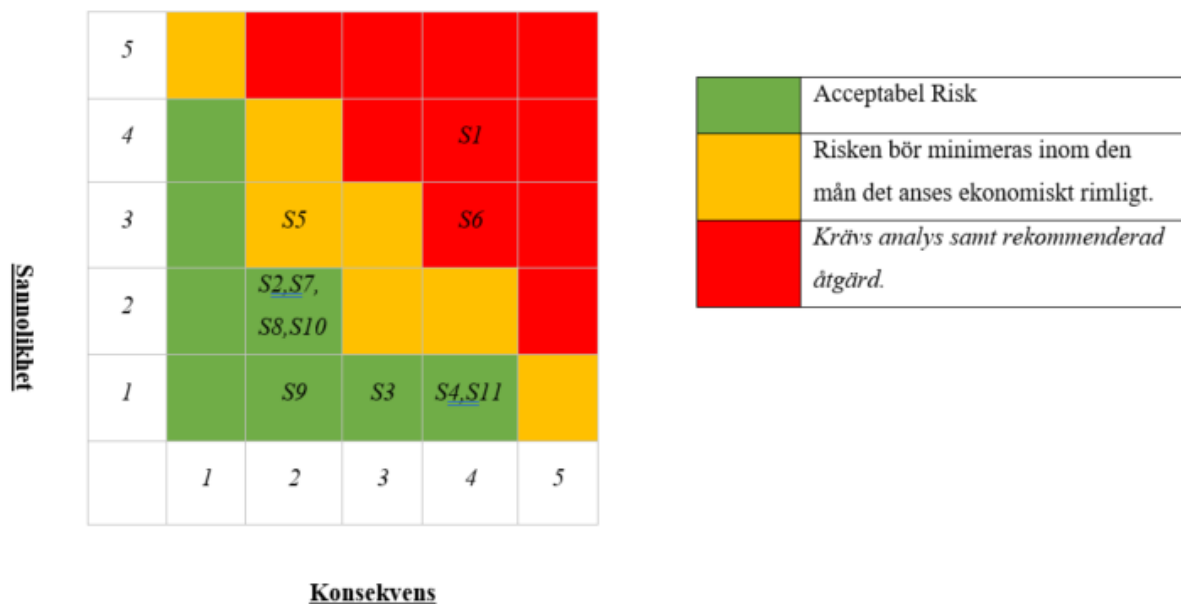
Uppskattad konsekvens: 4



Figur 19. Markering av fakultetsrummen. Implementerade brandcellsgränser syns i markeringen.

5.4 Presentation av Risk

Nedan presenteras en riskmatris, se Figur 20, där sannolikhet och konsekvens för respektive scenario bestämmer scenariots position i matrisen. Detta bidrar till en insikt av riskens magnitud, för respektive scenario, samt möjliggör en tydligare jämförelse mellan scenarier.



Figur 20: Risk-matris

Resultatet från grovanalysen medför att tre scenarier bör inkluderas i en vidare analys för att undersöka om risken kan minimeras ytterligare och två scenarier, scenario 1 respektive 6, anses utgöra tillräckligt stora risker för att kräva analys samt rekommenderad åtgärd.

Scenario tre samt fem innefattar att en brand startar inuti i aulan. Detsamma gäller för scenario ett fastän det scenariot anses innebära en större brandutveckling, vilket bör också medföra större konsekvenser för utrymning i aulan. För att undvika upprepande av beräkningar anses det att scenario 1 kan användas därmed till ett representativt scenario för scenario tre, fem och ett. Detta innefattar en så kallad 'worst-case approach', där scenariot ett innefattar vad som värst kan hända i aulan.

De dimensionerande scenarierna blir därmed scenario ett samt sex. Dessa innefattar även främst förlopp där människors säkerhet är exponerade och därmed anses den ekonomiska faktorn inte nödvändig att ta hänsyn till i vidare analys.

6. Scenario 1: Brand på scen

I detta kapitel presenteras data från den dimensionerande branden på scenen utifrån de simuleringarna utfört i programmet Pathfinder och FDS. Slutligen utförs en bedömning av personsäkerheten med tillhörande förslag.

6.1 Dimensionerande brand

I aulan sker det många olika evenemang vilket kommer ge en stor variation av brandbelastningen i lokalen. De olika evenemangen kommer att ha olika mängder dekoration och teknik uppe på scen. Den dimensionerande branden kommer att utgå från ett evenemang där det kommer att vara dels dekorationer uppe på scen, samt en mängd teknik för att ge ett trovärdigt värde av brandbelastningen.

En effektutveckling på 500 kW/m² vara en representativ effektutveckling för en brand på en scen i teater. Detta är baserat på en undersökning där olika teatrar fick lista de vanligaste materialen som användes på scen, se Figur 21. (Ove Arup & Partners PC, 2009)

Materials	Quantity
108" Muslin	340 yds
Paint	34 gal
Sono Tube (18" Diameter)	60 ft
2" x 4" x 8' SPF Stud	120 ft
Luan(¼")	58 sheets
1" x 2" Rectangular Tube	260 ft
Spandex	4 yds
Foam Molding	80 bd. Ft
1" x 1" square tube (16 gauge)	1540 ft
Vinyl Banner (3'x6')	3 ft x 6 ft
Vinyl Banner (3'x8')	3 ft x 8 ft
Vinyl Banner (6'x8')	6 ft x 8 ft
½" Snd Bd, 4' x 8'	10 sheets
¼" Masonite, 4' x 8'	61 sheets
Pine (1" x 4" x 8')	192'
¾" MDF (49" x 97")	15 sheets
¼" Angle Iron	48 ft
2" x 4" Rectangular Tube	100 ft

Figur 21. Vanligast material på en teaterscen (Ove Arup & Partners PC, 2009)

Sedan används ett sammanvägt värde på dessa materials egenskaper för att skapa ett värde för brandens effektutveckling per kvadratmeter.

Under evenemang i universitetshuset kommer det mycket folk vilket gör att det antas användas en hel del elektronik och teknik uppe på scen. Detta så att alla kan höra trots den stora mängd människor.

Enligt (M. Heinisuo & M. Laasonen och J. Outinen) brinner en scenbrand med en effektutveckling på 1000 kW/m². Detta antagande är baserat på data presenterat i Figur 22.

	Density [kg/m ³]	Heating value [MJ/kg]	HRR [kW/m ²]	V [m ³]	A [m ²]	Weight [kg]	Fire load [MJ]
Speaker	200	30	1000	0.96	8.24	192	5780
Amplifiers	200	30	1000	0.86	8.40	173	5184
Cables	1200	40	450	0.72	60.84	144	5760
Plattform	700	15	1000	0.30	12.35	60	900
Back wall	700	15	1000	0.40	16.40	80	1200
Curtain	1200	40	1000	0.01	12.01	2	96
Total							18900

Figur 22. Förväntad mängd utrustning på en scen (M. Heinisuo, 2010)

Då det antas att evenemanget kommer att bestå dels av dekoration i form av teaterdekor samt innehålla en hel del teknik så vägs dessa effektutvecklingar ihop. Detta ger då ett viktat värde på 750 kW/m² för detta scenario.

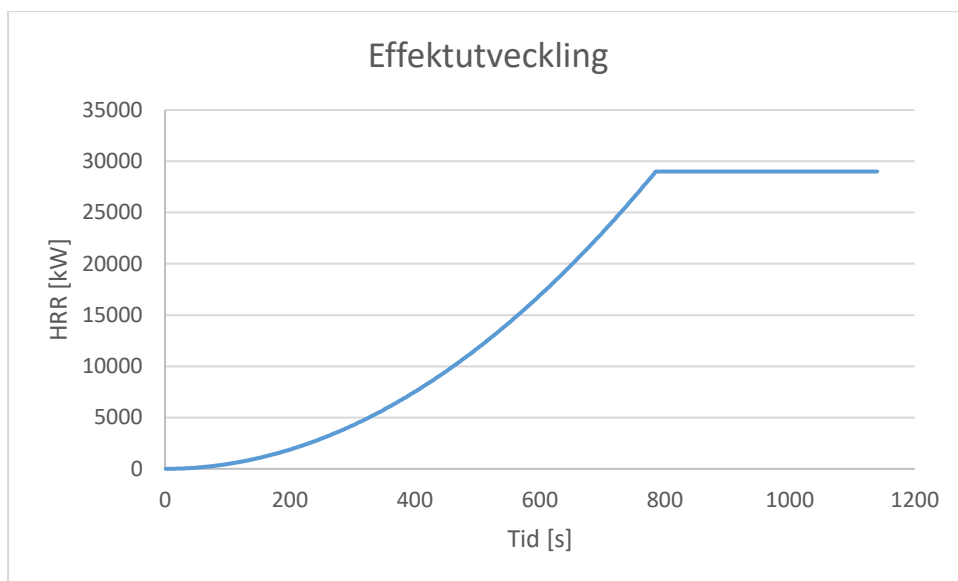
Värden för materialegenskaper som påverkar utrymning av lokalen vägs även dessa ihop för att ge ett dimensionerande värde. Dessa presenteras i Tabell 4.

Tabell 4. Materialdata för brand i aula. (Society of Fire Protection Engineers, Human Behavior in Fire Task Group, 2017)

Egenskap	Dekor	Elektronik	Vägt värde
Soot yield [kg/kg]	0,0356	0,172	0,104
Co yield [kg/kg]	0,021	0,0909	0,0556

För att bedöma storleken på branden uppskattas materialet vara placerat i en halvmåne med en diameter på 10 m², vilket motsvarar bredden på scenen i aulan. Detta skulle motsvara där dekor förväntas vara i största utsträckning. Elektronik kommer troligen att vara spritt över hela scenen men i storleken av den dimensionerande branden förväntas vara representativ. Detta innebär en brand med en area på ungefär 39 m² vilket ger en maximal effektutveckling på ungefär 29 MW.

Effektkurva för denna brand antas ha samma form som en αt^2 -kurva där tillväxthastigheten enligt NFPA skulle vara 0,047 kW/s². Detta antagande anses vara konservativt då detta enbart syftar på brand i teaterscen där materialen är lättantändliga. Se Figur 23 för dimensionerande effektutveckling.



Figur 23. Effektutveckling för brand i aula

6.2 Resultat från FDS

FDS användes för att kunna få de kritiska värdena från branden. Efter tiden då de kritiska värdena framkom antas inte utrymning kunna ske på ett säkert sätt. Tid till de kritiska värdena för brand i aula presenteras i Tabell 5 nedan.

Tabell 5 Tid tills kritiska värden i aulan.

Parameter	Kritisk nivå	Tid till kritiska värden (över/undervåning)
Temperatur	115 °C	*
Sikt	3 m	115 s / 209 s
Toxicitet FED	0,3	*
Strålning	2,5 kW	*
Brandgaslager	11,9 m	100 s

6.2.1 Sikt i Aulan

Ungefärligen 115 sekunder efter att branden har påbörjats nås kritiska nivåer vid andra våningen. Innanför det blåa området i Figur 24 har personer på övre våningen i aulan en sikt på mindre än 3 m. Det är vid denna tidpunkt kritiska nivåer först nås i aulan och ungefärligen tio sekunder senare under brandförloppet har det blåa området växt substantiellt, se Figur 25. Enligt simuleringen i FDS sker det sedan en förflyttning av rökgaserna mot scenen, vilket medför att sikten förbättrar sig vid terrassen, för att sedan bli fullständigt täckt av tjock rök efter ca. 200 sekunder. Se Figur 26. ASET för övervåningen antas motsvara 115 s för övervåningen, vid en stor brand i aulan, för att det är vid denna tidpunkt då kritiska nivåer först uppnås vid ett område där personer förväntas sig vistas.

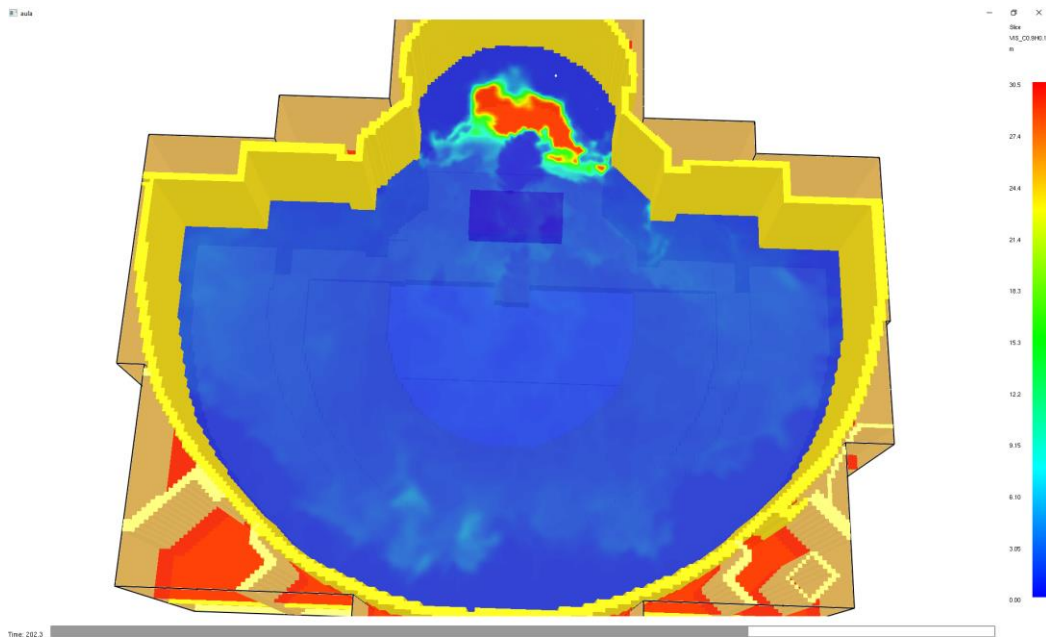
Personer på scen antas detektera branden innan rökdetektorn. Varseblivningstiden kommer att diskuteras i kapitlet utrymningssimulering.



Figur 24: Sikten i aulan vid 8,8 meters höjd efter 114,8 sekunder. Innanför det svarta och mörkblå området är sikten lika med eller mindre än tre meter. Vid denna tidpunkt nås kritiska värden i lokalen för första gången under brandförloppet.

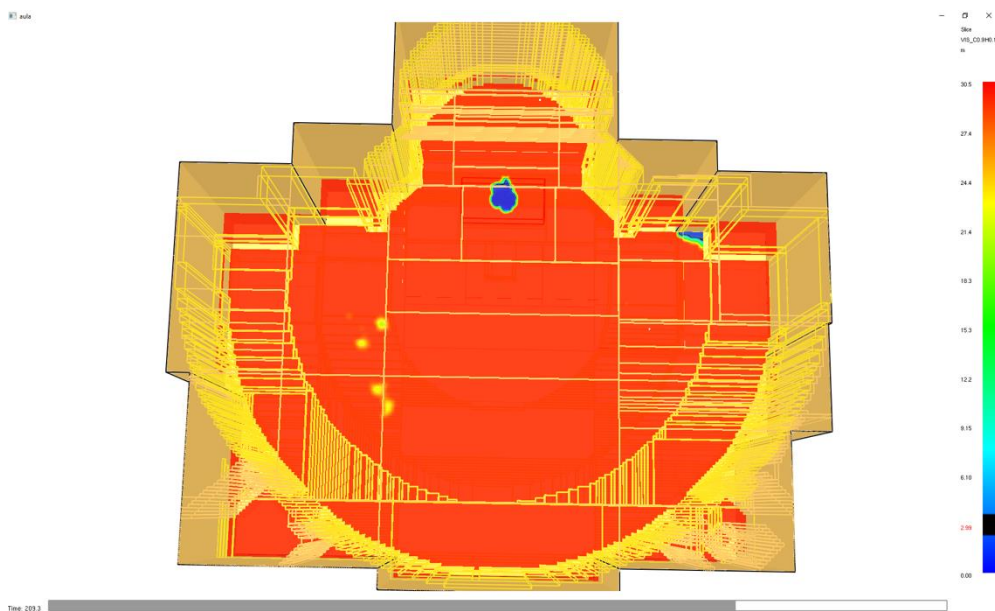


Figur 25: Sikten i aulan vid 8,8 meters höjd efter 125,3 sekunder. Innanför det svarta och mörkblå området är sikten lika med eller mindre än tre meter. Mellan 115–125 sekunder sker det en substantiell tillväxt.

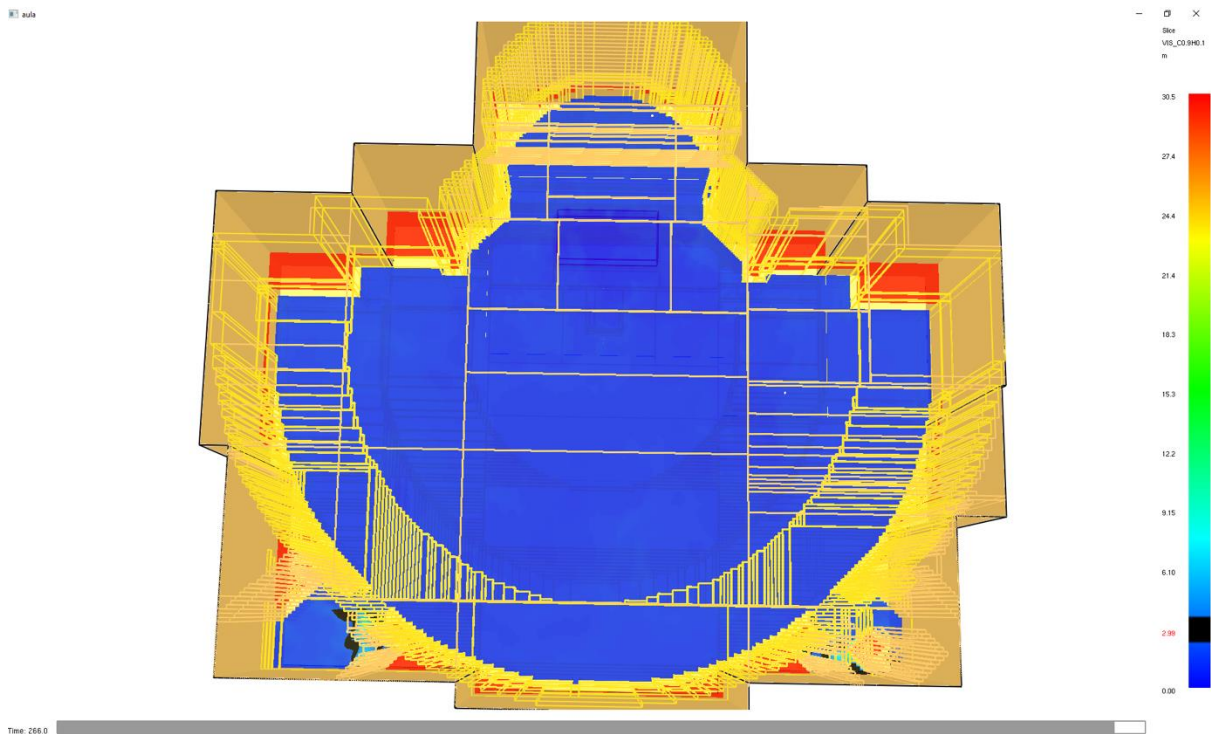


Figur 26: Sikten i aulan vid 8,8 meters höjd efter 202,3 sekunder. Vid denna tidpunkt har kritiska nivåer för sikt nåtts för hela planet vid 8,8 meters höjd.

På nedre våningen finns det höjdskillnader i golvet där det antas gå från 0 – 1,1 m upphöjt. För att vara konservativa har sikten på denna våning undersökts på 3,1 m över lägsta nivå på golv. För den nedre våningen blir sikten under 3 m vid dörren till ett av trapphusen vilken används för utrymning, ungefärligen vid 209 sekunder, se Figur 27. Detta medför att 209 sekunder blir ASET på detta plan. Efter 266 sekunder, från när brandförloppet började, har sikten blivit under tre meter vid 3,1 meters höjd över hela planet i aulan, se Figur 28.



Figur 27: Sikten vid 3,1 meters höjd efter 209,3 sekunder. Innanför det mörkblåa området är sikten tre meter eller lägre. Den ena mörkblåa ytan är precis vid nödutgången via ett av trapphusen.



Figur 28: Sikt i aulan vid 3,1 meters höjd efter 266 sekunder. Vid denna tidpunkt har kritiska nivåer för sikt nåtts för hela planet vid 3,1 meters höjd.

6.2.2 Toxicitet

De giftiga brandgaserna kommer inte att uppnå kritiska värden den högsta uppmätta FED koncentrationen var 0,01 vilket gör att under branden kommer värden inte uppgå till över en FED koncentration på 0,3.

6.2.2 Temperaturökning samt strålning orsakat av branden i Aulan

Temperaturen i aulan blir inte hög vid simuleringen vilket kan bero på att geometrin är väldigt stor samt att väggarna kräver en viss mängd energi för att värmas upp. Den högsta temperaturen blir det för dem som sitter närmst branden, där fluktuerar temperaturen mellan 35–44 °C. Då temperaturen inte blir hög kan strålningsberäkningar användas för att se strålningen från branden mot publiken. Strålning från annat håll antas inte påverka.

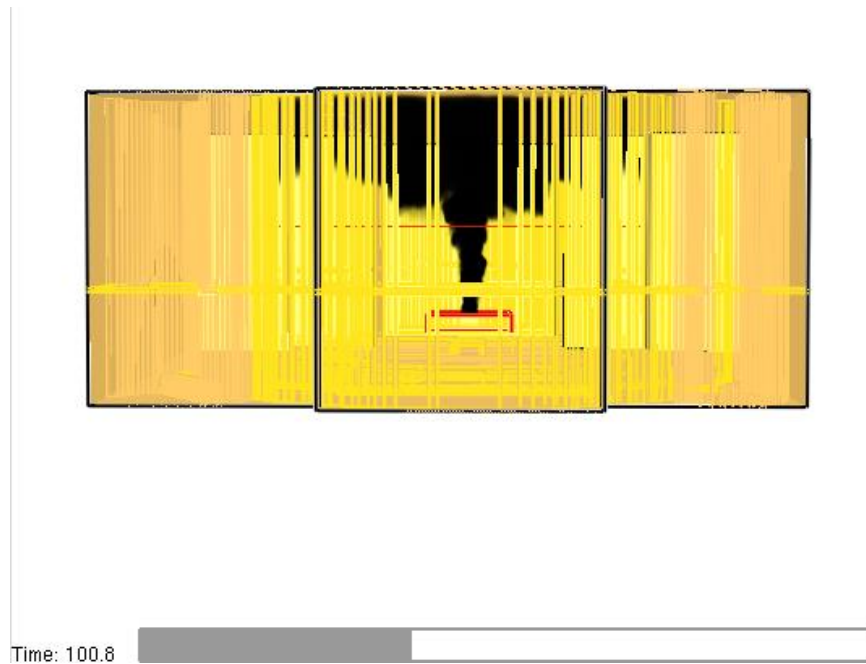
Då det blir låga temperaturer i aulan kommer strålningen inte att överstiga 2,5 kW vilket gör att detta inte kommer uppnå kritiska värden. Detta för att 2,5 kW motsvarar en temperatur på brandgaslagret på 200 °C vilket inte förekommer (D.A, 2008).

6.2.3 Höjden till brandgaslagret i Aulan

Höjden till brandgaslagret i aulan får inte understiga 11,9 m enligt de kritiska nivåerna på brandgaslagret. Vid simulering uppskattas detta värde förekomma efter 100 sekunder. För att bestämma höjd på brandgaslagret användes Smokeview, se Figur 29. Då värdet bestämdes visuellt blir det en del

tillhörande osäkerheter i värdet. För att mäta upp 11,9 m användes en slice file på en höjd av 8,8 meter. Detta gör att det är svårt att utläsa den exakta tidpunkt då brandgaslagret nått kritiska värden.

Eftersom sikten uppnår kritiska värden strax efter antas 100 s vara en rimlig tid till dess att kritiska värden har uppnått.



Figur 29: Bild över brandgaslagrets utveckling i aulan efter 100,8 sekunder.

6.3 Utrymningssimulering

Indata till programmet Pathfinder vilket används både för scenario ett och scenario sex redovisas i Bilaga C – Pathfinder. Följande text i detta avsnitt gäller enskilt för scenario ett.

I scenario ett antas en brand starta på scenen i aulan. Frantzich (2001) menar att varseblivnings-, besluts- och reaktionstiden blir mycket kort då personer som ser branden snabbt kan besluta om utrymning. Detta gäller även miljöer där personerna inte är helt obekanta med även om de inte vistas där dagligen till exempel en teater. Åskådarna antas vara vakna och mottagliga för nya signaler då de sitter i aulan. Deras uppmärksamhet antas även vara riktad mot scenen där branden initieras. Förberedelsetiden förväntas ligga kring en minut enligt rapporten.

Rapporten baseras på flera olika utrymningsförsök i biografier och varuhus där personers förberedelsetid har analyserats beroende på vilken typ av larm som använts samt om besökarna har kunnat se branden eller ej. Resultaten har sedan analyserats i en Delphiundersökning av en grupp med experter på brandteknisk dimensionering och utbildning av sådana personer. Resultaten visade tydliga tendenser och utifrån dessa kan val av reaktions- och beslutstid göras liknande, situationer. (Frantzich, 2001).

För utrymningssimuleringarna av universitetshuset valdes två olika resultat, fördelningar, från rapporten, se

Tabell 6. I båda fallen har försökspersonerna sett branden, vilket kan antas vara fallet i scenariot. I den första fördelningen har larmet utgjorts av ett talat meddelande, i det andra fallet har det inte varit något larm alls. Dessa val gjordes för att få med de som tror att branden och reaktionerna av folket på scenen är en del av föreställningen vilket får presenteras av fallet där inget larm funnits. Att en del av besökarna tror att branden på scenen är en del av showen är ett rimligt antagande, något som drabbade 42% av tillfrågade besökare vid en rockkonsert i England, 2003, där pyroteknik initierat en större brand på scenen (Fahy, R.F., Proulx, G. and Flynn J., 2011). I simuleringen av scenariot antas att hälften, ca 21%, uppfattar en brand som en del av konserten, detta är en kvalitativ uppskattning som baseras på brandvakterna initierar en utrymning då de vet att det inte får finnas brinnande föremål på scenen. Dessa placeras randomiserat i den bakre delen av publiken då dessa inte kommer känna av värmestrålningen.

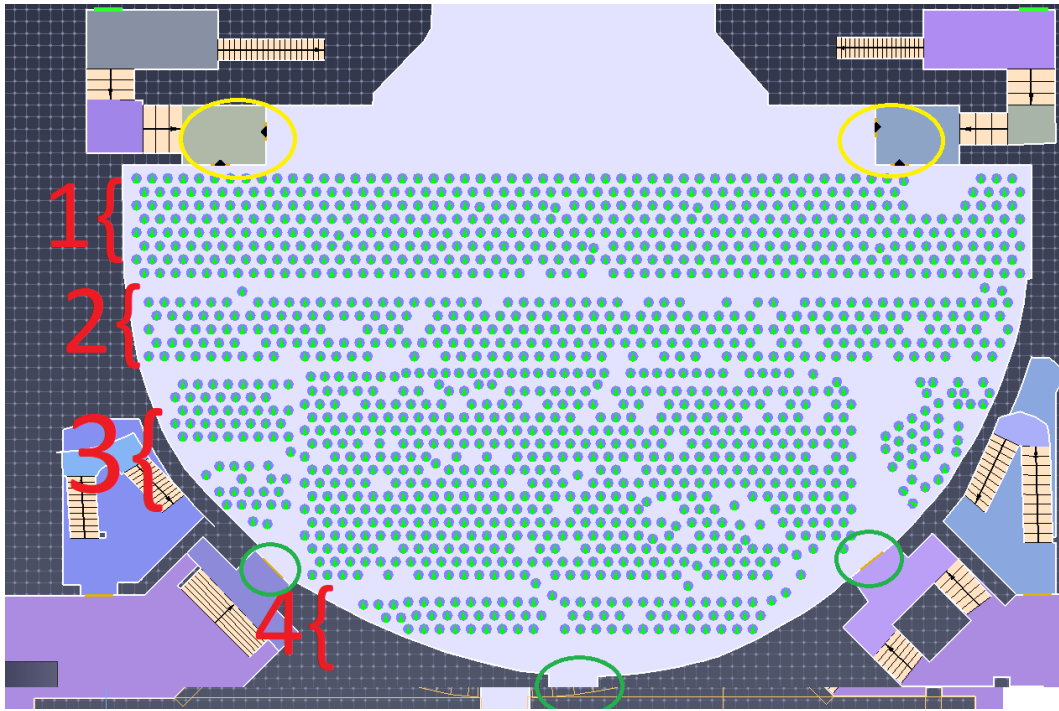
Tabell 6. Förberedelsestid för personer som ser en brand i en inte helt okänd miljö (Frantzich, 2001).

Typ av larm	Medel [min]	Standardavvikelse [min]	Min [min]	Max [min]
Talat meddelande	0:46	0:14	0:30	1:10
Inget larm	1:30	0:40	0:45	3:30

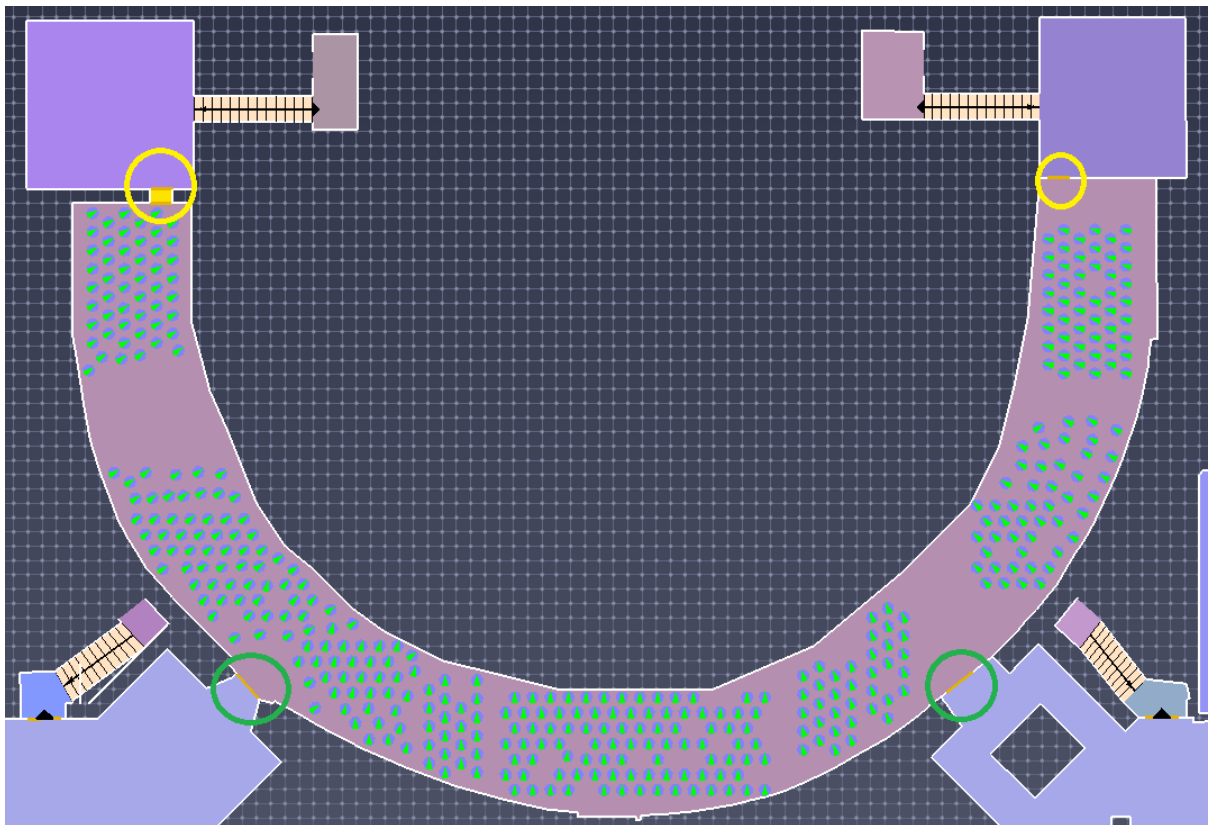
Valet av utrymningsvägar i scenariot utgörs av en kvalitativbedömning baserat på de psykologiska faktorerna beskrivna i kapitlet om

2.2.2 Människors beteende vid brand ovan. Teorierna om tillhörighet, att man använder de utgångar man brukar använda, och social påverkan, att personerna inte vill sticka ut, antas påverka mest. Nödutgångarna för åskådarna är markerade med cirklar i Figur 30, för nedervåningen av aulan, och Figur 31, för terrassen och övervåningen, nedan. De gulmarkerade utgångarna är i den främre delen av aulan, dessa används inte i normalfallet dessa leder till ett trapphus som har en utgång till det fria. De bakre utgångarna, gröna cirklar, är de dörrar som används som entré i normalfallet och leder ut i förhallen. Från övervåningen finns det härifrån trappor ner till förhallen på första våningen och därifrån finns det vägar ut i det fria. I simuleringen så ges en viss andel agenter möjligheten att använda både de främre och bakre utgångarna, men styr inte vilken de ska välja.

Fördelningen för personerna i aulan, vilken utgång de antas använda och hur de uppfattar branden sammanfattas i Tabell 7 nedan.



Figur 30. En översikt över utgångar samt uppdelning av åskådare av aulans nedervåning.



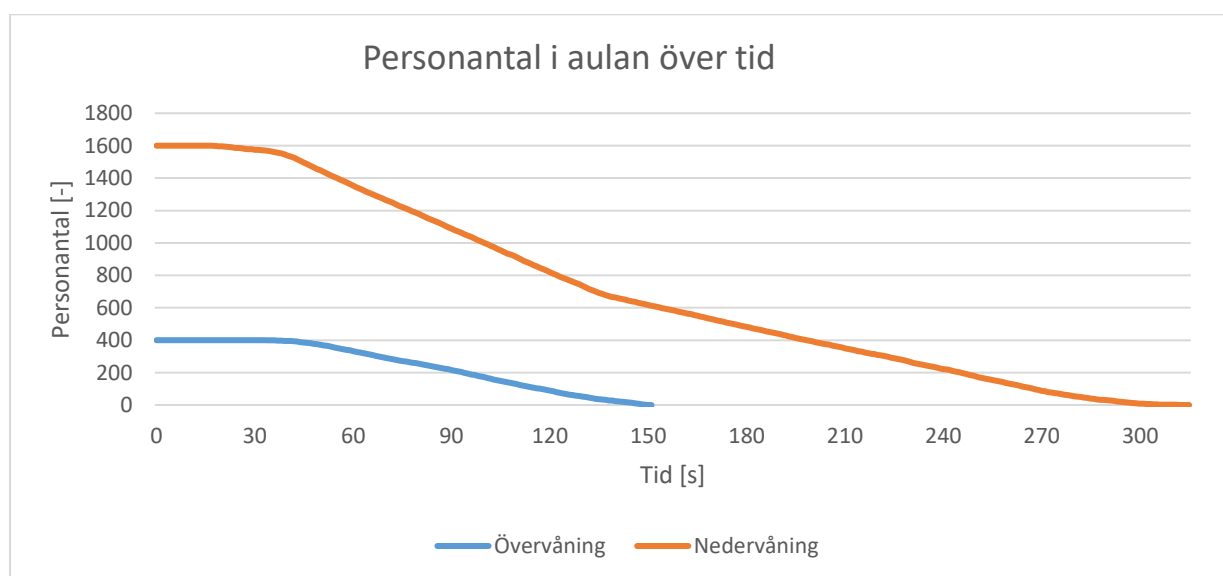
Figur 31. En översikt över utgångar samt åskådare av aulans övervåning.

Tabell 7 Fördelning av åskådarna i aulan och vilka utgångar de kan använda i simuleringen. Kategorierna (1,2,3,4) beskrivs i figur 26 ovan.

Personkategori (personantal)	Bakre utgångar	Främre & bakre utgångar	Uppfattar branden som verklig	Uppfattar ej faran
1 (446)	50%	50%	100%	-
2 (289)	75%	25%	100%	-
3 (595)	100%	-	70%	30%
4 (70)	100%	-	100%	-
Övervåning (400)	75%	25%	50%	50%

6.3.1 Resultat från Utrymningssimulering

I Figur 32 presenteras en graf vilket är representativ och värdena är medelvärden på flera utrymningssimuleringar som gjorts i Pathfinder. Genom att använda medelvärde så minskar osäkerheten i distributionen. Genom att använda medelvärde så minskar osäkerheten i distributionen.



Figur 32. Personantal i aula över tid

Tabell 8 visar översiktligt den tid som krävs för att utrymma aulan.

Tabell 8 Tid för utrymning, RSET.

	Tid övre våning [s]	Tid undre våning [s]
Total TID (RSET)	152	313

6.4 Känslighetsanalys – FDS

I simuleringarna finns det flera faktorer som kan påverka resultatet i simuleringarna. Variationen kan bero på de beräkningar som förekommer i simuleringarnas program samt från de värden och antaganden som har valts som indata. Nedan analyseras ett par av de antaganden som gjordes. Analysen sker genom att en parameter ändras i förhållande till ovan simulering och därefter jämförs den totala utrymningstiden.

I simuleringarna är cellstorleken en faktor som påverkar. Cellerna beräknar ett medelvärde på de värden som förekommer inne i cellen. För att se hur en större cellstorlek påverkar simuleras scenariot med en cellstorlek på 0,3 m. Simuleringen delas in i tre mesher för att kunna anpassa geometrin till aulan. Under branden kan cellstorleken variera mellan 0,08 och 0,3 m för den brand som förekommer i FDS simuleringen under den tid utrymning pågår. Detta gör att det är intressant att analysera vilken påverkan cellstorleken har då båda kan användas enligt bräkning. Variationen beror på att förhållandet mellan den karakteristiska diametern på branden och storleken på cellen i x led varierar mellan 4 och 16. Beräkning av cellstorlek presenteras i Bilaga B - FDS. De kritiska värdena presenteras i Tabell 9.

Tabell 9 Tid till kritiska värden 0,3 m och 0,1 m celler (övre våning/ undre våning)

Parameter	Kritisk tid 0,3 m celler	Kritisk tid 0,1 m celler
Temperatur	*	*
Sikt	176 s / 268 s	115 s / 209 s
Toxicitet FED	*	*
Värmestrålning	*	*
Brandgaslager	108 s	100 s

En slutsats som kan dras vid simulering med 0,3 m stora celler är att de kritiska värdena uppnås senare än vid mindre celler. ASET för aula blir 108 s vilket är en ökning på tid på 8 s. Personer kommer att få mer tid och fler kommer att haunnat utrymma innan kritiska värden.

Det som påverkas mest av att ändra cellstorlek är sikt för övre del av aula. Detta kan vara för att brandgaslagret sjunker snabbt vid den höjden och det ger ett högre värde med större celler.

De andra värdena kommer inte uppnå kritiska nivåer för större cellstorlek. Skillnaden beror på att cellstorleken tar ett medelvärde för hela cellen. Med större celler kommer dock den tillgängliga utrymningstiden fortfarande att vara mindre än den tid det tar att utrymma.

6.4.1 Pathfinder - Andel som uppfattar faran

I branden som analyserades av Fahy (2011), var det 42% som trodde att branden var en del av föreställningen. I Tabell 10 visas hur mycket den parametern påverkade den totala utrymningstiden.

Tabell 10 Översikt över skillnaden i utrymningstid, beroende på hur många som uppfattar att branden är en verklig fara.

Andel som inte uppfattar faran	Utrymningstid (överbåning / undervåning) [s]	Skillnad
42%	175/323	+15% / +3%
21% (Bas)	152/313	-/-
0%	147/295	-4% / -6%

Det är tydligt att parametern påverkar utrymningstiden och det finns tid att vinna på att undvika detta scenario, att personer inte uppfattar elden som en fara. Att skillnaden mellan 0 och 21% inte är så stor kan bero på att det skapas trängsel vid utgångarna och att de som reagerar sent hamnar i samma trängselsituation de skulle hamnat i om de skulle utrymt direkt.

6.4.2 Känslighetsanalys Pathfinder – val av dörr

I Tabell 11 nedan redovisas hur utrymningstiden påverkas då fler kan använda sig utav de främre och bakre utgångarna. Andelen och fördelningen som uppfattar faran är som redovisas i Tabell 7 ovan.

Tabell 11 Översikt av skillnaden i utrymningstid beroende på hur många som kan använda sig av främre och bakre utgångar.

Andel som kan bruka de främre utgångarna [%]	Utrymningstid Aula – Medelvärde (övre/undre) [s]	Procentuell Skillnad i Utrymningstid
50%	153/255	0 / - 20%
33%	146/287	-4% / - 9%
22% (bas)	152/313	-
11%	174 / 345	+14% / +10%

Resultatet visar tydligt att utrymningstiden i nedre delen av aulan minskar om en ökad andel är medvetna om och kan använda de främre nödutgångarna. Ett förbättringsförslag är att uppmuntra åskådarna att använda dessa i händelse av utrymning.

Anmärkningsvärt är att för den övre delen fås den lägsta tiden när 33% kan använda de främre utgångarna. En anledning till detta kan vara att fler agenter i simuleringen vill använda dessa utgångar och tar inte hänsyn till att deras utrymningstid ökar. ”Vinsten” i att byta utgång är inte tillräckligt stor för dem.

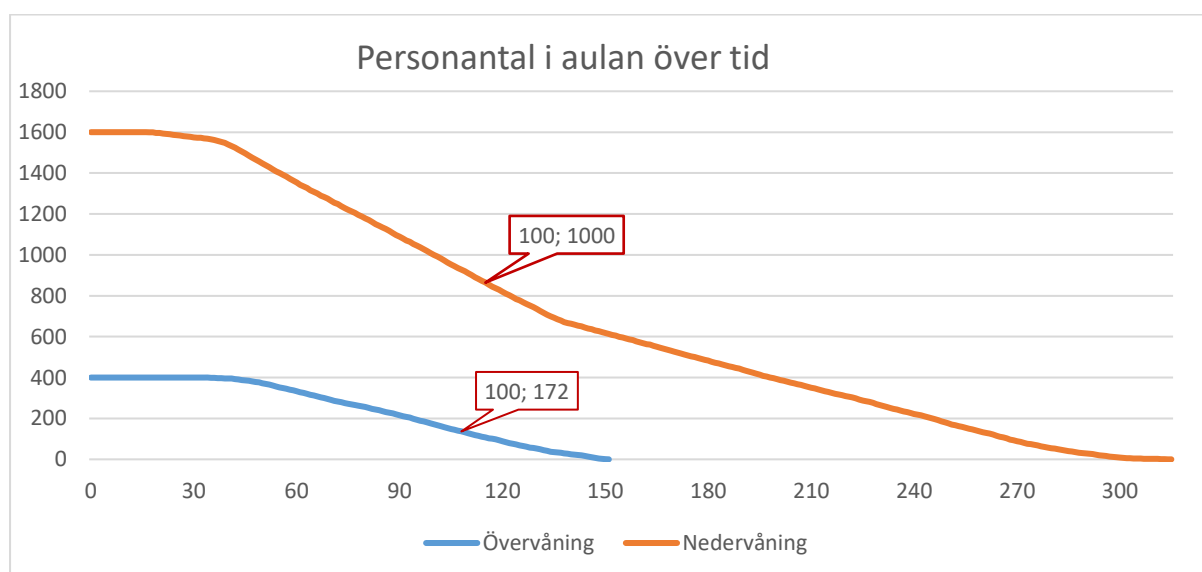
6.5 Bedömning av personsäkerhet

Tiden det tar att utrymma aulan är mindre än tiden till de kritiska värdena vilket syns Tabell 12. Tiden till utrymning är då personer förväntas fördelas över utgångarna enligt de psykologiska faktorerna. Detta gör att människor inte kan utrymma på ett säkert sätt. Då det är sikten som kommer att vara lägre än godkänd nivå kommer människorna att känna obehag när de utrymmer. När sikten är under 13 m kommer personerna att börja tycka att rökens densitet bli för stor och risk för att människor känner sig stressade vid utrymning kan förekomma.

Tabell 12 ASET och RSET

ASET [s]	RSET [s]	Godkänt [s]
100	180/330	NEJ

Både på övre och undre våning i aula kommer det kritiska värdet förekomma cirka 1 min innan personerna har utrymt. I Figur 33 nedan illustreras hur många personer som befinner sig i aulan över tid. Den övre kurvan är personantalet på den undre våningen och den undre kurvan personantalet för den övre våningen. När kritiska värden nås på övre plan befinner sig 172 personer fortfarande kvar. På det undre planet befinner sig 1000 personer fortfarande kvar när kritiska värden nås.



Figur 33. Graf över antalet personer som är kvar i aulan vid kritiska förhållanden (Tid; Antal)

6.6 Förslag på förbättring

För att säkerställa säkerheten i byggnaden redovisas nedan ett antal olika åtgärder vilket kan vara aktuella att implementera. Detta innefattar mer omfattande installationer samt mindre kostnadsamma åtgärder.

6.6.1 Brandgasventilation

I aulan är det höjden på brandgaslager som kommer att påverka. För att få mer tid till utrymning behövs det en åtgärd som reducerar brandgaserna. Detta kan vara att sätta in någon form av brandgasventilation i lokalen. Då densitet också uppkom till kritiska värden så kommer denna lösning att reducera även denna parameter.

Det finns olika sätt att installera brandgasventilation där man antingen kan installera en mekanisk ventilation uppe i taket som suger ut brandgaser ur utrymmet. För att undvika att uppnå kritiska värden i ett stort utrymme är det ej möjligt att trycksätta lokalen. Detta då volymen är för stor.

Det andra alternativet med att installera brandgasventilation i taket som skulle suga ut brandgaserna skulle fungera och vara mindre krävande. Detta, enligt beräkningar, se Bilaga D – Beräkningar av mekanisk ventilation, skulle kräva en fläktkapabel till att suga ut ungefär 70 kg/s. Detta är ett billigare alternativ samt att lokalen har en yta i taket som är byggt i transparent plast vilket inte förstör något av interiören vid installation av systemet. I ytan finns idag nödbelysningen som hade behövts flyttas om brandgasventilation hade använts i det utrymmet. (B. Karlsson, J.G. Quintere, 2000)

För att verifiera detta utfördes ytterligare en simulering i FDS där brandgasfläktar lades till. Dessa sattes till en kapacitet av 60 kg/s då beräkningarna är utförda konservativt med antagandet att branden är stationär. I det verkliga fallet har tillväxthastigheten av branden stor inverkan på när förhållanden blir kritiska vilket ej tas hänsyn till i beräkningarna. Då brandgasventilationen förväntas gå igång när detektion sker, kommer inte branden att ha så stor effektutveckling som antas i beräkningar. Därför testas en lägre kapacitet, 60 kg/s istället för 70 kg/s, på fläktarna då det antas räcka i denna omgivning.

I Figur 34 presenteras en visuell bedömning av höjden av brandgaslagret till kritiska förhållanden uppnås. Detta sker efter mer än 180 sekunder vilket är tillräckligt för att hinna utrymma lokalen. Dock bör fläktarna ha en större kapacitet än 60 kg/s för att ge en viss säkerhetsmarginal för utrymningen.



Figur 34. Brandgaslagrets höjd med brandgasventilation.

6.6.2 Omskyltning av dörrar

Den parametern som påverkade utrymningstiden mest var vilka utgångar som användes vid en utrymning. Här finns flera förbättringspunkter för att sänka förberedelsetiden och den totala förflyttningstiden. Ovanför dörrarna till trapporna bredvid scenen står det reservdörr, en förlegad benämning. Dessa kan tas bort för att minska eventuell förvirring vilket kan leda till att fler människor väljer de utrymningsvägarna och vilket i sin tur minskar utrymningstiden. Skyltarna finns säkert kvar eftersom de har kulturhistoriskt värde, och effekten kan inte garanteras eftersom de redan är utrustade med gröna utrymningsskyltar som lyser upp vid en utrymning. Sannolikt fås en bättre effekt om utrymningsskyltarna förstärks med blinkande grönt ljus som aktiveras när larmet går. Detta ger dubbel effekt. Det blinkande ljuset ger ytterligare stimuli för att påbörja utrymningen vilket minskar förberedelsetiden. Åskådarna får samtidigt information om att det finns fler vägar att utrymma genom och därmed minskar den totala förflyttningstiden. Detta är grundat i forskning kring hur människor uppfattar utrymningsvägar (Nilsson, 2009). Denna lösning är ett kostnadseffektivt alternativ för att minska utrymningstiden, RSET.

6.6.3 Rutiner för utrymning

En annan åtgärd för att minska utrymningstiden är att ha en säkerhetsintroduktion inför varje event. Säkerhetsintroduktionen går igenom var utrymningsvägarna är, presentera brandvakterna och berätta den viktigaste informationen om vad besökarna ska göra vid brand. Då personerna vet vilka som är brandvakter blir det större sannolikhet att de lyssnar till dessa. Dessutom kommer personerna känna till alla nödutgångar och tillhörighetsteorin kan inte tillämpas i samma utsträckning. Om personerna dessutom blivit varnade, eventuellt informerade om att inga öppna lågor är en del av föreställningen, kommer de inte att tro att branden är en del av föreställningen i samma utsträckning och därmed dröja kvar i salen.

7. Scenario 6: Brand i provisorisk garderob

I detta kapitel presenteras data från scenario två som är brand i provisorisk garderob.

7.1 Dimensionerande brand

Det som kommer brinna i garderoben är textilier samt möbler som förväntas användas i lokalen. Det främsta som hängs in i garderober är jackor eller tjockare tröjor. Därför antas kläderna bestå av 50% bomull och 50% polyester, vilka är två vanliga material i dagens kläder. Data som används i simulering presenteras nedan i Tabell 13.

Tabell 13 Material data (Hou, 2011) (Society of Fire Protection Engineers, Human Behavior in Fire Task Group, 2017)

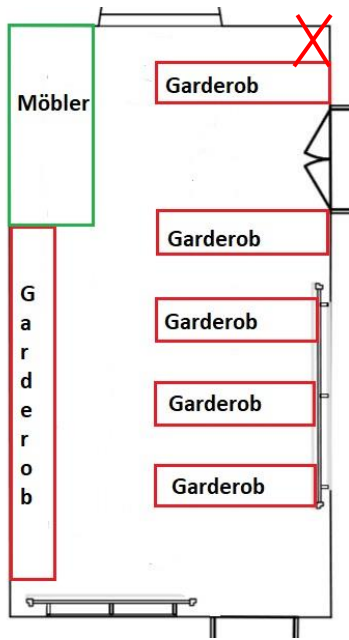
Egenskap	Bomull	Polyester	Vägt värde
Soot yield [kg/kg]	0,00917	0,091	0,0501
Co yield [kg/kg]	0,0201	0,0328	0,0265

Den dimensionerande branden är gjord med utifrån en möjlig placering av provisorisk garderob. Placeringen i *Figur 35* är en möjlig placering av kläder men kan variera från olika arrangemang. Detta då mängden personer som hänger in sina kläder varierar och därför även möbleringen i utrymmet. Det antas att ingen hämtar ut sin jacka under evenemangets gång och därför förväntas ingen personal vara inne i garderoben.

Initialbranden startar vid det röda krysset i *Figur 35* och sprider sig sedan genom lokalen. En potentiell flambildning med trolig spridning beskrivs i. Bilaga A – Beräkning av den dimensionerande branden.

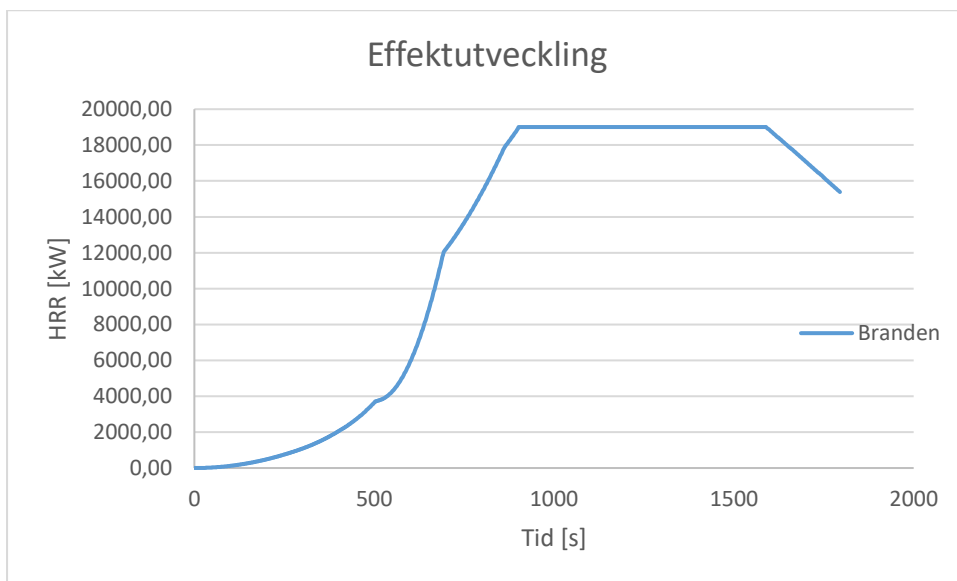
Då hög brandbelastning finns i den provisoriska garderoben kommer det att vara en hög effektutveckling vid fullt utvecklade brand. Fönstret som sitter intill initialbranden förväntas brista när då det kommer vara högt tryck samt hög temperatur i rummet, vilket kommer innebära tillförsel av syre till branden. Brandbelastningen så pass stor att branden förväntas bli ventilationskontrollerad. Det innebär att det är mängden syre som kommer att bestämma effektutvecklingen av branden. Detta ger då en brand som uppnår en maximal effektutveckling på 19,00 MW, se bilaga A för beräkningar.

Då utrymmet är väldigt hög i tak, ca 5,6 meter, kommer brandgaserna att hinna kylas ned rejält innan de når taket. Därför kommer inte strålningen från dessa att ge någon större inverkan för spridning i ett tidigt skede. Däremot kommer det längre fram att ge upphov till högre strålningsintensitet mot bränslet samt ut genom dörren.



Figur 35. Garderobsutrymmet

Effektutvecklingen som är förväntad i brandförloppet kan ses i Figur 36 nedan.



Figur 36. Effektutveckling vid brand i garderob

7.2 Resultat från FDS

Nedan resultatet erhållet från simuleringarna från garderobsbranden som framkom vid simulering i FDS. Branden sker i garderoben men det tas ej hänsyn till att kritiska nivåer nås inuti garderoben, eftersom det antas att personal lämnar lokalen. Då de kritiska värdena förekom i både trapphus och i atriet presenteras resultatet i separerade tabeller samt för att enskilda simuleringar utfördes med personers vistandes i trapphuset respektive inte. Resultatet presenteras i nedanstående tabeller; Tabell 14 respektive Tabell 15. Värdet på brandgaslager är beräknat i Bilaga D – Beräkningar av mekanisk ventilation

Tabell 14 Tid till kritiska värden i trapphuset närmast garderoben.

Parameter	Kritisk nivå	Tid till kritiska värden
Temperatur	115	*
Sikt	3 m	195 s
Toxicitet (FED)	0,3	*
Heat flux	2,5	*
Brandgaslager	2,2 / 3,1 m	*

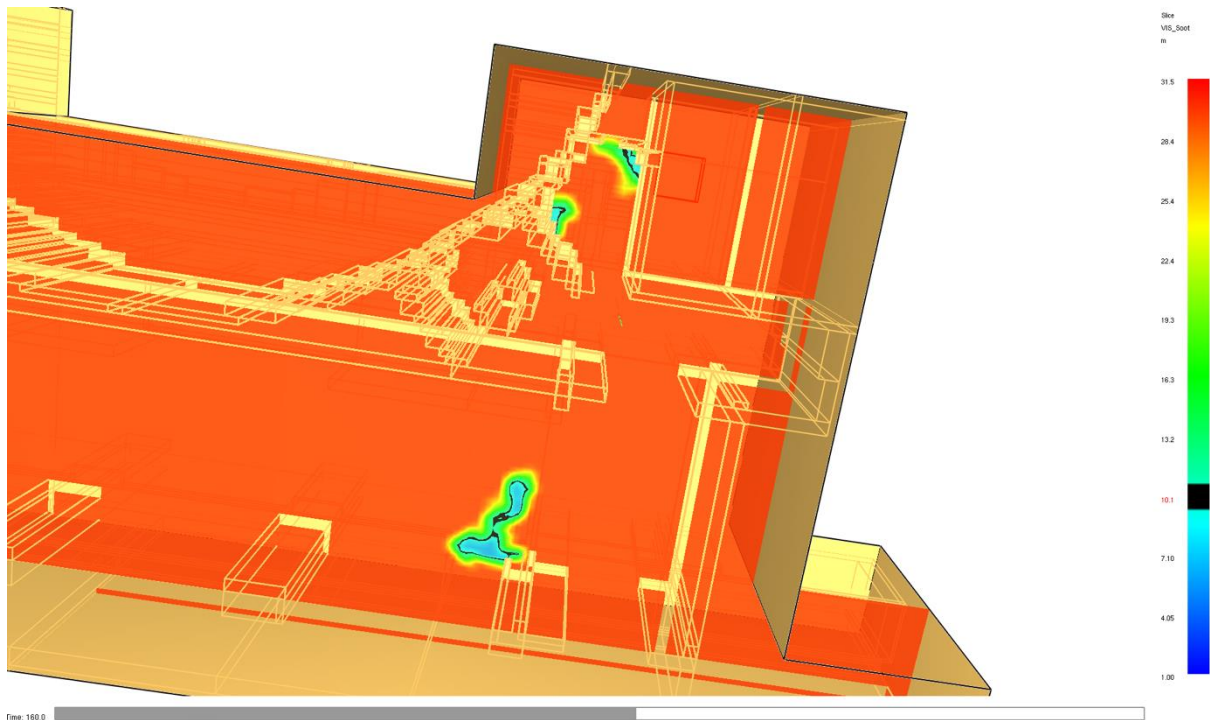
Tabell 15: Tid till kritiska värden atriet.

Parameter	Kritisk nivå	Tid till kritiska värden
Temperatur	115	*
Sikt	3 m	*
Toxicitet (FED)	0,3	*
Heat flux	2,5	*
Brandgaslager	2,2 m	*

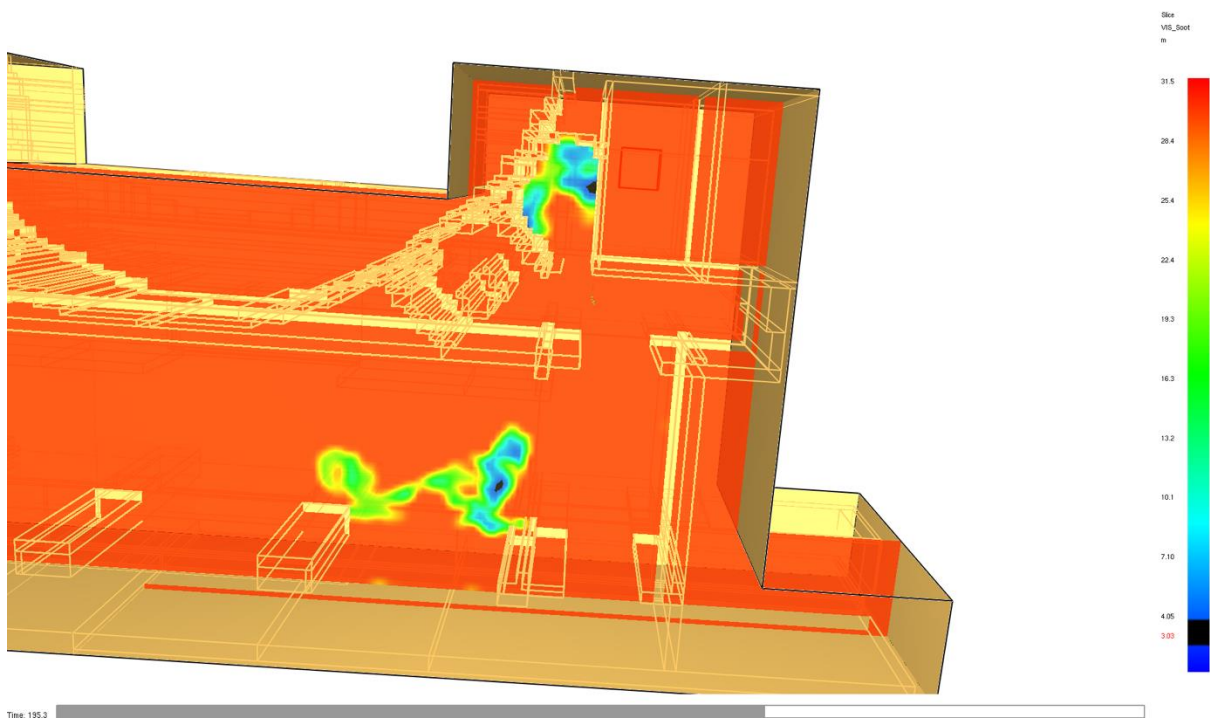
7.2.1 Sikt i trapphuset och atriet

Sikten i det exponerade trapphuset, beräknas för 2 meter över tredje våningen, detta gör att värdena som diskuteras gäller enbart för denna höjd. Detta anses som ett konservativt angreppsätt där kritiska värden skall inte uppnås även på denna höjd för att säkerställa att skyddsmålet uppfylls. Dock bör det kommenteras att personer rör sig nedan i trapphuset och att ganska kort efter personer kommer in i trapphuset kommer de att hamna nedanför planet där beräkningarna sker. Efter ungefärligen 160 sekunder blir sikten på vissa delar av trapphuset understigande 10 meter, se Figur 37. Detta har diskuterats som den nivån då sikten försämras kraftigt nog att utrymning kommer att förlängas och risken för exponering av bland annat värmestrålning samt toxiska gaser ökas. Dock, uppnås aldrig kritiska värden för andra parametrar vilket gör att skyddsmålet anses fortfarande uppfyllt även om

människors vistas i trapphuset efter 160 sekunder. Efter ungefärligen 35 sekunder ytterligare blir sikten först understigande tre meter vid vissa delar av trapphuset, se Figur 38. Därmed ansätts ASET för trapphuset till 195 sekunder.

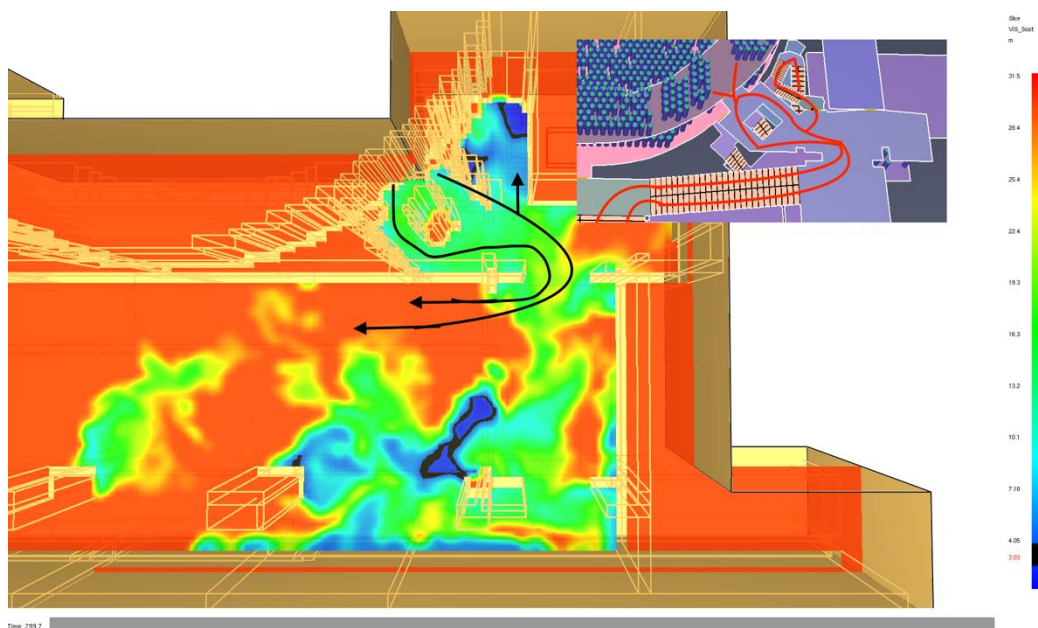


Figur 37: Sikt för 7,6 meters höjd vid 160 sekunder. Innanför det svarta och ljusblå området är sikten motsvarande eller understigande 10 meter.



Figur 38: Sikt vid 7,6 meter efter 195,3 sekunder. Innanför det mörkblå samt svarta området är sikten motsvarande eller understigande 3 meter. Denna tidpunkt har identifierats som ASET för scenario sex.

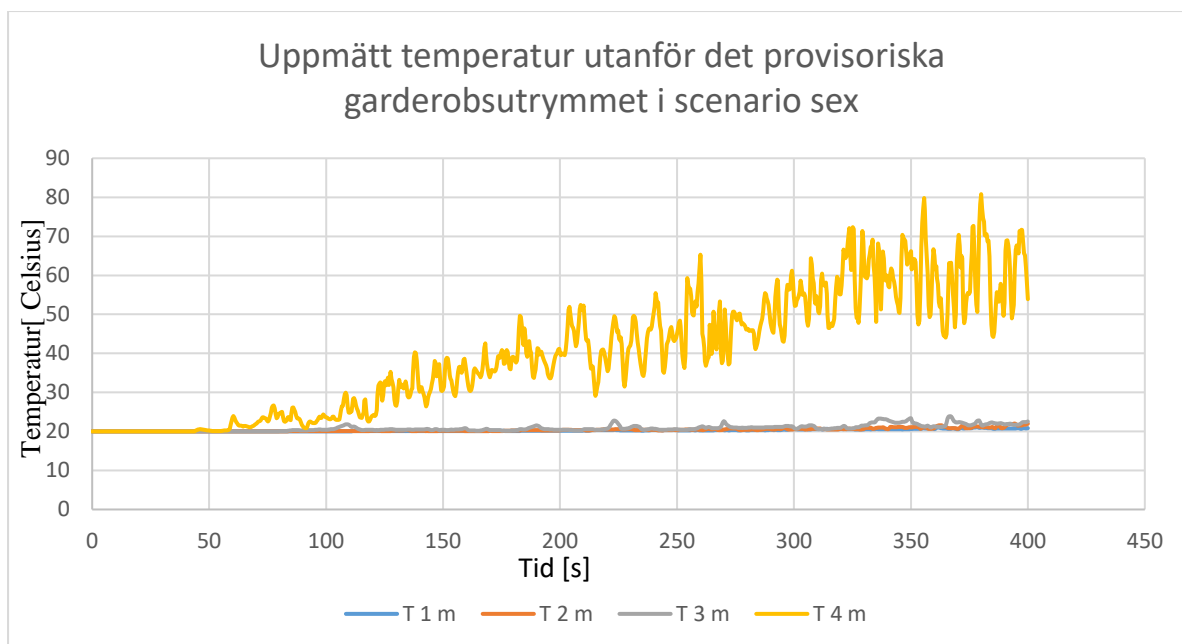
För atriet nås kritiska värden för ASET aldrig där människor kan förväntas passera, alltså inte i anslutning till trapporna mellan våning två och tre eller passagen mellan utrymningsvägen och trapporna, se Figur 39.



Figur 39: Skiss över personers vägval vid en av utrymningsvägarna för tredje våningen. I de svarta och mörkblå områdena är sikten lika med eller mindre än 3 meter. För personer som inte använder trapphuset erhålls ett säkert avstånd mellan dem och kritiska områden.

7.2.2 Temperaturen i trapphuset och atriet

Genom att utvärdera data från simulering, presenterad i nedanstående Figur 40, som framkom från mätarna så kommer temperaturen inte att överstiga 80 °C någonstans i atriet eller trapphuset under brandförloppet. Detta gör att det kritiska värdet på 115 °C inte kommer att nås med god marginal.



Figur 40. Temperatur utanför det provisoriska garderobsutrymmet vid höjden 1-, 2-, 3- respektive 4 meter.

7.2.3 Toxicitet i trapphuset och atriet

FED koncentrationen i atriet utanför trapporna där personer antas utrymma kommer inte att uppnå kritiska värden. Värdet kommer under utrymningstiden att uppnå ett värde på $2 \cdot 10^{-4}$ närmast tak men inte överstiga $5 \cdot 10^{-5}$ där utrymning sker. Det kritiska värdet ligger på 0,3 och därmed anses en stor marginal existera.

Rökdetektorn i garderoben börjar detektera brandröken efter 9,6 sekunder och det antas att brandlarmet aktiverar direkt när detta sker.

7.2.4 Höjden till brandgaslagret i atriet

Utanför garderoben kan brandgaslagret vara 2,2 meter och skyddsmålet är fortfarande uppfyllt. Enligt analys i Smokeview nås aldrig denna höjd. Detta anses bero på att atriet är stort samt att det finns en installerad brandgasventilation lösning vilket gör att brandgaslagrets tjocklek inte kommer att bli kritiskt.

7.3 Utrymningssimulering

I scenario sex antas det att branden initieras i det tillfälliga garderobsutrymmet och fylls till dess maximala kapacitet. Före resultatet presenteras, redovisas antaganden samt begränsningar specifikt för scenariot. Val av agenternas beteende och profil redovisas noggrant i Bilaga C – Pathfinder.

7.3.1 Förberedelsetiden

Detta har bestämts med hjälp av data från en studie i Marlowe Theatre, England, där en utrymning påbörjades under slutet av en föreställning med hjälp av ett talat meddelande. I Universitetshusets aula finns liknande förutsättningar som i teatern - utrymningen initieras av ett talat meddelande och eftersom

personerna inte ser branden och har investerat tid och pengar i en föreställning kan det likställas med studien. Utrymningslarmet innefattade att ljuset i utrymmet tändes och att ett talat meddelande med instruktioner för utrymning spelades upp under loppet av trettio sekunder samtidigt som en avskiljande stålriddå sänktes ner över scenen (Hopkin, 2015). En avskiljande stålriddå används inte i Universitetshuset och utformningen av aulan skiljer sig från teatern. Förberedelsetiden beror främst på människors beteende vid brand och då brandvarningssystemen liknar varandra anses fallet ändå tillämpligt för det aktuella scenariot med medvetande om dess restriktioner.

Det var 1200 personer sittandes i salen och med hjälp av ett stort antal kameror kunde responstiden för 321 personer bestämmas. En viktig observation var att responstider för män och kvinnor skiljde sig i detta fall, vilket förklaras bero på antalet aktiviteter utförda under förberedelsen om du är kvinna eller man. Kvinnor initierade generellt fler aktiviteter, till exempel att ta på sig en mössa eller jacka, än män, dock var mäns totala responstid i snitt ändå längre (Hopkin, 2015). För scenario två ligger de flesta ytterkläder i garderoben och därmed vore det sannolikt att förberedelsetiden egentligen är kortare, därmed antas värdena utgöra en konservativ representation för scenariot.

Publiken i det studerade fallet innefattade en betydligt större andel kvinnor än män, vilket inte är något vilket kan antas för de dimensionerande scenarierna i Universitetshuset. Därmed används data specifikt för män och kvinnor, se Tabell 16, samtidigt som könsfördelningen i Universitetshusets publik antas vara jämnt fördelat. Förberedelsetiden för varje agent ges sedan av ett randomiserat värde från de könsspecifika fördelningskurvorna. Vilken påverkan i variation av könsfördelningen kan ha på den totala utrymningstiden undersöks vidare i känslighetsanalysen.

Tabell 16 Förberedelsetid för besökare på en teater (Hopkin, 2015)

Förberedelsetid [s]		
	Kvinna	Man
Max	122,0	133,1
Förväntat	55,3	57,8
min	4,1	4,1
Standardavvikelse	23,3	27,0

7.3.2 Val av utrymningsvägar

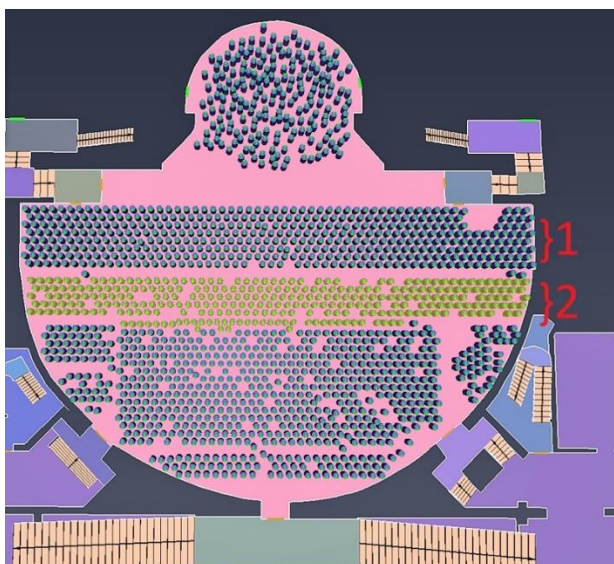
Förinställt rör sig agenten mot den beräknade bästa utrymningsvägen och vid simulering tar agenten automatiskt ingen hänsyn till vilken dörr som nyttjades för att ta sig in i lokalen. Detta beteende blir därmed en bristande representation av verkligheten, då personer i verkligheten har benägenhet att röra sig mot ingången vid utrymning, se avsnittet

2.2.2 Människors beteende vid brand. Denna påverkan i verkliga situationer förstärks även av social påverkan, där personer blir influerade av varandra att röra sig mot samma utgång. Vidare, existerar det även gruppstillhörighet i populationer vilket gör att personer väljer att hålla ihop i grupper och röra sig gemensamt mot en dörr.

Förinställt för agenten är alla dörrar tillgängliga att nyttjas för utrymning och genom att ändra så att vissa agenter enbart rör sig mot ett specifikt urval av dörrar kan användaren justera agenternas beteende till ett mer verklighetstroget sådant. I detta scenario antas 35% av agenterna, på entréplan, nyttja trapphusets utgångar, markerade med gula cirklar i Figur 31. Resterande nyttjar huvudingångarna, markerade med gröna cirklar i Figur 31. Undantaget blir de aktiva i föreställningen, det vill säga de placerade på scenen, se Figur 30 till scenen. Totalt rör sig 490 personer mot trapphusen från entrévåningen. a till scenen. Totalt rör sig 490 personer mot trapphusen från entrévåningen.

På terrassen fördelar det sig istället så att 25% rör sig mot trapphusen, medan resterande nyttjar gångarna till foajén markerade med gröna cirklar i Figur 31. Den lägre andelen beror på terrassens utformning där det antas att positionering på en högre våning förstärker effekten då det föreligger en större ovisshet kring de okända dörrars passage till säkerhet. Om dörren inte är känd nyttjas den främst om den tydligt signalerar att den leder till en säker passage ut (Frantzich, 2001). Besökare är medvetna att de okända dörrarna inte leder direkt ut till säkerhet, då de befinner sig över entréplan. Totalt rör sig 100 stycken mot trapphusen från terrassen och därmed blir det slutgiltiga antalet som rör sig genom trapphusen 590 personer, det vill säga 33% av besökarna under föreställningen.

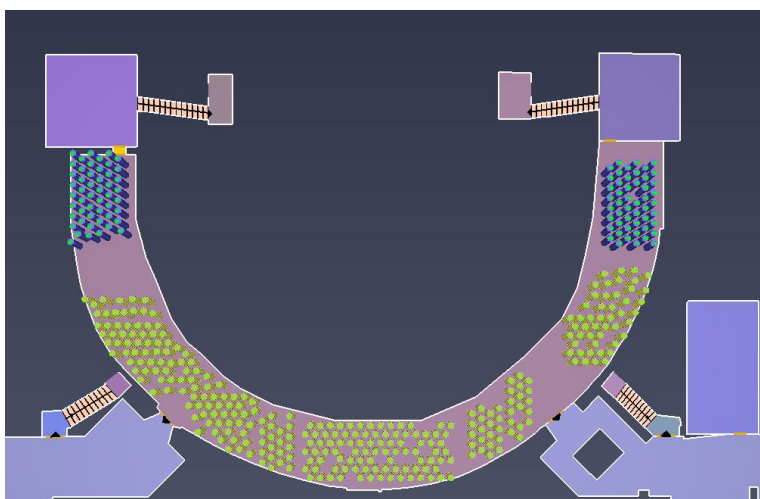
För att ta hänsyn till besökarnas positionering gentemot utgångarna valdes det att 75% av de åskådarna närmst scenen, markerat med 1 i Figur 41 använder sig av trapphusets utgångar. Av de åskådarna som är markerat med en tvåa använder sig 50% av gruppen utgångarna bredvid scenen. Övriga åskådare som inte är aktiva i föreställningen antas använda sig av de utgångarna vilket leder direkt till förhallen. Detta grundas i antagandet att de utgångarna direkt anslutna till förhallen används som entré till föreställningen. De tvåhundra personer vilket antas vara vistande på scenen antas utrymma enbart genom utgångarna i direkt anslutning till scenen.



Figur 41. Översikt över åskådare i på nedervåningen i aulan för brandscenario

7.3.3 Nyttjande av de inre trapphusen

För att ta hänsyn till att personer kan nyttja trapphusen har det utförts simuleringar för fallet då trapphusen även används av 10% av de markerade agenterna i Figur 42. Detta motsvarar att trettio personer nyttjar trapphuset. En så liten andel anses nyttja trapphusen på grund av att de stora trapporna i atriet förmodligen användes för att komma upp till tredje våning. Detta har konstaterats i forskning ha en betydande effekt i val av utrymningsvägar med teorin om tillhörighet. Vidare leder vägen nedför trappan via det öppna atriet där det är tydligt att detta leder mot målet, vilket också har en inverkan enligt Frantzich rapport från studier utförd i IKEA (Frantzich, 2001).



Figur 42 Bild över agents placering på terrassen. En andel av de gult markerade agenterna rör sig mot det högra trapphuset i bilden vid utrymning.

7.3.4 Resultat

Resultatet vilket presenteras i Tabell 17 bildas från ett erhållit medelvärde för 10 stycken simuleringar.

Tabell 17. Resultat av simuleringar i Pathfinder för scenario sex.

	Fall 1: Trapphuset används ej – Tiden tills sista agenten lämnar byggnaden	Fall 2: Trapphuset används - Tiden då sista agenten lämnar trapphuset
ASET	>300	195
Varseblivningstid	10	10
Förberedelsestid + Förflyttningstid	284	158
Total Utrymningstid	294	168
Standardavvikelse	4,4	7,9
Godkänt?	Ja	Ja

Standardavvikelsen för dessa simuleringar presenteras även för att påvisa variationen i resultatet. Varseblivningstiden motsvarar den tiden det tar tills detektorn aktiveras i garderobsutrymme. Detta anses vara ett optimistiskt antagande men då förberedelsestiden är överskattad, se 7.3.1 Förberedelsestiden, anses antagandet fortfarande rimligt att utföra.

Den totala utrymningstiden har definierats som summan av varseblivnings-, förberedelse- och förflyttningstiden enligt ekvation 2 i avsnittet 2.2.1 Utrymningsmodellen .

7.4 Känslighetsanalys - FDS

I simuleringarna är cellstorleken en faktor som påverkar. Cellerna beräknar ett medelvärde på de värden som förekommer inne i cellen. För att se hur en större cellstorlek påverkar simuleras scenariot om med en cellstorlek på 0,3 m. För att anpassa geometrin till garderoben och atriet har simuleringen delats in i tre olika meshar. Anledning till att 0,3 m celler testas är för att cellstorleken får variera mellan 0,1 och 0,3 under tiden då utrymning pågår enligt beräkning i Bilaga B - FDS.

Tabell 18. Tid till kritiska värden 0,3 m och 0,1 m celler

Parameter	Kritisk tid – 0,3 m celler	Kritisk tid – 0,1 m celler
Temperatur	*	*
Sikt	207	195
Toxicitet	*	*
Heat flux	*	*
Brandgaslager	*	*

Liknande scenario 1 så kommer en större cellstorlek att innebära längre tid till kritiska värden. Simulering med 0,3 m celler blir tiden till kritiska värden tolv sekunder senare.

7.5 Känslighetsanalys - Pathfinder

För att hantera osäkerheterna i resultaten utförs en känslighetsanalys. En stor del av osäkerheterna kan beskrivas som variabelosäkerhet, vilket innebär att värden på vissa ingående variabler är varierande och inte definitiva. Därmed undersöks den påverkan en rimlig variation på dessa värden har på det slutgiltiga resultatet, det vill säga utrymningstiden. De ingående variabler vilket har valts att undersöka är; axelbredd för agenterna, snitt-gånghastigheten i populationen, könsfördelningen i populationen samt val ut av dörr för agenterna.

Metodiken innefattade att en procentuell minskning respektive ökning av den undersökta variabeln applicerades i Pathfinder och för varje variation utfördes fem stycken simuleringar. Flertalet simuleringar utfördes för att ta hänsyn till variationen i resultatet på grund av de slumpmässiga värden tagna från de tillsatta fördelningarna. Därefter beräknades medelvärdet för summan av den totala förberedelsetiden och förflyttningstiden. Standardavvikelsen beräknades även för dessa fem simuleringar för att påvisa variationen i resultatet. Vidare beräknades i vissa fall den procentuella förändringen i utrymningstiden för varje variation av den aktuella parametern. Tillvägagångssättet för beräkningarna redovisas i Bilaga C – Pathfinder.

7.5.1 Axelbredd

Variation på axelbredden valdes att undersökas vidare då en känslighetsanalys utförd av SFPE, för en Pathfinder simulering av en arena, påvisade att axelbredden hade en signifikant påverkan på utrymningstiden (Olaf Pérez Salgueiro, 2016). Resultatet presenteras i Tabell 19.

Tabell 19. Axelbreddens påverkan på utrymningstiden i Pathfinder

	Axelbredd [cm]	Utrymningstid – Medelvärde [s]	Procentuell Skillnad i Utrymningstid [%]
-10%	41,022	274	-3,5 %
Grundvärde	45,58	284	-
10%	50,138	309	8,8 %

Det finns risk för att en mer bredaxlad population kan orsaka längre utrymningstider och därmed bör detta tas i beaktning vid övervägning av vilken marginal är nödvändig för att säkerställa personsäkerheten i byggnaden. Detta blir även med tiden mer aktuellt då den generella trenden i världen är att överviktiga utgör en större del av populationen än tidigare. Enligt World Health Organization har överdriven fetma i världen blivit nästintill tre gånger mer frekvent sedan 1975 (World Health Organization, 2017).

7.5.2 Gånghastighet

Gånghastigheten identifierades också i SFPE's rapport till en faktor med signifikant påverkan på utrymningstiden (Olaf Pérez Salgueiro, 2016) . Därmed undersöks den potentiella påverkan en procentuell förändring, av medelvärdet för fördelningen, kan ha på den slutgiltiga tiden. Samma metodik vilket tillämpades för analys av axelbredden används även här och resultatet redovisas i Tabell 20.

Tabell 20. Gånghastighetens påverkan på utrymningstiden i Pathfinder

	Gånghastighet – Medelvärde [m/s]	Utrymningstid – Medelvärde [s]	Procentuell Skillnad i Utrymningstid [%]
Medel -15%	1,1475	308	8,5
Medel -10%	1,215	299	5,1
Grundvärde	1,35	284	-
Medel +10%	1,485	267	-6,1
Medel +15%	1,5525	263	-7,3

Grundvärdet för gånghastigheten är representativ för en genomsnittlig population, dock är det troligt att evenemang kommer att anordnas vilket inte motsvarar detta utan det sker en icke-försumbar förskjutning i fördelningen. Det fallet vilket anses aktuellt vore att ett evenemang anordnas där majoriteten av gästerna är äldre och där det förekommer fler individer än vanligt med begränsad mobilitet. Detta baseras på antagandet att det anses troligt att vissa föreställningar attraherar främst en äldre publik. Denna situation skulle medföra att snitt-gånghastigheten sänks och snitt-gånghastigheten i trappor skulle också markant ändras. I en studie utförd på en 13-vånings byggnad avsedd för äldre användare blev gånghastigheten i trappor för utrymmande utan assistans $0,40 \pm 0,17 \frac{m}{s}$ (Erica Kuligowski, 2015). Där $0,17 \frac{m}{s}$ motsvarar en standardavvikelse. Därmed anses det rimligt att då besökare består av en betydligt äldre population existerar risken att utrymning förlängs inom det spektrum av värden redovisade i Tabell 17. Ytterligare kan det kommenteras att Pathfinder tar hänsyn till trappors reducerande effekt på gånghastigheten och denna effekt i programmet är direkt beroende av trappans lutning samt agentens maximala hastighet (Thunderhead Engineering, 2014).

7.5.3 Könsfördelning – Distribution av förberedelsetiden i populationen

I scenariot antas det att det är en jämfördelning av män och kvinnor bland besökarna. Könsfaktorn har konstaterats, utifrån analysen av branden i 'Marlowe Theatre', har en påverkan på förberedelsetiden (Hopkin, 2015). Se Tabell 16. Därmed undersöks andra distributioner, vilket anses möjligt förekomma då vissa evenemangs målbesökare kan vara övervägande riktat åt ett kön. De 200 personer vistades på scenen hade samma fördelning under alla försök medan övriga, 1800 besökare, ändrades. Resultatet av analysen redovisas i Tabell 21.

Tabell 21. Könsfördelningens påverkan på utrymningstiden.

Man/Kvinna [%]	Utrymningstid – Medelvärde [s]	Standardavvikelse [s]	Procentuell Skillnad i Utrymningstid [%]
30/70	270	2,1	-5,0
40/60	271	1,5	-4,4
50/50	284	4,4	-
60/40	272	1,6	-4,0
70/30	270	2,8	-5,1

Utifrån resultatet kan det observeras att utrymningstiden var högst för den ursprungliga fördelningen och även större variationer av könsfördelningen i detta fall hade en minimal påverkan. Detta medför att den valda fördelningen, bland de undersökta alternativen, anses vara det mesta lämpliga då andra fördelningar hade haft en missvisande optimistisk effekt på resultatet.

7.5.4 Val ut av dörr – Entréplan

Vid uppställning av simuleringen antogs det att 35% av besökare från nedre plan utrymde via trapphusens utrymningsvägar. Denna fördelning grundades i teorin om tillhörighet och för att ta hänsyn till positionen av agenten för val ut av dörr utfördes en uppställning vilket har redovisats i avsnittet Agenters placering & aulans utformning.

Värdet vilket valdes att tillämpas var bestämt genom en subjektiv bedömning för vad ansågs vara troligt i detta scenario. Därmed ansågs det högst aktuellt att undersöka vidare vilken påverkan ett annat värde skulle ha på den slutgiltiga utrymningstiden. Det valdes att enbart ändra fördelningen på entréplan för besökarna närmast trapphusen. De närmare huvudutgångarna, se gröna markeringar i Figur 30, antogs fortsatt röra sig *enbart* mot huvudutgången. Vidare, bestämdes det att inte ändra på fördelningen för besökare på tredje våning. Detta eftersom att det har blivit tydligt att dessa besökare har hunnit utrymma betydligt tidigare än besökare vid entréplan och känslighetsanalysen fokuserar på parameterns påverkan på den slutgiltiga totala evakueringstiden. Resultatet från analysen presenteras i Tabell 22. Agenternas fördelning för val av utrymningsväg medförda påverkan på utrymningstid.

Tabell 22. Agenternas fördelning för val av utrymningsväg medförda påverkan på utrymningstid.

Andel, från entréplan, som brukar de yttre trapphusens utgångar [%]	Utrymningstid – Medelvärde [s]	Standardavvikelse [s]	Procentuell Skillnad i Utrymningstid [%]
55	310	6,8	9,3
45	279	4,7	-1,7
35	284	4,4	-
25	311	3,2	9,4
15	344	6,3	21,2

Det kan observeras att en större förskjutning av agenternas val ut av dörr skulle orsaka väsentligt längre utrymningstider. Det finns dock en mycket viktig faktor att ta hänsyn till vid granskning av dessa siffror. Då människor i verkligheten anpassar sig efter rådande omständigheter förväntas det att vissa personer börjar röra sig mot trapphusen istället för att stå kvar i kön vid resterande utgångar. Detta anses troligt då personer antas söka efter andra alternativ då de har stått stillastående under en längre tid. Samt att social påverkan medför att om en person börjar röra sig mot en utgång tar andra efter. Detta sker inte i simuleringen och därmed underskattas antalet personer vilket totalt, under hela förloppet, utrymmer via trapphusen för en del av fallen. Genom att observera utrymningsförloppet uppmärksammades det att kön för utrymningsgångarna skilde sig inte lika kraftigt för fallet med 35% och 45% i jämförelse med resterande. Vilket även förklarar dess liknande tider samt den motsägelsefulla *ökade* utrymningstiden vilket uppstod för fallet med 55%.

Fördelningen för nyttjandet av utrymningsvägarna har ändå påvisats vara av stor betydelse för utrymningstiden och icke-optimala fördelningar kan orsaka en markant längre utrymningstid. Därmed bör det undersökas potentiella åtgärder vilket kan öka sannolikheten för mer optimala fördelningar av utrymningsvägarnas användning. Detta diskuteras i avsnittet 7.7 Förslag på förbättring .

7.5.5 Andel som nyttjar trapphuset intill den provisoriska garderoben

Det rökpåverkade trapphuset antogs användas av 10% av de markerade agenterna i Figur 42. För att undersöka den potentiella påverkan denna parameters variation har på RSET ändras andelen till 20- respektive 5% i två enskilda fall. Detta motsvarar att totalt 60 eller 15 personer använder de inre trapphusen. Vid 10% påvisas det att det inte existerar en överhängande risk för att personer kommer att vistas i trapphusen när kritiska nivåer där har uppnåtts. Därmed undersöktes det om en ökning av antalet utrymmade skulle ha en väsentlig påverkan på tiden tills agenterna lämnar trapphuset. Det undersöktes även vilken påverkan en minskning har för att se vad den ökade marginalen skulle bli.

Andel av markerade agenter som rör sig mot de inre trapphusen [%]	Tiden då sista agenten lämnar trapphuset [s]	Standardavvikelse [s]
5	144	8,5
20	159	8,7

Tabell 23 Tiden personer förväntas vara i det högra trapphuset för två olika fördelningar. Standardavvikelse för båda fallen redovisas även.

7.6 Bedömning av personsäkerhet

För att personer ska kunna utrymma på ett säkert sätt behöver RSET underskrida ASET. Detta betyder att tiden det tar för kritiska värden att uppnås i det aktuella utrymmet ska vara längre än tiden det tar att utrymma. RSET i förhållande till ASET har redovisats i avsnitt 7.3.4 Resultat och det har konstaterats för det dimensionerande scenariot att RSET underskrider ASET. Därmed är skyddsmålet uppfyllt. Dock för att konstatera att detta även gäller vid en viss rimlig variation utfördes en känslighetsanalys för trapphuset i avsnitt 7.5.5 Andel som nyttjar trapphuset intill den provisoriska garderoben. Dess resultat redovisas, i förhållande till ASET, för att konstatera om skyddsmålet uppfylls inom rimlig variation av en viktig parameter, se Tabell 24 ASET och RSET vid variation i antalet som nyttjar trapphuset närmast brandutrymmet. Eftersom ASET enbart ökade för känslighetsanalysen utförd i FDS används enbart det värde framställt från den originella simuleringen.

Tabell 24 ASET och RSET vid variation i antalet som nyttjar trapphuset närmast brandutrymmet.

	RSET	ASET	Godkänt [Ja/Nej]
Störst nyttjande av trapphuset	169 [10 sekunder har tillagts för varseblivningstiden]	195	Ja

Känslighetsanalyserna har påvisat att en del av de utvalda parametrarna kan ha betydelsefull påverkan på det slutgiltiga resultatet. En del rimlig variation bidrar till att utrymningstiden kan öka procentuellt upp till ungefärligen 10% i jämförelse med originalsimuleringen. Ökningen på utrymningstid varierar beroende på faktor. Då simuleringen enbart pågick under trehundra sekunder kan det inte påvisas med hjälp av FDS att kritiska nivåer ej kommer att ske medan utrymningen fortfarande sker, om t.ex. populationen innefattar personer med större axelbredd än snitt samt lägre gånghastighet. Dock, har det konstaterats att under trehundra sekunder når aldrig temperaturen och toxiciteten i närheten av de kritiska värdena, se avsnitt 7.2 Resultat från FDS. Sikten blir kritisk efter en viss tid men även detta innefattar god marginal i RSET förhållande till ASET, se Tabell 24. Därmed anses det inte troligt att inom den tiden människor kan förväntas utrymma ur lokalen, även om det överskrider 300 sekunder marginellt, att skadekriterier uppfylls. Därmed ställs det inga krav på att åtgärder måste införas för att uppfylla skydds målet. Dock, för att ta hänsyn till osäkerheten och för att en del parametrar har identifierats ha en större påverkan anses det rimligt att föreslå en del förbättringar till byggnaden. Dessa kan införas för att kontrollera variationen av dessa parametrar och säkerställa, med större säkerhet, att skydds målet upprätthålls.

7.7 Förslag på förbättring

För att minimera chansen till att det sker en icke-optimal fördelning av människor kring utrymningsvägarna rekommenderas det att förbättra utmärkningen av utrymningsvägar. Detta har diskuterats även för scenario ett 6.6 Förslag på förbättring . Där redogörs hur blinkande ljus som placeras vid utrymningsskylten kan minska förberedsetiden och den totala utrymningstiden (Nilsson, 2009). Det är främst vid utrymningsskyltarna tillhörande utrymningsvägarna till de bakre trapphusen, se de gula markeringarna i Figur 30. Detta för att enligt teorin om tillhörighet kommer en större del av publiken röra sig mot de resterande utgångarna, grönt markerade i Figur 30, och för att motverka att trapphusen inte nyttjas optimalt kan denna kostnadseffektiva åtgärd tillämpas. En introduktion inför varje evenemang kommer också att bidra till att människor har mer information att använda sig av vid utrymning och därmed bör förhoppningsvis deras besluts- samt reaktionstid förbättras.

8. Diskussion

I nedanstående avsnitt sker det en diskussion kring de dimensionerande scenarierna. Detta innefattar problem vilket uppstod samt diskussion kring dess resultat. Slutligen diskuteras även den övergripande osäkerheten i resultatet för samtliga scenarier.

8.1 Scenario 1: Brand på scen

I simuleringarna framkom det att aulan inte är dimensionerad för en brand på scen av den undersökta magnituden. En brand som analyserades i denna rapport är baserad på en teater vilket anses tillämpligt för de evenemang vilket sker i universitetshuset. Utrymning för personer vistades i aulan, då en brand sker som i scenario ett, förväntas inte kunna fullbordas innan de kritiska värdena för sikt och höjden till brandgaslagret uppnås.

De värden som framkom vid simulering för scenario ett är endast fram till 270 sekunder under brandförloppet. Detta beror på att simuleringarna fick numeriska fel vid denna tidpunkt och därför fortsatte inte beräkningarna. Detta fel antas inte påverka resultatet då kritiskt värde redan uppstått samt att de andra värdena hade långt kvar till kritiska nivåer. Utrymningen pågick i 346 sekunder vilket gör att de andra faktorerna hade 76 sekunder på sig att kunna utveckla kritiska nivåer. Dock, existerade det en så pass kraftig marginal för temperaturen att det inte förväntas möjligt att kritiska värden uppnås under resterande tid. Detta anses bero på att aulan har en stor volym och detta kräver att väldigt mycket energi behövs tillföras. Vidare är det även så att utrymningstiden gäller undre våning och värmen stiger uppåt. Gällande toxiciteten var även den marginalen så pass god att kritiska nivåer bör mot alla förmodan uppnås under dessa ytterligare 76 sekunder.

Bedömning av kritiska värden har varit konservativt. De kritiska tiderna har antagits vara så snart kritiska förhållanden uppstår när personer förväntas kunna befinna sig i utrymmet. För brand på scen i aula finns det en stor osäkerhet. För att mäta upp 11,9 m användes en slice file på 8,8 m. Anledning till att denna användes var för att det senare framkom att ingen referens på den höjden fanns. Genom att kolla på Smokeview kommer tiden för denna parameter att variera på cirka 5 sekunder vilket gör att värdet på 100 s antas kunna användas.

Om brandgasventilation ska installeras i aulan bör denna installeras direkt ovanför scenen. Här finns idag ett glastak, som är belyst uppifrån. Detta utgör även en del utav den belysningen som tänds vid en utrymningssituation. Detta är för att inte påverka utseendet i aulan genom att sätta in en stor ventilationskanal. Tanken är att belysningen är lättare att flytta och att det kommer att påverka aulan mindre att sätta upp nödbelysning runt om i aula än att sätta in ventilationskanal på ett nytt ställe.

8.2 Scenario 6: Brand i provisorisk garderob

Vid beräkning av brandeffekten i garderoben framkom det att branden skulle bli ventilationskontrollerad. Då programmet FDS inte är validerat för en ventilationskontrollerad brand antogs branden endast utvecklas fram till den effekt där branden slutar vara bränslekontrollerad. Detta sker efter ca 14 minuter, se Bilaga A – Beräkning av den dimensionerande branden, vilket är betydligt senare efter utrymning anses ha avklarats.

8.3 Osäkerhet i rapporten

Det finns en del osäkerheter som förekommer i simuleringarna som påverkar resultaten. Detta gäller de antaganden som gjorts men även de variationer vilket är rimliga för viktiga parametrar i simuleringssprogrammen. Några av variationerna går att se i känslighetsanalyserna som gjorts. Eftersom osäkerheterna har tagits hänsyn till och dess påverkan har undersökts anses simuleringarna kunna användas för att uppskatta brandutvecklingen på ett trovärdigt sätt ändå. Även uppskattningen av höjden på brandgaslagret som gjordes visuellt är en osäkerhet och andra uppskattningar av t.ex. kritiska nivåer för sikten utfördes visuellt med programmet Smokeview. För brandgaslagret bör det göras en grundligare bedömning där det används en 'slice file' på den kritiska nivån för att få ett mer precist värde. Gällande sikten krävs det att det utförs en konservativ bedömning då resultatet observeras.

9. Slutsats

För att kunna klara av en stor brand på scen behövs brandgasventilering i aulan för att få bort brandgaserna och öka tiden tillgänglig för säker utrymning. Även enklare och kostnadseffektiva åtgärder kan göras för att förbättra tiden till utrymning, dess påverkan kan dock inte kvantifieras i samma utsträckning. Dessa åtgärder innefattar att sätta in belysning vid utrymningsvägar som vid brand aktiveras samt att man inför en säkerhetsintroduktion om utrymningsvägar och brandvakter vid större föreställningar. Dessa åtgärder förväntas göra att mindre köbildning erhålls, vilket bidrar till väsentligt bättre utrymningstider, och att människors besluts- samt reaktionstid även kortas ner.

En brand i den provisorisk garderob kommer inte att orsaka att utrymning ej kan utföras på ett acceptabelt sätt. Skyddsmålet upprätthålls med marginal för olyckliga förhållanden. Dock, kan kostnadseffektiva åtgärder tillämpas för att skapa en mer robust säkerhetsmarginal. Dessa åtgärdsförslag rekommenderas att införas oavsett för att upprätthålla skyddsmålet för en omfattande brand på scenen.

Referenser

- B. Karlsson, J.G. Quintere. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. 2000 N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida 33431.
- Boverket. (2006). *Utrymningsdimensionering*. NRS tryckeri, Huskvarna, Upplaga 1: Boverket.
- Bryan, J. (2008). Behavioural Response to Fire and Smoke. i N. F. Association, *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 4th edition*. One Batterymarch Park, Quincy, Massachusetts 02269.
- CCPS, A. (2000a). *Guidelines to Chemical Process QRA*. 3 Park Avenue, New York, New York 10016-5991, second edition.
- D.A, P. (2008). Toxicity assessment of combustion products. i N. F. Association, *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 4 edition*. One Batterymarch Park, Quincy, Massachusetts 02269: SFPE.
- E. Ronchi, S. M. (2012). Representation of the Impact of Smoke on Agent Walking Speeds in Evacuation Models. *Fire Technology, Volume 49, Issue 2*, pp 411–431.
- Erica Kuligowski, R. P. (June 2015). Stair evacuation of people with mobility impairments. *Fire and Materials*.
- Frantzich, H. (2001). *Tid för utrymning vid brand*. Räddningsverket, Karlstad Räddningstjänstavdelningen.
- Hartzell G. E, E. H. (1988). The fractional effective dose model for assessment of toxic hazard in fires. i *Journal of Fire Sciences, Vol. 6*. Technomic Publishing Co., Inc.
- Hopkin, C. G. (2015). *A Study of Response Behaviour in a Theater During a Live Performance*. Fire Safety Engineering Group, University of Greenwich, UK .
- Hou, J. (2011). *Distribution curves for interior furnishings on CO₂, CO, HCN, soot and heat of combustion*. University of canterbury.
- Jin Kim Hyeong, D. G. (2000). *Heat release rate of burning items in fire*. Lilley & Associates, Route 1 Box 151, Stillwater, OK 74074 : American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Karl Fridolf, D. N. (2016). *Människors gånghastighet i rök: Förslag till representation vid brandteknisk projektering* . Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

- M. Heinisuo, M. L. (2010). *Fire design europe*. VTT, Bergsmansvägen 5, PB 1000, 02044 VTT : JULKAISIJA.
- McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Vanella, M., Weinschenk, C., & Overholt, K. (2017). *Fire dynamics Simulator User's Guide*. NIST.
- MSB. (den 10 05 2018). Hämtat från MSB: <https://ida.msb.se/ida2#page=a0087>
- NFPA. (2009). *Guide for smoke management systems in malls, atria and large areas*. NFPA, 92B.
- Nilsson, D. (2009). *Exit choice in fire emergencies - Influencing choice of exit with flashing lights*. Lund: Lund University.
- NIST. (2017). *Fire dynamics simulator user guide, Sixth edition*. NIST.
- Nystedt, F. &. (2011). *Kvalitetsmanual för brandtekniska analyser vid svenska kärntekniska anläggningar*. Lund University, Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety.
- Olaf Pérez Salgueiro, J. J. (2016). *Sensitivity analysis for modelling parameters used for advanced evacuation - How important are the modelling parameters when conducting evacuation modelling?* Madrid, Spain: JVVA Fire & Risk.
- Ove Arup & Partners PC. (2009). *Fire safety in theatres - a new design approach*. One Batterymarch Park, Quincy, MA, USA 02169-7471: The fire protection research foundation.
- P.J, D. (2002). *National Fire Protection Association*. pp 2-83-2-171. NFPA.
- Ronchi, E. N. (2016). *Basic Concepts and Modelling Methods*, in: Cuesta, A., Abreu, O., Alvear, D. (Eds.), *Evacuation*. pp 1-23. Springer International Publishing, Cham.
- Society of Fire Protection Engineers, Human Behavior in Fire Task Group. (2017). *Engineering Guide to Human Behavior in Fire, 2nd Edition*. SFPE.
- Tadahisa, J. (1997). *Studies on human behaviour and tenability in fire smoke*. 2-9-1 6 Toranomom, Minato-ku, Tokyo 105, Japan : Fire protection equipment & safety center.
- Thunderhead. (2015). *Pyrosim user manual*. 403 Poyntz Avenue, Suite B, Manhattan, KS 66502, USA: Thunderhead.
- Thunderhead Engineering. (2014). *User Guide: Pathfinder*. 403 Poyntz Avenue, Suite B, Manhattan, KS 66502, USA: Thunderhead Engineering.
- Uppsala universitet. (den 13 05 2018). *Universitetshuset*. Hämtat från Uppsala Universitet: <https://www.uu.se/om-uu/historia/historiska-kulturmiljoer/universitetshuset/>

World Health Organization. (den 18 October 2017). *Obesity and Overweight*. Hämtat från who.int:
<http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> den 8 May 2018

Breaux, J., Canter, D., & Sime, J. (1980). Domestic, Multiple Occupancy, and Hospital Fires. *Fires and Human Behaviour*, 117-126

Tong, D., & Canter, D. (1985). The decision to evacuate: a study of the motivations which contribute to evacuation in the event of fire. *Fire Safety Journal*, 257-265.

Darley, J. M., & Latané, B. (1968). Bystander Intervention in Emergencies: Diffusion of Responsibility. *Journal of Personality and Social Psychology*, 8(4), 379-383.

Douglas, M., & Wildavsky, A. (1983). *Risk and Culture*. Berkeley: University of California Press.

Bilaga A – Beräkning av den dimensionerande branden

Nedan visas de beräkningar och antaganden som gjordes för att få fram de dimensionerande bränderna som användes vid simulering.

Maximal effektutveckling av ventilationskontrollerad brand i garderob

Allt syre i rummen antas användas till förbränning. Syre ger ifrån sig 13,2 MJ/kg vid förbränning.

Beräkning av luft som flödar in i utrymmet beräknas via följande.

$$\dot{m} = 0,5 \cdot A_0 \sqrt{H_0}$$

Där

$A_0 \sqrt{H_0}$ = vägt värde för ventilationsfaktor i ett utrymme med fler än en öppning. Där A_0 är totala arean av öppningarna i utrymmet och H_0 är summan av alla öppningar och beräknas som arean av öppningen multiplicerat av med öppningens höjd.

Tabell 25. Mått på öppningar

	Bredd [m]	Höjd [m]
Fönster	1,5	1,2
Dörr	1,2	2,2

Detta ger således

Tabell 26. Variabler för ventilationsfaktor

	A_0	H_0 (a*H)
Fönster	1,8	2,16
Dörr	2,64	5,81
Totalt	4,4	7,97

Varpå massflödet av luft in till lokalen beräknades till 6,26 kg/s in i lokalen. Enligt Enclosure Fire Dynamics kan syret beräknas till 23% av totala flödet luft och detta ger då en maxeffekt på 19,00 MW.

Effektutveckling av bränslepaketet i garderob

I lokalen är interiören uppdelad i fem stycken bränslepaket vars effektkurvor läggs ihop och bildar den dimensionerande branden. Detta är gjort via tidigare gjorda experiment där liknande material eldades och effektutvecklingen mättes upp.

Tabell 27. Brandbelastning

	HRR [kW/ m ²]	Area [m ²]	HRR [kW]
1 Garderob	1518	2	3036
2 Garderob	1518	2,5	3795
3 Garderob	1518	2,5	3795
4 Garderob	1518	2,5	3795
5 Garderob	1518	6	9108
6 Stolar (st)	445	12 st	5340
7 Bord (st)	1800	1 st	1800
Totalt			30 669

Då den maximala effektutvecklingen kommer betydligt högre än den maximala effektutveckling som ventilationen tillåter, kan det antas att branden är ventilationskontrollerad.

Strålningsberäkningar för spridning av initialbranden

Strålningsberäkningar är gjorda för att skapa en så trovärdig bild av branden som möjligt. Detta görs med hjälp av emitterande strålning från flamman. Det är många faktorer som påverkar spridningsbilden och därför görs dessa antaganden i beräkningarna:

- *Flamman antas vara cirkulär*
- *Strålningsvinkeln antas vara 90 °C ut från flamman.*
- *Strålning från rökgaslagret tas ej hänsyn till.*
- *Uppvärmning av rummet ses förenklat och ger enbart en kvalitativ förminskning av maximal strålning.*
- *Antändning av stolar och bord kommer att ske när alla närliggande bränslepaket antänts.*

Maximal strålningsintensitet innan material antänder kan avläsas i Tabell 28.

Tabell 28. Materials strålningsintensitet

Material	Strålning [kW/m ²]
Kläder	10,0
Stol och bord	19,0

Detta gjordes för spridning av initialbrand samt spridning till den längre garderoben. Därefter ansågs effektutvecklingen vara så pass hög att strålningsberäkningar ej längre är möjliga då temperaturen i utrymmet blivit för hög. Därför gjordes kvalitativa antaganden av spridning därefter.

För att beräkna strålning används Modak's ekvation nedan.

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

Där

X_r = fraktionsfaktor av avgiven energi, sätts till 0,5 då materialet sotar mycket (EFD)

\dot{Q} = effektutveckling

R_0 = är avståndet till mitten av flamman

Tabell 29. Spridning från initialbrand till nästa bränslepaket

	120 sekunder	180 sekunder	240 sekunder
Flamhöjd [m]	1,03	1,74	2,40
alfa [-]	0,2	0,3	0,4
s [-]	0,5	0,9	0,8
Synfaktor [-]	0,192	0,272	0,332
Strålning [kW]	1787	2531	3089

I Tabell 30 går spridningen att följa.

Tabell 30. Möjlig spridningsbild i utrymmet.

Bränslepaket	Tidpunkt [s]	tillväxthastighet [kW/s ²]	kommentar
1 garderob	Initialbrand	0,012	

2 garderob	300	0,012	Nästan vid maximala strålningen för kläder.
3 garderob	360	0,012	Strålning från flamma från närliggande garderob 2 tillsammans med den höga effektutvecklingen från initialbranden ger snabbare spridning
5 garderob	360	0,012	Gränsar mot flamma från initialbranden och garderob 2. Trots att synfaktor är betydligt lägre så förväntas denna antändas också.
4 garderob	420	0,012	Hög effektutveckling i utrymmet samt troliga flammor från flera håll gör det troligt att den antänder vid denna tidpunkt.
Stolar	480	0,177	Effektutveckling så pass hög att temperatur i rummet samt flammor kommer att antända stolar och bord
Bord	480	0,00458	
Maximal HRR	840	-	Efter ca 14 minuter kommer rummet att ha så pass hög effektutveckling att branden blir ventilationskontrollerad.

Bilaga B - FDS

Teori för beräkning av cellstorlek

Cellstorleken beräknas genom Formel 1 och Formel 2 nedan. Data på $\rho_{\infty}c_pT_{\infty}$ kommer användas för omgivande luft.

$$\rho_{\infty} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$c_p = 1,0 \text{ kJ/(kgK)}$$

$$T_{\infty} = 293 \text{ K}$$

Formel 1 Beräkning av karakteristiska diametern

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

Formel 2 förhållande mellan den karakteristiska och cellstorlek

$$4 < \frac{D^*}{\delta_x} < 16$$

D^* är den karakteristiska diametern på branden och δ_x är storleken på cellen i x led.

Brand i garderob

Största effektutvecklingen som förekommer är 19 MW vilket beräknades i bilaga A. För att få fram en bra grid kommer en effektutveckling där personer är kvar i byggnaden att användas.

Tabell 31. FDS - Indata

Effektutveckling (kW)	Tid (s)	D*	Max cellstorlek (m)	Minsta cellstorlek (m)
2000	400	1,27	0,31	0,08
4000	500	1,68	0,42	0,1
10 000	600	2,42	0,60	0,15
19 000	840	3,13	0,78	0,20

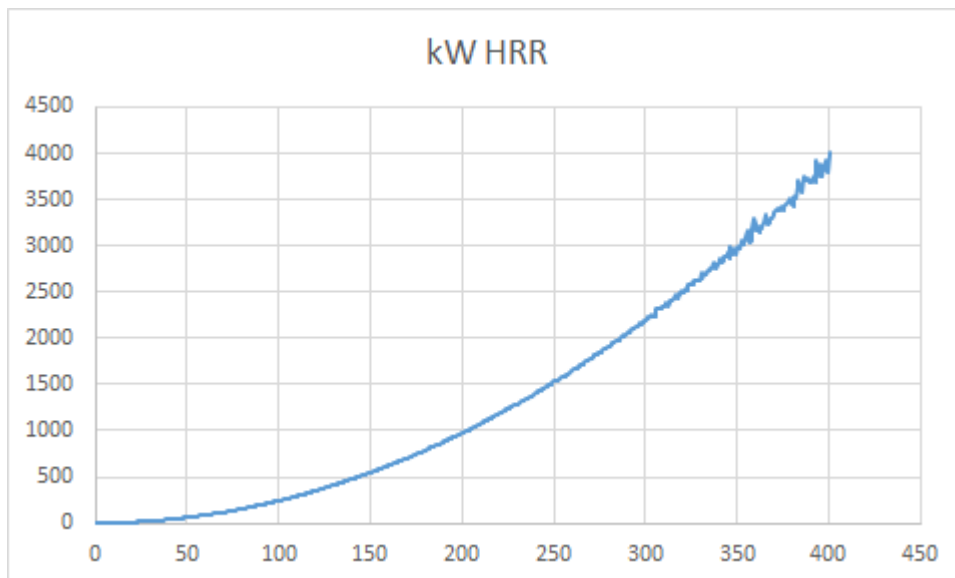
För att kunna bestämma tid till ASET sattes mätutrustning ut i omgivningen där personer förväntas befinna sig. Detta för att se när personer påverkas av de kriterier som har valts. Vid utrymning förväntas personer använda trapporna och gå förbi utrymmet där branden befinner sig. FED och temperaturmätare placerades ut i korridoren vid trapporna till höger i byggnaden där personer förväntas gå vid utrymning. Mätarna placerades i höjderna 1,2,3 och 4 m på plan 2 där garderoben befinner sig och i höjd 1,2,3,4 på

plan 3. Även slice files som mäter temperatur och sikt placerades. Sikten kollas på en höjd på 2 m och 9 m.

För att maximera tid för simuleringen användes 20 mesher vid uppbyggnaden av simuleringen.

I simuleringen är dörren till trapphuset öppet för att få ett konservativt värde. Trapphuset är ingen egen brandcell vilket gör att rök kan spridas även vid stängd dörr. Personer antas utrymma genom denna trappa i en begränsad grad och därmed orsakar detta att dörren kommer att vara öppen under brandförloppet under majoriteten av tiden. Därför gjordes det konservativa antagandet att dörren är fullt öppen under hela simuleringen.

Effektutvecklingen som framkom ur simuleringen visas i Figur 43. Värdena för effektutvecklingen bli lite högre i simuleringen i FDS. Detta för att branden i simuleringen sattes till att följa en at^2 kurva. Effektutvecklingen kommer nå värdet 4000 KW cirka 50 s innan det beräknade värdet.



Figur 43 Effektkurva från FDS.

FDS kod

Nedan listas den kod som användes vid simulering i FDS. Koden är reducerad genom att geometrin har tagits bort från koden.

Generated by PyroSim - Version 2016.2.0922

2018 apr-26 13:40:12

```
&HEAD CHID='aula/'
```

```
&TIME T_END=700.0/
```

```
&DUMP          RENDER_FILE='pyrosim_aula.ge1',          COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE.,  
DT_RESTART=300.0/
```

&MESH ID='MESH-a-a', IJK=57,55,77, XB=20.4,31.8,27.2,38.2,0.0,15.4/
&MESH ID='MESH-a-c-a', IJK=34,64,77, XB=19.0,25.8,38.2,51.0,0.0,15.4/
&MESH ID='MESH-a-c-b', IJK=30,77,77, XB=25.8,31.8,38.2,53.6,0.0,15.4/
&MESH ID='MESH-c-b', IJK=69,61,77, XB=31.8,45.6,26.0,38.2,0.0,15.4/
&MESH ID='MESH-c-c', IJK=69,35,77, XB=31.8,45.6,38.2,45.2,0.0,15.4/
&MESH ID='MESH-d-b-a-a', IJK=44,46,154, XB=31.8,36.2,45.2,49.8,0.0,15.4/
&MESH ID='MESH-d-b-a-b', IJK=56,46,154, XB=36.2,41.8,45.2,49.8,0.0,15.4/
&MESH ID='MESH-d-b-a-c', IJK=38,46,154, XB=41.8,45.6,45.2,49.8,0.0,15.4/
&MESH ID='MESH-d-b-b-a', IJK=38,61,154, XB=31.8,35.6,49.8,55.9,0.0,15.4/
&MESH ID='MESH-d-b-b-b-a', IJK=64,12,154, XB=35.6,42.0,49.8,51.0,0.0,15.4/
&MESH ID='MESH-d-b-b-b-b', IJK=64,32,154, XB=35.6,42.0,51.0,54.2,0.0,15.4/
&MESH ID='MESH-d-b-b-b-c', IJK=64,17,154, XB=35.6,42.0,54.2,55.9,0.0,15.4/
&MESH ID='MESH-d-b-b-c', IJK=36,61,154, XB=42.0,45.6,49.8,55.9,0.0,15.4/
&MESH ID='MESH-d-c', IJK=69,28,77, XB=31.8,45.6,55.9,61.6,0.0,15.4/
&MESH ID='MESH-e-b-a', IJK=50,40,77, XB=45.6,55.6,27.4,35.4,0.0,15.4/
&MESH ID='MESH-e-b-b', IJK=62,32,77, XB=45.6,58.0,35.4,41.8,0.0,15.4/
&MESH ID='MESH-e-c-a-a', IJK=60,36,154, XB=45.6,51.6,41.8,45.4,0.0,15.4/
&MESH ID='MESH-e-c-a-b-a', IJK=60,38,154, XB=45.6,51.6,45.4,49.2,0.0,15.4/
&MESH ID='MESH-e-c-a-b-b', IJK=60,37,154, XB=45.6,51.6,49.2,52.9,0.0,15.4/
&MESH ID='MESH-e-c-b', IJK=33,46,77, XB=51.6,58.2,41.8,51.0,0.0,15.4/
&REAC ID='Reaction1',
FUEL='REAC_FUEL',
FORMULA='C12H22O11',
CO_YIELD=0.0909,
SOOT_YIELD=0.172/

&PROP ID='Cleary Ionization II',

QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',

ALPHA_E=2.5,

BETA_E=-0.7,

ALPHA_C=0.8,

BETA_C=-0.9/

&DEVC ID='ASAMP', QUANTITY='DENSITY', SPEC_ID='SOOT', XYZ=38.5,46.5,14.6/

&DEVC ID='ASAMP01', QUANTITY='DENSITY', SPEC_ID='SOOT', XYZ=47.6,47.0,14.6/

&DEVC ID='visibility', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=38.6182,45.7673,1.0/

&DEVC ID='visibility01', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=38.6182,45.7673,2.0/

&DEVC ID='visibility02', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=38.6182,45.7673,3.0/

&DEVC ID='visibility03', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=38.6182,45.7673,4.0/

&DEVC ID='visibility04', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=47.6,47.0,8.8/

&DEVC ID='FED', QUANTITY='FED', XYZ=38.6182,45.7673,1.0/

&DEVC ID='FED01', QUANTITY='FED', XYZ=38.6182,45.7673,2.0/

&DEVC ID='FED02', QUANTITY='FED', XYZ=38.6182,45.7673,3.0/

&DEVC ID='FED03', QUANTITY='FED', XYZ=38.6182,45.7673,4.0/

&DEVC ID='FED04', QUANTITY='FED', XYZ=47.6,47.0,8.8/

&DEVC ID='Temperature', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=38.6,45.8,1.0/

&DEVC ID='Temperature01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=38.6,45.8,2.0/

&DEVC ID='Temperature02', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=38.6,45.8,3.0/

&DEVC ID='Temperature03', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=38.6,45.8,4.0/

&DEVC ID='Temperature04', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=38.6,45.8,5.0/

&DEVC ID='Temperatur 5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=47.6,47.0,8.8/

&DEVC ID='SD scen', PROP_ID='Cleary Ionization II', XYZ=40.8,55.3,15.4/

&DEVC ID='SD publik', PROP_ID='Cleary Ionization I1', XYZ=48.8,42.8,5.6/

&MATL ID='Material02',

SPECIFIC_HEAT=1.0,

CONDUCTIVITY=0.11,

DENSITY=2200.0/

&SURF ID='betong',

RGB=255.0,229.0,30.0,

TMP_INNER=22.0,

BACKING='VOID',

MATL_ID(1,1)='Material02',

MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,

THICKNESS(1)=0.5/

&SURF ID='Fire',

RGB=244.0,0.0,0.0,

HRRPUA=750.0,

TAU_Q=-1.0,

TMP_FRONT=600.0,

EMISSIVITY=1.0,

SPREAD_RATE=0.005, XYZ=38.8,52.6,2.5/

&OBST ID='Brand', XB=35.8,41.8,51.1,54.1,1.1,2.5, SURF_IDS='Fire','Fire','INERT'/

&VENT ID='Mesh Vent: MESH-f [ZMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=45.6,47.2,51.0,53.0,0.0,0.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=38.7576/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=45.8723/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBY=45.9045/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBX=38.734/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBZ=3.1/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBZ=8.8/

&TAIL /

Brand i aula

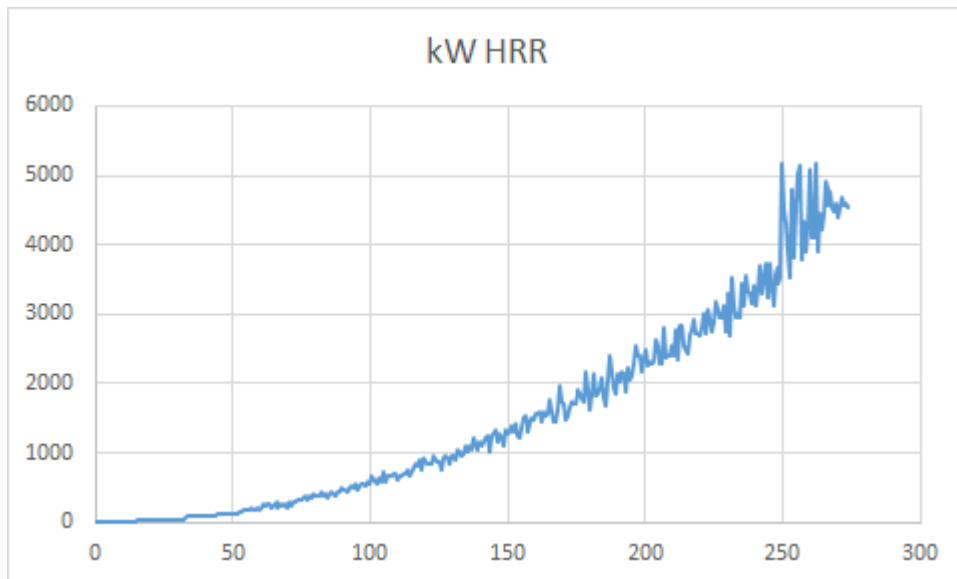
Effektutvecklingen som beräknats förekomma är 29,0 MW. För att få ram cellstorleken användes ekvation Formel 1 och Formel 2. Tabellen nedan visar maximala cellstorleken som kan användas för simulering vid olika skeden i brandförloppet. Den cellstorlek som används i simuleringen är vid den tiden människor förväntas vara kvar i aulan. De cellstorlekar som kan användas presenteras i Tabell 32.

Tabell 32. Cellstorlekar för olika effektutvecklingar

Effektutveckling (kW)	Tid (s)	D*	Max cellstorlek (m)	Minsta cellstorlek (m)
2500	231	1,39	0,35	0,09
5000	327	1,83	0,45	0,12
10 000	462	2,42	0,60	0,15
20 000	653	3,19	0,80	0,20
29 000	786	3,7	0,93	0,23

För att kunna bestämma tid till ASET sattes mätutrustning ut i omgivningen där personer förväntas befinna sig. Detta för att se när personer påverkas av de kriterier som har valts. Vid utrymning förväntas personer använda trapporna och gå förbi utrymnet där branden befinner sig. FED och temperaturmätare placerades i höjderna 1,2,3 och 4 m på plan 2 där garderoben befinner sig och i höjd 1,2,3,4 på plan 3. Även slice files som mäter temperatur och sikt placerades. Sikten kollas på en höjd på 2 m och 8.8 m.

För att kontrollera resultatets trovärdighet i simuleringen jämfördes effektkurvan från FDS med den beräknade effektkurvan. Vid jämförelse framkom det att effektutvecklingen blir lägre i början i FDS men följer sedan den beräknade kurvan vilket gör att den är trovärdig. Brandens effektutveckling framtagen från FDS presenteras i Figur 44. *Effektkurva från FDS*



Figur 44. Effektureva från FDS

FDS kod

```
&HEAD CHID='garderobsbrand3'/
```

```
&TIME T_END=700.0/
```

```
&PRES MAX_PRESSURE_ITERATIONS=100,  
VELOCITY_TOLERANCE=0.001 /
```

```
&DUMP RENDER_FILE='Garderobsbrand.ge1', COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE.,  
DT_RESTART=300.0/
```

```
&RADI NUMBER_RADIATION_ANGLES=114/
```

```
&MESH ID='MESH-b 1', IJK=48,72,39, XB=12.0,31.2,9.2,38.0,-0.2,15.4/ 69246 celler
```

```
&MESH ID='MESH-e 2', IJK=37,67,39, XB=31.2,46.0,-0.8,26.0,-0.2,15.4/ 54834
```

```
&MESH ID='MESH-j 3', IJK=26,37,39, XB=46.0,56.4,9.2,24.0,-0.2,15.4/ 37518
```

```
&MESH ID='MESH-l 4', IJK=52,62,78, XB=46.0,56.4,24.0,36.4,-0.2,15.4/ 251472
```

```
&MESH ID='MESH-n 5', IJK=53,13,39, XB=56.4,77.6,9.2,14.4,-0.2,15.4/ 26871
```

```
&MESH ID='MESH-o 6', IJK=40,48,78, XB=56.4,64.4,14.4,24.0,-0.2,15.4/ 149760
```

```
&MESH ID='MESH-p1 7', IJK=116,16,156, XB=56.4,68.0,24.0,25.6,-0.2,15.4/ 289536
```

```
&MESH ID='MESH-p2 8', IJK=116,16,156, XB=56.4,68.0,25.6,27.2,-0.2,15.4/ 289536
```

```
&MESH ID='MESH-p3 9', IJK=116,10,156, XB=56.4,68.0,27.2,28.2,-0.2,15.4/ 144768
```

```
&MESH ID='MESH-p3 10', IJK=116,10,156, XB=56.4,68.0,28.2,29.2,-0.2,15.4/ 180960
```

```
&MESH ID='MESH-p4 11', IJK=116,10,156, XB=56.4,68.0,29.2,30.2,-0.2,15.4/ 180960
```

```
&MESH ID='MESH-p4 12', IJK=116,10,156, XB=56.4,68.0,30.2,31.2,-0.2,15.4/ 180960
```

&MESH ID='MESH-p5 13', IJK=116,10,156, XB=56.4,68.0,31.2,32.2,-0.2,15.4/ 180960
&MESH ID='MESH-p5 14', IJK=116,10,156, XB=56.4,68.0,32.2,33.2,-0.2,15.4/ 180960

&MESH ID='MESH-p6 15', IJK=116,10,156, XB=56.4,68.0,33.2,34.2,-0.2,15.4/ 180960
&MESH ID='MESH-p6 16', IJK=116,10,156, XB=56.4,68.0,34.2,35.2,-0.2,15.4/ 180960

&MESH ID='MESH-p7 17', IJK=116,10,156, XB=56.4,68.0,35.2,36.2,-0.2,15.4/ 180960
&MESH ID='MESH-p7 18', IJK=116,10,156, XB=56.4,68.0,36.2,37.2,-0.2,15.4/ 180960

&MESH ID='MESH-p8 19', IJK=116,10,156, XB=56.4,68.0,37.2,38.2,-0.2,15.4/ 180960
&MESH ID='MESH-p8 20', IJK=116,10,156, XB=56.4,68.0,38.2,39.2,-0.2,15.4/ 180960

&REAC ID='Brand',

FUEL='REAC_FUEL',

FORMULA='C12H22O11',
CO_YIELD=0.0265,
SOOT_YIELD=0.0501/

&PROP ID='Cleary Ionization II',
QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',

ALPHA_E=2.5,
BETA_E=-0.7,
ALPHA_C=0.8,
BETA_C=-0.9/

&DEVC ID='SDgarderob', PROP_ID='Cleary Ionization II', XYZ=61.3,32.9,5.55/
&DEVC ID='FED', QUANTITY='FED', XYZ=59.1182,27.7673,1.0/
&DEVC ID='FED01', QUANTITY='FED', XYZ=59.1182,27.7673,2.0/
&DEVC ID='FED02', QUANTITY='FED', XYZ=59.1182,27.7673,3.0/
&DEVC ID='FED PLAN2', QUANTITY='FED', XYZ=59.1182,27.7673,7.0/
&DEVC ID='TEMPERATURE1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=59.137,27.8113,1.0/
&DEVC ID='TEMPERATURE01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=59.137,27.8113,2.0/
&DEVC ID='TEMPERATURE02', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=59.137,27.8113,3.0/
&DEVC ID='TEMPERATURE03', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=59.137,27.8113,4.0/
&DEVC ID='TEMP PLAN2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=59.0,28.0,7.0/
&DEVC ID='TEMP PLAN01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=59.0,28.0,8.0/
&DEVC ID='TEMP PLAN02', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=59.0,28.0,9.0/
&DEVC ID='TEMP PLAN03', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=59.0,28.0,10.0/
&DEVC ID='FEDPLAN2 2', QUANTITY='FED', XYZ=59.1182,27.7673,8.0/
&DEVC ID='FEDPLAN2 3', QUANTITY='FED', XYZ=59.1182,27.7673,9.0/

&SURF ID='Betong',
RGB=255.0,229.0,30.0,

BACKING='VOID'/

&SURF ID='Fire',
RGB=255.0,30.0,2.0,

HRRPUA=929.0,

```
TAU_Q=-900.0,  
TMP_FRONT=600.0,  
EMISSIVITY=1.0/  
&VENT ID='Mesh Vent: MESH [XMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=78.0,78.0,-0.8,40.0,-0.2,15.4/  
&VENT ID='Mesh Vent: MESH [XMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=12.0,12.0,-0.8,40.0,-0.2,15.4/  
&VENT ID='Mesh Vent: MESH [YMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=12.0,78.0,40.0,40.0,-0.2,15.4/  
&VENT ID='Mesh Vent: MESH [YMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=12.0,78.0,-0.8,-0.8,-0.2,15.4/  
&VENT ID='Mesh Vent: MESH [ZMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=12.0,78.0,-0.8,40.0,15.4,15.4/  
&VENT ID='Mesh Vent: MESH [ZMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=12.0,78.0,-0.8,40.0,-0.2,-0.2/  
  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=59.1182/  
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBX=59.1182/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=27.8/  
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBX=27.8/  
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBZ=2.0/  
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBZ=8.8/
```

```
&TAIL /
```


Bilaga C – Pathfinder

I denna bilaga redovisas de antaganden samt förenklingar vilket har utförts för samtliga scenarier.

Indata till Utrymningssimuleringar

Indata till simuleringen är det vilket kommer att styra agenternas beteende och därmed den slutgiltiga evakueringstiden för byggnaden. Varje agent i simuleringen, vilket motsvarar en person, blir tilldelad en profil samt beteende. Profilen och beteende bestäms av användaren. För att erhålla simuleringar i enlighet med teorier kring människors beteende vid brand har det tillämpats ingenjörsmässiga antaganden, förenklingar och bedömningar. Vidare, har värden från verkliga händelser, så som en teaterbrand i Storbritannien, samt forskning använts. En del värden är förbestämt i programmet och en del har bestämts av användaren. En känslighetsanalys utförs för varje scenario för att undersöka osäkerheten i hur olika parametrar påverkar resultatet.

Agenters Profil

Profilen bestämmer fixerade karaktärsdrag för agenten (Thunderhead Engineering, 2014). Detta innefattar bland annat rörelsehastigheten för agenterna, vilket har justerats av användaren. Resterande parametrar är inställda på grundläget och har därmed inte ändrats av användaren. Delvis är detta gjort för att undvika antaganden vilket medför nya osäkerheter men även för att rörelsehastigheten har identifierats av SFPE, i en omfattande känslighetsanalys av ingående parametrar, som en signifikant faktor för utrymningstiden (Olaf Pérez Salgueiro, 2016). Känslighetsanalysen utfördes för utrymning av ett fotbollsstadium och exakt samma resultat förväntas ej för detta objekt. Dock, antas analysen ge en god grund för att noggrant välja rörelsehastigheten för agenterna.

Rörelsehastigheten för respektive individ ges av ett randomiserat värde från en normalfördelningskurva med väntevärde 1,35 m/s och standardavvikelse 0,25 m/s med minimi- och maximigränserna 0,85 respektive 1,85 m/s (Fridolf, Nilsson, Frantzych, Ronchi, Arias. 2016). Denna metod är tänkt att återge en populations förflyttningsegenskaper så realistiskt som möjligt utan att explicit utgå från ett konservativt antagande av gånghastigheten.

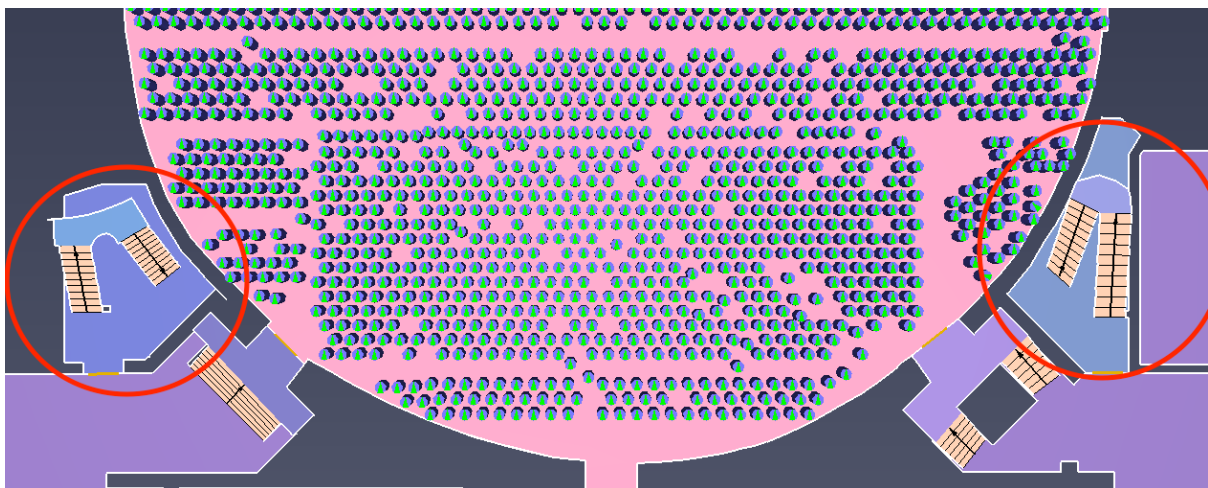
Utöver rörelsehastigheten är även storleken på agenten en signifikant faktor (Olaf Pérez Salgueiro, 2016). Agenter representeras i denna simulering med cylindrar där diametern motsvarar en individs axelbredd. Förinställningen är att axelbredden är ett konstant värde för alla individer på 45,58 cm. Detta standardiserade värde motsvarar snitt bredden för en vuxen person och därmed anses representativt. Den påverkan en variation av axelbredden för med sig undersöks dock ytterligare i känslighetsanalysen för scenario sex.

Agenters beteende

Beteende inställningen styr den sekvens av handlingar agenten skall utföra för att utrymma (Thunderhead Engineering, 2014). Denna styr bland annat tiden det tar för agenten att förbereda sig

inför förflyttning, vilket har identifierats i tidigare avsnitt av stor vikt för den totala utrymningstiden. Det går även att styra vilka dörrar en agent kan eller inte kan använda med hjälp av att justera i beteende inställningar. Detta brukas för att skapa en realistisk spridning av agenterna. På grund av skiljande omständigheter i scenario ett och scenario två varierar de styrande parametrarna för agenterna för var sitt fall. Därmed redovisas dess specifika inställningar mer noggrant för varje scenario i avsnitt 6.2 respektive 6.3.

För samtliga scenarier är de inre trapphusen, markerade i Figur 45, ej tillgängliga att användas av agenterna. Detta grundades i antaget att dessa skulle nyttjas i en ytterst minimal utsträckning och därmed försumbara. För scenario sex upptäcktes det efter simuleringar har utförts i både Pathfinder och FDS att det högra inre trapphuset var exponerat för kritiska förhållanden. Därmed utfördes en ytterligare mer kortfattad analys för att verifiera säkerheten för personer i de inre trapphusen under utrymning.



Figur 45. Markering av de inre trapphusen.

Agenters placering & aulans utformning

Det har antagits att aulan är fullsatt och använd till dess fulla potential. Vid placering av dessa 2000 agenter har det undvikits rad formation och avstånd mellan agenter bestämdes med en bestämd persontäthet samt uniform placering. Persontätheten beräknades genom att mäta upp en del av utrymmet samt räkna antalet stolar innanför det området. Persontätheten bestämdes vidare genom att dividera antalet personer, motsvarande antalet stolar, med den yta som personerna ockuperade. Detta applicerades sedan för utplaceringen av alla sittande på entréplan. Resterande bestämdes utefter den täthet vilket var nödvändig för att få plats med alla agenter. Den beräknade persontätheten redovisas i

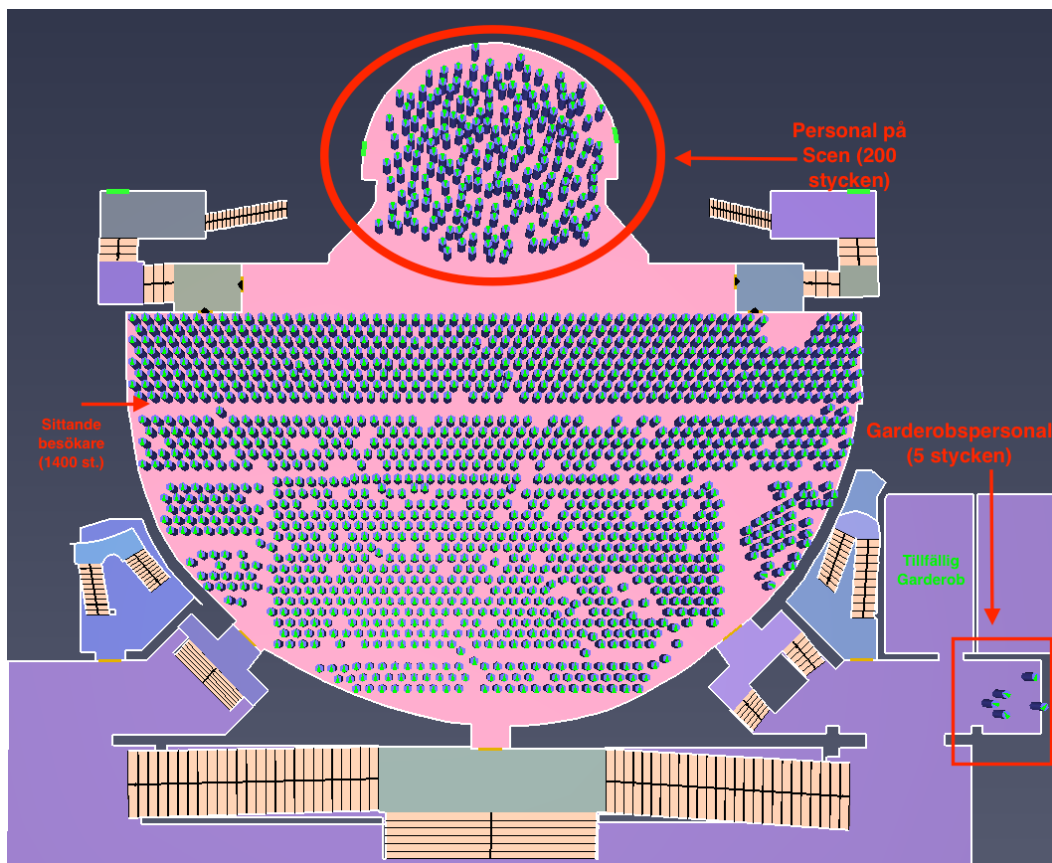
Tabell 33 nedan.

Tabell 33. Persontätheten i utrymningssimuleringarna

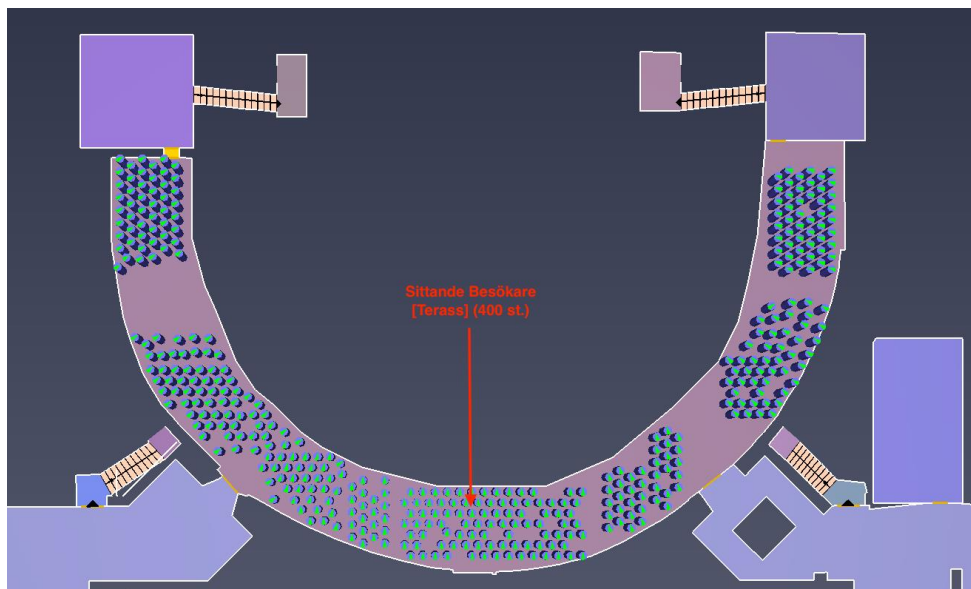
Utrymme	Persontäthet [$\frac{pers}{m^2}$]
Aula – Sittandes	2,12
Aula - Scen	1,48
Aula - Terrass	1,62

Beslutet att inte placera agenter i rad grupper medför att den påverkan som köbildning för med sig på evakueringstiden inte är inkluderad i simuleringen. Vidare uppstår en rörelsefrihet för agenterna, då bänkar och andra objekt inte blockerar, vilket inte uppstår i verkligheten. Dock är tiden det tar för en agent att förflytta sig från dess startposition till dörren, oavsett, mycket mindre än väntetiden vid utgångarna. Därmed antas dessa förenklingar ha en procentuellt minimal påverkan på den slutgiltiga tiden för utrymning eftersom köbildning vid utrymningsvägarna kommer att oavsett initieras när agenter börjar utrymma lokalen och förbli långt förbi den tiden då alla agenter har förflyttat sig från dess startposition.

För att få en övergripande bild över agenternas placering i lokalen se Figur 46 och Figur 47 för andra våningen respektive tredje våningen. En noggrann placering av agenterna efter formationen av salens rader, se Figur 3 *Överblick plan 2* respektive Figur 4. *Överblick plan 3*, har inte genomförts då det ansågs mer väsentligt att fokusera på andra aspekter än denna enbart estetiska och tidskrävande aspekt. Det anses enbart estetiskt eftersom att det tar procentuellt väldigt lite tid för agenten att röra sig till utgångarna i jämförelse med tiden väntades vid utgångarna, på grund av köbildning, vilket kommer att utgöra majoriteten av utrymningstiden.



Figur 46. Övergripande bild av agents placering, med antal, i Pathfinder för entréplan. Positionen av den tillfälliga garderoben, brandens startutrymme i Scenario 2, är även markerat.



Figur 47. Övergripande bild av agents placering, med antal, i Pathfinder för terrassen på tredje våning.

Bilaga D – Beräkningar av mekanisk ventilation

Mekanisk ventilation beräknas med antagande om att ett system installeras i taket av aulan. Då beräknas det massflöde som förväntas produceras av branden för att sedan jämföras med ventilationen som installeras. Beräkningar baseras på effektutvecklingen av branden samt antaganden om att viss värme absorberas av väggar och tak.

Begränsningar av detta är att man antar att massflödet som produceras från branden är det enda som dimensioneras för. Det kommer dock att vara ett större massflöde då tryckskillnader från värmeökningen i utrymmet medför ett högre flöde in genom öppningar.

Även antagandet att materialet i väggarna antas ha samma egenskaper som betong kan ge skillnad i resultatet.

Branden antas vara stationär och ha en effektutveckling på 2500 kW. Detta är en integration av effektutveckling då kritiska förhållanden uppnåtts över tiden. Detta är en konservativ bedömning då tillväxthastigheten är relativt långsam till den stora effektutvecklingen som kan uppstå.

Beräkning av brandgaslager

Byggnaden är byggd i sten och förväntas ha liknande egenskaper som betong vilka används i beräkningar.

Beräkning av höjden på brandgaslagret innan kritisk nivå nås:

$$z = 1,6 + 0,1H$$

Där

z = är höjden av brandgaslagret

H = höjden av lokalen, sätts till 15m

Detta ger att brandgaslagret inte får understiga 11,9 m för brand i aulan. Medan för garderoben där höjden är 5,6 meter beräknas att brandgaslagret inte får understiga 2,2 meter.

Utsug från taket

Inledningsvis beräknas massflödet av branden via ekvation nedan

$$m_p = 0,21 \left(\frac{\rho_a g}{c_p T_a} \right)^{1/3} \dot{Q}^{1/3} z^{5/3}$$

Där

$$\rho_a = 1,2 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$g = 9,81 \text{ [m}^3\text{/(kgs}^2\text{)]}$$

$$c_p = 1,0 \text{ [kJ/(kgK)]}$$

$$T_a = 293 \text{ [K]}$$
$$\dot{Q} = 2500 \text{ [kW]}$$

Vilket ger ett massflöde på 64 kg/s. Därefter beräknas temperaturen på brandgaslagret.

$$T_g = T_a + \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_a \dot{m}_p + hA_w} \right)$$

Där

$$h = 0,033 \text{ [kW/m}^2\text{K]}$$

$$A_w = 306 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\dot{m}_e = \dot{m}_p$$

Detta ger en temperatur på brandgaslagret på 327K. Med hjälp av det värdet beräknas den nya densiteten i brandgaslagret.

$$\rho_g = \frac{353}{T_g}$$

Den nya densiteten blir således 1,08 kg/m³. Med hjälp av detta vi nu vet massflödet som måste ut samt att vi vet densiteten av brandgaslagret kan vi enkelt beräkna volymen som krävs för att hålla brandgaslagret på en säker nivå.

$$\dot{V}_e = \frac{\dot{m}_e}{\rho_g}$$

Detta ger då ett värde på ungefär 59 m³/s utslag i ventilationen. Detta motsvarar en kapacitet på ungefär 70 kg/s. (B. Karlsson, J.G. Quintere, 2000)

Mekanisk ventilation – FDS

```
&DEVC ID='Pressure scene', QUANTITY='PRESSURE', XYZ=39.5,57.0,4.5/
```

Brandgasventilation

```
&SURF ID='FIRE_VENT', VOLUME_FLOW=20, COLOR='GREEN' /
```

```
&VENT ID='EX 1', XB=34.0,36.0,56.0,58.0,15.4,15.4, SURF_ID='FIRE_VENT' /
```

```
&VENT ID='EX 2', XB=37.0,39.0,56.0,58.0,15.4,15.4, SURF_ID='FIRE_VENT' /
```

```
&VENT ID='EX 3', XB=40.0,42.0,56.0,58.0,15.4,15.4, SURF_ID='FIRE_VENT' /
```

Öppningar

```
&VENT ID='Minimum y 1', SURF_ID='OPEN', XB=20.4,31.8,27.2,27.2,0.0,15.4/
```

```
&VENT ID='Minimum y 2', SURF_ID='OPEN', XB=31.8,45.6,26.0,26.0,0.0,15.4/
```

```
&VENT ID='Minimum y 3', SURF_ID='OPEN', XB=45.6,55.6,27.4,27.4,0.0,15.4/
```