

# **Brandteknisk riskvärdering av Torpa Stenhus**

**Nicklas Jansson**

**Anna Malmeström**

**Alexandra Sutinen**

**Anton Wikensten**

---

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

Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering  
Lunds Tekniska Högskola  
Lunds Universitet

Report 9440, Lund 2013



# **Brandteknisk riskvärdering av Torpa Stenhus**

**Nicklas Jansson**

**Anna Malmeström**

**Alexandra Sutinen**

**Anton Wikensten**

Lund 2013

Följande rapport är framtagen i undervisningen i kursen Brandteknisk riskvärdering (VBR054) våren 2013. Det huvudsakliga syftet har varit träning i problemlösning och metodik. Rapportens slutsatser och beräkningsresultat har inte kvalitetsgranskats i den utsträckning som krävs för kvalitetssäkring. Rapporten måste därmed användas med stor försiktighet. Den som åberopar resultatet i något sammanhang bär själv ansvaret.

LTH  
Brandteknisk riskvärdering av Torpa Stenhus

**Titel/Title**

Brandteknisk riskvärdering av Torpa Stenhus/Fire safety evaluation of Torpa Stenhus

**Rapport/Report**

9440

**Författare/Authors**

Nicklas Jansson, Anna Malmeström, Alexandra Sutinen, Anton Wikensten

**Antal sidor/Number of pages**

144 (Inklusive bilagor/Including appendices)

**Nyckelord**

Kulturminne, CFD, FDS, Pyrosim, stenhus, brandscenario, utrymning, utrymningssimulering, Simulex, effektutvecklingskurva, brandsimulering Torpa Stenhus, grovanalys, analytiska metoder, kritiska förhållanden, DETACT T<sup>2</sup>, personsäkerhet.

**Keywords**

Cultural heritage, CFD, FDS, Pyrosim, stonehouse, fire scenario, evacuation, evacuation simulation, Simulex, heat release rate, fire simulation, design fire, critical conditions, personal safety, DETACT T<sup>2</sup> personal safety.

**Bilder/Pictures**

Bilderna i rapporten är fotograferade av författarna själva./The pictures in the report are photographed by the authors.

**Språk/Language**

Svenska/Swedish

---

Brandteknik och Riskhantering  
Lunds Tekniska Högskola  
Lunds Universitet  
Box 118  
221 00 Lund

brand@brand.lth.se  
<http://www.brand.lth.se>  
Telefon: 046-222 73 60  
Fax: 046-222 46 12

Department of Fire Safety  
Engineering and System Safety  
Faculty of Engineering, LTH  
Lund University  
P.O. Box 118  
SE-221 00 Lund, Sweden

brand@brand.lth.se  
<http://www.brand.lth.se>  
Telephone: +46 46 222 73 60  
Fax: +46 46 222 46 12

## Förord

Följande rapport har tagits fram som ett undervisningsmoment i kursen Brandteknisk riskvärdering (VBR054) som hålls vid Lunds Tekniska Högskola. Syftet med rapporten har främst varit att introducera studenterna till arbetsuppgifter och problem som de kan stöta på i det framtida arbetslivet.

Vi hoppas att godsägaren och Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund kommer att ha stor användning av rapporten för att kunna förbättra brandskyddet i Torpa Stenhus.

Författarna av rapporten vill tacka de personer som funnits med oss under arbetets gång:

Håkan Frantzich	Universitetslektor vid Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering. Tack för handledning och stöd genom arbetet.
Pehr Zethelius	Godsherre. Tack för visning av objekt och för ett varmt välkomnande och delgivande i Torpa Stenhus historia.
Jonas Olsson	Brandingenjör, Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund. Tack för all hjälp och goda råd.
Peder Liljeröth	Brandingenjör, Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund. Tack för all hjälp och goda råd.
Jonathan Wahlqvist	Doktorand vid Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering. Tack för värdefull vägledning och hjälp med FDS och Pyrosim.
Daniel Nilsson	Universitetslektor vid Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering. Tack för snabba svar vid frågor och funderingar.
Robert Jönsson	Universitetslektor vid Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering. Tack för snabba svar vid frågor och funderingar.



## Sammanfattning

En brandteknisk riskvärdering av Torpa Stenhus har utförts med fokus på personsäkerhet i händelse av brand. Rapporten skrivs som ett led av utbildningen på Brandingenjörsprogrammet i Lund och utförs i kursen Brandteknisk riskvärdering (VBR054).

Torpa Stenhus uppfördes på 1400-talet och är beläget utanför Borås vid sjön Åsunden. Byggnaden är ett av Sveriges mest välbevarade slott och är därför kulturminnesskyddad. Stenhuset är öppet för allmänheten men det anordnas även andra evenemang så som vigsel, bröllopfester och konferenser. Torpa Stenhus har fem våningsplan som inkluderar två stora salar med en personkapacitet på 100 respektive 110 personer.

Från Torpa Stenhus finns det i dagsläget endast en dörr ut till det fria och ingen brandcellsindelning. Våningsplanen är sammanlänkade med ett gemensamt trapphus. Det befintliga brandskyddet består av optiska rökdetektorer samt handbrandsläckare som är utplacerade på de fem våningsplanen.

Projektet inleddes med ett platsbesök på Torpa Stenhus. Studenterna, tillsammans med handledare från Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund samt från Lunds Tekniska Högskola, mötte godsherre Pehr Zethelius som bjöd på en rundvandring i stenhuset. Under platsbesöket lades fokus på att identifiera alla tänkbara brandscenarier samt uppmätning av byggnadens alla utrymmen.

Rapporten inriktas framförallt på personsäkerhet och utifrån det har skyddsmål och acceptanskriterier definierats. Skyddsmålet definieras som att de utrymmande inte får utsättas för kritiska förhållanden. Kritiska förhållanden uppnås när uppsatta acceptanskriterier överskrids. Acceptanskriterierna är uppsatta med stöd av Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering.

Utifrån en grovanalys av alla tänkbara scenarier togs brandscenarier med störst risk fram. Då statistik för objektet saknas bygger grovanalysen framförallt på bedömningar där sannolikhet och konsekvens för händelserna vägs in. Utrymningsscenarierna togs fram genom en bedömning av vilka tre händelser som ansågs ha störst påverkan på personsäkerhet vid utrymning. Brandscenarierna och utrymningsscenarierna bildar tillsammans ett händelsetråd med 24 olika händelseutvecklingar som utvärderades i rapporten.

Utrymningstiden beräknades för de 24 händelseutvecklingarna i händelsetrådet. Utrymningstiden jämfördes sedan med tiden till kritiska förhållanden och en tidsmarginal erhöles. Genom en osäkerhetsanalys granskades alla osäkerheter som medfördes i de beräkningar och resonemang som utfördes.

Utifrån de beräknade tidsmarginalerna kan det utläsas att skyddsmålet inte uppfylls i dagsläget. Möjliga åtgärder som medför att skyddsmålet uppfylls har föreslagits och validerats i rapporten. I rapporten har det tagits hänsyn till både kulturminnesskyddet och aktivitet som anordnas när åtgärdsförslag lagts fram.

För att en tillfredställande personsäkerhet för besökarna i Torpa Stenhus skall uppnås, bör följande åtgärdsförslag vidtas:

- **Tillgodose säker utrymning via trapphuset**
  - Införa täta dörrar
  - Installera automatiska dörrstängare till Kapellet
- **Förbättra möjligheterna för navigering i byggnaden**
  - Byt ur befintliga utrymningsskyltar till genomlysta utrymningsskyltar
  - Installera genomlysta utrymningsskyltar för den nya utrymningsvägen
- **Utöka systematiskt brandskyddsarbete**
  - Brandskyddsutbildning
  - Skyddsronder
  - Rutiner och ansvarsområden
- **Installera detektor i Personalrum**
- **Reducera brandrisken i Personalrum**
  - Reducera mängden brännbart material
  - Installera timer på eluttagen
- **Införa informativt talat meddelande som utrymningslarm**
- **Införa ytterligare en utrymningsväg**
  - Installera utrymningsbeslag
  - Förse utrymningsväg med nödbelysning och räcken

När åtgärderna vidtagits anses skyddsmålet vara uppnått. En säker utrymning ur byggnaden kan då genomföras. För att ytterligare förbättra brandskyddet kan följande kompletterande åtgärder vidtas:

- Upprätta insatsplan
- Införa åskskydd
- Minska användandet av levande ljus
- Flamskydda inredningen
- Ändra detektorns felmeddelande
- Installera automatiskt brandlarm
- Införa manuella larmknappar
- Regelbunden besiktning av elektronisk anläggning
- Reducera tillåtet personantal i byggnaden



## Summary

A risk evaluation with regards to fire safety has been performed at Torpa Stenhus. The focus of the evaluation was the safety of the people inside the building in case of a fire. As part of the education for future fire protection engineers at LTH a risk evaluation report is performed in the course Brandteknisk riskvärdering (VBR054).

Torpa Stenhus was built during the 15<sup>th</sup> century and is located in the vicinity of Borås by the lake Åsunden. Torpa Stenhus is one of the best preserved castles in Sweden. The building is open for the general public but it is also used for other events such as weddings, parties and conferences. The two main halls have a capacity of 100 and 110 persons each.

Torpa Stenhus has only got one door leading outside. The five floors of Torpa Stenhus are linked by a common stairwell. The existing systems with regards to fire safety consist of optical smoke detectors and handheld fire-extinguishers spread across the five floors.

The project was initiated by an onsite visit where the students, accompanied by mentors from both the Södra Älvsborgs fire department and LTH, met the owner and operator Pehr Zethelius. During the onsite visit focus was directed towards identifying all plausible fire scenarios and noting the physical measurements of the building.

Objectives for an adequate level of protection and the highest acceptable levels of exposure in case of a fire were defined in light of the report's focus. The objectives were that none of the persons evacuating the building should be exposed to these highest acceptable levels.

A coarse analysis of all plausible scenarios gave the most hazardous fire scenarios. This analysis was made by comparing statistics from similar buildings and via subjective assessments where the probability and consequence was transformed into a risk.

Using an event tree, different scenarios based on what sort of evacuation that took place were obtained.

Using computer programs, namely FDS, Simulex and DETACT T<sup>2</sup> different evacuation and fire scenarios were simulated. The different simulations combined with reasoning supported by experimental data led to that both the total evacuation time and the time until the highest acceptable exposure levels was exceeded, were obtained. By comparing these two times in an event tree for every scenario the conclusion was made that at present day Torpa Stenhus does not fulfill the objectives for an adequate level of protection in case of a fire.

To reach an adequate level of protection in case of a fire the following measures should be adopted:

- **Accommodate safe evacuation through the stairwell**
  - Install sealed doors
  - Install automatic door closers to the chapel
- **Improve the possibilities of navigations in the building**
  - Replace the existing evacuation signs to backlit evacuation signs
  - Install backlit evacuation signs for the new evacuation route

- **Measures for systematic fire prevention**
  - Staffeducation
  - Inspections
  - Responsibility areas for the staff
- **Install a detector in the Staffroom**
- **Reduce the risk of fire in the Staffroom**
  - Reduce the amount of combustible material
  - Install a timer on electrical outlets
- **Install spoken message as an evacuation alarm**
- **Reopen an evacuation route**
  - Install exit devices
  - Provide evacuation route with emergency lighting and railings

To further improve the level of protection in case of a fire the following measures may be taken:

- Request a response plan from the Rescue Service
- Install a lightning rod
- Reduce the use of candles
- Flameproof furnishing and interiors
- Change the detectors error message
- Install automatic fire alarm
- Install manual buttons to alarm rescue services
- Regularly inspect the electrical equipment and cabling
- Lower the maximum allowed capacity of the two main halls

## Innehållsförteckning

1.	Inledning.....	1
1.1.	Bakgrund .....	1
1.2.	Syfte .....	1
1.3.	Mål .....	2
1.4.	Metod.....	2
1.5.	Avgränsningar .....	4
2.	Objektsbeskrivning.....	5
2.1.	Allmänt.....	5
2.2.	Byggnaden.....	6
2.3.	Källarplan .....	7
2.4.	Våningsplan 1.....	8
2.5.	Våningsplan 2.....	11
2.6.	Våningsplan 3.....	14
2.7.	Vindsplan.....	16
2.8.	Verksamhet.....	18
3.	Regelverk.....	19
3.1	LSO .....	19
3.2	PBL.....	19
3.3	BFS.....	19
3.4	Kulturhistoriskt värdefulla byggnader.....	20
3.5	Gällande för Torpa Stenhus.....	21
4	Befintligt brandskydd .....	23
4.1	Systematiskt brandskyddsarbete.....	23
4.2	Detektionssystem.....	23
4.3	Utrymningslarm.....	23
4.4	Utrymning och utrymningsskyltar.....	23
4.5	Handbrandsläckare .....	23
4.6	Bandcellsindelning .....	24
4.7	Räddningstjänst .....	24
4.8	Ritningar över brandskyddssystem.....	24
5	Mål för brandskydd .....	29
5.1	Skyddsmål .....	29
5.2	Acceptanskriterier .....	29
6.	Tillvägagångssätt för riskanalys .....	31

6.1.	Riskidentifiering.....	31
6.2.	Grovanalys.....	31
6.3.	Val av brandscenarier.....	31
6.4.	Val av utrymningsscenarier.....	31
6.5.	Riskvärdering.....	31
6.6.	Osäkerhetsanalys.....	32
7.	Riskidentifiering.....	33
7.1	Statistik.....	33
8.	Grovanalys.....	35
8.1	Sannolikhet.....	35
8.2	Konsekvens.....	35
8.3	Scenario 1 - Brand på Källarplan.....	36
8.4	Scenario 2 - Brand i Kapell.....	37
8.5	Scenario 3 - Brand i Personalrum.....	38
8.6	Scenario 4 - Brand i Riddarsal.....	39
8.7	Scenario 5 - Brand på Bostadsvåning.....	40
8.8	Scenario 6 - Brand i Kungssal.....	41
8.9	Scenario 7 - Brand på Gästrumsvåning.....	42
8.10	Scenario 8 - Brand på Vindsplan.....	43
8.11	Riskmatris.....	44
9.	Utvärdering av valda brandscenarier.....	45
9.1	Förutsättningar - Effektutvecklingskurva.....	45
9.2	Resultat - Effektutvecklingskurva.....	46
10.	Utrymningsscenarier.....	49
10.1	Allmänt.....	49
10.2	Aktivitet i byggnaden.....	49
10.3	Detektorns fungerande.....	49
10.4	Tränad personal.....	49
10.5	Händelseträäd.....	49
11.	Analys av utrymning med befintligt brandskydd.....	51
11.1	Beräkningsmodell.....	51
11.2	Varseblivningstid.....	51
11.3	Förberedelsestid.....	53
11.4	Förflyttningstid.....	55
11.5	Beräkning av tid till kritiska förhållanden.....	57
11.6	Resultat.....	63

12.	Hantering av osäkerheter.....	65
12.1	Osäkerhetsanalys utrymningstider.....	65
12.2	Osäkerhetsanalys av tid till kritiska förhållanden.....	68
13.	Förslag på brandskyddsåtgärder.....	69
13.1	Åtgärder för att tillgodose säker utrymning via trapphus.....	69
13.2	Införa ytterligare en utrymningsväg.....	75
13.3	Kompletterande åtgärder.....	78
13.4	Personkapacitet.....	80
13.5	Diskussion kring åtgärdsförslag.....	81
13.6	Sammanfattning.....	81
14.	Validering av enskilda åtgärder.....	83
14.1.	Införa täta dörrar.....	83
14.2.	Genomlysta utrymningsskyltar.....	84
14.3.	Detektor i personalrum.....	84
14.4.	Reducera sannolikhet för uppkomst av brand i Personalrum.....	84
14.5.	Åtgärder för systematiskt brandskyddsarbete.....	85
14.6.	Införa informativt talat meddelande.....	86
14.7.	Införa ytterligare en utrymningsväg.....	86
15.	Validering av åtgärdsförslag.....	87
15.1	Slutsats.....	88
16.	Diskussion.....	89
16.1.	Avgränsningar.....	89
16.2.	Beräkningar, simuleringar och antaganden.....	89
16.3.	Brandens effektutveckling.....	89
16.4.	Simulex.....	90
16.5.	FDS.....	91
16.6.	Varseblivningstid.....	91
16.7.	Händelseutvecklingarnas täckning.....	92
16.8.	Påverkan av åtgärder för övriga delar av byggnaden.....	92
16.9.	Personsäkerhet.....	93
16.10.	Åtgärdernas påverkan på det kulturhistoriska värdet.....	93
17.	Slutsats.....	97
18.	Referenser.....	99
	Bilaga A – Effektutvecklingskurvor.....	I
	Bilaga B – Sannolikhetsberäkning för detektoraktivering.....	XI
	Bilaga C – Simulex.....	XIII

LTH  
Brandteknisk riskvärdering av Torpa Stenhus

Bilaga D – DETACT T <sup>2</sup> .....	XIX
Bilaga E – FDS.....	XXIII
Bilaga F – Strålningsberäkning .....	XXXI
Bilaga G – Exempel från indatafil FDS .....	XXXVII
Bilaga H – Beräkning av tidsmarginal .....	XXXIX

## 1. Inledning

*Inledningen består av syfte, mål och metod för utförandet av rapporten.*

### 1.1. Bakgrund

Torpa Stenhus är en kulturminnesskyddad byggnad med anor från 1400-talet och är idag ett av Sveriges bäst bevarade slott. Stenhuset har gått i arv och är idag privatägt av godsherre Pehr Zethelius. Byggnaden är ett populärt besöksmål och öppet för allmänheten. Detta citat beskriver väl hur tungt en kulturminnesmärkning väger och hur viktigt det är att bevara kulturarv och unika byggnader:

*”Vårt lands kulturhistoriskt värdefulla byggnader och de föremål som finns i dem utgör en oersättlig kulturskatt. Våra kyrkor har byggts genom stora uppoffringar av äldre generationer och har under årens lopp smyckats med målningar, skulpturer, silver, textilier och andra inventarier av högsta konstnärliga klass; slott och herrgårdar har ritats av de mest framstående arkitekter landet kunnat uppbringa och byggts upp av skickliga hantverkare; torp och gårdar vittnar om en byggnads- och hantverkstradition som är unik i sitt slag. Men det är inte bara kyrkor, slott, herrgårdar och gamla torp som har kulturhistoriskt värde. All bebyggelse bär på minnen av händelser och livsöden, den berättar om landets utveckling från ett enkelt jordbrukarsamhälle till en högteknologisk industrination och den är en del av vår livsmiljö som är både historia och nutid. Att skydda och vårda detta kulturarv är ett ansvar som delas av alla. Det är vårt gemensamma ansvar att förvalta det som tidigare generationer lämnat över till oss och att föra det vidare till kommande generationer” [22].*

Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund har vid tillsyn konstaterat att brandskyddet inte är tillräckligt. Kulturminnesbyggnader är skyddade genom lag eller förordning på grund av det kulturhistoriska värdet som byggnaderna erhåller [11]. Konstruktionerna har ett oersättligt kulturhistoriskt värde då de inte kan byggas upp eller ersättas. Det är eftersträvanvärt att bevara byggnaden i det befintliga skicket och det innebär att inga större förändringar får utföras i byggnaden. Förutom byggnaden finns det även ovärderlig historia som också är viktig att bevara. Om en brand skulle uppstå i Torpa Stenhus kommer det kulturhistoriska värdet som byggnaden innehar aldrig kunna ersättas. Det är därför av stor vikt att förbättra det befintliga brandskyddet utan att påverka byggnaden och dess inredning i allt för stor utsträckning [11]. De lagar och regler som skyddar en kulturmärkt byggnad beskrivs närmre i avsnitt 3.4.

### 1.2. Syfte

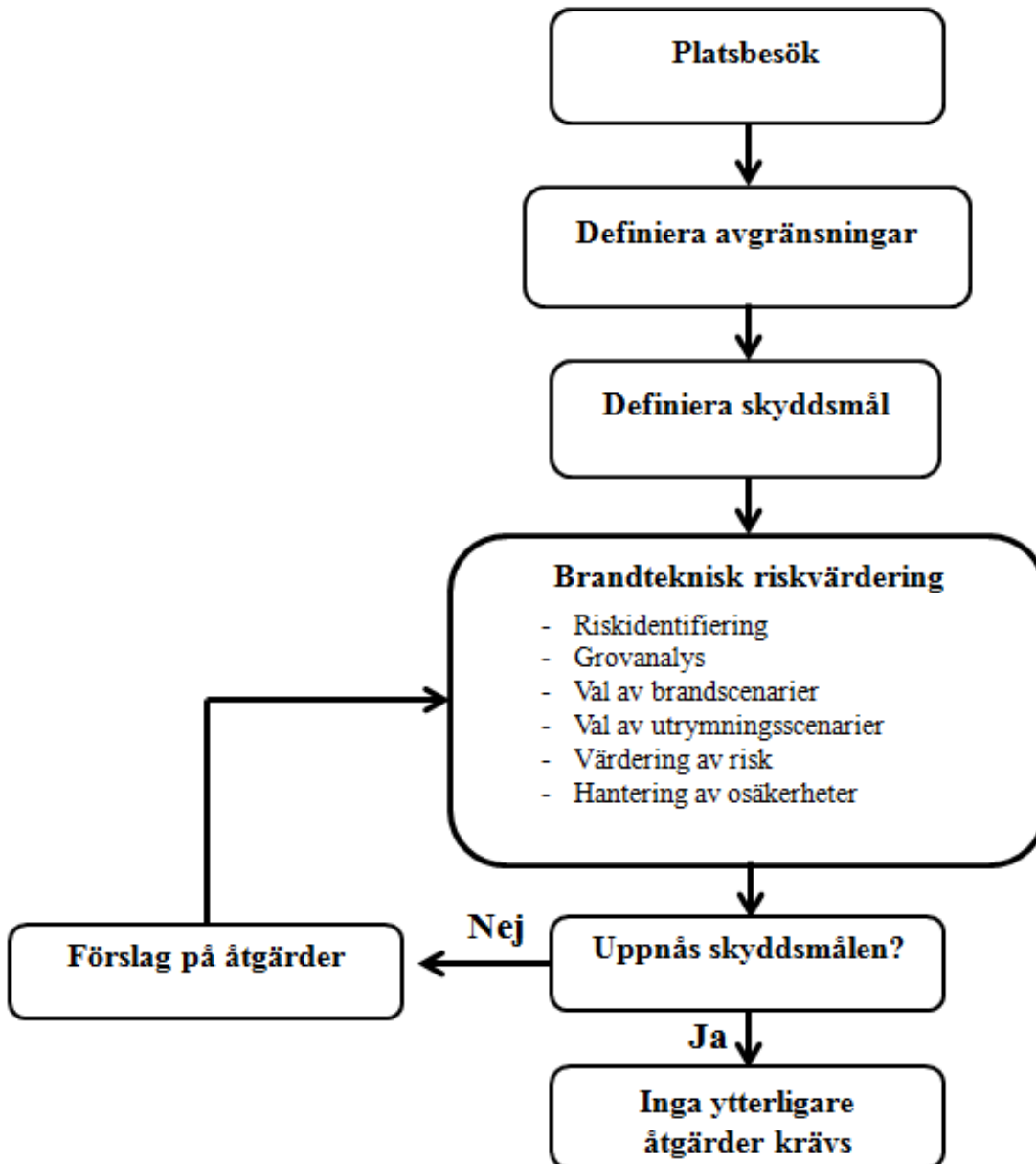
Syftet med rapporten är att göra en brandteknisk riskvärdering av Torpa Stenhus. Rapporten skrivs som ett led av utbildningen på Brandingenjörsprogrammet i Lund och utförs i kursen Brandteknisk riskvärdering (VBR054). Rapporten utfärdas för att i övnings syfte använda och vidareutveckla kunskaperna som under tidigare år under utbildningen erhållits.

### 1.3. Mål

Målet med rapporten är att värdera brandskyddet i Torpa Stenhus. Rapportens fokus ligger på personsäkerheten i byggnaden. Utifrån olika brandscenarier skall brandskyddet bedömas. Förslag på åtgärder skall ges så att brandskyddet anses tillfredställande.

### 1.4. Metod

I avsnittet redovisas tillvägagångssättet för rapportens genomförande.



Figur 1 - Metod för utförandet



#### **1.4.1. Platsbesök**

Arbetet inleds med ett platsbesök tillsammans med objektsägaren, handledare från LTH samt brandingenjörer från Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund. Syftet med platsbesöket är att författarna till rapporten skall få en uppfattning för hur byggnaden ser ut och vad det är för slags verksamhet som bedrivs. Förberedelser inför platsbesöket utförs där ritningar studeras och frågor till objektsägaren förbereds. Under platsbesöket undersöks det befintliga brandskyddet, potentiella tändkällor samt brandbelastning. Avståndsmätningar samt fotografering genomförs under vistelsen. Diskussion förs kring var eventuella brandscenarier anses ha störst sannolikhet att uppstå.

#### **1.4.2. Definiera skyddsmål och acceptanskriterier**

När platsbesöket genomförts definieras avgränsningar som utförs i rapporten. De skyddsmål och acceptanskriterier som gäller för Torpa Stenhus i rapporten bestäms. Avgränsningar, skyddsmål och acceptanskriterier tar hänsyn till personsäkerhet vid utrymning.

#### **1.4.3. Brandteknisk riskvärdering**

Den metodiken som tillämpas i riskvärderingen är händelseträdsanalys. I händelseträdet ingår tre olika brandscenarier vilka tas fram i en grovanalys. I händelseträdet ingår ytterligare tre händelseförgreningar som ger olika utrymningsscenarier. Således beaktas åtta olika utrymningsscenarier för vardera brandscenario. Totalt undersöks därmed 24 olika händelseutvecklingar.

I rapporten används en beräkningsmodell som syftar till att jämföra utrymningstiden med den tid det tar till att kritiska förhållanden uppstår. Varje händelseutveckling ger enskilda förutsättningar för såväl brand som utrymning. Genom att göra jämförelsen för samtliga händelseutvecklingar kan också slutsatser dras om huruvida brandskyddet är tillräckligt.

#### **1.4.4. Kontroll av skyddsmål och acceptanskriterier**

Analys sker genom handberäkningar, simuleringar och diskussion. Om brandsskyddet visar sig vara otillräckligt för att en säker utrymning av byggnaden skall kunna genomföras innebär det att skyddsmålet inte uppfylls. Då skall förslag på åtgärder definieras. Processen med utvärderingen är iterativ och förslag på åtgärder som förbättrar brandskyddet skall föreslås så att acceptanskriterierna uppfylls och skyddsmålet tillfredställs.

## 1.5. Avgränsningar

Omkring Torpa Stenhus finns byggnader som tillhör verksamheten så som festlokaler, övernattningsrum, café och restaurang. Rapporten avgränsas att omfatta enbart stenhuset och inte omkringliggande byggnader.

Den här rapporten inriktar sig på personsäkerhet och utesluter därför ekonomi- och miljöaspekter. Denna avgränsning inverkar på valen av de brandscenarier som kommer att analyseras. Brandscenarierna väljs på de platser i objektet som kan komma att påverka utrymningsmöjligheterna mest. Fokus ligger därmed framförallt på den tid mellan initialbranden och fram till slutförd utrymning där alla personer som befinner sig i byggnaden har utrymt till det fria.

För att avgränsa rapportens omfattning kommer inte samtliga brandscenarier som tagits fram genom grovanalys att utredas vidare. Rapporten behandlar de utvalda scenarier som anses ha störst risk.

Inga vidare analyser har genomförts för toxicitet utan skyddskriterierna avser främst en acceptabel nivå för temperatur, brandgaslagrets höjd, sikt och strålning. Detta på grund av att det är problematiskt att få fram lämpliga toxicitetsnivåer och därmed approximeras toxiciteten att löpa samman med kriteriet för brandgaslagrets höjd [31].

Rapporten avgränsas till att inte behandla byggnadens hållfasthet och bärande konstruktion. Antagandet görs att byggnadsintegriteten förblir intakt vid brandpåverkan. Dessa avgränsningar görs för att fokus ligger på utrymningen vid initialskedet av branden.

I rapporten har ingen hänsyn tagits till eventuella tryckuppbyggnader vid brand som leder till att fönster går sönder. Det tas inte heller någon hänsyn till fenomenet övertändning. Detta på grund av att relevansen för personsäkerhet i varje brandscenario är främst i det initiala skedet av branden. De nämnda företeelserna ligger i det senare brandförloppet varvid alla personer har hunnit utrymma byggnaden.

## 2. Objektsbeskrivning

*Kapitlet beskriver verksamheten och byggnadens utformning.*

### 2.1. Allmänt

Torpa Stenhus är en av Sveriges mest välbevarade sätesgårdar. Stenhuset uppfördes på 1470-talet och har gått i arv till dess nuvarande ägare. Den senaste större ombyggnationen av stenhuset skedde i slutet av 1600-talet i form av uppförandet av ett kapell i barockstil. Torpa Stenhus är en kulturminnesbyggnad belägen i Tranemo kommun, 2,5 mil öster om Borås och väster om sjön Åsunden, se Figur 2.

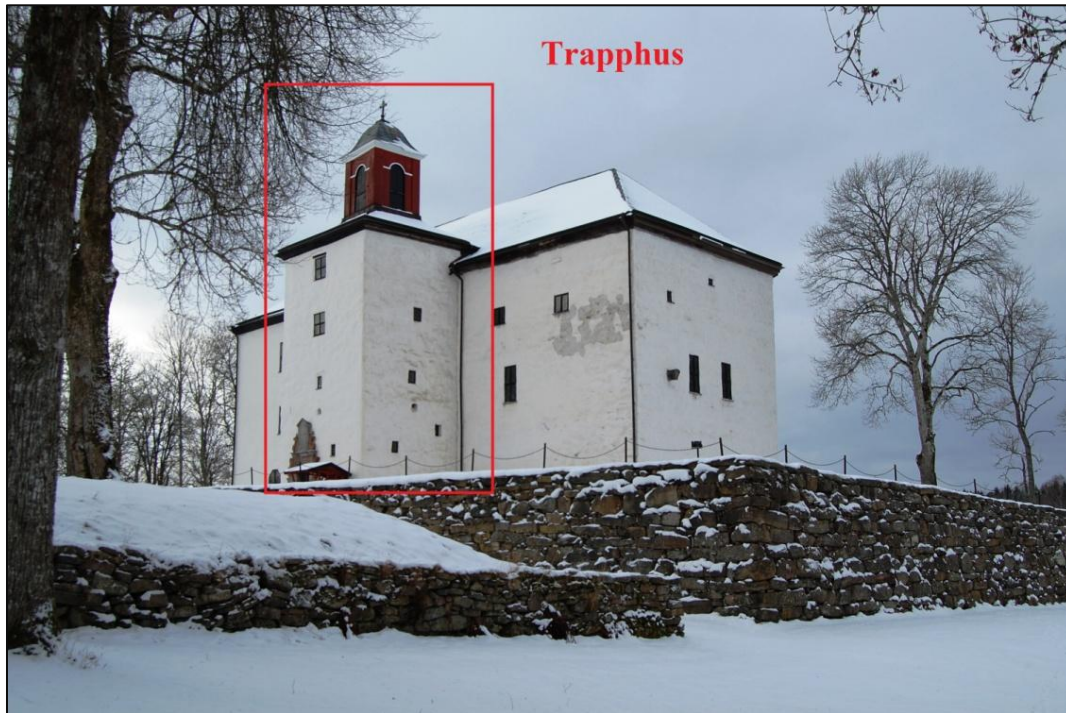
Torpa Stenhus skyddas som byggnadsminne genom kulturminneslagen, förstärkt skydd med plan- och bygglagen och förordningen om statliga byggnadsminnen. I samband med att en byggnad förklaras som ett byggnadsminne skall det upprättas skyddsföreskrifter som anger på vilket sätt byggnaden skall vårdas och underhållas samt hur den får ändras. Mer om föreskrifterna beskrivs i kapitel 3 [11].



Figur 2 – Trädallén fram till Torpa Stenhus

## 2.2. Byggnaden

Torpa Stenhus innefattas av fem våningsplan, källar- och vindsplan inkluderat, se Figur 3 för bild. Stenhusets ytterväggar är tjocka stenväggar och bjälklagen består av trä. Byggnaden har inget uppvärmningssystem och ventilationssystem utgörs av självdrag. Eldragningar har genomförts i byggnaden och arbetet är nu färdigställt efter fem års renovering. Om nätterna stängs strömmen av i byggnaden av säkerhetsskäl. Torpa Stenhus har inte någon åskledare eller dylikt [28].



Figur 3 - Den röda markeringen visar trapphuset i Torpa Stenhus

### 2.2.1. Trapphus

I Torpa Stenhus finns det endast ett trapphus som sammanbinder våningsplan 1-3. Vindsplanet ansluts till trapphuset via en trätrappa. Trapphuset består genomgående av sten och har ljushållare och lyktor utplacerade, se Figur 4.

Se Figur 3 och Figur 7 för fler bilder på trapphuset.

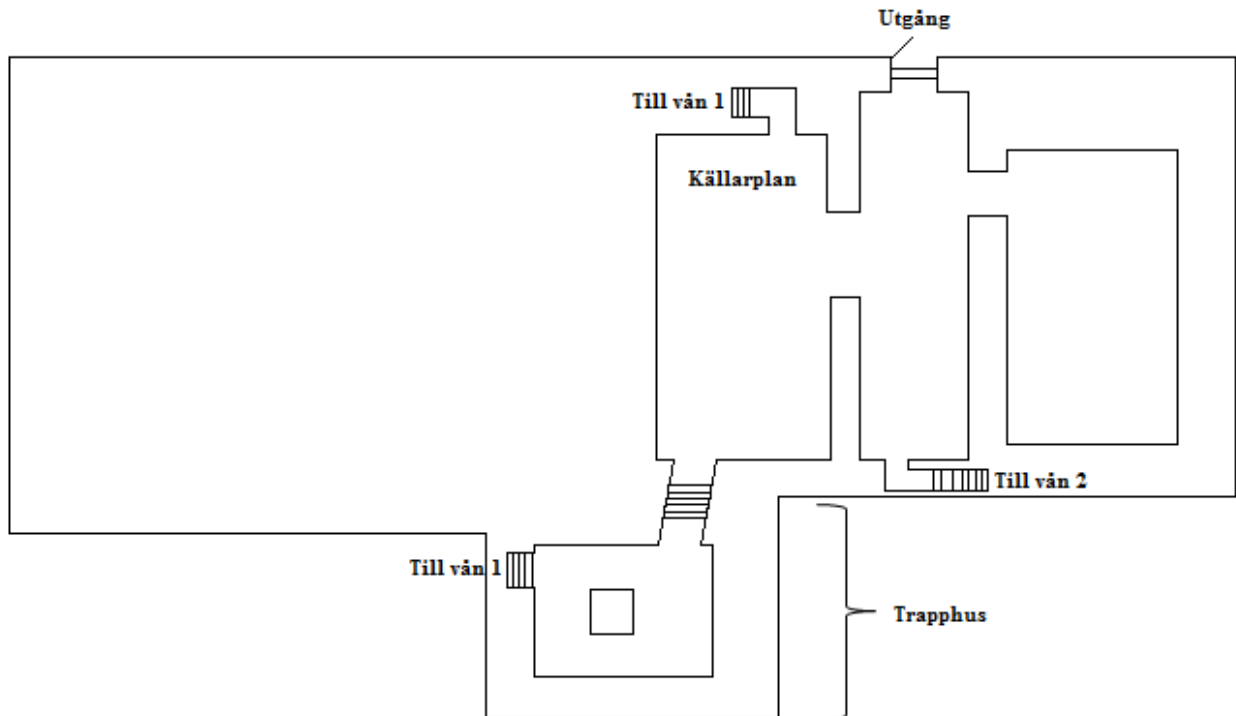


Figur 4 - Bild på trapphuset, tagen med dörren in till Gästrumsvåningen på våningsplan 3 i ryggen



### 2.3. Källarplan

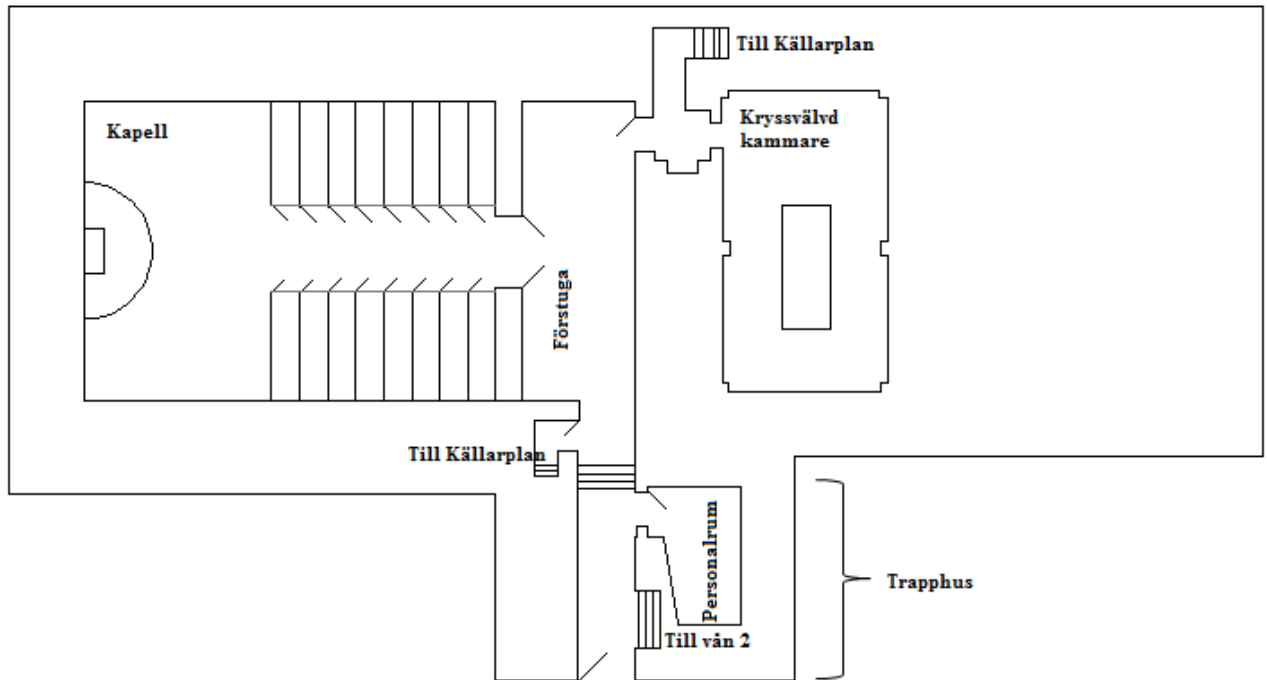
Källaren i Torpa Stenhus består av flera sammanlänkade rum och stentrappor. Två separata smala stentrappor leder från Förstugan på entréplan ner till Källarplanet. Det finns även en stentrappa som leder från Källarplanet direkt upp till Riddarsalen på våningsplan 2. Källarplanets byggnadsdelar består helt i sten. I Källarplanet finns också en dörr som leder ut till det fria som i dagsläget är låst med hänglås. Se Figur 5 för ritning över Källarplan.



Figur 5 – Ritning över Källarplan

## 2.4. Våningsplan 1

Det första våningsplanet innefattar Förmak, Förstuga, Kapell, Personalrum, Kryssvälvdkammare och två separata stentrappor som leder ner till Källarplanet. Via entrén passeras trapphuset på höger sida där trappan leder upp till ovanliggande våningsplan. I dagsläget är entrén den enda in- och utgången från stenhuset. Det är genomgående högt i tak på våningsplanet med golv och tak bestående av trä. Se Figur 6 för planritning över våningsplan 1.



Figur 6 - Ritning över våningsplan 1

### 2.4.1. Förstuga

Figur 7 visar entrén med trapphuset som sammanbinder våningsplanen och som leder in till Förstugan på första våningen. Förstugan är inredd med klädhängare, bänkar, bord och lokaliseringstavlor.



Figur 7 – T.v. Entré och de första trappstegen till trapphuset som sammanbinder våningsplanen  
T.h. Förstugan på våningsplan 1

### 2.4.2. Personalrum

Personalrummet är ett relativt litet rum där anställd personal har tillgång till bland annat vattenkokare, mikrovågsugn, klädhängare och andra förnödenheter som personalen kan behöva under sina arbetspass. Väggarna och innertaket i personalrummet består av sten och golvet är av trä.

### 2.4.3. Kapell

Inredningen i Kapellet består i huvudsak av bänkrader, ljusstakar och altare, se Figur 8. Lokalen används främst för vigslar och gudstjänster, men är även tillgängligt när Torpa Stenhus har öppet hus.

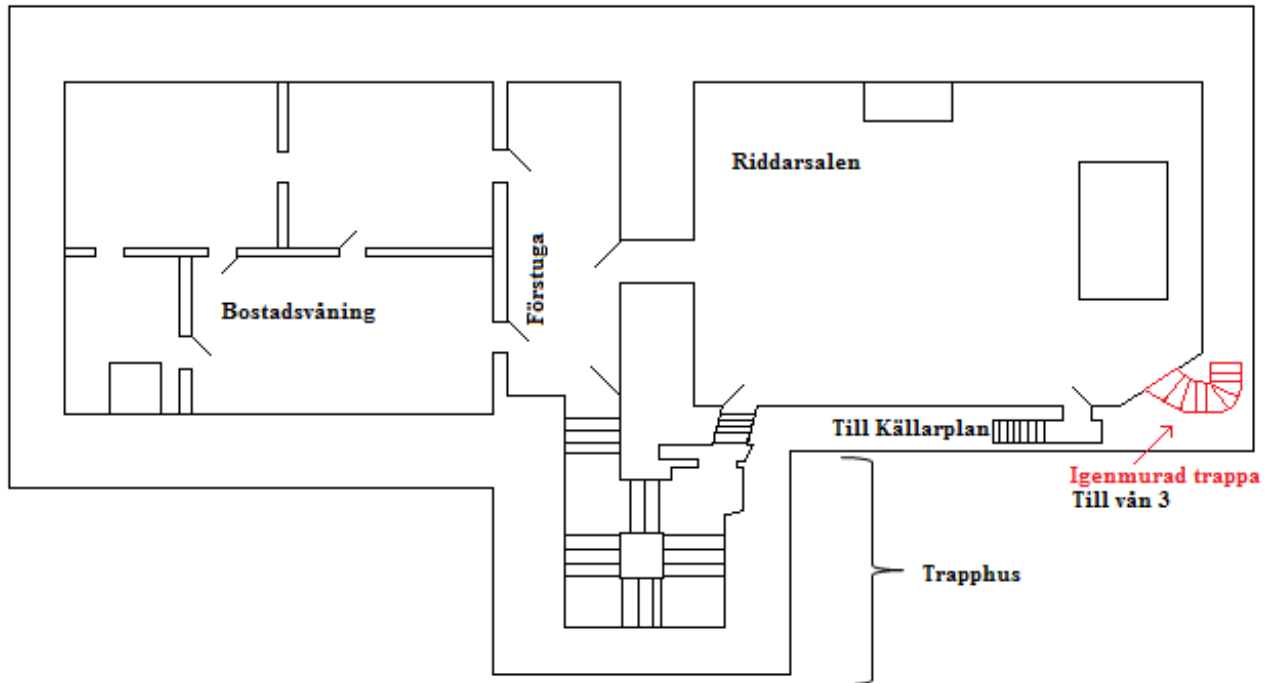


Figur 8 - T.v. höger sida av bänkraderna och predikstol  
T.h. altaret i Kapellet med fina dekorationer



### 2.5. Våningsplan 2

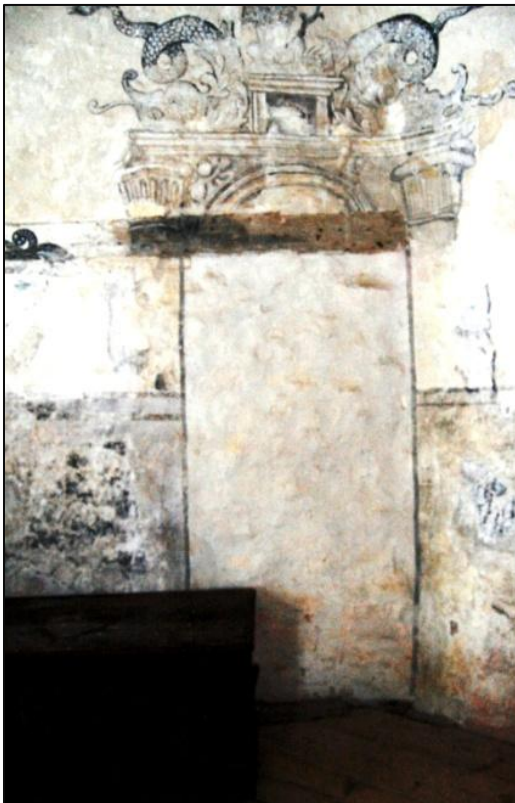
Det andra våningsplanet omfattar Riddarsalen, Bostadsvåningen och en Förstuga. Figur 9 visar en ritning över våningsplan 2, där syns att Förstugan och Riddarsalen kan nås via två ingångar från trapphuset. En igenmurad trappa är markerad i Figur 6, som vid sitt bruk ledde upp till våningsplan 3.



Figur 9 - Ritning över våningsplan 2

### 2.5.1. Riddarsal

Riddarsalen är en av de två stora salarna i byggnaden. I denna sal kan större evenemang anordnas och salen har en kapacitet på 100 personer. I Riddarsalen finns också en lång och smal trappa inne i stenväggen som leder ner till Källarplanet. Bredvid öppningen till väggtrappan finns en igenmurad dörröppning som en gång ledde upp till Gästrumsvåningen. I Riddarsalen syns bara en dörrpost som murats igen men från Gästrumsvåningen är trappan avstängd med ett staket. Trappan är alltså inte igenmurad hela vägen, se Figur 10. Vid evenemang i Riddarsalen är lokalen möblerad med långbord, stolar, kandelabrar och i den öppna spisen i salen finns blockljus placerade. Riddarsalens innerväggar består av sten medan golv och innertak består av trä, se Figur 13.



Figur 10 - T.v. igenmurad dörrpost som tidigare var en trappa som ledde upp till Gästrumsvåningen  
T.h. Riddarsalen möblerad med middagsbord

### 2.5.2. Bostadsvåning

För att komma till Bostadsvåningen passeras Förstugan som visas i Figur 11. Bostadsvåningen innefattar fyra rum som skiljs åt av väggar uppbyggda av träfiberskivor beklädda med väv. I denna del av våningsplanet är rummen möblerade för att visa hur rummen var inredda och dekorerade på 1500-talet och med diverse utställningsföremål. Rummen är inredda med middagsbord, skrivbord och utställningsobjekt. Se Figur 12 för bild på det största av rummen på Bostadsvåningen. På Bostadsvåningen finns det stearinljus och värmeljus utplacerade. Precis som Riddarsalen består även Bostadsvåningens golv och innertak av trä.



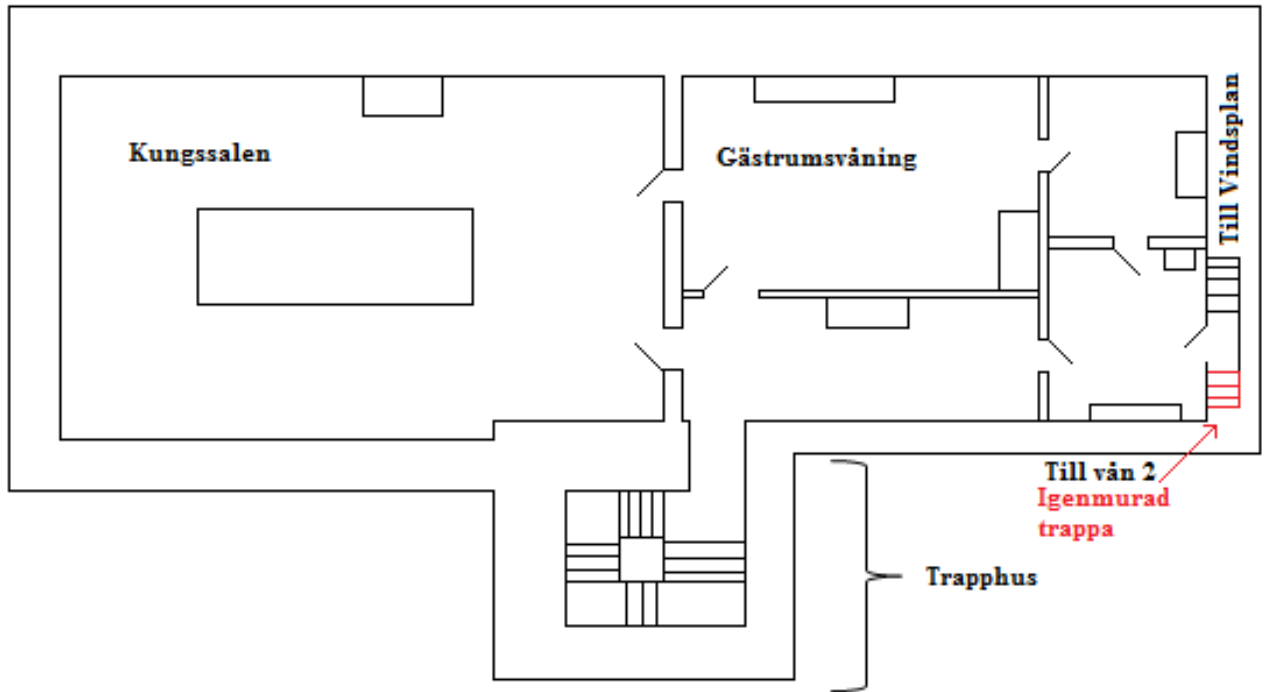
Figur 11 - Förstuga på våningsplan 2



Figur 12 - Det största rummet på Bostadsvåningen, inrett med tidsenliga möbler

## 2.6. Våningsplan 3

Det tredje våningsplanet omfattar Kungssalen och Gästrumsvåningen. På detta våningsplan finns ingen Förstuga, utan här entreras Gästrumsvåningen direkt från trapphuset. Vid platsbesöket noterades det att det inte finns någon dörr som avgränsar våningsplanet från trapphuset. I Figur 13 syns ritningen över våningsplanet där den igenmurade trappan som tidigare ledde ner till Riddarsalen är markerad.



Figur 13 - Ritning över våningsplan 3

### 2.6.1. Kungssal

Kungssalen är den största salen i Torpa Stenhus och är belägen på tredje våningsplanet. Salen används till bland annat bröllop och liknande evenemang där många gäster samlas. Inventarier och inredning varierar beroende på evenemang. Ljus är utplacerade i salen och de är oftast tända i samband med de olika evenemangen som anordnas. Det finns bland annat blockljus i den öppna spisen samt kandelabrar och väggfästa ljusstakar. I salen finns det stora tavlor och i normala fall finns ett stort dukat bord för tio personer som visar på ett tidsenligt middagsbord, se Figur 14. Innertaket samt golvet består av trä.





Figur 14 - Kungssal med vackra takmålningar och inredning

### 2.6.2. Gästrumsvåning

Intill Kungssalen finns det en Gästrumsvåning som är indelad i fyra rum där inredningen består av tidsenliga möbler och utställningsobjekt. Verksamheten i denna del av byggnaden inriktar sig på framförallt utställning. På Gästrumsvåningen finns det stearinljus och värmeljus utplacerade. Golv och innertak på Gästrumsvåningen består av trä. Från Gästrumsvåningen finns en trappa som leder direkt upp till Vindsplanet och i anslutning till den trappan finns den igenmurade stentrappan som tidigare nämnts. Den igenmurade trappan är från Gästrumsvåningen endast avstängd med ett staket och man kan titta ner i trappan och se att den längst ner svänger av, Figur 15 visar en bild tagen ner i trappan.

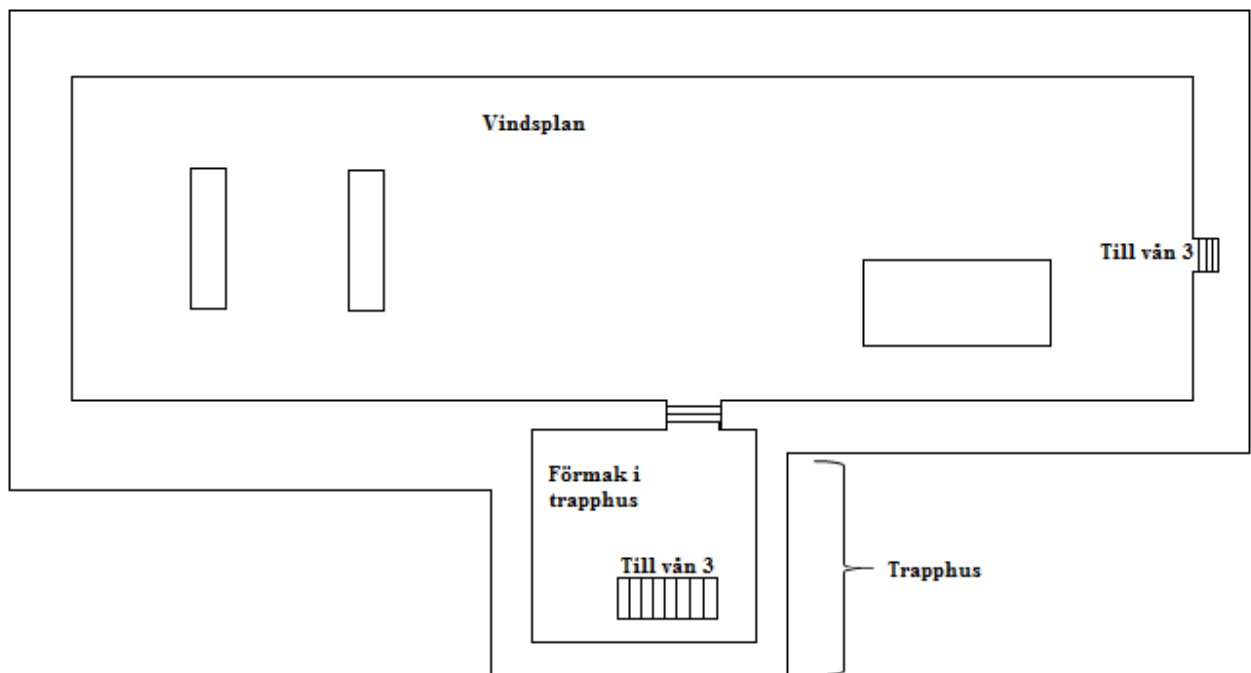


Figur 15 - Bild på den avstängda trappan som ledde ner till Riddarsalen

## 2.7. Vindsplan

Vindsvåningen på Torpa Stenhus nyttjas som ett utställningsområde och är helt uppbyggd av valmtakets träramverk, se Figur 17. I utrymmet finns det brännbart material i form av ett lagt trägolv, trätak, takstolar, utställningsmaterial samt ett bord med bänkar. På bordet finns några utplacerade värmeljuslyktor. Vindsvåningen kan inträdas via en brant trätrappa som är anslutet till ett litet förmak i det stora trapphuset, se Figur 18. Efter den smala trätrappan kan besökare ta sig vidare upp till utställningsområdet via en kortare trappansats i trä från trapphuset. Ytterligare en väg upp till Vindsplanet är trappan som går i stenväggen från Gästrumsvåningen, se Figur 18.

Ritning över Vindsplanet redovisas i Figur 16.



Figur 16 - Ritning över Vindsplan



Figur 17 – Vindsplanet och byggnadens träramverk, i bilden syns också tavlor för utställning



Figur 18 - T.v. trätrappan som leder från trapphuset vidare upp till Vindsplanet  
T.h. den andra trappan som leder upp till Vindsplanet från Gästrumsvåningen

## **2.8. Verksamhet**

Byggnaden är öppen för allmänheten och under sommarsäsongen anordnas bland annat bröllop, vigslar, gudstjänster, utställningar, konferenser och guidade turer. De tillställningar som anses påverka utrymningsmöjligheterna mest vid en eventuell brand kommer analyseras vidare i den här rapporten. Verksamheterna beskrivs i texten nedan.

### **2.8.1. Bröllop**

Vid bröllop hålls vigseln i Kapellet och gästerna hänvisas sedan upp till Riddarsalen för en brudskål på våningsplan 2. Efter brudskålen hålls bröllopsmiddagen i Kungssalen på våningsplan 3. Verksamheten har alkoholtillstånd och alkohol serveras i samband med middagen. Efter bröllopsmiddagar förflyttar sig gästerna till en festlokal i en intilliggande byggnad. Bröllopen brukar vanligtvis innefatta 60 gäster [28]. Dock är personkapaciteten 100 gäster i Riddarsalen respektive 110 gäster i Kungssalen. När bröllopsevenemang anordnas i stenhuset är byggnaden stängd för allmänheten och inga andra verksamheter bedrivs samtidigt.

### **2.8.2. Öppet hus**

Öppet hus innebär att det är utställningsverksamhet där gästerna som besöker stenhuset kan välja om de vill gå runt fritt i byggnaden på egen hand eller med en guide som visar dem runt. De dagar Torpa Stenhus är öppet för allmänhet är det maximalt 80 besökare i byggnaden [28].



### 3. Regelverk

*De regelverk som gäller vid utvärdering av brandskyddet i Torpa Stenhus redovisas i detta kapitel. Lagarna och föreskrifterna står till grund för skyddsmål och acceptanskriterier samt inom vilka ramar åtgärder är skäligena.*

#### 3.1 LSO

Lagen om Skydd mot Olyckor, SFS 2003:778, är den författningssamling som gäller för befintliga byggnader och innehåller regler som syftar till att skapa ett tillfredställande skydd mot olyckor. Den behandlar bland annat räddningstjänsten, den enskildes, statens och kommunens ansvarsområden [25].

#### 3.2 PBL

PBL – Plan- och Bygglagen innehåller bestämmelser om planläggning av mark och vatten samt om byggande. PBL är den överordnade lagen dit bestämmelser för brandskydd tillhör. Till PBL finns därför ett stort antal olika regel- och författningssamlingar där krav och råd är formulerade mer detaljerat, till exempel BFS som redovisas under nästa rubrik.

#### 3.3 BFS

BFS – Boverkets Författningssamling innehåller föreskrifter för en rad olika områden och däribland byggregler samt analytisk dimensionering av brandskydd. Denna författningssamling gäller främst för ny- och ombyggnation, men kan användas som stöd vid utvärdering och dimensionering av befintliga byggnaders brandskydd.

Brandskyddet för byggnader skall projekteras, utformas och verifieras genom förenklad – eller analytisk dimensionering. Förenklad dimensionering innebär att brandskyddet utfärdas utifrån Boverkets byggregler och standarder.

Analytisk dimensionering betyder att föreskrifterna i BBR uppfylls på ett annat sätt än förenklad dimensionering. Det innebär att byggnadens brandskydd utformas med hjälp av kvalitativa bedömningar, scenarioanalys, kvantitativa riskanalyser eller genom motsvarande metoder.

##### 3.3.1 BBR

BBR – Boverkets byggregler innehåller föreskrifter och allmänna råd om tillgänglighet, hälsa, miljö och brandskydd. En byggnads brandskydd skall nå upp till de föreskrifter som finns i BBR. Med förenklad dimensionering uppfylls föreskrifterna genom att tillämpa de metoder och lösningar som anges i BBR. Nedan följer några av kraven för brandskydd från BBR:

###### 3.3.1.1 Brandceller

Brandcellsindelning är en byggnadsteknisk lösning för att dela upp en byggnad i celler som skall motstå brand- och brandgasspridning under en viss tid. En brandcell skall säkra utrymning och förhindra brandspridning till intilliggande brandceller.

### 3.3.1.2 *Byggnadsklasser*

Byggnader delas in i byggnadsklasser som bestämmer vilka krav byggnadens brandskydd skall utformas efter. Byggnader med ett *mycket stort* skyddsbehov skall utformas i byggnadsklass Br0 och en byggnad med *stort* skyddsbehov har i sin tur byggnadsklass Br1 och så vidare. Beroende på vilken byggnadsklass byggnaden har, ställs olika krav på vissa delar av brandskyddet.

### 3.3.1.3 *Dörrstängare*

För att säkerställa att brandcellsgränserna upprätthåller sin funktion skall dörrstängare installeras när detta är en förutsättning för brandskyddets utformning.

### 3.3.1.4 *Vägledande markeringar*

Vägledande markeringar i form av exempelvis utrymningsskyltar skall finnas i utrymmen som är svårorienterade.

### 3.3.1.5 *Nödbelysning*

I samlingslokaler och dess utrymningsvägar skall nödbelysning finnas. Vid strömavbrott skall nödbelysningen under minst 60 minuter ge avsedd belysning.

## 3.3.2 **BBRAD**

BBRAD – Boverkets råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd. För att uppfylla föreskrifterna i BBR med analytisk dimensionering finns BBRAD att tillgå.

## 3.4 **Kulturhistoriskt värdefulla byggnader**

För en byggnad som är kulturhistoriskt värdefull finns det flera lagar som är nödvändiga att känna till vid arbete med brandskydd [11].

### 3.4.1 **LSO**

Lagen säger att ägaren/innehavaren skall förbereda förebyggande åtgärd i skäligen omfattning vilket till exempel kan motsvara krav på utbildning av personal i form av ett systematiskt brandskyddsarbete och dokumentation. Med skäligen innebär att åtgärder skall övervägas med rimlighet av kostnader och hänsyn till det kulturhistoriska värdet samt människors säkerhet.

Ur SFS 2003:778 [24]:

*”Ägare eller innehavare av byggnader eller andra anläggningar skall i skäligen omfattning hålla utrustning för släckning av brand och för livräddning vid brand eller annan olyckshändelse och i övrigt vidta de åtgärder som behövs för att förebygga brand och för att hindra eller begränsa skador till följd av brand.”*

### 3.4.2 **Kulturminneslagen**

Byggnader av stort kulturhistoriskt värde som inte tillhör staten kan förklaras som byggnadsminne enligt kulturminneslagen. När en byggnad förklaras som byggnadsminne skall skyddsföreskrifter upprättas som beskriver på vilket sätt byggnaden skall vårdas, underhållas och på vilket sätt den får ändras. I frågor om förändringar är det länsstyrelsen som är tillsynsmyndighet och har möjlighet att godkänna förändringar i konstruktionen, om det anses skäligen [23].

### 3.4.3 Förordningen om statliga byggnadsminnen

De byggnader som är statligt ägda skyddas av förordningen om statliga byggnadsminnen och kan förklaras som statliga byggnadsminnen. Hit hör bland andra kungliga slott och försvarsanläggningar. Ett statligt byggnadsminne skyddas på samma sätt som ett byggnadsminne enligt kulturminneslagen. Tillsynsmyndigheten som handlägger frågor om ändringstillstånd i byggnaderna är Riksantikvarieämbetet [9].

### 3.4.4 PBL

Plan- och Bygglagen, som är beskriven i 3.2. Enligt PBL får inte kulturhistoriskt värdefulla byggnader förvankas. Byggnader som skyddas av denna lag finns ofta förtecknade i kommunen.

## 3.5 Gällande för Torpa Stenhus

Torpa Stenhus är en kulturminnesbyggnad och skyddas därför av ovanstående lagar och regler. På grund av detta har få ingrepp i byggnadens konstruktion utförts sedan en ombyggnation på 1600-talet. För att nå upp till ett godkänt brandskydd krävs att utvärdering och dimensionering av brandskyddet måste utföras analytiskt.

I vidare arbete tas hänsyn till att byggnaden skyddas enligt förordningen om statliga minneslagar och inte är flexibel för förändringar. Viktigt att poängtera är att kulturminnesskyddet inte är överordnad personsäkerheten i byggnaden. Det innebär att om personsäkerheten inte går att garantera finns det två alternativ. Antingen förbättra brandskyddet så att personsäkerhet kan säkerställas, vilket kan innebära ingrepp i byggnadens konstruktion, eller avstå från att låta människor vistas där. Som tidigare nämnt är målet att säkerställa brandskyddet i Torpa Stenhus, självklart med kulturminnesskyddet i åtanke.

Skyddsåtgärderna och acceptanskriterierna i rapporten baseras på BBRAD. Den brandtekniska utvärderingen utgår från LSO, med stöd av föreskrifterna i BBR.



## 4 Befintligt brandskydd

*I kapitlet beskrivs stenhusets brandskyddssystem, räddningstjänstens förutsättningar och systematiskt brandskyddsarbete. I avsnitt 4.8 finns ritningar som redovisar placering av handbrandsläckare, utrymningslarm, detektorer samt utrymningsskyltar.*

### 4.1 Systematiskt brandskyddsarbete

På Torpa Stenhus brukar personalen vanligtvis bestå av fyra säsongsanställda samt serveringspersonal som varierar med vilka evenemang som anordnas. Personalen är väl förtrogen med lokalen och har fasta rutiner vid anordnade evenemang [28].

Bestämmelserna i LSO anger att det är skäligt för varje verksamhet att bedriva systematiskt brandskyddsarbete och att det skall dokumenteras [25]. En del av det systematiska brandskyddsarbetet vid Torpa Stenhus är i form av utbildning av personal som ges i början av varje säsong. Årligen kontrolleras även brandskyddssystemen så som detektorer och handbrandsläckare [28].

### 4.2 Detektionssystem

Torpa Stenhus är utrustat med totalt 17 rökdetektorer som skall detektera vid händelse av brand. Var samtliga detektorer är placerade på de olika våningsplanen redovisas i Figur 19-Figur 23.

I byggnaden finns det en analog detektorcentral av märket Microsec Ms 4. Centralen är placerad vid trappan som leder från Förstugan på första våningen till Källarplanet. Rökdetektorerna är av märket Microsec 2351 [28].

Om en detektor skulle sluta fungera varnar den inte centralenheten utan istället börjar en lampa på detektorn blinka. Systemet är kopplat till länsförsäkringarnas larmcentral och har en batteribackup som skall motverka nätbortfall [28].

### 4.3 Utrymningslarm

I Torpa Stenhus finns utrymningslarm placerade enligt Figur 19-Figur 23. Om livemusik spelas i salarna vid de olika evenemangen förväntas detta inte påverka hörbarheten av brandlarm eller utrymningslarm då de är strategiskt placerade [28].

### 4.4 Utrymning och utrymningsskyltar

Torpa Stenhus har endast en utrymningsväg som leder ut till det fria och det är genom entrén. I stenhuset finns vägledande markeringar i form av icke genomlysta utrymningsskyltar. Dessa är utplacerade på varje våningsplan enligt Figur 19-Figur 23.

### 4.5 Handbrandsläckare

Det finns handbrandsläckare utplacerade i Torpa Stenhus i form av 5 kg pulversläckare. I Figur 19-Figur 23 redovisas handbrandsläckarnas placering på de olika våningsplanen.

## 4.6 Bandcellsindelning

Byggnaden saknar brandcellsindelning.

## 4.7 Räddningstjänst

Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund har uppskattat körtiderna som det tar för Räddningstjänsterna i området runt Torpa Stenhus att ta sig till platsen. Körtiderna redovisas i Tabell 1. Körsträckan är relativt lång från Borås vilket medför stora svårigheter för räddningstjänsten att hinna fram för att påbörja insats innan utrymning av byggnaden redan är genomförd [8].

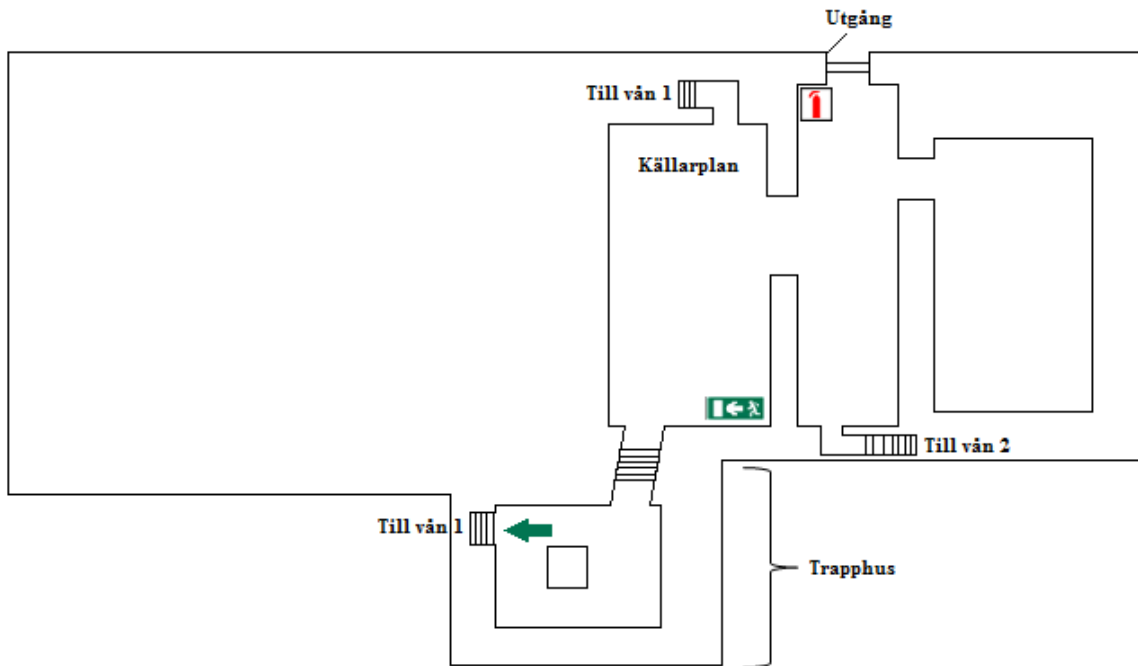
Tabell 1 – Körtider för räddningstjänster i området kring Torpa Stenhus

Räddningstjänst	Körtid[min]
Borås stegbil (heltid)	30
Borås insatsledare (heltid)	25
Vegby släckbil (deltid)	7 – 15
Vegby ledningsbuss (deltid)	7 – 15
Limmared släckbil (deltid)	7 – 20

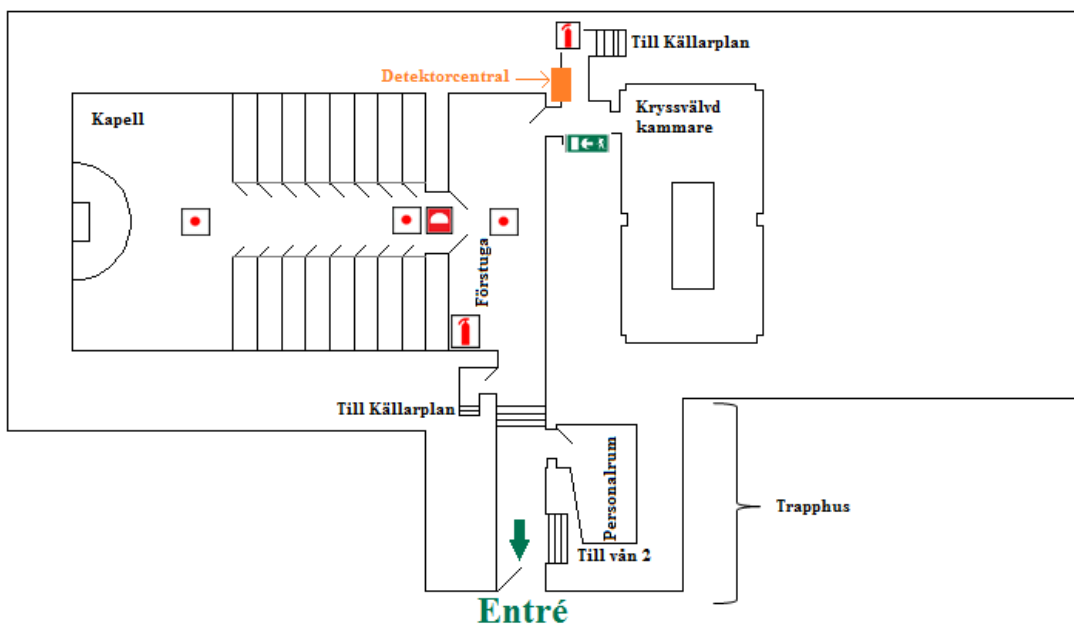
## 4.8 Ritningar över brandskyddssystem

I avsnittet finns ritningar över alla våningsplan med utplacerade detektorer, handbrandsläckare, utrymningsskyltar och utrymningslarmdon. De symboliseras enligt nedan:

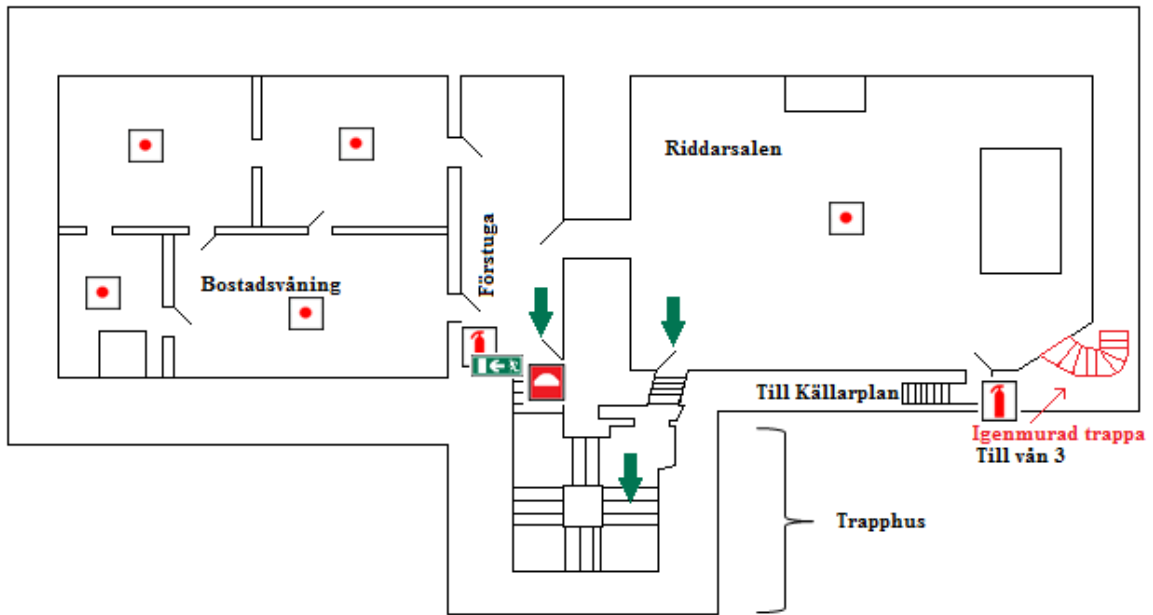
-  Utrymningslarm
-  Handbrandsläckare
-  Detektor
-  Utrymningsskylt
-  Utrymningsväg



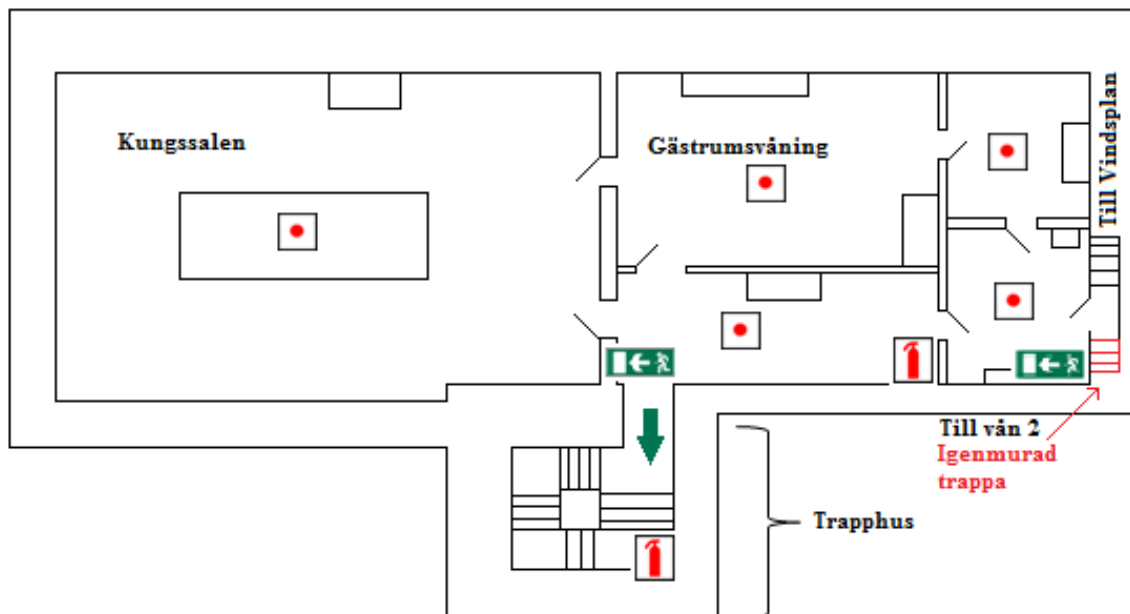
Figur 19 – Källarplan



Figur 20 – Våningsplan 1

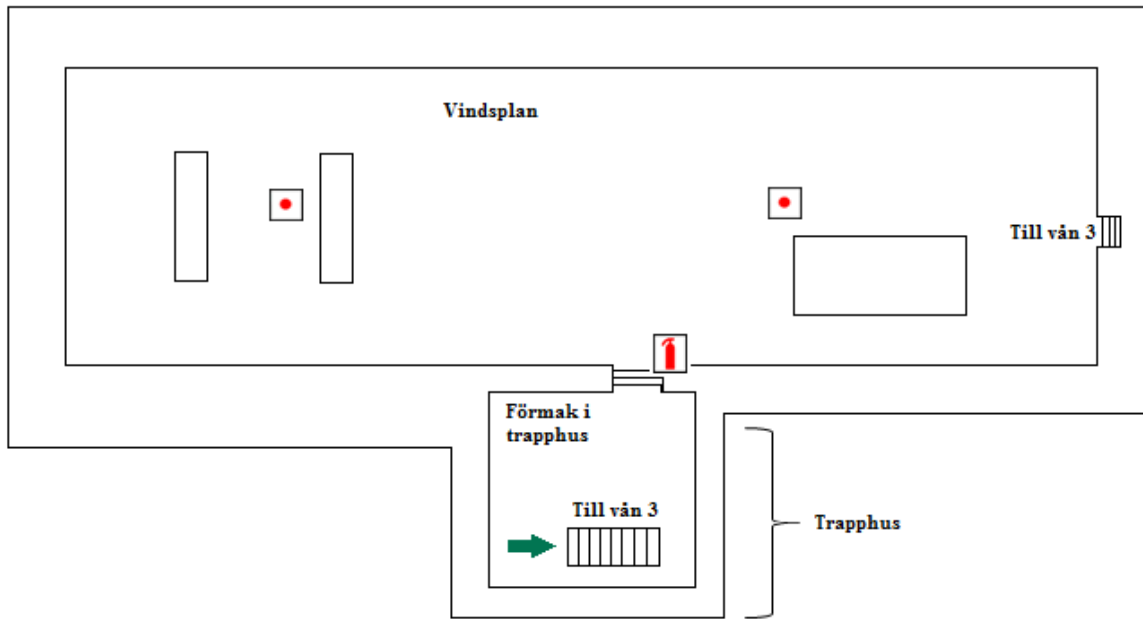


Figur 21 – Våningsplan 2



Figur 22 – Våningsplan 3





Figur 23 – Vindsplan



## 5 Mål för brandskydd

I kapitlet beskrivs skyddsmålet samt de acceptanskriterier som den analytiska dimensioneringen av brandskyddet i Torpa Stenhus skall uppfylla.

### 5.1 Skyddsmål

Skyddsmålet definieras som att de personer som vistas i byggnaden skall kunna genomföra en säker utrymning. I BBR, avsnitt 5:31 [1], står följande:

*”Byggnader skall utformas så att det ges möjlighet till tillfredsställande utrymning vid brand. Med tillfredsställande utrymning avses att personer som utrymmer, med tillräcklig säkerhet, inte utsätts för nedfallande byggnadsdelar, hög temperatur, hög värmestrålning, giftiga brandgaser eller dålig sikt som hindrar utrymning till en säker plats.”*

### 5.2 Acceptanskriterier

Boverket har formulerat ett antal acceptanskriterier som anses vara en godtagbar exponering för människor vid utrymning. När acceptanskriterierna överskrids uppstår kritiska förhållanden och en säker utrymning är inte genomförbar. Valda acceptanskriterierna redovisas i Tabell 2 [2].

Tabell 2 – Nivå för kritisk påverkan vid analys av utrymningssäkerhet

Kriterium	Nivå
Brandgaslagrets nivå ovan golv	Brandgasnivå lägst $1.6 + (0.1 \cdot H)$ meter, där H är rumshöjden
Siktbarhet, 2.0 m ovan golv	10.0 meter i utrymmen $> 100 \text{ m}^2$ 5.0 meter i utrymmen $\leq 100 \text{ m}^2$
Värmestrålning	Max $2.5 \text{ kW/m}^2$
Temperatur	Max $80 \text{ }^\circ\text{C}$
Toxicitet, 2.0 meter ovan golv	Kolmonoxidkoncentration $[\text{CO}] < 2000 \text{ ppm}$ Koldioxidkoncentration $[\text{CO}_2] < 5 \%$ Syrgaskoncentration $[\text{O}_2] > 15 \%$

När utvärderingen av brandscenarierna genomförs i rapporten kommer, som nämnts i avgränsningar, toxiciteten gå in under kriteriet för brandgaslagret. Därför sammanfaller acceptanskriteriet i brandgaslagrets nivå över golv [31].



## 6. Tillvägagångssätt för riskanalys

*I kapitlet presenteras det tillvägagångssätt på vilket riskanalysen kommer att genomföras.*

### 6.1. Riskidentifiering

Riskidentifieringen är en grundläggande del av riskanalysen. I princip är det riskidentifieringen som avgör analysens innehåll eftersom det endast är de risker som identifieras som kommer att analyseras. Fokus vid riskidentifieringen är att skapa en så heltäckande bild som möjligt av de potentiella riskerna som förekommer i byggnaden.

### 6.2. Grovanalys

De identifierade riskerna, eller skadehändelserna, kommer i grovanalysen att bedömas halv-kvantitativt. Det innebär att de kommer tilldelas ett värde på en femgradig skala som beskriver den relativa sannolikheten och konsekvensen. Dessa två faktorer vägs sedan samman för vardera av de identifierade skadehändelserna och sammanställs i en riskmatris.

Sannolikhetsbedömningen uttrycker det inbördes förhållandet mellan de olika skadehändelserna. Huvudsakligen är det bedömningar som ligger till grund för det tilldelade värdet.

Konsekvensbedömningen beskriver hur stor konsekvensen förväntas bli, med avseende på personsäkerhet och utrymning, då brand uppstår.

### 6.3. Val av brandscenarier

Det optimala är att utreda samtliga brandscenarier som kan förekomma i byggnaden. För att avgränsa rapportens omfattning tas representativa brandscenarier fram. Med riskmatrisen som underlag väljs de brandscenarier som tros medföra den största risken, för vidare analys. Då brandskyddet fungerar tillfredställande i de representativa brandscenarierna anses det fungera tillfredställande för samtliga brandscenarier som kan förkomma i byggnaden.

### 6.4. Val av utrymningsscenarier

Förhållandet som råder i byggnaden förändras hela tiden. Vilka förhållanden som råder är också direkt avgörande för hur utrymningen kommer att te sig. För att ta hänsyn till denna variation konstrueras ett händelseträd där avsikten är att skapa en vältäckande bild av de händelseutvecklingar som kan förekomma. Händelseträdet förgreningar utgörs av de händelser som förmodas ha störst påverkan på utrymningstiden och samtidigt är att betrakta som sannolika. De händelseutvecklingar som händelseträdet beskriver kan tidsskattas genom beräkningar och rekommenderade värden.

### 6.5. Riskvärdering

När brandscenarier och utrymningsscenarier är fastställda utvärderas dessa för att skapa en bild av hur väl fungerande brandskyddet är och huruvida skyddsmålen uppfylls. Analysmetoden som tillämpas i riskvärderingen går ut på att jämföra utrymningstiden med tiden till kritiska förhållanden för varje enskild händelseutveckling. Ett resultat erhålls i form av en tidsmarginal samt andelen personer som utsätts för kritiska förhållanden i vardera händelseutveckling. Resultatet från beräkningarna utgör ett underlag för bedömning av hur väl brandskyddet i byggnaden fungerar. Om resultatet visar att brandskyddet inte uppfyller skyddsmålet föreslås åtgärder som ombesörjer detta. Förutsättningarna som de vidtagna åtgärderna ger genererar nya tider för utrymning och kritiska förhållanden. Genom att återigen ställa upp händelseträdet kan åtgärdernas effektivitet verifieras och jämföras med skyddsmålet för en ny bedömning av brandskyddet.

## **6.6. Osäkerhetsanalys**

Genomförandet av riskanalysen är förenad med en mängd osäkerheter. Oavsett vilket underlag beräkningen baseras på och vilka beräkningsmodeller som tillämpas kommer en viss grad av osäkerhet alltid att finnas med. Riskvärderingen följs därför av en osäkerhetsanalys med syfte att skapa en uppfattning av de osäkerheter som finns med och hur de påverkar resultatet.

## 7. Riskidentifiering

I kapitlet identifieras vilka risker som förekommer i byggnaden och statistik för bränder som uppstått i miljöer som kan liknas med Torpa Stenhus redovisas.

### 7.1 Statistik

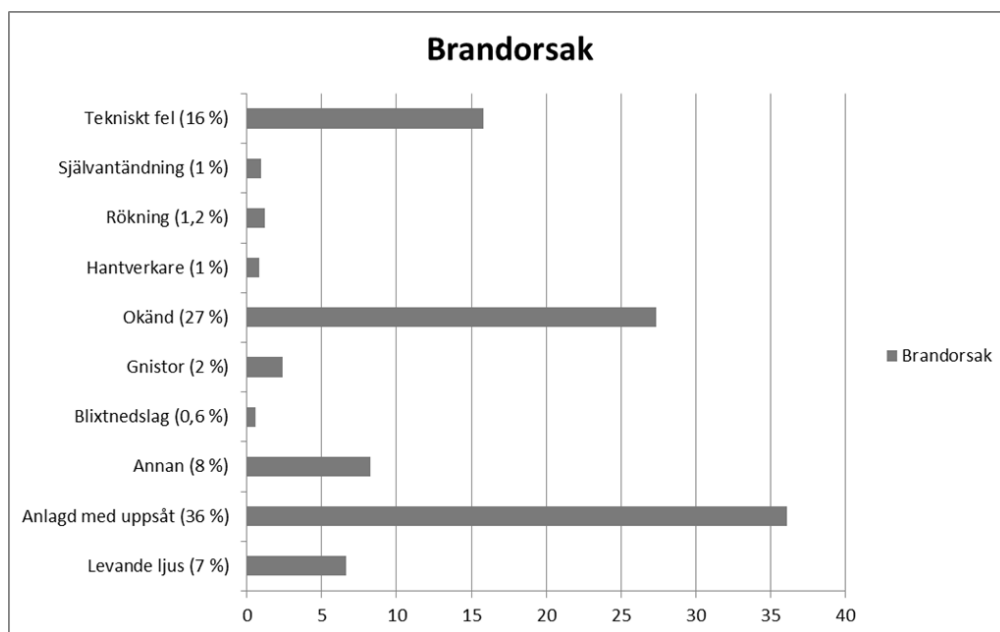
Statistiken är hämtad från MSB's statistikdatabas IDA [7]. Målet är att statistiken skall ge ett brett underlag och samtidigt vara representativt. I statistiken har följande byggnadstyper inkluderats:

- Annan allmän byggnad
- Kyrka/motsvarande
- Teater/biograf/museum

För att öka representativiteten ytterligare har brandorsaker begränsats till de som förväntats kunna förekomma i byggnaden. Statistiken ger således ett mått på hur de brandorsaker som kan förekomma i Torpa Stenhus förhåller sig till varandra. Statistiken redovisas i Tabell 3 och i Figur 24.

Tabell 3 - Tabell över brandorsaker och dess sannolikhet

Brandorsak	Antal insatser	Sannolikhet
Tekniskt fel (16 %)	134	0,1580
Självantändning (1 %)	8	0,0094
Rökning (1,2 %)	10	0,0118
Hantverkare (1 %)	7	0,0083
Okänd (27 %)	232	0,2736
Gnistor (2 %)	20	0,0236
Blixtnedslag (0,6 %)	5	0,0059
Annan (8 %)	70	0,0826
Anlagd med uppsåt (36 %)	306	0,3608
Levande ljus (7 %)	56	0,0660
<b>Alla brandorsaker</b>	<b>848</b>	



Figur 24 – Brandorsaker

### **7.1.1 Levande ljus**

Det finns ett stort antal levande ljus utplacerade i byggnaden. De förekommer exempelvis i form av blockljus, värmeljuslyktor, kandelabrar och väggfästa ljusstakar. För att bedöma hur de levande ljusen påverkar sannolikheten i ett visst scenario tas hänsyn till antalet ljus i utrymmet där branden startar samt vilka typer av ljus och vilket material ljusen omges av.

### **7.1.2 Anlagd brand**

Anlagd brand är enligt statistiken den vanligaste brandorsaken i byggnader som kan liknas med Torpa Stenhus. Detta avspeglar dock inte helt förhållandena i Torpa Stenhus då byggnaden är belägen på en avlägsen plats till skillnad från majoriteten av de byggnader som statistiken berör. Trots det är det fortfarande en betydande riskfaktor som tas med i bedömningen. För att bedöma hur denna faktor påverkar sannolikheten att brand uppkommer tas hänsyn till hur tillgängligt brandens startutrymme är för allmänheten. Då det rör sig om en byggnad med utställningsverksamhet är i princip samtliga utrymmen fritt tillgängliga, därmed förändras inte deras inbördes förhållande på grund av denna faktor.

### **7.1.3 Elradiator**

I byggnaden finns totalt två elradiatorer. Vilken kategori elradiatorer tillhör är svårtolkat statistiken men detta ses som en potentiell brandorsak. En elradiator kan få höga yttemperaturer och skulle radiatorn övertäckas finns en risk att en brand uppstår. För att bedöma vilken risk detta medför tas hänsyn till omgivande material.

### **7.1.4 Tekniskt fel**

Enligt den framtagna statistiken är tekniskt fel en förhållandevis vanlig brandorsak. Elsystemet inne i Torpa Stenhus har blivit renoverat under de senaste 4-5 åren och arbetet är nu färdigställt. Eldragningar är jämt fördelade i byggnaden och påverkar inte brandscenariernas inbördes förhållande, med avseende på sannolikhet.



## 8. Grovanalys

*Kapitlet innehåller beskrivning av sannolikhets- och konsekvensbedömning, brandscenarier samt riskmatris.*

### 8.1 Sannolikhet

I riskidentifieringen har potentiella brandorsaker identifierats. Då statistiken inte berör den faktiska byggnaden utan liknande byggnader är den inte helt representativ. Statistiken behandlas i första hand som ett underlag för vilka brandorsaker som bör vägas in i bedömningen samt hur de förhåller sig till varandra. Omgivningens utseende kring en potentiell tändkälla har också betydelse. Bedömningen av sannolikheten är huvudsakligen subjektiv. Scenarierna bedöms på en skala 1-5 och beskriver hur de olika scenarierna förhåller sig till varandra med avseende på sannolikhet för uppkomst av brand. Bedömningsskalan och sannolikheten som den motsvarar redovisas i Tabell 4.

Tabell 4 - Klassificering av sannolikhet

Värde	Sannolikhet
1	Mycket låg
2	Låg
3	Medel
4	Stor
5	Mycket stor

### 8.2 Konsekvens

Med konsekvens avses hur människorna som är i byggnaden påverkas vid brand. För att bedöma hur stor konsekvensen blir då en brand uppstår i ett visst utrymme tas hänsyn till hur mycket brännbart material som finns i rummet i förhållande till rummets volym. Det har även betydelse för konsekvensen hur rummet där branden uppstår förhåller sig till trapphuset eftersom det är byggnadens enda utrymningsväg. Ytterligare en faktor som vägs in i konsekvensbedömningen är om det finns personer närvarande i brandens initialske. Detta kan komma att ha betydelse för brandens fortsatta förlopp. Scenarierna bedöms på en skala 1-5 och beskriver hur scenarierna förhåller sig till varandra med avseende på konsekvens. Bedömningsskalan och konsekvensen som den motsvarar redovisas i Tabell 5.

Tabell 5 - Klassificering av konsekvens

Värde	Konsekvens
1	Mycket låg
2	Låg
3	Medel
4	Stor
5	Mycket stor

### 8.3 Scenario 1 - Brand på Källarplan

På Källarplan finns det begränsat med brännbart material, se Figur 25. Om brand uppstår förväntas inte det befintliga materialet vara tillräckligt för att branden skall kunna utvecklas och generera brandgaser i sådan mängd att det påverkar utrymningen. Med detta som grund bedöms konsekvensen av en brand på Källarplan till 1.

På Källarplanet finns ett antal ljus utplacerade. Ljusen anses vara den största potentiella brandkällan. På grund av omgivningen och de material som finns på Källarplanet bedöms det osannolikt att en brand skulle uppstå. Sannolikheten att en brand uppstår på Källarplan bedöms till 1.

Konsekvens: 1

Sannolikhet: 1



Figur 25 - Första kammaren dit trappan leder från Förstugan på våningsplan 1

### 8.4 Scenario 2 - Brand i Kapellet

Kapellet har inredning i form av bänkrader, altare och textilier, se Figur 26. I förhållande till lokalens volym är mängden brännbart material relativt låg. I händelse av brand kommer de producerade brandgaserna snabbt nå Förstugan och vidare ut i trapphuset och förväntas därmed ha en betydande påverkan på utrymningen. Med detta som grund bedöms konsekvensen av en brand i Kapellet till 4.

Det finns ett antal ljus utplacerade i Kapellet och dessa anses vara den troligaste tändkällan. Stundtals är det hög aktivitet i Kapellet och de ljusstakarna som ljusen står i är relativt instabila. Sannolikheten att en brand uppstår i Kapellet bedöms till 3.

Konsekvens: 4

Sannolikhet: 3



Figur 26 - T.v. altaret och bänkraderna i Kapellet

T.h. Förmak/Entré (dörröppningen direkt till vänster i bilden är dörren till Personalrum)

### 8.5 Scenario 3 - Brand i Personalrum

Personalrummet har inredning i form av stolar, kläder, hyllor, radiator och bord, se Figur 27. Det är mycket brännbart material i förhållande till rummets volym, det är också det rum i byggnaden där övertändning förväntas ske inom kortast tid. Det faktum att rummet ligger i direkt anslutning till trapphuset innebär att en brand i utrymmet kommer ha en mycket betydande påverkan på utrymningen i resten av byggnaden. Med detta som grund bedöms konsekvensen av en brand i Personalrum till 5.

Det finns mycket elektrisk utrustning i utrymmet och därmed ett antal orsaker som anses troliga till att en brand uppstår. Den främsta brandrisken är elradiatorn som finns i rummet. Sannolikheten att en brand uppstår i Personalrummet bedöms till 4.

Konsekvens: 5

Sannolikhet: 4



Figur 27 – Personalrum



## 8.6 Scenario 4 - Brand i Riddarsal

Inredningen i Riddarsalen består av ett bord med tillhörande stolar. Taket och golvet består av trä, se Figur 28 och Figur 29. Utrymmet har lite brännbart material i förhållande till volymen och de brandgaser som genereras då brand uppstår i rummet förväntas inte ha sådan omfattning att de förhindrar utrymningen något nämnvärt. Med detta som grund bedöms konsekvensen för en brand i Riddarsalen till 2.

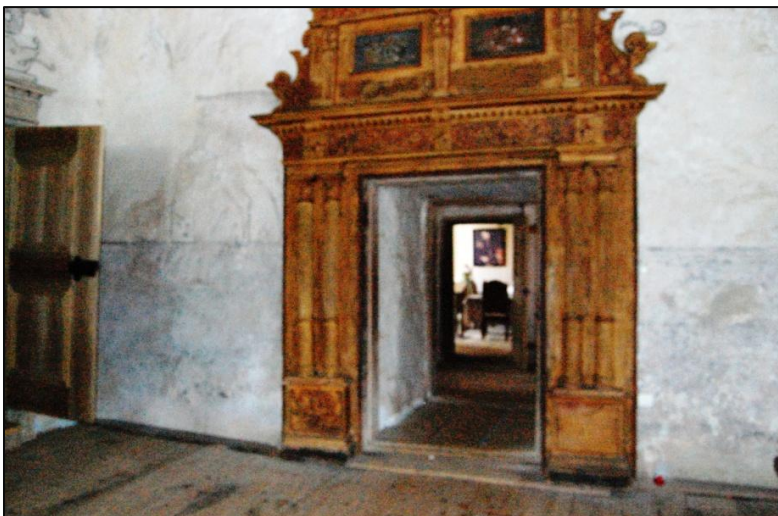
I utrymmet finns olika typer av ljus utplacerade, exempelvis blockljus i de öppna spisarna och ljusstakar på borden. Det är ljusen som utgör den troligaste källan till att en brand startar i utrymmet. Omgivande material består mestadels av trä. Sannolikheten att en brand uppstår i Riddarsalen bedöms till 3.

Konsekvens: 2

Sannolikhet: 3



Figur 28 – Riddarsalen med vackra tak- och väggmålningar



Figur 29 – Dörren t.v. leder till trapphuset och dörren i mitten leder till Förstugan och Bostadsvåningen

### 8.7 Scenario 5 - Brand på Bostadsvåning

Bostadsvåningen har inredning som demonstrerar hur rummen var inredda på 1500-talet, se Figur 30 och Figur 31. Inredningen består huvudsakligen av trä och diverse tygmateriäl. De väggarna som skiljer rummen åt är träfiberskivor beklädda med väv. Det finns mycket brännbart materiäl i förhållande till utrymmets volym. Från trapphuset till Bostadsvåningen passeras en Förstuga, detta medför att en brand på Bostadsvåningen förväntas påverka utrymningen för personer som befinner sig på ovanliggande våningsplan. Med detta som grund bedöms konsekvensen för en brand på Bostadsvåningen till 4.

Som en del av dekorationen står blockljus och kandelaber utplacerade. I utrymmet finns även en elradiator placerad. Ljusen anses vara den troligaste orsaken till att en brand uppstår. Sannolikheten att en brand uppstår på Bostadsvåningen bedöms till 3.

Konsekvens: 4

Sannolikhet: 3



Figur 30 – Bostadsvåningen



Figur 31 - Bostadsvåningen, från andra änden av bordet

## 8.8 Scenario 6 - Brand i Kungssal

Inredningen och därmed mängden brännbart material i Kungssalen varierar mycket beroende på vilket evenemang som anordnas. Vid bröllopsevenemang kommer det att finnas mycket brännbart material i salen då det är dukat med långbord och stolar för upp till 110 sittandes gäster. Då bröllopsevenemang pågår kommer det finnas personer närvarande som förväntas kunna ingripa och förhindra branden exempelvis med hjälp av de brandsläckare som finns att tillgå. I normala fall är utrymmet inrett enligt Figur 32. Salen har då lite brännbart material i förhållande till volymen och utrymningen förväntas inte påverkas något nämnvärt om brand uppstår i Kungssalen. Med detta som grund bedöms den sammanvägda konsekvensen för en brand i Kungssalen till 1.

Vid middagar kommer många ljus att finnas utplacerade runt om i salen och på borden. Detta kombinerat med det faktum att alkohol är inblandat gör att sannolikheten bedöms vara relativt stor. I normala fall är förutsättningarna annorlunda och antalet ljus är färre. Den sammanvägda sannolikheten att en brand uppstår i Kungssalen bedöms till 4.

Konsekvens: 1

Sannolikhet: 4



Figur 32 – T.v. Kungssalen  
T.h. dörren ut från Kungssalen till Gästrumsvåningen (rummet Figur 34 skymtar)



## 8.9 Scenario 7 - Brand på Gästrumsvåning

Utställningsföremålen på Gästrumsvåningen består huvudsakligen av trä vilket innebär att det finns en del brännbart material, se Figur 33 och Figur 34. Om en brand uppstår på Gästrumsvåningen förväntas tiden till en fullt utvecklad brand vara lång då inredningsobjekten är placerade med avstånd från varandra. Det finns två dörrar ut från Kungssalen som leder ut till Gästrumsvåningen. Det innebär att personer som befinner sig i Kungssalen måste gå via Gästrumsvåningen för att kunna utrymma från salen. Om en brand uppstår på Gästrumsvåningen förväntas alla gäster hinna ta sig till trapphuset innan branden tilltagit i den omfattningen att det skulle förhindra människor att genomföra en utrymning. Med detta som grund bedöms konsekvensen för en brand på Gästrumsvåningen till 3.

Som en del av dekorationen står ett antal kandelaber utplacerade och dessa anses också vara den troligaste orsaken till att en brand uppstår på Gästrumsvåningen. Sannolikheten att en brand uppstår på Gästrumsvåningen bedöms till 2.

Konsekvens: 3

Sannolikhet: 2



Figur 33 – Gästrumsvåningen med utställning av kulturarv



Figur 34 – Gästrumsvåningen, första rummet från trapphuset



### 8.10 Scenario 8 - Brand på Vindsplan

På Vindsplanet finns det mycket brännbart material i form av trägolv, innertak i trä, takstolar, utställningsmaterial, bord och bänkar i utrymmet, se Figur 35 och Figur 36. Om brand uppstår i utrymmet förväntas branden inte påverka utrymningen något nämnvärt eftersom utrymmet är beläget längst upp i byggnaden och placerad ovanför trapphuset. Utrymning från vindsplanet kan ske genom trapphuset. De personer som befinner sig i utrymmet har goda möjligheter till utrymning. Med detta som grund bedöms konsekvensen för en brand på Vindsplanet till 1.

På Vindsplanet finns potentiella brandkällor i form av värmeljuslyktor och golvlampor som lyser upp utställningsobjekt. Sannolikheten att en brand uppstår på Vindsplanet bedöms till 2.

Konsekvens: 1

Sannolikhet: 2



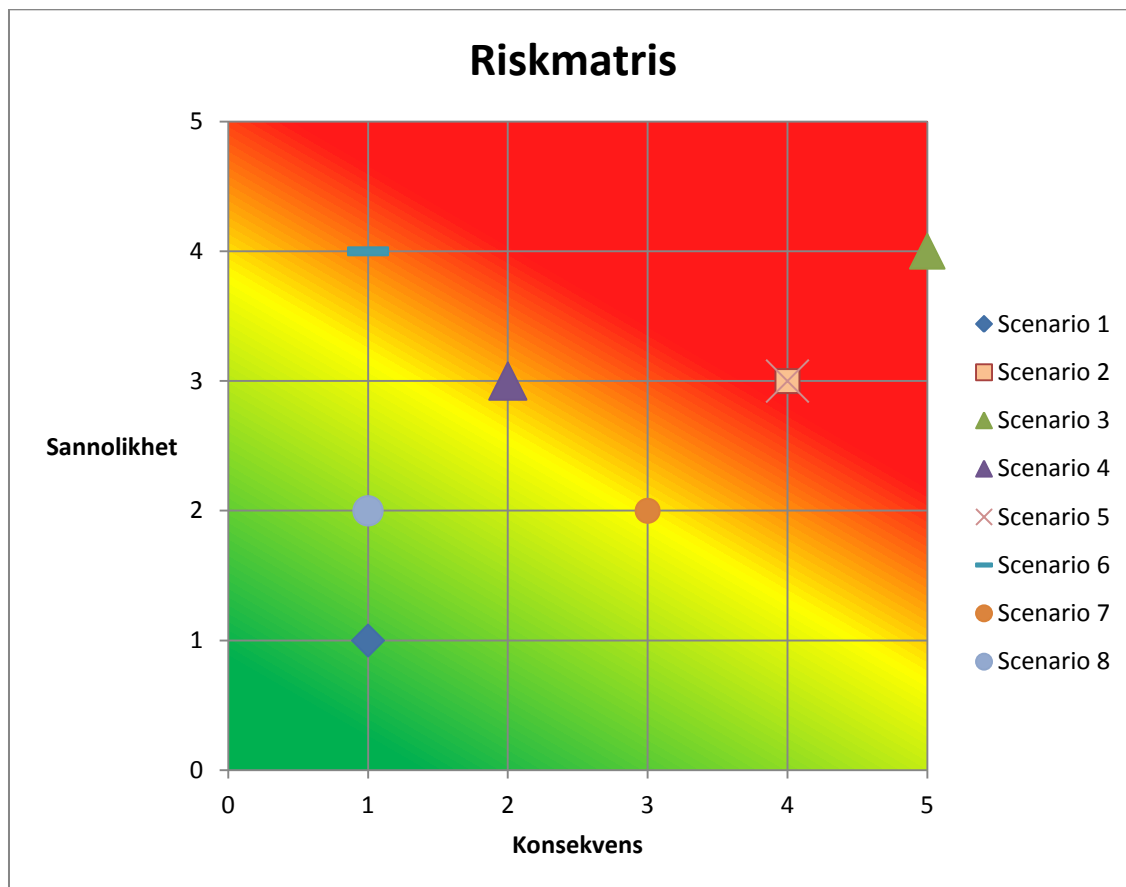
Figur 35 – Bild över Vindsplanet med trappan som leder ner till Gästrumsvåningen i ryggen



Figur 36 – Bild tagen från Vindsplanet ner i trapphuset, där trätrappan från våningsplan 3 inom trapphuset upp till Vindsplanet skymtar

## 8.11 Riskmatris

I Figur 37 åskådliggörs riskbedömningen av de olika scenarierna i en riskmatris genom en sammanvägning av konsekvens och sannolikhet för de olika brandscenarierna.



Figur 37 - Riskmatris över identifierade scenarier

Utifrån riskmatrisen väljs det tre brandscenarierna som medför störst risk för de utrymmande. Dessa brandscenarier anses representativa och förväntas innefatta de risker som övriga brandscenarier innehar. Därmed kommer följande att behandlas vidare i rapporten:

- Scenario 2 – *Brand i Kapell*
- Scenario 3 – *Brand i Personalrum*
- Scenario 5 – *Brand på Bostadsvåning*

## 9. Utvärdering av valda brandscenarier

*I kapitlet beskrivs förutsättningar för framtagning av effektutvecklingskurvor och resultat.*

### 9.1 Förutsättningar - Effektutvecklingskurva

En del av den brandtekniska riskvärderingsprocessen är att utvärdera valda brandscenarier med hjälp av simuleringar i datorprogram samt handberäkningar. Beräkningar utförs för att ta fram hur stor effektutveckling varje brandscenario kan uppnå. Resultatet som erhålls från beräkningarna redovisas i Figur 38 - Figur 40. Kurvorna anger den maximala effektutvecklingen som en brand kan erhålla samt hur lång tid den tar att uppnå. Resultat från beräkningar redovisas i Tabell 6. En mer utförlig beräkning samt antaganden för effektutvecklingarna redovisas i Bilaga A.

Rapporten inriktas framförallt på personsäkerhet. Då gäster och personal påverkas av branden vid utrymning, är främst initialskedet av branden intressant att analysera. Ingen hänsyn tas till brandspridning mellan rum eller våningar då kritiska förhållanden redan uppstått vid det skedet. Det medför att tidsintervallet där initialbranden råder är det väsentliga i rapporten. Avgränsningen återspeglas i effektutvecklingskurvorna då brändernas avsvalningsfas inte redovisas i figurerna.

Brandförloppen antas följa  $\alpha^2$  modellen. Modellen lämpar sig för de utvalda brandscenarierna då experiment har visat att modellen ger en realistisk återspeglning av en brands initialskede [6]. Modellen tar ingen hänsyn till förbrinntiden. Förbrinntiden är den tid som löper från att antändning sker till att flammor syns och branden börjar tillväxa, därmed erhålls en kortare tid till att den maximala effektutvecklingen uppstår [6].

I beräkningarna definieras tillväxthastigheten för varje brandscenario. Tillväxthastigheterna erhålls genom att brandrummen jämförs med liknande lokaler utifrån den befintliga inredningen. Personalrummet liknas med en vanlig bostad med anledning av att det finns inredning och elektrisk utrustning som ofta finns i bostäder. På grund av sängen som är placerad i brandrummet på Bostadsvåningen kan rummet liknas med ett hotellrum. På grund av den befintliga inredningen i Kapellet kan den liknas med en skola och kontor. Inredningen består av bänkrader i trä som kan liknas med skolbänkar eller kontorslandskap.

Värden på tillväxthastigheterna erhålls ur litteratur som beskriver hur bränder tillväxer och betar sig. Samtliga lokaler som brandrummen liknas med har en tillväxthastighet mellan *medium* och *fast* [5]. För Kapellet och Bostadsvåningen erhålls tillväxthastigheten genom ett medelvärde av de tal som motsvarar tillväxthastigheten *medium* och *fast*. På grund av att Personalrummet är ett litet rum innehållande mycket brännbart material ansätts tillväxthastigheten högre för det brandrummet än för de övriga rummen. Tillväxthastigheten för Personalrummet väljs till *fast*.

När tillväxthastigheterna definierats kan den maximala effektutvecklingen, som varje brand kan ge upphov till, beräknas. Effektutvecklingarna beräknas genom att kontrollera ifall branden begränsas av syre eller bränsle. För att utföra kontrollberäkningar på syretillgången tas hänsyn till den befintliga mängden syret i rummet alternativt mängden syre som strömmar in genom ventilationsöppningar. Vid kontrollberäkningar av bränslet tas hänsyn till hur brandrummen kan jämföras med liknande lokaler.

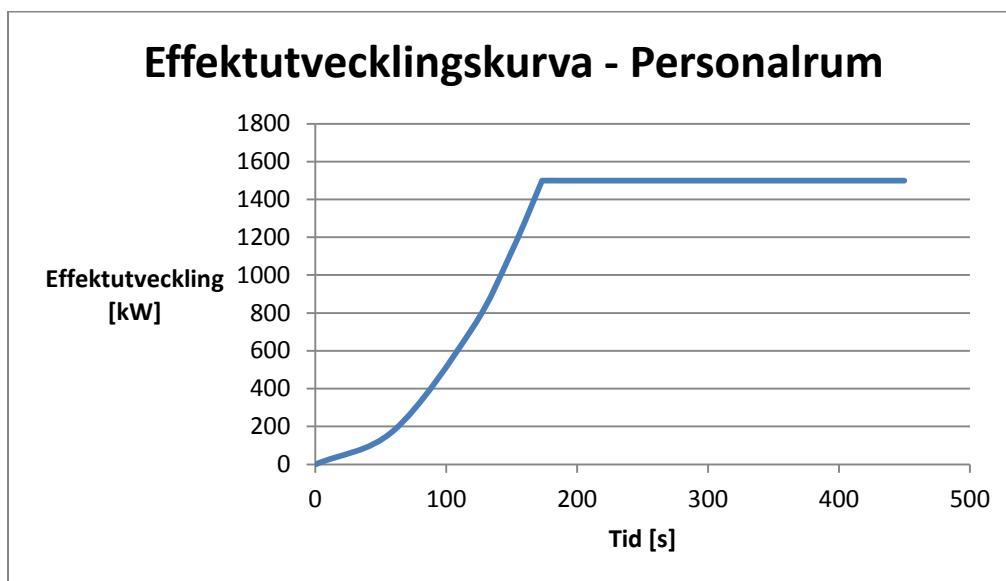
I beräkningarna görs ett par antaganden som har betydelse för att beräkningarna skall kunna genomföras. Beräkningarna utförs för värsta tänkbara scenario vilket innebär att dörrarna till rummen står helt öppna och luft utifrån kan strömma in. Ett annat antagande som görs är att allt syre som

strömmar in i rummet går åt till förbränning. Detta är ett konservativt antagande då en verklig förbränning sällan är fullständig.

Det finns olika metoder för beräkning av effektutvecklingar och det medför att det kan bli svårt att bedöma vilken metod som är mest tillämpbar för de aktuella fallen. För att kontrollera giltigheten i de beräknade effekterna jämförs de med representativa värden som erhålls ur fullskaliga experiment [5]. Slutsatsen dras att effektutvecklingarna är i ungefär samma storleksordning och att de värden som används i rapporten är konservativa. För en mer utförlig beskrivning av resultaten hänvisas till Bilaga A.

## 9.2 Resultat - Effektutvecklingskurva

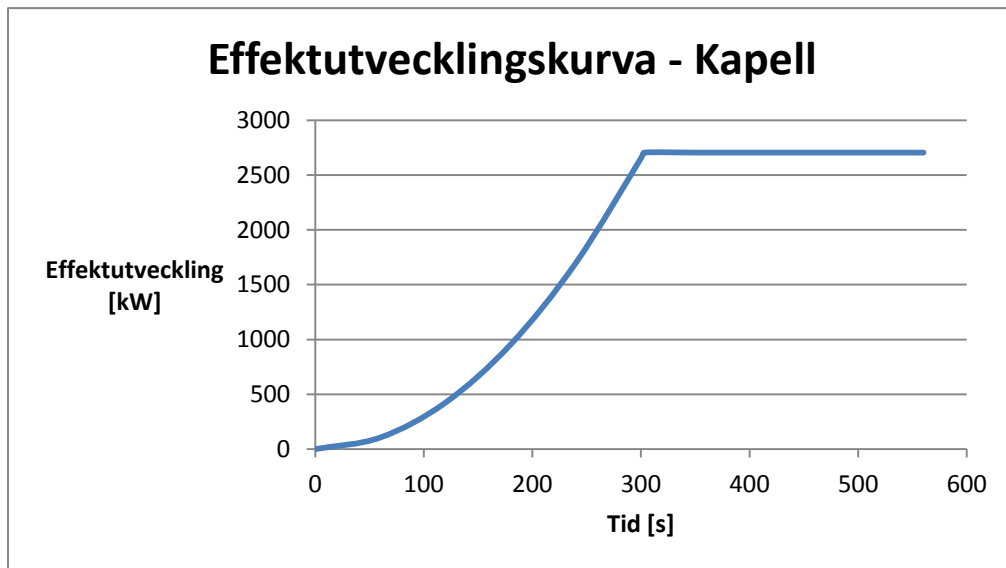
Den maximala effektutvecklingen som kan erhållas ur Personalrummet beräknades till 1,5 MW. Tillväxthastigheten är *fast* och enligt beräkningarna begränsas branden av bränsletillgången.



Figur 38 - Effektutvecklingskurvan för en eventuell brand i Personalrum

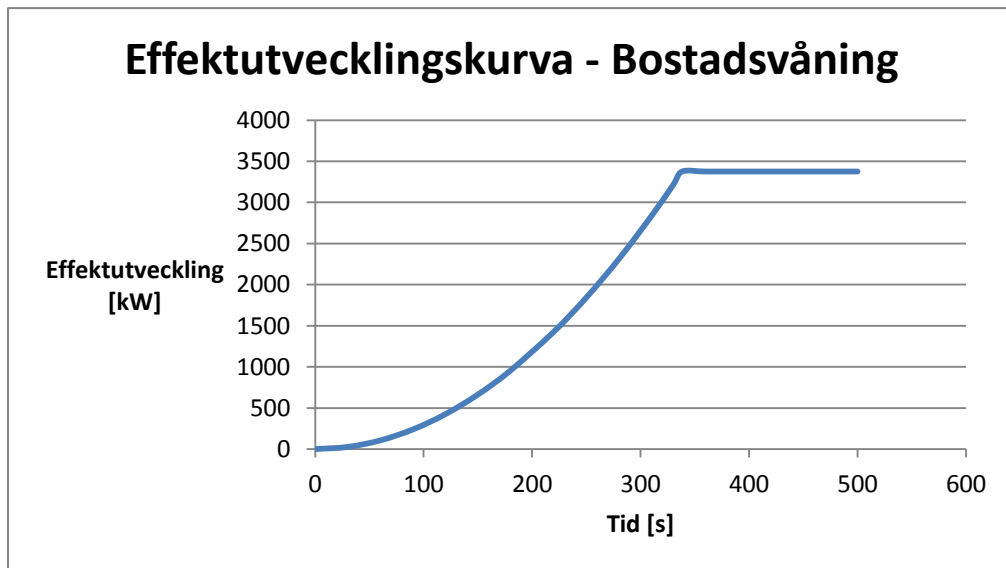
Den maximala effektutvecklingen som kan erhållas i Kapellet beräknades till 2,7 MW.

Tillväxthastigheten är ett medelvärde av *medium* och *fast*. Enligt beräkningarna begränsas branden av syretillgången.



Figur 39 - Effektutvecklingskurvan för en eventuell brand i Kapell

Den maximala effektutvecklingen som kan erhållas ur Bostadsvåningen beräknades till 3,4 MW. Tillväxthastigheten är ett medelvärde av *medium* och *fast*. Enligt beräkningarna begränsas branden av bränsletillgången.



Figur 40 - Effektutvecklingskurvan för en eventuell brand på Bostadsvåning

Tabell 6 – Resultat från beräkningar av effektutveckling

Brandrum	Tillväxthastighet [kW/s <sup>2</sup> ]	Maximal effektutveckling [MW]
Personalrum	0,05	1,5
Kapellet	0,03	2,7
Bostadsvåning	0,03	3,4

## 10. Utrymningsscenarier

*I avsnittet kommer de händelser som anses påverka utrymningen att fastslås. Händelseutvecklingen som blir en följd av detta kartläggs sedan i ett händelsetråd.*

### 10.1 Allmänt

Utöver brandscenarier kommer olika utrymningsscenarier att analyseras eftersom det är kombinationen av dessa som avgör konsekvensen för de utrymmande i händelse av brand. I en utrymningssituation finns det otaligt många olika händelser som kan inträffa och påverka utrymningsförloppet och därmed den totala tiden för utrymningen. För att få en översiktlig bild av de olika händelseutvecklingar som kan inträffa konstrueras ett händelsetråd. Händelsetrådet redovisas i Figur 41. På grund av arbetets omfattning har antalet händelser som kommer analyseras vidare i händelsetrådet avgränsats till de tre som anses ha störst påverkan på den totala utrymningstiden.

### 10.2 Aktivitet i byggnaden

Huvudsakligen förekommer två olika aktiviteter i byggnaden, bröllopsevenemang och öppet hus. De två aktiviteterna skiljer sig åt med avseende på antal personer, personfördelning, var i byggnaden personerna befinner sig, personalens närvaro och personalens möjlighet att agera. Aktiviteten i byggnaden anses därför tillhöra en av de händelser som har störst påverkan på den totala utrymningstiden och kommer analyseras vidare i rapporten.

### 10.3 Detektorns fungerande

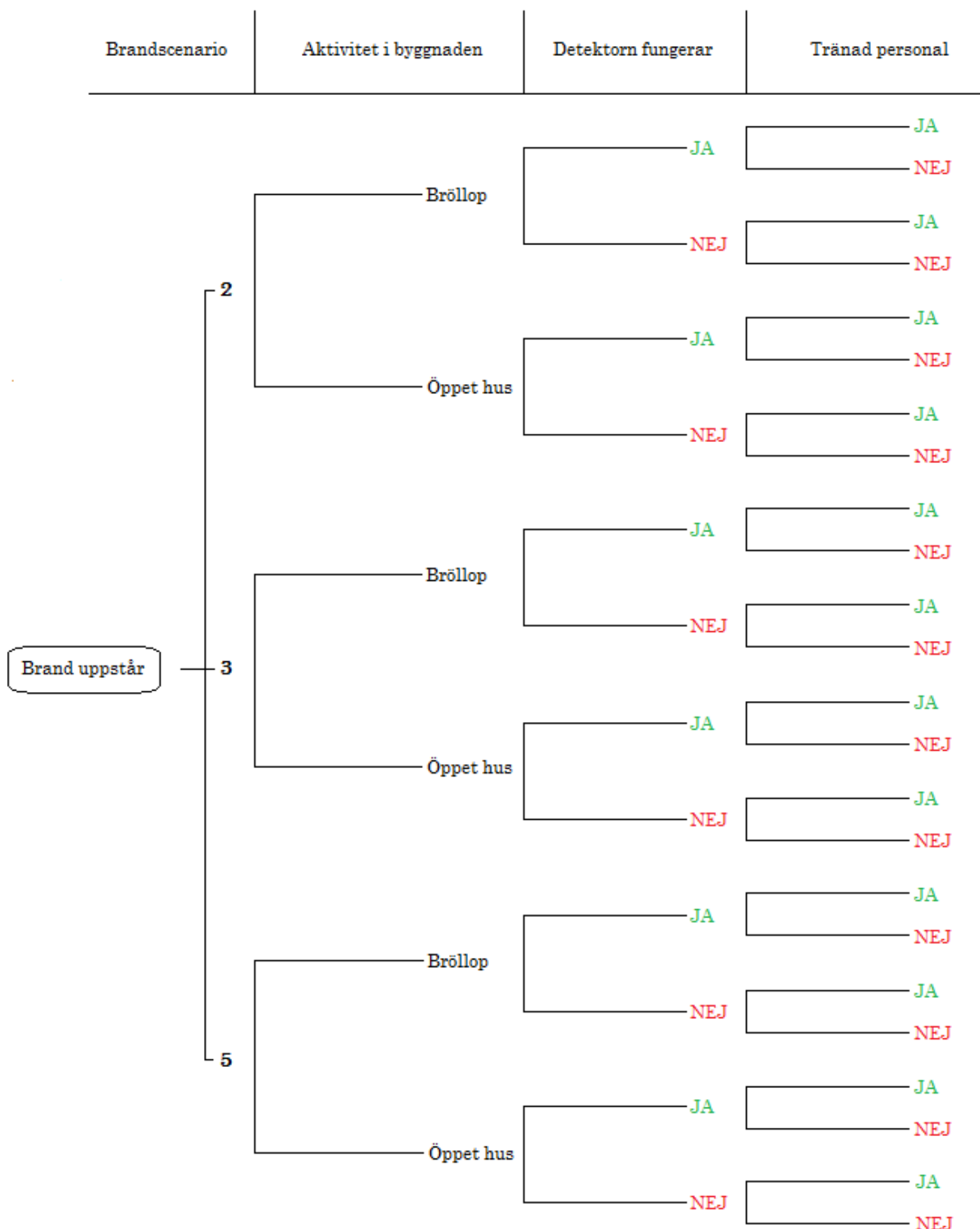
Vid uppkomst av brand finns ingen garanti för att personer skall upptäcka branden. Därför är det viktigt att detektionssystemet fungerar som det skall och larmar vid brand. Om detektorn inte fungerar nås inte besökare och personal av informationen om tillbud. Brandlarmets fungerande anses därför tillhöra en av de händelser som har störst påverkan på den totala utrymningstiden och kommer analyseras vidare i rapporten.

### 10.4 Tränad personal

I fullskaliga försök har det visat sig att personalens agerande och inflytande på gästerna har stor inverkan vid utrymning. Det är av stor vikt att personal vet hur de skall agera vid brand eftersom de som ansvariga har auktoritet. Är personalen tränad ökar sannolikheten för att de vet hur de skall agera och hantera en brandsituation. Av den anledningen anses personalens agerande tillhöra en av de händelser som har störst påverkan på den totala utrymningstiden [13]. Hur personalens agerande påverkar utrymningsscenarierna kommer analyseras vidare i rapporten.

### 10.5 Händelsetråd

Utifrån händelsetrådet erhålls 24 händelseutvecklingar. Scenarierna varierar beroende på aktivitet i byggnaden, om personalen är tränad och detektionssystemets funktion. Händelsetrådet redovisas i Figur 41.



Figur 41 – Händelsetråd över de olika händelseutvecklingarna



## 11. Analys av utrymning med befintligt brandskydd

*I kapitlet beräknas varseblivningstid, förberedelsestid, förflyttningstid och tid till kritiska förhållanden. Tiderna används sedan i en beräkningsmodell som tillämpas i rapporten och utgör grunden för bedömning av brandskyddet. Kapitlet avslutas med en redovisning av det erhållna resultatet.*

### 11.1 Beräkningsmodell

En utrymningssituation kan vara komplicerad eftersom många händelser kan inträffa och det är i många fall hur de utrymmande uppfattar situationen som är avgörande. För att underlätta förståelsen, förklara trender och beteendemönster kan modeller som beskriver utrymningsförloppet användas. Modellen som tillämpas i rapporten är en förenklad stimulusresponsmodell och är fullt acceptabel för att beskriva utrymningsförloppet i en scenarioanalys [21]. Modellen bygger på att de utrymmande blir varse att något onormalt har inträffat och sedan agerar.

Stimulusresponsmodellen är indelad i tre olika faser, *varseblivningstid*, *förberedelsestid* och *förflyttningstid*. Den totala *utrymningstiden* antas vara summan av dessa och jämförs med *tiden till kritiska förhållanden*. Modellen för tillfredställande utrymning ser ut enligt nedan.

$$t_{\text{varseblivning}} + t_{\text{förberedelse}} + t_{\text{förflyttning}} < t_{\text{kritisk}}$$

### 11.2 Varseblivningstid

Varseblivningstid ( $t_{\text{varseblivning}}$ ) beskriver den tid som löper från att brand uppstått till att personerna i byggnaden blir varse detta. Varseblivningen kan ske på olika sätt, till exempel att de utrymmande ser eller hör branden, känner brandgaslukt eller genom att utrymningslarmet aktiverar.

De händelser i händelseträdet som påverkar varseblivningstiden är *detektorns fungerande* och vilket *brandscenario* som berörs. I de scenarier som behandlas i rapporten antas det vara en detektor som detekterar branden och varseblivning sker när utrymningslarmet löser ut. I de fall då den närmst placerade detektorn felfungerar antas detektorn som är placerad med det näst kortaste avståndet från branden fungera.

Det finns olika program som kan användas för att beräkna tiden till detektoraktivering. I rapporten beräknas tiden med hjälp av datorprogrammen DETACT T<sup>2</sup> och FDS. En rimlighetsbedömning utförs av resultatet från respektive datorprogram och utifrån den väljs de tider som används i rapporten.

### 11.2.1 Varseblivningstid DETACT T<sup>2</sup>

DETECT T<sup>2</sup> (DEtactor ACTuation – Time Squared) är ett datorprogram som används för att modellera värmedetektoraktivering. Det finns dock vedertagna korrelationer mellan mängden partiklar och temperatur. Detta innebär att programmet även kan användas för att modellera rökdetektoraktivering. En utförlig beskrivning av beräkningarna redovisas i Bilaga D.

### 11.2.2 Varseblivningstid FDS

I FDS finns möjligheten att modellera rökdetektorers aktiveringstid. På motsvarande platser i byggnaden där det finns rökdetektorer placeras mätpunkterna ut. Genom jämförelse med utdata med avseende på detektorns aktiveringsvärde kan tiden till detektion tas fram. För utförligare beskrivning av förutsättningar och användandet av FDS, se avsnitt 11.5.1.

### 11.2.3 Sammanställning av varseblivningstider

Förenklingar och antaganden som utförts i datorprogrammen medför att resultat som erhålls ur datorprogrammet FDS återspeglar verkliga förhållanden bättre än DETACT T<sup>2</sup>. Av den anledningen används erhållna resultat från datorprogrammet FDS istället för värden från DETACT T<sup>2</sup>.

I Tabell 7 presenteras de beräknade tiderna för varseblivning beroende på vilken aktivitet som pågår i byggnaden samt vilken detektor som detekterar branden.

Tabell 7 – Varseblivningstid

Brandscenario	Närmsta detektor fungerar	Tid [s]
Brand i Kapellet	JA	35
Brand i Kapellet	NEJ	73
Brand i Personalrum	JA	60
Brand i Personalrum	NEJ	104
Brand på Bostadsvåning	JA	37
Brand på Bostadsvåning	NEJ	105

### 11.3 Förberedelsetid

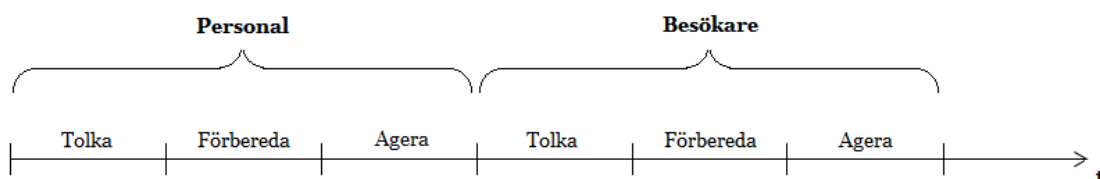
Förberedelsetid ( $t_{\text{förberedelse}}$ ) beskriver den tid som löper från att varseblivningssignalen uppfattas till att personer i byggnaden agerar. De händelser i händelseträdet som påverkar förberedelsetiden är om *personalen är tränad och aktivitet i byggnaden*.

Förberedelsetiden är svår att kvantifiera då den varierar och är helt beroende av hur de utrymmande uppfattar situationen. Beräkningsmodellen kräver dock att förberedelsetiden bestäms och på senare tid har det bedrivits forskning inriktad på att bestämma tidsåtgången för detta. Forskningen har resulterat i ett antal rekommenderade förberedelsetider, baserat på vilken typ av byggnad och utrymningslarm det rör sig om, samt om personen ser branden eller inte [14]. De rekommenderade förberedelsetiderna tar inte hänsyn till alla faktorer som spelar in i en verklig utrymningsituation och ger således en något förenklad bild av verkligheten. Exempelvis tar modellen inte hänsyn till social påverkan vilket är värt att notera då forskning har visat att det har en stor betydelse för människors agerande i nödsituationer [14]. De rekommenderade förberedelsetiderna ger ett värde och tar därmed inte hänsyn till att förberedelsetiden i verkligheten skiljer sig åt på individnivå. Tiderna som används i rapporten har de rekommenderade värdena som utgångspunkt som sedan har anpassats genom resonemang till de aktuella förhållandena. De händelser i händelseträdet som förväntas påverka förberedelsetiden är vilken aktivitet som pågår i byggnaden samt hur personalen agerar.

#### 11.3.1 Människors beteende vid brand

Rekommenderade värden är en förenkling av verkligheten då den inte tar hänsyn till de mentala processer som varje individ i en utrymningsituation genomgår. Studier har genomförts för att få djupare insikt i människors beteende vid brand [14]. Vad som noterades i studierna är att människor uppvisar ett likartat beteende, framför allt i början av utrymningsförloppet. Generellt kan beteendet delas in i de tre delprocesserna tolka, förbereda och agera. Detta gäller för såväl personal som besökare.

I de fall då personal finns närvarande är rollfördelningen tydlig och det är personalen som förväntas ta initiativ, oavsett hur tränad personalen är. Ur dessa förutsättningar följer ett händelseförlopp som principiellt kan beskrivas enligt Figur 42. Det principiella händelseförloppet utgör också en grund i de resonemang som förts vid framtagandet av förberedelsetid.



Figur 42 – Principiellt händelseförlopp

### 11.3.2 Rekommenderade värden enligt BBRAD

De rekommenderade tiderna beror av verksamhetstyp, larmtyp samt om någon ser branden. Den verksamhetstyp som i högst grad kan liknas med Torpa Stenhus är *Varuhus*. Byggnaden är utrustad med larmtypen *Ringklocka*. I fall där det är öppet hus antas besökarna vara jämnt fördelade, vilket innebär att någon av besökarna rimligen borde se branden. Trots detta kommer tider som gäller när besökarna *inte ser branden* att tillämpas. Detta motiveras av att det enbart är de besökarna som befinner sig i rummet, vars förberedelsetid påverkas. Modellen är en förenkling som förutsätter att alla besökare har samma förberedelsetid, därför utgår skattningarna från de rekommenderade tider där personer *inte ser branden*. I Tabell 8 redovisas de rekommenderade tiderna enligt BBRAD som används som underlag för framtagandet av förberedelsetid [2].

Tabell 8 - Rekommenderade tider enligt BBRAD

Verksamhet	Larmtyp	Personen ser branden	Förberedelsetid [s]
Varuhus	Informativt talat meddelande	Nej	60
Varuhus	Ringklocka	Nej	210

### 11.3.3 Förberedelsetid då öppet hus pågår i byggnaden

I de fall då öppet hus pågår antas besökarna vara jämt utspridda i byggnaden och personalens möjlighet att påverka besökarnas agerande är begränsat. På grund av detta antas tiden för förberedelsetid vara densamma för öppet hus oavsett hur bra tränad personalen är. Till viss del skulle personalen förmodligen kunna ta sig runt i byggnaden och påverka förberedelsetiden för somliga av besökarna. I praktiken anses detta dock vara orimligt att begära av personalen utifrån ett arbetsmiljömässigt perspektiv då en brand i byggnaden utgör en fara för personalen. Då personalens agerande inte påverkar förberedelsetiden uppskattas tidsomfattningen för delprocesserna som berör besökarna vara jämförbar med de rekommenderade tiderna för *ringklocka*, det vill säga **210 sekunder**.

### 11.3.4 Förberedelsetid vid brölloppsevenemang då personal är tränad

I rapporten förväntas en väl tränad personal vara så pass välbekant med ljudet av ringklockan att den snabbt kan identifiera att det är brandlarmet som har löst ut. De förväntas också ha klart för sig vilken roll de har i utrymningssituationen och agera därefter. Detta innebär att de har klart tilldelade roller, vet hur de skall organisera samt hur de skall förmedla informationen för att effektivisera utrymningen. Relaterat till den principiella modell som visas i Figur 42 är det tidsåtgången för de tre delprocesserna som berör personalen som påverkas. Den information som nås av besökarna behandlas och tolkas på samma sätt som när ett *informativt talat meddelande ljuder*. På grund av detta uppskattas också de delprocesser som berör besökarna ha samma tidsomfattning som de rekommenderade förberedelsetid som för *informativt talat meddelande*. Även för en tränad personal tar det en viss tid att förbereda och agera. Det antas att denna tid är så pass kort att den kompenseras mot att informationen levereras av en fysisk person. Med detta resonemang som grund antas därför tiden för reaktion vara **60 sekunder** i det scenario då bröllop pågår och en tränad personal närvarar.

### 11.3.5 Förberedelsetid vid bröllopsevenemang då personal inte är tränad

Uppskattning av tider för en otränad personal är svårt då det helt beror på grad av oträning. I rapporten antas en otränad personal inte ha någon formell brandutbildning och förväntas inte vara välbekant med ljudet av ett utrymningslarm och därför inte med en gång kunna identifiera det utlösta brandlarmet. Till skillnad från en tränad personal, har den otränade inte heller några tydligt definierade uppgifter då brandlarmet utlöser. Relaterat till den principiella modellen som presenteras i Figur 42 förväntas delprocesserna som berör besökarna inte avvika något nämnvärt från det scenario då personalen är tränad. I stället är det de delprocesser som berör personalen som i störst utsträckning bidrar till en ökad förberedelsetid. Enligt rekommendationer i BBRAD är förberedelsetiden för en ordinarie besökare 210 sekunder [2]. Dock anses personalen ta ett större ansvar än en ordinarie besökare och relativt snabbt försöka ta reda på vad som utlöst larmet. Uppskattningsvis reduceras tiden gentemot en ordinarie besökare ner till cirka 90 sekunder. Enligt tidigare antas tidsomfattningen för de delprocesserna som berör besökarna vara cirka 60 sekunder. Detta ger en sammanlagd förberedelsetid, för besökarna då bröllop pågår och personalen inte är tränad, som är **150 sekunder**.

### 11.3.6 Sammanställning av förberedelsetid

I Tabell 9 redovisas en sammanställning av förberedelsetid, beroende på förutsättningar.

Tabell 9 - Förberedelsetid

Aktivitet i byggnaden	Tränad personal	Tid [s]
Öppet hus	JA	210
Öppet hus	NEJ	210
Bröllop	JA	60
Bröllop	NEJ	150

## 11.4 Förflyttningstid

Förflyttningstid ( $t_{\text{förflyttning}}$ ) avser tiden det tar för en person att förflytta sig från aktuell position till den punkt där kritiska förhållanden uppstår först för respektive händelseutveckling. I rapporten beräknas förflyttningstiden med hjälp av datorprogrammet Simulex. Den händelse i händelseträdet som påverkar förflyttningstiden är *aktivitet i byggnaden* eftersom det avgör antalet personer som skall utrymma samt hur dessa är fördelade i byggnaden.

### 11.4.1 Simulex

Simulex är ett datorprogram som simulerar människors förflyttning vid utrymning. Programmet använder sig av CAD-ritningar där byggnadens alla våningsplan läggs in var för sig. Våningsplanen sammanlänkas därefter med trappor och en av begränsningarna i programmet är att det enbart hanterar raka trappor. I rapporten har trappornas längd uppskattas och förenklingen görs att de befintliga trapporna rätas ut till raka trappor i simuleringarna. Standardinställningen i Simulex gör att alla personer utrymmer via den närmsta utrymningsvägen och önskar användaren ett annat vägval måste detta specificeras i avståndskartor [16].

När avståndskartor definierats kan personer placeras ut och deras egenskaper bestämmas. Personernas egenskaper ställs in genom förval eller manuellt. Väljer användaren egenskaperna manuellt kan personkategorier utformas med önskad gånghastighet, kön, storlek samt fördelning av män, kvinnor och barn. Fördelningen i de olika evenemangen öppet hus och bröllopsevenemang presenteras i Tabell 10.

Tabell 10 - Manuellt utformade personkategorier

	Män [%]	Kvinnor [%]	Barn [%]	Äldre [%]
<b>Öppet hus</b>	30	30	20	20
<b>Bröllopsevenemang</b>	35	35	15	15

I trapporna har personerna en lägre gånghastighet till följd av persontäthet vilken ställs in för respektive personkategori. I utrymningssimuleringen för öppet hus placeras personerna ut jämnt i hela byggnaden och där antas personerna kunna förflytta sig oberoende av andra personer, det är därmed en låg persontäthet. Vid bröllopsevenemanget placeras alla personerna ut i Kungssalen och persontätheten antas vara hög.

#### 11.4.2 Förflyttningstid för bröllopsevenemang

I utrymningssimuleringen för bröllopsevenemanget blir det köbildning vid dörröppningen ut från Kungssalen. Det innebär att personerna skapar en flaskhals-formation i dörröppningen och väntar på fri passage. I utrymningssimuleringen pressar sig personerna mot dörröppningen i en större utsträckning än hur det hade sett ut i verkligheten. Kungssalens personkapacitet är 110 personer och det är konservativt att använda det i simuleringen. Förflyttningstiden för bröllopsevenemanget blev **211 sekunder**.

#### 11.4.3 Förflyttningstid för öppet hus

Öppet hus innebär att personer rör sig fritt i byggnaden eller med en guide. Det mest resonliga är att placera ut personer jämnt i hela byggnaden för att simulera en förflyttningstid för scenariet. Detta på grund av att det är svårt att avgöra personernas fördelning i byggnaden då de hela tiden är i rörelse. Antal besökare när Torpa Stenhus har öppet hus är 80 personer [28]. Beräkning i Simulex ger en förflyttningstid på **105 sekunder**.

#### 11.4.4 Sammanställning av förflyttningstider

I Tabell 11 presenteras de beräknade tiderna för förflyttning beroende på vilken aktivitet som pågår i byggnaden.

Tabell 11 - Tid för förflyttning

Evenemang	Tid [s]
Bröllop	211
Öppet hus	105

## 11.5 Beräkning av tid till kritiska förhållanden

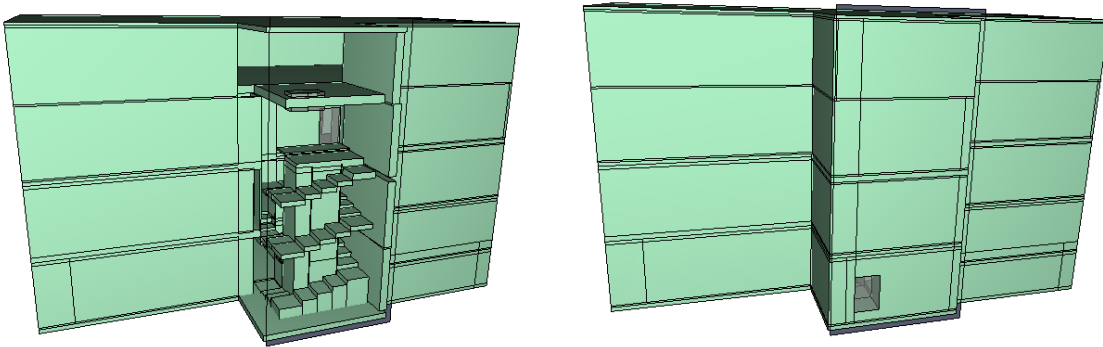
Tid till kritiska förhållanden ( $t_{kritisk}$ ) är tiden det tar till att kritiska förhållanden uppstår i byggnaden och följaktligen den tid som finns tillgänglig för de utrymmen. Innebörden av kritiska förhållanden finns definierat i avsnitt 5.2 och utgörs av kriterier som berör bland annat siktbarhet, brandgaslagrets höjd, strålning och temperatur. Strålning kommer inte orsaka kritiska förhållanden. För vidare resonemang se Bilaga F

I rapporten behandlas tre olika brandscenarier och de varierande förutsättningarna som brandscenarierna medför. Detta beror på att de utrymmen som branden uppstår i skiljer sig med avseende på rumsstorlek, brandbelastning och variation av tid till kritiska förhållanden. Därmed skiljer sig flödet för de genererade brandgaserna mellan olika brandscenarier.

FDS är en datormodell för branddrivna flödessimuleringar och i rapporten används programmet för att simulera brandförloppet i de tre brandscenarierna. Simuleringarna syftar till att beräkna tiden till kritiska förhållanden i en viss mät punkt för respektive händelseutveckling.

### 11.5.1 FDS och Pyrosim

FDS modellen för Torpa Stenhus är komplex då den sträcker sig över flera våningsplan sammanlänkade via trapphuset. Pyrosim är ett program för att arbeta med indata till FDS modeller. Komplexa geometrier kan byggas och bränder samt materialparametrar kan definieras i programmet. I Figur 43 åskådliggörs den uppbyggda FDS modellen. Modellen består av mesher, vilka är rätlinjiga rutnät uppbyggda av celler. Storleken på cellerna styr vilka minsta mått geometrin kan byggas med då FDS avrundar objekt som representerar till exempel väggar och golv till närmsta cellvägg. Cellstorleken styr de resultat som erhålls och är därmed den enskilt viktigaste användarangivna parametern i programmet [26].



Figur 43 – FDS modell, t.v. med trapphuset i genomskärning

Den uppbyggda modellen i Figur 43 representerar Torpa Stenhus och består av fyra mesher med cellstorlek på 10 respektive 20 centimeter sidlängd. Beroende på inom vilken mesh branden uppstår anges cellstorleken till 10 centimeter sidlängd. Även den mesh som innehåller trapphuset definieras cellstorleken som 10 sidlängd. För resterande mesher definieras cellstorleken som 20 centimeter sidlängd.

Genom att väga brandens maximala effektutveckling mot meshernas cellstorlek erhålls ett mått på hur välupplöst modellen är. Bränderna definieras enligt Tabell 12 där även måttet på modellens upplösning anges. se Bilaga E för vidare resonemang kring val av indataparametrar.

Tabell 12 – Meshupplösning och indata till brandsenarier

Scenario	Maximal effektutveckling $\dot{Q}_{\max}$ [kW]	Tid till maximal effekt [s]	Upplösning vid 10 cm sidlängd	Upplösning vid 20 cm sidlängd
Brand i Personalrum	1500	175	Medel-Fin	Grov-Medel
Brand i Kapell	2600	300	Medel-Fin	Grov-Medel
Brand på Bostadsvåning	3400	340	Medel-Fin	Grov-Medel

Slices, ett plan i x-, y- eller z-led som är fyllt med mätpunkter läggs till där utdata önskas. Detta sker i x- och y-led över hela byggnadens bredd samt längd. Slicerna är åskådbara i programmet smokeview och där kan de ställas in efter önskade skalor på siktbarhet och temperatur.

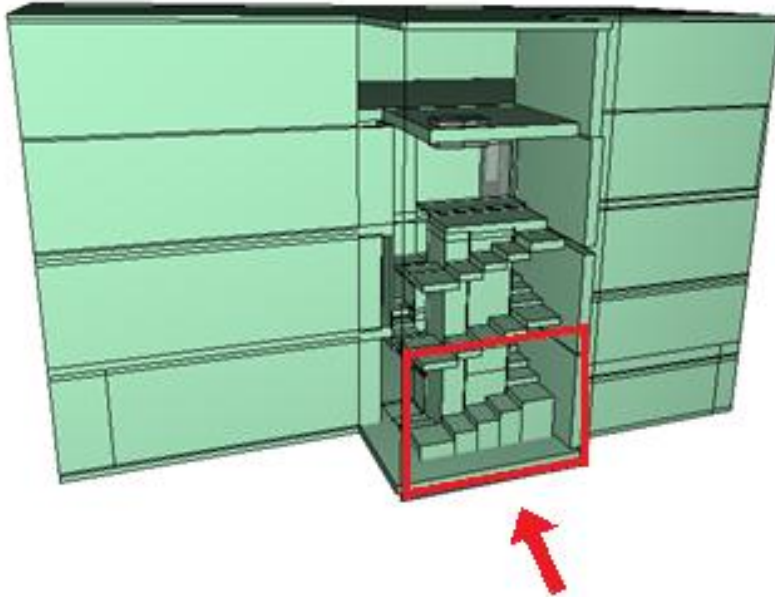
Förändringen av brandgaslagrets höjd, temperatur- och siktbarhetsprofilen betraktas genom programmet smokeview i slices vid trapphusets genomskärning. I avsnitt 5.2 definieras ett antal acceptanskriterier som berör bland annat siktbarhet, brandgaslagrets höjd, strålning och temperatur. I rapporten antas att de som inte hunnit passera mätpunkten då något av acceptanskriterierna överskrids i mätpunkten bli utsatta för kritiska förhållanden, se Bilaga E för fullständig beräkning.

I Torpa Stenhus är det enda sättet att ta sig ut i det fria genom entrédörren. Vilken utrymningsväg som leder till entrédörren skiljer sig beroende på var människorna befinner sig i byggnaden. Då utrymningsvägarna skiljer sig åt innebär det också att olika mätpunkter beaktas. Genom att följa profilförändringen med avseende på de olika acceptanskriterierna betraktas punkten längs med respektive utrymningsväg var kritiska förhållanden uppstår efter kortast tid.

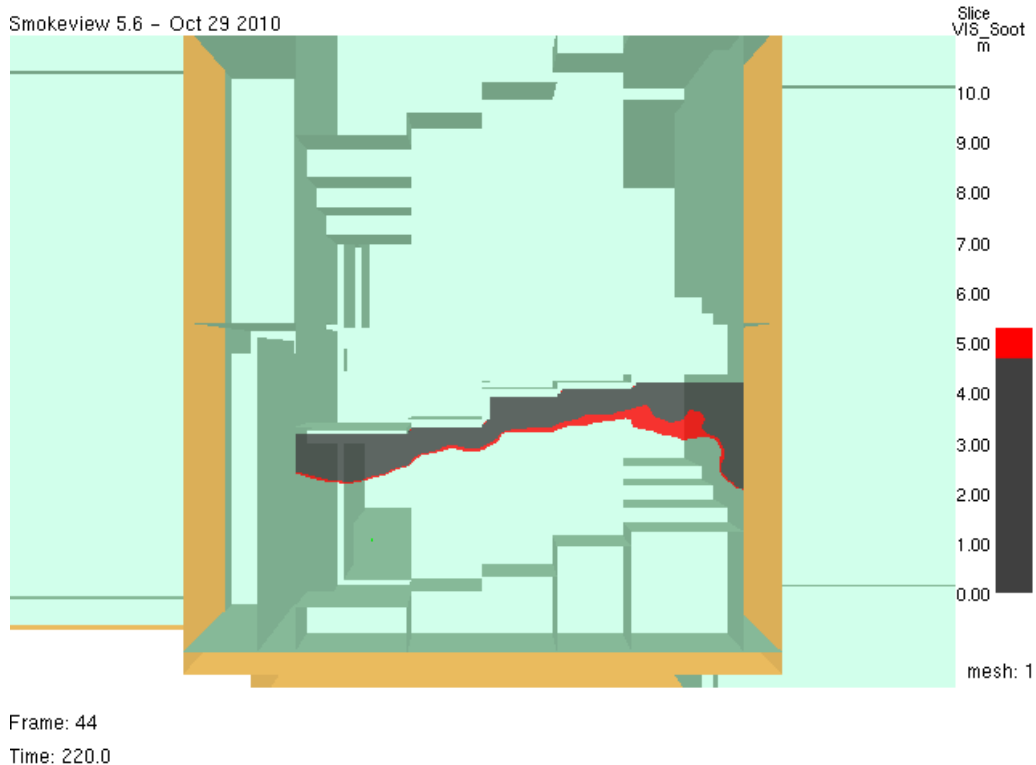


### 11.5.2 Tid till kritiska förhållanden då brand uppstår i Kapell

För personer som befinner sig på plan 2 och uppåt sammanlöper utrymningsvägarna i trapphuset. För personer som befinner sig på entré- och Källarplan sammanlöper utrymningsvägarna i entréhallen. Det acceptanskriterium som överstigs först i utrymningsvägen är siktbarhetskriteriet, detta sker efter **220 sekunder** på våningsplan 1 i trapphuset. En siktbarhet på 5 meter krävs enligt acceptanskriterierna i trapphuset. En siktbarhetsprofil efter 220 sekunder i trapphusets genomskärning åskådliggörs i Figur 44-Figur 45.



Figur 44 - Trapphuset i genomskärning sett framifrån

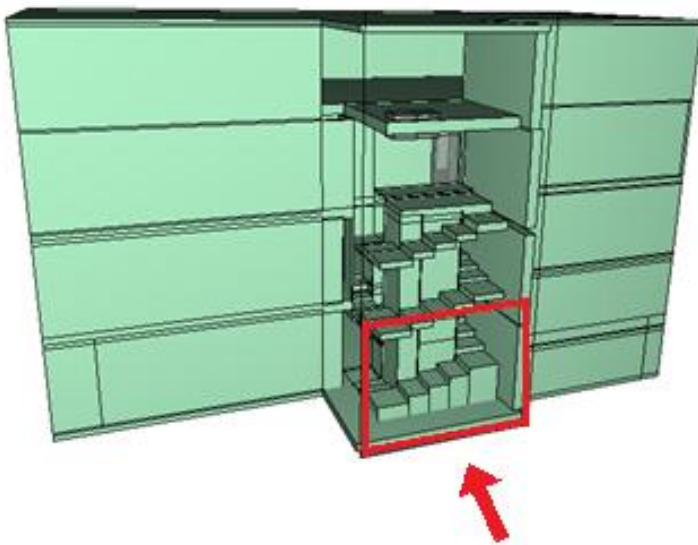


Figur 45 – Siktbarhetsprofil för trapphuset, på våningsplan 1 och 2, i genomskärning från entrén efter 220 sekunder

### 11.5.3 Tid till kritiska förhållanden då brand uppstår i Personalrum

För personer som befinner sig på plan 2 och uppåt sammanlöper utrymningsvägarna i trapphuset. För personer som befinner sig på entré- och Källarplan sammanlöper utrymningsvägarna i entréhallen. Dörren från Personalrummet leder direkt till den utrymningsväg personerna som befinner sig på entré- och källarplanet använder. Då brandgaser flödar ut ur rummet kommer kritiska förhållanden, både med avseende på siktbarhet och temperatur, uppstå efter 70 sekunder.

Det acceptanskriterium som överstigs först i den utrymningsväg som sammanlöper i trapphuset är siktbarhetskriteriet, detta efter **115 sekunder** på våningsplan 1. En siktbarhet på 5 meter krävs enligt acceptanskriterierna i trapphuset. En siktbarhetsprofil efter 115 sekunder i trapphusets genomskärning åskådliggörs i Figur 46-Figur 47.



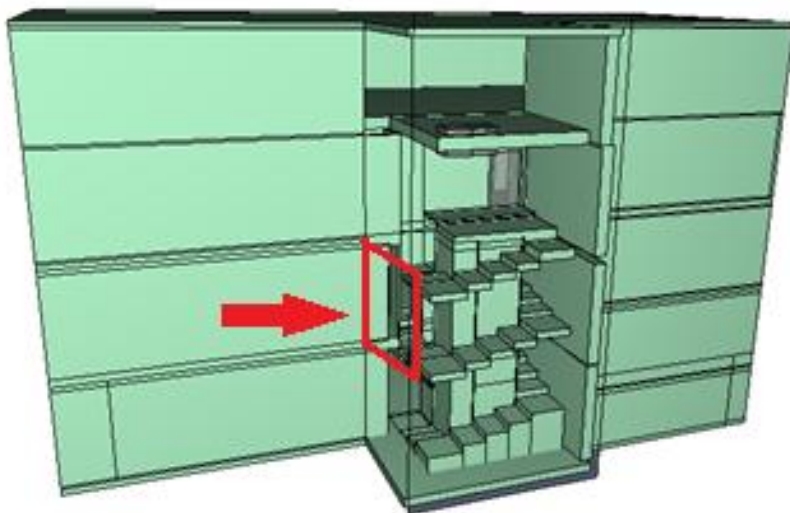
Figur 46 - Trapphuset i genomskärning sett framifrån



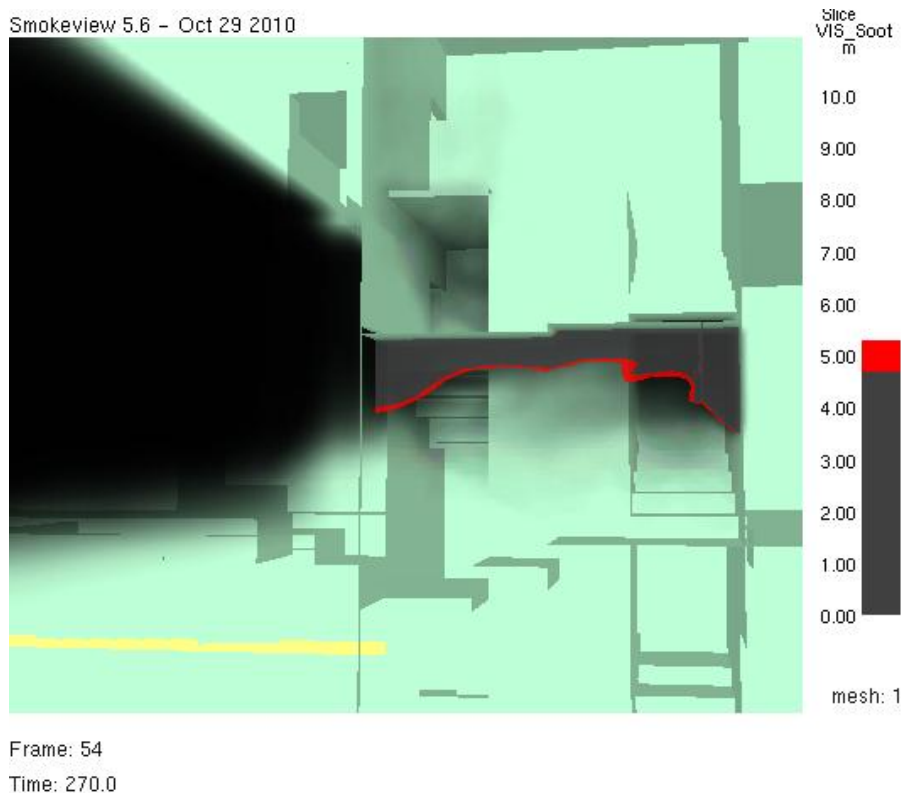
Figur 47 - Sichtbarhetsprofil för trapphuset, på våningsplan 1 och 2, i genomskärning från entrén efter 115 sekunder

### 11.5.4 Tid till kritiska förhållanden då brand uppstår på Bostadsvåning

För personer som befinner sig på plan 2 och uppåt sammanlöper utrymningsvägarna i trapphuset. För personer som befinner sig på entré- och källarplan sammanlöper utrymningsvägarna i entréhallen. Det acceptanskriterium som överstigs först i utrymningsvägen som sammanlöper i trapphuset är siktbarhetskriteriet, detta sker efter **270 sekunder** på våningsplan 2 i trapphuset. Inga kritiska förhållanden uppstod i utrymningsvägen som sammanlöper i entréhallen under simuleringstiden. En siktbarhetsprofil på 5 meter krävs enligt acceptanskriterierna i trapphuset. En siktbarhetsprofil efter 270 sekunder i trapphusets genomskärning åskådliggörs i Figur 48-Figur 49.



Figur 48 - Trapphuset i genomskärning sett från vänster



Figur 49 - Siktbarhetsprofil för trapphuset där det sammanlöper med Förstugan på våningsplan 2

### 11.5.5 Sammanställning av tider till kritiska förhållanden

I Tabell 13 redovisas tider till kritiska förhållanden för respektive scenario.

Tabell 13 - Tider till kritiska förhållanden

Scenario	Tid [s]
Brand i Personalrum	115
Brand i Kapell	220
Brand på Bostadsvåning	270

### 11.5.6. Ekvationer för beräkning av parametrar till händelseträdet

För vardera händelseutveckling beräknas en utrymningstid, tid till kritiska förhållanden, tidsmarginal samt andelen besökare som utsätts för kritiska förhållanden.

Utrymningstiden är tiden det tar från att branden uppstår till att samtliga personer har förflyttat sig förbi den punkt där kritiska förhållanden uppstår först för respektive händelseutveckling. Detta beräknas enligt ekvation J1.

$$t_{utrymning} = t_{varseblivning} + t_{förberedelse} + t_{förflyttning} \quad \text{ekvation J1}$$

Tidsmarginalen är tidsdifferensen mellan att kritiska förhållanden uppstår och den totala utrymningstiden. Tidsmarginalen beräknas genom ekvation J2.

$$tidsmarginal = t_{kritisk} - t_{utrymning} \quad \text{ekvation J2}$$

Andelen personer som utsätts för kritiska förhållanden beräknas genom ekvation J3 och är ett mått hur stor andel av det totala antalet personer i byggnaden som utsätts för kritiska förhållanden.

Andel personer som utsätts för kritiska förhållanden =

$$\frac{\text{Antal personer som inte hunnit passera kritiska punkt för resp. händelseutveckling}}{\text{Totalt antal personer}} \quad \text{ekvation J3}$$

### 11.6 Resultat

Resultatet av beräkningarna redovisas i form av ett händelseträd som bildar 24 händelseutvecklingar, se Figur 50.

Brandscenario	Aktivitet i byggnaden	Detektorn fungerar	Tränad personal	$t_{utrymning}$ [s]	$t_{kritisk}$ [s]	Tidsmarginal för de utrymmande [s]	Andel utrymmande som utsätts för kritiska förhållanden	
Brand uppstår	2	Bröllop	JA	JA	306	220	-86	40%
			JA	NEJ	396	220	-176	100%
			NEJ	JA	344	220	-124	71%
			NEJ	NEJ	434	220	-214	100%
		Öppet hus	JA	JA	350	220	-130	100%
			JA	NEJ	350	220	-130	100%
			NEJ	JA	388	220	-168	100%
			NEJ	NEJ	388	220	-168	100%
	3	Bröllop	JA	JA	331	115	-216	100%
			JA	NEJ	421	115	-306	100%
			NEJ	JA	375	115	-260	100%
			NEJ	NEJ	465	115	-350	100%
		Öppet hus	JA	JA	375	115	-260	100%
			JA	NEJ	375	115	-260	100%
			NEJ	JA	419	115	-304	100%
			NEJ	NEJ	419	115	-304	100%
	5	Bröllop	JA	JA	308	270	-38	17%
			JA	NEJ	398	270	-128	70%
			NEJ	JA	376	270	-106	55%
			NEJ	NEJ	466	270	-196	100%
		Öppet hus	JA	JA	352	270	-82	54%
			JA	NEJ	352	270	-82	54%
			NEJ	JA	420	270	-150	64%
			NEJ	NEJ	420	270	-150	64%

Figur 50 – Händelseträd med komplett händelseutveckling

### 11.6.1 Slutsats

Beräkningarna visar en negativ tidsmarginal i samtliga utrymningsscenarier. Detta innebär att personer utsätts för kritiska förhållanden i samtliga händelseutvecklingar, därmed uppfylls inte skydds målet. Den förgrening som i händelseträdet tenderar att påverka resultatet mest är *brandscenario*. I *brandscenario 2- Brand i Kapell* utsätts samtliga utrymmande för kritiska förhållanden i alla fall förutom två. De två händelseutvecklingar där enbart en viss andel av de utrymmande utsätts för kritiska förhållanden är då bröllop pågår och personalen är tränad. I *brandscenario 3- Brand i Personalrum* utsätts samtliga utrymmande för kritiska förhållanden. I *brandscenario 5- Brand på Bostadsvåning* utsätts samtliga utrymmande för kritiska förhållanden i den händelseutveckling där bröllop pågår, detektorn felfungerar och personalen inte agerar korrekt. I övriga händelseutvecklingar som berör *brandscenario 5* kommer en viss andel att kunna utrymma utan att utsättas för kritiska förhållanden. Detta beror på att branden bryter ut på våningsplan 2 vilket innebär att nedanvarande personer inte utsätts för kritiska förhållanden.

## 12. Hantering av osäkerheter

*I kapitlet beskrivs de osäkerheter som medförts under arbetets gång samt hur dessa hanteras i rapporten.*

Genomförandet av en riskanalys är alltid förenad med en viss grad av osäkerhet. Huvudsakligen tillkommer osäkerheten som en följd av de antaganden och förenklingar som görs under riskanalysens gång. För att bedöma validiteten på det beräknade resultatet genomförs en osäkerhetsanalys. Syftet med osäkerhetsanalysen är att ge en bild av vilka osäkerheter som finns med i beräkningarna samt hur dessa hanteras.

Beräkningsmodellen i avsnitt 11.1 är ett förenklat uttryck framtaget för att hantera utrymningsförloppet på ett ingenjörsmässigt sätt och medför en modellosäkerhet. Modellen är emellertid vedertagen och de osäkerheter som beskrivs i osäkerhetsanalysen är i första hand de som berör varje enskild tidsparameter i modellen. I osäkerhetsanalysen bedöms hur väl de beräknade tiderna beskriver tiderna i ett verkligt utrymningsscenario.

### 12.1 Osäkerhetsanalys utrymningstider

Beräkning av utrymningstider utförs med hjälp av en modell där utrymningstiden beskrivs som summan av varseblivningstid, förberedelsestid och förflyttningstid. Vardera tidsparameter bygger på antaganden och beräkningsmodeller som i sig innehåller modellosäkerheter samt osäkerheter som erhålls via indata.

#### 12.1.1 Varseblivningstid

De händelser i händelseträdet som påverkar varseblivningstiden är brandscenario samt detektorns fungerande. Detektorns fungerande har inverkan på resultatet då varseblivningstiden antas ske när detektorn aktiveras. I de händelseutvecklingar som berör öppet hus är detta en förenkling eftersom personerna då antas vara jämnt utspridda i byggnaden. En jämn fördelning i byggnaden innebär att någon av personerna rimligen detekterar en uppkommen brand innan detektoraktivering. Modellen bygger på antagandet att alla utrymmande har samma varseblivningstid. Det mest konservativa och resonliga är att anta att varseblivningstiden kan likställas med detektionstiden.

Tiden till detektoraktivering styrs av två händelser i händelseträdet, *brandscenario* och om den närmst belägna *detektorn fungerar*. Vilket brandscenario som berörs avgör var i byggnaden branden uppstår samt brandens karaktär. Detta är faktorer som direkt påverkar hur branden förhåller sig till detektorn och därmed dess aktiveringstid. Även detektorns fungerande har en direkt påverkan på tiden till detektoraktivering. I de händelseutvecklingar då den närmst belägna detektorn felfungerar antas detektorn med det näst kortaste avståndet detektera branden. Givetvis kan det inträffa att även den felfungerar men enligt sannolikhetsberäkningar som utförts i Bilaga B är sannolikheten att båda detektorerna felfungerar samtidigt mycket låg.

Tid för detektoraktivering beräknas med hjälp av datorprogram. Användandet av datorprogrammen kräver att vissa antaganden och förenklingar görs, vilket medför osäkerheter. För att få ett brett underlag när varseblivningstiden tas fram beräknas varseblivningstiden med hjälp av två olika datorprogram, DETACT T<sup>2</sup> och FDS.

DETECT T<sup>2</sup> är ett datorprogram som beräknar varseblivningstid för värmedetektorer. Försök har dock visat att det finns en korrelation mellan temperaturökning och produktion av brandgaspartiklar. Med stöd från utförda experiment antas den koncentration av brandgaser där aktivering sker antas motsvaras av en temperaturökning på 13 °C [12].

Användandet av FDS medför också osäkerheter. I programmet ansattes mätpunkter i vilka aktivering av rökdetektorer simuleras. Genom utdata kan tiden till att aktiveringsvärdet överskrids i dessa mätpunkter erhållas. Efter korrespondens med återförsäljaren kunde inget aktiveringsvärde erhållas för detektorerna i Torpa Stenhus. Ett aktiveringsvärde kunde inte erhållas och vid beräkning används istället det fördefinierade aktiveringsvärdet som finns i datorprogrammet. Det fördefinierade aktiveringsvärdet är ett standardvärde och anses motsvara det som gäller för de detektorer som finns i Torpa Stenhus. Fördunklingen som utgör aktiveringsvärdet beror av de genererade brandgaspartiklar från branden som definieras i FDS. Mängden brandgaser som genereras styrs till största del av tre parametrar, brandens effektutveckling, soot yield och förbränningsvärme. Osäkerheten i dessa parametrar hanteras vidare i avsnitt 0.

Aktiveringstiden är i samtliga fall lägre då aktiveringstiden beräknas i FDS än när den beräknas i DETECT T<sup>2</sup>. DETECT T<sup>2</sup> ger ett högre värde och är därmed det mest konservativa. Det värde som erhålls från beräkning i FDS bedöms rimligare. Fullskaliga försök har utförts i rum med förhållanden som kan liknas med de som råder i de berörda brandscenarierna [30]. I försöken ger resultaten en kortare aktiveringstid än de som beräknas i FDS. Rimlighetsbedömningen stöds av dessa fullskalförsök och är de som används som varseblivningstid.

### 12.1.2 Förberedelsetid

De händelser i händelseträdet som påverkar förberedelsetiden är *personalens agerande* samt vilken *aktivitet som pågår i byggnaden*. Hur stor påverkan personalen har på besökarnas förberedelsetid är svårkvantifierbart då det beror på hur de tolkar informationen, vilket är individuellt.

Beräkningsmodellen kräver dock att samtliga utrymmande i vardera händelseutveckling har en entydlig förberedelsetid. Det faktum att parametern är svårkvantifierad har lett till att forskningsförsök genomförts med syfte att ta fram rekommenderade värden på förberedelsetid under olika förhållanden. De rådande förhållandena i Torpa Stenhus avviker dock från de förhållanden som omfattas av forskningsförsöken. Förberedelsetid tas fram via resonemang med utgångspunkt i de rekommenderade värdena. Social påverkan har visat sig vara en betydande påverkan på personers förberedelsetid och personalens agerande vägs därmed in i resonemanget.

Detta tillvägagångssätt medför en mängd förenklingar och osäkerheter. För vardera brandscenario varierar förberedelsetiderna mellan 60-210 sekunder. Förberedelsetiden på 210 sekunder är ett högt skattat värde och genom att inkludera detta i händelseträdet omfattar det samtliga förberedelsetider som kan tänkas förekomma..

### 12.1.3 Förflyttningstid

Den händelse i händelseträdet som påverkar förflyttningstiden är vilken *aktivitet* som pågår i byggnaden. Pågående aktivitet avgör hur personerna är fördelade i byggnaden och har därmed en direkt påverkan på förflyttningstiden.

Förflyttningstiden beräknas med hjälp av datorprogrammet Simulex. För att kunna genomföra simuleringen i Simulex krävs att en CAD-ritning av byggnaden i dxf. format. Torpa Stenhus är en antik byggnad och CAD-ritningar finns inte att tillgå. Det finns planritningar men med en bristfällig



måtskala och därför genomfördes även uppmätningar på platsbesöket. Genom sammanvägning av dessa kan det sägas att de uppförda CAD-ritningarna representerar den verkliga byggnaden väl.

Datorprogrammet Simulex har vissa begränsningar som kan komma att skilja simuleringen från ett verkligt förflyttningsscenario. En begränsning i programmet är att det enbart hanterar raka trappor. Då trapphuset i Torpa Stenhus har krökta trappor medför detta en osäkerhet om användaren enbart anger trapporna utifrån dess längd i indatafilen [16]. För att minska osäkerheten modelleras därför trapporna något längre än trapphuset i Torpa Stenhus. På platsbesöket uppmättes förflyttningstiden från Kungssalen till entrén. Försöket ger en uppmätt tid på 47 sekunder. Tiden jämförs med tiden det tar för en person inom samma personkategori att förflytta sig motsvarande sträcka i Simulex. Resultatet av simuleringen ger en tid på 50 sekunder. Då den beräknade tiden i Simulex överstiger den uppmätta tiden kan förenklings validitet verifieras.

Ytterligare en begränsning i programmet är att det kan bildas orealistiska köformationer och att de utrymmande kan fastna i hörn och kanter i byggnaden [16]. I simuleringen har detta beaktats och den simulerade förflyttningen har inga större avvikelser från hur ett verkligt förlopp förväntas se ut. Detta sker genom visuell kontroll av simuleringens utdata. Indata till programmet kan även medföra en viss osäkerhet. Gånghastighet, ålder och kön definieras manuellt när fördelning av personkategorier bestäms. Gånghastighet och utrymningssträcka är av störst vikt för utrymningssimuleringen. En känslighetsanalys utfördes för gånghastigheten i och med att den faktorn är varierbar. Känslighetsanalysen anger hur en minskad gånghastighet påverkar resultatet och osäkerhetens inverkan på förflyttningstiden.

Antal personer och hur de är fördelade i byggnaden styrs av vilken aktivitet som pågår. I Torpa Stenhus arrangeras bröllop för upp till 110 gäster och under evenemangen hålls vigsel i Kapellet varpå bröllopgästerna förflyttar sig till Kungssalen för bröllopsmiddag. I Simulex placeras 110 personer ut i Kungssalen med en fördelning av personkategorier som motsvaras av den som förväntas vara på ett bröllop. Detta anses vara det mest ogynnsamma förflyttningsscenario som kan förekomma i byggnaden. Förflyttning från Kungssalen ger en lång gångsträcka och genom att ansätta samtliga personer i samma rum inkluderas tidsfördröjningen som uppstår till följd av köbildning.

Maximalt antal besökare under pågående öppet hus uppgår till 80 personer. För beräkning av förflyttningstid i de händelseutvecklingar som berör öppet hus placeras 80 personer ut jämnt i byggnaden, med en fördelning av personkategorier som motsvaras av den som förväntas vid öppet hus. Då besökare i byggnaden hela tiden är i rörelse och rör sig i olika stora grupper kommer också fördelningen variera över tid. Det mest konservativa är att placera större grupperingar högre upp i byggnaden. Dock omfattas den typen av fördelning av de händelseutvecklingar som berör bröllopsevenemang. Genom en jämn fördelning omfattas simuleringen av utrymning från samtliga platser i byggnaden. Osäkerheten är emellertid viktig att ha i åtanke vid tolkning av resultatcolumnen där andelen personer som utsätts för kritiska förhållanden beräknats i Figur 50. Bostadsvåningen är belägen på våningsplan 2 och när brand uppstår i rummet utsätts inte de som befinner sig på Källarvåning och våningsplan 1 för kritiska förhållanden. Detta resultat innebär att andelen personer som utsätts för kritiska förhållanden är direkt beroende av hur stor andel som placerats på dessa våningsplan.

## 12.2 Osäkerhetsanalys av tid till kritiska förhållanden

Beräkning av tiden till kritiska förhållanden utförs i rapporten genom att simulera de tre framtagna brandscenarierna i FDS och från utdata erhålls tiden till kritiska förhållanden. Simulering via FDS medför osäkerheter. Resultat från FDS har en osäkerhet i storleksordningen 20 % jämfört mot data erhållen via fullskaliga försök. Användandet av parallell beräkning av flera mesher jämfört med seriell beräkning har en osäkerhet i storleksordningen 10 % [33]. Utöver detta medförs osäkerheter så som att FDS under simulering skulle felfungera eller handhavandefel.

För att minska osäkerheterna bör resultaten verifieras via kontroll av nodkonvergens. Detta borde hanteras genom att simulera samma modell med en halverad cellstorlek. Detta har inte genomförts på grund av den orimligt långa simuleringstiden som en simulering med mindre cellstorlek skulle innebära. Då en halverad cellstorlek medför att antalet celler blir fler med en faktor 8. En verifiering som har genomförts är att kontrollera brandens effektutveckling som erhålls från resultatfilen mot den definierade i indatafilen. Överensstämmer effektutvecklingarna stärker detta att branden på ett korrekt sätt modellerats.

Osäkerheter som har att göra med upplösning av mesher har hanterats genom att väga den karakteristiska diametern,  $D^*$ , med cellstorleken,  $dx$ , för meshen. Ett problem med denna metod för skattning av upplösning är att brandens karakteristiska diameter baserar sig på den maximala effektutvecklingen. Den maximala effektutvecklingen har i rapporten uppnåtts efter mellan 175-340 sekunder och innan dess följer effektutvecklingen modellen  $\dot{Q} = \alpha t^2$ . Detta medför att under tillväxtfasen kommer upplösningen vara av en lägre grad än när den maximala effektutvecklingen uppnåtts. En underupplöst brand har en mer laminär profil eftersom turbulensen från den avrundas till närmsta cellväggen. Detta medför i sin tur att brandgaslagret som bildas ovanför branden kommer vara tunnare och varmare eftersom brandgaserna inte i lika stor utsträckning sprids ut och blandas med kall luft.

När tiden till kritiska förhållanden skattas genom smokeview minskar även osäkerheten med avseende på felfunktion och handhavandefel då användaren där visuellt kontrollerar brandgasspridningen. Ter sig brandgasspridningen konstigt kan användaren notera det och kontrollera sin modell. På så vis kan osäkerheter i samband med simuleringen minskas.

## 13. Förslag på brandskyddsåtgärder

Resultatet av riskvärderingen visar att det befintliga brandskyddet i Torpa Stenhus inte uppfyller skyddsmålet och därför måste åtgärder vidtas. I kapitlet kommer möjliga åtgärder att presenteras.

### 13.1 Åtgärder för att tillgodose säker utrymning via trapphus

I avsnittet följer en beskrivning av åtgärder som skulle kunna tillämpas i Torpa Stenhus för att tillgodose en säker utrymning via trapphuset.

#### 13.1.1 Införa täta dörrar

De befintliga dörrarna i Torpa Stenhus är överlag massiva trädörrar, se Figur 51. Det största problemet med dörrarna är att de inte är täta. Dörrarnas täthet är en viktig egenskap då brandgasspridning styr tiden till kritiska förhållanden.



Figur 51 – T.v. dörr till trapphus från Förstugan på våningsplan 2  
T.h. dörr mellan Kungssal och Gästrumsvåning på våningsplan 2

Förslag på åtgärd:

- Täta dörrarna i byggnaden i den utsträckning det går utan att förvanska det kulturhistoriska värdet
- Installera automatiska dörrstängare på dörrarna i Kapellet

Enligt händelseträdet är tidsmarginalen mer negativ i de brandscenarier då brand uppstår längre ner i byggnaden. Utifrån detta resultat kan det skönjas att det inte är nödvändigt med samma åtgärder i hela byggnaden.

Alla dörrarna i byggnaden bör tätas. För att utvinna någon effekt av de täta dörrarna krävs att de är stängda om brand skulle uppstå. Detta kan styras på två olika sätt som lämpar sig olika för de olika scenarierna. I scenarierna där det pågår bröllopsevenemang kan personalen se till att dörrar som inte leder in till rummet där bröllopsvärdarna vistas, är stängda. När det pågår öppet hus måste andra åtgärder vidtas då dörrarna överlag står öppna i byggnaden. Personalen kan inte förväntas vara sig veta var branden uppstått eller leta rätt på den och i efterhand stänga dörren. Genom att implementera ett system för automatisk dörrstängning kan även dörrarna förväntas vara stängda i de scenarier som berör öppet hus.

Endast personal tillåts beträda Personalrummet. Det anses därför vara lätt att se till att dörren till rummet alltid är stängd både vid bröllopsevenemang och öppet hus.

Utifrån resultatet av händelseträdet har scenarierna då brand uppstår i Kapellet en så pass negativ tidsmarginal att det inte anses möjligt att åtgärda utan att installera en automatisk dörrstängare. Under bröllopsevenemang kan personalen se till att dörrarna är stängda då gästerna inte vistas där. Uppstår det däremot en brand under pågående öppet hus kan det inte förväntas av personalen att de kommer stänga dörrarna under pågående utrymning. Dörrar på högre våningsplan bör tätas samt hållas stängda under bröllopsevenemang då personer inte vistas i dem.

En automatisk dörrstängare som håller dörrar stängda kan utformas tidstypiskt och väl dold så att den inte påverkar det kulturhistoriska värdet. Alternativet är att koppla automatiska dörrstängare till detektionssystemet för att kunna hålla dörrar öppna och att de stängs vid detektion av brand. Detta är en fråga om kostnad och konstruktionspåverkan.

### 13.1.2 Förbättra möjligheterna för navigering i byggnaden

I en utrymningssituation är det viktigt för de utrymmande att på ett snabbt och säkert sätt kunna navigera sig till närmsta dörr ut till det fria. Torpa Stenhus har en komplex geometri vilket gör den svårnavigerad för besökare. I dagsläget finns det obelysta utrymningsskyltar utplacerade i Torpa Stenhus, se Figur 52. För att öka de utrymmandes förmåga att navigera sig i byggnaden kan de befintliga utrymningsskyltarna bytas ut till genomlysta utrymningsskyltar för bättre synlighet. En åtgärd som ytterligare ökar navigeringsförmågan hos de utrymmande är att installera nödbelysning. Nödbelysningen tänds då utrymningslarmet aktiveras.



Figur 52 – Utrymningsskyltar som finns i Torpa Stenhus

Förslag på åtgärder:

- Installera nödbelysning
- Byt ut befintliga utrymningsskyltarna mot genomlysta utrymningsskyltar
- Installera genomlysta utrymningsskyltar som leder till den nya utrymningsvägen

Genom att byta ut de befintliga utrymningsskyltarna mot genomlysta utrymningsskyltar förbättras möjligheterna för de utrymmande att navigera sig till en utrymningsväg. Om ytterligare en utrymningsväg införs är det också viktigt att utrymningsskyltarna leder besökarna dit.

På dessa grunder kommer installation av genomlysta utrymningsskyltar att behandlas vidare i rapporten. Installation av nödbelysning är en åtgärd som förbättrar möjligheterna för utrymmande att navigera sig, främst i delar av byggnaden med dålig belysning. Torpa Stenhus har säsongöppet under sommarmånaderna och därför förväntas de flesta delar av byggnaden vara upplysta när människor

befinner sig i stenhuset. Nyttan med åtgärden anses därför inte väga tillräckligt tungt. På dessa grunder ses införandet av nödbelysning som en kompletterande åtgärd och kommer inte behandlas vidare i rapporten.

### **13.1.3 Åtgärder för systematiskt brandskyddsarbete**

Den utbildning och det sätt som personalen arbetar på har stor betydelse för brandsäkerheten i byggnaden. I avsnittet följer tre åtgärder som berör personalen och dess inverkan på brandsäkerheten.

#### **13.1.3.1 Utbildning**

Att utöka personalens brandutbildning inför varje säsong bör genomföras med fokus på att tillse att personalen vet hur de skall agera då brand uppstår och att personal blir medveten om de risker deras verksamhet medför. Personalen bör få prova på att hantera handbrandsläckare. Det är viktigt att personalen känner att de klarar av att släcka eller begränsa en mindre brand då detta troligtvis leder till en ökad sannolikhet att de ingriper om de upptäcker en brand. Denna åtgärd är av stor vikt då räddningstjänsten har en lång inställetid för påbörjad insats vid Torpa.

#### **13.1.3.2 Skyddsronder**

Skyddsronder är en effektiv förebyggande åtgärd för att reducera risken för uppkomst av brand. En skydds rond skulle innebära att personal går igenom hela byggnaden efter uppsatta rutiner i syfte att kontrollera det systematiska brandskyddets funktion. Detta bör innehålla kontroll av att alla handbrandsläckare är synliga, att utrymningsvägar är fria och att alla dörrar går att öppna/stänga. Under skyddsronderna kan även detektorerna kontrolleras samt funktionstestas. Förslagsvis skall skyddsronder genomföras varje vecka.

#### **13.1.3.3 Rutiner och ansvarsområden**

En av de viktigaste delarna i det systematiska brandskyddsarbetet är att ha uppsatta mål och rutiner som personal ansvarar för att följa och upprätthålla. Dessa rutiner kan innefatta rutiner angående städning, släckning av ljus samt kontroll av fria utrymningsvägar. Rutinerna bör även innefatta information om vilka dörrar som skall vara stängda under öppet hus och bröllopsvenemang. Att fördela rutinerna som ansvarsområden för personalen är ett sätt att kontrollera att de uppsatta rutinerna genomförs i det dagliga arbetet av samtliga anställda.

Förslag på åtgärd:

- Brandskyddsutbildning
- Skyddsronder
- Rutiner och ansvarsområden

Genom att införa utbildning, skyddsronder och rutiner ökar kunskapen om brand och risk hos personalen. Om personalen är medvetna om vilka risker som kan uppstå och hur de skall arbeta för att förebygga dem kan både sannolikheten för uppkomst av brand samt konsekvenserna av den minskas. På dessa grunder kommer de personalbetingade brandskyddsåtgärderna behandlas vidare i rapporten.



### 13.1.4 Installera detektor i Personalrum

Personalrummet är det utrymme som vid händelse av brand medför att kritiska förhållanden uppnås på minst tid. En tidig upptäckt av brand är viktig då detta direkt påverkar varseblivningstiden för de personer som vistas i byggnaden.

Förslag på åtgärd:

- Installera detektor i Personalrum

Genom att komplettera detektionssystemet med att installera en detektor i Personalrummet kan tiden för varseblivning reduceras i händelse av brand i detta rum.

Enligt händelsetrådet är tidsmarginalen mest negativ när brand uppstår i personalrummet. På dessa grunder kommer installation av detektor i personalrummet behandlas vidare.

### 13.1.5 Reducera brandrisker i Personalrum

I dagens läge nyttjas Personalrummet delvis som ett förvaringsutrymme och innehåller brännbart material i form av rekvisita och inredning, se Figur 53. Genom en utrensning av det som inte anses nödvändigt att förvara i rummet kan mängden brännbart material minskas och omfattningen av en eventuell brand reduceras. I rummet finns en del elektrisk utrustning. Den elektriska utrustningen medför en ökad sannolikhet för uppkomst av brand. Genom att installera en timer på eluttagen i Personalrummet kan sannolikheten för uppkomst av brand i elektrisk utrustning reduceras.



Figur 53 – Bild på Personalrummet

Förslag på åtgärd:

- Reducera mängden brännbart material i Personalrum
- Installera timer på eluttag

Reducering av mängden brännbart material som förvaras i Personalrummet anses kunna utföras utan ekonomisk inverkan. Installation av timer på eluttaget reducerar sannolikheten att brand uppstår i den elektriska utrustningen. Åtgärderna kommer därför att behandlas vidare i rapporten.

### **13.1.6 Införa informativt talat meddelande som utrymningslarm**

I dagsläget består utrymningslarmet i Torpa Stenhus av ringklockor. Försök har visat att utrymningslarmstyp har betydande påverkan på förberedelsetid. Enligt försöken är utrymningslarm i form av ett informativt talat meddelande det mest effektiva [13].

Förslag på åtgärd:

- Installera ett utrymningslarm i form av ett talat informativt meddelande

I avsnitt 11.3 framgår att förberedelsetiden i hög grad är beroende av personalens agerande. Genom att installera ett informativt talat meddelande reduceras förberedelsetiden oberoende av personalen. Därmed kommer installation av ett utrymningslarm i form av ett talat informativt meddelande behandlas vidare i rapporten.



### 13.2 Införa ytterligare en utrymningsväg

Vid platsbesöket på Torpa Stenhus noterades det att i en av stenväggarna har det tidigare funnits en trappa som gått från våningsplan tre ner till våningsplan två. Trappan finns kvar men är igenmurad från våningsplan 2. Återupprättande av trappan ger en fullt genomgående väg från Vindsplan till Källarplan oberoende av trapphuset.

På källarplanet finns det i dagsläget en låst dörr som leder ut till det fria. Genom att låsa upp denna dörr samt förse den med utrymningsbeslag kan en utrymningsväg införas. Figur 54 visar delar av trapporna som kan utgöra den införda utrymningsvägen.

Trappan är smal, brant och ojämn vilket innebär att den inte utgör en optimal utrymningsväg. Trots detta kan införandet motiveras av att det är bäst att ha två av varandra oberoende utrymningsvägar. Utrymningsvägen bör då också kompletteras med räcken, belysning samt utjämning av trappstegen för att öka utrymningskapaciteten så långt det är möjligt.

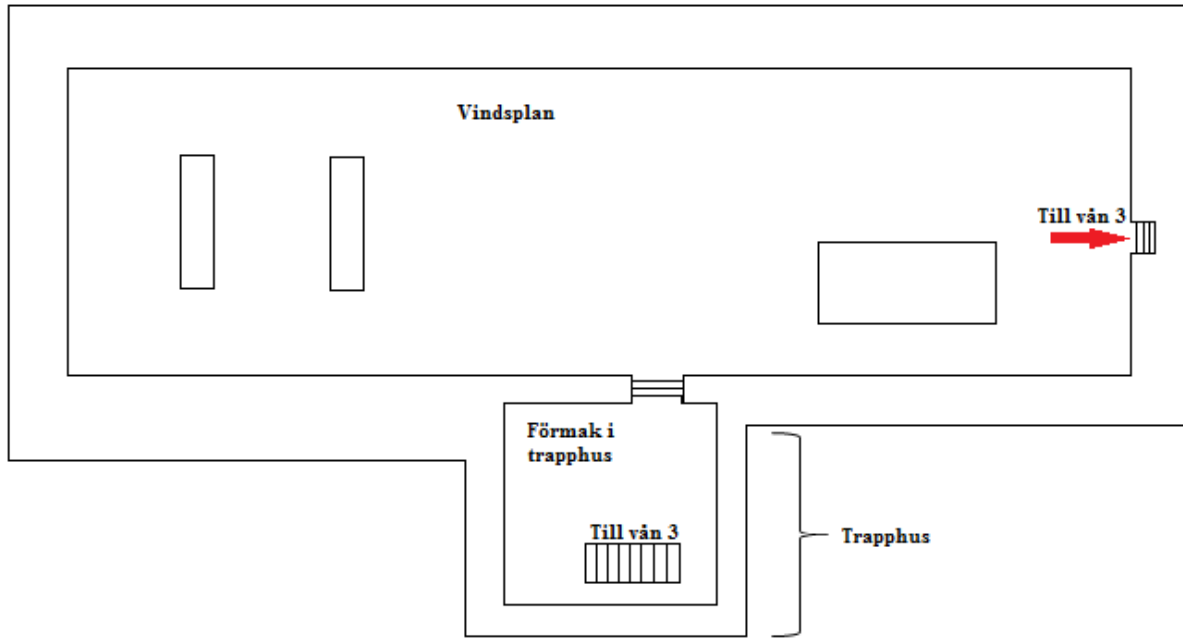


Figur 54 – T.v. trappan som murats igen i enda änden  
T.h. trappan som leder upp till vindsplanet från Gästrumsvåningen

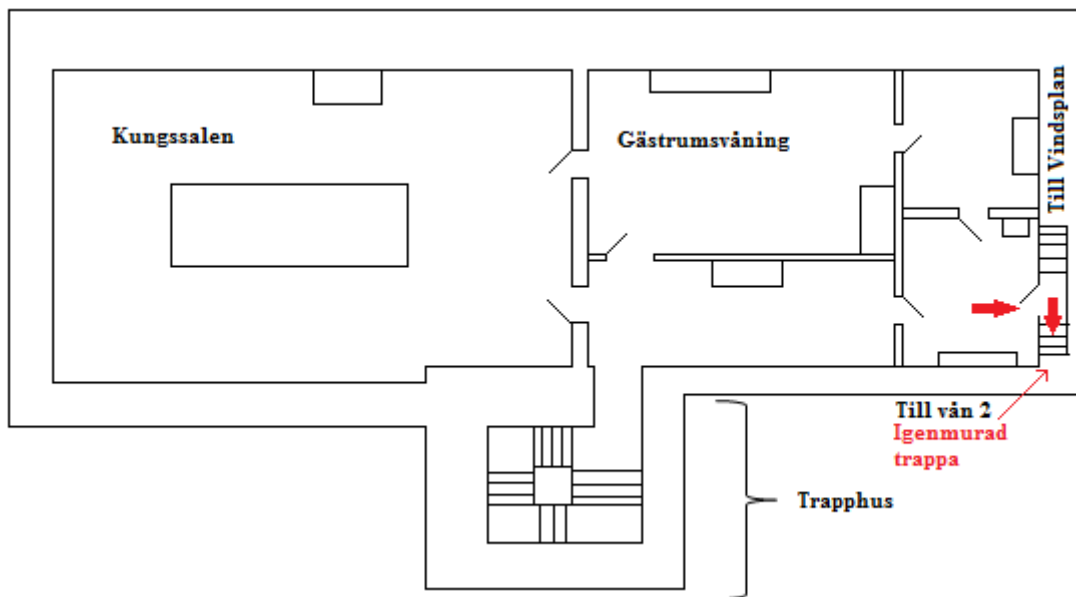
Förslag på åtgärd:

- Inför ytterligare en utrymningsväg
- Installera utrymningsbeslag
- Förse utrymningsväg med nödbelysning och räcken

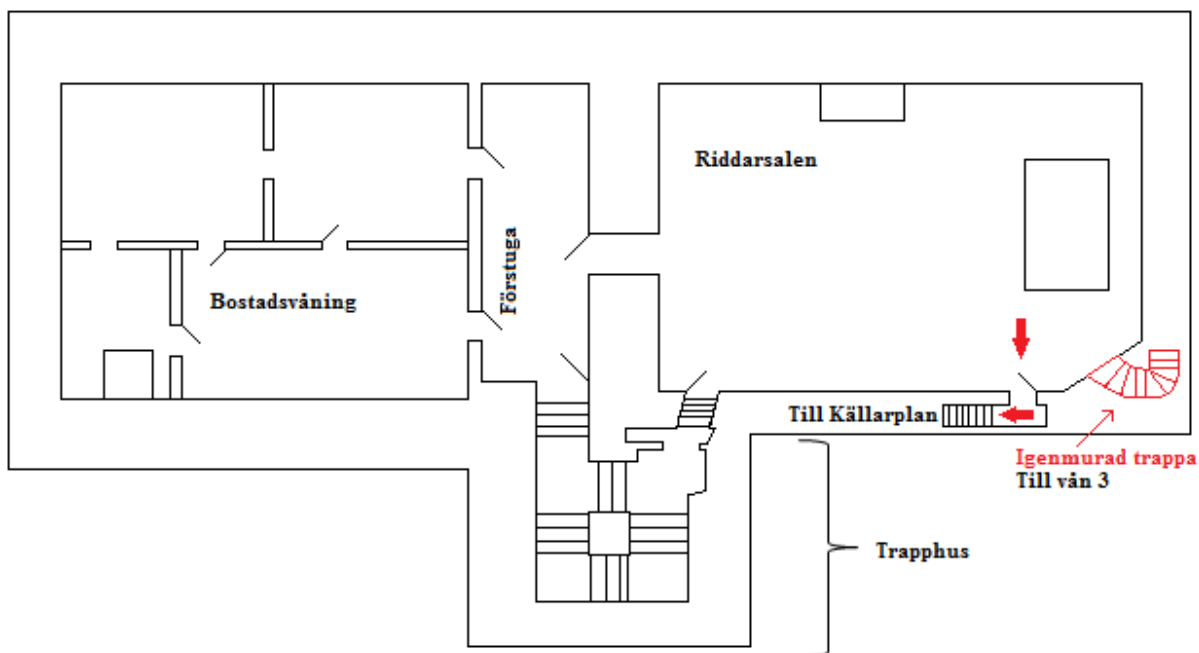
Om en ny utrymningsväg införas kommer de utrymmande ha möjligheten att utrymma via en helt ny väg, se Figur 55-Figur 58. Detta medför en mängd positiva effekter för sannolikheten att de utrymmande lyckas genomföra en säker utrymning. På dessa grunder kommer införandet av ytterligare en utrymningsväg att behandlas vidare i rapporten.



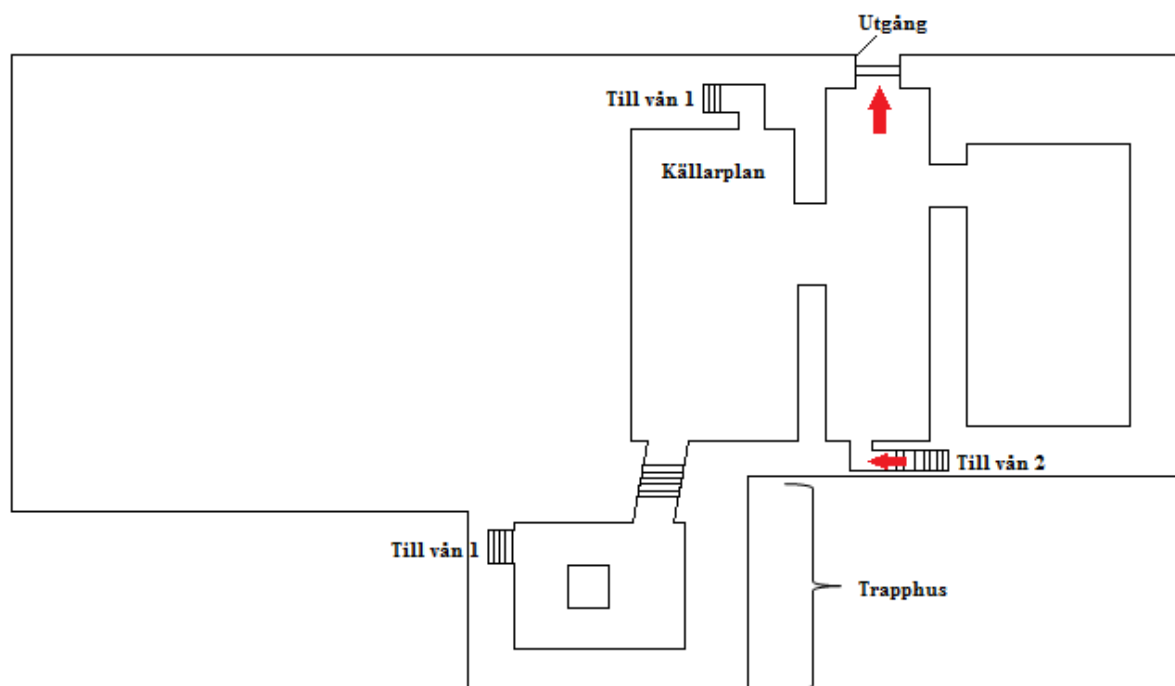
Figur 55 – Ritning över Vindsplan med ny utrymningsväg



Figur 56 – Ritning över våningsplan 3 med ny utrymningsväg



Figur 57 – Ritning över våningsplan 2 med ny utrymningsväg



Figur 58 – Ritning över Källarplanet med ny utrymningsväg

### **13.3 Kompletterande åtgärder**

I avsnittet följer kompletterande åtgärder. De kompletterande åtgärderna kan utöka brandskyddet utöver åtgärdsförslaget.

#### **13.3.1 Upprätta insatsplan**

I dagsläget finns det ingen insatsplan för Torpa Stenhus. För att minimera tiden mellan inställelse och påbörjad insats och öka effektiviteten av insatsen kan en insatsplan upprättas av räddningstjänsten.

Förslag på åtgärder:

- Upprätta insatsplan

Då tiden till inställelse för räddningstjänsten är lång kommer denna åtgärd inte påverka utrymningsmöjligheten. Att ha en insatsplan är emellertid av stor vikt för att skydda det kulturhistoriska värdet. På dessa grunder anses upprättande av insatsplan som en kompletterande åtgärd och kommer inte behandlas vidare i rapporten.

#### **13.3.2 Införa åskskydd**

I dagsläget har Torpa Stenhus inget åskskydd. Förslag på åtgärd:

- Installera åskskydd

Genom att installera åskskydd på Torpa Stenhus kan sannolikheten för att en brand på grund av åska uppstår reduceras. Sannolikheten att brand uppstår till följd av åska är dock mycket liten och nyttan med åtgärden anses inte väga tillräckligt tungt på grund av byggnadens placering och omgivning. Därmed anses installation av åskskydd vara en kompletterande åtgärd och kommer inte behandlas vidare i rapporten.

#### **13.3.3 Minska användandet av levande ljus**

Under de flesta evenemang som anordnas på Torpa Stenhus levande ljus tända. Under objektsbesöket noterades att en stor mängd ljus finns utplacerade runt om i byggnaden. Levande ljus anses vara en av de mest betydande riskerna för uppkomst av brand.

Förslag på åtgärd:

- Minska användandet av levande ljus

Genom att minska användandet av levande ljus kan sannolikheten att brand uppstår till följd av detta reduceras. Om rutiner införs enligt avsnitt 13.1.3 anses inte ett minskat användande av levande ljus medföra någon betydande reduktionen av sannolikheten att brand uppkommer till följd av detta. På grund av detta anses åtgärdsförslaget vara en kompletterande åtgärd och kommer inte behandlas vidare i rapporten.

#### **13.3.4 Flamskydda inredningen**

Inredningen i Torpa Stenhus är i dagsläget inte flamskyddat. Inredningen består mestadels av trä men det finns även inslag av textilier i form av dukar, vävbeklädda väggar och gardiner. Textilierna står i vissa fall i nära anslutning till antändningskällor i form av levande ljus och elektrisk utrustning.

Förslag på åtgärd:

- Flamskydda inredning

Genom att flamskydda inredning kan sannolikheten för antändning reduceras. Åtgärden är dock mödosamt och nyttan med en flamskyddad inredning anses inte väga tillräckligt tungt. På grund av detta ses flamskyddad inredning som en kompletterande åtgärd och kommer inte behandlas vidare i rapporten.

#### **13.3.5 Ändra detektorernas felmeddelande**

Detektorerna är en central del av det befintliga brandskyddet och en tidig upptäckt av brand är viktig för de utrymmandes möjlighet till säker utrymning. De befintliga detektorerna har ett felmeddelande bestående av en blinkande lysdiod.

Förslag på åtgärd:

- Ändra detektorernas felmeddelande

Detektorernas felmeddelande kan ändras så att deras felfunktion lättare kan identifieras. Exempelvis genom att en felfungerande detektor kan avläsas på centralenheten. Genom att ändra detektorernas felmeddelande kan sannolikheten att en detektor felfungerar och av den anledningen inte detekterar en brand reduceras. Om rutiner införs enligt avsnitt 13.1.3 anses dock ett ändrat felmeddelande på detektorn inte medföra någon ytterligare reduktion av sannolikheten att detta inträffar. På grund av detta anses ett ändrat felmeddelande på detektorn vara en kompletterande åtgärd och kommer inte behandlas vidare i rapporten.

#### **13.3.6 Installera automatiskt brandlarm**

Det befintliga brandlarmet på Torpa Stenhus är kopplat till Securitas larmcentral. Ett alternativ till detta är att direkt koppla brandlarmet till Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund.

Förslag på åtgärd:

- Installera automatiskt brandlarm

Ett automatiskt brandlarm tenderar att avge fellarm. Då körsträckan är lång är det ineffektivt resursutnyttjande om larmet visar sig vara ett fellarm. Även om det automatiska brandlarmet löser ut av en verklig brand kommer tiden till att insats påbörjas vara lång. Den långa tiden gör att installation av ett automatiskt brandlarm inte påverkar utrymningssäkerheten. Åtgärden kommer inte behandlas vidare i rapporten.

### **13.3.7 Införa manuella larmknappar**

Manuella larmknappar ger gäster och personal som ser branden en möjlighet att snabbt och tillförlitligt kunna larma vid uppkomst av brand.

Förslag på åtgärd:

- Installera manuella larmknappar

Om larmknappar installeras bör de kopplas direkt till räddningstjänsten. Räddningstjänsten kan då påbörja sin räddningsinsats snabbare. Larmknappen ger även möjlighet för en person som ser branden att larma och på så sätt reducera varseblivningstiden för de som befinner sig i övriga delar av byggnaden.

En besökare förväntas inte ta initiativ till att trycka på larmknappen eller notera var de finns, snabbare än den tid det tar för detektorn att aktivera. Detta kommer därför inte ha någon inverkan på varseblivningstiden. Brandutbildad personal förväntas veta var larmknapparna är placerade och larma så fort de blivit varse att brand uppkommit. Således förväntas varseblivningstiden enbart reduceras i de fall då personalen ser branden. Eftersom personalen utgör en väldigt liten andel av det totala antalet personer anses nyttan med åtgärden inte väga tillräckligt tungt. På dessa grunder ses införande av manuella larmknappar som en kompletterande åtgärd och kommer inte behandlas vidare i rapporten.

### **13.3.8 Regelbunden besiktning av elektronisk anläggning**

Brand uppkommen genom fel i elektriska komponenter är en av de mest betydande riskerna som identifierats i riskanalysen. Det befintliga elsystemet i Torpa Stenhus är nyligen renoverat.

Förslag på åtgärder:

- Regelbunden besiktning av elektronisk anläggning

Elsystemet har nyligen renoverats och sannolikheten att brand uppkommer till följd av elfel anses vara reducerad. Det finns inget negativt med att låta en besiktningsman med jämna mellanrum undersöka den elektriska anläggningen. Detta är en åtgärd som är nödvändig på längre sikt då det befintliga elsystemet nyligen blivit renoverat. Åtgärden kommer därför inte behandlas vidare i rapporten.

## **13.4 Personkapacitet**

På Torpa Stenhus finns två stora salar som har personkapaciteten 100 i Riddarsalen respektive 110 i Kungssalen. Antal personer har en direkt påverkan på förflyttningstiden och ett minskat antal personer som tillåts vistas i byggnaden medför kortare tid för utrymning.

Förslag på åtgärd:

- Reducera tillåtet personantal i byggnaden

Genom att reducera maximalt antal tillåtna personer som får vistas i byggnaden reduceras tiden för förflyttning som i sin tur leder till en reducerad utrymningstid. Dock baseras verksamheten på att det finns besökare och att minska tillåtet antal personer i byggnaden ses inte som en primär åtgärd.

### 13.5 Diskussion kring åtgärdsförslag

Ett brandskydd som uppfyller skyddsmålen anses erhållas via implementering av *Åtgärder för att tillgodose säker utrymning via trapphuset* och *Införa ytterligare en utrymningsväg*. Genom att införa en ny utrymningsväg samt utöka det befintliga brandskyddet kommer det medföra att det finns två av varandra oberoende utrymningsvägar.

För att ytterligare utöka brandskyddet kan de *Kompletterande åtgärderna* vidtas. Om åtgärderna för *Åtgärder för att tillgodose säker utrymning via trapphuset*, *Införa ytterligare en utrymningsväg* och *Kompletterande åtgärder* inte kan vidtas måste vidare utredning genomföras för åtgärder kring *Personkapacitet*.

### 13.6 Sammanfattning

De åtgärdsförslag som utreds vidare är följande:

- **Tillgodose säker utrymning via trapphuset**
  - Införa täta dörrar
  - Installera automatiska dörrstängare till Kapellet
- **Förbättra möjligheterna för navigering i byggnaden**
  - Byt ur befintliga utrymningsskyltar till genomlysta utrymningsskyltar
  - Installera genomlysta utrymningsskyltar för den nya utrymningsvägen
- **Utöka systematiskt brandskyddsarbete**
  - Brandskyddsutbildning
  - Skyddsronder
  - Rutiner och ansvarsområden
- **Installera detektor i Personalrum**
- **Reducera brandrisken i Personalrum**
  - Reducera mängden brännbart material
  - Installera timer på eluttag
- **Införa informativt talat meddelande som utrymningslarm**
- **Införa ytterligare en utrymningsväg**
  - Installera utrymningsbeslag
  - Förse utrymningsväg med nödbelysning och räcken





## 14. Validering av enskilda åtgärder

*I kapitlet följer validering av åtgärderna i åtgärdsförslaget.*

### 14.1. Införa täta dörrar

Kritiska förhållanden som förhindrar en säker utrymning uppstår då brandgaser från rummet där brand uppstått sprids till utrymningsvägarna och överskrider de uppsatta acceptanskriterierna. Om dörren till rummet där en brand uppstått står öppen finns det inget som förhindrar brandgasspridningen.

Ett sätt att motverka brandgasspridning är att tillse att dörrarna är täta och stängda. Är dörrarna stängda begränsas brandgasspridning och tillförseln av ny luft reduceras. Syretillgången är en av de begränsande faktorerna hos en brand. Minskas tillförseln av luft till brandrummet kan en brand som begränsas av mängden bränsle istället begränsas av syretillgången. En brand som är syrebegränsad kan begränsas ytterligare genom mindre tillförsel av luft. En faktor som spelar in på flödet av både brandgaser och tillförseln av luft är därför dörrens täthet.

Samtliga dörrar i Torpa Stenhus bör tätas. Utifrån resultat från händelseträdet i avsnitt 11.6 har scenarierna *brand i Kapell* och *brand i Personalrum* de mest negativa tidsmarginalerna. För att säkra utrymning genom trapphuset behöver störst vikt läggas på dessa scenarier. Det innebär att flest utrymmande utsätts för kritiska förhållanden i de scenarierna. Endast personal äger tillträde till Personalrummet vilket bör bidra till att dörren kan hållas stängd och låst. Vid brand i Kapell behöver dörren tätas i kombination med att installera automatiska dörrstängare.

Fullskaliga tester har genomförts av NIST för studentboenden i USA. I försöken antändes ett flertal likadant inredda rumslägenheter i storleken 15,75 m<sup>2</sup>. Lägenheterna var sammanlänkade med en gemensam korridor vars volym var 116 m<sup>3</sup>. I tre av försöken var den enda förändringen att dörren till rummet var stängd eller öppen. Dörrarna i försöket bestod av massiva trädörrar med en glipa på 5 millimeter ± 2 millimeter mellan ram och dörr. I brandrummen fanns ingen ventilation. Slutsatsen som drogs i denna studie var att en stängd dörr både kan minska brandens utbredning och brandgasspridning. I experimentet uppnåddes inte kritiska förhållanden i korridoren när dörren var stängd. Temperaturen i korridoren var lik den omgivande temperaturen på 27 °C. I försöket var kritiska förhållanden definierade som bland annat ett temperaturkriterium på 120 °C [30].

Försöksuppställningen kan liknas med scenariet *brand i Personalrum* där både arean på brandrummet och korridoren är av liknande storlek. Genom implementering av åtgärderna i åtgärdsförslaget kan en täthet uppnås, liknande den för dörrarna i försöket. På så vis är det inte troligt att branden i Personalrummet kommer resultera i att kritiska förhållanden uppnås utanför brandrummet. Självsläckning av branden är troligt.

För scenarierna *brand i Kapell* och *brand på Bostadsvåning* kan inte försöksuppställningen i lika stor utsträckning liknas med brandrummet. Genom implementering av åtgärderna i åtgärdsförslaget kan en täthet uppnås, liknande den för dörrarna i försöket. Bränderna kommer inte begränsas av mängden syre i lika stor utsträckning som vid *brand i Personalrum* eftersom det finns mer syre att tillgå inom geometrin. Dock kommer den positiva effekten av en minskad brandgasspridning genom täta och stängda dörrar även erhållas i dessa scenarier. Branden förväntas begränsas på grund av syretillgången i samma utsträckning som ventilationsflödet påverkar brandförloppet. På så vis är det inte troligt att bränderna kommer resultera i att kritiska förhållanden uppnås utanför brandrummet. Självsläckning av branden är dock inte lika trolig.

## 14.2. Genomlysta utrymnings skyltar

Genomlysta utrymnings skyltar underlättar navigeringen i byggnaden. Har de utrymmande en god lokalkännedom förväntas de inte ta tid på sig för att navigera sig eller minska gånghastigheten. En känslighetsanalys utfördes angående de utrymmandes gånghastighet i datorprogrammet Simulex, som redovisas i Bilaga C. Det gav resultatet att en minskad gånghastighet på 10 % motsvarar en förlängd förflyttningstid på 30 sekunder. En minskad gånghastighet på 30 % motsvarar en förlängd förflyttningstid på 165 sekunder. För att en belyst utrymnings skylt skall syns bra bör dess ljusstyrka i förhållande till omgivningen vara av en faktor 1:20 [32].

## 14.3. Detektor i personalrum

Installation av en detektor i Personalrum leder till en snabbare varseblivningstid. Beräkning av varseblivningstid har utförts med hjälp av FDS för de övriga scenarierna, där den högsta aktiveringstiden blev 37 sekunder. I dessa scenarier är volymen betydligt större än det scenario som berör Personalrummet. Data från fullskaliga försök av liknande geometri som Personalrummet gav en aktiveringstid för rökdetektorn på 24 sekunder [30]. Med stöd av försöket och simuleringar för de övriga scenarierna dras slutsatsen att genom installation av en detektor i Personalrummet kommer inte varseblivningstiden att överskrida 37 sekunder. Detta antagande är validt då Personalrummet både har en mindre volym och en lägre takhöjd.

## 14.4. Reducera sannolikhet för uppkomst av brand i Personalrum

Enligt händelserådet i avsnitt 11.6 är scenariet *brand i Personalrum* det scenario med högst risk då dess tidsmarginal är mest negativ. Minskning av brandkonsekvensen i detta rum kan utföras genom att ta bort material som inte anses vara nödvändigt att förvara där för att det dagliga arbetet skall kunna fortgå.

Antagandet om att tillväxthastigheten är *fast* i Personalrummet baseras på att rummet har en liten volym och mycket brännbart material. Efter genomförd åtgärd kommer rummet inte längre att innehålla samma mängd brännbart material och på så vis kan tillväxthastighet minskas.

Tillväxthastigheten definieras som ett medelvärde av de tal som representerar tillväxthastigheterna *medium* och *fast*. Denna tillväxthastighet anses mer representativ för brandscenariet.

Den minskande tillväxthastigheten skulle medföra att tiden till att den maximala effektutveckling nås ökas från 173 sekunder till 224 sekunder enligt liknande beräkningsmodell som presenteras i Bilaga A vid resonemang kring effektutveckling. Tiden till att den maximala effektutvecklingen nås ökar då med 51 sekunder. Resultatet från beräkningen motiverar att åtgärden bör vidtas.

## 14.5. Åtgärder för systematiskt brandskyddsarbete

Ett utökat systematiskt brandskyddsarbete kommer att påverka brandskyddet i Torpa Stenhus positivt. Detta genom att sannolikheten för uppkomst av brand minskar på grund av ett ökat förebyggande brandskyddsarbete men även genom att personalens riskmedvetenhet kan minska utrymningstiden.

I avsnitt 7.1 redovisas tio brandorsaker utifrån statistik för objekt som kan liknas med Torpa Stenhus. Sannolikheten för dessa brandorsaker kommer att kunna reduceras om det systematiska brandskyddsarbetet utvecklas. De tre olika delarna av det systematiska brandskyddet kan reducera olika brandorsaker. I Tabell 14 redovisas brandorsaker vars sannolikhet att inträffa förväntas reduceras med ett utökat systematiskt brandskyddsarbete.

Tabell 14 – Förkortad sannolikhetstabell för brandorsaker utifrån statistik för liknande objekt

Brandorsak	Sannolikhet
Levande ljus (7 %)	0,0660
Anlagd med uppsåt (36 %)	0,3608
Annan (8 %)	0,0826
Okänd (27 %)	0,2736
Rökning (1,2 %)	0,0118
Tekniskt fel (16 %)	0,1580

### 14.5.1. Brandutbildning

Om personalens brandutbildning utökas kommer deras riskmedvetenhet och initiativtagande att öka. Därmed förebyggs och riskreduceras uppkomsten av brand. Får personalen utbildning i att hantera handbrandsläckare kommer sannolikheten för att de tar eget initiativ och påbörjar släckning vid tillbud att öka. Till exempel kommer sannolikheten för uppkomst av brand på grund av levande ljus att minska om personalen är riskmedveten. Även sannolikhet för uppkomst av brand på grund av tekniskt fel kan reduceras om personalen har en god utbildning i handhavandet av handbrandsläckare och risker med placering av elradiatorer, vattenkokare och mikrovågsugn.

Om personalen erhåller kunskap genom brandutbildning med avseende på utrymningsrutiner kan utrymningen påbörjas snabbare vid brand och därmed minska utrymningstiden.

### 14.5.2. Skyddsronder

Om regelbundna skyddsronder genomförs i Torpa Stenhus kommer åtgärden bland annat kunna förebygga att dörrar som skall vara stängda förblir uppställda och att handbrandsläckare inte är synliga. Då en stor del av åtgärdsförslaget baseras på att dörrar skall vara stängda i händelse av brand är det viktigt att personalen aktivt arbetar och kontrollerar detta samt tillser dörrstängarnas funktion.

Skyddsronderna kommer även reducera sannolikheten för att detektionssystem felfungerar utan att det upptäcks. Viktigt är att utrymningsvägarnas framkomlighet kontrolleras och hålls fria från lös inredning.

### 14.5.3. Rutiner och ansvarsområden

Formaliserade, dokumenterade rutiner och ansvarsområden är ett bra sätt att tillhandahålla personalen med information om det arbetssätt och hur de förväntas agera i händelse av brand. Det är även ett bra sätt att kontrollera att det förebyggande brandskyddsarbetet upprätthålls av personal.

Vid evenemang kan ett ansvarsområde vara att tända/släcka ljusen samt se till att de står stadigt och säkert. Inom detta område kan det till exempel ingå att den ansvariga personen även går en rundtur för att kontrollera att ingen stött till ett ljus eller flyttat på dem.

#### 14.6. Införa informativt talat meddelande

Införandet av ett informativt talat meddelande förändrar förutsättningarna som ligger till grund för de rekommenderade förberedelsestiderna. De nya förutsättningarna ger enligt BBRAD ett rekommenderat värde på 60 sekunder oberoende av vilken aktivitet som pågår i byggnaden och hur personalen agerar [2]. Tiden på 60 sekunder är applicerbar på samtliga utrymningsscenarier, se Tabell 15.

Tabell 15 – Förberedelsestid innan och efter åtgärd

Aktivitet i byggnaden	Tränad personal	Förberedelsestid innan åtgärd [s]	Förberedelsestid med åtgärd [s]
Öppet hus	JA	210	60
Öppet hus	NEJ	210	60
Bröllop	JA	60	60
Bröllop	NEJ	150	60

#### 14.7. Införa ytterligare en utrymningsväg

En ny utrymningsväg ger de utrymnande möjlighet att utrymma via en väg som är helt oberoende av trapphuset. Det är av stor vikt att ha två av varandra oberoende utrymningsvägar eftersom människor i byggnaden skall kunna ta sig ut om en av dem blir blockerad. Genom att simulera den föreslagna utrymningsvägen kan åtgärden ses som tillräcklig för att vara ett alternativ om förflyttningstiden som erhålls i Simulex är i samma storleksordning som förflyttningstiden via trapphuset.

Då samtliga personer utrymmer via den nya utrymningsvägen under bröllopsevenemang resulterade simuleringstiden på 260 sekunder, se Bilaga C avsnitt C.4. Denna utrymningstid är enbart några sekunder längre än för utrymningssimuleringen i trapphuset. Eftersom erhållna utrymningstider är i samma storleksordning kan den nya utrymningsvägen ses som ett alternativ till trapphuset.

## 15. Validering av åtgärdsförslag

I Figur 59 presenteras vidtagna åtgärder i ett händelsetråd.

Brandscenario	Aktivitet i byggnaden	Detektorn fungerar	Tränad personal	$t_{utrymning}$ före åtgärd [s]	$t_{utrymning}$ efter åtgärd [s]	Differens av $t_{utrymning}$ före & efter åtgärd [s]	Tidsmarginal för de utrymmande efter åtgärd [s]	
Brand uppstår	2	Bröllop	JA	JA	306	306	0	+
			NEJ	NEJ	396	306	90	+
		Öppet hus	JA	JA	344	344	0	+
			NEJ	NEJ	434	344	10	+
	3	Bröllop	JA	JA	350	200	150	+
			NEJ	NEJ	350	200	150	+
			JA	JA	388	238	150	+
			NEJ	NEJ	388	238	150	+
		Öppet hus	JA	JA	331	331	0	+
			NEJ	NEJ	421	331	90	+
			JA	JA	375	306	69	+
			NEJ	NEJ	465	306	159	+
	5	Bröllop	JA	JA	375	225	150	+
			NEJ	NEJ	375	225	150	+
			JA	JA	419	200	219	+
			NEJ	NEJ	419	200	219	+
		Öppet hus	JA	JA	308	308	0	+
			NEJ	NEJ	398	308	90	+
			JA	JA	376	376	0	+
			NEJ	NEJ	466	376	90	+
Öppet hus	JA	JA	352	202	150	68		
	NEJ	NEJ	352	202	150	68		
	JA	JA	420	270	150	0		
	NEJ	NEJ	420	270	150	0		

Figur 59 - Händelsetråd med åtgärder

## 15.1 Slutsats

I händelseträdet framkommer att positiv tidsmarginal erhålls i samtliga fall förutom två där tidsmarginalen är 0. I många av resultaten som presenteras anges inte ett numeriskt värde utan med ett plustecken. Detta då dörrarna antas fungera enligt specifikation i åtgärdförslaget. Dörrarna bidrar då med en fördröjd tid till kritiska förhållanden i den utsträckning att personerna i byggnaden hinner utrymma utan att utsättas, se kapitel 14.1.

I händelseträdet presenteras även en kolumn som beskriver hur mycket av utrymningstid som reducerats vid implementering av åtgärdsförslag. Resultatet visar att de händelseutvecklingar som ger den längsta utrymningstiden utan åtgärder också är de vars tidsmarginal kan reduceras mest genom implementering av åtgärder. För sex av de 24 scenarierna förändras inte tidsmarginalen alls, detta är de scenarier med en gynnsam händelseutveckling och således en relativt låg utrymningstid. Den enskilt effektivaste åtgärden med avseende på utrymningstiden är införandet av informativt talat meddelande.

## 16. Diskussion

*I kapitlet förs diskussion gällande avgränsningar, beräkningar, simuleringar samt vilken inverkan förenklingar och antaganden har haft på de resultat som erhålls ur rapporten. Diskussion kring alternativa metoder kommer att föras under kapitlet.*

### 16.1. Avgränsningar

Rapporten som skrivs i kursen Brandteknisk Riskvärdering vid Lunds Tekniska Högskola har en styrd avgränsning från kursplanen. Rapporten inriktas till att behandla personsäkerhet vid utrymning. Personsäkerhet vid utrymning i händelse av brand äventyras framförallt i det initiala skedet av brandförloppet. Utifrån det har avgränsningar som presenteras under kapitel 1 definierats.

### 16.2. Beräkningar, simuleringar och antaganden

Brand är ett komplext fenomen och det är ett digert arbete att förutsäga hur en brand kommer te sig. Genom ett konservativt ingenjörsmässigt tänkande, handberäkningar och simulering av modeller kan dock slutsatser dras om hur ett brandförlopp kommer ske. Då framförallt med avseende på brandgasspridning, temperaturgenerering och strålning.

Det är viktigt att veta vilka avgränsningar och förenklingar som utförs vid användandet av modellerna. Detta för att ta reda på vilken osäkerhet som resultatet, genom användandet av modellen, erhåller. I rapporten har det strävats efter att göra trovärdiga antaganden vilket medför att resultaten som erhålls ur rapporten anses trovärdiga.

Statistik för bränder som har inträffat i liknande objekt används ofta som underlag vid utförandet av brandtekniska riskvärderingar. I rapporten konstaterades det att statistik saknas för bränder i kulturbyggnader. Istället användes statistik för byggnader som kan liknas med Torpa Stenhus sammanvägt med ingenjörsmässiga bedömningar av risk.

De ritningar som finns över Torpa Stenhus är uppmätta år 1894 och omarbetade år 2004. Många detaljer saknas i ritningarna. Under platsbesöket på Torpa Stenhus utfördes av den anledningen en ny uppmätning av utrymmen för att erhålla ett underlag till ritningar som skulle framställas i datorprogrammet CAD. Mätningarna som utfördes tog varken hänsyn till inredning eller till att vissa väggar och tak inte var släta. Väggarna och taket förenklades till att vara släta och måttet som togs var ett överslag av måttet över hela ytan. Detta kan medföra följdfel i vissa simuleringar till exempel modellerad turbulens i FDS. Anledningen till det är att släta väggar inte orsakar lika stor turbulens hos brandgaserna som icke släta väggar gör.

### 16.3. Brandens effektutveckling

Bränderna i scenarierna antas följa  $at^2$  modellen med anledning att modellen återspeglar hur en verklig brand beter sig i initialskedet. Modellen innebär att brandens effektutveckling är direkt beroende av tillväxthastigheten. Beräkningarna försummar förbrinntiden och ger därmed en konservativ tid till maximal effektutveckling.

Effektutvecklingarna beräknas genom att kontrollera ifall branden begränsas av syre- eller bränslebrist. För att utföra kontrollberäkningar på syretillgången tas hänsyn till den befintliga

mängden syret i rummet alternativt mängden syre som strömmar in genom ventilationsöppningar. Vid kontrollberäkningar av bränsletillgången har brandrummet jämförts med liknande lokaler.

Det finns olika metoder för beräkning av effektutvecklingar. Det medför att det blir svårt att bedöma vilken metod som är mest tillämpbar för de olika fallen. Ifall en felaktig storlek på effektutvecklingen används som indata till simuleringar i datorprogrammet FDS kommer det resultera i simuleringar som inte kan återspegla verkliga förhållanden. Det som kan utföras för att kontrollera effektutvecklingarnas trovärdighet är en bedömning av värden utifrån exempelvis experiment som utförts.

Ifall beräkningar hade utförts med en alternativ beräkningsmetod hade resultatet skilt sig från det som finns i rapporten. För att kontrollera hur giltig de beräknade effektutvecklingarna är utfördes en jämförelse med erhållna resultat från experiment. Slutsatsen drogs att effektutvecklingarna är i samma storleksordning och att de värden som används i rapporten är konservativa.

## 16.4. Simulex

En avgränsning som utförts i utrymningssimuleringarna är att de små stentrapporna som går i väggarna inte har tagits med i de första simuleringarna då de inte är utsatta som utrymningsvägar i byggnaden. Innan åtgärdsförslagen fanns endast det stora trapphuset som vägval och därmed blir resultatet av förflyttningstiden konservativt framtaget då möjligheten att ta en annan väg inte fanns. Denna avgränsning utfördes främst för att de små stentrapporna i dagsläget inte utgör en optimal utrymningsväg. Denna avgränsning ger en konservativ förflyttningstid och gör därmed att verifieringen av de åtgärder som föreslås också stärks. Att frigöra den igenmurade trappan, och därmed införa de små trapporna som en alternativ utrymningsväg, lades fram som en möjlig åtgärd och då utfördes simuleringar där trapporna inkluderas.

För att kunna utföra simuleringar i Simulex var vissa förenklingar tvungna att genomföras. Trapphuset i Torpa Stenhus är format som en spiral men då programmet endast kan definiera raka trappor utfördes en förenkling angående byggnadens geometri. Förenklingen minskar utrymningstiderna och ger därmed inte ett konservativt värde. Dock var förenklingen nödvändig för att programmet skulle kunna utföra beräkningar. Ingen annan tillämpningsätt var möjligt.

Andra faktorer som även påverkar resultatet som erhålls ur programmet är köbildningar som bildas vid dörröppningen på grund av flödet samt att personerna i simuleringen packar sig tätare än vad de hade gjort i verkligheten. Dessa förenklingar är faktorer som minskar resultatets trovärdighet men som anses nödvändiga för att ett resultat skall kunna erhållas ur programmet.

I simuleringen har hänsyn tagits till inredning som skulle kunna vara utplacerad i Torpa Stenhus under evenemangen öppet hus och bröllop. I verkligheten hade de utrymmande kunnat flytta på inredning för att ta sig ut men i programmet förhindrar inredningen utrymningen. Inredningen bidrar till konservativt tider för utrymning.

En känslighetsanalys i datorprogrammet Simulex har utförts för att kontrollera hur mycket gånghastigheten inverkar på utrymningstiden. Brandgaserna som genereras vid en eventuell brand orsakar en sikttnedsättning som i sin tur kommer minska de utrymmandes gånghastighet. Resultatet gav att en minskad gånghastighet leder till ökning av utrymningstiden. Det erhållna resultatet är viktigt att ha i åtanke när evenemang anordnas på Torpa Stenhus.



Beräkning av förflyttningstiden vid utrymning hade alternativt kunnat tas fram med handberäkningar. Genom att definiera bland annat persontätheten, antal utrymmande personer samt den totala utrymningssträckan tiden beräknas. Utförandet med handberäkning anses dock medföra större osäkerheter än datorprogrammet Simulex. Genom handberäkningar tas varken hänsyn till köbildning eller varierande gånghastighet. Av den anledningen anses de erhållna resultaten från datorprogrammet Simulex återspegla verkligheten bättre än vad resultat från handberäkningar hade gjort. Erhållna resultat från handberäkningsmodellen hade medfört andra tider för utrymningen än vad datorprogrammet har gjort.

### 16.5. FDS

Simulering av brandgasspridning utfördes med datorprogrammet FDS. För att kunna utföra simuleringar samt erhålla resultat har ett par förenklingar varit tvungna att utföras.

Inga analyser har utförts beträffande den kritiska nivån för toxiciteten då den förväntas sammanlöpa med kriterierna som har definierats för brandgaslagrets höjd.

Det finns flera metoder för att modellera en brand i viss geometri. Valet föll i denna rapporten på att ta fram effektutvecklingskurvor för en brand som uppstår i ett visst utrymme, för att sedan utifrån dessa kurvor simulera brandgasspridningen via datorprogrammet FDS. Anledningen till att valet föll på denna modell är att den lämpar sig väl för att modellera brandgasspridning i komplexa geometrier.

Ett alternativ till att använda FDS vid simulering av en brand är att använda datorprogrammet CFAST. CFAST utför simuleringar av brandgasspridning i en två zons modell. Det innebär att brandrummet där simuleringen utförs delas upp i två kontrollzoner, en övre och en undre zon. Brandgasernas temperatur och brandgaslagrets höjd är konstant överallt i zonerna. Detta är en förenkling som skiljer sig från verkligheten då det inte finns en tydlig avskiljning av övre och undre zonen vid verkliga bränder [12]. Modellen ger en god approximation av brandgasspridningen i enklare geometrier till exempel brandgasspridning mellan två rum genom en dörr. CFAST modeller är inte tillämpliga i byggnader med komplicerade geometrier eller för rum med hög takhöjd på grund av de turbulenta flödena som geometrierna medför. Av den anledningen valdes FDS över CFAST. Både FDS och CFAST saknar möjlighet att modellera brandspridning. Då detta inte ligger i rapportens fokus kommer det inte diskuteras vidare.

### 16.6. Varseblivningstid

Varseblivningstiden beräknades med hjälp av två olika datorprogram där resultaten som erhålls har jämförts och via en rimlighetsanalys bestäms det värde som skall användas. Det första datorprogrammet som används är DETACT T<sup>2</sup> och den andra är FDS. Programmen har olika begränsningar och använder olika antaganden som det måste tas hänsyn till för att kunna genomföra beräkningarna.. Resultaten från de olika datormodellerna skiljer sig avsevärt och det antas bero på förenklingar och antaganden som modellerna använder. Brandgaserna ansamlas under innertaket och brandgaslagrets höjd måste komma över höjden som motsvaras av sträckan från dörrens övre karm till innertaket. I DETACT T<sup>2</sup> tas ingen hänsyn till att brandgaslagret måste komma över denna höjd för att kunna sprida sig till nästa rum genom dörröppningen. Denna avgränsning påverkar framförallt fallet med beräkning av brandgasspridning mellan utrymmet Personrummet och Förstugan på första

våningen. Det medför att modellen lämpar sig bäst för beräkningar där brandgasspridning endast sker i ett rum.

I DETACT T<sup>2</sup> antas detektorn endast värmas upp av takstrålen och ingen hänsyn tas till uppvärmning från det övre brandgaslagret. Avgränsningarna med modellen leder till att erhållna resultat inte anses tillämpbara för Torpa Stenhus. De erhållna resultaten ansågs dessutom överkliga då de gav en orealistisk lång tid till detektoraktivering.

I FDS modelleras detektoraktivering via en aktiveringsfördunkling på ansatta mätpunkter.

Dessa förenklingar och antaganden som utförts medför att resultat som erhålls ur datorprogrammet DETACT T<sup>2</sup> återspeglar verkliga förhållanden sämre än datorprogrammet FDS. Av den anledningen används erhållna resultat från datorprogrammet FDS istället för värden från DETACT T<sup>2</sup>. Utöver detta har de erhållna tiderna jämförts med tider från fullskaliga försök för att kontrollera dess rimlighet.

### **16.7. Händelseutvecklingarnas täckning**

I praktiken finns otaligt antal händelser som kan inträffa vilket gör det omöjligt att i en utvärdering inkludera alla. I rapporten presenteras ett händelsetråd där hänsyn tas till de tre händelser som förväntas ha störst påverkan på utrymningstiden och samtidigt är att betrakta som sannolika. Med brandscenarierna inkluderat innebär det att händelsetrådet omfattas av 24 olika händelseutvecklingar. De händelseutvecklingarna som beaktas anses ge en fullgod bild av hur händelseförloppet kan se ut. Eftersom utrymningstiden är beroende av händelseutvecklingen anses de ge en fullgod bild över de utrymningstider som kan förekomma.

### **16.8. Påverkan av åtgärder för övriga delar av byggnaden**

I rapporten har tre branscenarier utvärderats och utifrån dessa har ett åtgärdsförslag som upprätthåller skyddsmålen tagits fram. Åtgärderna medför förändringar av brandskyddet över hela byggnaden. En frågeställning som bör diskuteras är ifall åtgärderna även kommer upprätthålla skyddsmålen i resten av byggnaden, då brand uppkommer enligt brandscenarierna som inte utvärderats. Speciellt brandscenarierna som utifrån riskmatrisen fick en medelhög risk. Kriterierna som ligger till grund för skattning av risken var för sannolikhetsbedömningen mängden tändkällor samt lättantändlighet för närliggande material. För konsekvensbedömningen var motsvarande kriterier utrymmets närhet till utrymningsväg, förhållandet rumsvolym/brännbart material och utrymmets belägenhet i byggnaden, lägre ned i byggnaden medför högre risk.

Ett problem som uppdagades senare under arbetsgången efter genomförd grovanalys var att risken i hög grad påverkas av vilken aktivitet som pågår i byggnaden, vilket inte togs hänsyn till då skattning av risken genomfördes. Ett brandscenario vars potentiella risk, då aktivitet i byggnaden togs med som en händelse i händelsetrådet, diskuterades flitigt av författarna var Brand i Gästrumsvåning. Detta eftersom att den troligtvis har lika hög risk som scenarierna på de lägre våningarna när det pågår bröllop. En del av åtgärden att täta samt stänga dörrarna var att under bröllop tillse att alla dörrar i huset står stängda. Stängs alla dörrarna på gästrumsvåningen då bröllop pågår reduceras kraftigt konsekvensen av en brand då alla rummen på gästrumsvåningen separeras med dörrar och var för sig har en liten volym.

### 16.9. Personssäkerhet

De slutsatser som dras i rapporten är att om det i dagsläget bryter ut en brand i byggnaden kommer inte alla gäster som befinner sig i Torpa Stenhus hinna utrymma säkert. Förslag på åtgärder som kan förbättra brandskyddet har tagits fram genom handberäkningar och simuleringar i olika datorprogram. De åtgärder som har föreslagits anses vara nödvändiga samt genomförbara. När åtgärderna togs fram togs det hänsyn både till att Torpa Stenhus är en kulturminnesbyggnad och de evenemang som anordnas. Antaganden och förenklingar har utförts i rapporten men då det har strävats efter att utföra antaganden så konservativt som möjligt anser rapporten giltig.

Rapportens fokus ligger på personssäkerhet och behandlar inte ekonomi- eller miljöaspekter av brandskyddet. Eftersom byggnaden är kulturminnesskyddad finns det därmed ett helt annat hänseende i detta objekt som måste tillgodoses och ges hänsyn till. En av de största utmaningarna med denna brandtekniska riskvärdering har just varit att se till att de lagar och förordningar som skyddar ett kulturminne satisfieras. Med aktsamhet har därför brandskyddet utvärderats och åtgärder tagits fram. Skyddsföreskrifter anger hur en kulturminnesskyddad byggnad skall underhållas och hur den får förändras, därför har analytisk dimensionering tillämpats i den brandtekniska riskvärderingen för att tillgodose kraven för personssäkerhet med hänsyn till skyddsföreskrifterna.

Resultaten som erhålls i rapporten visar på att personsäkerheten inte var garanterad med det befintliga brandskyddet i de tre brandscenarierna. Samtidigt som gruppen har lagt mycket fokus på att tillgodose de förordningar om statliga minneslagar måste det också poängteras att kulturskyddet inte kan stå ovanför personsäkerheten i byggnaden. Skyddsmålet är att alla personer som befinner sig i Torpa Stenhus skall kunna genomföra en säker utrymning. Torpa Stenhus endast har en utrymningsväg vilket medför vissa svårigheter. Detta i och med att skyddsmålet skall tillgodoses och kulturminneslagarna begränsar på vilket sätt byggnaden får förändras. Då endast personsäkerheten spelar in på lagkraven, med avseende på brandskydd, för om en verksamhet kan bedrivas måste det i värsta fall genomföras ett ingrepp i byggnadens konstruktion. Eller så kan personer helt enkelt inte tillåtas att vistas i byggnaden om det är så att personsäkerheten inte kan garanteras. Detta har gjort att gruppen föreslagit många och små åtgärder för att till största möjliga mån uppfylla skyddsmålet utan att påverka byggnaden i alltför stor utsträckning.

### 16.10. Åtgärdernas påverkan på det kulturhistoriska värdet

Enligt Lagen om skydd mot olyckor skall ägare eller innehavare av en byggnad i skäligen omfattning vidta de åtgärder som förbättrar byggnadens brandskydd. Ett problem i rapporten har varit att veta hur vi ska förhålla oss till just denna formulering. Vad är egentligen ett skäligen brandskydd? Spontana känslan är skälighet betyder att nyttan med åtgärden väger upp kostnaden. Det faktum att byggnaden är kulturminnesmärkt innebär att ytterligare en aspekt måste vägas in i skälighetsbedömningen, nämligen om nyttan väger upp den förändringen av det kulturhistoriska värdet som åtgärden medför. Att bedöma vad som är skäligen har under arbetets gång är svårt för oss att avgöra. I rapporten har fokus istället legat på att bedöma nyttan med de åtgärder som föreslås, och ett åtgärdsförslag har tagits fram som krävs för att leva upp till de skyddsmål som vi har satt upp utifrån BBRAD.

Man hade kunnat samtala med riksantikvarien för att höra hur denna ser på genomförbarheten av åtgärderna men detta faller utanför ramen för brandtekniska riskvärderingens omfattning. Vi har tagit fram de åtgärder som vi anser vara de mest effektiva med kulturmärknings i åtanke. Nedan följer lite diskussion kring varför vi anser att åtgärdernas nytta väger upp minskningen av kulturhistoriska värdet som åtgärderna innebär.

Resultatet visar att tiden till kritiska förhållanden är den parameter som har störst påverkan på tidsmarginalen. För att möjliggöra utrymning genom trapphuset har vi försökt satsa på att fördröja tiden till att kritiska förhållanden uppstår i trapphuset. Olika förslag diskuterades men många föll bort på grund av att åverkan på byggnaden anses vara för omfattande. Det förslag som ansågs vara mest rimligt var att täta de befintliga dörrarna i största möjliga mån. Även detta förmodas påverka det kulturhistoriska värdet men vår uppfattning är att om tätningen genomförs med det kulturhistoriska värdet i fokus kan en tätning göras dolt för de besökande och på ett sådant sätt att det inte skadar dörrarna. Om man någon gång i framtiden inte längre har en verksamhet som innebär att gäster finns närvarande i huset kan dörrarna återställas till sitt ursprungliga kulturhistoriska värde.

För att utvinna den positiva effekt som de täta dörrarna medför krävs att dessa är stängda då brand uppkommer i utrymnet. Att åstadkomma detta kan göras på olika sätt. Generellt är tidsmarginalen mest negativ i de fall då brölloppscenario pågår, då det är ett stort antal personer som ska utrymma från samma sal. Vad som är positivt med att alla är samlade i en av de stora salarna är att personalen manuellt kan stänga de dörrar där människor inte vistas. I de fall då öppet hus pågår är det betydligt svårare för personalen att tillse att dörrarna är stängda in till det utrymnet där brand uppstår på grund av att människor hela tiden passerar dörröppningarna i byggnaden. För att åtgärda detta har olika alternativ diskuterats. Det som anses mest rimligt är att införa automatiska dörrstängare. Då detta innebär ingrepp i byggnaden har vi utifrån resultaten sett var det anses nödvändigt. Tillsammans med övriga åtgärdsförslag är tidsmarginalen negativ då brand uppstår i Kapell och Personalrum. Då besökare inte är tillåtna att vistas i personalrummet anses den kunna hållas stängd även då öppet hus pågår. Där emot anses en dörrstängare vara nödvändig att införas in till kapellet. Det finns olika alternativ till automatiska dörrstängare, exempelvis i form av magnetuppställda dörrar eller med anordning som alltid håller dörrarna stängda och att de måste öppnas manuellt för passage. Vår uppfattning är att det senast nämnda alternativet kan utformas på ett sätt som inte har någon nämnvärd påverkan på det kulturhistoriska värdet.

Utrymningsskyltarna anses inte påverka så mycket då det redan finns utrymningsskyltar i byggnaden. Att byta ut dessa på genomlysta anses inte påverka kulturhistoriska värdet ytterligare.

Systematiskt brandskyddsarbete anses vara det mest effektiva om man ser till nytta-kulturvärdeinsparing, då det enbart påverkar personalen.

Att installera ytterligare en detektor i personalrummet anses inte påverka kulturvärdet, eftersom detektorer redan finns i övriga delar av byggnaden.

Att reducera mängden brännbart material i personalrummet har inte heller någon påverkan på det kulturhistoriska värdet då det brännbara materialet varken syns av besökare eller är tidstypiskt då det främst består av personalens tillhörigheter och diverse efterproducerad rekvisita.

Att införa ett informativt talat meddelande har visat sig vara ett effektivt sätt att reducera utrymningstiden. Förvisso skulle det innebära att ringklockorna byts ut mot högtalare. Vilket av de två som anses dra ner det kulturhistoriska värdet är svårt att säga. Vi resonerar så att ringklockor har tillförts i byggnaden och att byta ut dessa förändras det inte speciellt.

Införandet av ytterligare en utrymningsväg anses inte påverka det kulturhistoriska värdet. Anledningen är att det i själva verket inte handlar om att införa, utan om att återinföra användandet av en trappa som finns genom att öppna upp igenmurningen som tillkommit någon gång under byggnadens levnad. Vi anser att det framtagna åtgärdsförslaget påverkar det kulturhistoriska värdet som byggnaden innehar men att det kan genomföras så att byggnaden kan återställas till sitt ursprungliga värde om

man någon gång i framtiden inte längre använder byggnaden i en verksamhet som innefattar gäster som måste garanteras en viss grad av personsäkerhet.



## 17. Slutsats

För att en tillfredställande personsäkerhet för besökarna i Torpa Stenhus skall uppnås, bör följande åtgärdsförslag vidtas:

- **Tillgodose säker utrymning via trapphuset**
  - Införa täta dörrar
  - Installera automatiska dörrstängare till Kapellet
- **Förbättra möjligheterna för navigering i byggnaden**
  - Byt ur befintliga utrymningsskyltar till genomlysta utrymningsskyltar
  - Installera genomlysta utrymningsskyltar för den nya utrymningsvägen
- **Utöka systematiskt brandskyddsarbete**
  - Brandskyddsutbildning
  - Skyddsronder
  - Rutiner och ansvarsområden
- **Installera detektor i Personalrum**
- **Reducera brandrisken i Personalrum**
  - Reducera mängden brännbart material
  - Installera timer på eluttag
- **Införa informativt talat meddelande som utrymningslarm**
- **Införa ytterligare en utrymningsväg**
  - Installera utrymningsbeslag
  - Förse utrymningsväg med nödbelysning och räcken

När åtgärderna vidtagits anses skyddsmålet vara uppnått. En säker utrymning ur byggnaden kan då genomföras. För att ytterligare förbättra brandskyddet kan följande kompletterande åtgärder vidtas:

- Upprätta insatsplan
- Införa åskskydd
- Minska användandet av levande ljus
- Flamskydda inredningen
- Ändra detektorns felmeddelande
- Installera automatiskt brandlarm
- Införa manuella larmknappar
- Regelbunden besiktning av elektronisk anläggning
- Reducera tillåtet personantal i byggnaden

En svårighet är att Torpa Stenhus har ett kulturhistoriskt värde och att därmed måste alla förändringar i byggnadens utformning godkännas av Antikvarieämbetet. Detta innebär att inget svar finns på huruvida dessa åtgärder kan vidtas utan att bryta mot kulturminneslagarna.





## 18. Referenser

- [1] Boverket I. (2012). Regelsamling för byggande, BBR. Karlskrona: Boverket
- [2] Boverket II. (2011). Boverkets Författningssamling: BFS 2011: 27, BBRAD 1. Karlskrona: Boverket
- [3] Brandteknik. (2012). *Brandskyddshandboken*. Rapport 3161. Lund: Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola
- [4] Drysdale, D. (2002). *An Introduction to Fire Dynamics*, 2nd Edition. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- [5] Staffansson, L. (2010). *Selecting Design Fires*. Rapport 7032. Lund: Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola
- [6] Karlsson, B. & Quintiere, J.G. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. Boca Raton: CRC Press LLC
- [7] MSB (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap). *Fördjupad statistik*. (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://ida.msb.se/ida2#page=a0109>> (2013-03-01)
- [8] Muntlig källa (2013-02-11). Peder Liljeroth & Jonas Olsson, Brandingenjörer, Södra Älvsborgs Räddningstjänstförbund.
- [9] SFS (Svensk författningssamling). (1988). *Förordning 1988:1229 om statliga byggnadsminnen*. Kulturdepartementet
- [10] Särdaqvist, S. (2006). *Vatten och andra släckmedel, 2:a upplagan*. Karlstad: Räddningsverket
- [11] Fällman, L. & Hansing, S. (1997). *Brandskydd i kulturbyggnader*. Karlstad: Räddningsverket, Stockholm: Riksantikvarieämbetet
- [12] Holmstedt, G. & Nilsson, D. (2008). *Kompendium i Aktiva system – Detektion*. Rapport 7030. Lund: Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola.
- [13] Frantzich, H. (2001). *Tid för utrymning vid brand*. Karlstad: Räddningsverket.
- [14] Nilsson, D. (2006). *En modell av det inledande utrymningsförloppet*. Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- [15] Davidsson, G., Haeffler, L., Ljungman, B. & Frantzich, H. (2003). *Handbok för riskanalys*. Karlstad: Räddningsverket
- [16] Frantzich, H. (1997). *Användarmanual till SIMULEX ver 1.1*. Lund: Avdelningen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola
- [17] Körner, S. & Wahlgren, L. (2006). *Statistik datoranalys*, upplaga 4:8. Lund: Studentlitteratur AB

- [18] SMHI. (Statens Meteorologiska och Hydrologiska Institut). *Temperatur*. (Elektronisk) Tillgänglig: < <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur> > (2013-04-06)
- [19] NFPA. (National Fire Protection Association). *Smoke Alarms in U.S. Home Fires*. (Elektronisk) Tillgänglig: < <http://www.nfpa.org/assets/files/pdf/os.smokealarms.pdf>> (2013-04-07)
- [20] SIS. (Swedish Standard Institute). (2007). SS-EN 13501- 2: 2007. Stockholm: SIS förlag AB
- [21] Frantzich H. (1994) *En modell för dimensionering av förbindelser för utrymning utifrån funktionsbaserade krav*. Rapport 1011. Lund: Avdelning för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola
- [22] Fällman, L. & Hansing, S. (1997). Sidan 7. *Brandskydd i kulturbyggnader*. Borås: Sjuhäradsbygdens tryckeri
- [23] SFS (Svensk Författningssamling). (1988). Förordning 1988:950 om kulturminnen m.m. Kulturdepartementet
- [24] Räddningstjänstlag (1986:1102) (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://www.notisum.se/rnp/sls/lag/19861102.htm>> (2013-04-16)
- [25] SFS (Svensk Författningssamling). (2003). Förordning 2003:778 lagen om skydd mot olyckor. Kulturdepartementet
- [26] USNRC. (Unites States Nuclear Regulatory Commission). *Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications*. (Elektronisk) Tillgänglig: < <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire07/PDF/f07042.pdf> > (2013-04-18)
- [27] FDS. (Fluid Dynamics Simulator) *FDS User guide*. (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire07/PDF/f07053.pdf>> (2013-04-18)
- [28] Muntlig källa (2013-02-11). Pehr Zethelius, Godsherre, Torpa Stenhus
- [29] FHI. (Folkhälsoinstitut). *Ansvarsfull alkoholserving*. (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://www.fhi.se/PageFiles/10868/Ansvarsfull-alkoholserv-studentpubarnas-mtrl.pdf>> (2013-04-24)
- [30] Madrzykowski, D. & Walton, W. (2010) *Impact of Sprinklers on the Fire Hazard in Dormitories: Sleeping Room Fire Experiments*. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology
- [31] Brandteknik. (2005). *Brandskyddshandboken*. Rapport 3161. Lund: Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola
- [32] Fransson, E. *Utrymningsskyltar – Vilka faktorer påverkar om en utrymningsskylt är lätt att uppfatta eller ej?* (Elektronisk) Tillgänglig: <<http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOID=1767665&fileOID=1769357>> (2013-05-02)

- [33] Vestin,G & Wahlqvist, J. *CFD-beräkningar på parallella processorer* (Elektronisk)  
Tillgänglig:  
<<http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=1767651&fileId=1769344>> (2013-05-02)



Bilagor

LTH  
Brandteknisk riskvärdering av Torpa Stenhus

## Bilaga A – Effektutvecklingskurvor

I bilagan följer en beskrivning av framtagandet av effektutvecklingskurvorna.

### A.1. Effektutvecklingskurvor

Framtagning av effektutvecklingskurvorna för de tre utvalda brandscenarierna redovisas i bilagan. De utvalda brandscenarierna berör brand i Personalrum, Kapellet samt brand på Bostadsvåning.

#### A.1.1. Tillväxthastighet

I brandrummen tillväxer bränderna enligt modellen  $\alpha t^2$  som beskrivs i ekvation A1. Experiment och försök har visat att  $\alpha t^2$  modellen återspeglar en verklig brand i tillväxtfasen. Av den anledningen har modellen valts att tillämpas i rapporten.  $\alpha t^2$  modellen är den vanligaste modellen för beräkning av effektutveckling i brandens initialskede och lämpar sig för de utvalda brandscenarierna [6].

Modellen är dock endast giltig efter förbrinntiden. Förbrinntiden är den tid som löper från att antändning sker till att flammor syns och branden börjar tillväxa. Då  $\alpha t^2$  modellen inte tar hänsyn till förbrinntiden kommer tiden att försummas i rapporten. Det medför en kortare tid till att branden når den maximala effektutvecklingen och värden som används i rapporten anses därför konservativa. [6].

Efter att branden nått sin maximala effekt kommer effekten att vara konstant till avsvältningsfasen nås. I avsvältningsfasen minskar effekten succesivt för att tillslut avta och då slocknar branden.

Rapporten inriktar sig framförallt på människors säkerhet vid utrymning. Det tidiga skedet i effektutvecklingen är därför viktigare att iaktta än vad som händer efter att branden har nått sin maximala effektutveckling då det är vid den tiden då människor utsätts för kritiska förhållanden. Av den anledningen kommer ingen vidare fördjupning att genomföras angående brandens avsvältningsfas.

$$\dot{Q} = \alpha t^2 \qquad \text{ekvation A1}$$

Där

$\dot{Q}$  = Brandens maximala effektutveckling [kW]

$\alpha$  = Brandens tillväxthastighet [kW/s<sup>2</sup>]

t = Tiden det tar för branden att nå sin maximala effektutveckling [s]

Modellen medför att brandens effektutveckling tillväxer med en viss tillväxthastighet som motsvaras av  $\alpha$  [ $\text{kW/s}^2$ ]. Tillväxthastigheten brukar anges i storlekar mellan *slow* till *fast*. I Tabell 16 redovisas vilka tillväxthastigheter som motsvaras av  $\alpha$ -värdet [6]. För att ta fram en passande tillväxthastighet för brandscenarierna används värden ur tabeller [5].

Tabell 16 - Tillväxthastigheter och vad de motsvaras av i alfa-värdet

Tillväxthastighet	$\alpha$ -värdet [ $\text{kW/s}^2$ ]
Ultra fast	0,190
Fast	0,047
Medium	0,012
Slow	0,003

Personalrummet kan liknas med en vanlig bostad på grund av den befintliga inredningen. I Personalrummet finns det inredning och elektronisk utrustning som ofta finns i vanliga bostäder. På grund av den stora sängen som är placerad i brandrummet på Bostadsvåningen kan rummet liknas med ett hotellrum. Kapellet kan liknas med en skola och kontor på grund av den befintliga inredningen. Den största delen av inredningen består av bänkrader i trä som kan jämföras med skolbänkar eller kontorslandskap.

Både bostäder, hotellrum, skola och kontor har ett  $\alpha$ -värde mellan *medium* och *fast* [5]. Ett medelvärde av tillväxthastigheterna ger ett  $\alpha$ -värde på  $0,03 \text{ kW/s}^2$ . Värdet kommer tillämpas för brand på Bostadsvåningen och Kapellet. Personalrummet är ett litet rum innehållande en stor mängd brännbart material. Antagandet görs att en eventuell brand som startar i Personalrummet kommer ha en snabbare tillväxt med hastigheten *fast*. Tillväxthastigheterna redovisas i Tabell 17.

Tabell 17 - Tillväxthastigheter för brand i Personalrum, Bostadsvåning och Kapell

Rum	Tillväxthastighet [ $\text{kW/s}^2$ ]
Personalrum	0,05
Bostadsvåning	0,03
Kapellet	0,03

### A.1.2. Effektutveckling och tid

Då brandens tillväxthastighet är känd skall den maximala effektutvecklingen samt tiden det tar för branden att nå sin maximala effektutveckling beräknas. Beräkningarna kan utföras på olika sätt som varierar från fall till fall. Generellt gäller att beräkningar utförs för att kontrollera om branden är bränsle eller ventilationskontrollerad och vilken maximal effektutveckling som branden kan ge i de olika fallen. Fortsatta beräkningar skall utgå från det fall som ger lägst effektutveckling eftersom den branden kommer begränsas först på grund av syre- eller bränslebrist [6]. Beräkningarna utförs med hjälp av andra metoder ifall rummet är litet eller om inredningen mestadels består av trä.

Beräkningarna utförs för värsta tänkbara scenario vilket innebär att dörrarna till rummen står helt öppna och luft utifrån kan strömma in fritt.

Vid beräkningarna görs följande antaganden:

- Dörren in till rummet står helt öppen och luft kan strömma in fritt
- 23 % av luften består av syre
- All syre som strömmar in i rummet går åt till förbränning



Svaret som erhålls från nedanstående beräkningar kommer ge en större teoretisk effektutveckling än vad som är möjligt i verkligheten. Anledningen till det är de ovanstående antaganden som har haft betydelse. De förutsätter en optimal miljö för brandtillväxt som inte kan motsvaras av hur det ser ut i verkligheten. Antaganden medför att beräkningarna blir konservativa.

## A.2. Personalrum

Beräkningar utförs för att kontrollera om en brand i Personalrummet är bränsle- eller ventilationskontrollerad. I Personalrummet finns det ett par olika riskkällor som skulle kunna vara anledningen till en brand. Fördelningen av riskkällorna är homogena. De elektriska apparaterna är exempel på riskkällor som skulle kunna starta en brand.

### A.2.1. Beräkning ventilationskontrollerad brand

För beräkning av maximal effektutveckling för ett litet och ventilationskontrollerat utrymme används ekvation A2:

$$\dot{Q}_V = 1500 \times A_o \sqrt{H_o} \quad \text{ekvation A2}$$

Där

$\dot{Q}_V$  = Maximala effektutvecklingen för en ventilationskontrollerad brand [kW]

$A_o$  = Ventilationsöppningens area [m<sup>2</sup>]

$H_o$  = Ventilationsöppningens höjd [m]

Den befintliga dörren till Personalrummet har en mindre storlek än en standarddörr. Höjden på dörren in till Personalrummet uppskattas till 2 meter och bredden är till 0,8 meter. Det ger en ventilationsöppningsarea på 1,6 m<sup>2</sup>. Beräkningarna ger en maximal effektutveckling på 3,4 MW. Med ekvation A1 samt att tillväxthastigheten är känd kan tiden det tar för branden att nå sin maximala effektutveckling beräknas.

### A.2.2. Beräkning bränslekontrollerad brand

Personalrummet kan liknas med en bostad med anledning av att där finns inredning och elektrisk utrustning som ofta finns i vanliga bostäder. Fullskaliga försök och uppskattningar har utförts för bostäder där effektutvecklingen har angivits per kvadratmeter. För bostäder gäller en effektutveckling på 250 kW/m<sup>2</sup> [5]. Då Personalrummet har en golvarea på 6 m<sup>2</sup> uppskattas den maximala effektutvecklingen till 1,5 MW.

### A.2.3. Känslighetsanalys Personalrum

Dörren till Personalrummet antas oftast vara stängd eftersom det inte är meningen att gäster eller andra än behöriga skall inträda Personalrummet. Beräkningarna för brandens effektutveckling i Personalrummet utfördes för värsta tänkbara scenario som innebär att dörren till Personalrummet står helt öppen. För att kontrollera hur brandens effektutveckling påverkas av att dörren står öppen eller

stängd utförs en känslighetsanalys. Känslighetsanalysen innebär att beräkningar för *brand i Personalrum* med stängd dörr utförs. Resultatet från beräkningarna skall jämföras med den tidigare beräknade effektutvecklingen.

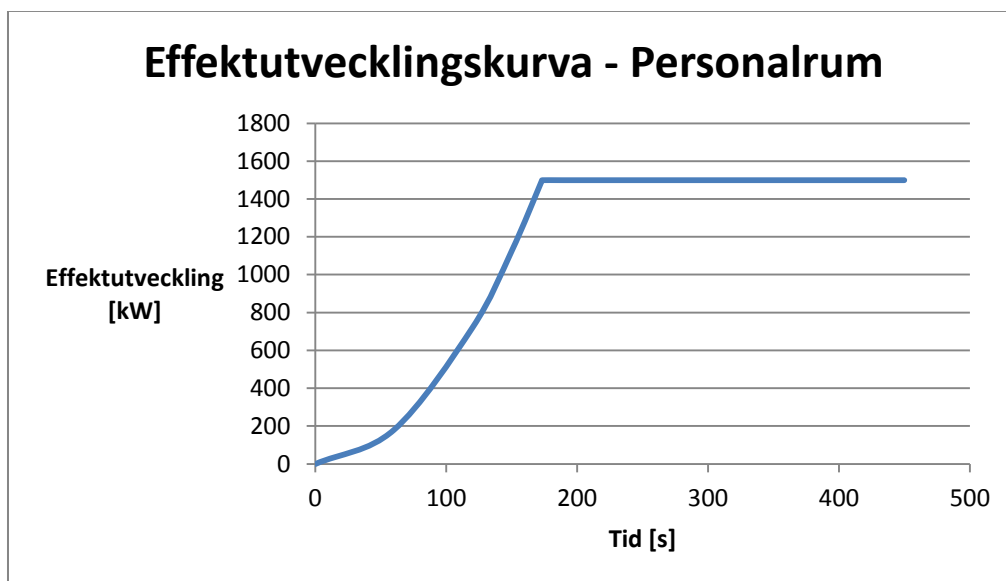
Dörren till Personalrummet var inte tät och kunde inte stängas helt. Uppskattningsvis består dörren av en glipa på 20 centimeter där luft strömmar in till branden i Personalrummet. Beräkningarna utförs med ekvation A2 och resultatet gav att branden kan nå en maximal effektutveckling på 107 kW som nås efter 46 sekunder.

Beräkningarna visar att om dörren till Personalrummet står öppen kan branden få en effektutveckling på 1,5 MW. Om dörren är stängd kan branden alstra en lägre effekt på maximalt 107 kW på grund av att det inte kommer in tillräckligt med syre till branden. Det mest konservativa värdet för effektutvecklingen är 1,5 MW med hänsyn till att branden blir ventilationskontrollerad. De fortsatta beräkningar och simuleringar som utförs i den här rapporten kommer att bygga på detta värde.

#### A.2.4. Effektutvecklingskurva – Personalrum

Beräkningarna visar att om en ventilationskontrollerad brand skulle uppstå i Personalrummet hade den maximala effektutvecklingen haft ett värde på 3,4 MW. En bränslekontrollerad brand i Personalrummet hade gett en maximal effektutveckling på 1,5 MW. Utifrån beräkningarna dras slutsatsen att om en brand skulle uppstå i Personalrummet hade den varit bränslekontrollerad.

Med ekvation A1 samt att tillväxthastigheten är känd kan tiden till maximal effektutveckling beräknas. Tiden beräknades till 173 sekunder. Effektutvecklingskurvan för Personalrummet redovisas i Figur 60.



Figur 60 - Framtagen effektutvecklingskurva för personalrummet

### A.3. Kapell

Beräkningar för ventilations- och bränslekontrollerad brand redovisas i avsnittet. I Kapellet består inredningen mestadels av trä. Riskkällan antas vara ett tätt ljus som välter och antänder exempelvis textilier och inredning.

#### A.3.1. Beräkning ventilationskontrollerad brand

För ventilationskontrollerad brand tas hänsyn till inredningen. Massavbrinningen för trä skall beräknas för att sedan kunna ta fram den maximala effektutvecklingen från branden [5].

En begränsning med beräkningsmodellen är att den inte är tillämpbar i utrymmen där rummets bredd och längd är mycket längre än rummets höjd. Vad som anses med uttrycket *mycket längre* är inte definierat. Rumets bredd är två gånger större än höjden medan längden nästan är tre gånger större än höjden. Det kan medföra att beräkningssättet inte är tillämpligt för Kapellet. Beräkningarna utförs med ekvation A3 och A4:

$$\dot{m}_{f,wood} = 0,02 \sqrt{A_T \times \left(\frac{W_c}{d_c}\right) \times A_0 \times H_0^{\frac{1}{2}}} \quad \text{ekvation A3}$$

Där

$\dot{m}_{f,wood}$  = Massavbrinningen för trä [kg/s]

$A_T$  = Innerväggarnas, innertakets samt golvet's area exkl. ventilationsöppningarnas area [m<sup>2</sup>]

$W_c$  = Bredden på väggen som innerhåller ventilationsöppningen [m]

$d_c$  = Utrymmets längd [m]

$A_0$  = Ventilationsöppningens area [m<sup>2</sup>]

$H_0$  = Ventilationsöppningens höjd [m]

$$\dot{Q}_{V,wood} = \dot{m}_{f,wood} \times \Delta H_{eff,wood} \quad \text{ekvation A4}$$

Där

$\dot{Q}_{V,wood}$  = Maximal effektutveckling för en ventilationskontrollerad brand bestående av trä [kW]

$\dot{m}_{f,wood}$  = Massavbrinningen för trä [kg/s]

$\Delta H_{eff,wood}$  = Effektiv förbränningskoefficient för trä [kJ/kg]

Beräkning av den effektiva förbränningskoefficienten utförs med hjälp av ekvation A5:

$$\Delta H_{eff} = x \times \Delta H_c \quad \text{ekvation A5}$$

Där

$\Delta H_{eff}$  = Effektiv förbränningskoefficient [kJ/kg]

X = Förbränningseffektivitet [-]

$\Delta H_c$  = Förbränningskoefficient [kJ/kg]

För sotiga flammor brukar förbränningseffektiviteten ligga mellan 60-70 % [5]. Ett konservativt men realistiskt antagande görs att förbränningseffektiviteten är 0,7.

Värdena som används vid beräkningarna redovisas i Tabell 18 och resultatet från beräkningarna redovisas i

Tabell 19 [4].

Tabell 18 - Värdena som används vid beräkningarna redovisas i tabellen

Parametrar	Värden
$A_T$	350 m <sup>2</sup>
$W_c$	8 m
$d_c$	11 m
$A_0$	7 m <sup>2</sup>
$H_0$	3 m
$\Delta H_{wood}$	16 kJ/g

Tabell 19 - Resultat från beräkningarna för ventilationskontrollerad brand

Parametrar	Resultat
$\Delta H_{eff,wood}$	11,3 kJ/g
$\dot{m}_{f,wood}$	1,2 kg/s
$\dot{Q}_{V,wood}$	12,2 MW

Beräkningarna gav en effektutveckling på 12 MW vilket motsvarar en oerhört stor brand. Sannolikheten att en så stor brand skulle kunna uppstå i Kapellet är låg då syret i rummet hade tagit slut innan branden kan nå 12 MW. Slutsatsen dras att den här beräkningsmetoden inte är tillämpbar i fallet med brand i Kapellet.

Det finns en annan beräkningsmetod som tar hänsyn till stora rum med små ventilationsöppningar. Beräkningar för att kontrollera om Kapellet är ventilationskontrollerad utförs även med den här metoden. Först beräknas energin som frigörs från branden och utifrån det kan brandens maximala effektutveckling beräknas. I beräkningarna görs följande antaganden:

- Förbränningsprocessen kan fortsätta ända tills syrehalten i rummet sjunker med tio massprocent
- Ett kilogram syre ger en energiutveckling från branden på 13,2 MJ

Beräkningarna utförs med hjälp av ekvation A6 och A7:

$$E = 13100 \times V \times (0,23 - 0,10) \times \rho_{luft} \quad \text{ekvation A6}$$

Där

E = Energin som frigörs från branden [kJ]

V = Utrymmets volym [m<sup>3</sup>]

$\rho_{luft}$  = Luftens densitet [kg/m<sup>3</sup>]

$$E = \int_0^t \dot{Q}(t) dt \quad \text{ekvation A7}$$

Där

E = Energin som frigörs från branden [kJ]

$\dot{Q}$  = Brandens effektutveckling vid tiden t [kW]

t = Tiden för brandförloppet [s]

Resultatet från beräkningarna redovisas i Tabell 20.

Tabell 20 - Resultat från beräkningarna för ventilationskontrollerad brand

Parametrar	Resultat
E	800 MJ
$\dot{Q}$	2,7 MW

Beräkningarna gav ett mer realistiskt resultat än vad de förra beräkningarna gjorde. Branden hade aldrig kunnat nå en effektutveckling på 12 MW inne i Kapellet på grund av brist på syre. Att branden alstrar en effektutveckling på 2,7 MW är mer realistiskt.

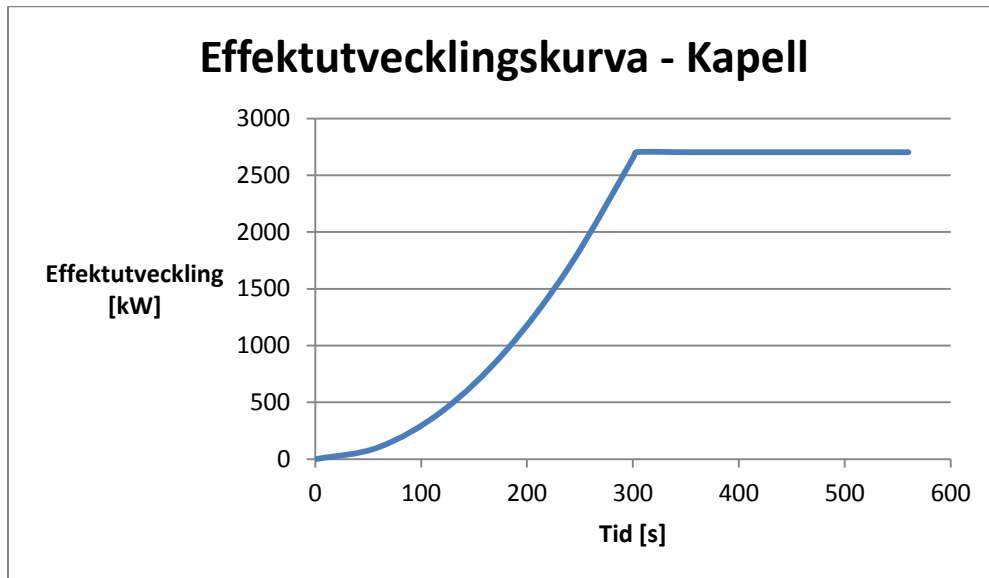
### A.3.2. Beräkning bränslekontrollerad brand

Kapellet kan liknas med en skola eller kontor på grund av den befintliga inredningen. Fullskaliga försök och uppskattningar ger att effektutvecklingen för bränder i skolor och kontor brukar ligga i storleksordningen runt 250 kW/m<sup>2</sup> golvarea. Kapellet har en golvarea på 94 m<sup>2</sup> vilket ger en effektutveckling på 23,5 MW [5]. Den uppskattade effektutvecklingen anses vara orimligt stor. Enligt tidigare argument i avsnitt A.3.1 gäller även i det här fallet att det inte kan uppstå en brand med så pass hög effektutveckling i Kapellet.

### A.3.3. Effektutvecklingskurva – Kapell

Beräkningarna visar att om en ventilationskontrollerad brand skulle uppstå i Kapellet hade den maximala effektutvecklingen haft ett värde på 2,7 MW. Beräkningarna för en bränslekontrollerad brand i Kapellet gav orimlig och orealistisk hög effektutveckling på branden. Utifrån beräkningarna dras slutsatsen att om en brand skulle uppstå i Kapellet hade den varit ventilationskontrollerad.

Med ekvation A1 samt att tillväxthastigheten är känd kan tiden till maximal effektutveckling beräknas. Tiden beräknades till 303 sekunder. Effektutvecklingskurvan för Kapellet redovisas i Figur 61.



Figur 61 - Framtagen effektutvecklingskurva för Kapellet

## A.4. Bostadsvåning

Bostadsvåningen består av fyra rum. Den här rapporten inriktar sig framförallt på personsäkerhet och därför kommer ingen hänsyn tas till brandspridning mellan rummen. Vid den tid då brandspridning sker har personerna som befinner sig i utrymmet redan utsatts för kritiska förhållanden. Brandscenariet som inträffar på Bostadsvåningen är att en brand startar i det mindre rummet. Riskkällan på Bostadsvåningen utgörs av elradiatorn och branden antas starta i sängen. Både elradiatorn och sängen är placerade i utrymmet.

### A.4.1. Beräkningar ventilationskontrollerad brand

Beräkningar för att kontrollera vilken effekt en ventilationskontrollerad brand hade kunnat ge genomförs med hjälp av ekvation A2. In till rummet finns det två dörrar som antas stå öppna. Resultatet från beräkningarna ger en effektutveckling på 8,8 MW.

#### A.4.2. Beräkningar bränslekontrollerad brand

Brandrummet på Bostadsvåningen kan liknas med ett hotellrum eftersom den mest betydande inredningen i rummet utifrån brandsynpunkt är en stor säng. Fullskaliga försök och uppskattningar ger att effektutvecklingen för bränder i hotellrum brukar ligga i storleksordningen runt  $250 \text{ kW/m}^2$  [5]. Rummet har en golvarea på  $13,5 \text{ m}^2$ . Beräkningarna ger en effektutveckling på  $3,4 \text{ MW}$ .

#### A.4.3. Effektutvecklingskurva – Bostadsvåning

Beräkningarna visar att om en ventilationskontrollerad brand skulle uppstå på Bostadsvåningen hade den maximala effektutvecklingen haft ett värde på  $8,8 \text{ MW}$ . En bränslekontrollerad brand på Bostadsvåningen hade gett en maximal effektutveckling på  $3,4 \text{ MW}$ . Utifrån beräkningarna dras slutsatsen att om en brand skulle uppstå i Kapellet hade den varit bränslekontrollerad.

Med ekvation A1 samt att tillväxthastigheten är känd kan tiden till maximal effektutveckling beräknas. Tiden beräknades till 338 sekunder. Effektutvecklingskurvan för Bostadsvåningen redovisas i Figur 62.



Figur 62 - Framtagen effektutvecklingskurva för Bostadsvåning

## A.5. Diskussion kring effektutvecklingen

Framtagning av effektutvecklingar för olika bränder kan vara en avancerad process då det finns olika metoder som kan tillämpas. Metoderna återspeglar dock inte verkligheten fullt ut. Det är svårt att avgöra vilken metod som är mest tillämpbar för de olika fallen. För att förstärka argumentationen om att de beräknade effektutvecklingarna i rapporten är giltiga utförs en bedömning av hur trovärdiga resultaten är. Bedömningen sker genom jämförelse mellan beräknade effektutvecklingar och resultat som erhålls från experiment. I Tabell 21 redovisas resultaten från beräkningarna.

Tabell 21 - Resultat från beräkning av effektutvecklingen

Brandrum	Maximal effektutveckling [MW]
Personalrum	1,5
Kapellet	2,7
Bostadsvåning	3,4

Metoden utförs genom att definiera var branden startar. Utifrån det kan en maximal effektutveckling som erhålls ur exempelvis en möbel eller inredning tas fram [6]. Experiment har utförts i syfte att definiera den maximala effektutvecklingen som kan erhållas från olika material och inredningar [5].

Det är dock viktigt att ha i åtanke att mått, inredning och ventilationsförutsättningar i experimentens utförande inte överensstämmer med hur det ser ut i Torpa Stenhus. Resultat som erhålls ur försök visar att ett sovrum har en maximal effektutveckling på 1,7 MW, ett kontor erhåller en effektutveckling på 2 MW och ett kontorsförråd har en maximal effektutveckling på 1,6 MW [5].

De framtagna värdena anses vara en god grund för jämförelse av resultat då Kapellet har jämförts med ett kontor och Bostadsvåningen med ett hotellrum. Utifrån brandsynpunkt anses det att brandbelastningen i ett sovrum och i ett hotellrum är ungefär lika stor. I dagsläget används Personalrummet som ett slags förråd där de förvarar förnödenheter som personalen kan behöva under sina arbetspass.

Genom att jämföra de erhållna resultaten med de beräknade kan slutsatsen dras att de är ungefär i samma storleksordning. Värden på effektutvecklingarna som används i rapporten anses i de flesta fall vara konservativa då de är högre än de värden som är framtagna från experiment. Ett undantag är att effektutvecklingen från Personalrummet inte är större än 1,5 MW. Resultatet anses trots allt rimligt då rummet är så pass litet och en större brand förmodligen inte hade kunnat tillväxa.



## Bilaga B – Sannolikhetsberäkning för detektoraktivering

Vid framtagning av händelseträdet skall det tas hänsyn till ifall rökdetektorn i brandrummet detekterar eller inte. Detta gäller för alla framtagna brandscenarier. Anledningar till varför en detektor inte aktiverar kan bland annat bero på fabrikatfel, dålig underhållning eller att den av någon anledning blivit nedmonterad.

Värsta fallet i brandscenarierna hade varit ifall ingen av de två närmst placerade rökdetektorerna detekterar vid brand. Det är därför av stor vikt att beräkna sannolikheten för att ingen av de två närmst placerade detektorerna aktiverar.

Detektorn som benämns den *andra detektorn* i Bilaga D och E avser i alla brandfall den detektor som bör aktiveras till följd av brandgasernas spridning om inte detektorn placerad i alternativt närmst brandrummet detekterar.

Sannolikhetsberäkningar för att ingen av detektorerna aktiverar vid händelse av brand kan utföras med binomialsatsen, som introduceras i ekvation B1 [17]:

$$P = \binom{n}{k} P^k (1 - p)^{n-k} \quad \text{ekvation B1}$$

Där

P = den sökta sannolikheten

p = sannolikheten utifrån statistik på att detektorerna inte aktiverar

n = antal försök

k = antal lyckade försök

Bokstaven *n* syftar på hur många försök som utförs med detektorerna medan bokstaven *k* tolkas som antal gånger detektorerna inte utlöser. I det här fallet kommer både *n* och *k* att vara 2.

För att kunna beräkna sannolikheten för att ingen av detektorerna aktiverar krävs det statistik på hur ofta detektorer aktiverar och inte aktiverar vid händelse av brand. NFPA tar varje år fram statistik över detektoraktivering vid bränder som inträffar i bostäder i USA. Statistiken är framtagen under femårs period 2005 – 2009. I rapporten har det identifierats att 90 % av hushållen i USA innehar en rökdetektor [19]. Statistiken anses tillämpbar i beräkningarna som utförs i rapporten då det befintliga brandskyddet i Torpa Stenhus består av rökdetektorer. Statistiken för aktiveringsutfallen redovisas i Tabell 22.

Tabell 22 - Statistik över detektor aktivering

Händelse	Statistik
Detektorn aktiverar	91 %
Detektorn aktiverar inte	9 %

Indata som används vid sannolikhetsberäkningen redovisas i Tabell 23.

Tabell 23 - Indata vid sannolikhetsberäkning för detektoraktivering

Parameter	Värde
n	2
k	2
p	0,09

Resultatet från beräkningarna utförda med ekvation B1 och indata från tabell 23 ger att sannolikheten att två detektorer inte fungerar samtidigt är mindre än 1 %. Procentandelen anses så liten att den antas vara obetydlig. I beräkningarna som berör detektoraktivering i rapporten kommer därför antagandet göras att ifall den första detektorn inte aktiverar i händelse av brand kommer den andra detektorn att aktivera. Det här antagandet gäller för samtliga brandscenarier i rapporten.

## Bilaga C – Simulex

I bilagan redovisas teori samt tillvägagångsätt för framtagning av tid för utrymning i datorprogrammet Simulex. I bilagan redovisas även resultatet från simuleringarna för de olika evenemang som anordnas i Torpa Stenhus. Alla Simulex modeller är grova förenklingar av verkligheten och resultaten som erhålls från datorprogrammet bör därför användas med försiktighet.

### C.1. Teori och tillvägagångsätt

Simulex är ett datorprogram för simulering av utrymning. Programmet är utvecklat av Brandteknik, IES i Glasgow och universitetet i Edinburgh [16].

I rapporten kommer Simulex att användas för att beräkna förflyttningstiden för besökarna som befinner sig inne i Torpa Stenhus. Förflyttningstiden innebär den tid det tar för alla besökare att ta sig från den plats de befinner sig på inne i stenhuset och till dess att sista personen lämnat byggnaden [16]. I simuleringarna kommer ingen hänsyn tas till reaktions- och detektionstiden. Datorprogrammet Simulex kan även användas till att identifiera var flaskhalsar och köbildning inne i byggnaden uppstår [16]. Varje framtaget utrymningsscenario kommer att simuleras, det innebär att hänsyn tas till vilken typ av evenemang som anordnas i Torpa Stenhus.

Första steget är att rita upp byggnadens geometri i CAD för att sedan använda CAD-filerna i dxf-format som underlag för simuleringen. Flera våningsplan kan simuleras i programmet och för att sammanlänka våningsplanen definieras trapporna i Simulex [16].

En grov förenkling angående trapporna har utförts då Simulex endast definierar raka trappor. Trapphuset i Torpa Stenhus innefattar trappor som löper genom hela trapphuset som en spiral. Småtrapporna i stenhuset är även dem krökta. Längden på trapporna uppskattas och förenklingen innebär att trapporna rätats ut till raka trappor i simuleringarna.

Avståndskartor skall definieras och beräknas i Simulex, vilka anger avståndet till närmsta utgång. Kartorna består av ett rutnät med måtten  $0,2 \times 0,2 \text{ m}^2$ . Avståndskartorna definierar byggnadens yta och styr gångriktningen för de utrymmande. Kartorna kan beräknas först när alla trappor och utgångar är placerade på rätt plats i programmet [16]. Efter att avståndskartorna har definierats kan personer placeras ut i byggnaden efter önskat antal och lokalisering. I programmet specificeras även vilket vägval besökarna skall använda sig av. Om ingen avståndskarta har definierats för personerna kommer de att använda sig av den närmsta utrymningsvägen [16].

Efter att avståndskartor har definierats och beräknats är nästa steg i simuleringen att bestämma egenskaper för personerna i byggnaden samt var i byggnaden de befinner sig. Varje person som utrymmer byggnaden motsvaras av en symbol i simuleringen, se Figur 63. I Simulex kan personer placeras ut antingen genom förval eller manuellt. Några av de förval som finns redovisas i Tabell 24, där till exempel *All Female* motsvarar att de som utrymmer består av 100 % kvinnor. I Tabell 25 specificeras kroppsstorlek och medelgångshastighet på personerna i förvalen. När personkategori valts kan personerna placeras ut i grupp eller individuellt. Begreppet *All Elderly* avser äldre personer i åldern 65-70 medan begreppet *All children* avser barn under 5 år [3]. Generellt gäller det att barn och äldre personer har en lägre gånghastighet än personer i medelåldern [16].

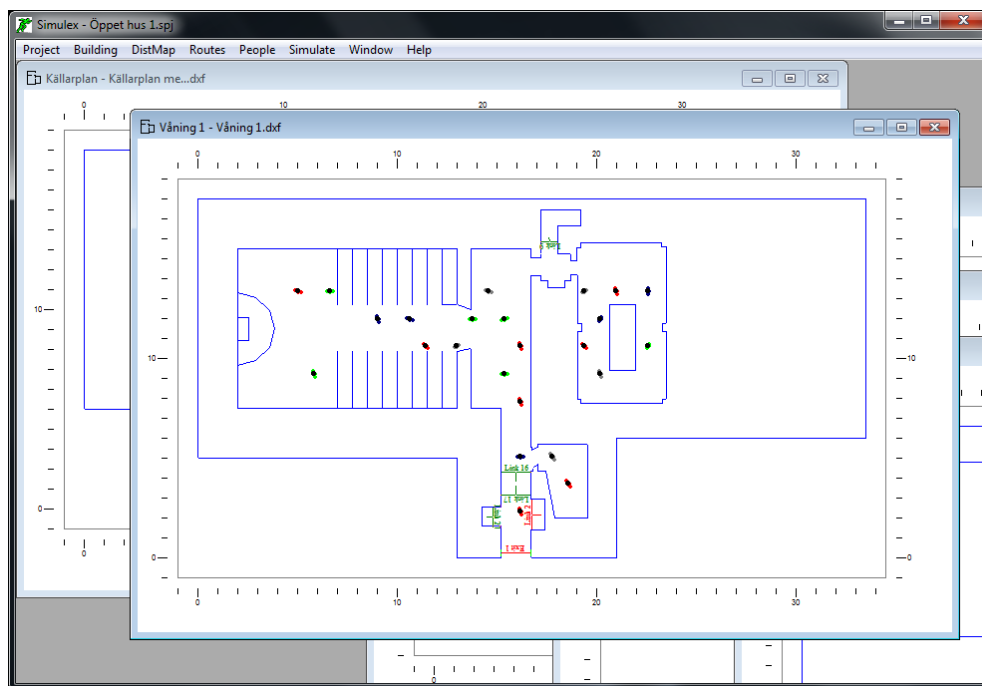
LTH  
Brandteknisk riskvärdering av Torpa Stenhus

Tabell 24 - Personkategorier som finns som förval i Simulex

Personkategori	Män [%]	Kvinnor [%]	Barn [%]	Äldre [%]
Office Staff	60	40		
Shoppers	35	40	15	10
All Male	100	-	-	-
All Female	-	100	-	-
All Children	-	-	100	-
All Elderly	-	-	-	100

Tabell 25 - Persontyperna som ingår i personkategorierna

	Total kroppsradie [m]	Radie axlar [m]	Medelgångshastighet [m/s]	Varians (+/-) [m/s]
Män	0.27	0.1	1.35	0.2
Kvinnor	0.24	0.09	1.15	0.2
Barn	0.21	0.07	0.9	0.3
Äldre	0.25	0.09	0.8	0.3



Figur 63 - Pågående utrymningssimulering i Simulex

Individuellt utformade personkategorier kan skapas, vilket de behandlade scenarierna i rapporten kräver. För båda evenemangen, öppet hus och bröllop, antas det att gästerna som befinner sig i Torpa Stenhus är av varierande kön och ålder. Fördelningen mellan män och kvinnor antas lika både bland gästerna och bland de anställda. De anpassade personkategorierna redovisas i Tabell 26.

Tabell 26 - Personligt utformade personkategorier

	Män [%]	Kvinnor [%]	Barn [%]	Äldre [%]
<b>Öppet hus</b>	30	30	20	20
<b>Bröllopsevenemang</b>	35	35	15	15

Gånghastighet för de utrymmande styrs även av avståndet till personen som befinner sig framför. I simuleringen kan besökare med långsammare hastighet passeras. I trapporna har alla utrymmande en lägre gånghastighet än den hastighet som definierats. I BBRAD anges skillnader i gånghastighet och personflöde vid hög persontäthet och för personer som förflyttar sig oberoende av andra personer [2]. I evenemanget bröllopsevenemang har persontätheten angivits till hög medan det i evenemanget öppet hus har angivits att personerna kan förflytta sig oberoende av varandra. I Simulex anges multiplikationsfaktorer för respektive persontyp som påverkar gånghastigheten uppför och nedför trappor. Faktorerna är tillämpade i de anpassade personkategorierna. Detta eftersom BBRAD inte specificerar persontypen som gånghastigheterna gäller. Faktorn som gånghastigheterna multipliceras med för att definiera gånghastigheterna i trapporna är 0.6 nedför trappor och 0.5 uppför trappor.

Efter att gånghastigheten för besökarna samt vägvalet har ställts in i programmet skall de placeras ut i byggnaden. Vid evenemanget öppet hus fördelas gästerna jämnt över hela byggnaden medan personer vid bröllopsevenemanget placeras ut i Kungssalen.

Vuxna människor under normala förhållanden rör sig genom dörrar med ett flöde mellan 1.1 – 1.4 personer per meter och sekund. Det innebär att det oftast blir köbildning vid dörröppningar i byggnaden. Vid köbildning i simuleringen ställer de simulerade personerna sig i kö och väntar på fri passage. När personen som befinner sig framför dem har flyttat på sig kan de fortsätta sin färd mot utgången. Nackdelen med programmet är att i simuleringarna packar personerna sig mer än vad de hade gjort i verkligheten. Det precisnämnda är faktorer som påverkar simuleringen och gör att utrymningen skiljer sig från hur fallet hade sett ut i verkligheten [16].

En annan nackdel med programmet Simulex är att det inte tar hänsyn till brandens placering i byggnaden. Det innebär att personerna kan komma att utrymma precis där branden är placerad. För att utrymningsscenarierna skall vara så trovärdiga som möjligt får personernas val av utrymningsväg anpassas efter brandens placering manuellt om ett sådant fall uppstår. Då det i dagsläget endast finns en utrymningsväg i Torpa Stenhus och brandens placering inte inverkar i de utrymmandes väg behövs den förenklingen inte tillämpas i det här fallet.

När alla personer är utplacerade och allt definierat kan simuleringen påbörjas. Utdata från programmet Simulex ges i form av en uppspelningsfil samt en textfil. Uppspelningsfilen gör att simuleringen kan spelas upp flera gånger efteråt i både 3D och 2D. Textfilen innehåller information om simuleringen som berör bland annat förflyttningstid och antal personer som simulerades i byggnaden [16]. Tiden som datorprogrammet tar fram skall jämföras med tiden det tar för branden att orsaka kritiska förhållanden i byggnaden.

Datorprogrammet Simulex är ett bra sätt att uppskatta utrymningstiden. Programmet återspeglar dock inte verkligheten fullt ut. Hur personer upplever situationer och agerar vid utrymning varierar. Experiment har visat på återkommande beteenden där folk ofta utrymmer i grupp och framförallt tillsammans med bekanta. Personer som befinner sig i okänd miljö tenderar oftast att utrymma genom den ingången som de kom in i i byggnaden via [13]. Dessa beteenden åskådliggörs inte i datorprogrammet Simulex.

## C.2. Simulering 1 – Öppet hus

Resultat från simuleringen tillämpas för samtliga brandscenarier som angetts i rapporten.

Vid öppet hus på Torpa Stenhus har antalet besökare uppskattats till 80 stycken. Personfördelningen redovisas i Tabell 26. Öppet hus på Torpa innebär att besökare kan röra sig fritt runt i byggnaden alternativt delta i guidade turer. De guidade turerna innebär en grupp om 30 personer och en guide.

### C.2.1. Resultat

80 personer utplacerade i Torpa Stenhus av personkategori öppet hus enligt Tabell 26, ger en tid för utrymning på 145 sekunder.

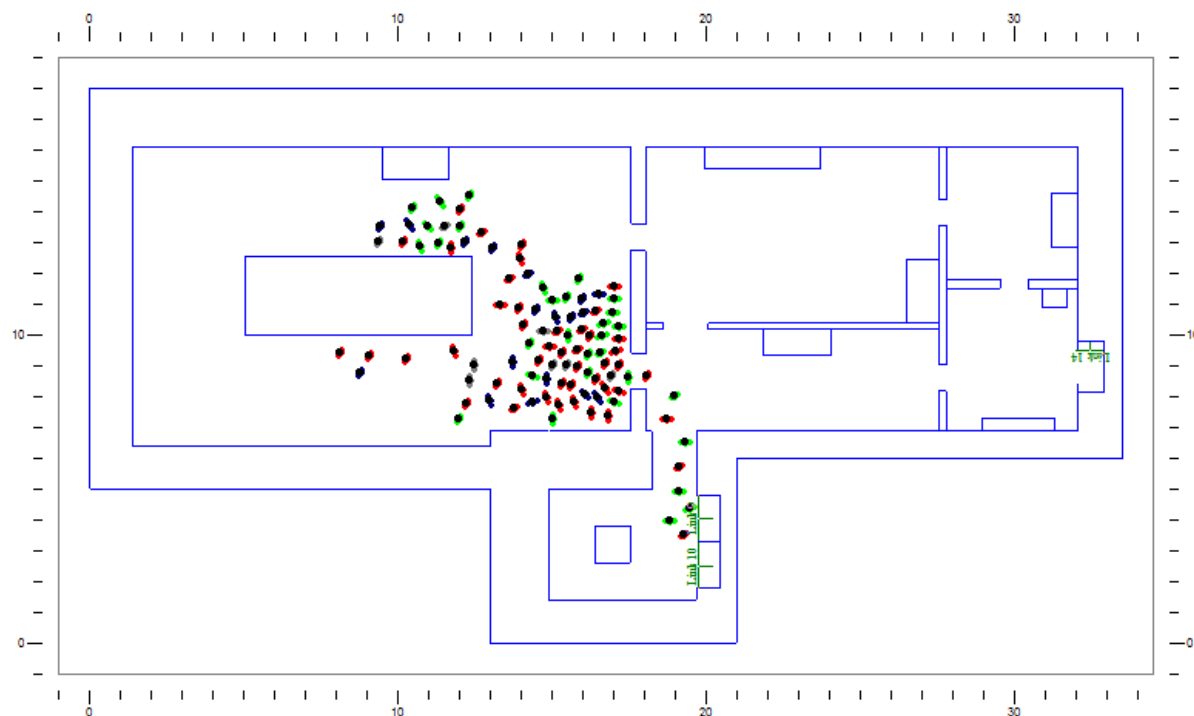
## C.3. Simulering 2 – Bröllopsevenemang i Kungssal

Resultat från simuleringen tillämpas för samtliga brandscenarier som angetts i rapporten.

I Kungssalen får 110 personer vistas samtidigt och simuleringar utförs för värsta tänkbara scenario vilket innebär att det befinner sig 110 personer i Kungssalen för bröllopsevenemang. Antagandet görs att det är sex personer som jobbar på bröllopsevenemanget samt 104 gäster. De anställda antas vara personer i medelåldern medan gästerna består av både barn, medelålderspersoner och äldre personer. En hög andel av personkategorin *äldre* medför att resultaten från simuleringarna blir konservativt då de äldre har en lägre gånghastighet. Personfördelningen redovisas i Tabell 26.

### C.3.1. Resultat

110 bröllopsgäster befinner sig i Kungssalen och de tillhör personkategori *bröllopsevenemang*. Simuleringen ger en tid för utrymning på 240 sekunder. Flaskhals uppstår i dörröppningen ut från Kungssalen efter bara några sekunder. Figur 64 visar 15 sekunder in i utrymningssimuleringen.



Figur 64 - 15 sekunder in i utrymningssimuleringen för ett bröllopsvenemang i Kungssalen

## C.4 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys genomförs i datorprogrammet Simulex för att kontrollera hur mycket gånghastigheterna vid till exempel dålig sikt påverkar den totala utrymningstiden. I känslighetsanalysen sänks gånghastigheten med 10, 20 och 30 %. Bröllopsvenemanget gav den längsta förflyttningstiden i utrymningssimuleringarna, därför genomförs känslighetsanalysen för det evenemanget. Resultatet som erhålls redovisas i Tabell 27.

Tabell 27 - Känslighetsanalys

Nedsatt gånghastighet	Tid till utrymning [s]
0 % (Normal gånghastighet)	240
10 %	273
20 %	313
30 %	405

Utifrån resultatet kan slutsatsen dras att en lägre gånghastighet på grund av dålig sikt kan medföra en betydligt längre utrymningstid.

## C.5. Simulering med ny utrymningsväg

En av åtgärderna var att införa en till utrymningsväg genom att ta fram den igenmurade trappan och sätta den i bruk. En utrymningssimulering för den nya utrymningsvägen genomfördes med en resulterande förflyttningstid på 256 sekunder. Simuleringen genomfördes för bröllopsvenemanget då utrymningssimuleringen för det scenariet gav den längsta utrymningstiden. Simulex hanterar endast raka och enkla trappor, som tidigare nämnts. Detta innebär att utrymningssimuleringen för den nya

LTH

Brandteknisk riskvärdering av Torpa Stenhus

utrymningsvägen inte återspeglar verkligheten eftersom den nya utrymningsvägen är smal och krokig. Förflyttningstiden kan ändå användas som underlag för validering. Slutsatsen är att ännu en utrymningsväg bör införas i bygganden så att det finns två av varandra oberoende utrymningsvägar.



## Bilaga D – DETACT T<sup>2</sup>

DEACT T<sup>2</sup> (DEACTor ACTuation – Time Squared) är ett program som används för att beräkna detektionstid. I rapporten kommer programmet att användas för att beräkna tiden det tar för detektorerna att aktivera när de olika brandscenarierna inträffar.

Värt att nämna är att alla DETACT modeller är grova förenklingar av verkligheten och resultaten som erhålls från datorprogrammet bör därför användas med försiktighet.

DEACT T<sup>2</sup> används vanligtvis för att beräkna aktiveringstiden för värmedetektorer och sprinklermunstycken. Rökdetektorer, som finns i Torpa Stenhus, reagerar inte på temperaturen utan på partiklar som bildas i brandgaserna. Experiment har visat att det finns ett samband mellan partiklarna och temperaturen. Det innebär att DETACT T<sup>2</sup> går att tillämpa på rökdetektorer för att beräkna aktiveringstiden. I programmet används en temperaturökning vid aktivering på 13 °C som är ett konservativt värde [12].

Beräkningar utförs i DETACT T<sup>2</sup> för de utrymningsscenarioer som berörs av att *detektorn aktiverar* samt av *detektorn aktiverar inte* utifrån händelseträdet. Händelseträdet redovisas tidigare i rapporten under avsnitt 10.5.

För att kunna använda programmet DETACT T<sup>2</sup> krävs det att somliga antaganden görs. Ett av antagandet som görs är att känselementet endast värms upp av takstrålen och inte av brandgaslagret som ansamlas under innertakt. Antagandet görs också att förhållandet mellan masskoncentrationen partiklar och brandgasernas temperatur är konstanta. De aerosolpartiklar som tillverkas till följd av bränslet och förbränningsförhållanden försummas i datorprogrammet. Ingen hänsyn tas till att olika rökdetektorer detekterar vid olika partikel- storlekar och egenskaper [12].

Följande indata skall definieras i programmet DETACT T<sup>2</sup>:

- Omgivningens temperatur [°C]
- RTI- värdet [(ms)<sup>1/2</sup>]
- Detektorns aktiveringstemperatur [°C]
- Rummets höjd [m]
- Avståndet från brand till detektor [m]
- Brandens tillväxthastighet [kW/s<sup>2</sup>]

Enligt SMHIs hemsida är medeltemperaturen i Borås under månaderna juni - augusti 17°C [18]. Det är främst under de månaderna som Torpa Stenhus bedriver sin verksamhet. Statistiken är ett medelvärde på temperaturen som sträcker sig över åren 2006-2012.

RTI står betecknat för Respons Time Index och är ett tröghetsmått för ett känselement. Exempel på känselement är detektorer och sprinkler. RTI- värdet anger hur snabbt känselementets aktiveringstemperatur nås. Ett känselement med ett lågt RTI- värde aktiverar snabbare än ett känselement med ett högt RTI- värde [10]. När programmet DETACT T<sup>2</sup> skall tillämpas på rökdetektorer skall RTI- värdet väljas till ett lågt värde. RTI- värdet väljs till 0,5 (ms)<sup>1/2</sup>. Ett lågt RTI- värde innebär att rökdetektorns temperatur kommer vara nästan samma som de omgivande brandgasernas temperatur [12].

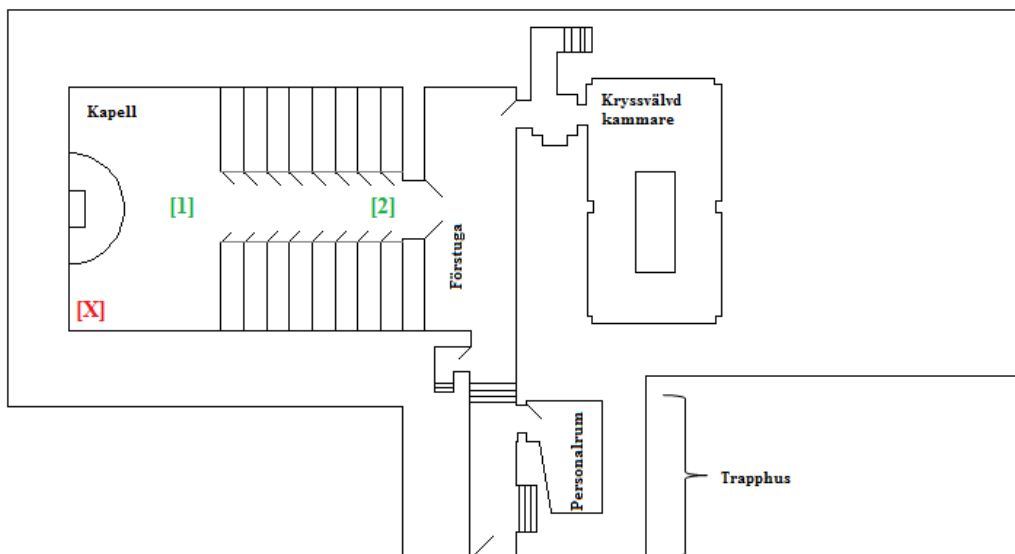
Detektorns aktiveringstemperatur anges som omgivningens temperatur adderat med 13 °C [12]. I beräkningarna som utförs för Torpa Stenhus kommer detektorn aktiveringstemperatur därför att vara 30 °C.

Utifrån sannolikhetsberäkningar, som redovisas i Bilaga B, har det tagits fram förutsättningar för att den andra detektorn aktiverar om inte den första detektorn aktiverar. Beteckningarna *första* och *andra* detektorn syftar på detektorernas placering utifrån brandrummet. Ifall den första detektorn inte detekterar vid brand förutsätts det att den andra detektorn aktiverar.

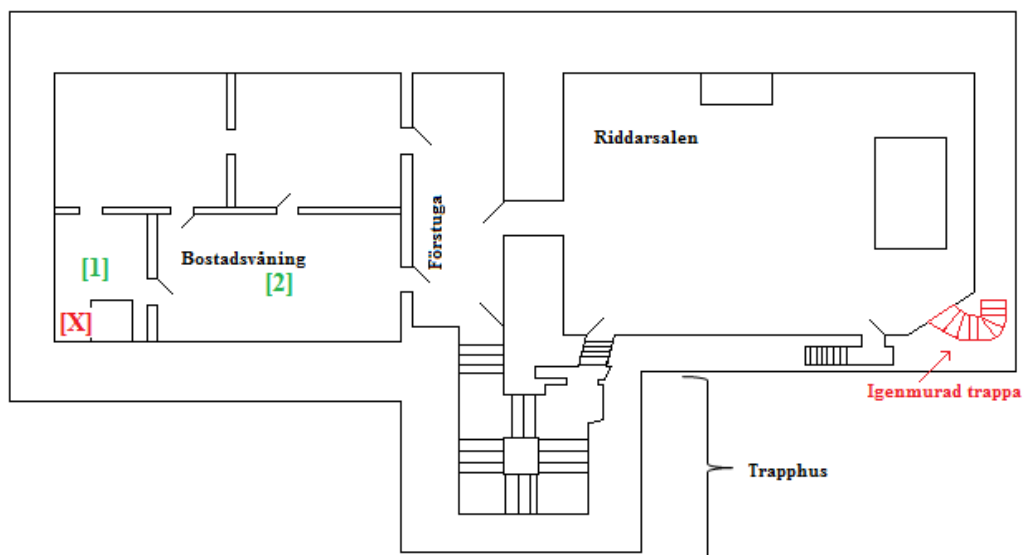
I Figur 65-Figur 67 redovisas detektorns placering samt var branden startar i varje brandscenario. Detektorerna är markerade med de gröna siffrorna 1-2 som motsvarar den *första* och *andra* detektorn. Branden är markerad med ett större rött kryss. För en mer översiktlig bild av detektorplacering hänvisas till Figur 19-Figur 23 som presenteras under avsnitt 4.3 med rubriken *Ritningar med utplacerade aktiva och passiva system*.

För brandscenariet som berör personalrummet är den närmsta detektorn placerad i Förstugan. Avståndet från personalrummet till Förstugans detektor kommer därför att användas vid beräkningarna. I det fallet kommer även rummets höjd att anges som Förstugans höjd.

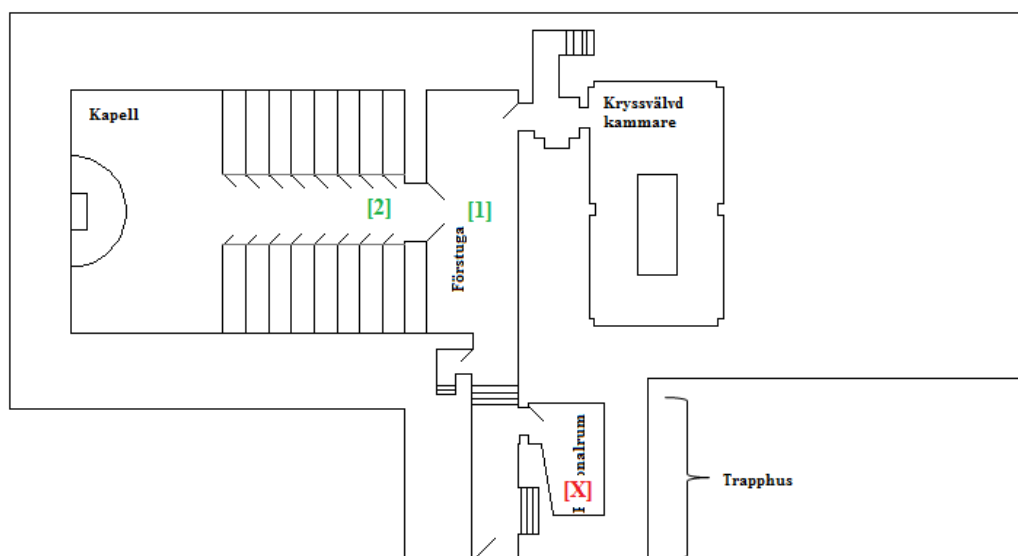
Avståndet från branden till detektorn anges som det mest konservativa, det vill säga det längsta avståndet som kan uppstå från branden till detektorn. Det innebär att det förutsätts att branden startar längst in i Personalrummet och på Bostadsvåningen i de scenarier som berör dessa rum. För brand i Kapellet utgår beräkningarna från att branden startar längst in i ett hörn i Kapellet för att på så sätt få så stort avstånd till detektorerna som möjligt.



Figur 65 - Brand i Kapell



Figur 66 - Brand på Bostadsvåning



Figur 67 - Brand i Personalrum

## D.1. Indata – Första detektorn aktiverar

Mått för rummets höjd, avstånd från branden till detektorn samt tillväxthastigheten för de olika brandscenarierna har uppskattats utifrån ritningsmaterial och redovisas i tabellerna nedan. I Tabell 28 redovisas värden som används för de utrymningsscenarier som berörs av att detektorn aktiverar.

Tabell 28 - Indata till DETACT T<sup>2</sup> i de utrymningsscenarier då den första detektorn aktiverar

Brandscenario	Rummets höjd [m]	Avstånd från brand till detektor [m]	Tillväxthastigheten [kW/s <sup>2</sup> ]
Brand i Kapell	4,3	5,2	Fast
Brand på Bostadsvåning	3,3	2,4	Fast
Brand i Personalrum	4,3	15,7	Fast

## D.2. Indata – Andra detektorn aktiverar

Tabell 29 redovisar värden på mått samt tillväxthastighet som används i de utrymningsscenarier då den första detektorn inte aktiverar.

Tabell 29 - Indata till DETACT T<sup>2</sup> i de utrymningsscenarier då den första detektorn inte aktiverar

Brandscenario	Rummets höjd [m]	Avstånd från brand till detektor [m]	Tillväxthastigheten [kW/s <sup>2</sup> ]
Brand i Kapell	4,3	12,1	Fast
Brand på Bostadsvåning	3,3	9,6	Fast
Brand i Personalrum	4,3	19,2	Fast

## D.3. Resultat DETACT T<sup>2</sup>

Resultaten som erhålls ur datorprogrammet DETACT T<sup>2</sup> anger detektorernas aktiveringstid. Resultaten redovisas i Tabell 30. Värdena anger tiden till detektering vid de olika brandscenarierna.

Tabell 30 - Resultat från DETACT T<sup>2</sup>

Brandscenario	Detektorn aktiverar - första detektorns aktiveringstid [min]	Detektorn aktiverar inte - andra detektorns aktiveringstid [min]
Brand i Kapell	1,41	2,39
Brand på Bostadsvåning	0,86	3,21
Brand i Personalrum	2,90	3,40

## Bilaga E – FDS

FDS är en CFD-modell som används för att modellera strömningsproblem drivna av en brand. Detta genom att numeriskt lösa Navier-Stokes kontinuitets ekvationer för massa, energi och rörelsemängd. Utöver detta används diverse undermodeller för att lösa ekvationer för bland annat turbulens, strålning och förbränning [27]. Lösning av ekvationerna kräver att ett rutnät av rätlinjiga celler skapas. Dessa kallas för mesher. Storleken på cellerna styr vilka minsta mått geometrin kan byggas med då FDS avrundar hindrande objekt som representerar till exempel väggar och golv till närmsta cellvägg. Cellstorleken påverkar även modellens resultat genom att på samma sätt påverka flödesturbulens. Storleken på cellerna i rutnätet är den enskilt viktigaste användardefinierade parametern [26].

Ett mått på hur väl upplöst en mesh är ges av ekvation E1 [26]:

$$\frac{D^*}{\delta x} \quad \text{ekvation E1}$$

Där

$D^*$  = Brandens karakteristisk diameter [m]

$\delta x$  = Sidlängd cell [m]

Värdet spelar mot följande skala [26]:

16 – Finupplöst

10 – Medelupplöst

4 – Grovt upplöst

Den karakteristiska diametern för branden utifrån effektutveckling kan beräknas med ekvation E2 [26]:

$$D^* = \frac{\dot{Q}}{c_p \rho_\infty T_\infty \sqrt{g}}^{\frac{2}{5}} \quad \text{ekvation E2}$$

Där

$\dot{Q}$  = Maximal effektutveckling [kW]

$c_p$  = Specifik värmekapacitet [ $\text{kJ} \times \text{kgK}^{-2}$ ]

$\rho_\infty$  = Densitet hos omgivande luft [ $\text{kJ} \times \text{kgK}^{-2}$ ]

$T_\infty$  = Omgivande Temperatur [K]

$g$  = Gravitation [ $\text{m/s}^2$ ]

Då omgivande temperatur är kring 20°C kan uppskattningen ske genom ekvation E3

$$D^* = \frac{\dot{Q}}{1100}^{\frac{2}{5}}$$

ekvation E3

Upplösningen på meshen bör vägas mot beräkningstid. Värden på  $\frac{D^*}{\delta x}$  mellan 5 till 10 brukar ses som en god upplösning till en godtagbar beräkningstid.

Två tillägsprogram kan användas för att underlätta arbete i FDS. Pyrosim är till för att arbeta med uppbyggnad av indatafilen och geometrier samt Smokeview som används för att arbeta med resultaten från en simulering.

## E.1. Förutsättningar

Tre olika brandförlopp kommer simuleras i FDS. Skillnaden mellan de tre simuleringarna är brandens uppbyggnad samt placering. Indata byggs i programmet Pyrosim utifrån ritningsmaterial och mätdata tagna under objektsbesöket. Fyra olika rutnät definieras, i vilka byggnadens geometri byggs upp. Deras cellstorlek sätts till en kombination av sidlängder antingen till 10 eller 20 centimeter. Meshen som innehåller trapphuset, vilket är den mest komplexa geometrin i byggnaden samt meshen som per brandscenario innehåller branden använder celler med sidor som är 10 centimeter långa. Resterande mesher använder celler med sidor som har ett mått på 20 centimeter. En förenkling görs för att vidmakthålla det rätlinjiga rutnätet, inredning tas inte med i modellen. De fyra mesherna simuleras parallellt.

Branden för de tre olika simuleringarna baserar sig på effektutvecklingskurvorna beskrivna i Bilaga A med en brännarearea på 1m<sup>2</sup> och  $\frac{D^*}{\delta x}$  ur ekvation E3 och respektive cellstorlek. Brännaregenskaperna redovisas i Tabell 31.

Tabell 31 - Brännaregenskaper samt meshupplösning

Brandscenario	Maximal effektutveckling $\dot{Q}_{max}$ [kW]	Tid till maximal effektutveckling [s]	$\frac{D^*}{\delta x}$ 10cm cellstorlek	$\frac{D^*}{\delta x}$ 20cm cellstorlek
Brand i Personalrum	1500	175	11.3	5.6
Brand i Kapell	2600	300	14	7
Brand på Bostadsvåning	3400	340	15.7	7.8

Reaktionen som representerar det materialet som brinner förenklas till att enbart bestå av trä. Detta på grund av att det inte är möjligt att aktivera flera reaktioner samtidigt i en simulerad brand och i varje brandscenario kommer en stor del av det material som deltar i förbränningsprocessen att bestå av trä. Indata för reaktionen då trä brinner är hämtad från vedertagen litteratur och redovisas i Tabell 32 [4].

Soot yield är ett mått på hur mycket sot ett bränsle producerar. Yielden för ett ämne beror framförallt på materialet som brinner, vilken typ av förbränning som sker samt på förhållandet mellan bränslet och syret vid förbränning.

Förbränningsvärmets mängden energin som frigörs vid förbränning per kilo bränsle.

Tabell 32 - Reaktionsparametrar

Material	Förbränningsvärmets [kJ/kg]	Soot yield
Trä	1950.0	0.015

Torpa Stenhus består till stor utsträckning av sten. För att få realistiska värden på temperaturen i brandgaserna definieras den uppbyggda geometrin till att bestå av sten enligt Tabell 33.

Tabell 33 - Materialparametrar

Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Specifik värmekapacitet [kJ/kgK]	Emissivitet [-]	Värmekonduktivitet [W/mK]
2600	0,837	0.9	1,757

Den omgivande temperaturen i byggnaden sätts till 17° C. Detta är medeltemperaturen i Borås under månaderna juni - augusti [18].

Slices, ett plan i x-, y- eller z-led som är fyllt med mätpunkter läggs till med jämna mellanrum från var utdata önskas. Detta sker i x och y led över hela byggnadens bredd samt längd. Utifrån slices kan man betrakta den uppmätta parametern över hela brandförloppet i programmet Smokeview. Skalan de betraktas utifrån kan ställas efter olika värden.

Det finns även möjlighet att modellera rökdetektorers aktivering i FDS. På motsvarande platser där detektorer finns i stenhuset placeras rökdetektorer av typen Photoelectric P1 ut. Rökdetektorer av typen Clearly Photoelectric P1 som är fördefinierade i Pyrosim och har en aktiverings obscuration på 3,28 % per meter.

Delar av indatafilen till FDS finns att skåda i Bilaga G.

## E.2. Resultat

Utifrån de utplacerade slicerna kan tider till kritiska förhållanden med avseende på sikt, temperatur och brandgaslagrets höjd visuellt kontrolleras i programmet smokeview. Resultaten redovisas i Tabell 34.

Tabell 34 – Tid till kritiska förhållanden

Brandscenario	Tid till kritiska förhållanden [s]	Faktor
Brand i Personalrum	115	Sikt
Brand i Kapell	220	Sikt
Brand på Bostadsvåning	270	Sikt

Vad som är värt att notera är att simuleringen ledde till turbulenta flöden i trapphuset. Detta på grund av att brandgaserna ofta tvingades att byta flödesriktning samt att taket i en våning av trapphuset till lika blev golvet på trappan i nästa våning, det vill säga inte slät. Beräkning av tiden till kritiska förhållanden på grund av brandgaslagrets höjd blev således problematisk då inga typiska brandgaslager skapades. Brandgaserna blev istället utspridda över de olika trapporna i trapphuset. Brandgaslagrets höjd har utvärderats från fall till fall med hjälp av att utvärdera slicernas siktbarhet och temperatur profil. Genom att ändra gränsvärdena för slicerna kan man se var det koncentrade brandaslagrets höjd trots hög turbulens.

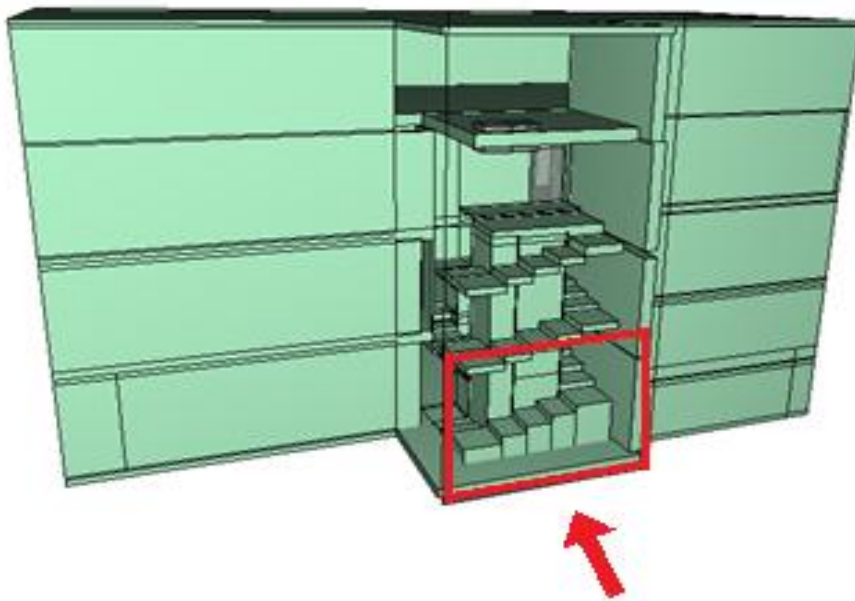
Utifrån utdata från rökdetektorerna kan en aktiveringstid erhållas då rökdetektorn i fråga når upp till sin aktiverings obscuration. Denna aktiveringstid redovisas i Tabell 35.

Tabell 35 – Aktiveringstid rökdetektorer

Brandscenario	Första detektorn aktiverar [s]	Andra detektorn aktiverar [s]
Brand i Kapell	35	73
Brand på Bostadsvåning	37	105
Brand i Personalrum	60	104

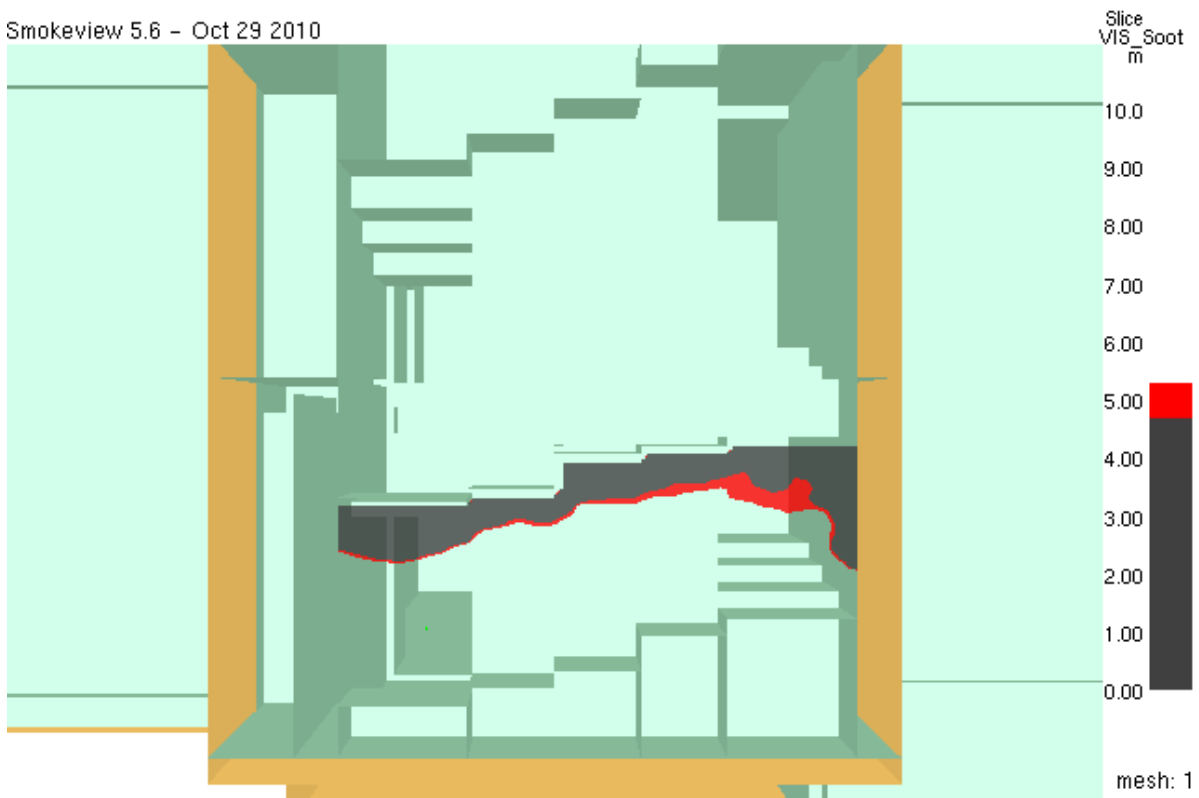
Siktbarheten efter en viss tid redovisas för de tre brandscenarierna i Figur 68-Figur 73.





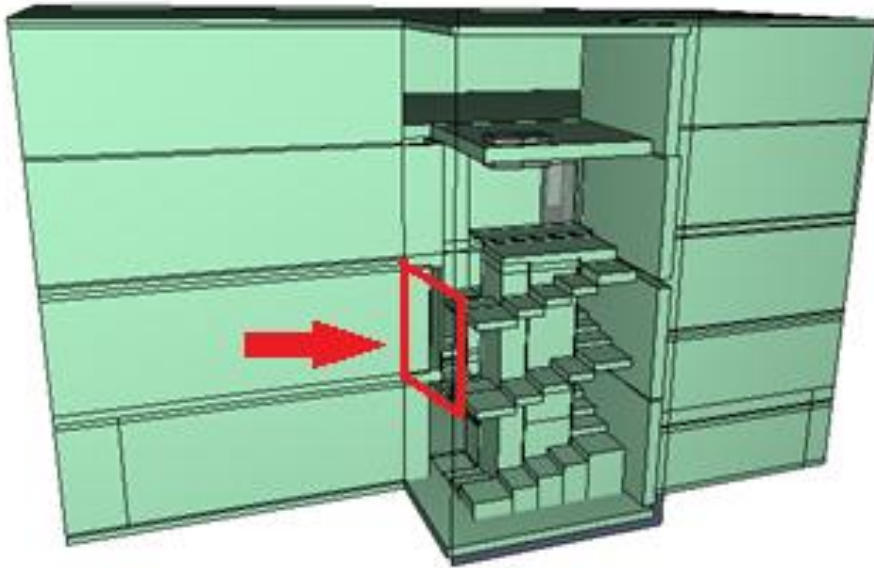
Figur 68 - Trappuset i genomskärning framifrån sett

Smokeview 5.6 - Oct 29 2010



Frame: 44  
Time: 220.0

Figur 69 - Siktbarhet efter 220 sekunder vid brand i Kapell

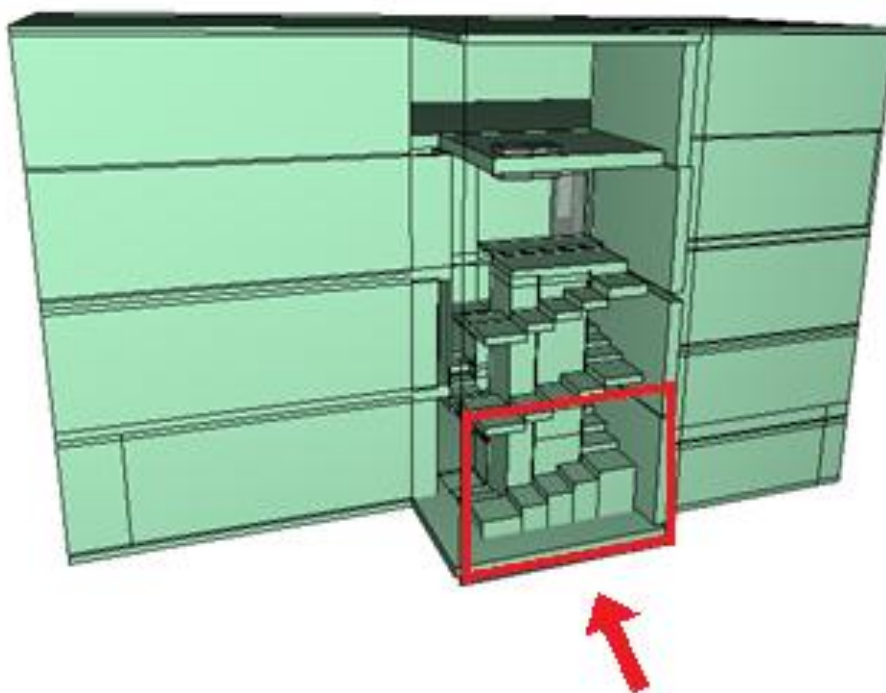


Figur 70 - Trapphuset i genomskärning från vänster



Frame: 54  
Time: 270.0

Figur 71 - Siktbarhet efter 270 sekunder vid brand på Bostadsvåning



Figur 72 – Trapphuset i genomskärning framifrån sett



Figur 73 – Siktbarhet efter 115 sekunder vid brand i Personalrum

### E.3. Detektionstider från FDS

Tiden det tar för de utplacerade detektorerna att detektera tas fram genom datorprogrammet FDS.

I Tabell 36 redovisas detektionstiderna som erhålls från programmet.

Tabell 36 - Detektionstider framtagna genom FDS

<b>Brandscenario</b>	<b>Första detektorn aktiverar [s]</b>	<b>Andra detektorn aktiverar [s]</b>
Brand i Kapell	35	73
Brand på Bostadsvåning	37	105
Brand i Personalrum	60	104

## Bilaga F – Strålningsberäkning

I bilagan följer en beskrivning av strålningsberäkningar som utförts i rapporten.

### F.1. Strålningsintensiteten från flamma

I Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering har det tagits fram acceptabla gränser för bland annat strålningsintensiteten. De som utrymmer ur byggnaden skall under inga omständigheter utsättas för en strålningsintensitet större än den acceptabla nivån som ligger på 2,5 kW/m<sup>2</sup> [2].

Inga strålningsberäkningar kommer att genomföras för scenariet *brand i Personalrum* då obehöriga inte äger tillträde till Personalrummet. Det innebär att det vid bröllopsevenemang eller öppet hus inte kommer vara några gäster inne i Personalrummet som kan utsättas för strålning från brand. Antagandet görs att om det skulle befinna sig personal i Personalrummet när en eventuell brand startar i Personalrummet skulle de upptäcka branden i ett så pass tidigt skede att de skulle hinna utrymma alternativt släcka branden innan strålningsintensiteten blir så hög att den acceptabla nivån överskrids. Då kritiska förhållanden uppstår på grund av brandgasspridning i stort sett direkt efter att de flödar ut från personalrummet kommer inte heller en blockerande strålning utanför dörren uppstå innan kritiska förhållanden uppstått av andra kriterierna.

Liknande resonemang används för scenariet *brand i Kapell* samt *brand på Bostadsvåning*. Eftersom branden inte kommer att uppstå i ett rum som blockerar utrymningen eller som är i direkt kontakt med den enda utrymningsvägen kommer inte gästerna att påverkas av en strålningsintensitet som överstiger den acceptabla nivån. Antagandet förutsätter att gästerna använder sig av den närmsta utrymningsvägen. Ifall branden skulle starta i det rum där besökarna befinner sig förutsätts det att de agerar på ett lämpligt sätt innan strålningsintensiteten från flammen blir för hög.

### F.2. Strålningsintensitet från brandgaslagret

Förutom strålning från flammen kan de som utrymmer ur byggnaden även påverkas av strålningsintensiteten från brandgaslagret som ansamlats under innertaket. Nivån för den acceptabla gränsen är lika stor för strålningen från flammen som från brandgaslagret [2].

Strålningsintensitet från brandgaslagret beräknas med följande samband [4]:

$$\dot{q}'' = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \varnothing \cdot T^4 \quad \text{ekvation F1}$$

Där

$\varepsilon$  = Emissivitet [-]

$\sigma$  = Stefan Boltzmanns konstant [Wm<sup>-2</sup>K<sup>-4</sup>]

$\varnothing$  = Synfaktor [-]

T = Temperatur [K]

Emissionstalet är ett mått på hur stor del av den maximala strålningsenergin som strålar ut från objektet.  $\varepsilon = 1$  motsvarar att all strålningsenergi strålar ut från objektet. Synfaktorn varierar med brandgaslagrets geometri och med avståndet från brandgaslagret till objektet. En förenkling som utförts i beräkningarna är att brandgaslagret approximeras till en rektangel. Synfaktorn tas fram ur en tabell utifrån måttet på brandgaslagret samt avståndet till det objekt som utsätts för strålning [4].

### **F.2.1. Förutsättningar**

Kontroll av strålningsintensitet från brandgaslagret till en punkt i utrymningsvägen sker vid en temperatur av 80 °C. Temperaturen används eftersom det är den högsta temperaturen som kan råda utan att acceptanskriteriet för temperatur överskrids. Om temperaturen understiger den kritiska nivån kommer även strålningsintensiteten att understiga den kritiska nivån. Detta utförs i beräkningar för strålningsintensiteten för samtliga brandscenarier även om temperaturen i brandgaslagret är lägre, vilket är ett konservativt antagande.

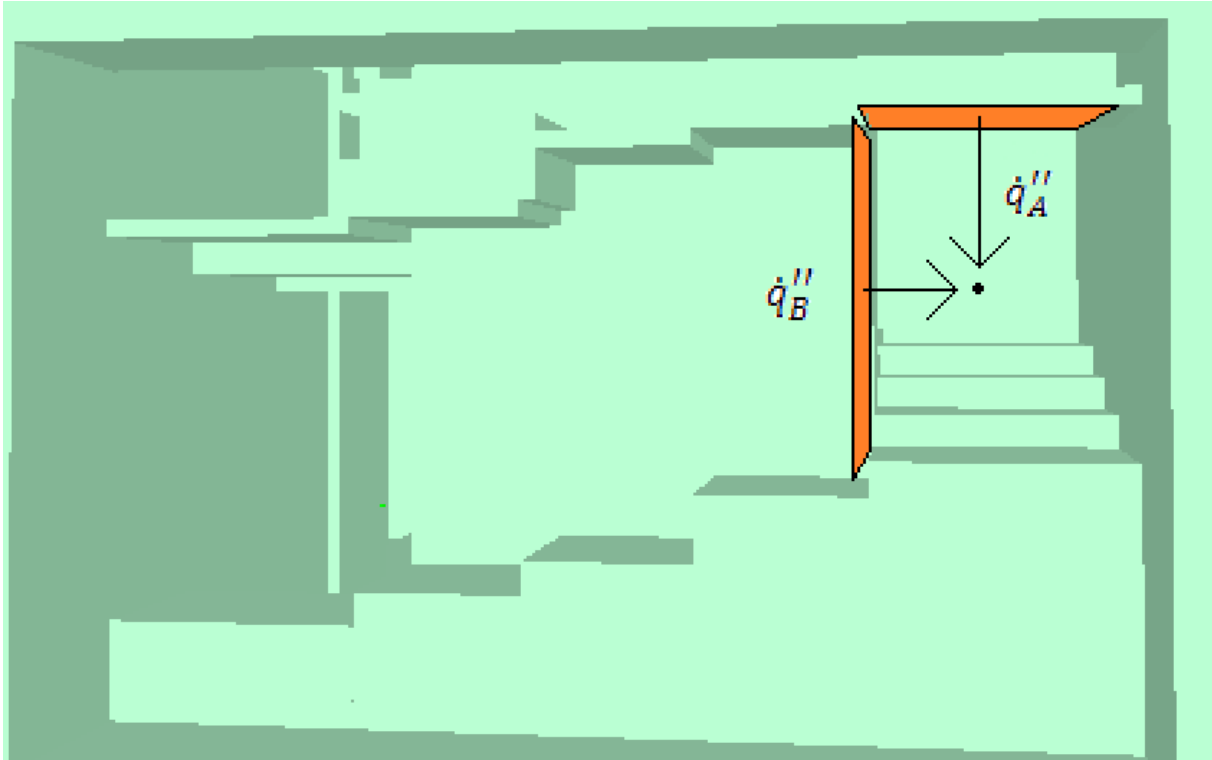
Det är av intresse att kontrollera strålningsintensiteten där de utrymnande utsätts för den högsta strålningsintensiteten. Punkten är placerad 1.8 meter ovanför golvet i utrymningsvägen. Om det inte uppstår kritiska förhållanden på grund av strålningsintensitet vid 80 °C kommer det inte heller uppstå tidigare under utrymningsförloppet. Detta eftersom kriteriet för temperatur redan kontrollerats i utrymningsvägen. Utifrån detta samband är temperaturen på brandgaslagret den enda parametern som förändrar resultatet om konservativa värden på synfaktor och emissivitet används.

### **F.2.2. Beräkningar**

I avsnittet följer en beskrivning av strålningsberäkningar som utförts i rapporten.

#### **F.2.2.1 Brand i personalrum**

Kontroll av strålningsintensitet för brandscenariet *brand i Personalrummet* kommer ske efter uppställningen som redovisas i Figur 74.



Figur 74 - Uppställning för strålningsberäkning för brand i Personalrum

Strålningsintensitet från brandgaslagret approximeras till strålning från två plattor infallande mot en punkt som motsvarar en utrymmande person. Temperaturen i brandgaslagret antas vara 80 °C. Synfaktorn,  $\varnothing$ , och emissiviteten,  $\varepsilon$ , antas vara 1 i båda fallen, vilket är ett konservativt antagande som innebär att hela plattornas strålning infaller på den angivna punkten.

Punkten som det strålar mot befinner sig i den första trappan i trapphuset direkt upp till höger från ingången. Beräkningarna genomförs med hjälp av ekvation F1:

Platta A

$$\dot{q}''_A = 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K} \cdot 1 \cdot 353^4 K = 880 \frac{W}{m^2}$$

Platta B

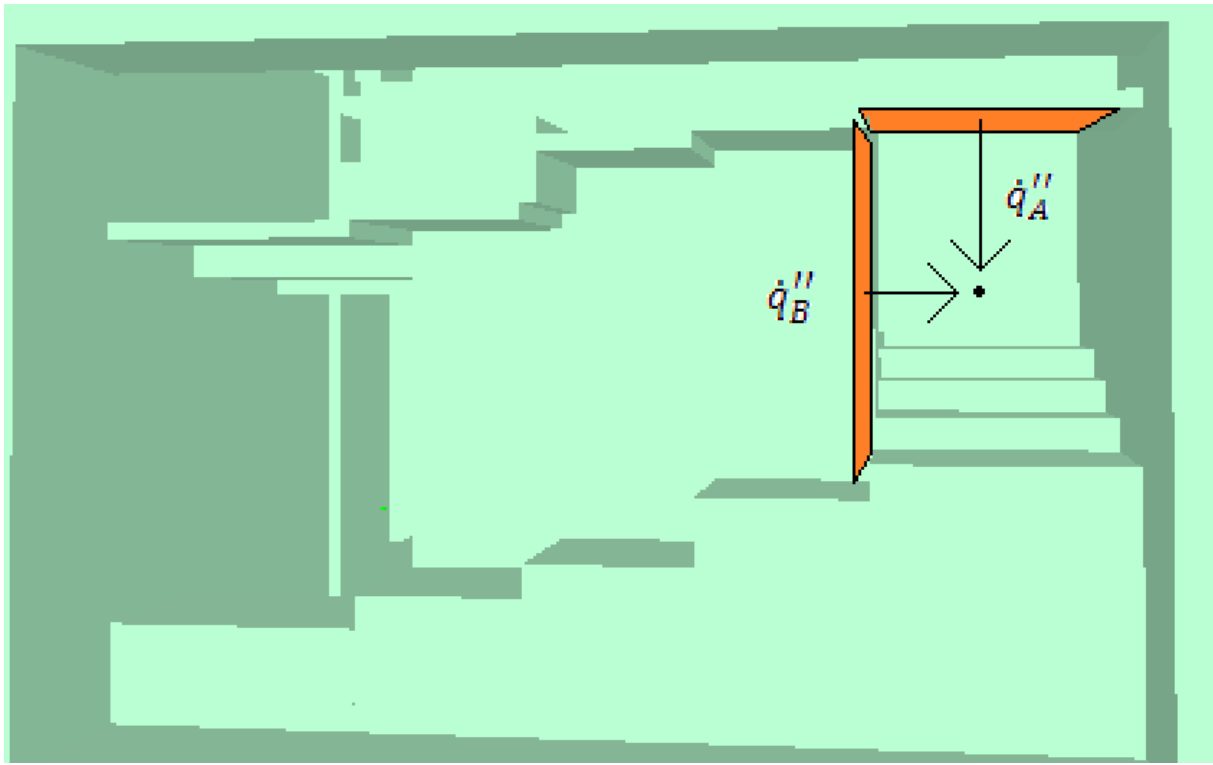
$$\dot{q}''_B = 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K} \cdot 1 \cdot 353^4 K = 880 \frac{W}{m^2}$$

Total infallande strålning

$$\dot{q}''_1 = \dot{q}''_A + \dot{q}''_B = 1760 \frac{W}{m^2}$$

### F.2.2.2. Brand i kapell

Kontroll av strålningsintensitet för brandscenariet med brand i Kapellet kommer ske efter uppställning som redovisas i Figur 75.



Figur 75 - Uppställning för strålningsberäkning för brand i Kapellet

Strålningsintensitet från brandgaslagret approximeras till strålning från två plattor infallande mot en punkt som motsvarar en utrymmande person. Temperaturen i brandgaslagret antas vara 80°C. Synfaktorn,  $\Phi$ , och emissiviteten,  $\epsilon$ , antas vara 1 i båda fallen, vilket är ett konservativt antagande som innebär att hela plattornas strålning infaller på punkten.

Punkten som det strålas mot befinner sig i den första trappan i trapphuset direkt upp till höger från ingången. Beräkningarna genomförs med hjälp av ekvation F1:

Platta A

$$\dot{q}_A'' = 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K} \cdot 1 \cdot 353^4 K = 880 \frac{W}{m^2}$$

Platta B

$$\dot{q}_B'' = 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K} \cdot 1 \cdot 353^4 K = 880 \frac{W}{m^2}$$

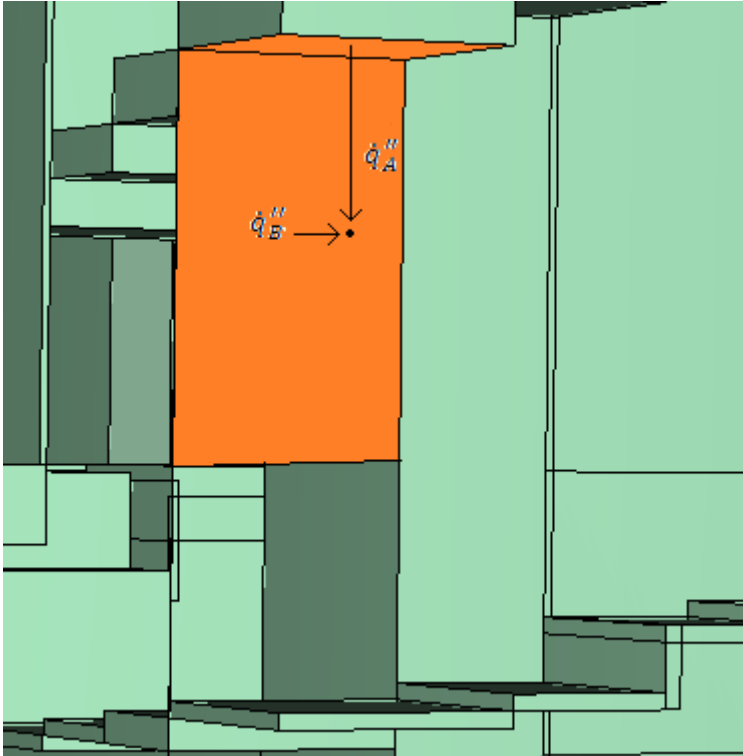
Total infallande strålning

$$\dot{q}_2'' = \dot{q}_A'' + \dot{q}_B'' = 1760 \frac{W}{m^2}$$



### F.2.2.3. Brand på Bostadsvåning

I Figur 76 visas beräkningsmodellen för strålningsintensitet för scenariet *brand på Bostadsvåning*.



Figur 76 - Uppställning för strålningsberäkning för brand på Bostadsvåning

Strålningsintensitet från brandgaslagret approximeras till strålning från två plattor infallande mot en punkt som motsvarar en utrymmande person. Temperaturen i brandgaslagret antas vara 80°C. Synfaktorn,  $\Phi$ , och emissiviteten,  $\varepsilon$ , antas vara 1 i båda fallen, vilket är ett konservativt antagande som innebär att hela plattornas strålning infaller på punkten.

Punkten som det strålas mot befinner sig på det första mellanplanet, på andra våningen, i trapphuset. Beräkningarna genomförs med hjälp av ekvation F1:

Platta A

$$\dot{q}''_A = 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K} \cdot 1 \cdot 353^4 K = 880 \frac{W}{m^2}$$

Platta B

$$\dot{q}''_B = 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K} \cdot 1 \cdot 353^4 K = 880 \frac{W}{m^2}$$

Total infallande strålning

$$\dot{q}_3'' = \dot{q}_A'' + \dot{q}_B'' = 1760 \frac{W}{m^2}$$

### F.2.3. Resultat

$$\dot{q}_1'' = \dot{q}_2'' = \dot{q}_3'' < 2.5 \frac{kW}{m^2}$$

I alla de tre olika brandscenerierna är strålningsintensiteten från brandgaslagret mindre än  $2.5 \frac{kW}{m^2}$ .

Detta medför att fram till att det uppsatta kriteriet för brandgaslagrets temperatur kommer de utrymmande inte utsätts för en sådan hög strålningsintensitet att den anses vara kritisk.

Trots konservativa antaganden av emissivitet och synfaktor kommer strålningsintensiteten endast upp till 70 % av gränsvärdet. Därav kommer inte kritiska förhållanden på grund av strålning att uppstå.

## Bilaga G – Exempel från indatafil FDS

I bilagan redovisas utvalda viktiga delar från indatafilen för simulering av brand i Personalrum med hjälp av FDS. Detta då de tre indatafilerna för de olika brandscenarierna är långa på grund av mängden trappsteg som användes i uppbyggnaden av trapphuset. Trappstegen fick ritas dit ett efter ett och det medför en stor indatafil.

```
&HEAD CHID='Personalrum_Final'/
```

```
&TIME T_END=600.0/
```

```
&DUMP RENDER_FILE='Personalrum_Final.ge1', DT_DEVC=1.0, DT_HRR=1.0,
DT_RESTART=300.0, DT_SLCF=5.0/
```

```
&MISC TMPA=17.0/
```

Exempel på meshernas definiering.

```
&MESH ID='1', IJK=80,70,180, XB=12.0,20.0,-6.5,0.5,-0.25,17.75/ "Mesh Trapphuset"
```

```
&MESH ID='2', IJK=40,65,100, XB=12.0,20.0,0.5,13.5,-2.25,17.75/
```

```
&MESH ID='3', IJK=61,75,90, XB=0.0,12.0,-1.5,13.5,-0.25,17.75/
```

```
&MESH ID='4', IJK=65,75,105, XB=20.0,33.0,-1.5,13.5,-3.25,17.75/
```

Exempel på förbränningsreaktioner, väggmaterial, ytor samt öppning till omgivningen.

```
&REAC ID='Wood',
```

```
  C=10.0,
```

```
  H=15.0,
```

```
  O=7.0,
```

```
  N=0.0,
```

```
  HEAT_OF_COMBUSTION=1.95E4,
```

```
  CO_YIELD=0.006,
```

```
  SOOT_YIELD=0.015/
```

```
&MATL ID='Stone',
```

```
  SPECIFIC_HEAT=0.837,
```

```
  CONDUCTIVITY=1.757,
```

```
  DENSITY=2600.0/
```

LTH  
Brandteknisk riskvärdering av Torpa Stenhus

&SURF ID='Stone',

RGB=146,202,166,

MATL\_ID(1,1)='Stone',

MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)=1.0,

THICKNESS(1)=0.2/

&VENT SURF\_ID='OPEN', XB=12.0,20.0,-6.5,-6.5,-0.25,17.75, TMP\_EXTERIOR=17.0/ Vent

Brand i Personalrum.

&SURF ID='brand',

COLOR='RED',

HRRPUA=1500.0,

TAU\_Q=-175.0/

&VENT SURF\_ID='brand', XB=16.4,17.4,-2.5,-1.5,0.8,0.8/ Vent

Exempel på Temperaturmättningspunkter samt rökdetektorer.

&DEVC ID='Device', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=4.56657,6.6354,3.9/

&DEVC ID='SD', PROP\_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=8.0,5.0,3.9/

&PROP ID='Cleary Photoelectric P1',

QUANTITY='CHAMBER OBSCURATION',

ALPHA\_E=1.8,

BETA\_E=-1.0,

ALPHA\_C=1.0,

BETA\_C=-0.8/

## Bilaga H – Beräkning av tidsmarginal

I Tabell 37 nedan redovisas en fullständig sammanställning av  $t_{varseblivning}$ ,  $t_{förberedelsetid}$ ,  $t_{förflyttning}$ ,  $t_{utrymning}$ ,  $t_{kritisk}$ , Tidsmarginal samt Andel personer som utsätts för kritiska förhållanden. Vid beräkning används ekvation H1-H3.

$$t_{utrymning} = t_{varseblivning} + t_{förberedelsetid} + t_{förflyttning} \quad \text{ekvation H1}$$

$$\text{Tidsmarginal} = t_{kritisk} - t_{utrymning} \quad \text{ekvation H2}$$

Andel personer som utsätts för kritiska förhållanden =

$$\frac{\text{Antal personer som inte hunnit passera kritiska punkt för resp.händelseutveckling}}{\text{Totalt antal personer}} \quad \text{ekvation H3}$$

Där

$t_{varseblivning}$  = tiden för varseblivning för respektive händelseutveckling

$t_{förberedelsetid}$  = förberedelsetiden för respektive händelseutveckling

$t_{förflyttning}$  = tiden för förflyttning för respektive händelseutveckling

$t_{kritisk}$  = tiden till kritiska förhållanden för respektive händelseutveckling

LTH  
Brandteknisk riskvärdering av Torpa Stenhus

Tabell 37 - Sammanställning av tider

Brand-scenario	Aktivitet i byggnad	Detektorn fungerar	Utbildad personal	$t_{varseblivni}$	$t_{förberedelse}$	$t_{förflyttning}$	$t_{utrymning}$	$t_{kritisk}$	Tidsmarginal	Personer utsatta för kritiska förh. [%]
2	Bröllop	JA	JA	35	60	211	306	220	-86	40
2	Bröllop	JA	NEJ	35	150	211	396	220	-176	100
2	Bröllop	NEJ	JA	73	60	211	344	220	-124	71
2	Bröllop	NEJ	NEJ	73	150	211	434	220	-214	100
2	Öppet hus	JA	JA	35	210	105	350	220	-130	100
2	Öppet hus	JA	NEJ	35	210	105	350	220	-130	100
2	Öppet hus	NEJ	JA	73	210	105	388	220	-168	100
2	Öppet hus	NEJ	NEJ	73	210	105	388	220	-168	100
3	Bröllop	JA	JA	60	60	211	331	115	-216	100
3	Bröllop	JA	NEJ	60	150	211	421	115	-306	100
3	Bröllop	NEJ	JA	104	60	211	375	115	-260	100
3	Bröllop	NEJ	NEJ	104	150	211	465	115	-350	100
3	Öppet hus	JA	JA	60	210	105	375	115	-260	100
3	Öppet hus	JA	NEJ	60	210	105	375	115	-260	100
3	Öppet hus	NEJ	JA	104	210	105	419	115	-304	100
3	Öppet hus	NEJ	NEJ	104	210	105	419	115	-304	100
5	Bröllop	JA	JA	37	60	211	308	270	-38	17
5	Bröllop	JA	NEJ	37	150	211	398	270	-128	70
5	Bröllop	NEJ	JA	105	60	211	376	270	-106	55
5	Bröllop	NEJ	NEJ	105	150	211	466	270	-196	100
5	Öppet hus	JA	JA	37	210	105	352	270	-82	54
5	Öppet hus	JA	NEJ	37	210	105	352	270	-82	54
5	Öppet hus	NEJ	JA	105	210	105	420	270	-150	64
5	Öppet hus	NEJ	NEJ	105	210	105	420	270	-150	64

