

BRANDTEKNISK RISKVÄRDERING



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Lotta Alm
Gabriel Larsson
Emma Lindh
Ida Roslund
Rapport 9510
Lund 2018

Brandteknisk riskvärdering av Vasamuseet i Stockholm

Författare

Lotta Alm

Gabriel Larsson

Emma Lindh

Ida Roslund

Handledare

Dan Madsen

Lund 2018

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

Titel/Title

Brandteknisk riskvärdering av Vasamuseet i Stockholm / Fire safety evaluation of Vasamuseet in Stockholm

Rapport nr/Report nr

9510

Författare/Authors

Lotta Alm
Gabriel Larsson
Emma Lindh
Ida Roslund

Brandingenjörprogrammet, Lunds Tekniska Högskola, 2018
Fire Safety Engineering Program, Lund University Faculty of Engineering, 2018
©Copyright Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2018

Antal sidor/Number of pages

128

Handledare/Supervisor

Dan Madsen

Nyckelord

Museum, Vasamuseet, Brandteknisk riskvärdering, Kritiska förhållanden, Brandsimulering, FDS, Utrymningssimulering, Pathfinder, Utrymning, @RISK

Keywords

Museum, Vasamuseet, Fire safety evaluation, Critical values, Fire simulation, FDS, Evacuation simulation, Pathfinder, Evacuation, @RISK

Avdelning för Brandteknik

Lunds Tekniska Högskola
Box 118
221 00 Lund
Telefon: 046-222 73 60
Epost: brand@brand.lth.se
Hemsida: www.brand.lth.se

Department of Fire Safety Engineering

Faculty of Engineering, Lund University
Box 118
SE - 221 00 Lund
Sweden
Telephone: +46 46 222 73 60
Email: brand@brand.lth.se
Homepage: www.brand.lth.se

Förord

Författarna vill rikta ett stort tack till följande personer för hjälp och svar på frågor under arbetets gång.

Dan Madsen, Doktorand, Avdelningen för Brandteknik, LTH,Handledare.

Per Karlsson, Drift- och säkerhetshandläggare, Vasamuseet, Statens Maritima Museer.

Jonathan Wahlqvist, Doktorand, Avdelningen för Brandteknik, LTH.

Henrik Hassel, Universitetslektor, Avdelningen för Riskhantering och Samhällssäkerhet, LTH.

Sammanfattning

Denna rapport är en brandteknisk utvärdering av Vasamuseet som är beläget på Djurgården i Stockholm. Rapporten utgör huvudmomentet i kursen Brandteknisk Riskvärdering som ges under brandingenjörsprogrammet tredje år vid Lunds Tekniska Högskola. Museibyggnaden har tolv våningar och består av en skeppshall med både stora och små utställningar, en restaurang, en souvenirshop samt personalutrymmen.

I rapporten behandlas enbart plan 2 till plan 7 i skeppshallen med fokus på personsäkerhet där tillfredsställande utrymning är skydds målet. Med tillfredsställande utrymning menas i rapporten att tillgänglig utrymningstid ska vara större än erforderlig utrymningstid. För att göra denna bedömning definieras gränser för kritiska förhållanden.

Det befintliga brandskyddet i skeppshallen utgörs av ett heltäckande automatiskt detektionssystem med rök-, värme- och linjedetektorer. Det finns ett talat utrymningslarm, brandgasventilation och vissa delar av skeppshallen är försedda med sprinkler. Museet har även en utrymningsorganisation med tydlig rollfördelning.

Ett platsbesök genomfördes och tillgänglig information gällande bygganden och brandskyddet samlades in. Därefter följde en grovanalys ur vilken dimensionerande scenarier togs fram med avseende på sannolikhet och konsekvens. De två scenarier som valdes ut som dimensionerande utgörs av brand i Storbåten och brand i garderob. Tid till då kritiska förhållanden uppstår för respektive scenario beräknades med simuleringssprogrammet FDS och tid för utrymning simulerades med Pathfinder.

Resultaten analyserades genom en jämförelse mellan dessa tider och en positiv säkerhetsmarginal beräknades. Eftersom de dimensionerande scenarierna innehåller osäkerheter undersöktes hur säkerhetsmarginalen kunde påverkas då indata varierades i en känslighetsanalys. Det visade sig att variationen kan vara betydande och att säkerhetsmarginalen i vissa fall kan bli negativ, det vill säga att tillgänglig utrymningstid blir mindre än erforderlig.

Vasamuseet bedöms ha ett tillfredsställande brandskydd men för att förbättra det fullständiga brandskyddet ytterligare togs åtgärdsförslag fram, vilka *bör* genomföras:

- Inför rutiner där personal hänvisar besökarna till närmaste utgång vid utrymning.
- Inför rutiner för att tillse att plan 7 utryms omedelbart vid larm.
- Inför rutiner för att följa upp att den egenutbildning av personal som sker via utbildningshäftet faktiskt genomförs.
- Tillse att så lite eldriven materiel som möjligt förvaras ombord Vasaskeppet.
- Ändra manuset i det talade utrymningsmeddelandet så att orsaken för utrymning (brandtillbud) nämns.
- Tillse att skyltarna vid trapphus J och K innehåller en rullstolssymbol.
- Installera manuella larmknappar i anslutning till platser där brandbelastningen är stor.

Abstract

The purpose of this report is to evaluate the fire safety at Vasamuseet on Djurgården in Stockholm. The museum has twelve floors and consists of the ship hall including large and small exhibitions, a restaurant, a gift shop, and areas for staff.

In this report, the focus is the ship hall expanding from the 2nd floor to the 7th floor. The economic and environmental loss are not taken into account because the main goal is the human safety during the evacuation.

For an evacuation to be considered safe, the available escape time needs to be equal or longer than the required escape time. Data analysis of the museum is vital in this report. A visit was made to the museum before a deterministic analysis of potential fire events was considered. Two scenarios were assessed as worst credible case: a fire in Storbåten and a fire in the visitor coat racks. These scenarios were simulated in FDS and Pathfinder to determine the time when safe evacuation cannot be assured.

The result from the simulation determined the fire safety in the museum is acceptable but can be further improved with the following recommendations:

- Improve fire evacuation education with the museum staff to direct visitors to the closest fire escape exit nearest to their location.
- Ensure the 7th floor evacuation has the highest priority immediately after the fire alarm due to its high risk level.
- Establish a follow up routine for the fire education of the staff.
- Minimize the amount of electronic devices aboard the Vasa ship.
- Make it a requirement for the voice alarm to inform visitors of the actual cause of the evacuation instead of “security reasons”.
- Add the wheelchair symbol onto the current evacuation signs at the stairwell J and K.
- Install manual alarm buttons in areas where there is a special risk of fire incidents.

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Syfte och mål	1
1.2	Metod	1
1.3	Skyddsmål och Avgränsningar.....	1
1.4	Begränsningar	2
2	Objektsbeskrivning	5
2.1	Byggnaden	5
2.2	Verksamhet.....	6
2.3	Ventilation	7
3	Lagstiftning och Boverkets byggregler.....	9
3.1	Verksamhets- och byggnadsklass.....	9
3.2	Förenklad dimensionering	10
4	Befintligt brandskydd	11
4.1	Detektions- och larmsystem	11
4.2	Utrymningsorganisation.....	11
4.3	Utrymningsvägar.....	13
4.4	Sprinkler.....	15
4.5	Släckutrustning	15
4.6	Brandgasventilation	16
4.7	Rökgasluckor.....	16
4.8	Räddningstjänst	16
4.9	Utbildning	16
4.10	Övningar	16
4.11	Utanför öppettiderna.....	17
4.12	SBA.....	17
4.13	Tidigare incidenter	17
5	Teori.....	19
5.1	FDS.....	19
5.2	Utrymningsteori.....	20
5.3	Kritiska förhållanden.....	21
5.4	Pathfinder	24
5.5	Fördelningar och @Risk	24
6	Risikanalys.....	27
6.1	Statistik och tidigare händelser.....	27
6.2	Brandscenarier – grovanalys	28
6.2.1	Scenario A – Vasaskeppet	29
6.2.2	Scenario B – Storbåten.....	29
6.2.3	Scenario C – Öppet labb.....	30
6.2.4	Scenario D – Papperskorg vid trätrappor.....	31
6.2.5	Scenario E – Miniatyrmodell av Vasaskeppet.....	32
6.2.6	Scenario F – Halmtak i utställning	33

6.2.7	Scenario G – Lilla filmsalen.....	33
6.2.8	Scenario H – Garderob.....	34
6.2.9	Scenario I – Utställning i genomskärning.....	34
6.2.10	Scenario J – Batteridäcksutställning.....	35
6.2.11	Scenario K – Sittkuddar	35
6.2.12	Scenario L – Gardin	36
6.3	Riskmatris och dimensionerande scenarier.....	37
7	Scenario B – Storbåten	39
7.1	Dimensionerande brand	39
7.2	Tid till kritiska förhållanden	40
7.3	Handberäkningar	41
7.4	Pathfinder	42
7.5	Säkerhetsmarginal	42
8	Scenario H – Garderoben.....	43
8.1	Dimensionerande brand	43
8.2	Tid till kritiska förhållanden	44
8.3	Handberäkningar	45
8.4	Pathfinder	45
8.5	Säkerhetsmarginal	46
9	Känslighetsanalys.....	47
10	Diskussion	51
10.1	Byggnadens komplexitet.....	51
10.2	Befintligt brandskydd.....	51
10.3	Lagstiftning och Boverkets byggregler	52
10.4	Grovrisikanalys	52
10.5	Scenarioanalys	52
10.6	Simuleringar.....	53
10.7	Resultat.....	54
10.8	Känslighetsanalys.....	55
11	Förslag till förbättringar	57
11.1	Verifiering av åtgärder	58
12	Slutsats.....	59
13	Referenser.....	61
Bilaga 1	Avgränsningar, utrymningsvägar och placering av scenarier	65
Bilaga 2	Effektutvecklingskurvor	71
Bilaga 3	Strålningsberäkningar	75
Bilaga 4	Val och motivering av indata för utrymningssimulering.....	77
Bilaga 5	Resultat från Pathfinder.....	83
Bilaga 6	Val, motivering och verifiering av indata till FDS	85
Bilaga 7	Utdata från FDS för scenario B - Storbåten.....	89

Bilaga 8	Utdata från FDS för scenario H – Garderoben.....	97
Bilaga 9	Kod för FDS	103

1 Inledning

Vasamuseet i Stockholm är platsen för världens bäst bevarade 1600-talsskepp, *Vasa*, och har varje år över en miljon besökare (Statens Maritima Museer, 2018). Vid besök på museet ska besökaren kunna känna sig trygg och säker även om en olycka eller brand inträffar. Med bakgrund till detta görs i den här rapporten en utvärdering av personsäkerheten i händelse av brand och nedan följer mer information om hur rapporten tas fram.

I det inledande avsnittet presenteras syfte och mål med utvärderingen och metod för genomförandet. Vilka avgränsningar som gjorts och vilket skyddsmål som arbetet utgår ifrån beskrivs också. Eftersom det alltid finns begränsningar kopplade till den här typen av analyser tydliggörs även dessa.

1.1 Syfte och mål

Rapportens syfte är att göra en utvärdering av brandskyddet och personsäkerheten vid utrymning i händelse av brand på Vasamuseet i Stockholm. Målet är att via resultat från simuleringar och handberäkningar göra en bedömning om brandskyddet är tillräckligt, så att besökare kan utrymma byggnaden innan kritiska förhållanden uppstår. Vid behov ska motiverade och verifierade åtgärdsförslag presenteras.

1.2 Metod

Projektet inleddes genom ett platsbesök på Vasamuseet. Där skedde rundvandring och det fanns möjlighet att ställa frågor om både byggnaden och verksamheten. Under besöket identifierades möjliga risker och troliga brandscenarioer. Vasamuseets drift- och säkerhetschef, som under besöket höll en genomgång om hur brandskyddsarbetet och utrymning fungerar, tillhandahöll även ritningar och annan dokumentation som ligger till grund för rapporten.

Skyddsmål och nivåer för kritiska förhållanden definierades. Med hjälp av observationer från platsbesöket och statistik över vanligt förekommande brandorsaker och dess konsekvenser gjordes sedan en grovanalys vilken resulterade i två dimensionerande scenarier. Effektkurvor togs fram för respektive scenario.

Brand- och utrymningssimuleringar gjordes för de båda dimensionerande scenarierna. För detta användes simuleringsprogrammen FDS respektive Pathfinder. Resultaten från brand- och utrymningssimuleringarna jämfördes med varandra för att kunna bedöma om utrymningen kunde ske säkert.

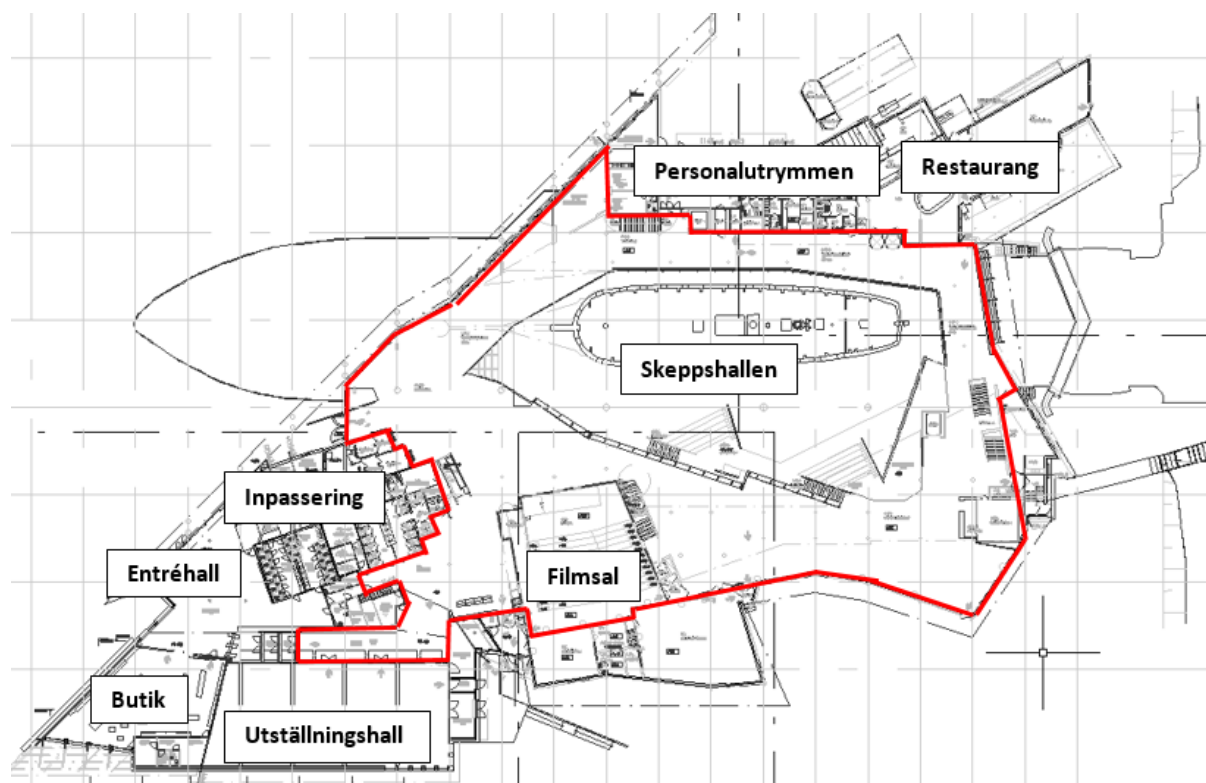
För att belysa osäkerheter i resultatet genomfördes en känslighetsanalys. Slutligen fördes en diskussion för att utvärdera befintligt brandskydd och förslag på åtgärder togs fram.

1.3 Skyddsmål och Avgränsningar

Skyddsmålet i denna rapport kommer endast att omfatta personsäkerhet och möjlighet för säker utrymning i händelse av brand i skeppshallen. Utrymning av *Vasaskeppet* i sig behandlas dock inte i analysen då besökare inte tillåts embarkera skeppet. Ingen hänsyn har tagits till ekonomisk påverkan eller miljöpåverkan. Detta medför att samtliga scenarier som beskrivs i rapporten antas inträffa under museets öppettider.

Den brandtekniska riskvärderingen i denna rapport är avgränsad till att bara omfatta skeppshallens sex publika våningsplan i Vasamuseet. Valet görs då skeppshallen utgörs av en enda brandcell och det är den plats där flest personer förväntas vistas. Avgränsningen för

plan 4, vilket är entréplanet, illustreras i Figur 1. Området utanför den röda markeringen, alltså utanför brandcellsgränsen, behandlas inte i rapporten. Övriga våningsplan har avgränsats enligt liknande princip (se figurer i Bilaga 1), men med vissa skillnader beroende av respektive plans utformning. En genomskuren skiss över skeppshallen kan ses i Figur 2 vilken i stora drag motsvarar avgränsningen. Figuren bör dock endast ses för att få en bra översiktlig bild, fullständiga avgränsningar ses i Bilaga 1.



Figur 1. Avgränsning plan 4.

1.4 Begränsningar

Rapportens genomförande och resultat påverkas av flera begränsningar och i detta avsnitt kommer de med störst påverkan att lyftas fram. En begränsning är kopplad till den statistiska bakgrunden då statistik som enbart representerar räddningsinsatser på museum saknas. I tillgänglig statistik ingår även andra publika lokaler som biografier, teatrar och bibliotek. Eftersom det finns olika typer av museer med olika typer av utställningar kan orsaken till brand också skilja sig mellan museer. Detta gör att den statistik som använts för att bedöma sannolikheten för olika scenarier inte är helt representativ för Vasamuseet. Den data som använts anses dock utgöra en godtagbar approximation.

Kopplat till använda simuleringsprogram finns det också begränsningar. Dessa utgörs i stor utsträckning av att det verkliga scenariot anpassas till modellen och författarnas val av indata. I simuleringarna för branden är en kompromiss mellan tillgänglig simuleringstid och upplösning av griden nödvändig. Erforderliga villkor uppfylls dock för de områden som är närmast branden för att återge denna så reellt som möjligt. I utrymningssimuleringarna finns vidare begränsningar rörande människors beteende och svårigheter i att modellera dessa.

I analysen görs handberäkningar för att bedöma om och när skadekriterier uppfylls för strålning. Även dessa grundar sig i vissa förenklingar som bör finnas i åtanke vid användning av resultaten i rapporten.

2 Objektsbeskrivning

Vasamuseet drivs av den statliga myndigheten *Statens Maritima Museer*. En av de utgångspunkter som myndigheten arbetar utifrån är att samtliga museer i organisationen ska vara tillgängliga för hela allmänheten. Vasamuseets läge och intresset för örlogsskeppet *Vasa* gör museet till ett av Skandinaviens mest besökta museer (Statens Maritima Museer, 2018).

I följande avsnitt beskrivs byggnaden i sin helhet och verksamheten i byggnaden.

2.1 Byggnaden

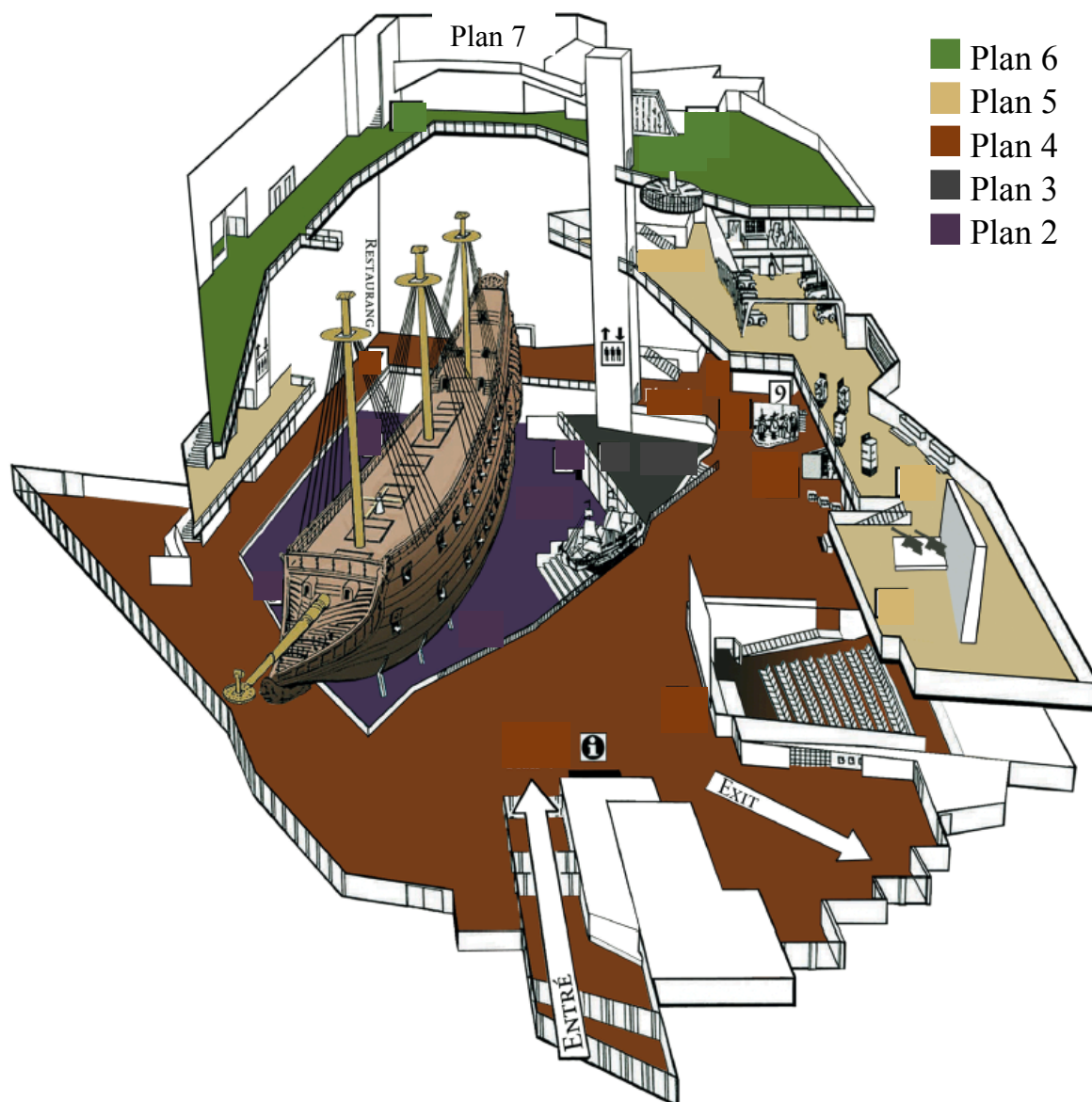
Vasamuseet är beläget på Galärvarvet på Djurgården i centrala Stockholm. Arkitekttävlingen med förstapris att få bygga Vasamuseet påbörjades 1981, vilken Hidemark Månsson Arkitektkontor AB (senare Månsson Dahlbäck Arkitektkontor AB) vann. År 1987 påbörjades byggnationen och den 15:e juni 1990 ägde den officiella invigningen rum (Arvidsson, 2008). Tillbyggnation av museet påbörjades år 2011 med syfte att öka kapaciteten för att ta emot fler besökare. En utställningshall byggdes för tillfälliga utställningar och utformningen för entrén, utgången och museibutiken ändrades.

Utvändigt är byggnaden beklädd med paneler av koppar och limträ. Dessa är monterade på en byggnadsstomme av betong. Det utvändiga taket består av kopparplåt. De publika delarna inuti museet har väggar av obehandlad betong samt golv som till största del består av gatsten och kalksten (Arvidsson, 2008). Övrig golvyta består av trä och hittas framförallt vid utställningarna på skeppets vänstra sida och på hela plan 2. Innertaket högst upp i skeppshallen består av betong och innertaken på de olika våningsplanen består av obrännbar träullit (Karlsson P. , Frågor vid platsbesök, 2018).

Byggnaden har totalt tolv våningsplan och består i huvudsak av två delar; skeppshall respektive kontor- och verkstadsdel. Publik yta omfattas av skeppshallen som sträcker sig från våningsplan 2 till våningsplan 7. Resterande våningsplan innefattar källare respektive takplan. Skeppshallen är utformat likt ett atrium så att skeppet är synligt från nästintill alla delar av hallen, se skiss i Figur 2. Trappor och två hissar förbinder skeppshallens våningsplan.

På plan 2 finns skeppets vagga och längs med skeppets vänstra sida finns en mindre utställning samt *Vasas* Storbåt som var tänkt att användas som förbindelse till land och andra skepp. Framför skeppet på plan 2 finns ett mindre laboratorium där besökarna kan se anställda arbeta med vrakdelar som hittats på havsbotten. Plan 3 är utformat likt en större balkong och utgörs huvudsakligen av åskådarpåls. Planet sträcker sig endast längs med skeppets vänstra sida.

Entréplanet för besökarna ligger på plan 4 och det är den våning som museets informationsdisk är belägen på. Informationsdisken är placerad mellan museets entré och utgång. Längs med skeppets vänstersida på plan 4 finns flera utställningar och även två filmsalar, en större och en mindre. Dessutom finns en restaurang belägen på detta plan. På plan 5 finns ytterligare utställningar och föremål. Plan 6 och plan 7 består huvudsakligen av åskådarpåls.



Figur 2. Skeppshallen i genomskärning (Statens Maritima Museer, 2018).

2.2 Verksamhet

Samtliga utställningar i museet är på något sätt relaterade till Vasaskeppet och huvudutställningen är skeppet självt. Skeppet byggdes på 1600-talet och sjönk på sin jungfruresa. I mitten på 1900-talet påbörjades bärgningen av skeppet, vilken skedde i flera etapper. Efter bärgningen genomfördes under flertalet år ett restaureringsarbete av skeppet och en del av detta arbete var att låta skeppet torka. För att förhindra krympning och sprickbildning i träet när skeppet torkades konserverades det genom besprutning med polyetylenglykol, PEG. År 1990 flyttades Vasaskeppet in i det då nybyggda Vasamuseet (Statens Maritima Museer, 2018).

Museet har möjlighet att ta emot 2000 samtidiga besökare, vilket ofta är fallet under högsäsong (sommarmånaderna). Besöken är ofta korta och en del är guidade turistturer vilket medför att besökarna kan ha varierande nationalitet. Det årliga besöksantalet är runt 1,2 miljoner (Karlsson P. , Presentation vid platsbesök, 2018). Normala öppettider under lågsäsong är 10:00-17:00 och under högsäsong 8:30–18:00.

Besökarnas fördelning över de olika planen vid maximalt besöksantal förväntas se ut som i Tabell 1. Dessa värden kommer från tidigare utrymningsanalyser av byggnaden (Norén & Möller, 2010).

Tabell 1. Fördelning av personantal på varje våningsplan.

Plan	Personantal
Plan 2	400
Plan 3	80
Plan 4	1000
Plan 5	240
Plan 6	220
Plan 7	60
Totalt	2000

2.3 Ventilation

För att skeppet ska bevaras finns fyra klimatsystem som ska upprätthålla konstant klimat i skeppshallen. Temperaturen ska ligga mellan 17 och 20°C och luftfuktigheten på ungefär 55 %. Nere i vaggan finns sex stycken tilluftsdon som förser skeppets skrov med tempererad luft som med hög hastighet bildar en luftrida mellan besökare och skepp. Liknande system finns monterat i räcket på plan 4 och plan 6 för att förhindra att fukt och koldioxid från besökare når skeppet. Längs med väggen på skeppets bakre del finns ytterligare tilluftsdon monterade. Temperatur och luftfuktighet regleras av ett centralt cirkulationsaggregat med ett fyrtiotal mätstationer som är utplacerade runt om i museet (Arvidsson, 2008). Klimatsystemet är kopplat till en reservkraftgenerator (Storstockholms Brandförsvär, 2007).

Utöver klimatsystemet är skeppshallen försett med en luftbehandlingsinstallation. Luftbehandlingsinstallationen är av typen mekanisk till-och frånluftsventilation. Vid detektion av brand inom byggnaden och vid brandgaser utifrån stoppas ventilationen helt. Avstängningen sker vid aktivering av detektor eller manuellt. För att skydda mot brandspridning via ventilationssystemet är kanalerna isolerade vid bruten brandcellsgräns och tätade med brandskyddsmassa. Ventilationssystemet är försett med brandspjäll och brandgasspjäll av klass EI60 vid brandcellgränser. Dessa stänger vid spänningsbortfall och/eller stoppad fläkt (Fridström, 2013).

3 Lagstiftning och Boverkets byggregler

Det finns lagar och regler som styr bestämmelser för aktuell byggnad och verksamhet. *Boverkets byggregler*, BBR, reglerar hur nya byggnader ska byggas och i viss mån även hur ändringar (omfattar exempelvis ombyggnationer och tillbyggnationer) i befintliga byggnader ska genomföras (BFS, 2017:5).

Lagen om skydd mot olyckor, LSO, ställer exempelvis krav på att det i en byggnad ska finnas, i skäligen omfattning, tillgänglig släckutrustning eller utrustning för livräddning. Nödvändiga åtgärder ska genomföras för att förebygga brand och förhindra/begränsa skador på grund av brand. Dessa krav åligger ägaren eller nyttjanderättshavaren att uppfylla (SFS, 2003:778). Regler för detta återfinns i BBR.

LSO ställer även krav på kontroll och dokumentation av brandskyddet i byggnader vilket säkerställs genom det så kallade *systematiska brandskyddsarbetet*, SBA. Allmänna råd för hur SBA ska genomföras presenteras av *Myndigheten för samhällsskydd och beredskap*, MSB (tidigare Statens Räddningsverk). I de allmänna råden skrivs att både förebyggande åtgärder och åtgärder vid händelse av brand bör ingå i arbetet. Det är även brandskyddets helhet som bör bedömas, inte enskilda åtgärder. Tillsyn av SBA ska hanteras av kommunen (SRVFS, 2004:3).

Den dokumentation som upprättas bör innehålla en beskrivning av hela byggnaden, alla brandskyddslösningar, verksamheten samt organisationen kring brandskyddsarbetet. Det framhävs dock att dokumentationen endast är ett hjälpmedel för att styra det faktiska brandskyddsarbetet. Ett behov av skriftlig dokumentation av SBA finns bland annat för byggnader där stora personalantal kan förväntas vistas, enligt de allmänna råden (SRVFS, 2004:3).

Nedan presenteras de regler som gäller enligt BBR eller rekommenderas av dess allmänna råd och som är väsentliga för byggnaden (BFS, 2017:5). Rapporten berör främst regler om utrymningssituationer och system som är relaterade till den delen av brandskyddet eftersom dessa är mest väsentliga med avseende på skyddsmålet. I analysen används i skrivande tid gällande regelverk och inte de regelverk som gällde då museet byggdes.

3.1 Verksamhets- och byggnadsklass

I enlighet med BBR bör skeppshallen i Vasamuseet tillhöra verksamhetsklass 2B. Vk2B omfattar samlingslokaler där personer som inte kan antas ha god lokalkännedom vistas. Däremot förväntas att personerna i lokalerna är vakna och att varje person ska kunna sätta sig själv i säkerhet vid händelse av brand. I en lokal i Vk2B får det vistas fler än 150 personer. Eftersom bygganden består av fler än tre våningsplan bör den klassificeras enligt byggnadsklass Br1. Nedan följer de regler som gäller med avseende på byggnads- och verksamhetsklassen.

3.2 Förenklad dimensionering

I Vasamuseet finns ett antal system installerade som inte är ett generellt krav enligt BBR, men dessa ska finnas om de är en förutsättning för att brandskyddet i sin helhet blir tillfredsställande. Sådana system är automatiskt detektionssystem, utrymningslarm, automatiska släcksystem och brandgasventilation. För samtliga system gäller att de ska ha en hög tillförlitlighet, att de ska aktiveras tillräckligt snabbt och ha sådan kapacitet att dess funktion uppfylls. Systemens funktion ska även säkerställas vid eventuellt strömavbrott. För det automatiska detektionssystemet anges i det allmänna rådet att rökdetektorer bör användas där detta är möjligt.

I samlingslokaler i Vk2B bör utrymningslarm finnas enligt allmänt råd. Det anges också att det bör finnas talat utrymningslarm för att initiera snabb utrymning. Utrymningslarmet ska utformas så att personerna som vistas i byggnaden får information utefter deras behov. Om akustiskt larm används ska detta kunna uppfattas i de delar av bygganden som larmet täcker.

Enligt det allmänna rådet ska utrymningslarmet aktiveras direkt efter aktivering av larmknapp eller detektor. Det säger även att ljudnivån för utrymningslarmet ska vara anpassad till övrig ljudnivå i lokalen. Om talat utrymningslarm finns installerat ska meddelandet och ljudnivån verifieras och det ska föregås av en tydlig ljudsignal. Meddelandet ska vara anpassat till den aktuella verksamheten och ge information om situationen. I det allmänna rådet ges förslag på meddelande som sägs både på svenska och på engelska.

Enligt BBR ska byggnaders utformning ge möjlighet till tillfredsställande utrymning. Utrymning ska kunna ske till en säker plats och en utrymningsväg ska leda till en sådan. Det kan även finnas så kallade utrymningsplatser där personer med nedsatt rörelse och orienteringsförmåga kan uppehålla sig i väntan på hjälp för vidare utrymning. Utrymningsplatserna ska finnas i en angränsande brandcell relativt den brandcell där branden finns eller vara en del av utrymningsvägen. Från utrymningsplatsen ska det finnas möjlighet att kommunicera. Det gäller dock att publika lokaler som är försedda med automatiskt släcksystem inte behöver ha någon utrymningsplats.

Utrymningsvägen kan enligt det allmänna rådet nås genom en intilliggande brandcell. Det allmänna rådet anger att maximalt gångavstånd till utrymningsväg för lokaler i Vk2B är 30 meter. Finns automatiskt släcksystem kan avståndet utökas med en tredjedel. Om fler än 150 personer förväntas använda en utrymningsväg ska denna vara minst 1,20 meter bred. Är lokaler i Vk2B avsedda för mer än 1000 personer bör de ha minst fyra utrymningsvägar. Dörrar i utrymningsvägarna ska enligt BBR vara utåtgående i utrymningsriktningen (inåtgående om köbildning framför dörren kan undvikas) och dessutom ska de lätt kunna identifieras som utgångar.

I BBR anges att vägledande markeringar för utrymningsväg ska finnas i sådana utrymmen som är svårorienterade. Samlingslokaler ska vara försedda med vägledande markering. Skyltarna ska finnas vid de dörrar som används som utrymningsväg och det ställs krav på att belysning av skyltar ska ha säkerställd strömförsörjning. Skyltarna ska vara gröna skivor med vita symboler och de ska vara lätta att uppmärksamma. Enligt det allmänna rådet bör det finnas skyltar där en riktningförändring eller förgrening sker.

4 Befintligt brandskydd

I detta avsnitt presenteras de faktiska brandskyddssystemen i byggnaden och brandskyddsarbetet i verksamheten. Skeppshallen är en enda brandcell och enligt tidigare definierad avgränsning kommer enbart denna att behandlas i analysen. Vad gäller utrymning antas att personer har utrymt säkert då de lämnat brandcellen.

4.1 Detektions- och larmsystem

I byggnaden finns ett heltäckande automatiskt detektionssystem i form av rök-, värme- och linjerökdetektorer. Rök- och värmedetektorer finns på varje våningsplan och linjerökdetektorer finns i taknivå samt intill Vasaskeppet på plan 3. Utöver detta finns även ett antal manuella larmknappar fördelade över hela byggnaden. Larmknapparna är generellt sett placerade i anslutning till utrymningsvägar. Två centralapparater är kopplade till detektionssystemet, en vid personalentrén och en vid den publika entrén. Systemet är direktkopplat till räddningstjänsten (Karlsson P. , Presentation vid platsbesök, 2018).

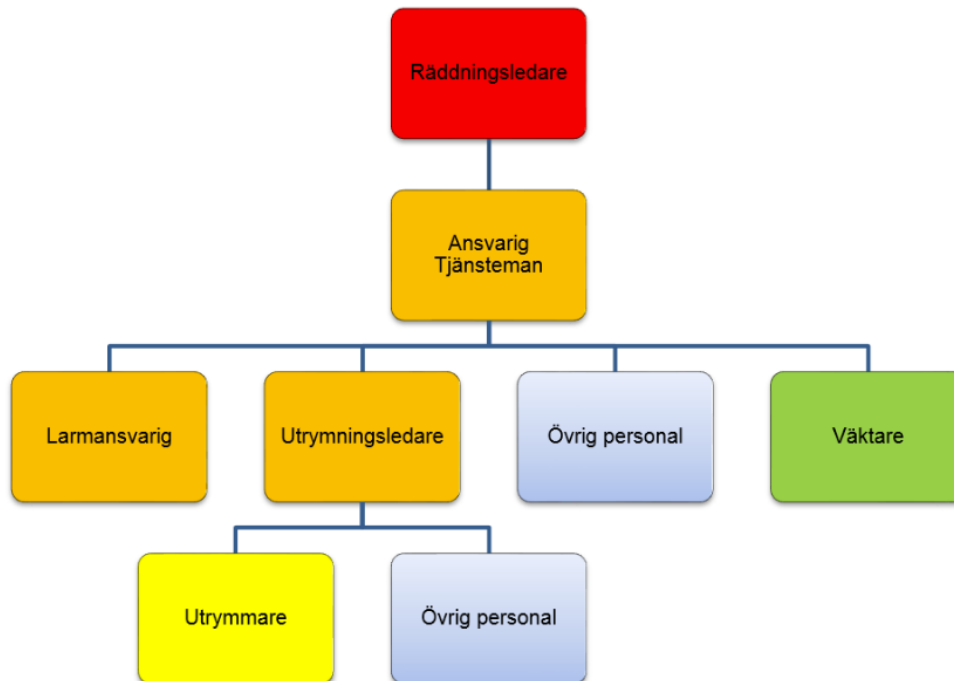
Utrymningslarmet utgörs av sirener och ett automatiskt talat meddelande vilket även kan talas manuellt i högtalarsystemet (manus finns) om det skulle uppstå problem med det förinspelade. Genom utplacerade mikrofoner som mäter ljudnivån i skeppshallen kan ljudnivån på utrymningsmeddelandet anpassas efter ljudnivån i byggnaden. Utrymningsmeddelandet ges först på engelska och sedan på svenska. För att komplettera utrymningsmeddelandet används blyxtlampor. Systemet är försett med brandsäkra kablar för att säkerställa funktionen vid brand (Karlsson P. , Presentation vid platsbesök, 2018).

Larmsystemet är uppdelat i två etapper beroende på hur många detektorer som aktiveras. Om en detektor eller en larmknapp i skeppshallen aktiveras så startas sirenerna och ett talat varningsmeddelande ljuder i skeppshallen. Detta initierar även vidare utredning om orsaken till detektion för ansvarig personal. Vid eventuell upptäckt av brand ges order om att starta utrymningslarmet.

Sirener och det talade utrymningsmeddelandet startas direkt om antingen två eller fler detektorer, larmknappen vid informationsdisken eller sprinkleranläggningen aktiveras. Larmet överförs direkt till räddningstjänsten, som då påbörjar utryckning oberoende av hur många detektorer som aktiveras eller vilken larmknapp som används (Karlsson P. , Presentation vid platsbesök, 2018). Manus för samtliga talade utrymningsmeddelanden återfinns i Bilaga 4.

4.2 Utrymningsorganisation

Utrymningsorganisationen på museet är uppbyggd enligt Figur 3. Museets interna utrymningsorganisation bygger framförallt på följande tre poster: *ansvarig tjänsteman*, *larmansvarig* och *utrymningsledare*. Eftersom utrymningen är uppdelad i två etapper, baserat på om en eller två detektorer aktiveras, erhålls olika uppgifter för dessa personer vid respektive fall (Karlsson P. , Presentation vid platsbesök, 2018).



Figur 3. Schematisk bild över museets utrymningsorganisation (Karlsson P. , Presentation vid platsbesök, 2018).

Den ansvarige tjänstemannen har, oavsett typ av larm, ansvar för att hålla kontakt med SOS och är den person som har kontakt med räddningstjänstens räddningsledare. Det är även den ansvarige tjänstemannen som har högst beslutande roll i den interna utrymningsorganisationen (Karlsson P. , Presentation vid platsbesök, 2018).

Om en detektor aktiveras är det den larmansvarige som ansvarar för att identifiera detektorn och kontrollera varför denna aktiverats, identifiera eventuell brand och om möjligt släcka branden. Den larmansvarige har även i uppgift att möta upp och vägleda räddningstjänsten till branden. Om två eller fler detektorer aktiveras ska larmansvarig person möta upp räddningstjänsten direkt (Karlsson P. , Presentation vid platsbesök, 2018).

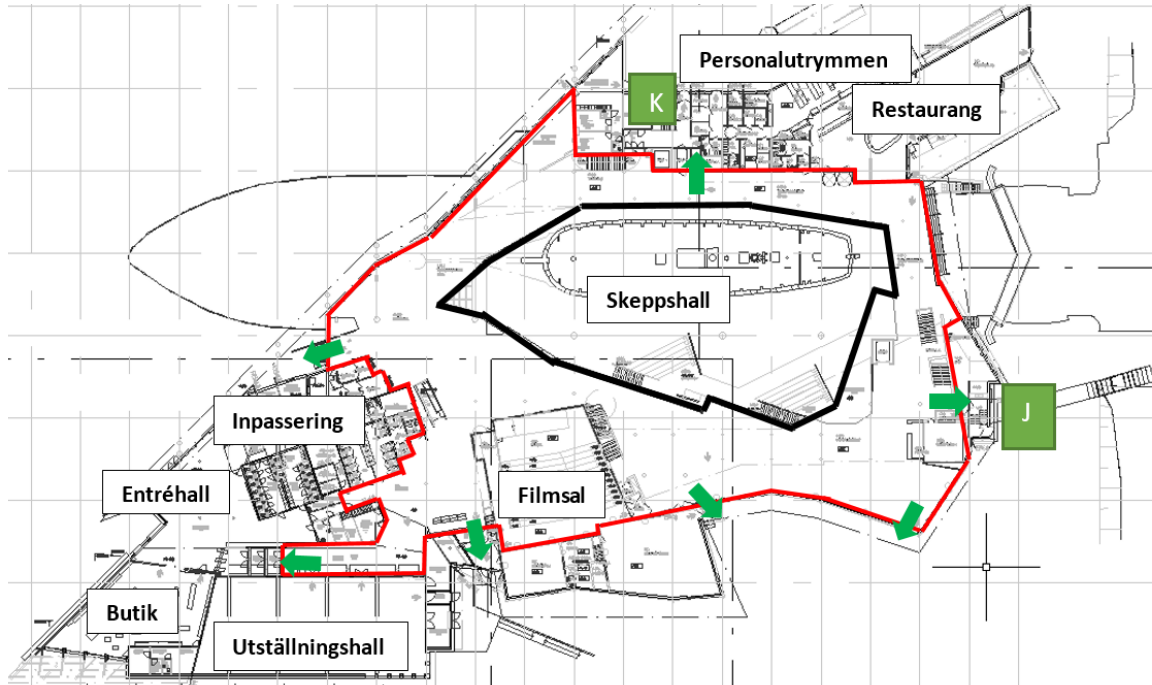
Den som ansvarar för att organisera utrymningen är utrymningsledaren. Denne ska även leda inräkning av besökare. Vid larm möter utrymningsledaren upp de så kallade utrymmarna vid informationsdisken och tilldelar dessa ficklampor samt utrymningskort som visar vilka områden respektive utrymmare ska genomsöka. Om endast en detektor har aktiverats sker ingen utrymning vid denna tidpunkt.

Om två eller fler detektorer har aktiverats eller om brand har upptäckts startar utrymningen genom aktivering av utrymningsmeddelandet i de publika delarna. Utrymmarna genomsöker då respektive anvisad del av byggnaden för att säkerställa att alla har utrymt. Norr om museets huvudentré finns en bussparkering som utgör återsamlingsplats vid utrymning. Där rapporterar utrymmarna till utrymningsledaren efter att de har genomsökt sina respektive områden i byggnaden (Karlsson P. , Presentation vid platsbesök, 2018).

Skulle det visa sig att det är ett falsklarm meddelas besökarna detta via talat meddelande på både engelska och svenska. Utrymmarna lämnar tillbaka utrymningskortet och museets guider återupptar sina turer. Vid detektion av brand under en tid på dygnet då museet har stängt kopplas SOS in direkt och kontaktman larmas (Karlsson P. , Presentation vid platsbesök, 2018).

4.3 Utrymningsvägar

Utrymning till det fria sker från plan 4 och utrymningsvägar för detta illustreras i Figur 4. Utrymning från övriga plan sker via plan 4 eller via trapphus K och J. Utrymningsvägar för samtliga plan presenteras i Bilaga 1.



Figur 4. Utrymningsvägar plan 4.

Vid majoriteten av utrymningsvägarna finns belysta utrymningsskyltar likt den i Figur 5. Skyltar finns också placerade på lämpliga platser i skeppshallen för vägledning till utrymningsväg. Dörrarna är försedda med en lättmanövrerad tryckanordning som gör dessa lättare att öppna.



Figur 5. Nödutgång till trapphus K mot personalutrymmet.

I Figur 6 visas hur skyltningen till huvudutgången ser ut.



Figur 6. Skyltning mot huvudutgången.

Rörande utrymningsmöjligheter för funktionshindrade finns vägledande markeringar vid utrymningsvägarna som leder direkt ut till det fria på plan 4 (markplan). Trapphus J och K i byggnaden är tillräckligt stora för att minst en rullstol ska få plats i väntan på assisterad utrymning.

Ett av dessa trapphus är beläget inne i personalutrymmet och det andra trapphuset ligger i skeppshallen, mellan våningsplan 4 och plan 6. För att underlätta utrymning för funktionshindrade är utrymningslarmet kompletterat med blixtlampor (Fridström, 2013). Figur 5 ovan visar en nödutgång ut till trapphus K vilken är speciellt ämnad för rullstolsburna.

Vid en utrymning kommer alla hissar att stanna på plan 4 och tas ur drift. Därmed finns ingen möjlighet att använda hissar vid utrymning som funktionshindrad. Detta betyder att armkraft eller hjälp från andra är enda utrymningsmöjligheterna för en funktionshindrad person som befinner sig på plan 2, plan 3 och plan 7. Befinner sig personen på våningsplan 5 eller plan 6 kan personen vänta på assisterad utrymning i avsett trapphus (Karlsson P. , Frågor vid platsbesök, 2018).

I Figur 7 visas hur utrymningsvägarna ser ut från utsidan. Vid platsbesök upptäcktes inga blockerande föremål eller andra försvårande omständigheter utanför utrymningsvägarna vilka skulle kunna påverka en utrymning.



Figur 7. Utsidan av utrymningsväg.

4.4 Sprinkler

I byggnaden finns två separata sprinklersystem. Båda dessa system är kopplade till larmsystemet och vid sprinkleraktivering aktiveras det talade utrymningslarmet direkt. För samtliga sprinklerhuvuden gäller en aktiveringstemperatur på 68 °C, men bulbernas RTI-värde är olika på grund av varierande storlek.

Utvalda delar av skeppshallen är försedda med sprinkler. I huvudsak är dessa platser där människor förväntas röra sig vid utrymning och vissa utställningsrum. Sprinklercentralen, som förser skeppshallens sprinklersystem med vatten, är placerad på plan 3. Vattnet till sprinklersystemen tas från kommunala ledningar vilket gör att vattentillgången kan bli begränsad.

4.5 Släckutrustning

Brandsläckare finns utplacerade i hela skeppshallen och kontrolleras dagligen. Hur fördelningen ser ut för respektive plan presenteras i Tabell 2.

Tabell 2. Fördelning av släckutrustning.

	Brandsläckare	Brandpost
Plan 2	4	3
Plan 3	1	1
Plan 4	7	4
Plan 5	4	3
Plan 6	3	2
Plan 7	2	-

Hur släckutrustningen är markerad i byggnaden visas i Figur 8.



Figur 8. Skyltning av släckutrustning.

Utöver släckutrustningen i själva skeppshallen är varje däck på Vasaskeppet försett med en handbrandsläckare innehållande destillerat vatten, en handbrandsläckare innehållande koldioxid och en brandfilt.

4.6 Brandgasventilation

I taket på skeppshallen finns brandgasventilation med en total kapacitet på 40 m³/s, vilket motsvarar 144 000 m³/h. Tilluft sker via in- och utlastningsport samt en lucka som har en total area på 8 m². Brandgasventilationens fläktar aktiveras då två detektorer har aktiverats eller då sprinkler utlöses. Fläktarna kan även aktiveras manuellt med de larmtryckknappar som är placerade vid bemannade platser. Brandgasventilationens tilluftsöppningar öppnas vid samma stimuli som fläktarna. Brandgasventilationens kablage, motorer och ledningar till både dörrpartier och fläktar har ett brandmotstånd på 30 minuter (Fridström, 2013).

4.7 Rökgasluckor

Det finns elva rökgasluckor i skeppshallens högsta takdel, vilka öppnas manuellt. För att öppna dessa måste ytterluckorna öppnas först, vilket görs via en taklucka i ett av personalutrymmets trapphus eller via yttertaket. Innanför ytterluckorna finns lös isolering som plockas bort och därefter lösgörs innerluckan genom att vrida på det handtag som håller luckan uppe. Sista steget är att sänka ner innerluckorna (Storstockholms Brandförsvär, 2007).

4.8 Räddningstjänst

Som tidigare nämnt är det automatiska detektionssystemet direktkopplat till räddningstjänsten och de påbörjar utryckning så fort det finns en indikation om brand. Det är i första hand Östermalms brandstation som gör utryckningar till Vasamuseet. I händelse av att styrkan från denna station inte är tillgänglig är det istället Lidingö brandstation som rycker ut (Karlsson P., Frågor vid platsbesök, 2018).

Enligt vägbeskrivning för ett vanligt fordon tar det cirka sex minuter från Östermalms brandstation till Vasamuseet och från Lidingö brandstation tar det cirka 15 minuter (Google Maps, 2018). Dessa tidsangivelser beror på den aktuella tidssituationen och kan vara både kortare och längre.

4.9 Utbildning

Samtlig personal som arbetar i frontlinjen, det vill säga alla värdar, får genomgå en tre timmar lång utbildning innehållande brandteori, praktisk släckövning samt utrymningsorganisation.

Det finns även ett utbildningshäfte att tillgå som innehåller bland annat brandteori, första hjälpen och utrymningsteori. Detta häfte, som beskriver i både ord och bild, tillhandahålls som repetition från frontlinjens utbildning samt delas ut till de som inte hade möjlighet att närvara vid utbildningstillfället. Dessa värdar förväntas då att på egen hand läsa på om brand och utrymning.

Vasamuseets utställningstekniker har Heta Arbeten-certifikat vilka de behöver uppdatera under två arbetsdagar var femte år.

4.10 Övningar

Övningar med Vasamuseets personal genomförs två gånger per år, under låg- respektive högsäsong. Då delas rollkort ut med egenskaper den agerande personen ska ha, t.ex. orolig förälder, för att testa organisationens stresstålighet.

Det genomförs en orienteringsövning vartannat år med Räddningstjänsten. Varje år har räddningstjänsten en rökdykningsövning på S:t Erik, en intilliggande sjösatt gammal isbrytare, där de då övar sin orienteringsförmåga i skeppsmiljö.

4.11 Utanför öppettiderna

Under tider som museet inte håller öppet är skeppshallen i princip helt strömlös. Nödbelysningen är den enda installation som är strömförsörjd under dessa tider (Karlsson P. , Frågor vid platsbesök, 2018). Vid strömbortfall ger nödbelysningen avsedd ljusstyrka i 60 minuter (Fridström, 2013).

4.12 SBA

Vasamuseet arbetar regelbundet med systematiskt brandskyddsarbete (SBA). Detta innefattar policy, beskrivning av arbete och organisation, utrymningsplan, kontrollplaner, brandskyddsregler samt drift- och underhållsbeskrivningar. Det råder delat ansvar mellan fastighetsägaren och verksamheten, alltså museet, och dessa aktörer tar gemensamt fram rutiner för SBA. Uppföljning av detta sker årligen (Karlsson P. , Presentation vid platsbesök, 2018).

Säkerhetsorganisationen består av en säkerhetschef, en säkerhetsansvarig samt säkerhetskontrollanter (värdar och tekniker). I organisationsbeskrivningen redogörs det för vem som har vilken roll i verkligheten. Dagliga ronder genomförs där brandsläckare och nödbelysning kontrolleras och varje vecka kontrolleras sjukvårdsväskor och utrymningsutrustning. En gång i halvåret görs kontroller av brandgasventilationen (Karlsson P. , Presentation vid platsbesök, 2018).

Brandskyddsreglerna innefattar bland annat regler för utförande av heta arbeten, avfallshantering, rökning och levande ljus.

4.13 Tidigare incidenter

Statens Maritima Museer har haft väldigt få tidigare incidenter, den enda händelse som belyses är varmgång i bastu. På Vasamuseet specifikt har det dock inte uppmärksammats några större incidenter (Karlsson P. , Frågor vid platsbesök, 2018).

5 Teori

I det här avsnittet beskrivs teorierna bakom de simuleringsprogram som använts i analysen. Även teorier för de modeller som använts presenteras. Kopplat till teori om utrymning definieras de värden som i analysen har antagits vara kritiska för att utrymning ska kunna ske utan att skador uppstår.

5.1 FDS

Eftersom utrymmet för analysen, Skeppshallen, både har en stor volym och utgörs av relativt komplexa geometrier kommer *Fire Dynamics Simulator* (FDS) användas för att simulera de brandförlopp som bestäms som dimensionerande. FDS är en CFD-modell (computational fluid dynamics) som numeriskt löser en form av de så kallade Navier-Stokes ekvationerna. Ekvationerna har sin utgångspunkt i att massa, rörelsemängd och energi bevaras och beräkningar kan utifrån detta göras i specifika kontrollvolym. FDS är speciellt avsett för att simulera termiskt drivna flöden med låg hastighet där tonvikten ligger på rök- och värmetransport vid bränder (McGrattan, o.a., 2014).

Vårt att observera är att vanliga bränder är situationer som ger upphov till flöden av fluider med låga hastigheter. Explosion är ett exempel på en situation där flöden med höga hastigheter uppstår.

Som ovan nämnt görs beräkningar för flöde och värmetransport i kontrollvolym, vilket i FDS innebär att beräkningsutrymmet delas upp genom rutnät, grid, där mindre celler bildas. Programmet utför beräkningar för varje enskild cell (kontrollvolym). Beroende av cellstorlek varierar beräkningstiden och ju mindre celler desto längre blir beräkningstiden. Det krävs dock en viss upplösning av griden för att resultatet ska kunna anses vara realistiskt. Hur detta säkerställs beskrivs i Bilaga 6.

Viktigt vid användning av FDS är att kontrollera att de önskade värden för effektutveckling, flöden, hastigheter och liknande överensstämmer med resultaten från simuleringen (BIV, 2013).

Vid simulering med FDS blir konstruktionerna helt täta gentemot omgivningen, vilket kan skapa problem med tryckupbyggnader som inte finns i verkligheten på grund av naturliga läckage. Detta kan ibland behöva hanteras genom att ange öppningar i simuleringsmodellen. Skulle det simulerade scenariot innefatta en dörr eller liknande som öppnas mot det fria i inledningen av scenariot behöver dock inte detta göras (BIV, 2013).

Användningen av FDS har validerats genom att resultat från simuleringar har jämförts med data från experiment. Jämförelsen har visat att FDS ger reella resultat avseende det övre brandgaslagrets temperatur och höjd. Även utdata för syre- och koldioxidkoncentrationen överensstämmer väl med verkliga fall, under förutsättning att förbränningsreaktionen är känd. Utdata som korrelerar mindre bra med verkligheten och som bör kontrolleras mer noggrant av användaren är främst temperaturen i brandplymen, flamhöjden, sotkoncentrationen, värmestrålning på mottagande objekt och värmefflöde i väggar (Nystedt & Frantzich, 2011).

För att visualisera resultatet av simuleringen används programmet Smokeview.

5.2 Utrymningsteori

Brandskyddet i byggnader ska vara dimensionerat för att personer i byggnaden ska kunna utrymma säkert om en brand inträffar. Den tid som krävs för att utrymma (*RSET – Required Safe Egress Time*) ska understiga den tid det tar att uppnå kritiska förhållanden (*ASET – Available Safe Egress Time*) för att säker utrymning ska kunna ske. De kritiska förhållanden som kan uppstå beror framförallt av exponering av toxiska gaser, höga temperaturer, dålig sikt och strålning från branden.

Museibesökare kommer ofta i grupper och rör sig ofta enligt grupperingar inne på museet. Detta gäller både grupper i form av familjer och vänner men även större grupper som under guide turer. I utrymningssituationer tenderar människor att dras mot bekanta personer och bekanta platser (Sime, 1985). Vid en utrymning av museet talar detta för att besökarna kommer att röra sig i grupper och att de flesta kommer söka sig mot entrén vid en utrymning. Att alla besökare skulle använda sig av den mest optimala utrymningsvägen vid utrymning är alltså inte troligt.

Det finns vissa faktorer som visat sig leda till att personer i större utsträckning använder sig av mindre kända utrymningsvägar vid utrymning i mer eller mindre okända miljöer. En faktor är hur dörren är placerad i förhållande till personernas rörelseriktning. En dörr som är placerad direkt i blickfånget för en person i rörelse upptäcks lättare än om dörren är placerad längs med den riktning som personen rör sig. En annan faktor är om det är möjligt att se ut till det fria genom utrymningsvägen. Även detta leder till att personer har en större benägenhet att använda utrymningsvägen (Frantzich, 2000).

En utrymning kan delas in i tre olika delar vilka kallas varseblivningstid, förberedelsestid samt förflyttningstid (Frantzich, 2000). Dessa är viktiga att definiera på rätt sätt vid simulering av en utrymning för att få ett resultat som speglar verkligheten i så stor utsträckning som möjligt.

Varseblivningstiden är den tid det tar att bli medveten om att det är en brand i byggnaden. För denna tid bör det dels tas hänsyn till det inspelade meddelandets längd men också till att det faktiskt tar tid innan branden detekteras och således larmet börjar ljuda.

Förberedelsestiden är den tid från att en person blivit medveten om att det brinner fram till att samma person påbörjar sin utrymning. Denna förberedelse handlar oftast om beslutsfattande, alltså att bestämma sig för att utrymma. Beslutsfattandet i sig påverkas av många sociala faktorer och denna tid kan därför vara svår att uppskatta.

En teori som hanterar människors beteende innan beslut om utrymning tas är teorin om beteendesequenser (*Behaviour Sequences*). Teorin är baserad på studier där personer som varit delaktiga i bränder intervjuades. Utifrån intervjuerna kunde mönster i beteende ses och en generaliserad modell för detta presenterades. Utgångspunkten för modellen, och därmed personernas beteende, är *mottagandet av information* om att någonting har hänt (Canter, Breaux, & Sime, 1980).

Beroende på informationen, som kan utgöras av exempelvis ett larm eller att en brand ses, och hur tydlig denna är varierar människans beteende. I det inledande steget tenderar personer att antingen ignorera informationen (om den är otydlig) eller söka efter mer information (Canter, Breaux, & Sime, 1980). Kopplat till utrymningstiden i Vasamuseet kan alltså förberedelsestiden bero av den information som personer får gällande branden. För tester med talade

utrymningsmeddelanden har det visats att om orsaken för utrymningen meddelas leder detta till snabbare respons och därmed kortare utrymningstid (Proulx & Sime, 1991).

Vid riskvärderingar kan kortare besluts- och reaktionstider övervägas att användas vid verksamheter vars personal är både väl utbildade och övade (Frantzich, 2000). Som tidigare beskrivits, finns det vid Vasamuseet en välstrukturerad utrymningsorganisation med utrymmare och därför antas förberedelsetiden här bli kortare än för en publik lokal där samma rutiner inte finns.

Förflyttningstiden är tiden från att en person börjar röra sig mot en utrymningsväg fram till dess att samma person passerat igenom denna. Eftersom denna tid främst handlar om personers rörelse brukar denna också vara den som är enklast att mäta och simulera.

För att säker utrymning ska kunna ske bör det finnas en tidsmässig säkerhetsmarginal från det att sista personen har utrymt till dess att kritiska förhållanden uppstår. Detta enligt Ekvation 1 nedan.

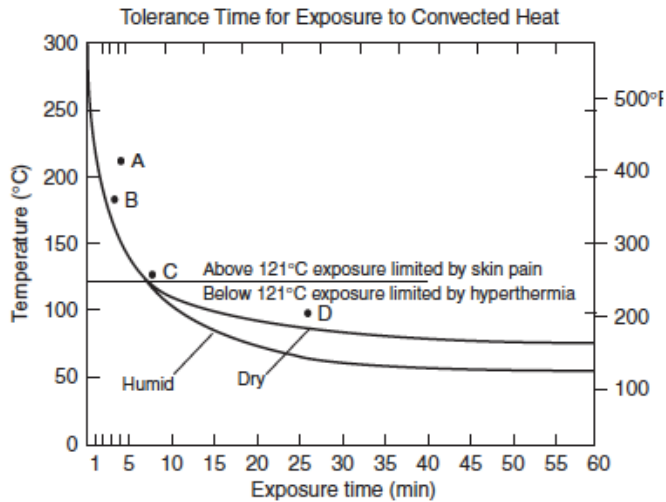
$$t_{\text{marginal}} = t_{\text{kritisk}} - t_{\text{varseblivning}} - t_{\text{förebereadelse}} - t_{\text{förflyttning}} \quad \text{Ekvation 1}$$

5.3 Kritiska förhållanden

En brand kan påverka personers förmåga att utrymma en byggnad eller ge skador på flertalet sätt. Påverkan kan ske genom direktkontakt med branden, genom att personer vistas i brandens närhet eller genom kontakt med brandgaser. Brandgaser kan påverka sikten vid utrymning men kan också leda till att personer utsätts för giftiga ämnen. Nedsatt sikt ökar inte bara utrymningstiden utan ökar även risken för att andas in större mängder giftiga gaser.

Värme kan påverka och skada kroppen på olika sätt. Konvektiv värmeöverföring, exempelvis kontakt med varma brandgaser, kan leda till att kroppstemperaturen höjs (hypotermi) eller ge brännskador. Värmeöverföring kan även ske via strålning från branden eller andra objekt och ge brännskador.

Det kritiska värdet för konvektiv värmeöverföring beror av luftfuktigheten, där högre fuktighet ger lägre kritiska värden. Värdet beror också av tiden, ju längre exponeringstid desto lägre kritiska exponeringstemperaturer (Purser D. , 2002). Detta illustreras i Figur 9. I den här analysen bestäms en maximal tillåten omgivande temperatur oberoende av tiden till 100 °C, vilken enligt figuren kan accepteras i upp till cirka tio minuter. Värdet antas eftersom skeppshallen har ganska hög luftfuktighet.

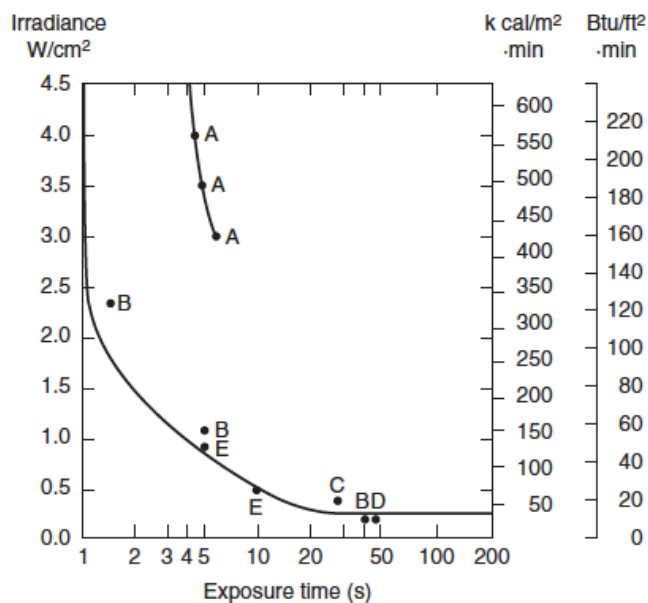


Figur 9. Kritiska nivåer vid exponering av konvektiv värme (Purser D. , 2002).

Kritiska värden för strålning beror av den tid som en person utsätts för strålningen. Vid kort exponering, ett fåtal sekunder, kan högre värden för strålningen accepteras än om exponeringstiden är längre (Purser D. , 2002). Detta illustreras i Figur 10. Kurvorna i figuren är baserade på data från flertalet källor och den undre kurvan används i den här analysen då flest värden överensstämmer med denna.

Figuren visar att den kritiska infallande strålningen är konstant $2,5 \text{ kW/m}^2$ ($= 0,25 \text{ W/cm}^2$) efter cirka 25 sekunder, vilket alltså antas till det kritiska värdet för långvarig exponering. Skulle exponeringstiden övergå fem minuter bör det dock beaktas att det kritiska värdet kan vara lägre än $2,5 \text{ kW/m}^2$ (Purser D. , 2002).

Vid en exponeringstid under 25 sekunder varierar den kritiska infallande värmeinstrålningen. Utifrån figuren sätts dock det kritiska värdet för kortvarig infallande strålning till 10 kW/m^2 ($= 1,0 \text{ W/cm}^2$). Denna strålningsnivå accepteras i fyra sekunder, vilket kan motsvaras av att en person passerar ett brinnande objekt.



Figur 10. Kritiska strålningsnivåer för att upplevd smärta i huden (Purser D. , 2002).

Gällande sikt vid utrymning har flertalet försök genomförts vilka visar att sikten har en stor påverkan på personers gånghastighet. Forskning har även visat att om sikten är under tre meter tenderar personer att inte fortsätta i den initiala utrymningsriktningen utan vänder om. För stora utrymmen med långa gångavstånd föreslås att sikten ska överstiga tio meter för att utrymning ska kunna ske tillfredställande (Purser D. , 2002). Värdet antas i den här analysen och anses utöver ovanstående motivering även rimligt då besökare i Vasamuseet inte kan antas ha god kännedom om omgivningen.

Kritiska värden för inandning av giftiga gaser kan bestämmas på olika sätt, antingen för specifika ämnen eller för kombinationer av ämnen. För inandning av kvävande gaser, såsom kolmonoxid (CO), koldioxid (CO₂), vätecyanid (HCN) i kombination med effekten av minskad syrehalt (O₂), kan kritiskt värde för FED (*Fractional Effective Dose*) bestämmas (Nystedt & Frantzych, 2011). Modellen tar hänsyn till den dos giftiga gaser som en person andas in. Detta innebär att de aktuella koncentrationerna av giftiga gaser inte behöver ge påverkan, utan mängden över ett visst tidsintervall.

Olika värden på FED har olika betydelse och de mest användbara vid analys av utrymningar är då FED = 0,3 och FED = 1,0. Dessa värden innebär att ungefär 10 % respektive 50 % av utsatta personer har blivit medvetlösa och alltså inte kan utrymma på egen hand (Nystedt & Frantzych, 2011). För att tillfredställande utrymning av Vasamuseet ska kunna ske kommer FED = 0,3 användas som kritiskt värde i den här analysen.

Vid bedömning av brandgasernas påverkan är det också viktigt att ta hänsyn till de enskilda giftiga ämnena i brandgaserna. Kolmonoxid och koldioxid produceras alltid vid förbränning och vid ett för stort intag av dessa kan leda till medvetlöshet eller dödsfall. Även för låg syrehalt kan leda till detta. Mängden koldioxid i den omgivande luften styr också andningsfrekvensen vilket gör att höga halter av CO₂ ökar intaget av andra giftiga ämnen.

Understiger syrehalten 15 % och koldioxidhalten överstiger 5 % kommer detta i analysen anses vara kritiskt. Då dessa halter uppstår kan en kvävande effekt förekomma (Purser D. , 2002). Kolmoxidhalten ska inte överstiga 2000 ppm (Nystedt & Frantzych, 2011).

För platser där det saknas mätningar för sikten tas hänsyn till rökgaslagrets höjd över golvet. Denna ska inte understiga 2,0 meter och valet görs eftersom majoriteten av alla besökare på Vasamuseet ska kunna utrymma upprätt. Om det finns uppmätta värden för sikt anses dock dessa ha högre prioritet och är bestämmande för de kritiska förhållandena. Detta innebär att utrymning genom rök anses möjligt så länge sikt och värden för toxicitet är över respektive under de kritiska nivåerna.

I Tabell 3 presenteras en sammanställning av de kritiska värden som presenterats ovan.

Tabell 3. Kritiska förhållanden.

Parameter	Kritiskt förhållande
Brandgaslagrets nivå ovan golv	< 2,0 m
Sikt	< 10,0 m
Långvarig värmestrålning (> 25 sekunder)	> 2,5 kW/m ²
Kortvarig värmestrålning (< 4 sekunder)	> 10 kW/m ²
Temperatur	> 100 °C
FED	> 0,3
CO	> 2000 ppm
CO ₂	> 5 %
O ₂	< 15 %

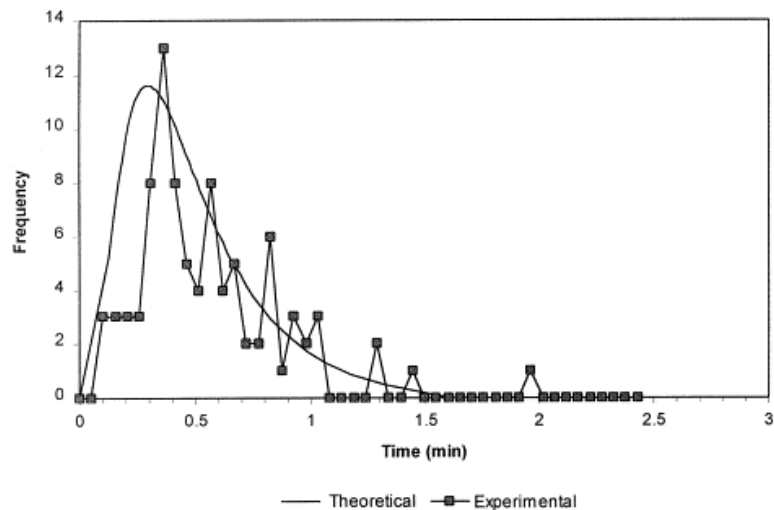
5.4 Pathfinder

För att göra utrymningssimuleringar används Pathfinder, då programmet använder sig av en kontinuerlig modell. Detta innebär att verkliga geometrier inte behöver anpassas i modellen och att de simulerade utrymningsagenterna styrs via ett koordinatsystem. Programmet simulerar en utrymning utifrån vilka parametrar användaren matar in och tiden det tar att utrymma erhålls. Dock kan dessa resultat inte användas rakt av utan måste undersökas och utvärderas vidare. Programmet kan till exempel ge fel slutsatser på grund av felaktig inmatning av användaren eller brist på exakta förutsägelser av modellen.

Geometrin i Vasamuseet är relativt komplex eftersom alla våningsplan skiljer sig markant från varandra. Enligt *Society of Fire Protection Engineers*, SFPE, blir förflyttningstiden längre om geometrin är svår vilket kan göra att det tar längre tid att utrymma i verkligheten än vad programmet förutspår (SFPE, 2002). Mer information om programmet och dess indata finns i Bilaga 4.

5.5 Fördelningar och @Risk

I denna rapport kommer lognormal- och uniformfördelningar att användas. Lognormalfördelningar är positivt förskjutna, inte symmetriska som en normalfördelning och används för att representera värden som inte understiger noll och som är oändligt positiva (Palisade, 2018). Flera studier har visat att lognormalfördelningar kan vara rimliga att använda för beräkning av förberedelsetid i många scenarion (Ronchi & Nilsson, 2016). Figur 11 visar en jämförelse av teoretisk lognormalfördelning och resultat från ett utrymningsexperiment i en galleria (Purser & Bensilum, 2001).



Figur 11. Jämförelse av förberedelsestid (Purser & Bensilum, 2001).

Uniformfördelningar används då olika värden antas vara lika sannolika. I en sådan fördelning anges ett största och ett minsta värde mellan vilka alla värden antas vara lika sannolika (Palisade, 2018).

För att avgöra hur säkerhetsmarginalen kan variera, på grund av osäkerheter i indata, kan känslighetsanalys göras i programmet @Risk. I programmet körs Monte Carlo-simuleringar där sannolikhetsfördelningar används för alla de variabler som har en inneboende osäkerhet. I simuleringarna görs ett antal beräkningar, iterationer, där samma beräkning görs om och om igen med slumpmässigt varierande värden på variablerna (Palisade, 2018).

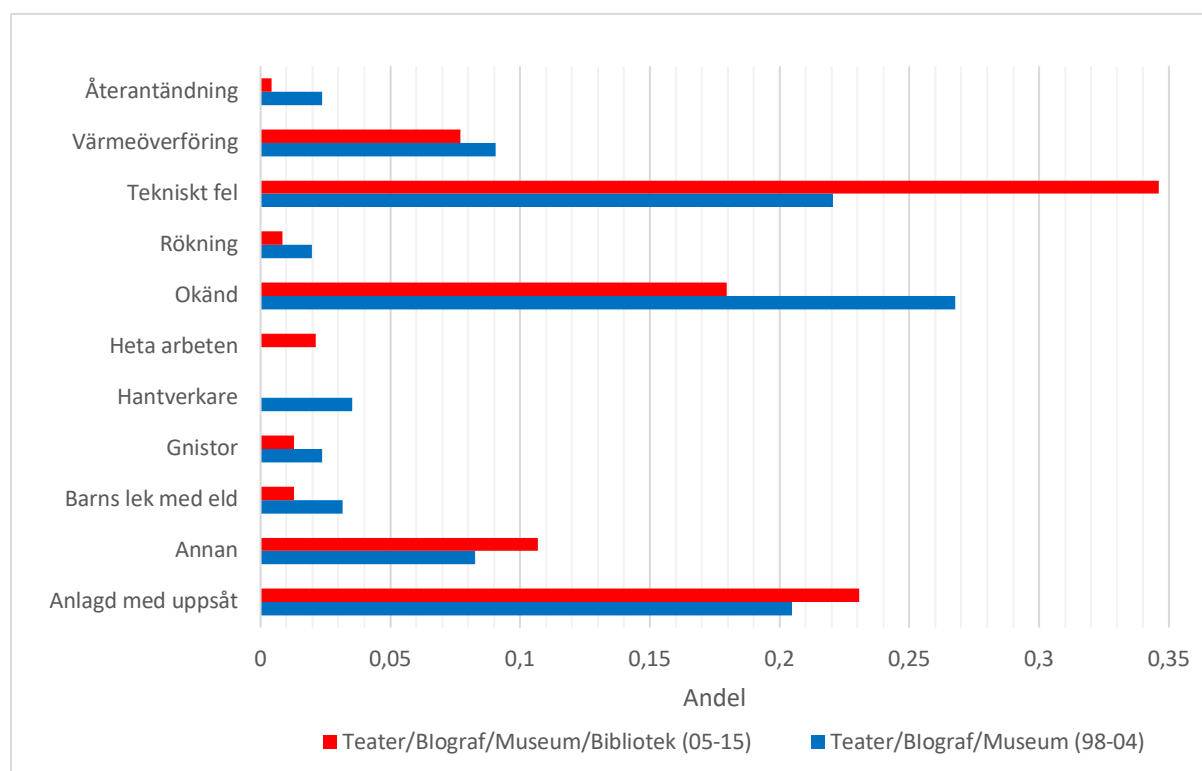
6 Riskanalys

Det finns många risker som kan påverka en säker utrymning och därför görs här en riskanalys för att identifiera de som förväntas påverka personsäkerheten mest i händelse av brand i Skeppshallen (Nystedt & Frantzich, 2011). Efter grovanalysen väljs sedan scenarier ut som utgör representativa värsta troliga scenarier som tas vidare för fortsatt analys och utifrån dessa analyseras hur detta påverkar utrymning och om denna kan ske på ett säkert sett.

6.1 Statistik och tidigare händelser

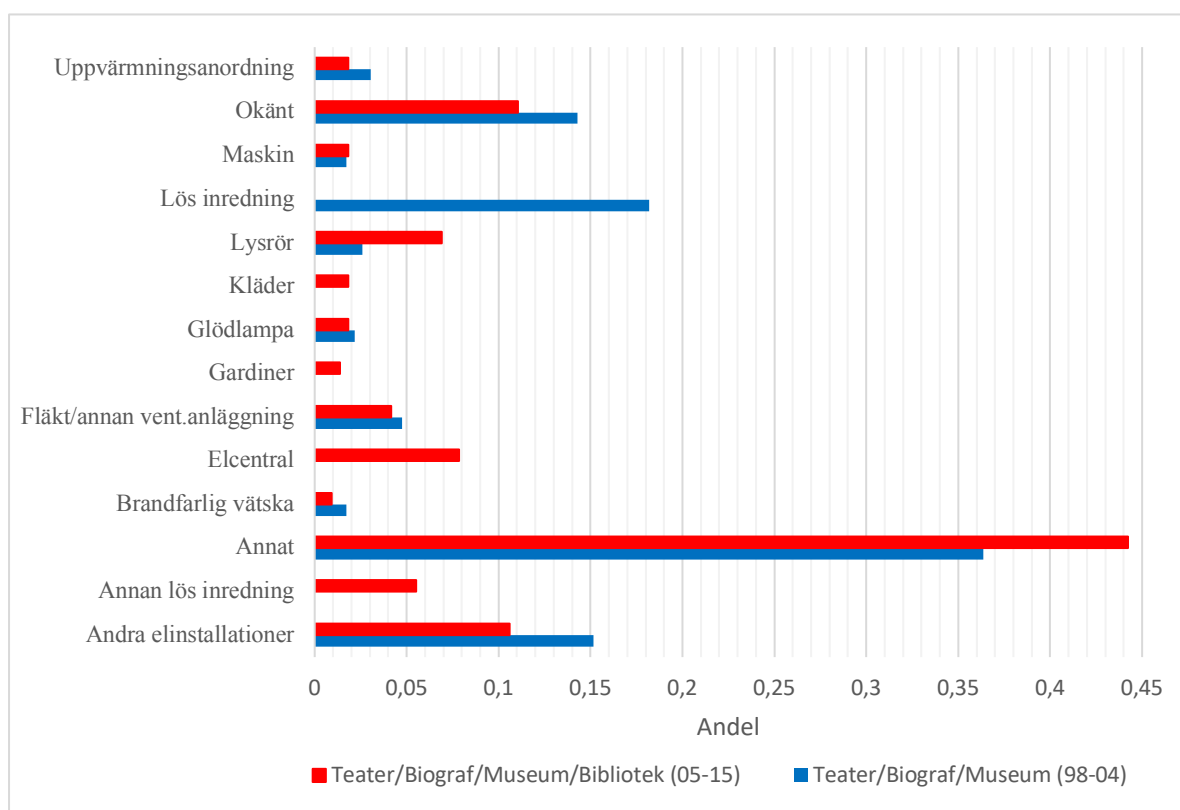
I MSB:s informationssystem *IDA* (Indikatorer, Data och Analys) presenteras bland annat statistik för räddningstjänstens insatser. I statistiken för *Brand i byggnad* återfinns museum i två kategorier; Teater/Biograf/Museum (giltig mellan åren 1998 och 2004) och Teater/Biograf/Museum/Bibliotek (giltig mellan åren 2005 och 2015) (MSB IDA, 2018). Statistiken gäller inte enbart för museer, men antas trots detta vara tillämplig för Vasamuseet i viss utsträckning. Antagandet grundas i att samtliga byggnader/verksamheter i den sammanställda statistiken omfattar publika byggnader med relativt stora besöksantal.

I Figur 12 presenteras det som i statistiken anges som brandorsak för bränder i de båda kategorierna. Där kan det ses att ”tekniskt fel” är den vanligast förekommande brandorsaken och att även ”anlagd med uppsåt” är vanligt förekommande. Det kan också ses att det saknas kunskap om brandorsak för en betydande mängd bränder under kategorin ”okänd”.



Figur 12. Brandorsak (MSB IDA, 2018).

I Figur 13 presenteras vad som i statistiken anges vara startföremålet för bränder i de två aktuella kategorierna. Där kan det ses ”elinstallationer” och ”lös inredning” är vanliga startföremål. En betydande kategori är dock ”annat” där startföremålet inte är definierat.



Figur 13. Startföremål (MSB IDA, 2018).

6.2 Brandscenarier – grovanalys

Det finns en hel del som kan leda till att en brand uppstår i byggnaden. Vid platsbesöket identifierades ett antal tänkbara scenarier, vilka beskrivs nedan. För samtliga scenarier har bedömning av sannolikhet (givet att brand uppstår) och konsekvens gjorts, och kvantifiering har skett enligt Tabell 4. Konsekvensen berör endast skador relaterat till besökare av museet och personskador, i enlighet med tidigare definierat skyddsmål. Enligt bedömningarna placeras respektive scenario i en riskmatris, Figur 24, för att kunna jämföras mot varandra och sedan väljs de scenarier som antas representera värsta troliga scenarier.

Bedömningen av sannolikhet baseras på den statistik från MSB som presenterades i avsnitt 6.1 och till viss del även efter inbördes jämförelse mellan respektive scenario. Jämförelse görs med hänsyn till att statistiken inte är fullständigt tillämplig för museer generellt och Vasamuseet specifikt. Bedömningen av konsekvens görs genom kvalitativa resonemang och genom inbördes jämförelse mellan scenarierna.

Tabell 4. Gradering av sannolikhet och konsekvens.

	Sannolikhet	Konsekvens
1	Mycket låg	Ingen personskada
2	Låg	Övergående lindriga personskador
3	Medel	Övergående personskador
4	Hög	Bestående personskador
5	Mycket hög	Bestående personskador samt omkomna

Respektive scenarios placering i byggnaden presenteras i Bilaga 1. Där kan även scenariernas förhållande gentemot utrymningsvägar ses.

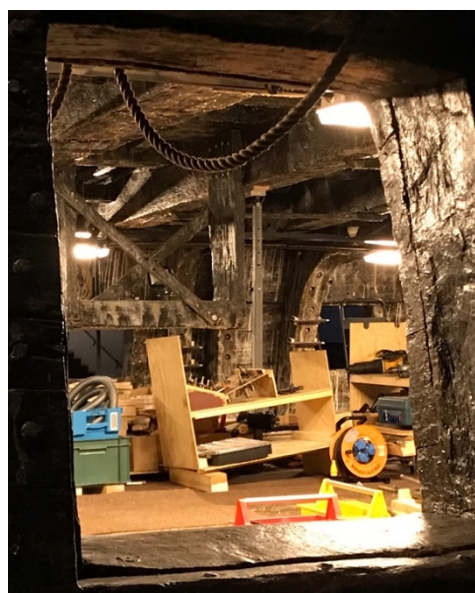
6.2.1 Scenario A – Vasaskeppet

Kontinuerliga arbeten sker inuti skeppet och görs bland annat för att stabilisera skeppet eftersom detta hela tiden sjunker ihop. Diverse elektriska maskiner och apparatur identifierades vid platsbesöket på skeppets olika plan (se Figur 14) och ett tekniskt fel i dessa kan leda till att brand i skeppet uppstår. På skeppets alla plan finns dock detektorer och två detektorer förväntas aktivera relativt snabbt. Ingen person befinner sig normalt ombord skeppet och därmed saknas möjlighet för tidig släckning.

Enligt statistiken (se avsnitt 6.1) är tekniska fel, hantverkare och heta arbeten förekommande brandorsaker, dessutom skulle vissa händelser från kategorin ”okänd” kunna innefatta dessa orsaker. I skeppet fanns ett större antal maskiner och lampor där tekniskt fel kan uppstå och sannolikheten för scenariot bedöms därför som medel. Med hänsyn till tidig detektion och aktivering av både utrymningslarm och utrymningsorganisation förväntas en tidig utrymning. Genom skeppets placering i mitten av skeppshallen och att branden uppstår inuti skeppet blockeras inga utrymningsvägar. Det kan dock förväntas vissa lindriga personskador då personer vid utrymning passerar skeppet.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 2



Figur 14. Vasaskeppet från in- och utsidan.

6.2.2 Scenario B – Storbåten

Intill Vasaskeppet på plan 2 är den så kallade Storbåten placerad, se Figur 15. Båten är 11,7 meter lång, 3,2 meter bred och väger ungefär fyra ton. Storbåten byggdes samtidigt som Vasaskeppet och är därav i huvudsak utförd i samma material, ek som impregnerats med PEG. Båten antänds genom en anlagd brand och en snabb brandutveckling kan förväntas.

Anlagda bränder är enligt statistiken en relativt vanligt förekommande brandorsak, dessutom kan ”okänd” orsak till viss del tänkas falla under den kategorin. Platsen är dock öppen mot omgivningen och sannolikheten bedöms därför vara låg. Platsen där Storbåten är placerad är öppen mot taket och röken kan spridas till övriga plan. Detta betyder att det även kan ta lång tid till automatisk detektion. Besökare i Storbåtens omgivning antas inte heller veta var larmknappen finns, vilket leder till en viss fördröjning av initiering av utrymning. Ett relativt

stort antal personer kan förväntas befinna sig på våningsplanet och branden kan göra att utrymning inte är möjlig förbi någon sida av Storbåten utan att skador uppstår. Utrymnande antas kunna få bestående personskador, både på grund av närhet till brand och till brandgaser.

Sannolikhet: 2

Konsekvens: 4



Figur 15. Storbåten.

6.2.3 Scenario C – Öppet labb

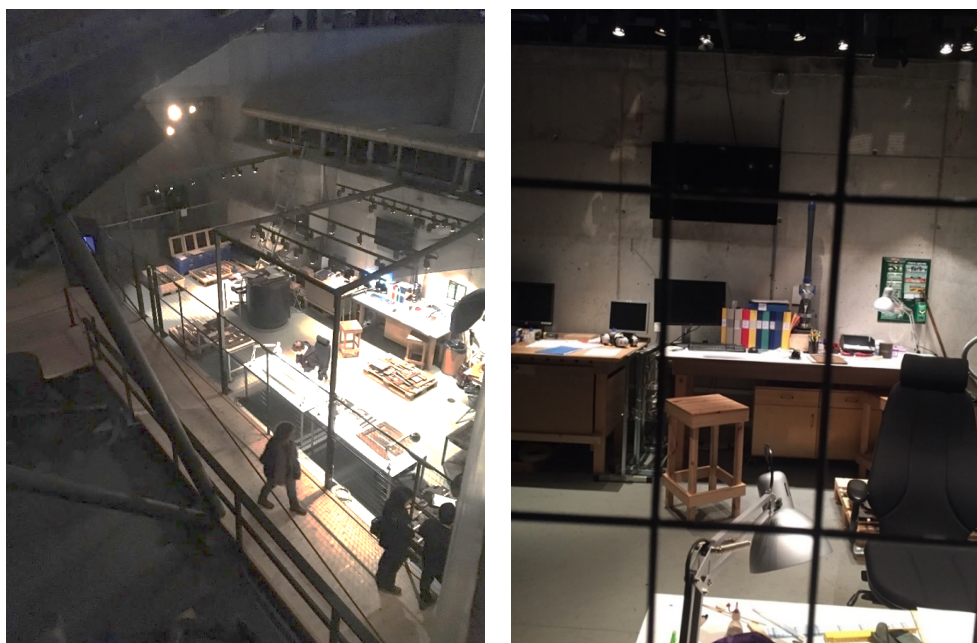
På plan 2 framför skeppet finns ett laboratorium där besökare kan se tekniker arbeta med bland annat föremål från Vasaskeppet. Föremålen av trä som undersöks kan förväntas vara i ungefär samma skick som övriga skeppet, det vill säga torrt och därmed lättantändligt. Laboratoriet är avskärmat med galler och har ett nät som tak mot våningen över, se Figur 16. Utöver de föremål som teknikerna arbetar med finns diverse kontorsmaterial i laboratoriet. Brand initieras i laboratoriet genom tekniskt fel i någon av lamporna och sprids via kontorsmaterialet.

Laboratoriets placering och inhägnad gör att utrymning fortfarande skulle vara möjlig vid en brand. På plan 2 finns tre utrymningsvägar vilket gör att en blockerad utrymningsväg inte skulle försvåra en utrymning avsevärt. Eftersom skeppet skuggar laboratoriet föreligger risk för brandspridning från laboratoriet till förskeppet men utrymning kan dock väntas ha skett innan spridning.

Bränder till följd av tekniska fel är enligt statistiken (se avsnitt 6.1) en vanligt förekommande brandorsak. Platsen där laboratoriet är placerat är delvis öppen vilket gör att enbart ett begränsat antal personer, utöver de som arbetar där, kommer vistas här. Eftersom utrymningsmöjligheterna är goda antas besökarna inte få några skador, däremot kan laboratoriearbetarna få lindriga skador.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 2



Figur 16. Laboratoriet.

6.2.4 Scenario D – Papperskorg vid trätrappor

På plan 3 finns en papperskorg i nära anslutning till en träläktare. Läktaren används speciellt vid guidning. Papperskorgen mäter ca 30 cm i diameter och är ca 60 cm hög. Den är tillverkad av ett metalliskt material.

En brand i en papperskorg ger en effekt på ca 0,05–0,3 MW vilket kan ses som en relativt liten brand (Bengtsson, 2001). Orsaken för brand i papperskorgen antas vara barns lek med eld, vilket i statistiken (se avsnitt 6.1) är en relativt ovanlig brandorsak och sannolikheten bedöms därför vara mycket låg. Eftersom papperskorgen är utförd i metalliskt material och förväntas ha en låg effektutveckling antas inte spridning ske till intilliggande läktare. Utrymning kan ske utan större påverkan från branden, dock kan vissa lindriga, men övergående, personskador väntas för personer i papperskorgens direkta närhet.

Sannolikhet: 1

Konsekvens: 2



Figur 17. Papperskorg vid trätrappa.

6.2.5 Scenario E – Miniaturmodell av Vasaskeppet

På plan 4 finns en miniaturmodell av Vasaskeppet (skala 1:10), se Figur 18. Enligt en uppskattning bedöms måtten för modellen vara sju meter lång, en meter bred och fyra meter hög. Modellen utgörs i huvudsak av trä, men även en viss mängd bomullstyg och rep. Modellen antänds genom anlagd brand. Tyget och repen ger direkt en hög effektutveckling.

Anlagda bränder är enligt statistiken (se avsnitt 6.1) en vanligt förekommande brandorsak och dessutom kan ”okänd” orsak till viss del tänkas falla under den kategorin. Platsen där modellen är placerad är relativt öppen och det kan förväntas röra sig personer i dess omgivning regelbundet. Sannolikheten för att någon anlägger en brand här bedöms därför vara låg. Personer som utrymmer förbi modellen kan förväntas få vissa personskador. Personer som utrymmer på planet nedanför och i närheten av båten kan träffas av glödande tygbitar och liknande. Detta förväntas kunna leda till övergående personskador.

Sannolikhet: 2

Konsekvens: 3



Figur 18. Miniatur av Vasaskeppet.

6.2.6 Scenario F – Halmtak i utställning

På plan 4 finns utställningen ”Kungens skepp”, se Figur 19. En del av denna består av en liten tegelbyggnad med halmtak. Under halmtaket finns ett fönster med belysning. Det skulle kunna uppstå en gnista till följd av ett elfel och detta skulle kunna leda till att halmtaket antänds. Enligt statistik är tekniskt fel en vanlig brandorsak.

Brandspredningen antas vara liten då det är brist på brännbart material i halmtakets omgivning och det finns två utrymningsvägar. Personer som vistas i utställningen antas därmed inte få några personskador.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 1



Figur 19. Halmtak i utställningen "Kungens skepp".

6.2.7 Scenario G – Lilla filmsalen

På plan 4 finns en mindre filmsal, ungefär 40 m² stor och med sittplats för ungefär 40 personer, se Figur 20. I lilla filmsalen finns fyra rader av träbänkar och i övrigt inga andra föremål. Ingången till filmsalen utgörs av en kort korridor och salens enda utgång finns längst bak i rummet. I nära anslutning till lilla filmsalen finns två av varandra oberoende utrymningsvägar som leder ut till det fria.

Brand uppstår i filmsalen genom att den anläggs, vilket enligt statistiken är relativt vanligt. I jämförelse med övriga scenarier och kategorin ”tekniskt fel”, bedöms dock sannolikheten som låg. I filmsalen förväntas ett mindre antal personer befinna sig och de förväntas kunna utrymma genom ingången eller utgången till salen. Lindriga, men övergående skador kan dock väntas genom inandning av rök.

Sannolikhet: 2

Konsekvens: 2



Figur 20. Lilla filmsalen.

6.2.8 Scenario H – Garderob

Längs väggen till stora filmsalen, mitt emot informationsdisken, finns möjlighet för besökare att använda garderoben för att hänga av sig jackor och liknande. Garderoben är öppen mot omgivningen och cirka sex meter bred. I direkt anslutning till denna finns även förvaringsskåp där besökare kan lämna exempelvis värdesaker.

Materialet, främst jackor och liknande, i garderoben antänds genom anlagd brand och brandens tillväxt förväntas ske snabbt. Anlagda bränder är enligt statistiken en vanligt förekommande brandorsak och dessutom kan ”okänd” orsak till viss del tänkas falla under den kategorin. Platsen där garderoben är placerad är relativt öppen och synlig från informationsdisken men det kan ändå anses vara möjligt att dölja en anläggning av brand relativt väl. I jämförelse med scenarier med brandorsaken ”tekniskt fel” bedöms sannolikheten för scenariot som låg

En brand i garderoben skulle kunna blockera nödutgången som ligger i direkt anslutning till garderoben och i viss mån även den vanliga utgången, vilken också fungerar som utrymningsväg. Garderobens placering nära den ordinarie utgången samt att besökare kan förväntas vilja hämta sina tillhörigheter där eller i de intilliggande förvaringsskåpen gör dock att ett stort antal personer antas passera branden. Personer kan få bestående personskador, både genom direktkontakt med branden och genom inandning av brandgaser.

Sannolikhet: 2

Konsekvens: 4

6.2.9 Scenario I – Utställning i genomskärning

På plan 5 finns en utställning som i genomskärning visar hur aktiviteten på Vasaskeppet kunde se ut, se Figur 21. Modellen är helt utförd i trä, liksom den direkt omgivande väggen. Integrerat i utställningen finns lampor. På grund av tekniskt fel i lampanslutningen antänds utställningen. Den stora tillgången till luft leder till en snabb brandspridning längs med hela modellen och de omgivande träväggarna. Flammor och hög värmeutveckling från branden leder till att personer väljer en annan utrymningsväg än förbi modellen.

I statistiken kan det ses att startföremålet vid brand i relativt liten utsträckning är en glödlampa, men tekniska fel som startorsak är däremot ganska vanligt förekommande. Sannolikheten bedöms därför vara medel.

Staketet framför genomskärningen gör att människor kommer hålla avstånd från branden, åtminstone i det tidiga skedet. Skulle en utrymningsväg blockeras finns där åtminstone en annan utrymningsväg tillgänglig. Trots dessa förutsättningar antas brandspridningen gå snabbt och det föreligger därför en risk för lindriga personskador.

Sannolikhet: 3

Konsekvens: 2



Figur 21. Utställning i genomskärning.

6.2.10 Scenario J – Batteridäcksutställning

På plan 5 finns en batteridäcksmodell som är uppbyggd på så sätt att besökarna ska kunna passera genom och få en inblick i hur batteridäck såg ut inifrån. Däcket består i princip endast av trä och har en takhöjd på ungefär två meter. Utrymmet är försett med sprinkler vars utlösningstemperatur är 68 °C.

En brand på batteridäck är troligen anlagd och sannolikheten antas, enligt tidigare bedömningar för anlagd brand, vara låg. Eftersom utrymmet är försett med sprinkler begränsas branden och endast lindriga, men övergående personskador förväntas.

Sannolikhet: 2

Konsekvens: 2

6.2.11 Scenario K – Sittkuddar

På plan fem, vid mitten av ena långsidan, finns 30 stycken sittkuddar av skumgummi placerade, se Figur 22. Storleken på kuddarna är 0,4 x 0,4 x 0,1 m³. Sannolikheten för att dessa antänds anses vara låg, eftersom det då antas vara en anlagd brand och samma resonemang som för Scenario B gäller.

Eftersom sittkuddarna är placerade längs väggen i en gång för personal antas få besökare passera här. Skulle det börja brinna finns det möjlighet att utrymma även om en utrymningsväg skulle blockeras och det är inte särskilt troligt att branden sprider sig, åtminstone inte snabbt. Inga personskador förväntas.

Sannolikhet: 2

Konsekvens: 1



Figur 22. Sittkuddar längs vägg.

6.2.12 Scenario L – Gardin

På plan 6 längs skeppets bakre del finns ett rött tygstycke monterat längs med taket mot plan 7. I tyget finns en pappfigur monterad och i nära anslutning finns även spotlights monterade.

Branden uppstår genom tekniskt fel i någon av glödlamporna eller dess armatur och sannolikheten för detta bedöms, med bakgrund i statistiken, vara medelstor. Branden sprids i hela tygstycket och pappfiguren. Det finns totalt tre utrymningsvägar på det berörda våningsplanet, en på skeppets vänstra sida och två på dess högra sida. Vid en brand i tyget skulle inte utrymningen försvåras avsevärt. Värsta troliga konsekvens vid en brand i tyget är att övergående personskador uppstår till följd av att tyget faller ner.

Sannolikhet: 3

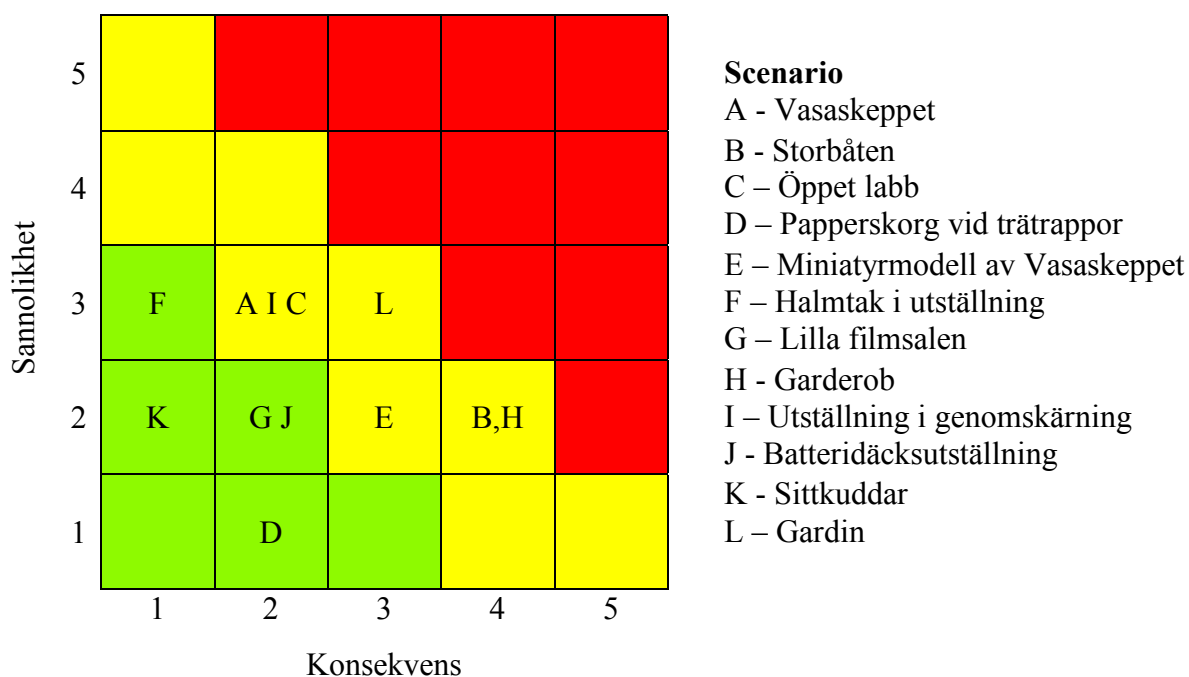
Konsekvens: 3



Figur 23. Gardin i tak.

6.3 Riskmatris och dimensionerande scenarier

De scenarion som diskuteras i avsnitt 6.2 presenteras i riskmatrisen nedan utifrån sannolikhet och konsekvens.



Figur 24. Riskmatris med de olika scenarierna.

Utifrån riskmatrisen väljs scenario B och H till dimensionerande scenarier. I och med skyddsmålet tas större hänsyn till scenarier med hög konsekvens jämfört med scenarier där sannolikheten bidrar mer till risken.

Scenario B väljs ut eftersom Storbåten innehåller stor brandbelastning och är placerad på en yta där ingen sprinkleranläggning finns för att kunna begränsa branden. Spridningen förväntas ske fort över båten men inte sprida sig till andra bränslepaket. Dessutom är branden på det nedersta planet där besökare kan befinna sig och det är öppet upp i taket till våning 7 vilket gör att röken kan spridas och då även påverka övriga plan.

Scenario H väljs eftersom kläder utgör en hög brandbelastning och där finns inte heller något sprinklersystem installerat. Branden skulle kunna växa sig så stor att den ordinarie utgången blockeras och då påverka valet av utgång på ett speciellt sett, eftersom huvudutgången är den utgång flest folk troligtvis skulle välja vid en utrymningssituation.

7 Scenario B – Storbåten

I det här avsnittet presenteras det dimensionerande scenariot mer ingående än i grovriskanalysen. Även resultat från handberäkningar och simuleringar presenteras.

Storbåten är 11,7 meter lång, 3,2 meter bred och består av fyra ton massiv ek som är impregnerad med PEG och utgör således en stor brandbelastning. Det finns inget sprinklersystem i anslutning till båten. En linjerökdetektor finns monterad längs med skeppshallen i höjd med plan 3 men denna bedöms efter ritningsgranskning inte vara belägen över Storbåten. Detta leder till att detektion av branden är långsam och sker manuellt. Storbåten finns på plan 2 där det vistas cirka 400 personer och maxantalet besökare, alltså 2000 personer, är uppnått.

Det finns ingen larmknapp i direkt anslutning till Storbåten och besökare antas inte leta efter de larmknappar som finns på andra platser. Istället antas att en person som ser branden tar sig till informationsdisken för att informera om branden. Branden kontrolleras visuellt av personalen från plan 4. Efter kontroll aktiveras larmknappen i informationsdisken och därmed startas utrymningslarmet och aktivering av brandgasventilation, inklusive öppnande av tilluft, sker. Tiden från användning till aktivering av larmknappen sätts till 90 sekunder.

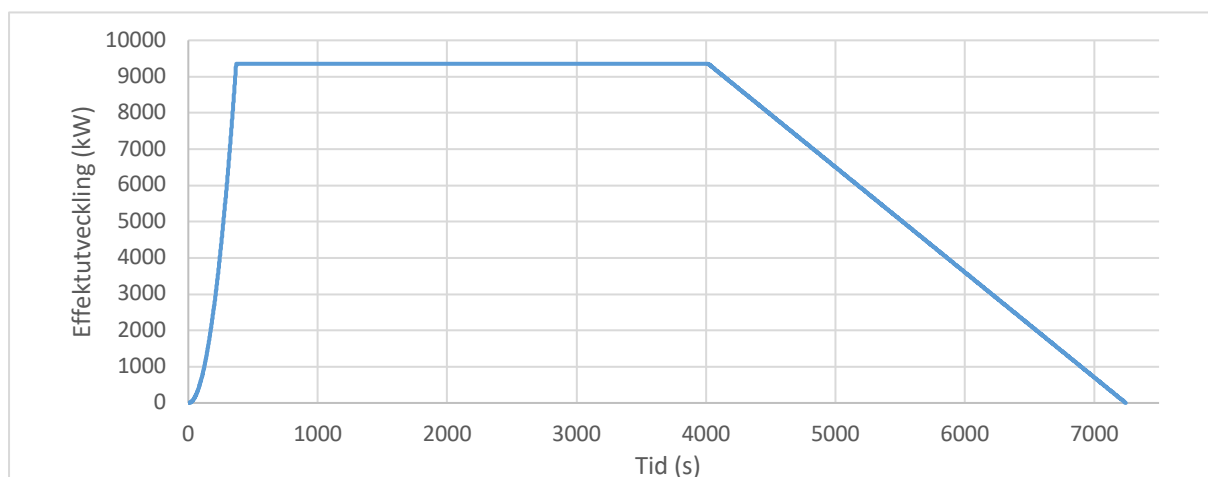
Ett kvalitativt och konservativt resonemang för detekteringstiden fördes och denna tid antas representativ för andra detektionsförlopp vid brand i Storbåten. Inom ramen för detta gjordes även antagandet att inget försök till släckning med handbrandsläckare eller via brandpost sker.

Utrymningen påbörjas efter att utrymningsmeddelandet har ljudit i skeppshallen. Personer som befinner sig i nära anslutning till branden antas påbörja utrymning tidigare än övriga besökare då de ser branden. På grund av den höga brandbelastningen och den smala passagen förbi Storbåten görs handberäkningar på hur mycket strålningen från branden påverkar eventuell passage förbi båten.

7.1 Dimensionerande brand

RISE har gjort tester på en träbit av ek som tillhört skeppet. I testerna framkom att det inte är någon större skillnad gällande brandegenskaper för vasaeken jämfört med vanligt ekträ. Brandutvecklingen var något långsammare vid låg strålningsnivå men intensiteten eller värmeeffekten var högre när förbränningen kom igång. Låg strålningsnivå leder till att PEG som är båtens ytskikt först smälter för att sedan pyrolyseras. Detta smälter vid 53–59 °C. Dock tas inte detta i beaktning i denna rapport. Utöver detta kunde ingen ökad rökutveckling ses gentemot annat ekträ (Sundström & Kaiser, 1985).

Förbränningseffektiviteten för ek minskar desto äldre materialet är (Zachar, o.a., 2014). Impregneringen av vasaeken gör att det är oklart hur mycket detta påverkar förbränningseffektiviteten. Med bakgrund i undersökningarna gjorda av RISE kommer därför ingen hänsyn tas till dessa parametrar utan effektutvecklingen för Storbåten räknas som för vanlig ek. En effektutvecklingskurva för Storbåten har tagits fram enligt Figur 25. Hur detta gjorts redovisas i Bilaga 2.



Figur 25. Storbåtens effektutveckling framtagen med hjälp av tester på ek.

I Tabell 5 presenteras värden för ek under förbränning. Förbränningsvärdet, ΔH_{eff} , för ek är det effektiva värdet (Walton & Twilley, 1984). Värdena för yield är giltiga för en brand med välventilerade förhållanden vilket är fallet i Vasamuseet (Staffansson, 2010). Den kemiska formeln för trä antas vara $C_{3,4} H_{6,2} O_{2,5}$ (BIV, 2013).

Tabell 5. Värden vid förbränning av trä (ek).

ΔH_{eff}	12,6 MJ/kg
y_{CO_2}	1,27
y_{CO}	0,004
y_{soot}	0,015

7.2 Tid till kritiska förhållanden

I det här avsnittet presenteras tiden till kritiska förhållanden baserat på resultatet från simuleringarna i FDS. De val av indata som gjordes för simuleringen och beskrivning av dessa presenteras i Bilaga 6. I samma bilaga jämförs den simulerade effektutvecklingen med den dimensionerande för att verifiera att rätt värden simulerats.

I Tabell 6 kan kritisk tid ses för respektive plan i skeppshallen. Tiderna är baserade på de utdata som presenteras i Bilaga 7. För de kategorier eller plan där ingen tid presenterats har kritiska förhållanden inte uppstått under det simulerade brandförloppet (480 sekunder).

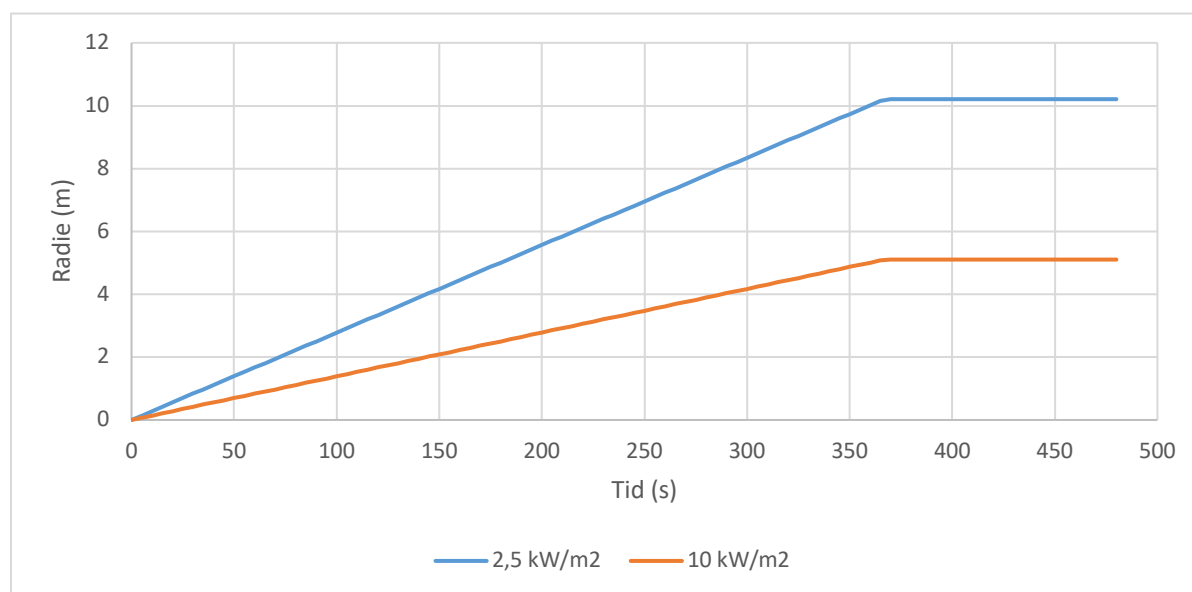
Tabell 6. Tid till kritiska förhållanden för respektive plan.

	Rökgaslager	Sikt	Temperatur	Toxicitet
Plan 7	200 s	320 s	-	-
Plan 6	300 s	420 s	-	-
Plan 5	400 s	-	-	-
Plan 4	-	-	-	-
Plan 3	-	-	-	-
Plan 2	-	-	-	-

I tabellen kan det ses att rökgaslagret sjunker under hela brandförloppet och att kritiska förhållanden uppkommer för plan 5, plan 6 och plan 7. Kritiska värden för toxicitet eller temperatur kan inte konstateras utifrån utdata för simuleringen, se Bilaga 7. Beräkningar för strålning från branden presenteras i Bilaga 3.

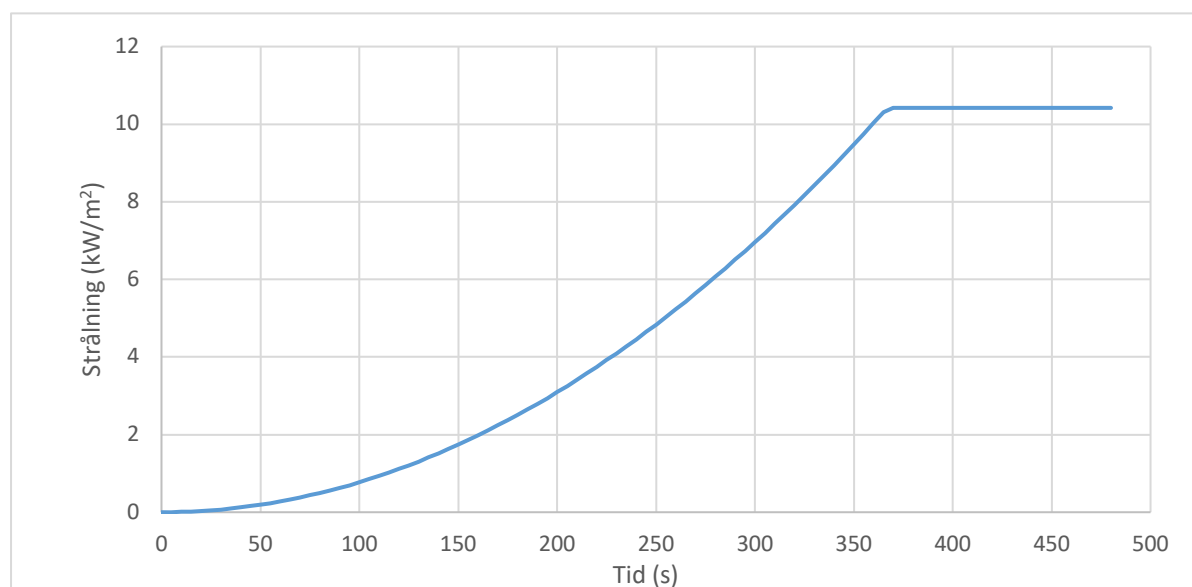
7.3 Handberäkningar

Utöver de handberäkningar som gjordes vid framtagning av effektutvecklingskurvor har beräkning gjorts för strålning. För detta används en metod från Modak (Karlsson & Quintiere, 2000). Kritiska strålningsnivåer är långvarig och kortvarig strålning är, enligt tidigare definition, $2,5 \text{ kW/m}^2$ respektive 10 kW/m^2 . I Figur 26 kan avståndet mellan branden och radien där dessa värden uppnås ses med avseende på tiden. Resultatet visar att det blir svårt att passera Storbåten efter cirka 300 sekunder utan att bli utsatt för kritiska strålningsnivåer. Därför blir detta indata till Pathfinder där ingen tillåts passera skeppet efter denna tid.



Figur 26. Kritiskt avstånd från branden vid kortvarig och långvarig infallande strålning.

På samma sätt har strålningsnivå tagits fram fem meter från branden, vilket är avståndet till skeppet, för att se om detta antänds av strålningen. Resultatet visar att strålningen per kvadratmeter uppgår till drygt 10 kW/m^2 (se Figur 27) vid skeppet. Detta innebär att skeppet inte kommer att antändas eftersom kritisk strålningsnivå för självantändning för trä under längre tid är 29 kW/m^2 (Lago, 2002).



Figur 27. Strålningsnivå 5 meter från branden.

7.4 Pathfinder

I Tabell 7 presenteras resultatet från utrymningssimuleringen för scenario B - Storbåten. I tabellen finns medelvärden för utrymningstider för varje våningsplan samt tiden för total utrymning av byggnaden. Fullständig tabell finns att hitta i Bilaga 5. Medelvärdet anses vara representativt eftersom konservativa antaganden gjorts för brandscenarier. Val och beskrivning av indata finns i Bilaga 4.

Tabell 7. Medelvärden för tid till utrymning.

	Medelvärde [s]
Plan 7	182
Plan 6	265
Plan 5	258
Plan 4	404
Plan 3	244
Plan 2	270
Total utrymning	404

Observationer gjordes under utrymningssimuleringarna. Några personer blev kvar på plan 7 på grund av den, för förberedelsetiden, log-normala fördelningen. Det blev stora köbildningar vid en del utgångar, bland annat vid utrymningsporten och ut till trapphus K. Köbildning observerades även i trappor och vid ingång till trappor. Det tog också lång tid att utrymma plan 2 eftersom de flesta använder huvudtrappan som går direkt upp till plan 4. Branden vid Storbåten påverkade inte agenternas, alltså de simulerade besökarnas, utrymning eftersom planet i princip var tomt när strålningen blev så pass hög att den skulle påverkat dem.

7.5 Säkerhetsmarginal

Säkerhetsmarginaler för de våningsplan där kritiska förhållanden uppstår presenteras i Tabell 8 nedan. Säkerhetsmarginalen, $t_{marginal}$, för utrymningen beräknas enligt ekvation 1. I $t_{utrymning}$ inkluderas både förberedelsetid och förflyttningstid.

Tabell 8. Säkerhetsmarginaler för respektive våningsplan.

Kritiskt förhållande	Våningsplan	$t_{kritisk}$ [s]	$t_{varseblivning}$ [s]	$t_{utrymning}$ [s]	$t_{marginal}$ [s]
Rökgaslager	7	200	120	182	-102
	6	300	120	265	-85
	5	400	120	258	22
Sikt	7	320	120	182	18
	6	420	120	265	35

I enlighet med avsnitt 5.3 prioriteras värden för sikt framför de för rökgaslagrets höjd i bedömningen av kritiska förhållanden. Detta betyder att kritiska förhållanden kommer råda på plan 7 efter 320 sekunder och på plan 6 efter 420 sekunder. För plan 5 kommer inga kritiska förhållanden att uppstå.

8 Scenario H – Garderoben

I det här avsnittet beskrivs scenario H mer utförligt än i grovriskanalysen. Resultat från handberäkningar och simuleringar presenteras.

Branden anläggs bland de jackor som hänger i garderoben. Garderoben bedöms, genom kontroll på ritningar, vara 6,3 meter lång och 1 meter djup. I scenariot förväntas 100 jackor av varierande slag finnas i garderoben och 2000 personer kan förväntas vistas i skeppshallen. Antalet jackor är uppskattat utefter storleken på garderoben och antalet personer som vistas i museet.

Branden detekteras av en rökdetektor som är placerad i relativt nära anslutning till garderoben och samtliga funktioner i det befintliga brandskyddet förväntas fungera problemfritt. Eftersom endast en detektor aktiveras i det inledande skedet innebär detta att förvarningslarmet startar. Det riktiga utrymningslarmet kan dock starta i direkt anslutning till detta genom att personalen i informationsdisken, som kan se branden från sin position, trycker på den larmknapp som finns där.

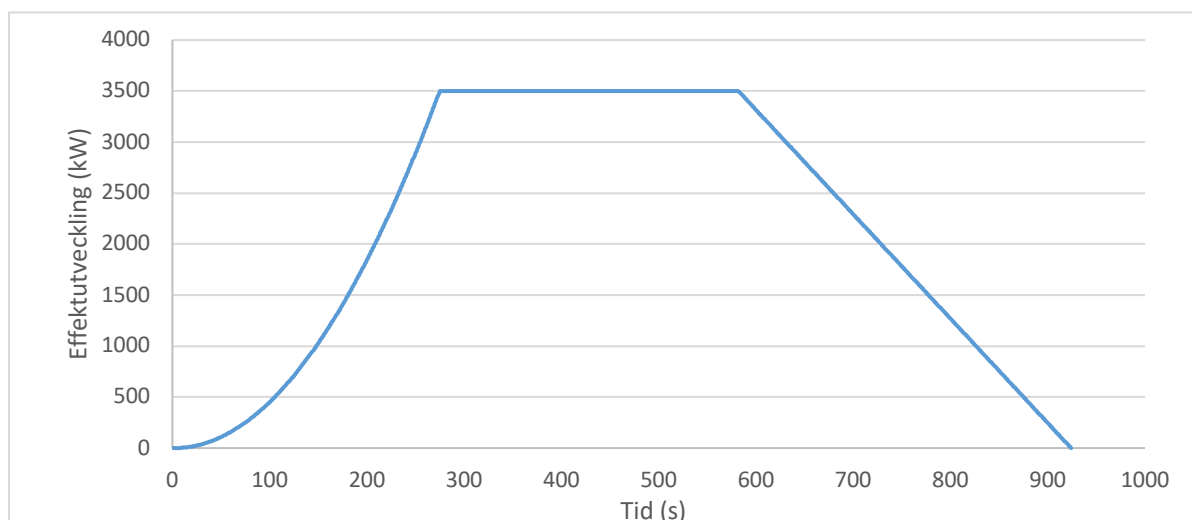
Detektion och aktivering av utrymningslarm leder till att brandgasventilationen startar och porten för tilluft öppnas. Sprinklersystem finns på plan 4 men inte i direkt anslutning över garderoben och därför sker ingen aktivering av systemet.

Utrymningen inleds efter att det talade utrymningslarmet ljudit. Personer som befinner sig i brandens närhet påbörjar utrymningen omedelbart. Personer i andra delar av skeppshallen, vilka inte kan se branden, har längre förberedelsetid. Efter 120 sekunder blir den ordinarie utgången blockerad genom att personal hindrar personer att gå nära branden i garderoben. Övriga utrymningsvägar är dock användbara.

I scenariot tas hänsyn till att besökare kan väntas vilja hämta sina tillhörigheter i garderoben eller i de skåp för värdesaker som finns i anslutning till denna. Därmed föreligger risk för strålningsskador.

8.1 Dimensionerande brand

Den dimensionerande branden för ytterkläder i garderoben baseras på två utförda experiment (Ehab & George, 2001) (Johansson, 2004). Experiment för kläder liggandes på hylla respektive upphängda jackor. Den dimensionerande effektutvecklingen visas i Figur 28. Hur denna tagits fram redovisas i Bilaga 2.



Figur 28. Dimensionerande effektutveckling.

I Tabell 9 redovisas värden som gäller vid förbränning av kläder. Värde för CO₂ och CO är approximativa medelvärden från experiment med kläder (Ehab & George, 2001). Värdet för förbränningsvärmens är medelvärde för olika sorters kläder (Abrahamsson, 1997). Värdet för sot gäller enbart för polyester men då andra värden inte hittades antas detta gälla för hela branden. Även den kemiska formeln, C₁₀H₈O₄, som används för materialet är baserat på polyester (SFPE, 2002).

Tabell 9. Värden vid förbränning av jackor i garderoben.

$\Delta H_c / \Delta H_{eff}$	26,5 MJ/kg
y_{CO_2}	1,75
y_{CO}	0,02
y_{soot}	0,075

8.2 Tid till kritiska förhållanden

I det här avsnittet presenteras tiden till kritiska förhållanden baserat på resultatet från simuleringarna FDS. De val av indata som gjordes för simuleringen och beskrivning av dessa presenteras i Bilaga 6. I samma bilaga jämförs den simulerade effektutvecklingen med den dimensionerande för att verifiera att rätt värden simulerats.

I Tabell 10 kan kritisk tid ses för respektive plan i skeppshallen. Tiderna är baserade på de utdata som presenteras i Bilaga 8. För de kategorier eller plan där ingen tid presenterats har kritiska förhållanden inte uppstått under det simulerade brandförloppet.

Tabell 10. Tid till kritiska förhållanden för respektive plan.

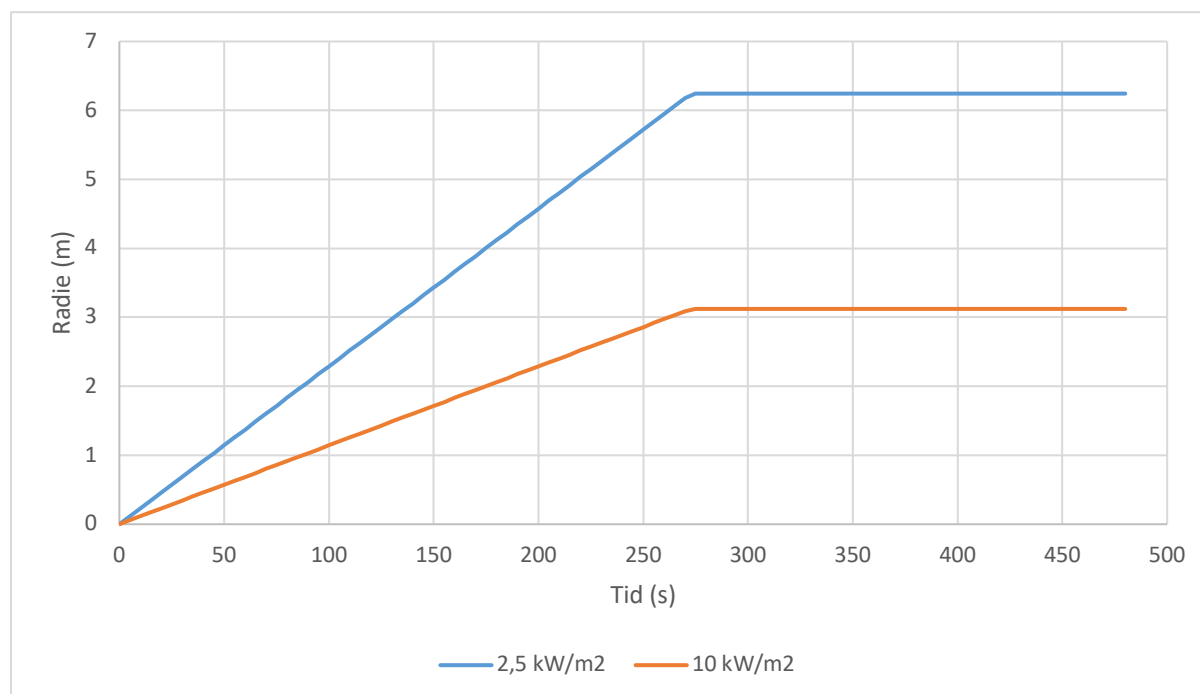
	Rökgaslager	Sikt	Temperatur	Toxicitet
Plan 7	-	-	-	-
Plan 6	300	-	-	-
Plan 5	-	-	-	-
Plan 4	-	-	-	-
Plan 3	-	-	-	-
Plan 2	-	-	-	-

I tabellen kan det ses att rökgaslagret endast sjunker så att kritisk nivå uppnås på plan 6. I figur 76–77 i Bilaga 8 visas det dessutom att det endast är på en viss del av plan 6 som kritiska förhållanden gällande rökfyllnaden uppstår. Kritiska värden för sikt, toxicitet eller temperatur kan inte konstateras utifrån utdata för simuleringen, se Bilaga 8. Beräkningar för brandens strålning presenteras i avsnitt 8.3.

Kritisk nivå uppkommer endast på plan 6 och detta beror på att brandgasventilationen aktiveras tidigt i brandförloppet (efter 17 sekunder). Brandgasernas rörelse i skeppshallen styrs till stor del av detta.

8.3 Handberäkningar

Utöver de handberäkningar som gjordes vid framtagning av effektutvecklingskurvor har beräkning gjorts för strålning och även här används en metod från Modak (Karlsson & Quintiere, 2000). Det kritiska avståndet från branden, beroende av tiden, vid kortvarig infallande strålning presenteras i Figur 29. Beräkningsgången för detta återges i Bilaga 3.



Figur 29. Kritiskt avstånd från branden vid kortvarig infallande strålning.

8.4 Pathfinder

I Tabell 11 nedan presenteras resultatet från utrymningssimuleringarna i Pathfinder för branden i garderoben. I tabellen finns medelvärden för utrymningstider för varje våningsplan samt tid för total utrymning av byggnaden. Val och beskrivning av indata finns i Bilaga 4. Fullständig tabell för de tio simuleringarna finns i Bilaga 5. Medelvärdet anses vara representativt eftersom konservativa antaganden gjorts för brandscenarier.

Tabell 11. Medelvärden för tid till utrymning.

	Medelvärde [s]
Plan 7	184
Plan 6	253
Plan 5	257
Plan 4	392
Plan 3	249
Plan 2	257
Total utrymning	392

Liknande observationer som i scenariot med Storbåten gjordes under utrymningssimuleringarna där ett par personer blev kvar på plan 7 på grund av den log-normala fördelning i tid innan utrymning börjades. Det blev stora köbildningar runt ett par av öppningarna, bland annat vid utrymningsporten och ut till trapphus K. Köbildning observerades även i trappor och vid ingång till trappor. Det tog även lång tid att utrymma plan 2 på grund av att de flesta använder huvudtrappan som leder direkt upp till plan 4.

8.5 Säkerhetsmarginal

Säkerhetsmarginalen för det våningsplan där kritiska förhållanden uppstår presenteras i Tabell 12. Den tidsmässiga säkerhetsmarginalen, $t_{marginal}$, beräknas enligt ekvation 1. I $t_{utrymning}$ inkluderas både förberedelsetiden förflyttningstiden.

Tabell 12. Säkerhetsmarginal för våningsplan 6.

Kritiskt förhållande	Våningsplan	$t_{kritisk}$ [s]	$t_{varseblivning}$ [s]	$t_{utrymning}$ [s]	$t_{marginal}$ [s]
Rökgaslager	6	300	47	253	0

Säkerhetsmarginalen för utrymning av besökarna på plan 6 är alltså noll baserat på bedömning av rökgaslagrets höjd. Eftersom övriga kritiska värden inte uppfylls uppstår dock inte kritiska förhållanden.

9 Känslighetsanalys

För att kontrollera hur olika parametrar påverkar ett resultat kan en känslighetsanalys göras. Säkerhetsmarginalen är den viktigaste parametern för att kunna bestämma om tillfredsställande utrymning kan ske och därför kommer känslighet av ingående parametrar vid beräkning av denna att prövas i @Risk. För Scenario B – Storbåten görs detta för plan 6 och plan 7 eftersom kritiska förhållanden förväntas uppstå där.

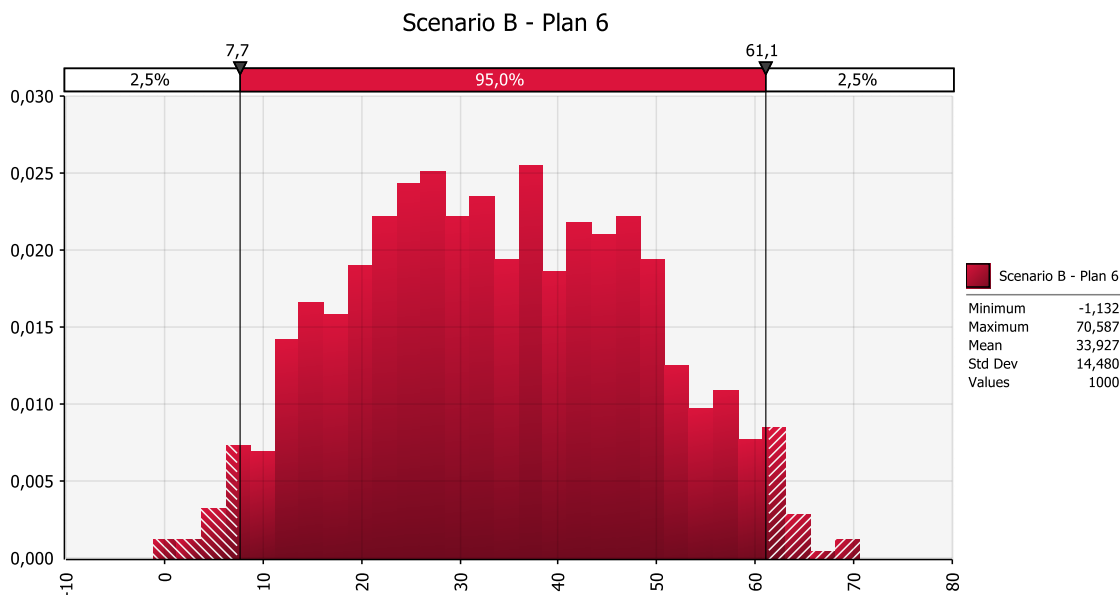
Eftersom scenarierna genomgående är konservativa där en kraftig brand har använts och belastningen vad gäller antal personer i byggnaden är maximerad varieras parametrarna främst med hänsyn till utrymningstiden. Parametrarna sätts till en uniform fördelning där tiderna från Tabell 8 antas variera med +/- 5 %, motsvarande värden för detta finns i Tabell 13. Genom den valda variationen täcks samtliga simulerade tider för den totala utrymningen in (se Tabell 20 och Tabell 21 i Bilaga 5).

En Monte Carlo-simulering med 1000 iterationer gjordes. Då tiden för utrymningslarmet har antagits till konstant 30 sekunder har ingen fördelning använts för detta. Tiden för detektion och tiden för utrymningslarm i tabellen motsvarar tiden för varseblivning. Även förberedelsetiden och förflyttningstiden kombineras i simuleringarna i @Risk och fördelas enligt en uniform fördelning. En förenkling har alltså gjorts jämfört med simuleringarna i Pathfinder där förberedelsetiden antogs enligt en lognormalfördelning.

Tabell 13. Fördelning för de ingående parametrarna.

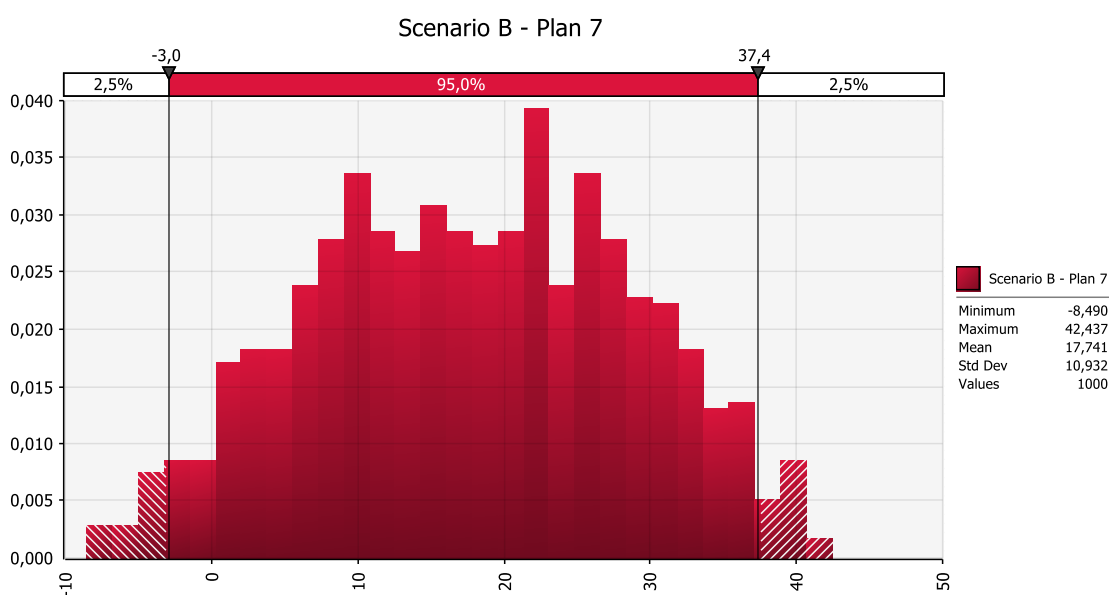
	$t_{kritisk}$ [s]	$t_{detektion}$ [s]	$t_{utrymningslarm}$ [s]	$t_{utrymning}$ [s]
Plan 7	Uniform(304;336)	Uniform(86;95)	30	Uniform(173;191)
Plan 6	Uniform(399;441)	Uniform(86;95)	30	Uniform(252;278)

Figur 30 nedan visar hur säkerhetsmarginalen varierar med varierande värden på ingående parametrar enligt ovan fördelningar. Inom konfidensintervallet på 95 % är säkerhetsmarginalen i samtliga fall positiv. I Figur 30 respektive Figur 31 visar x-axeln säkerhetsmarginalen i sekunder och y-axeln visar sannolikheten.



Figur 30. Variation av säkerhetsmarginalen för plan 6.

Figur 31 nedan visar hur säkerhetsmarginalen varierar med varierande värden på ingående parametrar enligt ovan fördelningar. Ett 95 % konfidensintervall används eftersom svansarna antas vara mycket osannolika. I figuren går att utläsa att i ungefär 0,9 % av fallen fås en negativ säkerhetsmarginal som är tre sekunder eller mindre.



Figur 31. Variation av säkerhetsmarginalen för plan 7.

Eftersom en liten negativ säkerhetsmarginal förväntas i knappt 1 % av fallen för plan 7 behöver någon åtgärd vidtas.

Utrymningssimuleringen i Pathfinder visar att det blir köbildning vid några av utgångarna. Detta beror förmodligen till största del av människors beteende vid brand, att dra sig mot familjära platser och personer, vilket har diskuterats tidigare.

Personalen är i nuläget väl utbildad och tränad och verksamheten har tydliga rutiner för brand där personalen får utrymningskort. Med en ännu bättre struktur och tydliga direktiv till besökarna, vilken utgång de ska välja, tros utrymningstiden minska och säkerhetsmarginalen således öka.

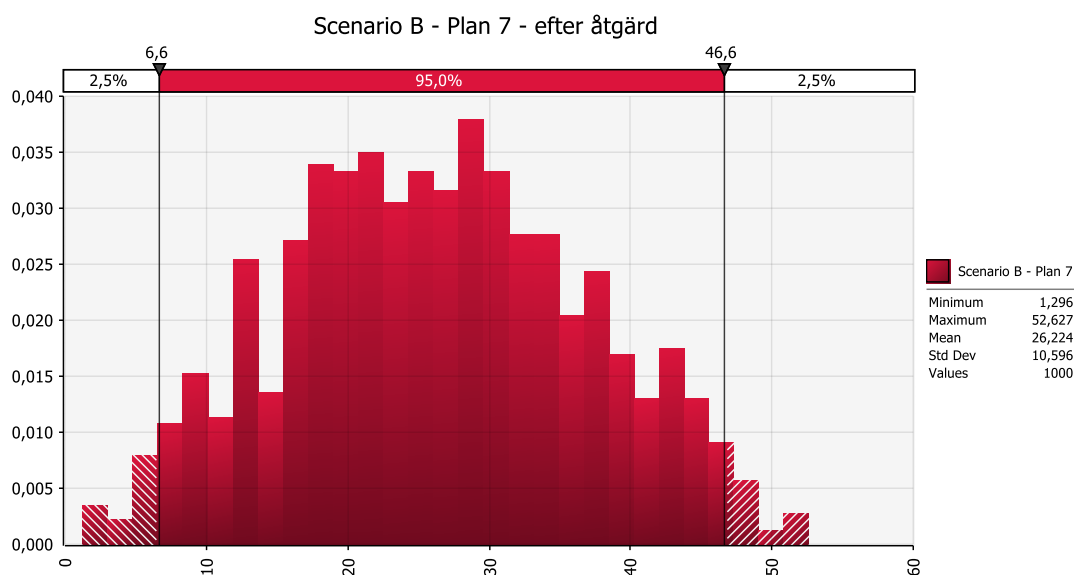
För att verifiera detta görs ytterligare en simulering i Pathfinder, där besökarna fördelas jämnt och utrymmer genom närmsta utgång. Största skillnaden i denna simulering i jämförelse med de tidigare är alltså att delar av människors naturliga beteenden vid brand motverkas med hjälp av personalens tydliga direktiv.

Resultatet från Pathfinder visar att den totala utrymningstiden blir ungefär en minut kortare efter vidtagen åtgärd. Detta ligger till grund för ny indata till @Risk och de nya fördelningarna ser ut enligt Tabell 14 nedan.

Tabell 14. Fördelningar till @Risk efter åtgärd vidtagits.

	$t_{kritisk}$ [s]	$t_{detektion}$ [s]	$t_{utrymningslarm}$ [s]	$t_{utrymning}$ [s]
Plan 7	Uniform(304;336)	Uniform(86;95)	30	Uniform(164;182)

Figur 32 visar säkerhetsmarginalens fördelning efter vidtagen åtgärd. För plan 7 förväntas nu säkerhetsmarginalen bli positiv i samtliga fall.



Figur 32. Variation av säkerhetsmarginalen för plan 7 efter vidtagen åtgärd.

10 Diskussion

I detta avsnitt förs en diskussion kring befintligt brandskydd, scenarioanalys, resultat och förslag på åtgärder.

En aspekt som är viktig att poängtera är det faktum att alla tekniska brandskyddssystem har förutsatts fungera, vid händelse av brand, i den här analysen. Främst berörs brandgasventilationen och vid felfunktion av denna skulle ett annat utfall troligtvis uppstå, där en snabbare rökfyllnad av skeppshallen sker.

10.1 Byggnadens komplexitet

Vasamuseet är en komplex byggnad med flera våningsplan och som alla är olika utformade. Belysningen är dämpad och under platsbesöket upplevdes att det kan kännas svårt för en besökare att veta vilket plan denne befinner sig på. Det kan även vara svårt för besökarna att veta hur de ska orientera sig till plan 4 (för att kunna lämna byggnaden) vid eventuell utrymning. Eftersom dessa faktorer kan ha negativa effekter på ett utrymningsförlopp behövs det befintliga brandskyddet studeras.

10.2 Befintligt brandskydd

Gällande befintligt brandskydd finns tillfredsställande skyltning, både när det gäller utrymningsvägar och när det gäller skyltning av handbrandsläckare och brandposter. Larmknappar är överlag placerade på genomtänkta platser så som i närheten av utrymningsvägar, trappor och hissar - alltså där många människor rör sig. Detta, i kombination med det faktum att de flesta utrymningsskyltar är genomlysta, väger upp för byggnadens komplexitet och dunkla belysning. Att det dessutom finns en bra utrymningsorganisation med tydliga roller förbättrar brandskyddet ytterligare.

Det saknas larmknappar i närheten av Storbåten på plan 2, vilket innebär att det till viss del även saknas larmknappar kring Vasaskeppet. Installation av larmknappar samt ett samplande detektionssystem i närheten av Storbåten och Vasaskeppet skulle förkorta detektions- och larmtid ytterligare vilket vidare skulle förbättra utrymningen i Scenario B – Storbåten.

Trapphus J och K är ämnade för rullstolsburna eftersom dessa är tillräckligt stora för att en rullstol ska få plats och säkert kunna invänta hjälp vid utrymning från annat plan än plan 4. Skyltning till dessa trapphus kan göras tydligare för de rullstolsburna genom att sätta upp en utrymningsskylt, i 90° vinkel till gångvägen, med en rullstolssymbol i tillägg till den skylt som redan finns på plats.

Som tidigare nämnt är personalen välutbildad vad gäller utrymningar och utrymningsövningar genomförs med jämna mellanrum. Personalen har specifika uppgifter när ett larm går för att effektivisera utrymning och hjälpa besökare. Detta tros sänka utrymningstiden avsevärt. Ingen större hänsyn tas till detta i simuleringarna vilket leder till ett konservativt resultat.

10.3 Lagstiftning och Boverkets byggregler

Vasamuseet uppfyller de krav som LSO ställer på SBA (systematiskt brandskyddsarbete) samt skriftlig dokumentation av detta och uppföljning sker årligen. Ansvaret för arbetet är delat mellan Vasamuseet och den faktiska fastighetsägaren. Under platsbesöket uppfattades detta samarbete fungera väl.

Enligt LSO ska det, i skäligen omfattning, också finnas släckutrustning och åtgärder ska vara vidtagna för att förhindra och begränsa skador till följd av brand. Även detta är tillsett i skeppshallen i Vasamuseet. Olika typer av släckutrustning finns på varje besöksplan och dessa kontrolleras dagligen. Det finns även sjukvårdsutrustning och utrymningsutrustning (utrymningskort och liknande) som kontrolleras veckovis.

En närmare granskning av gångavstånden till utrymningsväg enligt förenklad dimensionering har inte genomförts i den här analysen, men övriga regler som ges i BBR avseende brand uppfylls i skeppshallen i Vasamuseet. Brandskyddet i sin helhet uppfattas som tillfredsställande genom förekomsten av flera automatiska brandskyddssystem.

Ett av de automatiska systemen är det talade utrymningslarmet vilket är rekommenderat för den aktuella verksamheten enligt de allmänna råden i BBR. Ljudnivån för meddelandet styrs efter ljudnivån i hallen vilket säkerställer att samtliga besökare kan höra meddelandet. Meddelandet ges både på engelska och på svenska vilket också uppfyller det allmänna rådet. Gällande utrymningsvägar uppfylls det fordrade antalet som krävs och kravet på bredden för dessa är också överensstämmande med BBR. Regelenlig skyltning finns.

10.4 Grovriskanalys

I grovanalysen förs ett kvalitativt resonemang för att identifiera dimensionerande scenarier med avseende på sannolikhet och konsekvens. Scenarier identifierades till viss del redan under besöket och vidare diskussion fördes i efterhand. Av denna anledning kan grovanalysen till viss del vara bristfällig och inte spegla hela den riskbild som finns. Utifrån de scenarier som identifierades har dock de värsta troliga analyserats vidare vilket ger ett konservativt resultat. Valet av scenarier anses representativa för troliga scenarier som kan uppkomma vid brand i Skeppshallen.

10.5 Scenarioanalys

Storbåten är behandlad med PEG vilket inte har beaktats då tester visar att vasaeken ändå brinner som vanligt trämaterial. Dock smälter impregneringen och droppar vilket i sig skulle kunna påskynda brandförloppet men detta har inte analyserats vidare. Trämaterialets ålder har också åsidosatts. I enlighet med effektutvecklingskurvor av ek tros resultatet ändå stämma väl överens med verkligheten. Dessvärre finns inga effektutvecklingskurvor att tillgå från försök med vasaeken som gjorts.

Det är svårt att veta hur många jackor som vanligtvis hänger i garderoben men ett antagande på hur många jackor som borde få plats i garderoben gav den slutliga effektutvecklingen där en hopslagning av ett par olika effektkurvor för jackor och kläder tros spegla verkligheten. Antalet jackor kan variera både upp och ner mot vad som räknats med och de kan vara av annat material än vad effektutvecklingskurvorna anger.

Under platsbesöket upptäcktes ingen materiel som blockerade dörrar eller passager i övrigt. Därför antogs samma förutsättningar i utrymningssimuleringarna. Eventuella dörrar och passager som blockerades berodde enbart av påverkan från branden.

10.6 Simuleringar

Simuleringen i FDS är förknippad med begränsningar vilket bör beaktas. Generellt ansågs dock FDS vara den simuleringsmodell som bäst kunde appliceras på Vasamuseet och skeppshallen på grund av den komplexa geometrin. De flesta val och förenklingar relaterade till indata diskuteras i Bilaga 6.

Vid analys av resultatet från simuleringarna gjordes bedömningar av rökfyllnaden. Dessa baseras på den sotandel som specificerades som indata till simuleringen. För scenario H – Garderoben baserades detta enbart på polyester vilket ledde till konservativa resultat för rökfyllnad. Vad gäller analys av rökfyllnad bör det också noteras att denna i visualiseringsprogrammet Smokeview baseras på brandens sotproduktion. Som tidigare nämnt korrelerar inte utdata från FDS med experiment i det avseendet och särskild beaktning bör därför tas. Detta blir, i Tabell 6, tydligt då det görs en jämförelse mellan tid för bedömd rökfyllnad och tid då kritiskt förhållande för sikt uppstår. Med hänsyn till detta beaktas resultat för siktförhållanden framför resultat för rökfyllnad.

I Bilaga 6 förs en diskussion gällande valet av tillväxtfunktion för respektive brand. Valet att använda den så kallade RAMP-funktionen görs för att kunna behålla verklighetsförankrade geometrier på bränderna. Vid användning av denna funktion erhålls en högre sotproduktion i det initiala skedet än vad en verklig brand skulle ha bidragit med. Eftersom det simulerade förloppet till stor del baseras på det initiala brandskedet ger detta konservativa resultat för sotproduktionen. I scenario H – Garderoben kan detta också ha lett till att den simulerade detekteringen sker snabbare än vid en verklig brand. På det stora hela tros dock inte detta påverka möjligheten för säker utrymning.

För att uppnå ett bättre och tydligare resultat hade det varit önskvärt att placera så kallade slice files för exempelvis sikt och temperatur i horisontella plan i simuleringen av brandförloppet. Detta var tyvärr något som uppmärksammades för sent under arbetets gång (efter simuleringarna) vilket gjorde att nya simuleringarna inte var möjliga. Resultatet anses trots detta vara fullgott och möjligt att analysera på ett tillfredsställande sätt.

Vid placering av besökare i utrymningssimuleringarna har det tagits hänsyn till logiska resonemang och teorier om hur människor tenderar att bete sig vid utrymningssituationer. Av denna anledning utrymmer relativt många genom huvudutgången samt entrén. Detta bör spegla en verklig utrymningssituation på ett rättvist sätt. Vid åtgärder där personal visar besökarna de närmaste utgångarna händer inte detta i samma utsträckning.

Vidare, när det gäller val av utrymningsvägar, uppstår köbildning vid trapphus K samt utrymningsporten. När agenterna i utrymningssimuleringen får en utrymningsväg tilldelad kommer de att hålla sig till denna även om köbildning uppstår. I verkligheten är besökare förmodligen mer benägna att omvärdera sitt val av utrymningsväg om de märker att köer bildas.

I utrymningssimuleringarna räknas det med att agenterna är i säkerhet när de har passerat dörrarna ut till trapphus K och J och alltså tas ingen hänsyn till hur integrering från andra våningsplan i trapphuset ser ut eller hur det påverkar vidare utrymning ut i det fria. Det är

tidigare nämnt att dessa trapphus är dimensionerade för att rullstolsburna ska kunna vänta på assisterad utrymning på trappavsatserna. Detta ska dock inte påverka möjligheten för övriga besökare att utrymma.

Gällande fördelning av olika besökskategorier har detta i rapporten baserats på de anställdas uppfattning samt logiska resonemang kring värsta troliga fall. Hade det istället varit möjligt att basera denna fördelning på statistik från museet hade utrymningssimuleringen kunnat spegla verkligheten på ett bättre sätt.

10.7 Resultat

Modellen för strålningsberäkningar är en enkel modell med konservativa kritiska förhållanden som ofta används vid beräkning av strålning från en flamma till ett mål (Karlsson & Quintiere, 2000). Alla har enligt simuleringarna för Storbåten hunnit utrymma från plan 2 innan kritiska förhållanden för strålning uppstår (300 sekunder) vilket gör att detta inte påverkar utrymningen. I scenariot med garderobsbranden kommer utrymning kunna ske genom huvudutgången utan att personer blir utsatta för kritiska strålningsnivåer. Dock tros personalen i informationsdisken tidigt upptäcka branden och leda besökarna till andra utgångar. Detta gör att utrymningstiden blir konservativ då huvudutgången stängs utan att kritiska förhållanden har uppstått.

Utrymningssimuleringar gjordes konservativt med maximal belastning av besökare på 2000 personer. Det är troligt att många av dessa befinner sig i restaurangen och då har andra utrymningsdörrar att använda än via skeppshallen vilket ger ett ännu mer konservativt resultat.

Resultatet visar att om de teoretiska värdena från CFD-simuleringen jämförs med värdena från utrymningssimuleringen fås en negativ säkerhetsmarginal för utrymning från några av planen i scenariot med Storbåten. Eftersom inga kritiska värden för toxicitet, temperatur eller sikt uppstår innan utrymning fullföljts kan det bortses från de negativa säkerhetsmarginalerna. Kritiska förhållanden uppstår först på plan 6 och plan 7 när sikten blir sämre men här fås ändå positiva säkerhetsmarginaler. Gällande garderobsbranden kommer utrymning kunna ske innan kritiska förhållanden uppstår.

Det bör också tilläggas att några av agenterna stannade kvar på våningsplanet onaturligt länge, vilket kan förklaras av den log-normala fördelningen av förberedelsestid. I verkligheten hade motsvarande besökare troligtvis lämnat respektive våningsplan i ett tidigare skede. Detta observerades i flera av utrymningssimuleringarna från plan 7. Generellt sett observerades väldigt lika beteenden hos agenterna i de båda scenarierna. Detta förklaras av att samma antal agenter och placering av dessa användes i simuleringarna av de båda scenarierna.

I scenario H – Garderoben är säkerhetsmarginalen för utrymning noll sekunder. Denna marginal är enbart baserad på kritiska förhållanden för rökgaslagrets höjd över golvet. I scenariot med Storbåten är exempelvis skillnaden mellan bedömda kritiska förhållanden för rökgaslagrets höjd och sikten över 100 sekunder. Marginalen för scenario H bedöms därför vara godtagbar då den är baserad på resultat som är väldigt konservativa och eftersom inga kritiska nivåer för toxicitet uppfylls.

10.8 Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen visar att då parametrar varierades med +/-5 %, se Tabell 13, kan säkerhetsmarginalen bli negativ för plan 7. Att fördela besökarna mer jämnt mellan utgångarna, för att undvika köbildning, togs då fram som ett åtgärdsförslag. Genom den utrymningsorganisation som redan finns för verksamheten borde det finnas utrymme för utrymmarna att dirigera och fördela besökarna mellan utgångarna. Dessutom skulle besökarna i verkligheten kunna välja en annan utgång om det bildas kö vid den de initialt valt och vilket nämnts tidigare i diskussionen är detta något som det inte kunde tas hänsyn till i Pathfinder.

Något som varken hanteras i scenarioanalysen eller i känslighetsanalysen är scenarier där brandgasventilationen eller utrymningslarmet är ur funktion. Utrymningslarmet kan hanteras manuellt och felfunktion antas inte få så stor påverkan på utrymningen. Kontroll görs regelbundet av brandgasventilationens funktion men om systemet skulle felfunktionera skulle tiden till kritiska förhållanden kunna påverkas negativt.

11 Förslag till förbättringar

Generellt är brandsäkerheten på Vasamuseet god med avseende på analysens skyddsmål, men den kan alltid förbättras ytterligare. Detta kan göras med både åtgärder som *skall* göras och med åtgärder som *bör* göras. Efter denna analys anses det inte finnas några åtgärder som skall åtgärdas. Nedan listas de åtgärder som rekommenderas för att förbättra brandsäkerheten i skeppshallen ytterligare.

Organisationen vid utrymning bör förbättras genom att träna personalen till att försöka få besökarna att utrymma genom närmaste nödutgång. Särskilt fokus bör ligga på att utrymma plan 7 så tidigt som möjligt då kritiska förhållanden uppstår fortast där. Detta skulle ge ett snabbare utrymningsförlopp. En beskrivning och verifiering av detta finns i känslighetsanalysen.

De personer som missar utbildningstillfället ska i dagsläget läsa ett utbildningshäfte och på så sätt ta del av utbildningen. En uppföljning på att de faktiskt läser häftet bör göras.

På Vasaskeppet observerades en hel del apparatur och lampor som används till underhåll av skeppet. Då tekniska fel är en vanlig orsak till att det börjar brinna bör mängden av dessa minskas i den mån det går. Då skulle sannolikheten att en brand uppstår på Vasaskeppet minska. Positivt är dock att skeppet är utrustat med handbrandsläckare och brandfilter.

I det talade utrymningsmeddelandet bör det meddelas att det finns en brand i hallen och att det är orsaken till utrymningen. Detta leder till ett snabbare agerande och besökarna slipper tänka på vad som orsakar utrymningen (Proulx & Sime, 1991).

Det är viktigt att de rullstolsburna besökarna lätt kan upptäcka nödutgångarna till trapphus J och K. Utrymningsskyltar finns idag vid dessa utrymningsvägar men en rullstolssymbol bör tilläggas för att uppfatta att dessa är till för rullstolsburna. Ett exempel på hur detta kan se ut visas i Figur 33. I dagsläget sitter skylten precis intill dörren. Denna kan med fördel flyttas ut till mitten av korridoren med bibehållen 90° vinkel mot gångriktningen för att enklare läggas märke till.



Figur 33. Utrymningsskylt till trapphus J och K.

Storbåten innehar stor brandbelastning och det saknas brandskyddsutrustning i närheten av denna. Ett sätt att sänka varseblivningstiden är att installera en manuell larmknapp som är lättåtkomlig för att slippa ta sig till informationsdisken för att varsko att det brinner. En larmknapp bör därför installeras i anslutning till storbåten och övriga platser där brandbelastningen är stor.

11.1 Verifiering av åtgärder

Åtgärdsförslaget att förbättra organisationen vid en utrymning genom att träna personal att hänvisa besökarna till närmaste nödutgång har verifierats vidare i Pathfinder, se avsnitt 9. I detta försök utrymmer besökarna genom närmaste nödutgång och inget fokus läggs på det val av utrymningsväg som görs i en utrymningsituation. Detta leder till att köbildning inte uppstår i lika stor utsträckning som i de ordinarie simuleringarna. Samtliga besökare förväntas kunna utrymma säkert med den införda åtgärden.

Övriga förslag är av mer kvalitativ karaktär och inga simuleringar för att verifiera dessa har gjorts utan istället har ett resonemang kring dessa förts i avsnitt ovan.

12 Slutsats

Vasamuseet bedöms ha ett tillfredsställande brandskydd med en välfungerande utrymningsorganisation. Utifrån de simuleringar och antaganden som gjorts i den här riskanalysen har det visat sig att personsäkerheten kan säkerställas gällande utrymning från samtliga plan. I känslighetsanalysen framkom dock att en liten negativ säkerhetsmarginal kan uppstå.

För att förbättra brandskyddet ytterligare *bör* följande åtgärder genomföras:

- Inför rutiner där personal hänvisar besökarna till närmaste utgång vid utrymning.
- Inför rutiner för att tillse att plan 7 utryms omedelbart vid larm.
- Inför rutiner för att följa upp att den egenutbildning av personal som sker via utbildningshäftet faktiskt genomförs.
- Tillse att så lite eldriven materiel som möjligt förvaras ombord Vasaskeppet.
- Ändra manuset i det talade utrymningsmeddelandet så att orsaken för utrymning (brandtillbud) nämns.
- Tillse att skyltarna vid trapphus J och K innehåller en rullstolssymbol.
- Installera manuella larmknappar i anslutning till platser där brandbelastningen är stor.

13 Referenser

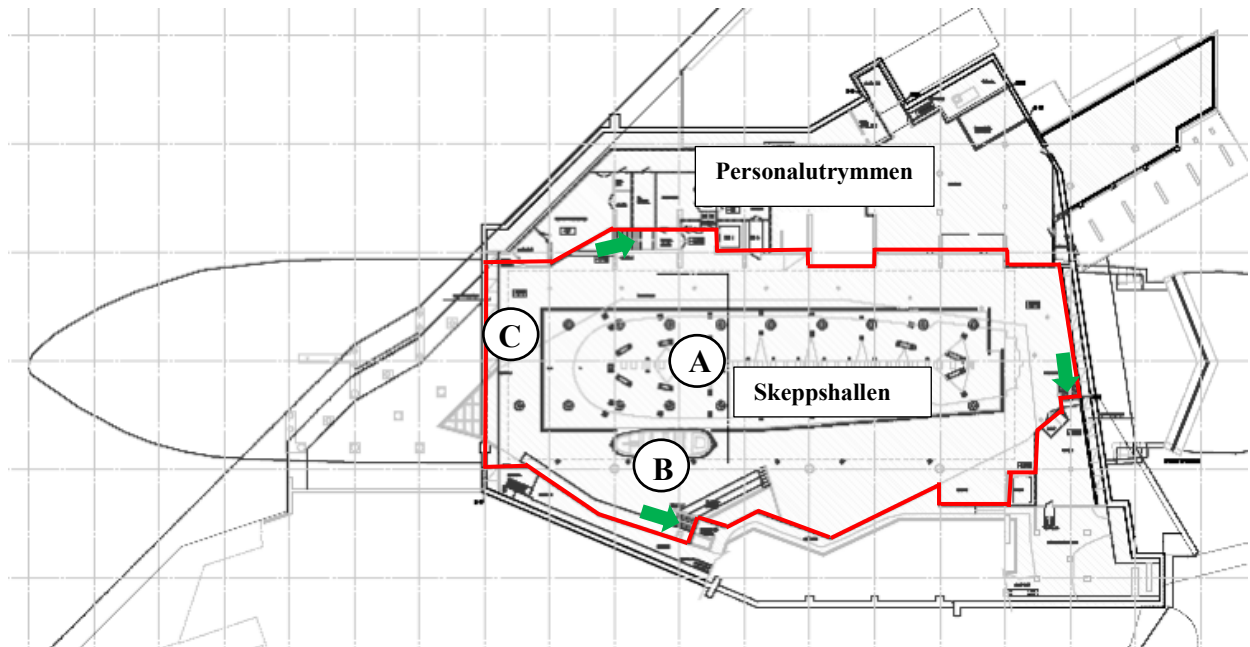
- Abrahamsson, M. (1997). *Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler*. Lund: Institutionen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- Arvidsson, C. (January 2008). Vasamuseet- En unik byggnad för ett unikt föremål. *Kulturvärden nr 1*, 8-13.
- Bengtsson, L.-G. (2001). *Innomhusbrand*. Karlstad: Räddningsverket.
- BFS. (2013:12). *Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, BBRAD 3*.
- BFS. (2017:5). *Boverkets Byggregler, BBR25*. Stockholm: Boverket.
- BIV. (2013). *CFD-beräkningar med FDS*. Malmö: Föreningen för brandteknisk ingenjörsvetenskap, BIV.
- Canter, D., Breaux, J., & Sime, J. (1980). *Fires and human behaviour*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Ehab, Z., & George, H. (2001). *Characterizing of design fires for clothing stores*. Ontario: Department of Civil and Environmental Engineering, Carleton University.
- Frantzich, H. (2000). *Tid för utrymning vid brand*. Karlstad: Räddningsverket.
- Fridström, D. (2013). *Vasamuseet, Djurgården- Om- och tillbyggnad*. Stockholm: Brandkonsulten AB.
- Google Maps. (den 19 03 2018). Hämtat från <https://www.google.se/maps/dir/Vasamuseet,+Galärvarvsvägen,+Stockholm/Östermalms+Brandstation,+Artillerigatan+69,+114+45+Stockholm/@59.3349218,18.0812361,15z/data=!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x465f9d546d8329af:0xcff09af1b4c13241!2m2!1d18.0913964!2d59.3280233!1m5>
- Hasburgh, L., White, R. H., Dietenberger, M. A., & Boardman, C. R. (2015). *Comparison of the Heat Release Rate from the Mass Loss Calorimeter to the Cone Calorimeter for Wood-Based Materials*. Madison: US Forest Service Forest Products Laboratory.
- Hassel, H. (2017). *Osäkerhetsanalys, riskvärdering och kvalitet*. Avdelningen för riskhantering och samhällssäkerhet, Lunds Tekniska Högskola.
- Johansson, B. (2004). *Analys av utrymningssäkerheten vid brand hos nattklubben Underbar i Skellefteå*. Lund: Department of Fire Safety Engineering, Lund University.
- Karlsson, B., & Quintiere, J. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.
- Karlsson, P. (den 12 02 2018). Frågor vid platsbesök.
- Karlsson, P. (den 12 02 2018). Presentation vid platsbesök.
- Kholshchevnikov, D., Samoshin, D., Parfyonenko, A., & Belosokhov, I. (2012). *Study of children evacuation from pre- school education insitutions*. Moscow, Russia: Emergencies and elimination of consequences of natural disasters.

- Lago, U. (2002). *Brand i lastpallslager*. Norrköping: Räddningsverket.
- McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Weinschenk, C., & Overholt, K. (2014). *FDS User Guide*. NIST.
- MSB:s statistik och analysverktyg IDA. (den 16 02 2018). Hämtat från <https://ida.msb.se/>
- Nilsson, D., & Holmstedt, G. (2008). *Kompendium i aktiva system - detektion*. Lunds universitet, Lunds tekniska högskola. Brandteknik och riskhantering.
- Norén, J., & Möller, M. (2010). *Brand- och utrymningsanalys*. Stockholm: Ramböll Sverige AB.
- Nystedt, F., & Frantzich, H. (2011). *Kvalitetsmanual för brandtekniska analyser vid svenska kärntekniska anläggningar*. Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University.
- Palisade. (den 10 04 2018). *Monte Carlo Simulation*. Hämtat från Palisade: http://www.palisade.com/risk/monte_carlo_simulation.asp
- Proulx, G., & Sime, J. (1991). To prevent 'Panic' in an underground emergency: Why not tell people the truth? i *Fire Safety Science – Proceedings of the 3rd International Symposium* (ss. 843-852). Edinburgh, UK.
- Purser, D. A. (2002). Toxicity Assessment of Combustion Products. i P. J. DiNenno, *SPFE Handbook of Fire protection Engineering* (ss. 2/83-2/171). Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- Purser, D., & Bensilum, M. (2001). *Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations*. Watford: Fire Safety Engineering Centre, Building Research Establishment.
- Ronchi, E., & Nilsson, D. (2016). *Basic Concepts and modelling methods*. Department of Fire Safety Engineering, Lund University.
- Rüegg, H., & Arvidsson, T. (2009). *Fire safety engineering concerning*. Zürich; Stockholm: CFPA Europe.
- SFPE. (2002). *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd Edition*. Quincy, Massachusetts: NFPA Inc.
- SFS. (2003:778). *Lag om skydd mot olyckor*. Stockholm: Justitiedepartementet.
- Sime, J. D. (1985). *Movement toward the familiar- Person and place affiliation in a fire entrapment setting*. Sage Publications Inc.
- SRVFS. (2004:3). *Statens räddningsverks allmänna råd och kommentarer om systematisk brandskyddsarbete*. Stockholm: Statens Räddningsverk.
- Staffansson, L. (2010). *Selecting design fires*. Lund: Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University.
- Statens Maritima Museer. (den 21 02 2018). Hämtat från <https://www.maritima.se/om-myndigheten>

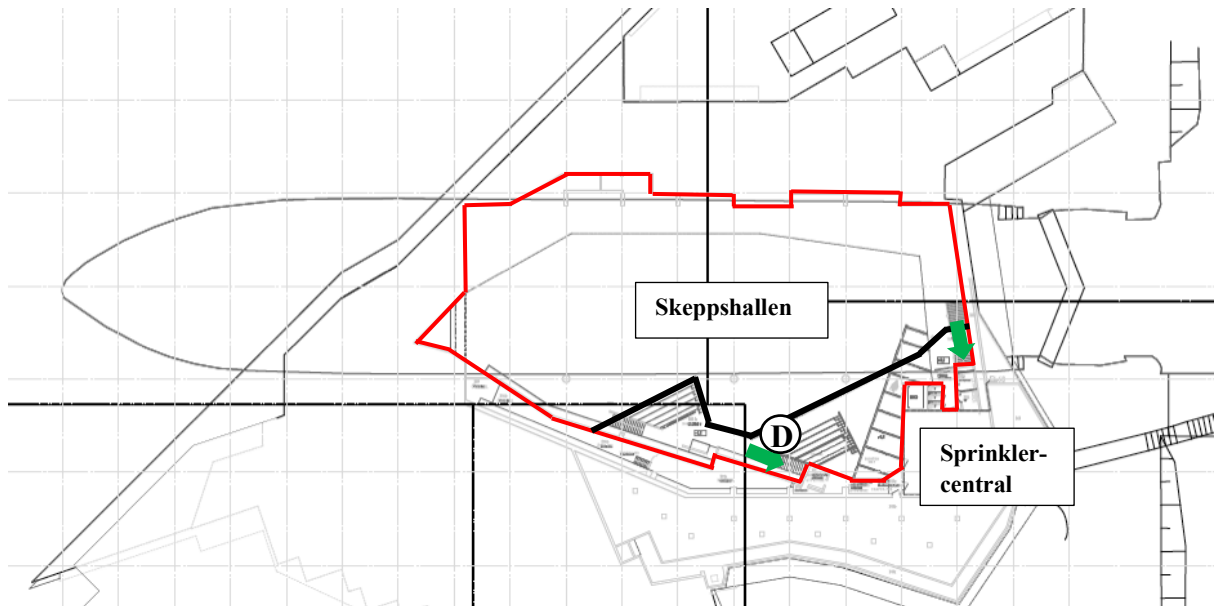
- Statens Maritima Museer.* (den 22 02 2018). Hämtat från Vasamuseet:
<https://www.vasamuseet.se/vasas-historia/tidslinje>
- Statens Maritima Museer.* (den 02 03 2018). Hämtat från Vasamuseet; Audioguide:
<https://www.vasamuseet.se/en/visit/audioguide>
- Statens Maritima Museer.* (den 25 04 2018). Hämtat från Museet:
<https://www.vasamuseet.se/vasas-historia/museet>
- Storstockholms Brandförsvär. (2007). *Insatsplan- Vasamuseet.*
- Sundström, B., & Kaiser, I. (1985). *Brandteknisk undersökning av ek från reaglskeppet wasa.* Borås: Statens Provningsanstalt.
- Thunderhead Engineering. (den 09 04 2014). *Pathfinder User Manual.* Manhattan, USA.
Hämtat från https://www.thunderheadeng.com/wp-content/uploads/dlm_uploads/2011/07/users_guide-3.pdf
- Walton, W., & Twilley, W. (1984). *Heat Release and Mass Loss Rate Measurements for Selected Materials.* Gaithersburgh: U.S. Department of Commerce.
- Zachar, M., Majlingová, A., Martinka, J., Xu, Q., Balog, K., Dibdiaková, J., . . . Rybakowski, M. (2014). *Impact of Oak wood ageing on the heat release rate and the yield of.* Bratislava: European Science and Research Institute.

Bilaga 1 Avgränsningar, utrymningsvägar och placering av scenarier

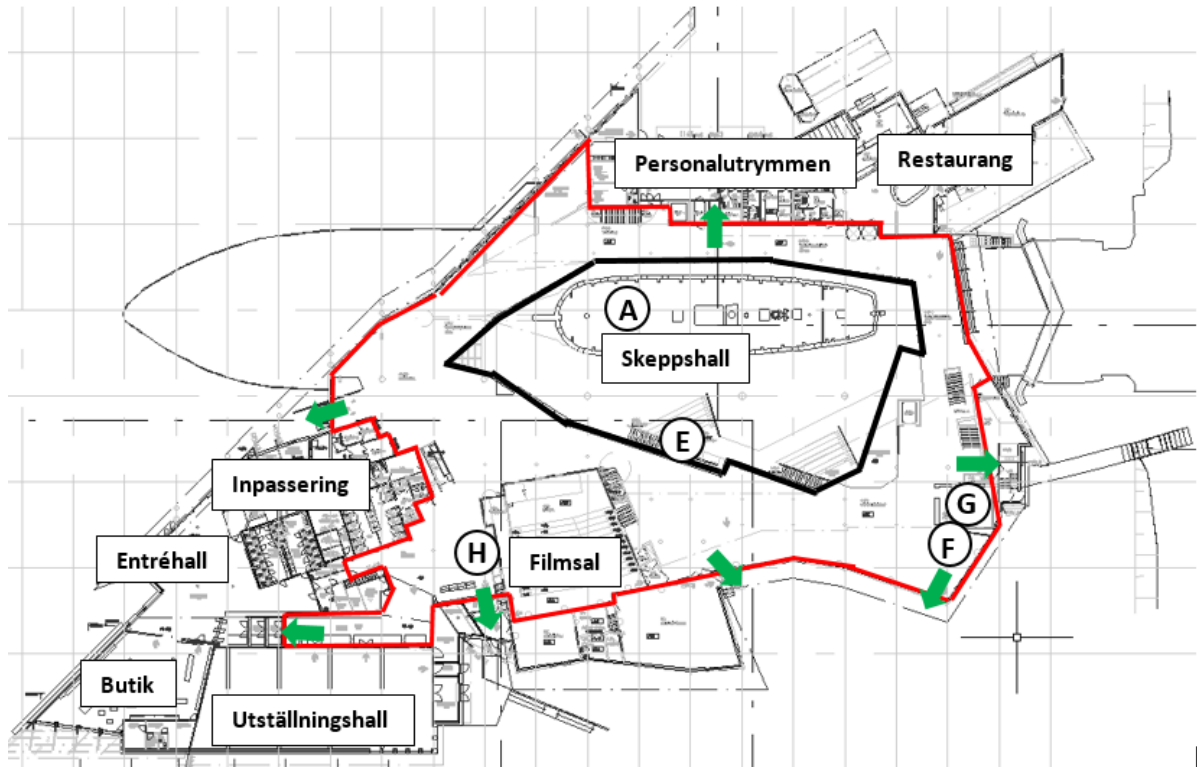
I denna bilaga presenteras avgränsningar (röd markering), utrymningsvägar (gröna pilar) och placering av scenarier (bokstav) för respektive plan. Detta görs i Figur 34, Figur 35, Figur 36, Figur 37, Figur 38 och Figur 39.



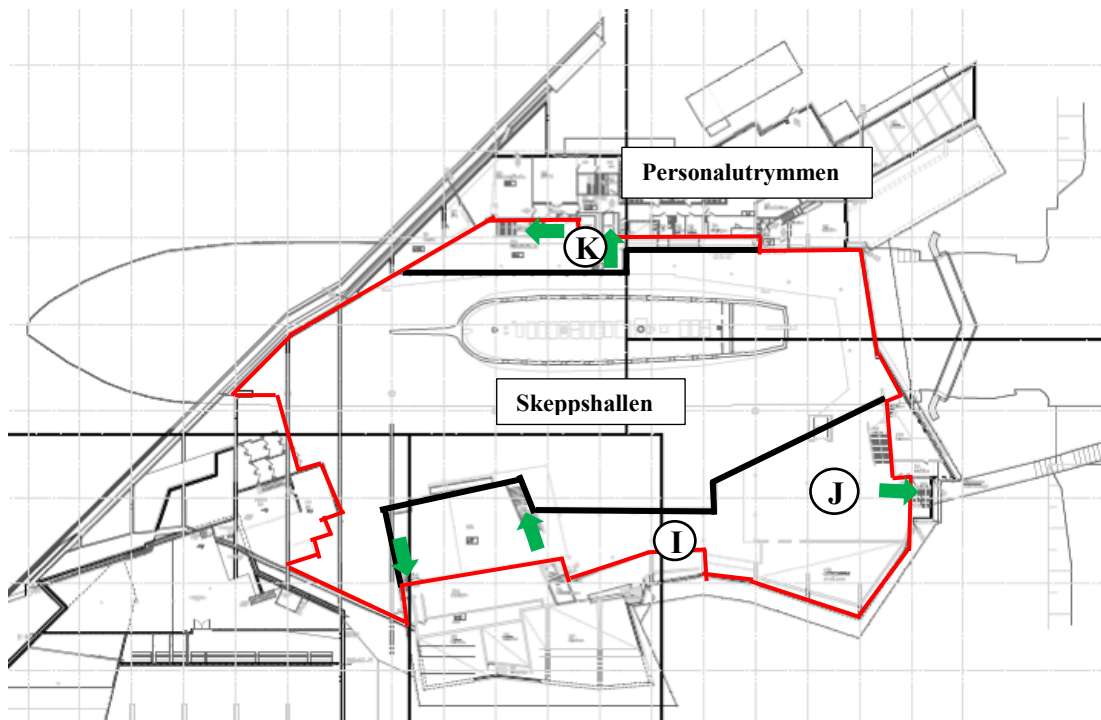
Figur 34. Översikt plan 2.



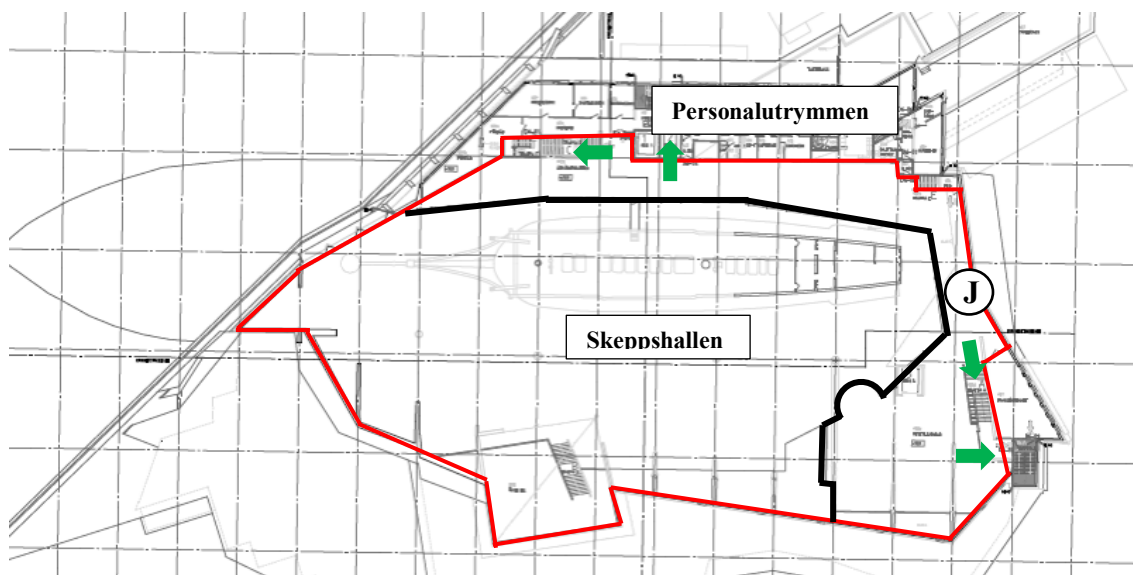
Figur 35. Översikt plan 3.



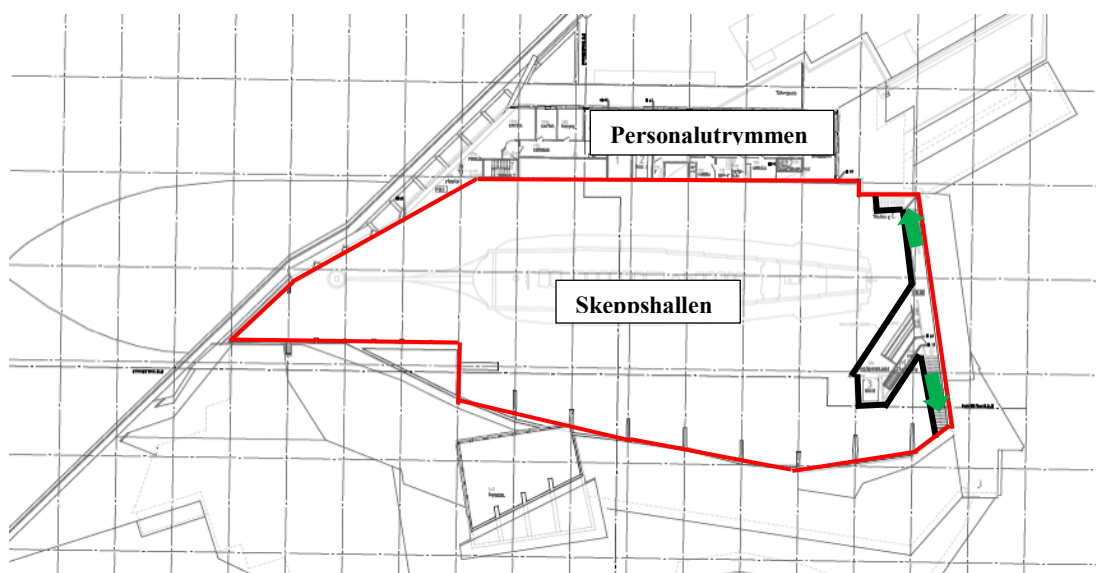
Figur 36. Översikt plan 4.



Figur 37. Översikt plan 5.

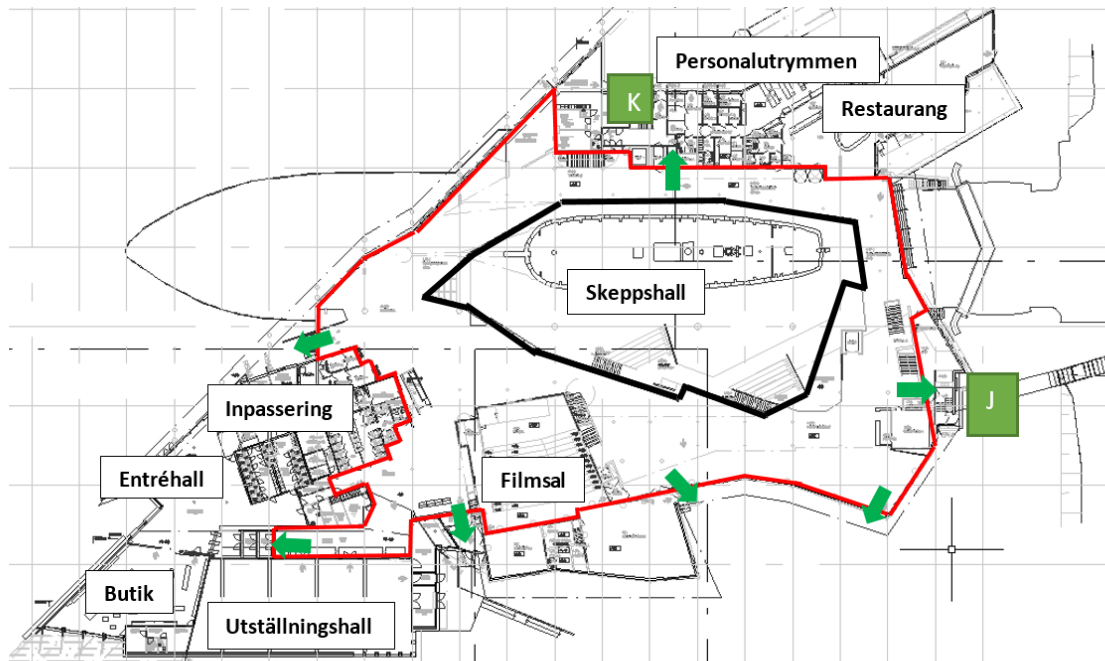


Figur 38. Översikt plan 6.

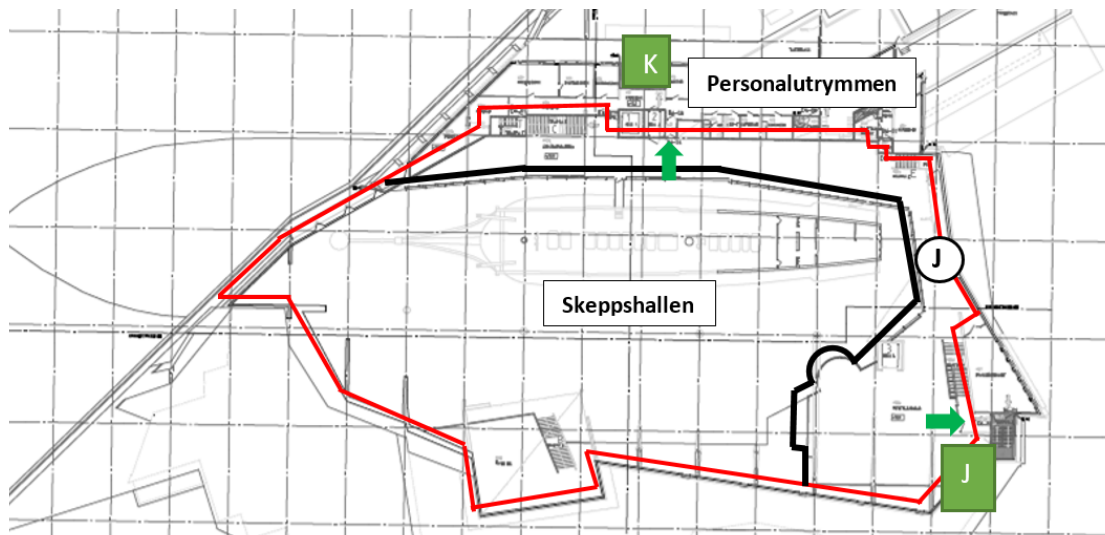


Figur 39. Översikt plan 7.

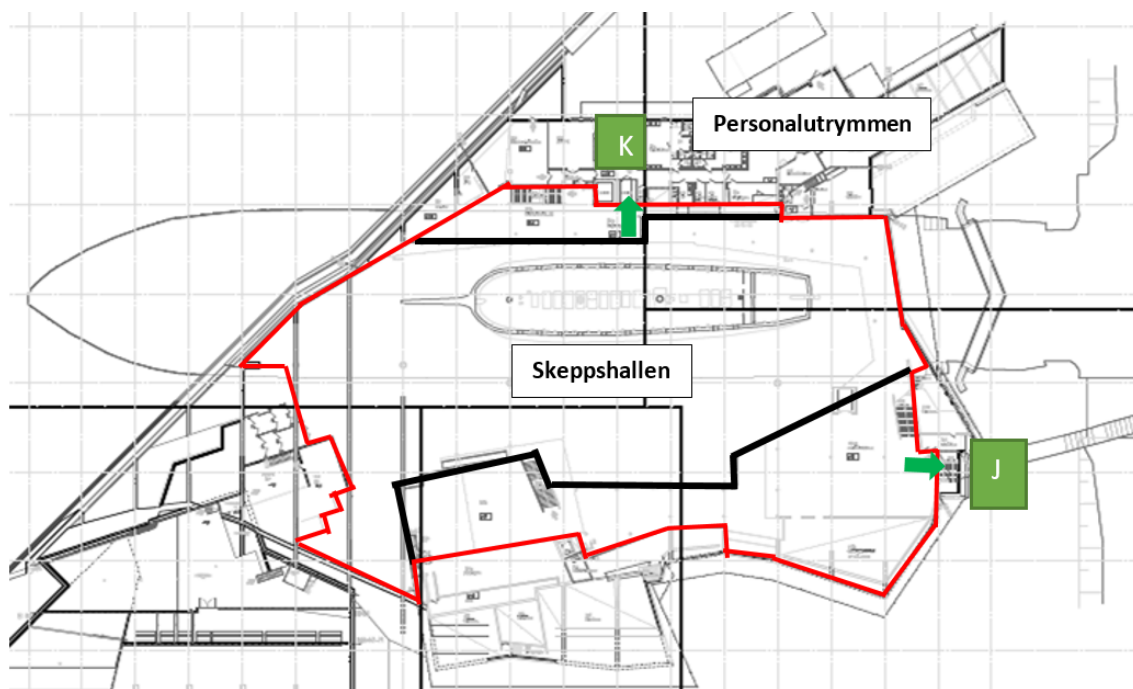
I nedanstående figurer presenteras trapphus K och J via vilka funktionshindrade kan utrymma då det där finns utrymme planerat för rullstol i utrymningsituationer. De gröna pilarna visar andra möjliga utrymningsvägar för funktionshindrade vid dessa plan. På övriga plan får de förlita sig på att få hjälp att bli uppburna genom ordinarie trapphus då trapphus K och J inte finns på dessa plan.



Figur 40. Plan 4 med utrymningsvägar för funktionshindrade.



Figur 41. Plan 5 med utrymningsvägar för funktionshindrade.



Figur 42. Plan 6 med utrymningsvägar för funktionshindrade.

Bilaga 2 Effektutvecklingskurvor

I den här bilagan redovisas hur de dimensionerande bränderna för scenario B och H har tagits fram. För att ta fram kurvorna används ett antal ekvationer. Ekvation 2 antas gälla för tillväxtfasen av branden, alltså under den tiden innan vilken den maximala effektutvecklingen uppnåtts.

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

där

$$\dot{Q} = \text{brandens effektutveckling} \quad [\text{kW}]$$

$$\alpha = \text{brandens tillväxtkonstant} \quad [\text{kW/t}^2]$$

$$t = \text{tid} \quad [\text{s}]$$

Den totala mängden frigjord energi från branden beräknas enligt Ekvation 3. Med hjälp av värdet för den frigjorda energin beräknas tiden för den fas då effektutvecklingen är konstant och avsvalningsfasen. Eftersom värden för förbränningsvärmen (ΔH_c) hämtas från experiment antas detta vara den effektiva förbränningsvärmen. Avsvalningsfasen antas börja då 70 % av den totala energimängden är förbrukad.

$$Q = \Delta H_c \cdot m \quad \text{Ekvation 3}$$

där

$$Q = \text{Total mängd frigjord energi} \quad [\text{kJ}]$$

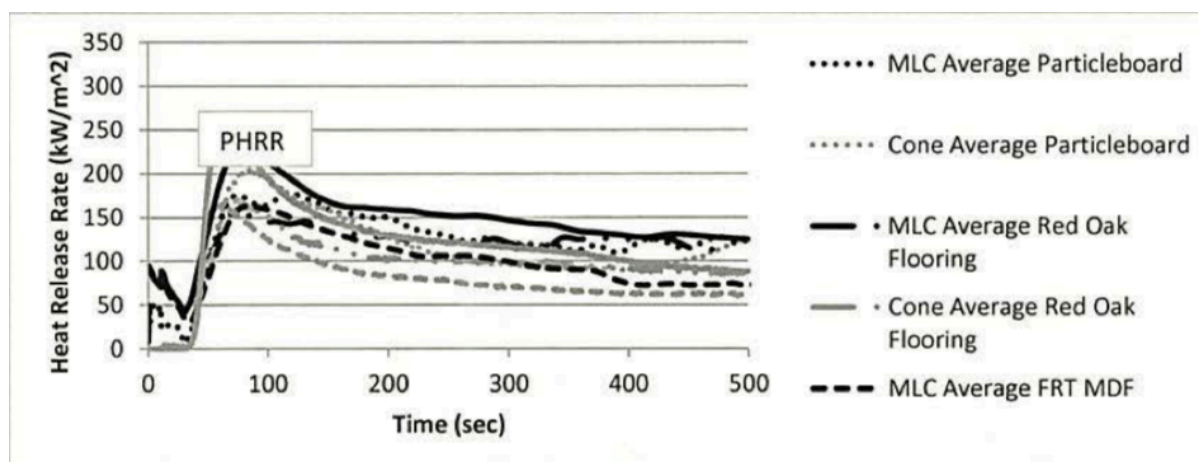
$$\Delta H_c = \text{förbränningsvärme (materialspecifikt)} \quad [\text{kJ/kg}]$$

$$m = \text{bränslets totala massa} \quad [\text{kg}]$$

Scenario B

Den dimensionerande effektutvecklingen för Storbåten baseras på experiment av röd ek (Hasburgh, White, Dietenberger, & Boardman, 2015). Röd ek används som dimensionerande då båten är tillverkad av ek och ett så snarlikt material som möjligt ger ett bättre resultat. Detta trots att tester enligt RISE visar att vasaeken beter sig på ungefär samma sätt som vanligt trä vid en ordentlig brand. Skillnaden mot vanligt trä är att impregneringsmaterialet, PEG 4000, smälter vid 53–59 °C och droppar vid liten strålningsnivå. Detta tas dock ingen hänsyn till i denna rapport.

Effektutvecklingen utgår ifrån Figur 43 där effektutvecklingen uppgår till 250 kW/m² efter cirka 60 sekunder (Hasburgh, White, Dietenberger, & Boardman, 2015). α -värdet räknas ut till 0,069 kW/s² enligt Ekvation 2.

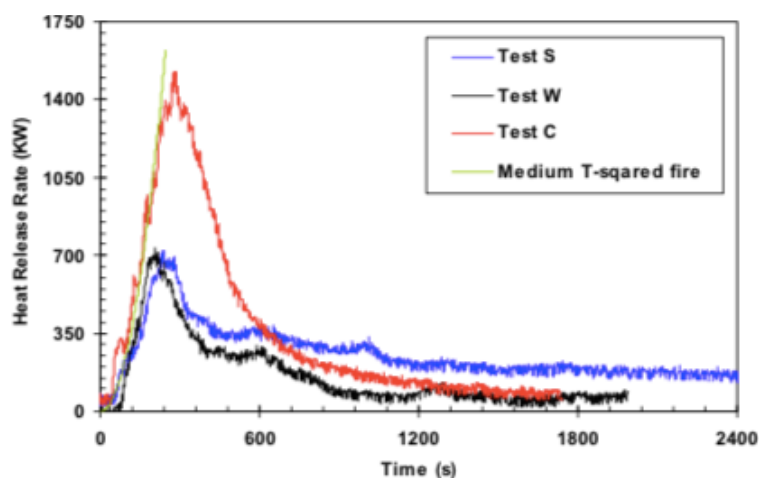


Figur 43. Effektutvecklingen baseras på tester av röd ek. (Hasburgh, White, Dietenberger, & Boardman, 2015)

Båtens längd är 11,7 meter och bredden är 3,2 meter vilket ger en total yta på 37,44 m². Den totala effektutvecklingen från båten är 9,36 MW. Den frigjorda energin från Storbåten baseras på ett värde från (Walton & Twilley, 1984) på 12,6 MJ/kg vilket tillsammans med vikten på fyra ton ger totalt 50400MJ, enligt Ekvation 3. Tiden fram till avsvälningen börjar beräknas genom integrering av ekvation 2 där energimängden som använts är 70 % av den totala (Staffansson, 2010). Den tiden sätts till 67 minuter. Avsvälningssfasen antas se ut som den gör i Figur 25. Då branden troligtvis kommer vara släckt innan båten brunnit ner, alltså tidigare än 60 minuter, läggs ingen större vikt vid att få fram en exakt kurva för detta.

Scenario H

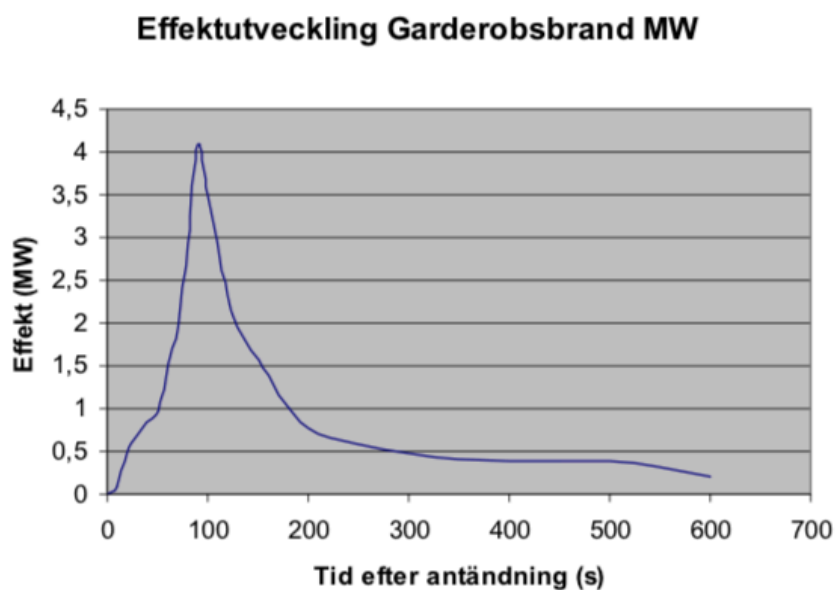
Den dimensionerande effektutvecklingen baseras på två experiment. Resultatet från det experiment som genomfördes med kläder visas i Figur 44. Tre olika försök genomfördes i experimentet och den kurva som i figuren benämns "Test C" antas giltig för scenariot i analysen då denna motsvara ett försök där i huvudsak kläder antändes. I försöket nåddes den maximala effektutvecklingen 1,5 MW efter cirka 300 sekunder (Ehab & George, 2001). Detta ger ett α -värde på 0,0167 kW/s² enligt Ekvation 2.



Figur 44. Resultat från experiment med kläder, Test C giltig (Ehab & George, 2001).

Resultatet från det experiment som genomfördes för att ta reda på effektutvecklingen från en brand i en nattklubbsgarderob visas i Figur 45. I experimentet antändes 105 stycken jackor av

varierande karaktär samt några skor och paraplyer. Den maximala effektutvecklingen 4 MW nåddes efter cirka 100 sekunder (Johansson, 2004). Detta ger α -värdet $0,4 \text{ kW/s}^2$ enligt Ekvation 2.



Figur 45. Resultat från experiment med jackor i garderob (Johansson, 2004).

Garderoben i Vasamuseet förväntas rymma 100 jackor av olika slag. Resultatet för det första experimentet bedöms vara giltigt för 50 jackor och därför anpassas den maximala effektutvecklingen med en faktor två, alltså 3 MW. Den maximala effektutvecklingen för scenariot i Vasamuseet antas utgöra medelvärdet av de båda experimenten.

Vad gäller tillväxthastigheten och alfa-värdet görs bedömningen att den följer en vanlig fastbrand, $\alpha = 0,047 \text{ kW/s}^2$. Valet görs då tillväxthastigheten för experimentet med jackorna, $0,4 \text{ kW/s}^2$, är ovanligt högt och kan, enligt felkällorna i rapporten, betydligt ha påverkats av den brännare som användes för antändning. Vad gäller värdet för det första experimentet, verkar detta mer rimligt. En höjning görs dock med hänsyn till att mer luftinträngning väntas i de upphängda jackorna i scenariot (experimentet utfördes med en stor del vikta kläder på hög).

I det andra experimentet ovan (nattklubbsgarderob) användes elva jackor av olika slag. Medelvärdet för vikten av de olika jackorna var $0,752 \text{ g}$, vilket antas för scenariot i Vasamuseet. I experimentet beräknades även ett förbränningsvärde, men det konstateras i rapporten att detta tycks vara i underkant (Johansson, 2004). Värdet för förbränningsvärmens antas istället vara $26,5 \text{ MJ/kg}$, vilket är ett beräknat medelvärde för olika typer av kläder och material (Abrahamsson, 1997).

Utifrån värden angivna ovan blir den totala frigjorda energin från garderobsbranden i Vasamuseet $1992,8 \text{ MJ}$, enligt Ekvation 3.

Bilaga 3 Strålningsberäkningar

I denna bilaga presenteras hur strålningsberäkningarna i respektive scenario genomfördes. Utgångspunkten för beräkningarna är Ekvation 4 vilket är en ekvation som är vanlig att använda vid beräkning av strålning från en flamma till ett mål (Karlsson & Quintiere, 2000). Ekvationen användes för att bestämma det kritiska avståndet, $R_{0,kritisk}$, från branden vid kortvarig infallande strålning. Genom att använda effektutvecklingen i varje tidssteg kunde den kritiska strålningsnivån bestämmas beroende av tiden.

$$\dot{q}'' = \frac{\chi_r \cdot \dot{Q}}{4\pi R_0^2} \quad \text{Ekvation 4}$$

där

$$\dot{q}'' = \text{infallande strålning} \quad [\text{kW/m}^2]$$

$$\dot{Q} = \text{effektutvecklingen} \quad [\text{kW}]$$

$$\chi_r = \text{strålningsfraktionen av } \dot{Q} \quad [-]$$

$$R_0^2 = \text{avstånd från flammans mitt till mätpunkt} \quad [\text{m}]$$

Kritiskt värde för infallande strålning hämtas från avsnitt 5.3, vilket ger $\dot{q}''_{kritisk} = 10 \text{ kW/m}^2$. χ_r antogs vara 0,35 i båda scenarierna.

Ekvationen användes också för att beräkna den infallande strålningen mot Storbåten, vilket presenteras i avsnitt 7.3, Figur 27.

Bilaga 4 Val och motivering av indata för utrymningssimulering

I den här bilagan beskrivs de val av indata som gjordes för simuleringarna i Pathfinder.

Pathfinder

Pathfinder är en agentbaserad utrymningssimulator som använder styrningsbeteenden för att modellera rörelserna hos agenterna (besökare och personal). Geometrin är sammanhängande och agenterna som ska utrymma styrs med hjälp av koordinater som beskriver deras position, kroppsform och storlek.

Det finns två olika simuleringsmodeller där den som används i den här rapporten är ”steering mode”. Detta är mer realistiskt än ”SFPE mode” då agenterna kan röra sig helt fritt och modellen tar hänsyn till att människor normalt inte går tätt intill väggar eller andra personer utan har ett avstånd (ungefär 15 cm) till dessa (SFPE, 2002). I SFPE mode tillåts agenterna att krocka med varandra och deras rörelse är baserad på antaganden och handberäkningar från SFPE (Thunderhead Engineering, 2014).

Programmet tar inte hänsyn till hur mycket röken från en brand påverkar hastigheten på utrymningen. Däremot hämtas resultat från CFD-simuleringar för att försöka få även detta så realistiskt som möjligt.

Utöver de antaganden av indata som förklaras och motiveras nedan används standardinställningar.

Varseblivningstid

Varseblivningstiden är, som nämnts tidigare, den tiden det tar att bli medveten om att det brinner, ofta en detektionstid. I analysen är också längden på det talade meddelandet inräknad. Manus för detta presenteras i Figur 46. Tiden för att läsa upp meddelandet är cirka 30 sekunder vilket testats av författarna.

1. Vid brand-/förvarningslarm Denna text läses två gånger om det förinspelade meddelandet inte går ut med automatik.	
Attention, attention! We have an important message to all visitors.	Hallå, hallå! Vi har ett viktigt meddelande till alla besökare.
(Pause)	(Paus)
Our staff is at this moment investigating why the fire alarm has been activated. Please stay where you are and wait for further instructions.	Vår personal undersöker just nu anledningen till att brandlarmet har utlöst. Vänligen stanna där ni är och avvakta vidare information.
2. Vid brand eller annan orsak till utrymning Denna text läses två gånger när Ansvarig tjänsteman har gett order om utrymning om inte meddelandet går ut med automatik.	
Attention, attention! We have an important message to all visitors.	Hallå, hallå! Vi har ett viktigt meddelande till alla besökare.
(Pause)	(Paus)
For security reasons, the museum has to be evacuated. This will be done in good order. Please leave by the nearest emergency exit. They are marked with green signs. Our staff will help you.	Av säkerhetsskäl måste museet utrymmas. Låt detta ske lugnt. Gå ut genom närmaste nödutgång. De är markerade med gröna skyltar. Vår personal hjälper er.

Figur 46. Manus för det talade meddelandet.

Tiden från brandens start till tiden då ett alarm går och det talade meddelandet kan börja har för scenario B – Storbåten antagits till 90 sekunder. För scenario H – Garderoben hämtas tiden från simuleringarna i FDS vilka gav 17 sekunder (då detektion sker). Totalt ger detta en varseblivningstid på 120 sekunder respektive 47 sekunder.

Förberedelsetid

Förberedelsetiden, som är den tid det tar för besökare och personal att reagera och fatta ett beslut att påbörja evakuering, varierar från person till person och därför antas en log-normal fördelning för dessa tider, se resonemang i avsnitt 5.5. Bakgrunden till de tider som förberedelsetiden i analysen varierar mellan kommer från British Standard Institute och presenteras i Figur 47 (Rüegg & Arvidsson, 2009).

För utrymningen av skeppshallen används värden från kategorin innehållande museum. Eftersom skeppshallen är ett stort och komplext utrymme där samtliga besökare inte kan förväntas se branden gjordes valet att låta förberedelsetiden variera enligt både W1 och W2. Detta ger en tid på mindre än två minuter upp till ungefär tre minuter. Då personalen antas vara väl tränade och hjälpa besökarna att utrymma, vilket beskrivits under avsnitt 4.2, används inte tiden för W3. I Pathfinder sätts den lägsta tiden sätts till 60 sekunder med en standardavvikelse på 15 sekunder.

Eftersom besökarna som befinner sig närmast branden troligtvis reagerar snabbare än övriga och förstår att de verkligen måste utrymma sätts förberedelsetiden konstant till 30 sekunder för dessa (ett antaget personantal).

Occupancy type	W1 (min)	W2 (min)	W3 (min)	
Office, commercial and industrial buildings, schools, colleges and universities (Occupants awake and familiar with the building, the alarm system, and evacuation)	< 1	3	> 4	<p>W1: live directives using a voice communication system from a control room, or live directives in conjunction with well-trained, uniformed staff that can be seen and heard by all occupants in the space</p> <p>W2: nondirective voice messages (prerecorded) and/or informative warning visual display with trained staff</p> <p>W3: warning system using fire alarm signal and staff with no relevant training</p> <p>Note:</p> <p>For occupants in a small room/space of fire origin who can clearly see smoke and flames at a distance, adopt the relevant time given for the W1</p> <p>For occupants in a large room/space of fire origin who can clearly see smoke and flames at a distance, adopt the relevant time given for the W2, unless W1</p> <p>For occupants outside room/space of fire origin who cannot clearly see smoke and flames, adopt the relevant time given for the warning system in operation</p>
Shops, museums, leisure-sport centers, and other assembly buildings (Occupants awake but may be unfamiliar with the building, alarm system, and evacuation procedure.)	< 2	3	> 6	
Dormitories, residential mid-rise and high-rise (Occupants may be asleep but are predominantly familiar with the building, alarm system, and evacuation procedure.)	< 2	4	> 5	
Hotels and boarding houses (Occupants may be asleep but are predominantly familiar with the building, alarm system, and evacuation procedure.)	< 2	4	> 6	
Hospital, nursing home, and other institutional establishment (A significant number of occupants may require assistance)	< 3	5	> 8	

Figur 47. Förberedelsetider (Rüegg & Arvidsson, 2009).

Gånghastigheter

Gånghastigheterna för de olika besökskategorierna presenteras i Tabell 15. Hastigheterna för barn är hämtade från en studie på utrymning med barn (Kholshchevnikov, Samoshin, Parfyonenko, & Belosokhov, 2012). Resterande värden är hämtade från en och samma handbok (SFPE, 2002). De personer som besöker museet med barn förväntas utrymma tillsammans med barnen och därmed ha samma hastighet som barnen. De personer som är rullstolsburna antas få hjälp av andra under utrymning.

Tabell 15. Gånghastigheter i horisontella planet.

Kategori	Medelhastighet [m/s]	Standardavvikelse [m/s]	Minsta-högsta värde [m/s]
Vuxna	1,25	0,32	0,82-1,77
Vuxna med barn	0,84	0,25	0,79-0,9
Barn	0,84	0,25	0,79-0,9
Personer med nedsatt rörelseförmåga	0,84	0,21	0,55-1,19
Personer i rullstolar	1,3	0,34	0,84-1,98

Medelhastigheter uppför trappor för de olika personkategorierna presenteras i Tabell 16 (SFPE, 2002). De personer som är rullstolsbundna men som inte stannar på avsedd plats i trapphusen antas få hjälp av andra att ta sig uppför trappor. Hastigheten för detta antas motsvara hastigheten för personer med rullatorer uppför trappor. Medelhastigheterna upp- och nedför trappor jämfördes med hastigheterna i det horisontella planet och den procentuella minskningen för varje besökskategori skrevs in i Pathfinder.

Tabell 16. Medelhastigheter uppför trappor.

Kategori	Medelhastighet [m/s]	Hastighetsminskning jämfört med horisontalplanet [%]
Vuxna	0,70	0,56
Vuxna med barn	0,63	0,75
Barn	0,63	0,75
Personer med nedsatt rörelseförmåga	0,47	0,56
Personer i rullstolar	0,14	0,12

Även nedför trappor antas vissa rullstolsbundna få hjälp av andra att ta sig nedför trappor. Värdena för detta i Tabell 17 motsvaras av hastigheten för personer med rullatorer.

Tabell 17. Medelhastigheter nedför trappor.

Kategori	Medelhastighet [m/s]	Hastighetsminskning jämfört med horisontalplanet [%]
Vuxna	0,70	0,56
Vuxna med barn	0,66	0,79
Barn	0,66	0,79
Personer med nedsatt rörelseförmåga	0,47	0,56
Personer i rullstolar	0,16	0,12

Fördelning av besökare

Museet kan ha maximalt 2000 samtidiga besökare, vilket de har under högsäsong. Eftersom detta då motsvarar högsta troliga värde har de dimensionerande scenariona simulerats med detta personantal. Ungefär 90 % av besökarna under högsäsong utgörs av vuxna eftersom inga skolklasser besöker museet då (Karlsson P. , Frågor vid platsbesök, 2018). I enlighet med

BBRAD bör publika lokaler dimensioneras för att möjliggöra utrymning med en procent av personerna i byggnaden kan vara personer med funktionsnedsättning (BFS, 2013:12). Av det totala antalet besökare antas därför 1 % utgöras av personer med nedsatt rörelseförmåga och resterande 9 % antas vara barn. Av de som utgörs av personer med nedsatt rörelseförmåga antas en fjärdedel vara rullstolsbundna, det vill säga 0,25 % av totala antalet besökare.

De vuxna som besöker museet med barn utgör ytterligare en kategori av besökare. Storleken på denna kategori antas vara 10 % vilket i princip överensstämmer med andelen barn. I Tabell 18 nedan presenteras dessa andelar av besökare samt motsvarande antal personer.

Tabell 18. Fördelning av personer som används som indata i Pathfinder.

Kategori	Andel [%]	Antal
Vuxna	80	1600
Vuxna med barn	10	200
Barn	9	180
Personer med nedsatt rörelseförmåga	0,75	15
Personer i rullstolar	0,25	5
Totalt	100	2000

Fördelningen över de olika planen, enligt Tabell 19, baseras på tidigare utredningar (Norén & Möller, 2010). Fördelningen av de olika personkategorierna har fördelats enligt Tabell 18 på alla plan. Ingen hänsyn tas till att det kan finnas personer i anslutande restaurang som är en egen brandcell, utan alla personer antas konservativt befinna sig i skeppshallen.

Tabell 19. Fördelningen av personantal på de olika planen.

Plan	Personantal
Plan 2	400
Plan 3	80
Plan 4	1000
Plan 5	240
Plan 6	220
Plan 7	60
Totalt	2000

Hiss finns till samtliga plan och därför antas det finnas en rullstolsbunden på varje plan där de själva kan utrymma till trapphusen K och J, se Bilaga 1. På plan 2, plan 3 och plan 7 måste de rullstolsburna förlita sig på hjälp för att ta sig ut då hissarna inte är i bruk vid en utrymning. Rullstolsburna på plan 4 kan utrymma till det fria.

Val av utgång

Vilken utgång besökarna väljer att använda i utrymningssituation har antagits på individbasis. Merparten antas använda sig av den ordinarie utgången (till vilken det finns skylthänvisning) eller den stora porten som öppnas för tilluft då personer ofta väljer den utgång som de känner till eller där det går att se ut (Sime, 1985).

Som beskrivits tidigare är utgångarna till trapphus K och J speciellt avsedda för rullstolsburna och dessa utrymningsvägar är förstärkta med ett blixtljus för att de lättare ska noteras. Blixtljuset gör att många andra besökare också antas använda dessa. Utan blixtljuset skulle

troligtvis många inte lägga märke till dessa utgångar då dörrarna passeras i 90° vinkel (Frantzich, 2000).

Trapphus K ligger i anslutning till personalutrymmen och utrymning sker alltså inte till det fria. Brandcellsgränsen mot skeppshallen passeras dock och utrymningen antas därför ha kunnat ske säkert. Om trapphus J väljs sker utrymning direkt ut i det fria då personerna kommit ner till plan 4. Utgångar som inte nämnts ovan används också, men inte i lika stor utsträckning då dessa inte är förstärkta med blinkade ljus eller utgörs av ordinarie eller kända utgångar.

De som är rullstolsburna använder hiss för att ta sig mellan de olika planen. Därför är det troligt att dessa kommer att söka sig mot hissarna även vid en utrymning. Detta antas leda till en fördröjning av utrymningen. Utrymmarna antas vara de som uppmanar de rullstolsburna att söka sig till nödutgångarna som blinkar.

För scenario B – Storbåten är alla utrymningsvägar tillgängliga under hela utrymningen. Enda begränsningen som finns är att passagera längs Storbåten stoppas efter 300 sekunder på grund av för hög strålning. Passagera utgörs av utrymnet mellan Storbåten och Vasaskeppet samt Storbåten och väggen.

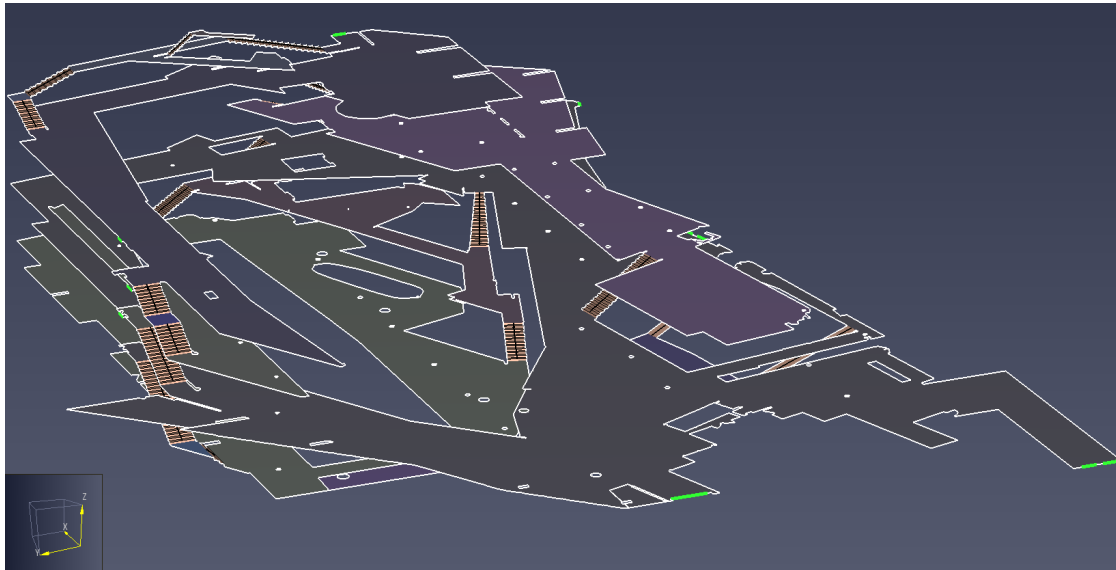
I utrymningssimuleringen för scenario H, branden i garderoben, sätts huvudutgången som stängd efter 120 sekunder. Detta eftersom att det vid denna tidpunkt antas att personal antingen uppmanar besökare att välja en annan utgång på grund av brandens nära placering eller att besökare själva ser branden vid huvudutgången och därför väljer en annan utgång.

Geometrin i Pathfinder

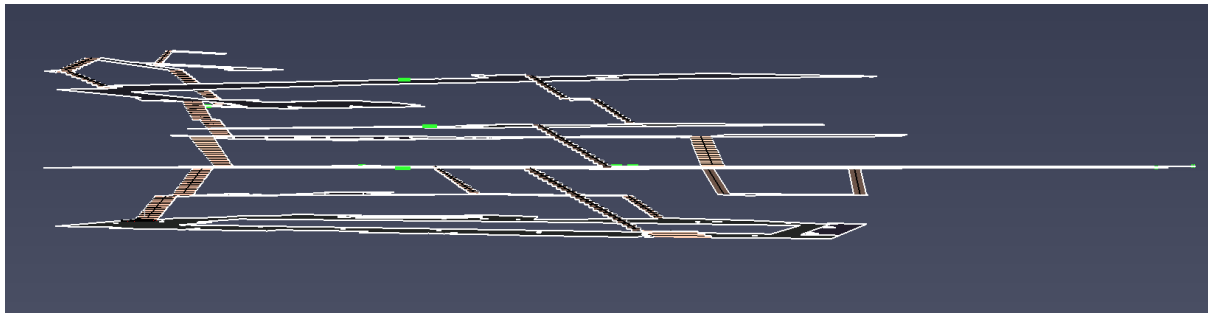
I Figur 48, Figur 49 och Figur 50 presenteras den geometri som använts vid utrymningssimuleringarna. Geometrierna är direkt hämtade från ritningar över Vasamuseet.



Figur 48. Modellgeometri för plan 2, 3 och 4 sett ovanifrån.



Figur 49. Modellgeometri för samtliga besöksplan i skeppshallen.



Figur 50. Modellgeometri över samtliga plan sett från sidan.

Bilaga 5 Resultat från Pathfinder

I följande bilaga presenteras resultatet från utrymningssimuleringarna för de dimensionerande scenarierna.

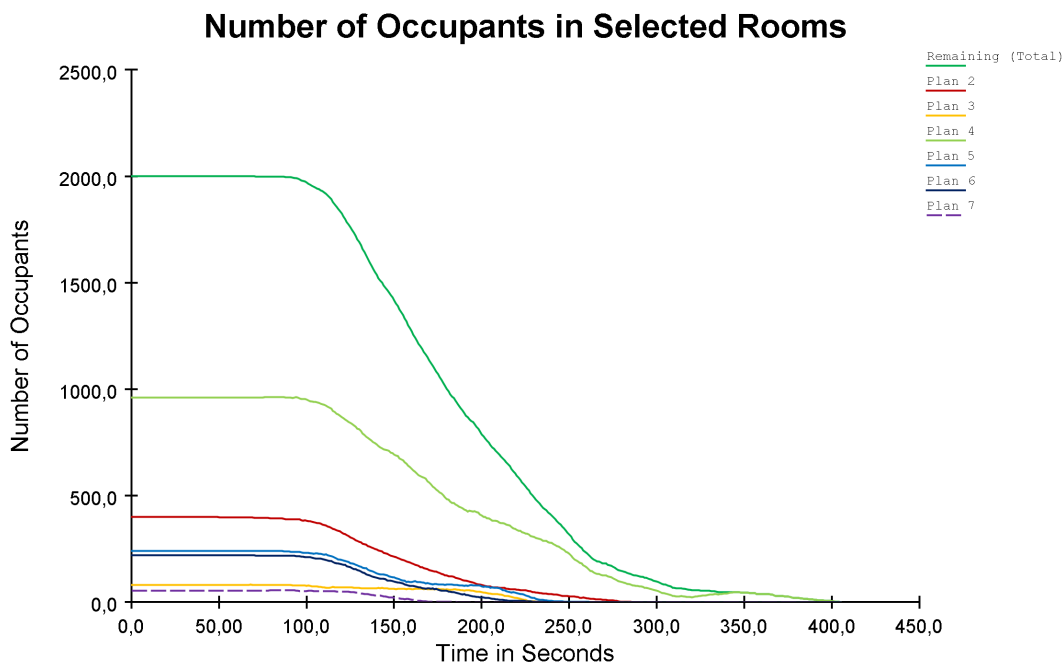
Scenario B - Storbåten

Tio simuleringar genomfördes för scenario B respektive scenario H. För att få ett representativt medelvärde av utrymningstiden för de båda scenarierna sattes förberedelsestiden och gånghastigheterna till slumpade hos agenterna. I Tabell 18 presenteras resultatet för Storbåten.

Tabell 20. Utrymningstider [s] för varje våningsplan samt totala utrymningen.

Simulering nr	Våningsplan						Total utrymningstid [s]
	2	3	4	5	6	7	
1	278	255	402	246	264	170	402
2	283	243	394	271	242	180	394
3	286	239	411	264	245	197	411
4	286	241	407	256	286	187	407
5	280	244	402	262	291	180	402
6	182	243	400	257	290	187	400
7	266	246	414	255	253	186	414
8	267	243	403	256	261	176	403
9	282	251	406	250	279	169	406
10	286	236	404	262	238	186	404
Medelvärde [s]	270	244	404	258	265	182	404

I Figur 51 presenteras tiderna för simulering 10 från Tabell 18. Antalet besökare på varje våningsplan samt totala antalet personer i byggnaden presenteras.



Figur 51. Tid för utrymning från respektive plan för scenario B - Storbåten.

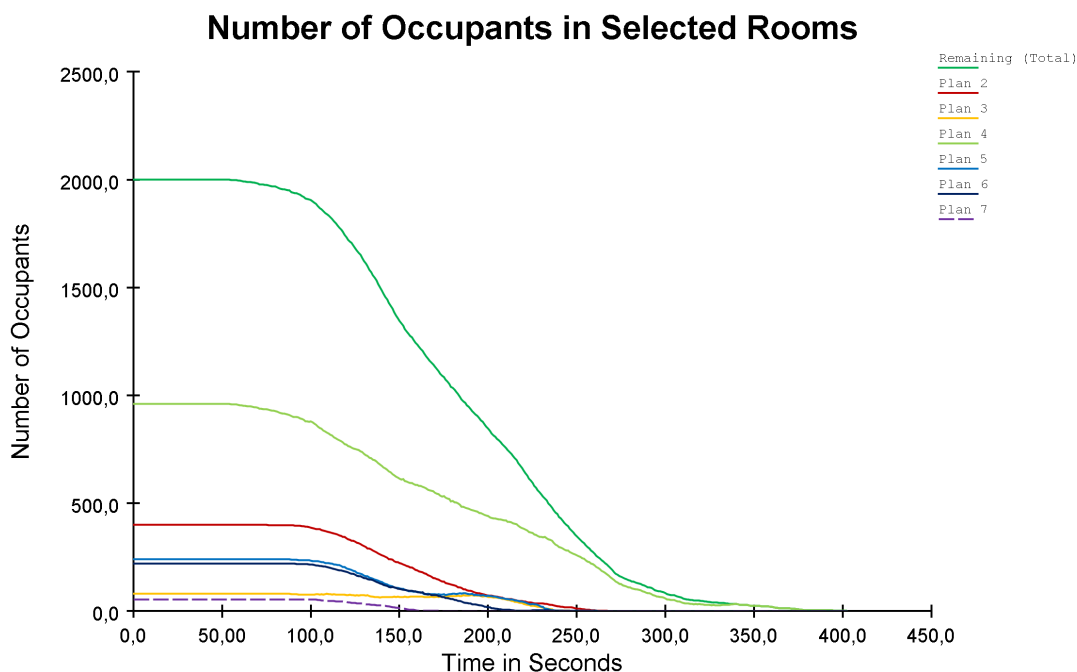
Scenario H - Garderoben

Resultatet från utrymningssimuleringarna av scenario H presenteras nedan i Tabell 19.

Tabell 21. Utrymningstider [s] för varje våningsplan samt totala utrymningen.

Våningsplan							
Simulering nr	2	3	4	5	6	7	Total utrymningstid [s]
1	273	256	399	250	248	183	399
2	271	255	383	256	229	174	383
3	276	242	394	242	252	176	394
4	255	249	388	247	243	184	388
5	256	254	370	252	258	185	370
6	269	246	403	270	250	188	403
7	167	246	386	250	254	196	386
8	264	250	392	257	278	195	392
9	264	246	401	279	268	189	401
10	271	247	402	263	247	173	402
Medelvärde [s]	257	249	392	257	253	184	392

I Figur 54 presenteras tiderna för simulering 10 från Tabell 19. Antalet besökare på varje våningsplan samt totala antalet personer i byggnaden presenteras.



Figur 52. Tid för utrymning från respektive plan för scenario H – Garderoben.

Bilaga 6 Val, motivering och verifiering av indata till FDS

I den här bilagan beskrivs de val av indata som gjordes för simuleringarna i FDS. Inledningsvis presenteras indata som är gemensamma för båda scenarierna och därefter presenteras de indata som beror av respektive scenario. Även de olika valideringsmetoder som användes och resultaten av dessa presenteras.

För att minska simuleringstiden gjordes ett antal förenklingar i respektive simuleringmodell. I områden som inte är i brändernas direkta närhet fördubblades cellstorleken gentemot den storlek som användes närmast branden. I vissa avlägsna delar, som inte antogs skulle påverka eller påverkas av branden i någon större utsträckning, gjordes ytterligare en ökning av cellernas storlek. Utöver detta begränsades simuleringstiden för brandförloppet till 480 sekunder.

Val för byggandens kontraktion i båda simuleringarna:

- Samtliga ytor i konstruktionen har simulerats som betong. Materialspecifika materialegenskaper (densitet, specifik värmekapacitet och konduktivitet) har definierats (Karlsson & Quintiere, 2000).
- Tjockleken på väggar och golv har antagits till 0,3 meter. På grund av det korta brandförloppet antas detta inte ha varken positiv eller negativ påverkan på brandförloppen.
- Anpassning av planens höjd har gjorts för att passa cellstorleken som använts. Detta bedöms inte ha givit någon påverkan på brandförloppet.
- Samtliga räcken har antagits vara en meter höga.
- Den automatiska brandgasventilationen har fördelats på 4 ytor med volymflödet 10 m³/s för varje yta. Det totala flödet (40 m³/s) uppfylls genom detta. Med hjälp av flödesmätare i öppningarna kontrollerades detta efter simuleringen.
- Samtliga trappor och liknande konstruktioner har försumrats. Detta bedöms inte ha haft någon betydelse för brandförloppen.
- Ingen hänsyn har tagits till läckage i väggarna. Eftersom skeppshallen är försedd med en brandgasventilation och tilluftsöppning ger detta ingen större påverkan på brandförloppet (BIV, 2013).
- Snedtaket motsvaras av ett tak som är byggt i etapper. Detta kan möjligen ha haft påverkan på rökfyllnaden i de båda scenarierna.
- Omgivande temperatur och luftfuktighet enligt objektsbeskrivning.

Övriga val som gjorts i båda simuleringarna:

- Mätpunkter för att mäta inandning av giftiga gaser (CO, FED) har placerats på 1,6 meters höjd. Detta gjordes i ett försök att motsvara den genomsnittliga personens höjd för munnen.
- Bränderna utgörs i simuleringarna av en plan, rektangulär yta.
- Strålningsfraktionen av effektutvecklingen har bestämts till 0,35 för båda bränderna, vilket har antagits i brist på gällande specifik information. Fraktionen beror bland annat av bränsle och flammans storlek och är därför olika för olika bränder. För bränder som inte producerar mycket sot är fraktionen låg (0,15) och för mycket sotande bränder kan den vara ganska hög (0,60) och 0,35 ligger mellan dessa värden (Karlsson & Quintiere, 2000).

Innan simuleringarna genomfördes kontrollerades storleken på griden. För att säkerställa att gridupplösningen, och därmed flödesfältets upplösning, för en tyngdkraftsstyrd brandplym är tillräcklig kan värdet av uttrycket $D^*/\delta x$ användas. D^* ges av Ekvation 5 och δx motsvarar den största sidan (m) på en kontrollvolym nära branden (McGrattan, o.a., 2014).

Nära branden bör $D^*/\delta x$ vara 10-20. Vid stora rumshöjder ($D^*/H < 0,5$) bör det vara minst 15 (Nystedt och Frantzich, 2011). Detta har tillämpats för båda scenarierna och resultat presenteras nedan för respektive scenario.

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

där

D^* = Karaktäristisk diameter för branden	[m]
\dot{Q} = Effektutveckling	[kW]
ρ_{∞} = Densitet på omgivande luft	[kg/m ³]
c_p = Värme kapacitet på omgivande luft	[J/(kg·K)]
T_{∞} = Temperatur på omgivande luft	[K]
g = Gravitationskonstanten	[m/s ²]

Vid beräkning användes $\rho_{\infty} = 1,2 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 1,0 \text{ J/(kg·K)}$ vilket är giltigt då $T_{\infty} = 293 \text{ K}$ (= 20 °C) (Karlsson & Quintiere, 2000).

För att representera tillväxtfasen för en brand i FDS kan framför allt RAMP-funktionen eller SPREAD_RATE-funktionen användas. RAMP-funktionen innebär att hela ytan för branden ”antänds” på en gång och att tillväxten sker genom att användaren definierar fraktionen av den totala effektutvecklingen vid lämpliga tidpunkter. Fraktionen är 1,0 när den maximala effektutvecklingen är nådd. Nackdelen med RAMP-funktionen är att effektutvecklingen per ytenhet inledningsvis blir väldigt låg. Detta påverkar värdet för D^* i Ekvation 5 och väldigt små cellstorlekar kan krävas för att uppfylla villkoren för $D^*/\delta x$ i brandens tillväxtfas (BIV, 2013).

SPREAD_RATE-funktionen innebär att branden startar i en punkt och sedan sprider sig radiellt med en konstant hastighet längs den definierade ytan för branden. Konstanten som bestämmer spridningshastigheten är baserad på den faktiska tillväxtkonstanten, α , för branden och effektutvecklingen per ytenhet. Att branden sprids på ytan innebär att problemet med villkoren för cellstorlekarna, som för RAMP-funktionen, inte uppstår. En begränsning med funktionen är att bränder återges mest realistiskt då brandytan är cirkulär eller kvadratisk, på grund av den radiella spridningen (BIV, 2013).

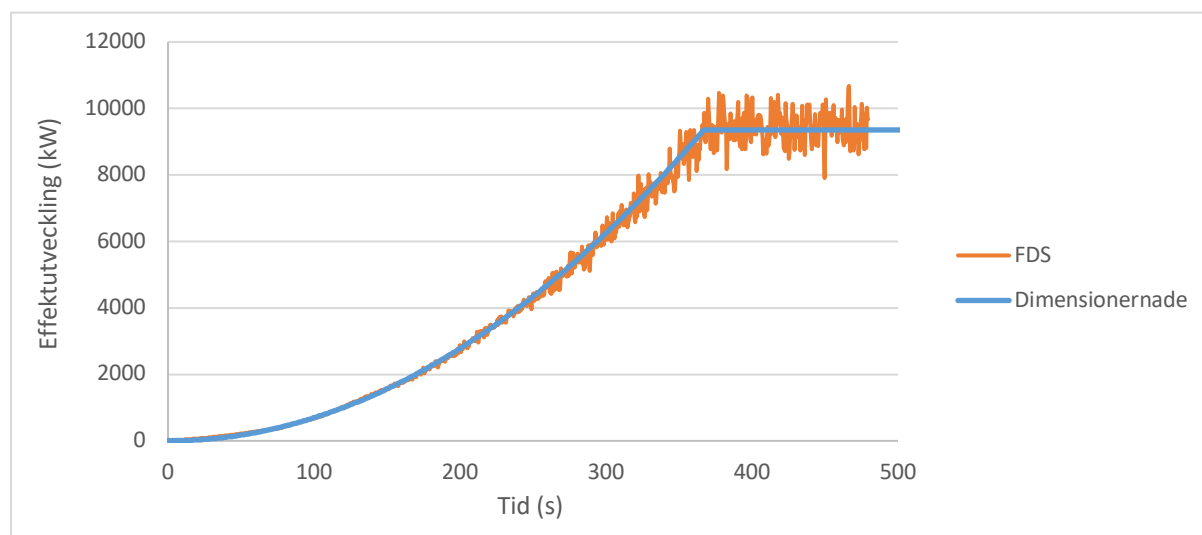
I de analyserade fallen har valet gjorts att använda RAMP-funktionen då brandytorna är rektangulära och tillväxtfasen för branden alltså inte skulle återges korrekt med SPREAD_RATE-funktionen. Att approximera brandytorna till att vara kvadratiska ansågs påverka andra viktiga faktorer (som strålning, flammhöjd, temperatur etc.) och valdes därför bort.

Valet att använda RAMP-funktionen ger dock de begränsningar som beskrivits ovan, vilka bör beaktas.

Scenario B – Storbåten

Enligt ovan definierat villkor gäller $15 \leq D^*/\delta x \leq 20$. Beräkning enligt Ekvation 5 ger $D^*_{Storbåten} \approx 1,78$. Beräkningen har gjorts för halva den maximala effektutvecklingen (4680 kW) då tillväxt av branden sker under större delen av det simulerade förloppet. Det är därför önskvärt att villkoret uppfylls under denna tid i så stor utsträckning som möjligt. Detta ger att $0,09 \leq \delta x \leq 0,12$ meter. I simuleringen användes $\delta x = 0,1$ meter för de celler som är närmast branden. Användning av den cellstorleken gör att upplösningen är rimligt från och med en effektutveckling på 3000 kW, vilket bör beaktas när man tolkar resultatet av simuleringen.

Efter simulering kontrolleras att den simulerade effektutvecklingen överensstämmer med den dimensionerande. Jämförelsen för Storbåten presenteras i Figur 53 och visar att den simulerade effektutvecklingen är korrekt.

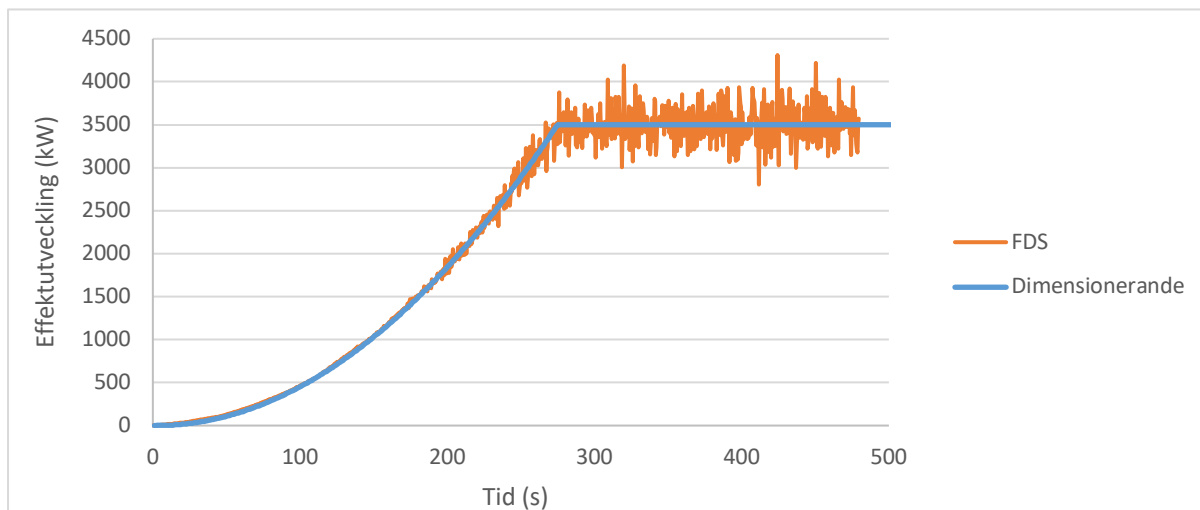


Figur 53. Jämförelse effektutveckling för Storbåten.

Scenario H – Garderoben

Enligt ovan definierat villkor gäller $15 \leq D^*/\delta x \leq 20$. Beräkning enligt Ekvation 5 ger $D^*_{Garderoben} \approx 1,59$. Beräkningen har gjorts för den maximala effektutvecklingen för branden (3500 kW). Detta ger att $0,08 \leq \delta x \leq 0,11$ meter. I simuleringen användes $\delta x = 0,1$ meter för de celler som är närmast branden. Användning av den cellstorleken gör att simuleringen ger en rimlig återgivning av en riktig brand från och med en effektutveckling på 3000 kW, vilket bör beaktas när man tolkar resultatet av simuleringen.

Efter simulering kontrolleras att den simulerade effektutvecklingen överensstämmer med den dimensionerande. Jämförelsen för garderoben presenteras i Figur 54 och visar att den simulerade effektutvecklingen är korrekt.



Figur 54. Jämförelse effektutveckling för garderoben.

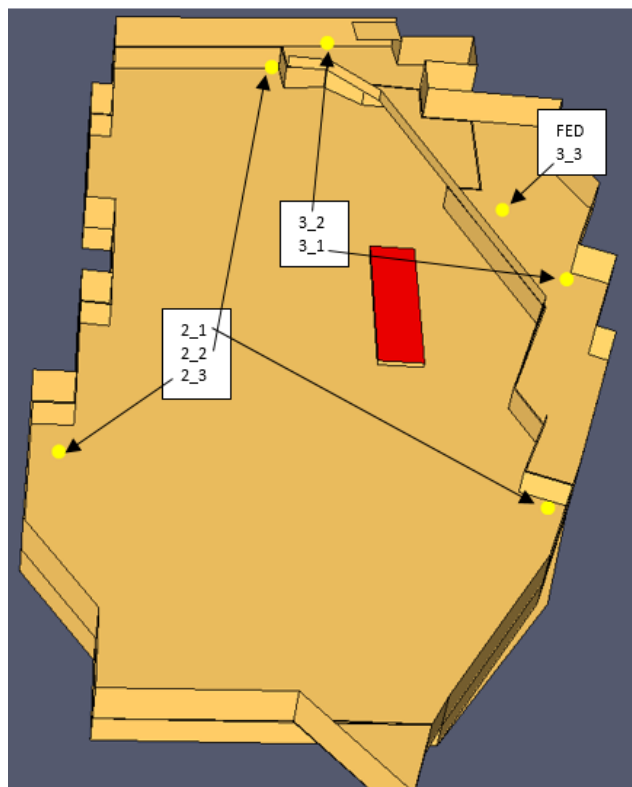
I scenariot är detektionstiden den tid det tar för rökdetektorn intill garderoben att detektera branden och därför användes detektorer i simuleringen. Inför simuleringen saknades kunskap om den aktuella detektorns egenskaper och valet gjordes därför att använda en rökdetektor där inställningarna fanns förvalda i FDS. En värmedetektor (aktivering vid 33 °C, se motivering nedan) placerades på samma plats som rökdetektorn på grund av osäkerheten i rökdetektorns egenskaper.

Rökdetektorer reagerar på grund av partiklar i brandgaserna, men det finns likheter mellan dessa och en temperaturökning. Experiment har visat att en temperaturökning på 13 °C kan användas för konservativ beräkning av aktiveringstid (Nilsson & Holmstedt, 2008). Aktivering av brandgasventilation skedde då antingen rökdetektorn eller värmedetektorn aktiverades.

Bilaga 7 Utdata från FDS för scenario B - Storbåten

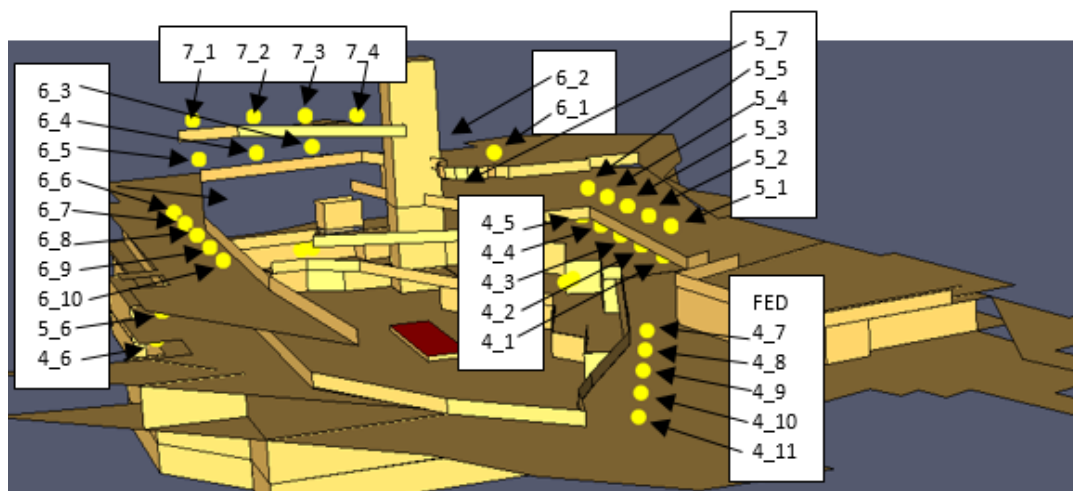
I den här bilagan presenteras resultaten från simuleringarna i FDS för scenario B – Storbåten. Val och beskrivning av indata presenteras i Bilaga 6. I samma bilaga jämförs den simulerade effektutvecklingen med den dimensionerande för att verifiera att rätt värden simulerats.

Så kallade devices (mätpunkter) användes för att mäta halten kolmonoxid och koldioxid. I samma punkter gjordes mätningar för FED. I Figur 55 presenteras placeringen för de mätpunkter som genererade utdata på plan 2 och plan 3. I de punkter där FED finns specificerat gjordes enbart mätningar för FED.

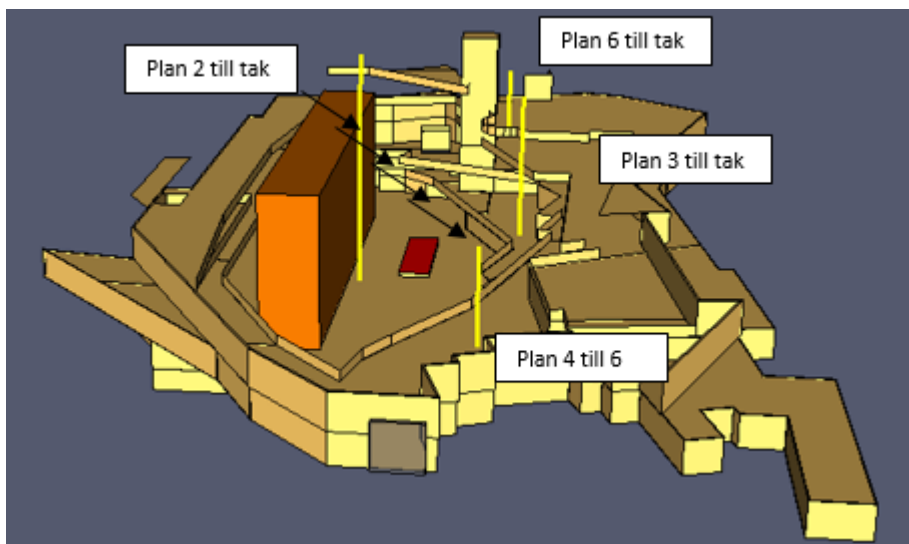


Figur 55. Placering av mätpunkter på plan 2 och 3.

I Figur 56 presenteras motsvarande punkter som ovan, men för plan 4-7.

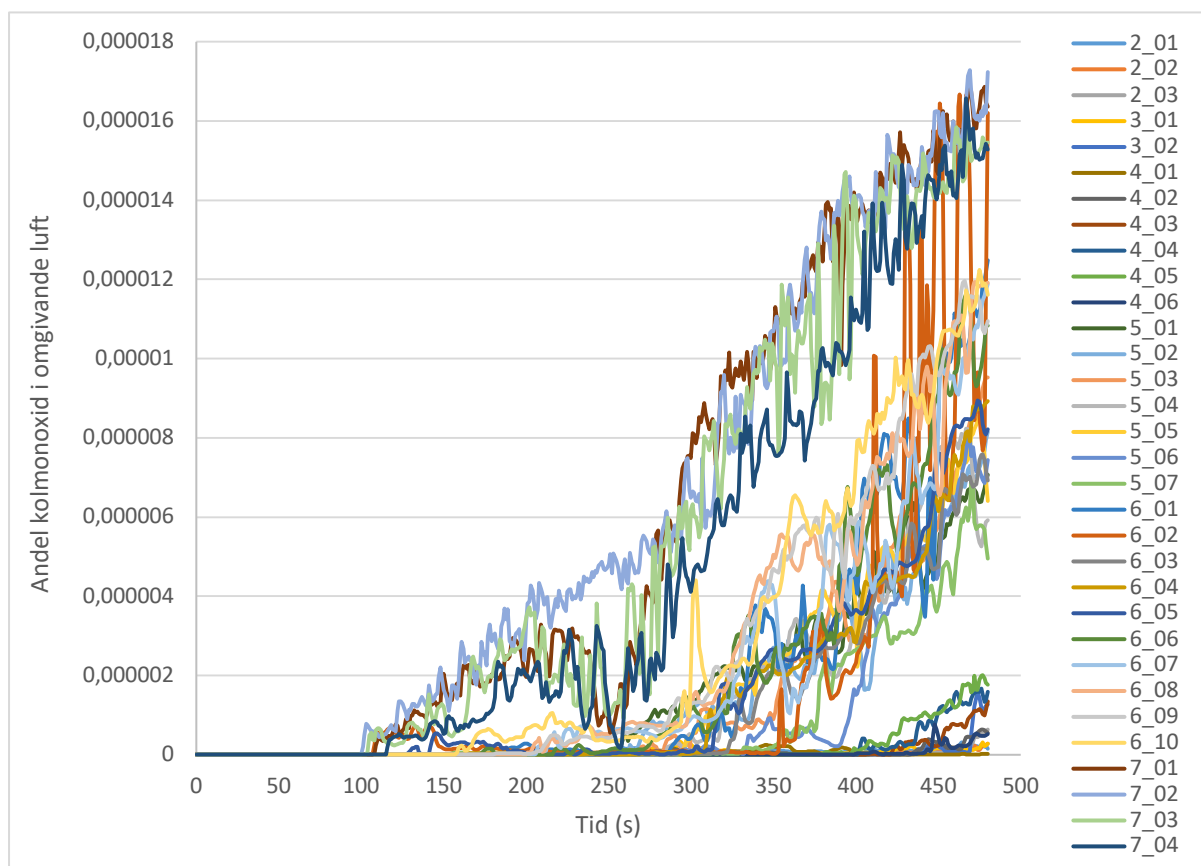


Figur 56. Placering av mätpunkter på plan 4-7.



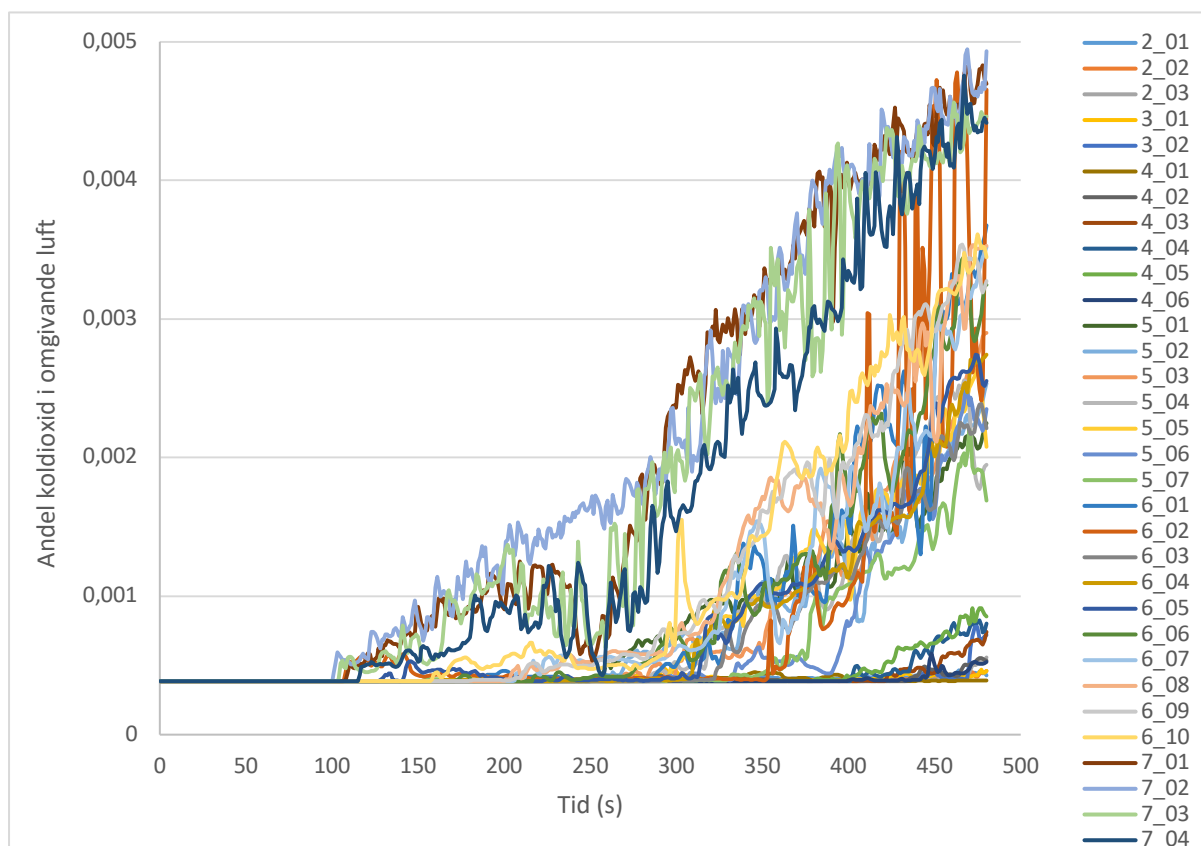
Figur 57. Linjer för mätning av höjden till rökgaslager.

I Figur 58 presenteras det uppmätta andelen kolmonoxid i den omgivande luften vid de specifika mätpunkterna. Kritiskt förhållande uppstår då kolmonoxidhalten överstiger 2000 ppm. För kurvorna i figuren uppnås 17 ppm (1 ppm = 0,000001).



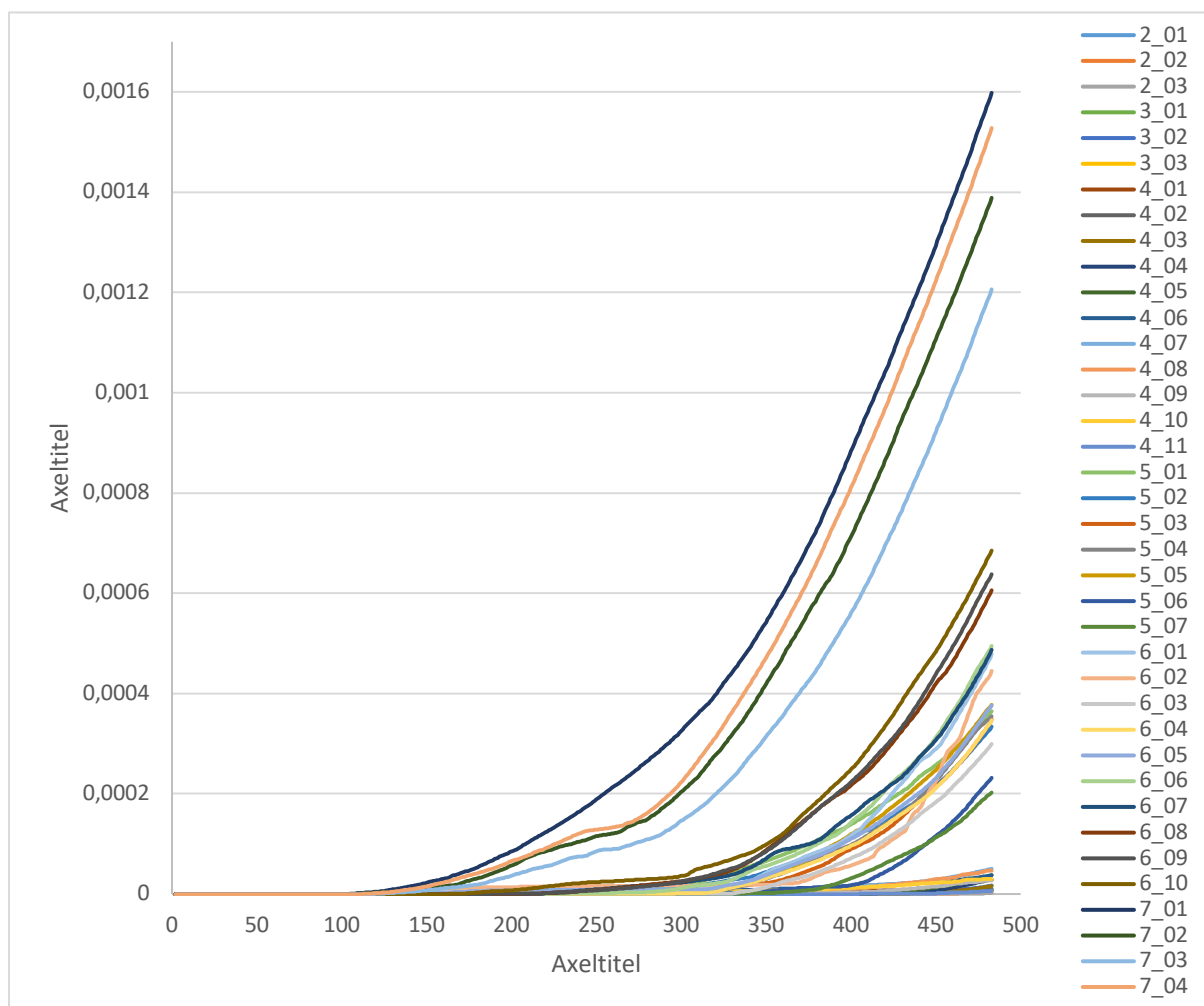
Figur 58. Uppmätta värden för kolmonoxid beroende av tiden.

I Figur 59 presenteras den uppmätta andelen koldioxid i den omgivande luften vid de specifika mätpunkterna. Kritiskt förhållande uppstår då koldioxidhalten överstiger 5 %. För kurvorna i figuren uppnås 0,5 % (1 % = 0,01).



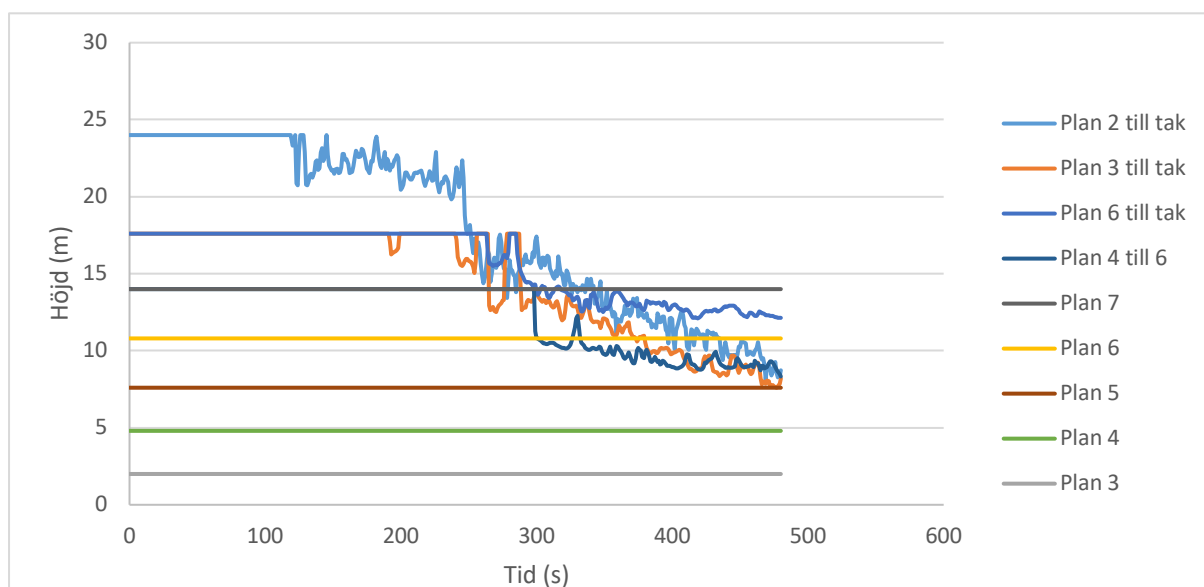
Figur 59. Uppmätta värden för koldioxid beroende av tiden.

I Figur 60 presenteras uppmätta värden för FED beroende av tiden. Kritiskt förhållande uppstår då FED överstiger 0,3, vilket inte uppnås i simuleringen.



Figur 60. Uppmätta värden för FED beroende av tiden.

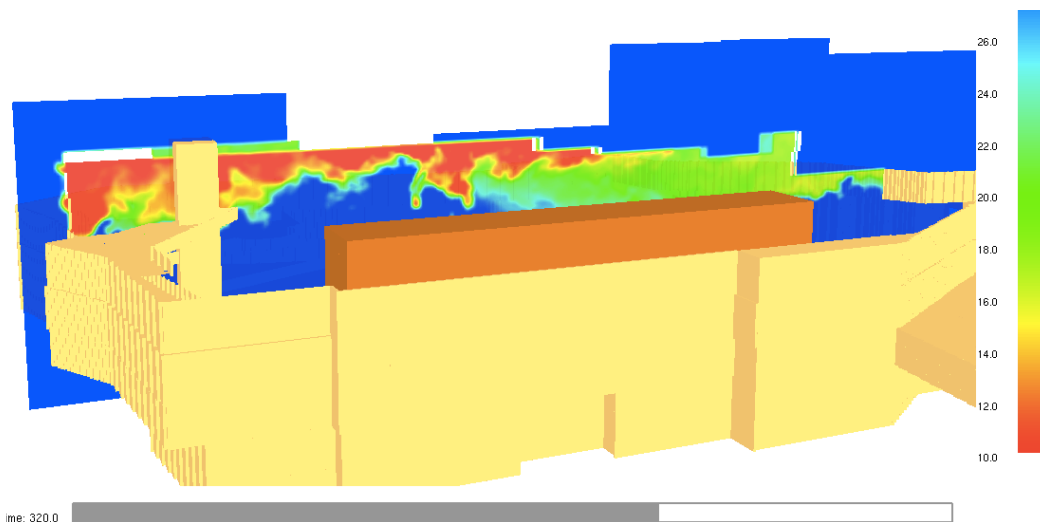
I Figur 61 presenteras rökgaslagrets höjd i förhållande till golvet på plan 2 ($h = 0$ m) som en funktion av tiden. För att lättare kunna jämföra rökgaslagrets höjd med plan 3, 4, 5, 6 och 7 har höjden för dessa lagts in i diagrammet.



Figur 61. Rökgaslagrets höjd över golvet beroende av tiden.

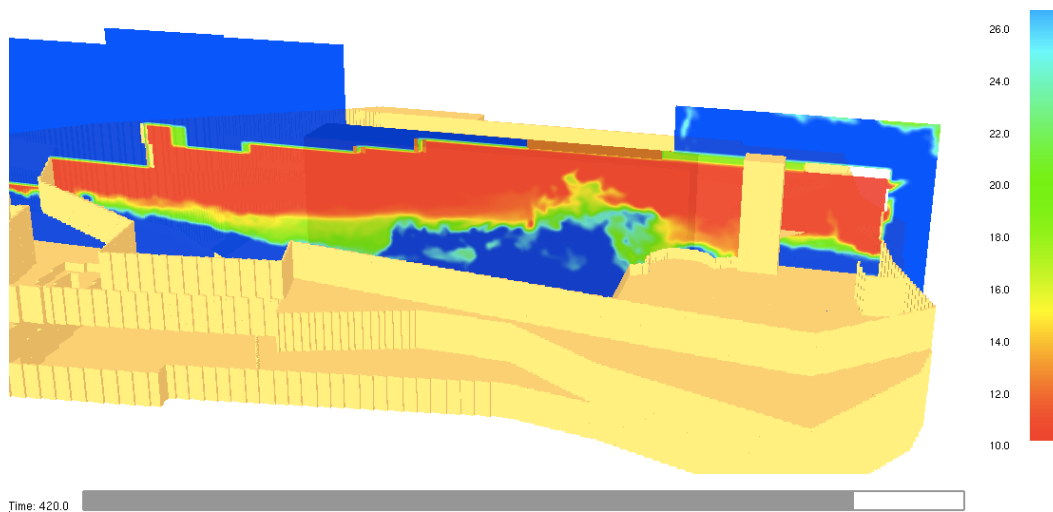
Utöver de specifika mätpunkterna användes också så kallade Slice files. Dessa ger ett visuellt resultat över ett helt plan. Ögonblicksbilder har tagits vid de tidpunkter då kritiska förhållanden uppstått eller vid andra tidpunkter som ansetts viktiga att belysa.

I Figur 62 visas den simulerade sikten efter 320 sekunder. Kritisk värde (sikt <10 m) är markerat med rött, vilket uppnås på plan 7.



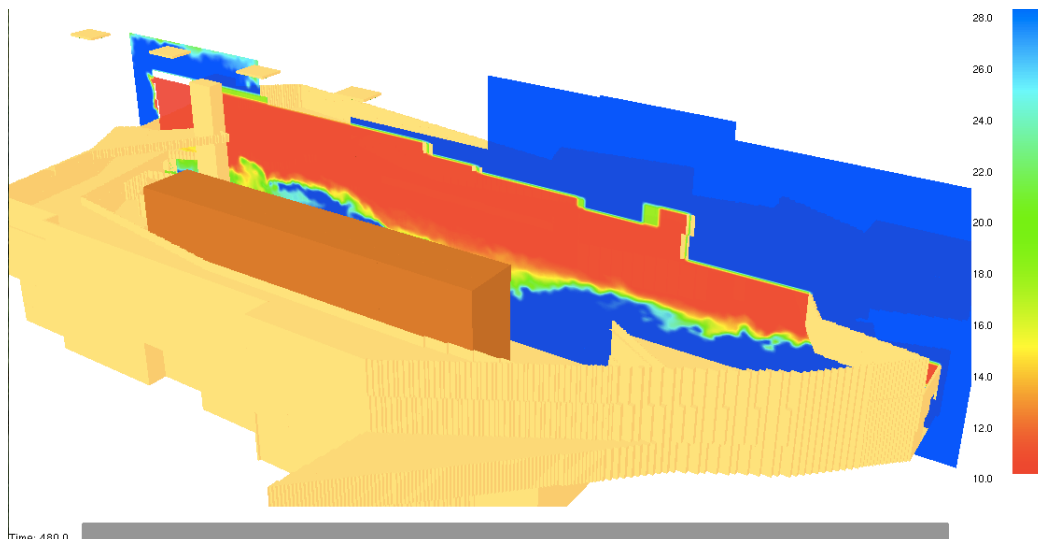
Figur 62. Sikt efter 320 sekunder.

I Figur 63 visas den simulerade sikten efter 420 sekunder. Kritisk värde (sikt <10 m) är markerat med rött, vilket uppnås på plan 6.



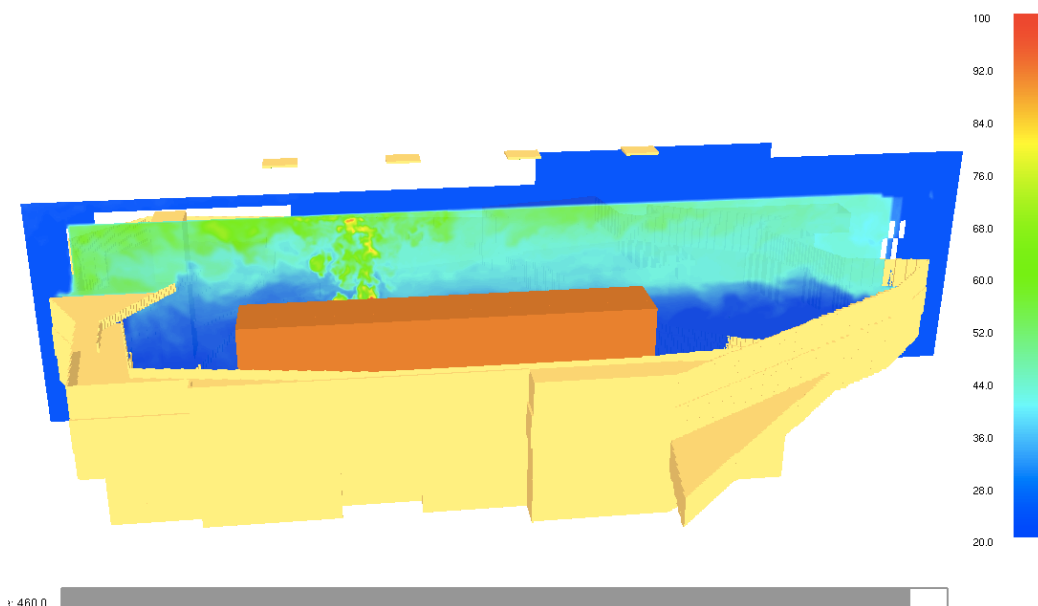
Figur 63. Sikt efter 420 sekunder.

I Figur 64 visas den simulerade sikten efter 480 sekunder. I figuren kan det ses att kritiska förhållanden för sikt inte uppstår för övriga plan (2–5) under det simulerade brandförloppet.



Figur 64. Sikt efter 480 sekunder.

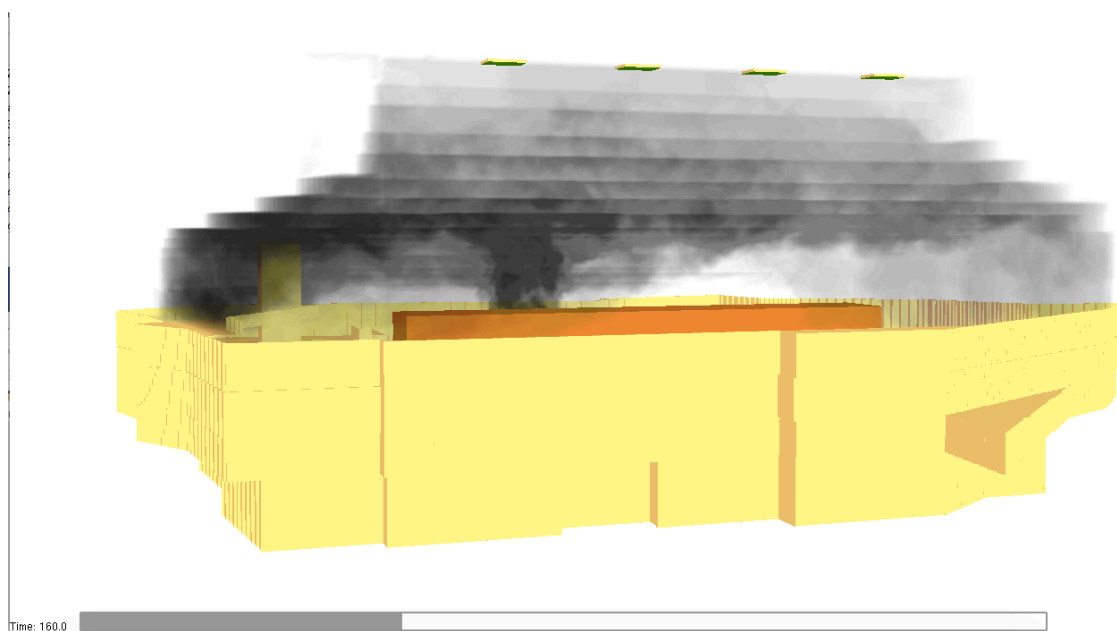
I Figur 65 visas den simulerade temperaturen efter 460 sekunder. Kritiskt värde ($T > 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) är markerat med rött, vilket inte uppnås i brandgaslagret. Detta uppstår inte heller under de resterande 20 sekunderna av simuleringen.



Figur 65. Temperatur efter 460 sekunder.

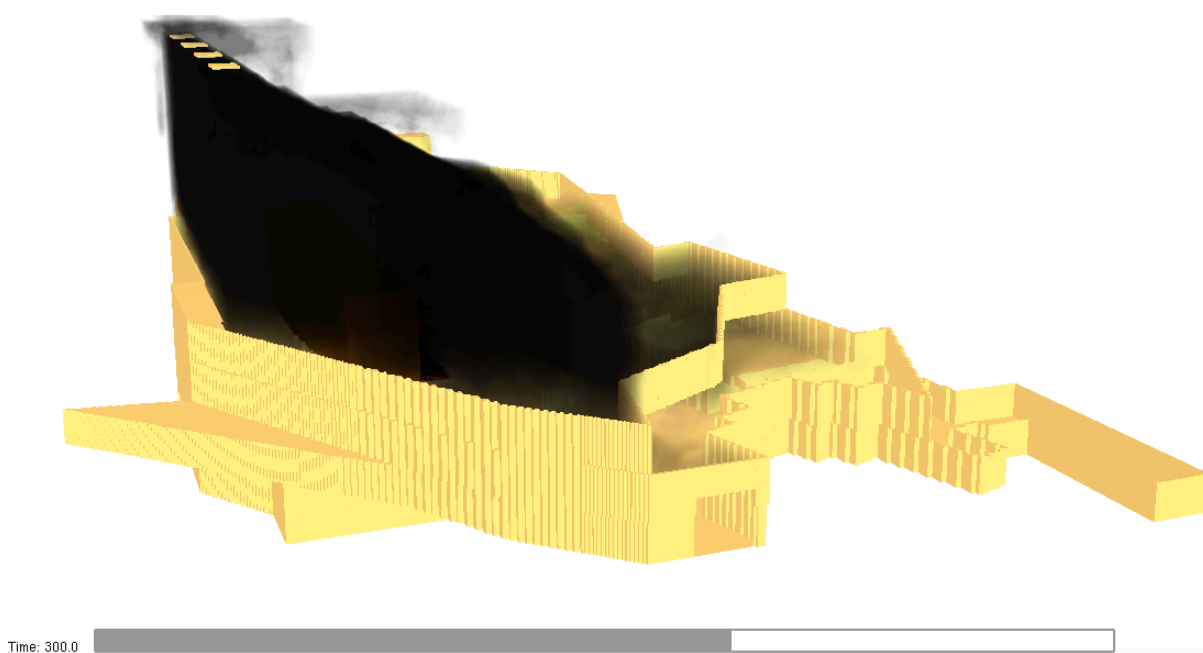
I Smokeview gjordes även en bedömning av rökfyllnaden i byggnaden. Ögonblicksbilder har tagits vid de tidpunkter då kritiska förhållanden uppstått eller vid andra tidpunkter som ansetts viktiga att belysa. Eftersom Smokeview inte återspeglar rökens täthet på ett bra sätt bygger angivna kritiska tider på författarnas bedömning.

I Figur 66 den simulerade rökfyllnaden efter 160 sekunder. Vid den tidpunkten anses kritiskt värde för rökgaslagrets höjd ha uppnåtts på plan 7.



Figur 66. Rökfyllnad efter 160 sekunder.

I Figur 67 visas den simulerade rökfyllnaden efter 300 sekunder. Vid den tidpunkten anses kritiskt värde för rökgaslagrets höjd ha uppnåtts på plan 6.



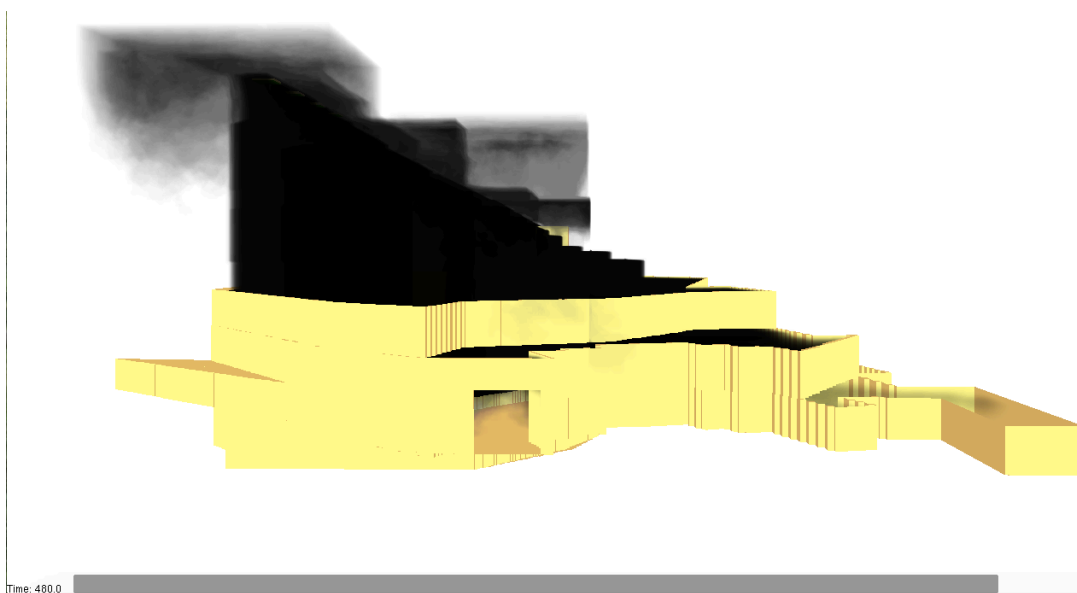
Figur 67. Rökfyllnad efter 300 sekunder.

I Figur 68 visas den simulerade rökfyllnaden efter 400 sekunder. Vid den tidpunkten anses kritiskt värde för rökgaslagrets höjd ha uppnåtts på plan 5.



Figur 68. Rökfyllnad efter 400 sekunder.

I Figur 69 visas den simulerade rökfyllnaden efter 480 sekunder. I figuren kan det ses, genom öppningen, att kritiska förhållanden inte uppstått på plan 4.



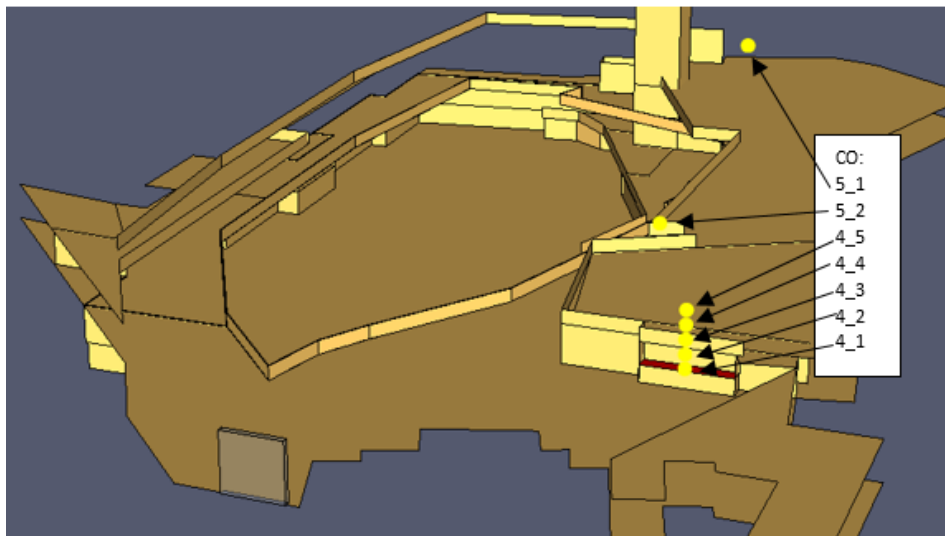
Figur 69. Rökfyllnad efter 480 sekunder.

Bilaga 8 Utdata från FDS för scenario H – Garderoben

I den här bilagan presenteras resultatet från simuleringarna i FDS för Scenario H – Garderoben. Val och beskrivning av indata presenteras i Bilaga 6. I samma bilaga jämförs den simulerade effektutvecklingen med den dimensionerande för att verifiera att rätt värden simulerats.

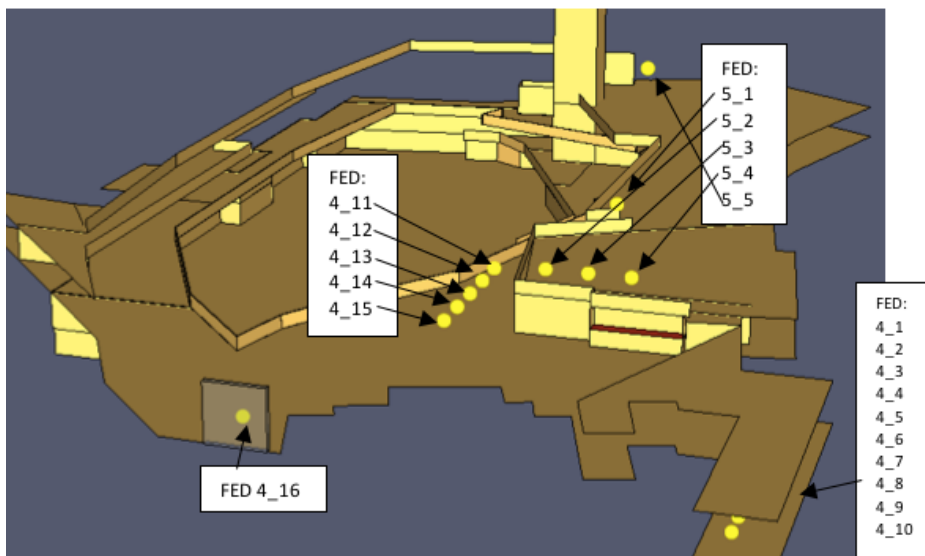
Så kallade devices (mätpunkter) användes för att mäta halten kolmonoxid och koldioxid. Punkterna placerades där branden och brandgaserna på förhand förväntades ha påverkan i skeppshallen.

I Figur 70 visas de mätpunkter som användes för att mäta kolmonoxidfraktionen.



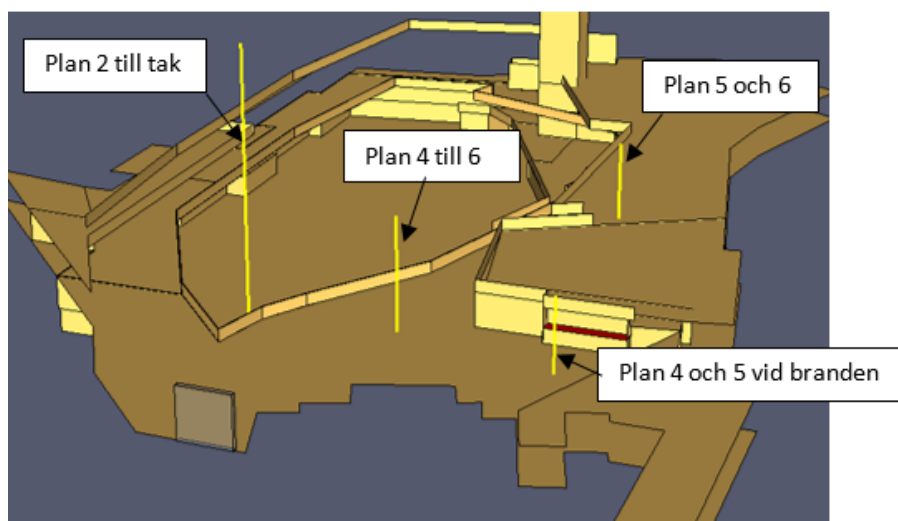
Figur 70. Punkter för mätning av kolmonoxid.

I Figur 71 visas de mätpunkter som användes för att mäta FED.



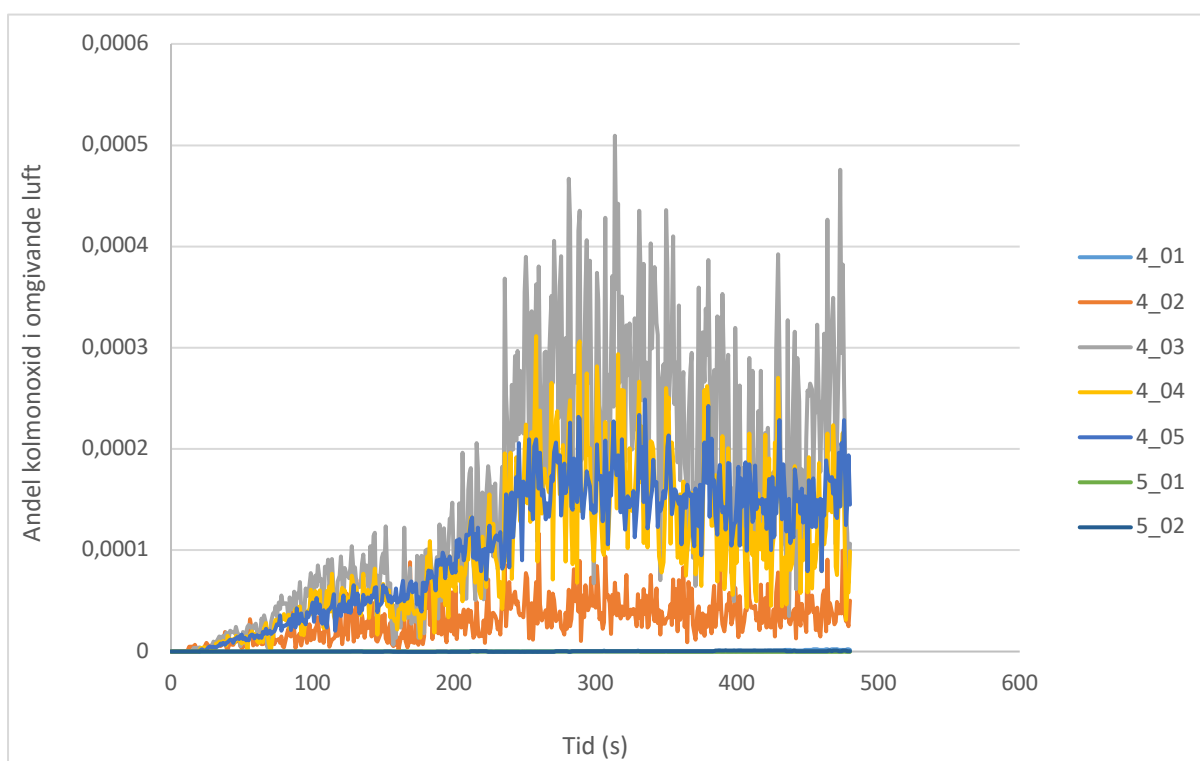
Figur 71. Punkter för mätning av FED.

I Figur 72 visas de mätpunkter som användes för att mäta rökgaslagrets höjd.



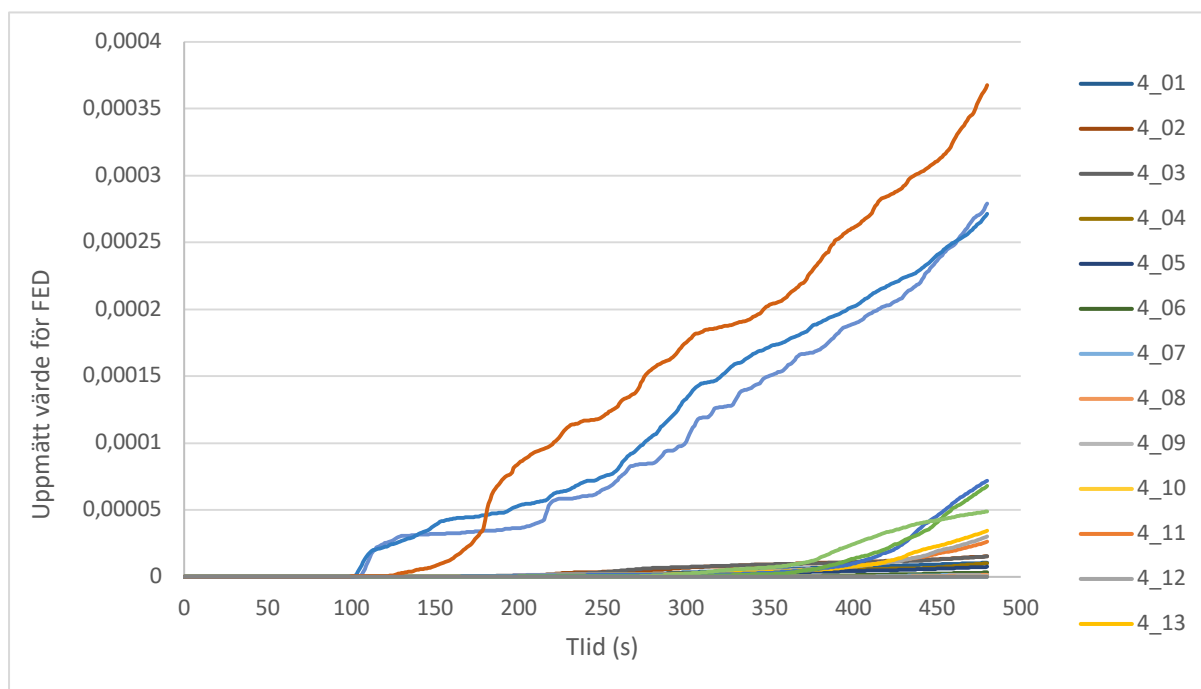
Figur 72. Linjer för mätning av höjden till rökgaslager.

I Figur 73 presenteras uppmätta värden för kolmonoxid beroende av tiden. Kritiskt förhållande uppstår då kolmonoxidhalten överstiger 2000 ppm. För kurvorna i figuren uppnås 500 ppm (1 ppm = 0,000001).



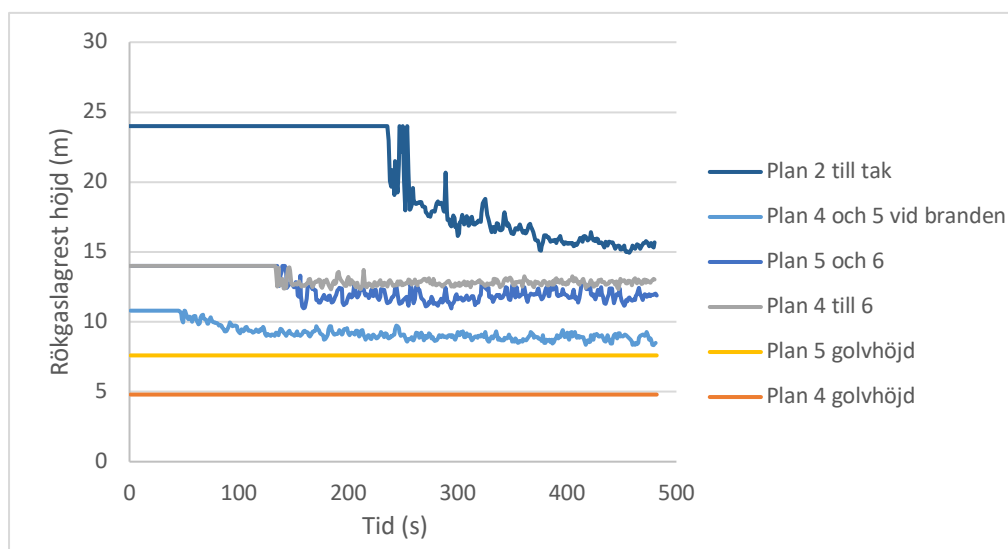
Figur 73. Uppmätta värden för kolmonoxid beroende av tiden.

I Figur 74 presenteras uppmätta värden för FED beroende av tiden. Kritiskt förhållande uppstår då FED överstiger 0,3, vilket inte uppnås i simuleringen.



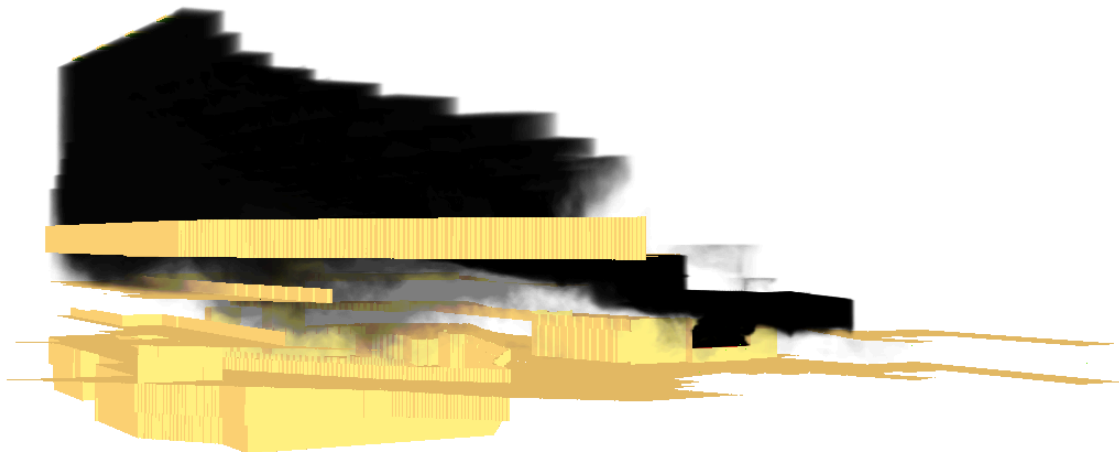
Figur 74. Uppmätta värden för FED beroende av tiden.

I Figur 75 presenteras rökgaslagrets höjd i förhållande till golvet på plan 2 ($h = 0$ m) som en funktion av tiden. För att lättare kunna jämföra rökgaslagrets höjd med plan 4 och 5 har höjden för dessa lagts in i diagrammet.



Figur 75. Rökgaslagrets höjd över golvet beroende av tiden.

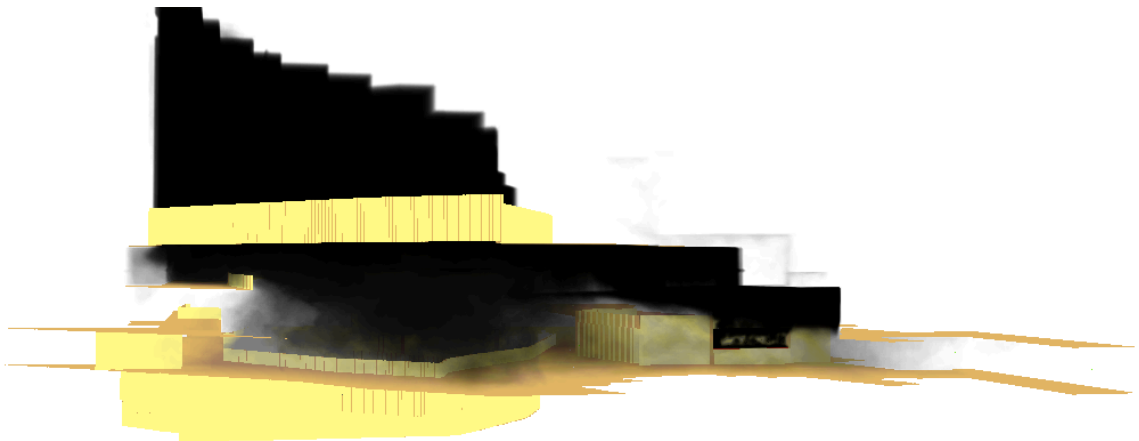
I Figur 76 kan rökgaslagrets spridning ses efter 300 sekunder. Vid den tidpunkten anses kritiskt värde för rökgaslagrets höjd ha uppnåtts på plan 6.



Time: 300.0

Figur 76. Brandgasernas spridning efter 300 sekunder.

I Figur 77 kan rökgaslagrets spridning ses efter 480 sekunder. I figuren kan det ses att kritiska förhållanden inte uppstått på plan 4.

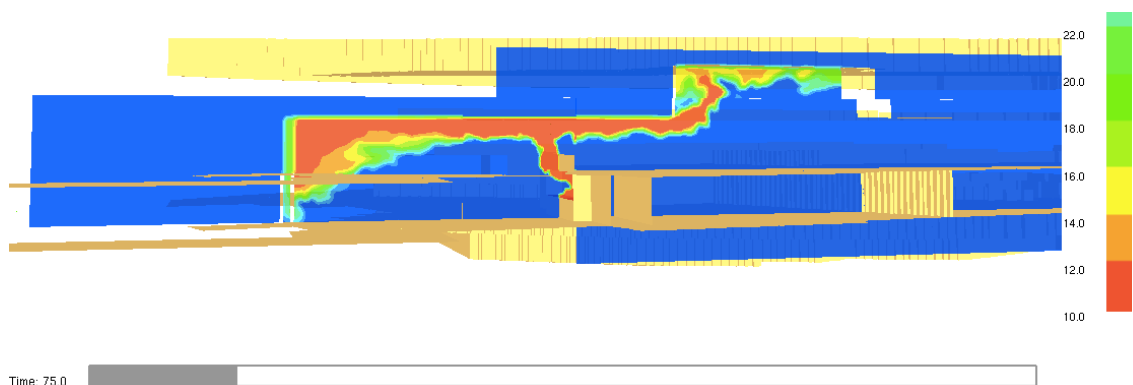


Time: 479.0

Figur 77. Brandgasernas spridning efter 480 sekunder.

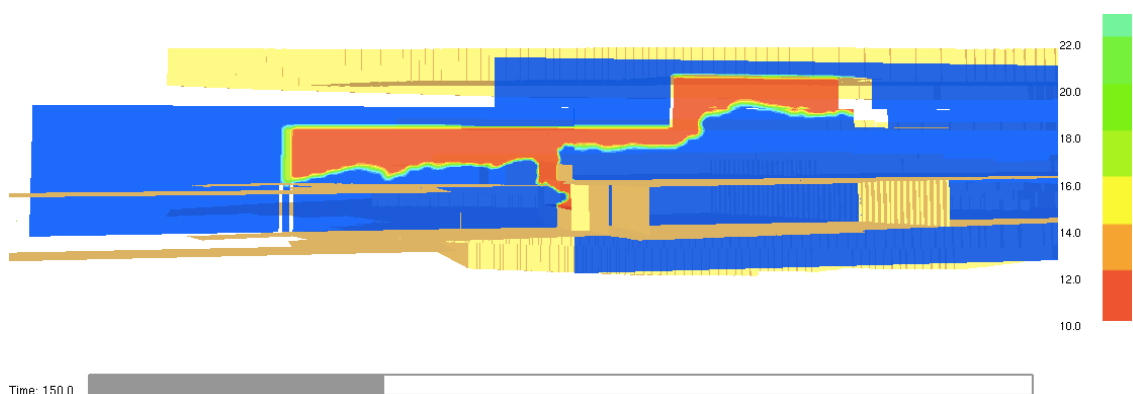
För mätning av sikt användes så kallade Slice files. Dessa ger ett visuellt resultat över ett helt plan. Ögonblicksbilder har tagits vid de tidpunkter då kritiska förhållanden uppstått eller vid andra tidpunkter som ansetts viktiga att belysa.

I Figur 78 visas den simulerade sikten efter 75 sekunder. Kritisk värde (sikt <10 m) är markerat med rött.



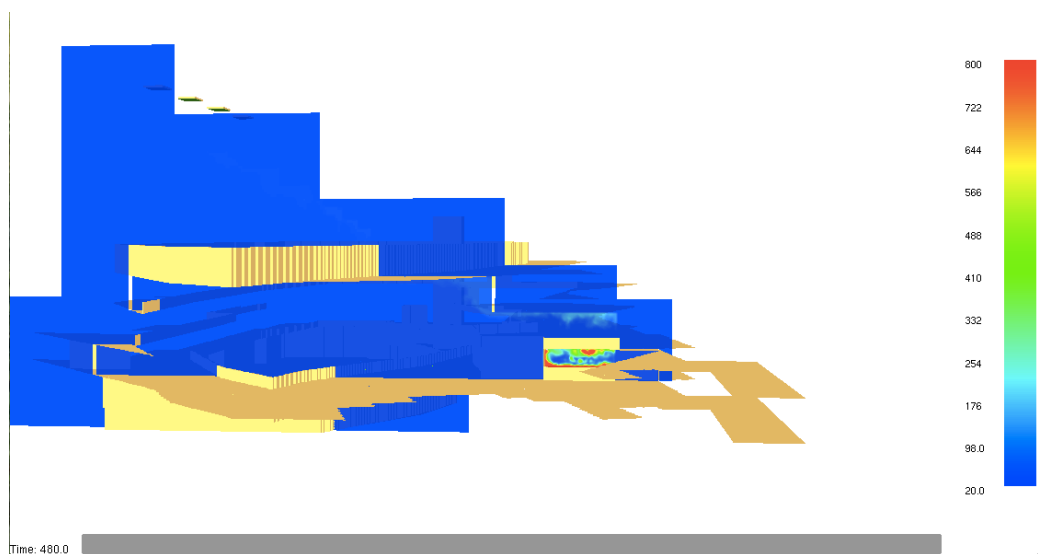
Time: 75.0
 Figur 78. Sikt vid branden efter 75 sekunder.

I Figur 79 visas den simulerade sikten efter 150 sekunder. Kritisk värde (sikt <10 m) är markerat med rött. Från och med den tiden och under resten av det simulerade brandförloppet var värdet för sikten stabilt på samma nivå. Kritiska värden för sikten uppstår alltså inte under det simulerade förloppet.



Time: 150.0
 Figur 79. Sikt vid branden efter 150 sekunder.

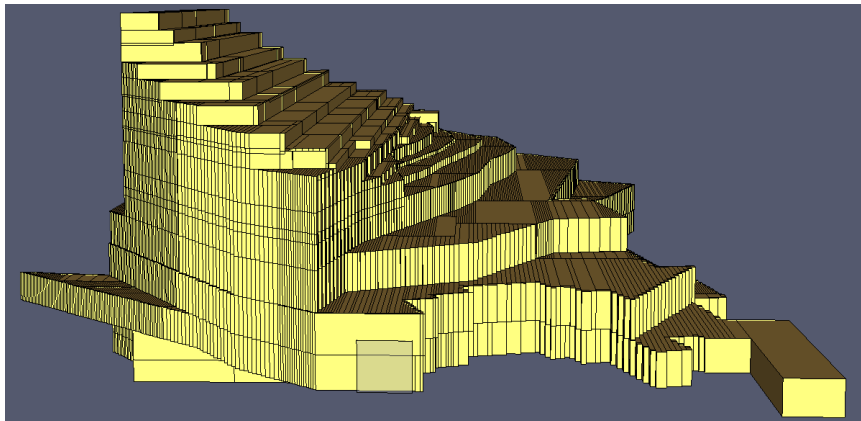
I Figur 80 presenteras temperaturen nära branden i slutet av det simulerade brandförloppet. Kritisk temperatur kan inte ses i det brandgaslager som syns i figuren. Beakta dock att stora delar av det blå området ligger utanför byggnaden och alltså inte ger några värden för brandgaslagret.



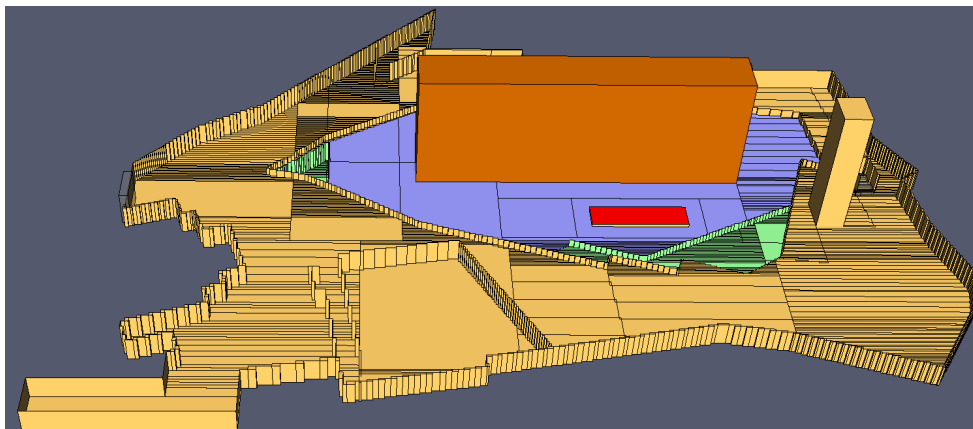
Time: 480.0
 Figur 80. Temperaturen vid tiden 480 sekunder.

Bilaga 9 Kod för FDS

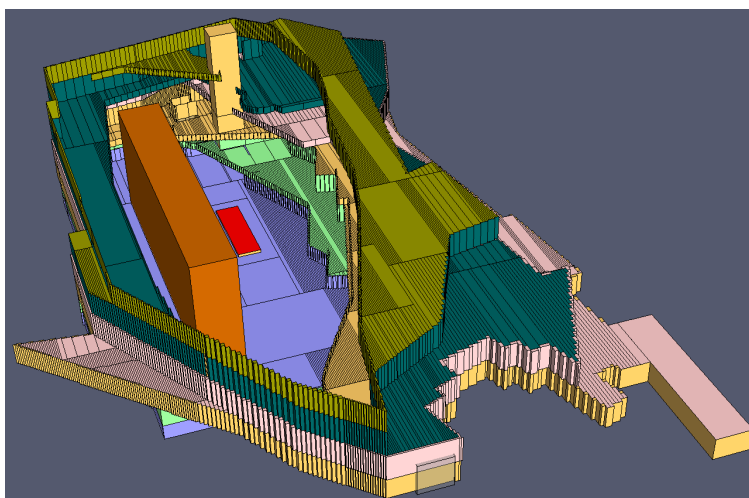
I den här bilagan presenteras koden som användes för simuleringarna i FDS. Modellen byggdes i Pyrosim och koden för FDS genererades av programmet. På grund av den komplicerade geometrin genererades en stor mängd kod enbart för geometrin. Detta inkluderas inte nedan, men geometrin kan ses i Figur 81, Figur 82 och Figur 83. Bortsett från den definierade branden (markerat med rött) och Vasaskeppet (markerat med brunt) är geometrierna samma för båda scenarierna.



Figur 81. Modellgeometri sett från sidan.



Figur 82. Modellgeometri där plan 2, 3 och 4 kan ses.



Figur 83. Modellgeometri där samtliga besöksplan kan ses.

Nedan följer koden för scenario B – Storbåten.

&HEAD CHID='Vasamuseet_storbaten/'

&TIME T_END=480.0/

&DUMP COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_BNDF=1.0, DT_DEVC=1.0, DT_RESTART=300.0, DT_SLCF=1.0/

&MISC HUMIDITY=55.0/

&MESH ID='MESH01', IJK=158,72,120, XB=59.0,74.8,34.0,41.2,0.0,12.0/
&MESH ID='MESH02', IJK=158,72,120, XB=59.0,74.8,34.0,41.2,12.0,24.0/
&MESH ID='MESH03', IJK=150,50,100, XB=50.0,80.0,24.0,34.0,0.0,20.0/
&MESH ID='MESH04', IJK=150,34,140, XB=50.0,80.0,41.2,48.0,0.0,28.0/
&MESH ID='MESH05', IJK=45,36,120, XB=50.0,59.0,34.0,41.2,0.0,24.0/
&MESH ID='MESH06', IJK=26,36,120, XB=74.8,80.0,34.0,41.2,0.0,24.0/
&MESH ID='MESH07', IJK=150,30,153, XB=50.0,80.0,48.0,54.0,0.0,30.6/
&MESH ID='MESH08', IJK=150,40,176, XB=50.0,80.0,54.0,62.0,0.0,35.2/
&MESH ID='MESH09', IJK=104,80,120, XB=80.0,100.8,28.0,44.0,0.0,24.0/
&MESH ID='MESH10', IJK=80,80,167, XB=80.0,96.0,44.0,60.0,0.0,33.4/
&MESH ID='MESH11', IJK=150,90,80, XB=50.0,80.0,6.0,24.0,2.0,18.0/
&MESH ID='MESH12', IJK=60,100,137, XB=38.0,50.0,28.0,48.0,0.0,27.4/
&MESH ID='MESH13', IJK=60,117,176, XB=38.0,50.0,48.0,71.4,0.0,35.2/
&MESH ID='MESH14', IJK=104,110,88, XB=80.0,100.8,6.0,28.0,0.0,17.6/
&MESH ID='MESH15', IJK=64,100,138, XB=25.2,38.0,28.0,48.0,0.0,27.6/
&MESH ID='MESH16', IJK=64,100,176, XB=25.2,38.0,48.0,68.0,0.0,35.2/
&MESH ID='MESH17', IJK=84,122,85, XB=33.2,50.0,3.6,28.0,0.0,17.0/
&MESH ID='MESH18', IJK=106,68,120, XB=4.0,25.2,28.0,41.6,2.0,26.0/
&MESH ID='MESH19', IJK=43,31,60, XB=8.0,25.2,41.6,54.0,2.0,26.0/
&MESH ID='MESH20', IJK=83,70,24, XB=0.0,33.2,0.0,28.0,4.8,14.4/

Material konstruktion

&MATL ID='Betong',
SPECIFIC_HEAT=0.88,
CONDUCTIVITY=1.1,
DENSITY=2000.0/

&SURF ID='Betong',
DEFAULT=.TRUE.,
BACKING='VOID',
MATL_ID(1,1)='Betong',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
THICKNESS(1)=0.3/

Branden och förbränning

&REAC ID='Storbatbrand',
FUEL='REAC_FUEL',
C=3.4,
H=6.2,
O=2.5,
CO_YIELD=0.004,
SOOT_YIELD=0.015,
HEAT_OF_COMBUSTION=1.26E4/

&SURF ID='Brand',
COLOR='RED',
HRRPUA=250.0,
RAMP_Q='Brand_RAMP_Q'/

&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=26.0, F=0.01/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=45.0, F=0.02/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=60.0, F=0.03/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=75.0, F=0.04/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=90.0, F=0.06/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=105.0, F=0.08/

&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=120.0, F=0.11/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=135.0, F=0.14/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=150.0, F=0.17/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=165.0, F=0.2/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=180.0, F=0.24/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=195.0, F=0.28/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=210.0, F=0.33/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=225.0, F=0.38/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=240.0, F=0.43/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=255.0, F=0.48/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=270.0, F=0.54/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=285.0, F=0.6/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=300.0, F=0.67/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=315.0, F=0.74/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=330.0, F=0.81/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=345.0, F=0.88/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=360.0, F=0.96/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=367.0, F=1.0/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=480.0, F=1.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=61.0,72.7,36.0,39.2,0.0,0.4, SURF_ID='INERT'/
&VENT ID='Vent', SURF_ID='Brand', XB=61.0,72.7,36.0,39.2,0.4,0.4/

Vasaskeppet

&MATL ID='Trä',
SPECIFIC_HEAT=1.5,
CONDUCTIVITY=0.15,
DENSITY=700.0/

&SURF ID='Trä',
RGB=146.0,202.0,166.0,
BACKING='VOID',
MATL_ID(1,1)='Trä',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
THICKNESS(1)=0.2/

&OBST ID='Vasaskeppet', XB=40.0,80.0,44.2,50.0,0.0,15.0, RGB=204.0,102.0,0.0, SURF_ID='Trä'/

Brandgasventilation – aktiveras vid t = 90 s

&DEVC ID='TIMER->OUT', QUANTITY='TIME', XYZ=59.0,34.0,0.0, SETPOINT=90.0/

&HOLE ID='Tilluft', XB=6.0,7.0,31.0,35.2,4.8,8.8, DEVC_ID='TIMER->OUT'/

&SURF ID='Brandgasventilation',
RGB=0.0,153.0,0.0,
VOLUME_FLOW=10.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=43.2,46.0,56.8,58.8,33.0,33.2, SURF_ID='INERT'/
&OBST ID='Obstruction', XB=53.2,56.0,56.8,58.8,33.0,33.2, SURF_ID='INERT'/
&OBST ID='Obstruction', XB=63.2,66.0,56.8,58.8,33.0,33.2, SURF_ID='INERT'/
&OBST ID='Obstruction', XB=73.2,76.0,56.8,58.8,33.0,33.2, SURF_ID='INERT'/

&VENT ID='Vent01', SURF_ID='Brandgasventilation', XB=43.2,46.0,56.8,58.8,33.0,33.0, DEVC_ID='TIMER->OUT'/
&VENT ID='Vent05', SURF_ID='Brandgasventilation', XB=53.2,56.0,56.8,58.8,33.0,33.0, DEVC_ID='TIMER->OUT'/
&VENT ID='Vent06', SURF_ID='Brandgasventilation', XB=63.2,66.0,56.8,58.8,33.0,33.0, DEVC_ID='TIMER->OUT'/
&VENT ID='Vent07', SURF_ID='Brandgasventilation', XB=73.2,76.0,56.8,58.8,33.0,33.0, DEVC_ID='TIMER->OUT'/

Flödesmätning brandgasventilation

&DEVC ID='FLOW01', QUANTITY='VOLUME FLOW', XB=43.2,46.0,56.8,58.8,33.0,33.0/
&DEVC ID='FLOW02', QUANTITY='VOLUME FLOW', XB=53.2,56.0,56.8,58.8,33.0,33.0/
&DEVC ID='FLOW03', QUANTITY='VOLUME FLOW', XB=63.2,66.0,56.8,58.8,33.0,33.0/
&DEVC ID='FLOW04', QUANTITY='VOLUME FLOW', XB=73.2,76.0,56.8,58.8,33.0,33.0/

Temperaturmätning 1 m I sidled från branden, från golv till tak

&DEVC ID='T01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,1.0/
&DEVC ID='T02', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,2.0/

&DEVC ID='T03', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,3.0/
&DEVC ID='T04', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,4.0/
&DEVC ID='T05', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,5.0/
&DEVC ID='T06', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,6.0/
&DEVC ID='T07', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,7.0/
&DEVC ID='T08', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,8.0/
&DEVC ID='T09', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,9.0/
&DEVC ID='T10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,10.0/
&DEVC ID='T11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,11.0/
&DEVC ID='T12', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,12.0/
&DEVC ID='T13', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,13.0/
&DEVC ID='T14', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,14.0/
&DEVC ID='T15', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,15.0/
&DEVC ID='T16', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,16.0/
&DEVC ID='T17', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,17.0/
&DEVC ID='T18', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,18.0/
&DEVC ID='T19', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,19.0/
&DEVC ID='T20', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,20.0/
&DEVC ID='T21', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,21.0/
&DEVC ID='T22', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,22.0/
&DEVC ID='T23', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=66.35,40.2,23.0/

Mätning FED – Plan 2

&DEVC ID='FED2_01', QUANTITY='FED', XYZ=47.0,29.0,1.6/
&DEVC ID='FED2_02', QUANTITY='FED', XYZ=91.0,46.0,1.6/
&DEVC ID='FED2_03', QUANTITY='FED', XYZ=52.0,60.0,2.0/

Mätning FED – Plan 3

&DEVC ID='FED3_03', QUANTITY='FED', XYZ=74.0,30.0,3.6/
&DEVC ID='FED3_02', QUANTITY='FED', XYZ=92.0,41.0,3.6/
&DEVC ID='FED3_01', QUANTITY='FED', XYZ=68.0,25.0,3.6/

Mätning FED – Plan 4

&DEVC ID='FED4_06', QUANTITY='FED', XYZ=37.0,30.0,6.4/
&DEVC ID='FED4_01', QUANTITY='FED', XYZ=60.0,20.0,6.4/
&DEVC ID='FED4_02', QUANTITY='FED', XYZ=65.0,20.0,6.4/
&DEVC ID='FED4_03', QUANTITY='FED', XYZ=70.0,20.0,6.4/
&DEVC ID='FED4_04', QUANTITY='FED', XYZ=75.0,20.0,6.4/
&DEVC ID='FED4_05', QUANTITY='FED', XYZ=80.0,20.0,6.4/
&DEVC ID='FED4_07', QUANTITY='FED', XYZ=32.0,32.0,6.4/
&DEVC ID='FED4_08', QUANTITY='FED', XYZ=27.0,34.0,6.4/
&DEVC ID='FED4_09', QUANTITY='FED', XYZ=22.0,36.0,6.4/
&DEVC ID='FED4_10', QUANTITY='FED', XYZ=17.0,38.0,6.4/
&DEVC ID='FED4_11', QUANTITY='FED', XYZ=52.0,60.0,6.4/

Mätning FED – Plan 5

&DEVC ID='FED5_01', QUANTITY='FED', XYZ=58.0,20.0,9.2/
&DEVC ID='FED5_02', QUANTITY='FED', XYZ=63.0,20.0,9.2/
&DEVC ID='FED5_03', QUANTITY='FED', XYZ=68.0,20.0,9.2/
&DEVC ID='FED5_04', QUANTITY='FED', XYZ=73.0,20.0,9.2/
&DEVC ID='FED5_05', QUANTITY='FED', XYZ=78.0,20.0,9.2/
&DEVC ID='FED5_06', QUANTITY='FED', XYZ=48.0,60.0,9.2/
&DEVC ID='FED5_07', QUANTITY='FED', XYZ=96.0,27.0,9.2/

Mätning FED – Plan 6

&DEVC ID='FED6_01', QUANTITY='FED', XYZ=82.0,27.0,12.4/
&DEVC ID='FED6_02', QUANTITY='FED', XYZ=96.0,30.0,12.4/
&DEVC ID='FED6_03', QUANTITY='FED', XYZ=94.0,40.0,12.4/
&DEVC ID='FED6_04', QUANTITY='FED', XYZ=93.0,45.0,12.4/
&DEVC ID='FED6_05', QUANTITY='FED', XYZ=92.0,50.0,12.4/
&DEVC ID='FED6_06', QUANTITY='FED', XYZ=67.0,56.0,12.4/
&DEVC ID='FED6_07', QUANTITY='FED', XYZ=62.0,56.0,12.4/
&DEVC ID='FED6_08', QUANTITY='FED', XYZ=57.0,56.0,12.4/
&DEVC ID='FED6_09', QUANTITY='FED', XYZ=52.0,56.0,12.4/
&DEVC ID='FED6_10', QUANTITY='FED', XYZ=47.0,56.0,12.4/

Mätning FED – Plan 7

&DEVC ID='FED7_01', QUANTITY='FED', XYZ=93.0,45.0,15.6/
&DEVC ID='FED7_02', QUANTITY='FED', XYZ=91.0,41.0,15.6/
&DEVC ID='FED7_03', QUANTITY='FED', XYZ=89.0,37.0,15.6/
&DEVC ID='FED7_04', QUANTITY='FED', XYZ=93.6,50.0,15.6/

Mätning strålning - Plan 2

&DEVC ID='RAD2_01', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=60.0,41.0,1.0/
&DEVC ID='RAD2_02', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=62.5,41.0,1.0/
&DEVC ID='RAD2_03', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=65.0,41.0,1.0/
&DEVC ID='RAD2_04', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=67.5,41.0,1.0/
&DEVC ID='RAD2_05', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=70.0,41.0,1.0/
&DEVC ID='RAD2_06', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=72.5,41.0,1.0/

Mätning strålning - Plan 3

&DEVC ID='RAD3_01', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=58.0,28.0,3.6/
&DEVC ID='RAD3_02', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=78.0,32.0,3.6/

Mätning rökgaslager

&DEVC ID='LAYER_2_tak', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=59.0,59.0,43.0,43.0,0.0,24.0/
&DEVC ID='LAYER_3_tak', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=70.0,70.0,27.0,27.0,2.0,17.6/
&DEVC ID='LAYER_6_tak', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=82.0,82.0,29.0,29.0,10.8,17.6/
&DEVC ID='LAYER_4_6', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=31.0,31.0,29.0,29.0,4.8,14.0/

Mätning CO – Plan 2

&DEVC ID='CO2_01', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=47.0,29.0,1.6/
&DEVC ID='CO2_02', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=91.0,46.0,1.6/
&DEVC ID='CO2_03', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=50.0,60.0,1.6/

Mätning CO – Plan 3

&DEVC ID='CO3_01', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=67.0,26.0,3.6/
&DEVC ID='CO3_02', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=92.0,42.0,3.6/

Mätning CO – Plan 4

&DEVC ID='CO4_01', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=80.0,20.0,6.4/
&DEVC ID='CO4_02', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=75.0,20.0,6.4/
&DEVC ID='CO4_03', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=70.0,20.0,6.4/
&DEVC ID='CO4_04', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=65.0,20.0,6.4/
&DEVC ID='CO4_05', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=60.0,20.0,6.4/
&DEVC ID='CO4_06', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=52.0,60.0,6.4/

Mätning CO – Plan 5

&DEVC ID='CO5_01', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=58.0,20.0,9.2/
&DEVC ID='CO5_02', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=63.0,20.0,9.2/
&DEVC ID='CO5_03', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=68.0,20.0,9.2/
&DEVC ID='CO5_04', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=73.0,20.0,9.2/
&DEVC ID='CO5_05', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=78.0,20.0,9.2/
&DEVC ID='CO5_06', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=48.0,60.0,9.2/
&DEVC ID='CO5_07', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=96.0,27.0,9.2/

Mätning CO – Plan 6

&DEVC ID='CO6_01', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=82.0,27.0,12.4/
&DEVC ID='CO6_02', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=96.0,30.0,12.4/
&DEVC ID='CO6_03', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=94.0,40.0,12.4/
&DEVC ID='CO6_04', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=93.0,45.0,12.4/
&DEVC ID='CO6_05', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=92.0,50.0,12.4/
&DEVC ID='CO6_06', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=67.0,56.0,12.4/
&DEVC ID='CO6_07', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=62.0,56.0,12.4/
&DEVC ID='CO6_08', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=57.0,56.0,12.4/
&DEVC ID='CO6_09', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=52.0,56.0,12.4/
&DEVC ID='CO6_10', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=47.0,56.0,12.4/

Mätning CO – Plan 7

&DEVC ID='CO7_01', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=93.0,45.0,15.6/
&DEVC ID='CO7_02', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=91.0,41.0,15.6/
&DEVC ID='CO7_03', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=89.0,37.0,15.6/

&DEVC ID='CO7_04', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=93.6,50.0,15.6/

Mätning CO₂ – Plan 2

&DEVC ID='CO2_2_01', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=47.0,29.0,1.6/

&DEVC ID='CO2_2_02', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=91.0,46.0,1.6/

&DEVC ID='CO2_2_03', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=50.0,60.0,1.6/

Mätning CO₂ – Plan 3

&DEVC ID='CO2_3_01', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=67.0,26.0,3.6/

&DEVC ID='CO2_3_02', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=92.0,42.0,3.6/

Mätning CO₂ – Plan 4

&DEVC ID='CO2_4_01', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=80.0,20.0,6.4/

&DEVC ID='CO2_4_02', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=75.0,20.0,6.4/

&DEVC ID='CO2_4_03', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=70.0,20.0,6.4/

&DEVC ID='CO2_4_04', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=65.0,20.0,6.4/

&DEVC ID='CO2_4_05', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=60.0,20.0,6.4/

&DEVC ID='CO2_4_06', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=52.0,60.0,6.4/

Mätning CO₂ – Plan 5

&DEVC ID='CO2_5_01', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=58.0,20.0,9.2/

&DEVC ID='CO2_5_02', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=63.0,20.0,9.2/

&DEVC ID='CO2_5_03', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=68.0,20.0,9.2/

&DEVC ID='CO2_5_04', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=73.0,20.0,9.2/

&DEVC ID='CO2_5_05', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=78.0,20.0,9.2/

&DEVC ID='CO2_5_06', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=48.0,60.0,9.2/

&DEVC ID='CO2_5_07', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=96.0,27.0,9.2/

Mätning CO₂ – Plan 6

&DEVC ID='CO2_6_01', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=82.0,27.0,12.4/

&DEVC ID='CO2_6_02', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=96.0,30.0,12.4/

&DEVC ID='CO2_6_03', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=94.0,40.0,12.4/

&DEVC ID='CO2_6_04', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=93.0,45.0,12.4/

&DEVC ID='CO2_6_05', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=92.0,50.0,12.4/

&DEVC ID='CO2_6_06', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=67.0,56.0,12.4/

&DEVC ID='CO2_6_07', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=62.0,56.0,12.4/

&DEVC ID='CO2_6_08', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=57.0,56.0,12.4/

&DEVC ID='CO2_6_09', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=52.0,56.0,12.4/

&DEVC ID='CO2_6_10', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=47.0,56.0,12.4/

Mätning CO₂ – Plan 7

&DEVC ID='CO2_7_01', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=93.0,45.0,15.6/

&DEVC ID='CO2_7_02', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=91.0,41.0,15.6/

&DEVC ID='CO2_7_03', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=89.0,37.0,15.6/

&DEVC ID='CO2_7_04', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', XYZ=93.6,50.0,15.6/

Mätning stålning och temperatur Vasaskeppet

&BNDF QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX'/

&BNDF QUANTITY='RADIOMETER'/

&BNDF QUANTITY='WALL TEMPERATURE'/

Diverse slice files för visuellt resultat

&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=6.6/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=37.6/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', PBX=56.0/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', PBX=24.0/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=33.0/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=42.2/

&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=57.8/

&TAIL /

Nedan följer koden för scenario H – Garderoben.

&HEAD CHID='vasamuseet_garderob/'

&TIME T_END=480.0/

&DUMP COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_BNDF=1.0, DT_DEVC=1.0, DT_RESTART=300.0, DT_SLCF=1.0/

&MISC HUMIDITY=55.0/

&MESH ID='MESH01', IJK=70,180,72, XB=24.0,31.0,6.0,24.0,4.8,12.0/
&MESH ID='MESH02', IJK=120,120,36, XB=0.0,24.0,0.0,24.0,4.8,12.0/
&MESH ID='MESH03', IJK=380,50,15, XB=26.0,102.0,10.8,20.8,12.0,15.0/
&MESH ID='MESH04', IJK=120,130,60, XB=20.0,44.0,24.0,50.0,0.0,12.0/
&MESH ID='MESH05', IJK=80,130,60, XB=4.0,20.0,24.0,50.0,0.0,12.0/
&MESH ID='MESH06', IJK=220,84,45, XB=10.0,54.0,20.8,37.6,12.0,21.0/
&MESH ID='MESH07', IJK=150,68,84, XB=26.0,56.0,37.6,51.2,12.0,28.8/
&MESH ID='MESH08', IJK=110,82,70, XB=4.0,26.0,37.6,54.0,12.0,26.0/
&MESH ID='MESH09', IJK=120,110,60, XB=20.0,44.0,50.0,72.0,0.0,12.0/
&MESH ID='MESH10', IJK=171,102,50, XB=31.0,65.2,3.6,24.0,2.0,12.0/
&MESH ID='MESH11', IJK=72,190,60, XB=44.0,58.4,24.0,62.0,0.0,12.0/
&MESH ID='MESH12', IJK=72,190,60, XB=58.4,72.8,24.0,62.0,0.0,12.0/
&MESH ID='MESH13', IJK=151,54,116, XB=26.0,56.2,51.2,62.0,12.0,35.2/
&MESH ID='MESH14', IJK=138,68,84, XB=56.0,83.6,37.6,51.2,12.0,28.8/
&MESH ID='MESH15', IJK=82,68,70, XB=83.6,100.0,37.6,51.2,12.0,26.0/
&MESH ID='MESH16', IJK=137,54,116, XB=56.2,83.6,51.2,62.0,12.0,35.2/
&MESH ID='MESH17', IJK=58,44,70, XB=83.6,95.2,51.2,60.0,12.0,26.0/
&MESH ID='MESH18', IJK=240,84,45, XB=54.0,102.0,20.8,37.6,12.0,21.0/
&MESH ID='MESH19', IJK=92,51,25, XB=65.2,102.0,3.6,24.0,2.0,12.0/
&MESH ID='MESH20', IJK=68,95,30, XB=72.8,100.0,24.0,62.0,0.0,12.0/

Material i konstruktion

&MATL ID='Betong',
SPECIFIC_HEAT=0.88,
CONDUCTIVITY=1.1,
DENSITY=2000.0/

&SURF ID='Betong',
BACKING='VOID',
MATL_ID(1,1)='Betong',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
THICKNESS(1)=0.3/

Branden och förbränning

&REAC ID='Garderob',
FUEL='REAC_FUEL',
FORMULA='C10H8O4',
CO_YIELD=0.02,
SOOT_YIELD=0.075,
HEAT_OF_COMBUSTION=2.65E4/

&SURF ID='Brand',
COLOR='RED',
HRRPUA=555.555,
RAMP_Q='Brand_RAMP_Q'/

&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=0.0, F=0.0/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=20.0, F=0.01/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=44.0, F=0.03/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=58.0, F=0.05/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=70.0, F=0.07/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=90.0, F=0.11/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=110.0, F=0.16/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=130.0, F=0.23/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=150.0, F=0.3/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=170.0, F=0.39/

&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=190.0, F=0.48/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=210.0, F=0.59/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=230.0, F=0.71/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=250.0, F=0.84/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=260.0, F=0.91/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=273.0, F=1.0/
&RAMP ID='Brand_RAMP_Q', T=480.0, F=1.0/

&OBST ID='Obstruction', XB=29.9,30.9,11.0,17.3,4.8,6.0, SURF_ID='INERT'/
&VENT ID='Vent_brand', SURF_ID='Brand', XB=29.9,30.9,11.0,17.3,6.0,6.0/

Detektorer

&PROP ID='Default',
QUANTITY='LINK TEMPERATURE',
INITIAL_TEMPERATURE=20.0,
ACTIVATION_TEMPERATURE=33.0,
RTI=0.5/

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

&DEVC ID='Värmedetektor', PROP_ID='Default', XYZ=29.6,17.0,7.59/
&DEVC ID='Rökdetektor', PROP_ID='Cleary Photoelectric P1', XYZ=29.6,17.0,7.59/

Brandgasventilation – aktiveras med detektorer

&CTRL ID='Control01', FUNCTION_TYPE='ALL', LATCH=.TRUE., INPUT_ID='or'/
&CTRL ID='or', FUNCTION_TYPE='ANY', LATCH=.FALSE., INPUT_ID='Rökdetektor','Värmedetektor'/

&SURF ID='Brandgasventilation',
RGB=26.0,128.0,26.0,
VOLUME_FLOW=10.0/

&HOLE ID='Tilluft', XB=6.4,6.8,31.0,35.2,4.8,8.8, CTRL_ID='Control01'/

&OBST ID='Obstruction', XB=43.2,46.0,57.2,59.2,33.0,33.2, SURF_ID='INERT'/
&OBST ID='Obstruction', XB=53.2,56.0,57.2,59.2,33.0,33.2, SURF_ID='INERT'/
&OBST ID='Obstruction', XB=63.2,66.0,57.2,59.2,33.0,33.2, SURF_ID='INERT'/
&OBST ID='Obstruction', XB=73.2,76.0,57.2,59.2,33.0,33.2, SURF_ID='INERT'/
&VENT ID='Vent01', SURF_ID='Brandgasventilation', XB=43.2,46.0,57.2,59.2,33.0,33.0, CTRL_ID='Control01'/
&VENT ID='Vent02', SURF_ID='Brandgasventilation', XB=53.2,56.0,57.2,59.2,33.0,33.0, CTRL_ID='Control01'/
&VENT ID='Vent03', SURF_ID='Brandgasventilation', XB=63.2,66.0,57.2,59.2,33.0,33.0, CTRL_ID='Control01'/
&VENT ID='Vent04', SURF_ID='Brandgasventilation', XB=73.2,76.0,57.2,59.2,33.0,33.0, CTRL_ID='Control01'/

Mätning flöde brandgasventilation

&DEVC ID='FLOW01', QUANTITY='VOLUME FLOW', XB=43.2,46.0,57.2,59.2,33.0,33.0/
&DEVC ID='FLOW02', QUANTITY='VOLUME FLOW', XB=53.2,56.0,57.2,59.2,33.0,33.0/
&DEVC ID='FLOW03', QUANTITY='VOLUME FLOW', XB=63.2,66.0,57.2,59.2,33.0,33.0/
&DEVC ID='FLOW04', QUANTITY='VOLUME FLOW', XB=73.2,76.0,57.2,59.2,33.0,33.0/

Mätning temperatur – 0,5 m från branden

&DEVC ID='T01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=29.4,14.15,5.8/
&DEVC ID='T02', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=29.4,14.15,6.8/
&DEVC ID='T03', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=29.4,14.15,7.8/
&DEVC ID='T04', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=29.4,14.15,8.8/
&DEVC ID='T05', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=29.4,14.15,9.8/
&DEVC ID='T06', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=29.4,14.15,10.8/

Mätning temperatur – 1,5 m från branden

&DEVC ID='T07', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=28.4,14.15,5.8/
&DEVC ID='T08', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=28.4,14.15,6.8/
&DEVC ID='T09', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=28.4,14.15,7.8/
&DEVC ID='T10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=28.4,14.15,8.8/

&DEVC ID='T11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=28.4,14.15,9.8/
&DEVC ID='T12', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=28.4,14.15,10.8/

Mätning sikt vid den normala utgången

&DEVC ID='V01', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=1.0,2.5,6.4/
&DEVC ID='V02', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=3.0,2.5,6.4/
&DEVC ID='V03', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=5.0,2.5,6.4/
&DEVC ID='V04', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=7.0,2.5,6.4/
&DEVC ID='V05', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=9.0,2.5,6.4/
&DEVC ID='V06', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=11.0,2.5,6.4/
&DEVC ID='V07', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=13.0,2.5,6.4/
&DEVC ID='V08', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=15.0,2.5,6.4/
&DEVC ID='V09', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=17.0,2.5,6.4/
&DEVC ID='V10', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=19.0,2.5,6.4/

Mätning strålning från branden

&DEVC ID='GAS01', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=29.4,14.15,6.4, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='GAS02', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=28.4,14.15,6.4, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='GAS03', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=27.4,14.15,6.4, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='GAS04', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=26.4,14.15,6.4, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/
&DEVC ID='GAS05', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=25.4,14.15,6.4, ORIENTATION=-1.0,0.0,0.0/

Mätning CO – Plan 4

&DEVC ID='CO01', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=29.4,14.15,6.4/
&DEVC ID='CO02', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=29.4,14.15,7.4/
&DEVC ID='CO03', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=29.4,14.15,8.4/
&DEVC ID='CO04', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=29.4,14.15,9.4/
&DEVC ID='CO05', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=29.4,14.15,10.4/

Mätning CO – Plan 5

&DEVC ID='CO5_01', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=96.4,27.15,9.2/
&DEVC ID='CO5_02', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', XYZ=47.4,21.15,9.2/

Mätning brandgaslager

&DEVC ID='LAYER_Brand', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=25.0,25.0,15.0,15.0,4.8,10.8/
&DEVC ID='LAYER_4_5_6', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=28.0,28.0,28.0,28.0,4.8,12.0/
&DEVC ID='LAYER_4_5_6 övre mesh', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=28.0,28.0,28.0,28.0,12.0,14.0/
&DEVC ID='LAYER_5', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=50.0,50.0,17.0,17.0,7.6,12.0/
&DEVC ID='LAYER_5 övre mesh', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=50.0,50.0,17.0,17.0,12.0,14.0/
&DEVC ID='LAYER_2_tak', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=34.0,34.0,43.0,43.0,0.0,12.0/
&DEVC ID='LAYER_2_tak övre mesh', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=34.0,34.0,43.0,43.0,12.0,24.0/

Mätning FED – Plan 4

&DEVC ID='FED4_01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=23.0,8.0,6.4/
&DEVC ID='FED4_02', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=23.0,11.0,6.4/
&DEVC ID='FED4_03', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=23.0,14.0,6.4/
&DEVC ID='FED4_04', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=23.0,17.0,6.4/
&DEVC ID='FED4_05', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=23.0,20.0,6.4/
&DEVC ID='FED4_06', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=23.0,23.0,6.4/
&DEVC ID='FED4_07', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=23.0,26.0,6.4/
&DEVC ID='FED4_08', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=23.0,29.0,6.4/
&DEVC ID='FED4_09', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=23.0,32.0,6.4/
&DEVC ID='FED4_10', QUANTITY='FED', XYZ=19.0,2.5,6.2/
&DEVC ID='FED4_11', QUANTITY='FED', XYZ=17.0,2.5,6.2/
&DEVC ID='FED4_12', QUANTITY='FED', XYZ=15.0,2.5,6.2/
&DEVC ID='FED4_13', QUANTITY='FED', XYZ=13.0,2.5,6.2/
&DEVC ID='FED4_14', QUANTITY='FED', XYZ=11.0,2.5,6.2/
&DEVC ID='FED4_15', QUANTITY='FED', XYZ=9.0,2.5,6.2/
&DEVC ID='FED4_16', QUANTITY='FED', XYZ=7.0,2.5,6.2/
&DEVC ID='FED4_17', QUANTITY='FED', XYZ=5.0,2.5,6.2/
&DEVC ID='FED4_18', QUANTITY='FED', XYZ=3.0,2.5,6.2/

&DEVC ID='FED4_19', QUANTITY='FED', XYZ=1.0,2.5,6.2/
&DEVC ID='FED4_20', QUANTITY='FED', XYZ=40.0,27.0,6.2/
&DEVC ID='FED4_21', QUANTITY='FED', XYZ=37.0,27.0,6.2/
&DEVC ID='FED4_22', QUANTITY='FED', XYZ=34.0,27.0,6.2/
&DEVC ID='FED4_23', QUANTITY='FED', XYZ=31.0,27.0,6.2/
&DEVC ID='FED4_24', QUANTITY='FED', XYZ=28.0,27.0,6.2/
&DEVC ID='FED_25', QUANTITY='FED', XYZ=7.5,33.0109,6.4/

Mätning FED – Plan 5

&DEVC ID='FED5_01', QUANTITY='FED', XYZ=49.0,20.0,9.2/
&DEVC ID='FED5_02', QUANTITY='FED', XYZ=32.0,21.0,9.2/
&DEVC ID='FED5_03', QUANTITY='FED', XYZ=32.0,18.0,9.2/
&DEVC ID='FED5_04', QUANTITY='FED', XYZ=32.0,15.0,9.2/
&DEVC ID='FED5_05', QUANTITY='FED', XYZ=96.0,28.0,9.2/

Diverse slice files för visuellt resultat

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=30.4/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=6.6/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=14.1/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=58.2/

&TAIL /