

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

Titel

Brandteknisk riskvärdering av Historiska Museet, Stockholm

Title

Fire safety assessment of The Museum of National Antiquities, Stockholm

Författare/Authors

Maria Ekdahl
Jonas Ekström
Emelie Karlsson
Johan Nilsson
Tobias Nilsson

Brandingenjörsprogrammet, Lunds Tekniska Högskola, 2006
Fire Safety Engineering Program, Lund University, 2006

Rapport/Report

9290

Sökord

Brandteknisk riskvärdering, Historiska museet, utrymningssäkerhet, anlagd brand, kritiska förhållanden, CFast, Argos, Simulex, utrymning, brandscenario, funktionshindrade

Keywords

Fire safety evaluation, The Museum of National Antiquities, evacuation safety, arson, critical condition, CFast, Argos, Simulex, evacuation, fire scenario, handicapped

Språk/Language

Svenska/Swedish

Abstract

This report is a fire safety evaluation of The Museum of National Antiquities in Stockholm, Sweden. The purpose is to evaluate the safety regarding fire hazards and evacuation in the building. If the safety is found not to be satisfying this report is supposed to suggest improvements and changes that shall or should be implemented. After visiting the object, and by weighing probabilities and consequences of plausible events together, a risk assessment of the building was conducted. Applying this to specific requests from the museum, a few scenarios were created for further studies using mainly computer simulations and hand made calculations. The programs Argos, CFast and Simulex are used for this.

Bild på framsidan: Historiska museets fasad mot Narvavägen, Christer Ählin, Historiska museet, med tillåtelse

© copyright Avdelning för Brandteknik, LTH, Lund 2006

Avdelningen för Brandteknik

Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet
Box 118
221 00 Lund
Telefon: 046-222 73 60
Fax: 046-222 46 12
www.brand.lth.se
brand@brand.lth.se

Department of Fire Safety Engineering

Faculty of Engineering LTH
Lund University
P.O. Box 118
S-221 00 Lund
SWEDEN
Telephone: +46-46-222 73 60
Fax: +46-46-222 46 12
www.brand.lth.se
brand@brand.lth.se

Sammanfattning

Denna rapport är en brandteknisk riskvärdering av Historiska museet i Stockholm. Syftet är att utvärdera personsäkerheten med avseende på brand och utrymning. Målet är att rapporten ska fastställa om utrymning från de publika delarna i Historiska museet kan ske tillfredställande, samt ge förslag till förbättringar och förändringar som *bör* eller *skall* göras för att förbättra säkerheten. Om brister upptäcks ska rapporten ge förslag till förbättringar och förändringar som *bör* eller *skall* göras för att förbättra säkerheten mot brand eller vid utrymning.

Historiska museet ligger i en stor byggnad som uppfördes åren 1943-44 och är belägen mitt i Stockholm. Utställningarna är spridda över tre våningsplan varav ett är ett källarplan och de andra två, i huvudsak, är orienterade kring en stor innergård. På museet finns både fasta och tillfälliga utställningar, en museishop, ett café med både inne- och uteservering samt en del samlingsrum, garderob och toaletter.

Ett platsbesök har genomförts på objektet där de publika delarna granskats tillsammans med säkerhetsansvarig för museet och en representant för Statens Fastighetsverk. Med inhämtat material som grund har tänkbara brandscenarier formulerats, varav några valts ut för att studeras närmare i en scenarioanalys. Valet av scenarier baseras på en sammanvägning av sannolikheter och konsekvenser för objektet samt på önskemål från museets sida. De valda scenariona datorsimuleras med avseende på brandförlopp i programmen Argos och CFAST och med avseende på utrymningsförlopp i programmet Simulex. Syftet med simuleringarna är att se om och när kritiska förhållanden för människor kommer att uppstå i byggnaden till följd av en brand och hur lång tid det tar för personerna i byggnaden att utrymma.

Historiska museet är stort men har förhållandevis få nödutgångar. De flesta utrymningsvägar leder mot huvudentrén och i många fall genom innergården. Simuleringarna visar att kritiska förhållanden kommer att uppstå. Detta kommer dock i första hand endast vara ett hot för de personer som befinner sig i den del av byggnaden där branden startar, övriga besökare kommer att hinna utrymma utan att komma i kontakt med branden. Av tre valda scenarier är det ett där kritiska förhållanden uppstår innan samtliga hunnit utrymma brandrummet.

Historiska museets stora svaghet är att alla utrymningsvägar ut till det fria för rörelsehindrade och rullstolsburna personer är blockerade vid utrymning, detta då hissen inte kan användas vid brand samtidigt som alla besökare oavsett funktionshinder har fullt *tillträde* till samtliga lokaler. Ett problem är att byggnaden snart kan komma att bli kulturminnesmärkt och att om- och tillbyggnationer då kan genomföras i mycket stor begränsning.

Följande åtgärder presenteras i rapporten: Historiska museet *skall* förbättra utrymning för funktionshindrade personer, detta med hjälp av t.ex. säkra tillflyktsplatser och trappullstolar. Den extra dörren i Barocksalen *skall* göras till en utrymningsväg så att utrymningen blir säkrare vid stora evenemang i salen. Riktningen i utrymningsvägen mellan shoppen och forntidsutställningen *skall* vändas och förstärkas med skyltar så att eventuell utrymning blir mindre beroende av huvudentrén.

Med rekommenderade åtgärder anser vi att Historiska museets utrymningssäkerhet kan bli tillfredställande för alla besökare samt personal.

Förord

Vi vill rikta ett stort tack till följande personer som har ställt upp med tid, engagemang och handledning vid skrivandet av denna rapport.

Torkel Dittmer, Brandingenjör, Brandskyddslaget, Handledare. För entusiastisk rådgivning, granskning och uppmuntran (av diverse slag) under arbetets gång.

Håkan Frantzich, Universitetslektor, Brandteknik Lunds Tekniska Högskola. För tålmodig handledning som extrahandledare.

Stefan Anderberg, Säkerhetsansvarig, Historiska museet. För stort visat intresse samt snabba och utförliga svar på aldrig sinande frågor.

Stefan Gustafsson, Förvaltningstekniker, Statens Fastighetsverk. För svar på byggnadstekniska frågor samt en lång rundvandring med behövlig kaffepaus.

Lars Jensen, Professor Installations- och klimatiseringslära, Lunds Tekniska Högskola. För tålmodig hjälp vid tolkning av dödskallemärkta ventilationsritningar.

Bjarne Husted, Doktorand Brandteknik Lunds Tekniska Högskola. För hängiven hjälp med att hitta rätt i Argos.

Jens Ekberg, Grafisk formgivare. För sena natters rådgivning av grafisk layout.

Maria, Jonas, Emelie, Johan och Tobias
December 2006

Innehåll

1 INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND	1
1.2 SYFTE OCH MÅL	1
1.3 MÅLGRUPP	1
1.4 METOD	1
1.5 AVGRÄNSNINGAR.....	2
2 OBJEKTSBESKRIVNING.....	3
2.1 VERKSAMHET.....	3
2.2 KÄLLARVÅNING	4
2.3 ENTRÉVÅNING.....	5
2.4 VÅNING 2.....	6
3 BEFINTLIGT BRANDSKYDD.....	7
3.1 PASSIVA SYSTEM.....	7
3.2 AKTIVA SYSTEM.....	7
3.3 ÖVRIGA BRANDSKYDDSÅTGÄRDER	8
3.4 RÄDDNINGSTJÄNSTEN	8
4 UTRYMNING.....	9
4.1 TILLGÄNGLIGHET & UTRYMNINGSVÄGAR.....	9
4.1.1 Källarvåning.....	9
4.1.2 Entré våning	9
4.1.3 Våning 2.....	9
4.2 UTRYMNINGSRUTINER	10
4.3 KRITISKA FÖRHÅLLANDEN	10
4.3.1 Temperatur	11
4.3.2 Strålning	11
4.3.3 Brandgaslagrets höjd	11
4.3.4 Sikt.....	11
4.3.5 Toxicitet.....	11
4.4 UTRYMNINGSTID OCH MÄNNISKORS BETEENDE VID BRAND	12
4.4.1 Varseblivningstid.....	12
4.4.2 Beslut- och reaktionstid.....	12
4.4.3 Förflyttningstid.....	12
4.4.4 Utrymningsfaktorer	13
4.5 FUNKTIONSHINDRADES TILLGÄNGLIGHET I BYGGNADER	13
5 REGELVERK.....	15
5.1 ALLMÄNT.....	15
5.2 BOVERKET	15
5.2.1 BVF.....	15
5.2.2 BBR.....	16
5.2.3 Utrymningsdimensionering.....	17
5.3 ARBETSMILJÖVERKET	17
5.4 RÄDDNINGSVÄRKET	17
6 RISKBEDÖMNING	19
6.1 REFLEKTIONER FRÅN STUDIEBESÖK	19
6.2 STATISTIK	20
6.3 RISKIDENTIFIERING	21
6.4 VALDA SCENARIER.....	21
6.4.1 Anlagd brand i Barocksalen.....	22

6.4.2 Anlagd brand eller tekniskt fel i Fornverkstaden	22
6.4.3 Anlagd brand i Tankerummet	22
6.5 EJ VALDA SCENARIER	22
7 ANLAGD BRAND I BAROCKSALEN	25
7.1 ALLMÄN BESKRIVNING	25
7.2 SCENARIO	26
7.3 DIMENSIONERANDE BRAND	26
7.4 FÖRSÖKSUPPSTÄLLNINGAR	27
7.4.1 Argos	27
7.4.2 CFast	28
7.4.3 Simulex	28
7.5 RESULTAT	29
7.5.1 Analys	30
8 ANLAGD BRAND ELLER TEKNISKT FEL I FORNVERKSTADEN	31
8.1 ALLMÄN BESKRIVNING	31
8.2 SCENARIER	32
8.2.1 Scenario 1	32
8.2.2 Scenario 2	32
8.3 DIMENSIONERANDE BRAND	32
8.4 FÖRSÖKSUPPSTÄLLNINGAR	33
8.4.1 Argos	33
8.4.2 CFast	34
8.4.3 Simulex	34
8.5 RESULTAT	35
8.5.1 Analys	37
9 ANLAGD BRAND I TANKERUMMET	39
9.1 ALLMÄN BESKRIVNING	39
9.2 SCENARIO	40
9.3 DIMENSIONERANDE BRAND	40
9.4 FÖRSÖKSUPPSTÄLLNINGAR	41
9.4.1 Argos	41
9.4.2 CFast	42
9.4.3 Simulex	42
9.5 RESULTAT	42
9.5.1 Analys	43
10 VENTILATION	45
10.1 BAROCKSALEN	45
10.2 FORNVERKSTADEN	45
10.3 TANKERUMMET	45
10.4 ÖVRIGA RUM	45
11 KÄNSLIGHETSANALYS	47
11.1 URVALSPROCESS OCH SIMULERINGSPROGRAM	47
11.2 BAROCKSALEN	47
11.3 FORNVERKSTADEN	48
11.4 TANKERUMMET	48
12 DISKUSSION	49
12.1 BAROCKSALEN	49
12.2 FORNVERKSTADEN	49
12.3 TANKERUMMET	49
12.4 UTRYMNING FÖR FUNKTIONSHINDRADE	50

12.5 UTRYMNING FRÅN INNERGÅRDEN	50
12.6 TALAT UTRYMNINGSMEDDELANDE	50
13 FÖRSLAG TILL ÅTGÄRDER	53
14 SLUTSATS	55
15 REFERENSER.....	57
BILAGA A - TEKNISKA BEGREPP.....	59
BILAGA B - ANGREPPSVÄGAR FÖR RÄDDNINGSTJÄNST	61
BILAGA C - UTRYMNINGSPLANER.....	63
BILAGA D - DIMENSIONERANDE BRÄNDER.....	67
D.1 BAROCKSALEN	67
D.2 FORNVERKSTADEN	69
D.3 TANKERUMMET	70
BILAGA E - ANVÄNDA PROGRAM.....	73
E.1 2-ZONSMODELLER.....	73
<i>E.1.1 CFast version 6.0.9</i>	<i>73</i>
<i>E.1.2 Argos version 4.12</i>	<i>74</i>
E.2 UTRYMNINGSPROGRAM SIMULEX VERSION 11.1.3	74
BILAGA F - ANTAGANDEN SIMULEX.....	75
BILAGA G - HANDBERÄKNINGAR	77
G.1 BAROCKSALEN	77
<i>G.1.1 Sikt.....</i>	<i>78</i>
G.2 FORNVERKSTADEN	79
<i>G.2.1 Scenario 1.....</i>	<i>79</i>
<i>G.2.2 Scenario 2.....</i>	<i>80</i>
G.3 TANKERUMMET	80
BILAGA H - SIMULERINGSRESULTAT BAROCKSALEN	81
BILAGA I - SIMULERINGSRESULTAT FORNVERKSTADEN, SCENARIO 1.....	85
BILAGA J - SIMULERINGSRESULTAT FORNVERKSTADEN, SCENARIO 2	89
BILAGA K - SIMULERINGSRESULTAT TANKERUMMET	93
BILAGA L - SIMULERING AV NY NÖDUTGÅNG FRÅN BAROCKSALEN	97
L.1 RESULTAT.....	98
BILAGA M - SIMULERING AV BLOCKERAD ENTRÉ.....	99
M.1 RESULTAT.....	100

1 Inledning

Rapporten är ett obligatoriskt moment i kursen Brandteknisk Riskvärdering (VBR 054) som ges vid avdelningen för Brandteknik på Lunds Tekniska högskola. Kursen omfattar tio akademiska poäng och är obligatorisk för brandingenjörsexamen.

1.1 Bakgrund

Bakgrunden till kursen Brandteknisk riskvärdering grundas i

”Ägare eller nyttjanderättshavare till byggnader eller andra anläggningar skall i skälig omfattning hålla utrustning för släckning av brand och för livräddning vid brand eller annan olycka och i övrigt vidta de åtgärder som behövs för att förebygga brand och för att hindra eller begränsa skador till följd av brand”
Lag (2003:778) om skydd mot olyckor.

1.2 Syfte och mål

Syftet med rapporten är att utvärdera säkerheten med avseende på brand och utrymning för ett givet offentligt objekt. Utvärderingen ska göras med hjälp av förkunskaper från tidigare kurser, bland vilka Brandkemi (VBR 022) och Branddynamik (VBR 033) bör nämnas. Byggnadens befintliga brandskydd ska granskas och målet är att rapporten ska fastställa om utrymning från de publika delarna i Historiska museet kan ske tillfredställande, samt ge förslag till förbättringar och förändringar som *bör* eller *skall* göras för att förbättra säkerheten.

1.3 Målgrupp

Rapportens målgrupp är brandingenjörsstudenter som läser den aktuella kursen och uppdragsgivarna, dvs. Statens Fastighetsverk och Historiska museet samt övriga till projektet knutna personer. Lista över tekniska begrepp finns i Bilaga A.

1.4 Metod

Studenterna tilldelas ett objekt och en handledare vid kursstarten. I början av kursen genomförs ett platsbesök på objektet tillsammans med handledaren. Studiebesöket planeras innan och med utgångspunkt från ritningar samt informationssökning formuleras frågeställningar. Besöket dokumenteras noga med hjälp av anteckningar och fotografier som sedan sammanställs vid hemkomst. Med inhämtat material som grund formuleras tänkbara brandscenarier varav några väljs ut, efter sammanvägning av sannolikheter och konsekvenser för objektet, för att studeras närmare i en scenarioanalys. De valda scenarierna datorsimuleras med avseende på brandförlopp och utrymningsförlopp, där inriktningen är att utrymning ska hinna genomföras innan kritiska förhållanden uppstår i lokalerna. Brandsimuleringarna utförs i huvudsak i programmen Argos och CFAST. Anledningen till att två program används är för att öka tillförlitligheten i resultaten. Simuleringarna kontrollberäknas/verifieras med hjälp av handberäkningar och resultaten ligger sedan till grund för arbetet med förslag till åtgärder i mån av behov. Vikt läggs vid att analysen

och åtgärdsförslagen hamnar inom ramarna för befintliga byggnadstekniska regelverk. Rapporten ligger till grund för examination i kursen och redovisas både skriftligt och muntligt.

1.5 Avgränsningar

Då Historiska museet ligger i en stor byggnad som även rymmer kontorslokaler, lager och andra hyresgäster är rapporten avgränsad till att endast behandla uppkomst av brand och utrymning i de publika delarna. Rapportens huvudaspekt är utrymningssäkerheten så därför har ingen hänsyn tagits till ekonomiska aspekter eller skador på egendom och miljö.

Den grundläggande frågeställningen är: *Kan utrymning från Historiska museets publika lokaler ske tillfredställande vid uppkomst av brand?* Efter önskemål från museet studeras speciellt fall med anlagd brand och brand i källarplanet. Önskemål finns också om granskning av utrymning genom innergården.

2 Objektsbeskrivning

Historiska museet ligger på Narvavägen i Stockholm. Huset byggdes åren 1943-44, de huvudsakliga byggnadsmaterialen är sten och betong. Utställningarna är spridda på tre plan, varav ett är källarplan. Huset har tre stora innegårdar av vilken den största är en del av och ligger mitt i de publika delarna av museet (se figur 2.1). Utställningslokalerna varierar stort i storlek och geometri, allt från stora salar med högt i tak till trånga gångar och passager. Byggnaden kommer troligen inom kort att bli kulturminnesmärkt, men redan nu genomförs alla ombyggnader och installationer med detta i åtanke.



Figur 2.1 Innegården på Historiska museet

2.1 Verksamhet

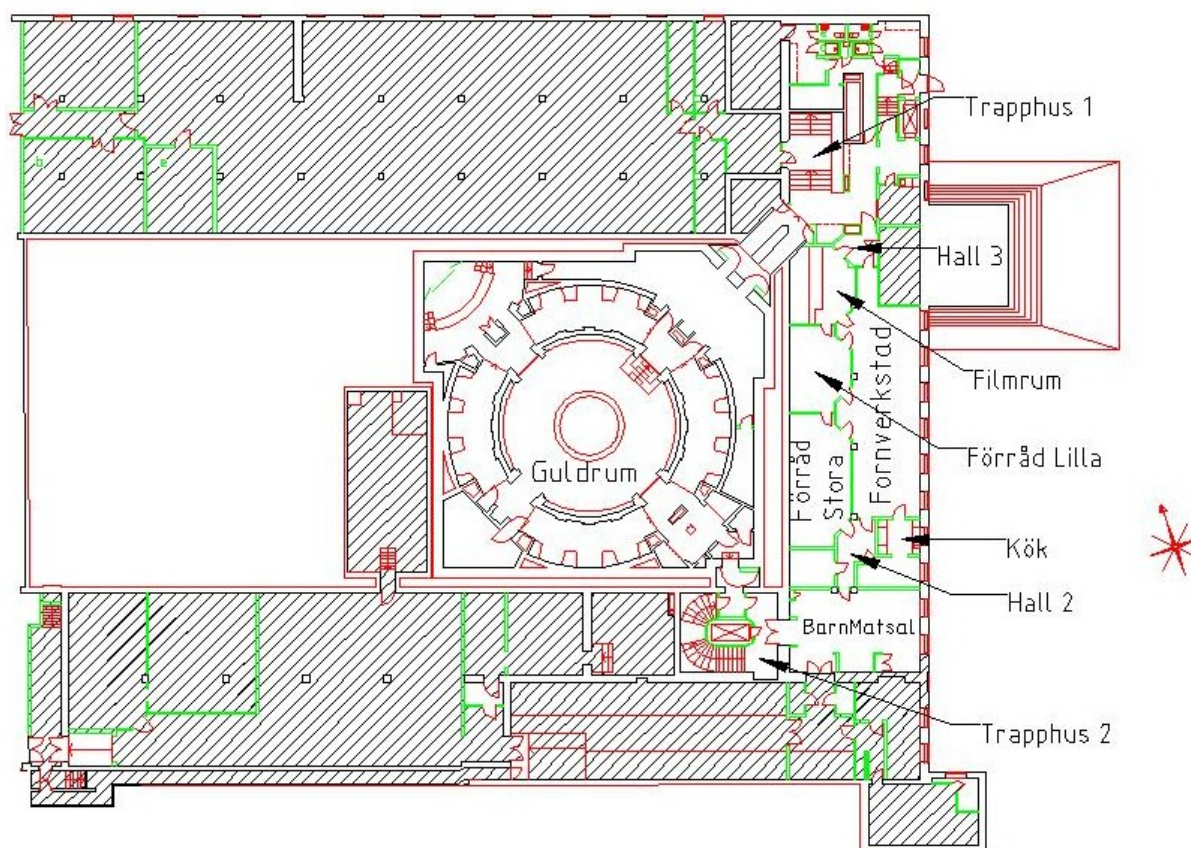
Historiska museet är ett arkeologiskt museum med föremål från stenåldern till 1500-talets mitt, här visas följaktligen fynd med spår från 12 000 år av vår historia. Det mesta är arkivmaterial, avsett för forskning. Historiska museet förvaltar närmare 20 000 000 föremål ([www]Stockholms museer 2006).

Enligt museets egen statistik har det runt 250 000 besökare varje år. Under en vanlig dag med normal verksamhet är det max 1000-1100, minst 200-250 och i medel 450-500 besökare. Antalet besökare varierar under dagen. På förmiddagarna är det fler än på eftermiddagarna, främst beroende på besök av skolklasser och liknande. Besöksantalet stiger också naturligt under helger och lov. Vid vissa verksamheter stiger besöksantalet ytterligare, vernissager med upp till 500-700 gäster vid samma tillfälle förekommer (Anderberg 2006). I Barocksalen hålls det ibland konserter, då lokalen anses som mycket akustiskt lämpad. Dessa musikevenemang kan hållas både på kvällstid och under museets vanliga öppettider. Konserterna lockar många grupper och en stor andel av publiken är äldre besökare. Salen tar upp till 300 sittande åhörare. Barocksalen kan även hyras till evenemang så som fester och baler.

2.2 Källarvåning

I källarplanet finns det världsberömda Guldrummet, där visas bevarade guld- och silverföremål från forntiden och framåt. Mitten av rummet avgränsas av ett stort cirkelformat rum med öppningar. Detta kan besökarna antingen gå in i, för att se guldföremål i montrarna på insidan, eller gå runt omkring för att titta i montrarna på utsidan, varav en del är utformade som små avstickande rum.

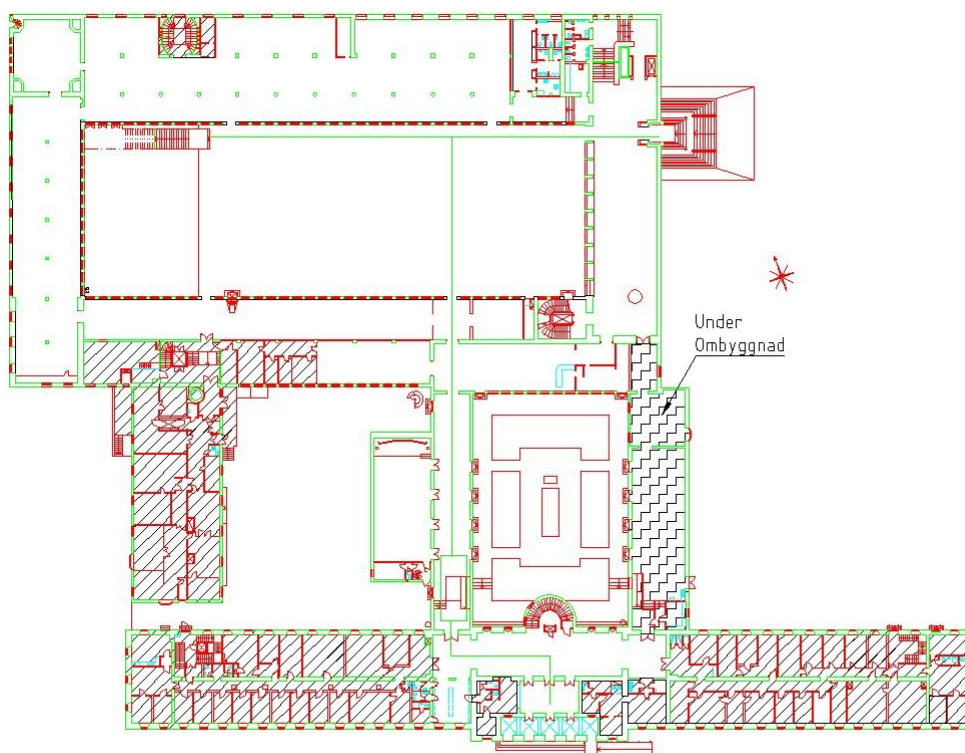
Intill Guldrummet ligger den så kallade Fornverkstaden där skolklasser och barngrupper erbjuds en mängd olika aktiviteter. Hit in kan inte ”vanliga” besökare gå. I anslutning till Fornverkstaden finns även en liten biograf och ett förrådsrum med rekvisita. Källarvåningen rymmer även ett fikarum/barnmatsal med tillhörande litet kök där besökarna kan äta medhavd matsäck (se figur 2.2).



Figur 2.2 Källarvåning, skuggade partier är icke publika.

2.3 Entréväning

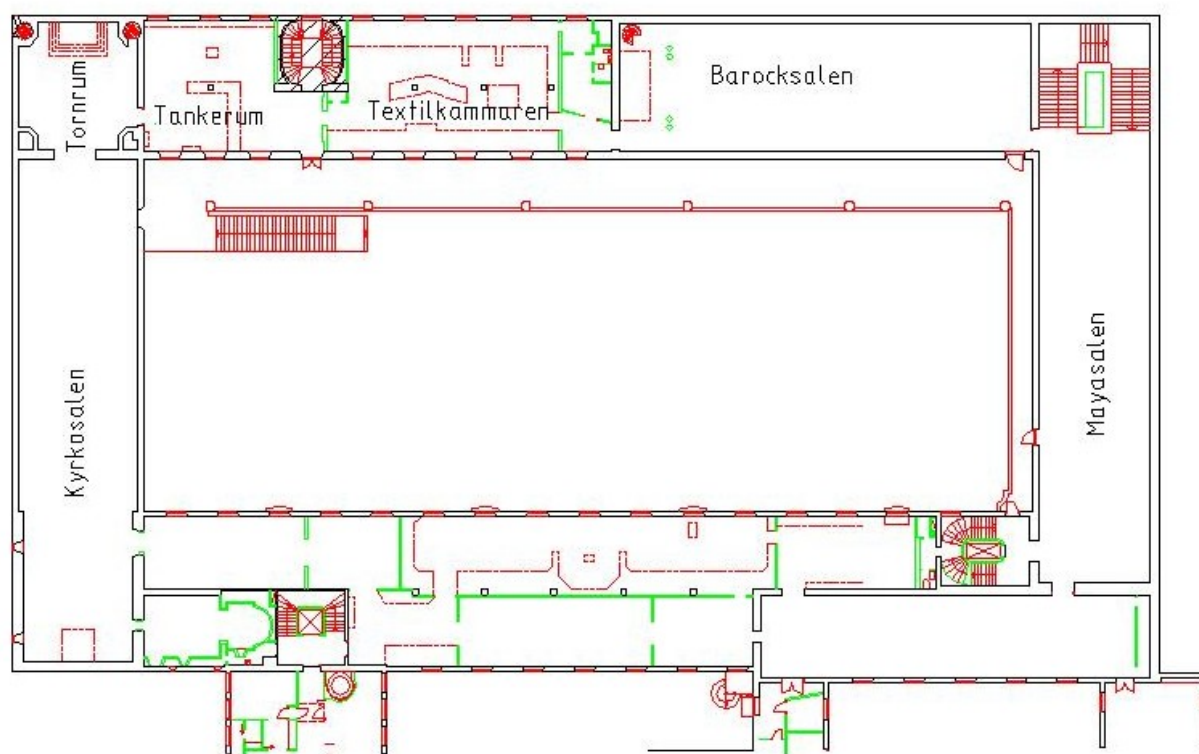
Entréhallen är relativt stor men rymmer inte mycket mer än en informationsdisk, några runda bänkar att sitta på samt ställ med informationsbroschyrer. I anslutning till entréhallen finns garderob/förvaringsskåp och toaletter. På entréväningen finns två fasta utställningar, en om vikingatid och en om forntid, samt en tillfällig utställning om arkeologi. Den stora innegården används till utställningar, främst om vikingatid, under sommaren. På detta plan finns också museets butik och ett café med både inne- och uteservering på en av de mindre innegårdarna. Bortom caféet finns en sal för filmvisning som rymmer 150 personer (se figur 2.3). En del av museet var vid tidpunkten för besöket under ombyggnad och tas därför inte upp i rapporten.



Figur 2.3 Entréväning, skuggade partier är icke publika.

2.4 Våning 2

På våning 2 finns den stora Barocksalen som bland annat rymmer en entresolvåning med en stor träorgel, en liten scen med en flygel samt flera stora konstföremål och ett målat trätak. I anslutning till Barocksalen finns Textilkammaren där medeltida textilier från Sveriges kyrkor ställs ut i stora glasmontrar. Museets största utställning är den om medeltida kyrkkonst. Utställningen finns i flera rum och stora salar, varav en är byggd att likna en stor kyrka med ett tornrum. Mellan Textilkammaren och kyrkoutställningen finns ett rum, Tankerummet, där besökaren kan stanna till en stund för tanke och reflektion. Våning 2 rymmer just nu också en tillfällig utställning som kallas Spelet om Maya (se figur 2.4). Utställningen är planerad att finnas kvar i minst ett år.



Figur 2.4 Våning 2

3 Befintligt brandskydd

Brandtekniska system är till för att detektera, begränsa och släcka bränder. I dessa skiljs det på Passiva system och Aktiva system. Det finns även andra brandskyddsåtgärder som t.ex. Systematiskt brandskyddsarbete och materialval vid utställningar.

3.1 Passiva system

Passiva system är brandtekniska skyddsåtgärder som alltid är verksamma på samma sätt, oavsett om det brinner eller inte. De passiva systemen verkar främst för att förhindra brandspridning mellan olika rum och byggnadsdelar genom att till exempel dela in byggnader i brandceller. Exempel på passiva system är avskiljande väggar, brandklassade dörrar med till exempel självstängning samt fönster med brandklassat glas. Det kan även handla om att konstruktioner ska vara bärande och inte kollapsa vid brandpåverkan. Historiska museet klassas som en Br1-byggnad då byggnaden har tre eller flera våningsplan (BFS 2006:12).

Guldrummet utgör en egen brandcell medan Fornverkstaden och Barnmatsalen ligger i en gemensam brandcell. Utrymmet mellan dessa brandceller rymmer både det stora trapphuset ned till Guldrummet och det mindre trapphuset med hiss, samt nödutgången och handikappentrén. Dessa tillsammans utgör en stor brandcell. Dörrarna in i Guldrummet och dörren mellan Barnmatsalen och det mindre trapphuset är i klass A60-C. Dörrarna i nödutgången och dörrarna mellan Fornverkstaden och det stora trapphuset är i klass A60. Fläktrummet som ligger vägg i vägg med Guldrummet är också en egen brandcell.

På entréväningen är det sektionerat mellan utställningshallarna med väggar i klass EI 60. Garderoben och toaletterna utgör en egen brandcell, likaså filmvisningssalen med anslutande korridor och caféet. Dörrarna in till de båda trapphusen, dörrarna in till caféet och dörrarna mellan utställningshallarna är alla i klass A60-C. Vissa fönster ut mot gården är i klass E30.

Även på våning 2 är det sektionerat mellan utställningshallarna med väggar i klass EI 60. På detta plan utgörs större yta och flera rum av utställningar vilket gör dessa brandceller något större än på entréväning. Dörrarna in till trapphusen och dörrarna mellan utställningssalarna, vilket är alla dörrar i brandcellsgränserna, är i klass A60-C.

3.2 Aktiva system

Aktiva system är brandtekniska system som aktiverar först när brand här uppkommit. Exempel på aktiva system är detektionssystem, brandlarmssystem, släcksystem och system för brandgasventilation.

Museets brandlarmssystem var från början ett konventionellt system men håller på att göras om, vartefter museet byggs om byts detektorerna ut och blir adresserbara. Mer än 95 % av detektorerna är rökdetektorer men även linjedetektorer, bland annat i den stora kyrksalen, och värmedetektorer, i caféet och metallverkstaden, finns. Manuella larmknappar finns utplacerade på flertalet ställen. Då byggnaden är stor med långa avstånd är utrymningslarmet ej fördröjt vid brandlarm. Utrymningslarmet sker i form av en siren, i vissa lokaler kompletterad med blixtljus,

samt ett talat meddelande på svenska och engelska från personalen i huvudentrén. Brandlarmsenheten och brandförvarstablån är placerade i anslutning till vaktkuren på våning 2. Vaktbolaget genomför kontroller i de publika delarna två gånger per månad och i kontorsdelarna en gång i kvartalet. Samtliga larmdon testas minst en gång per år. Falsklarmsstatistiken är låg (Anderberg 2006).

Många av utställningshallarna har dämpad belysning både med tanke på atmosfär och stämning men också av hänsyn till föremålen. Vid utrymningslarm ska ljuset gå upp. Museet jobbar därför fortlöpande med att installera utrymningsbelysning och nödbelysning.

På entrévåningen finns en metallverkstad där bland annat konserveringsarbeten utförs. Verkstaden är det enda stället i byggnaden som har installerad sprinkler. Sprinklern installerades efter ett brandtillbud.

3.3 Övriga brandskyddsåtgärder

Då en del utställningshallar är ganska trånga och med längre sträckor att gå, handlar brandskyddet och utrymningstaktiken till stor del om att vinna tid. Museet har jobbat med Systematiskt Brandskyddsarbete, SBA, i två till tre år. SBA genomförs både på egen hand och i samråd med Brandskyddslagets konsulter som bland annat har kontaktats vid materialval i nya utställningsmontrar. Det mesta i byggnaden är brandskyddsmålat, av gips eller impregnerat. Allt trä i montrarna är flamskyddsbehandlat (Anderberg 2006). Belysningen i Textilkammaren är monterad utanför glasmontrarna.

Två väktare per plan har som uppgift att rondera de publika delarna i byggnaden för att förhindra stöld samt upptäcka brand och assistera eventuell utrymning.

I de flesta utställningslokaler finns en eller flera handbrandsläckare placerade och utmärkta med skyltar.

Vid festarrangemang och när någon del av museet hyrs ut, finns ordningsregler för arrangörerna samt väktare ständigt på plats.

En utrymningsövning med rök är planerad i januari 2007, en sådan genomfördes senast för fem år sedan. Museet ska även genomföra två brandskyddsutbildningar med personalen, en grundläggande utbildning och en släckövning med hjälp av räddningstjänsten. Alla nyanställda får den grundläggande utbildningen, i övrigt genomförs internutbildningar någon gång per år. Som resultat av detta är all personal som arbetar i den publika delen utbildade i hjärt- och lungräddning, första hjälpen samt brand och krishantering.

3.4 Räddningstjänsten

Östermalms brandstation är närmaste brandstation som är belägen vid Karlaplan, och räknar med att kunna vara på plats senast 7,5 minuter efter inkommet larm (Östermalms brandstation 2006). Angreppsvägar finns i Bilaga B.

4 Utrymning

Utrymningen styrs av flera faktorer, vilken tillgänglighet byggnaden idag har, vilka rutiner personalen har och mänskliga faktorer etc.

4.1 Tillgänglighet & utrymningsvägar

I detta avsnitt beskrivs hur tillgänglighet till och utrymning ifrån museets publika lokaler är tänkt att fungera. För att läsaren lättare ska kunna skapa sig en bild av det hela är beskrivningen, i största möjliga mån, gjord våningsvis. Utrymningsplaner finns i Bilaga C.

4.1.1 Källarvåning

För att komma ned till källarvåningen finns ett stort trapphus, i anslutning till entrén, samt en hiss för funktionshindrade. För de som ska till Barnmatsalen finns ett mindre trapphus med en hiss i mitten. Vid utrymning nås det mindre trapphuset via en utrymningsdörr från Guldrummet. Från Fornverkstaden kan utrymning ske via båda trapphusen. Mellan entréerna till Guldrummet och Fornverkstaden finns ytterligare en utrymningsväg, upp för en mindre trappa och ut i det fria.

4.1.2 Entrévåning

Från utsidan går besökarna upp för en stentrappa för att nå huvudentrén som ligger på entrévåningen. Entrén är inglasad för att det inte ska bli för kallt på vintern då entrédörrarna alltid står öppna under museets öppettider. Funktionshindrade når entrén via hissen från källarvåningen där en separat handikappingång finns. I anslutning till entréhallen finns museets största trapphus. Som en fortsättning på den trappan som leder ned till källarvåningen, går denna trappa upp och slutar vid våning 2. I andra änden av entréhallen ansluter det mindre trapphuset med hissen, från Barnmatsalen på källarvåningen, och går vidare uppåt till våning 2. Utställningshallarna på entrévåningen ligger i en fyrkant runt innergården. Oavsett om besökaren väljer att gå med- eller motsols påträffas först en halvtrappa och antingen en ramp eller en hiss för funktionshindrade. Från entréhallen kan besökarna komma ut på innergården.

All utrymning från entrévåningen är tänkt att ske i första hand genom huvudentrén, antingen via utställningshallarna eller via innergården som kan nås genom fyra utrymningsdörrar. Utrymning kan även ske via kontorsdelen genom personalingången, i dagsläget kan dock bara halva denna dörr öppnas vilket ger en bredd på 0,6 m.

4.1.3 Våning 2

Till våning 2 kommer besökarna antingen via det stora trapphuset från entréhallen eller via det mindre trapphuset där det även finns en hiss. Även på detta plan ligger utställningshallarna i en fyrkant runt innergården och besökarna kan ta sig runt i, oftast, valfri riktning. Här finns inga trappor, men en del passager är trånga. Utrymning är i huvudsak tänkt att ske via trapphusen ner till huvudentrén. På innergården finns en balustrad, längs två av sidorna från vilken besökarna når marken via en bred trappa för att sedan fortsätta mot huvudentrén precis som vid utrymning från

entréväningen. Balustraden nås via fyra utrymningsdörrar belägna i Tankerummet, Kyrksalen, Mayautställningen samt en dörr som ligger i passagen mellan Textilkammaren och Barocksalen. Den sistnämnda dörren föregås av ett enda 0,5 m högt trappsteg. Från våning 2 kan besökarna även utrymma via en spiraltrappa ner på parkeringen och vidare ut på baksidan av museet. I denna trappa kan max en person åt gången gå i bredd. Grinden i spiraltrappan öppnas inifrån av personerna som utrymmer. Infarten till gården spärras av en grind som besökarna troligtvis inte kan öppna själva i dagsläget. Vaktpersonalen från vaktkuren kan öppna grinden elektroniskt (Anderberg 2006). En lösning, som ska ge besökarna och museets personal möjlighet att öppna grinden inifrån i händelse av utrymning, är beställd från Statens Fastighetsverk och Brandskyddslaget.

4.2 Utrymningsrutiner

Ett vaktbolag sköter utrymningen från de publika delarna av museet. Under museets öppettider rör sig alltid två vaktare på varje plan samt en arbetsledare i byggnaden. Rutinerna är att vid larm kontrollerar vaktchefen/gruppledaren vilken sektion som larmar och underrättar övrig personal. Det är ungefär fyra sektioner per våningsplan, om larmet kommer ifrån kontorsdelen utryms likväl hela museet. Entrépersonal tar hand om entréhallen i händelse av brandlarm och ansvarar för att ett talat meddelande, på både svenska och engelska går ut. Personalen säger "Brandlarm, gå lugnt mot närmaste nödutgång. Avvakta instruktioner från personal". Det talade meddelandet hörs endast i Hörsal, Café, Butik, Entréhall, Garderob samt Guldrummet. Enligt museet antas att 35 % av besökarna är icke svensktalande och att 1 % av dessa inte förstår lätt engelska (Anderberg 2006).

Ingen av hissarna är säker för användning vid brand. Tanken är att handikappade besökare, till exempel rörelsehindrade och rullstolsburna ska av vaktarna samlas i säkraste möjliga brandcell i väntan på utrymningshjälp från räddningstjänsten (Anderberg 2006).

De automatiska skjutdörrarna till vikingautställningen stannar i öppet läge vid strömbortfall/larm. Samtliga utrymningsvägar avger fellarm om de skulle låsas under öppettid. Mobila utrymnings-skyltar kompletterar den fasta armaturen i till exempel tillfälliga utställningar.

4.3 Kritiska förhållanden

Vid analys av utrymningssäkerhet vilket avser personsäkerheten vid utrymning undersöks främst de tidigaste delarna av brandförloppet. För att se om utrymningstiden för en byggnad är acceptabel jämförs den med tiden det tar innan en brand i byggnaden uppnår kritiska förhållanden. Tillgänglig tid för utrymning är den tid det tar från det att antändning sker till det att förhållandena i byggnaden är sådana att människor inte längre obehindrat eller på egen hand kan ta sig ut. Nöd-vändig tid för utrymning är den tid det tar för samtliga människor som befinner sig i byggnaden att komma ut eller nå en säker plats. Kritiska förhållanden definieras som "då utrymning inte längre kan ske under acceptabla förhållanden" (Brandskyddshandboken 2005).

De parametrar som beaktas vid bestämning av tid till kritiska förhållanden är temperatur, strålning, brandgaslagrets höjd, sikt och toxicitet (Brandskyddshandboken 2005). Dessa parametrar kan antingen studeras var för sig eller i kombination med varandra.

4.3.1 Temperatur

Med temperatur avses luftens temperatur. Människor som utrymmer bör ej utsättas för temperaturer över 80°C (Brandskyddshandboken 2005).

4.3.2 Strålning

Den infallande strålningen mot människor som utrymmer bör ej överstiga 2,5 kW/m². Denna strålningsintensitet beräknas en normal människa kunna uthärda under cirka 10 min. Alternativt kan gränsen sättas till max 10 kW/m² då det handlar om mycket kortare exponeringstider. Sammanlagt bör en person som utrymmer maximalt utsättas för en strålningsenergi på 60 kJ/m² utöver energin från en strålning på 1 kW/m² (Brandskyddshandboken 2005).

4.3.3 Brandgaslagrets höjd

Brandgaslaget påverkar alla övriga parametrarna i kritiska förhållanden. Höjden i meter upp till brandgaslaget bör lägst vara $1,6 + 0,1 \times H$ där H är rumshöjden. I vissa fall kan utrymningen fortgå även efter det att brandgaslaget nått den kritiska höjden. Detta förutsatt att temperatur, sikt och toxicitet ännu ej nått kritiska värden (Brandskyddshandboken 2005).

4.3.4 Sikt

Att människor som utrymmer kan se var de är, är oftast väsentligt för att kunna orientera sig ut. För bostäder och kontor bör siktsträckan ej understiga 10 m i okänd miljö eller 5 m i känd miljö (BFS 2006:12). I övrigt krävs en siktbarhet på minst 5 m i brandrummet och minst 10 m i utrymningsvägarna (Brandskyddshandboken 2005). I rapporten avser begreppet sikt möjligheten att kunna se belysta föremål. Scenarioanalyserna benämner sikt i betydelsen kritiskt förhållande som optisk densitet.

4.3.5 Toxicitet

Under utrymning är det väsentligt att personer inte utsätts för skadliga doser av giftiga gaser alternativt för låg syrehalt. Mängden gaser som bildas vid en brand kan uppskattas eller beräknas med förhållandevis grova metoder som ej kan anses som helt tillförlitliga. Alternativt kan den kritiska dosen uppskattas genom att räkna på när medvetlöshet inträffar vid inandning av olika kombinationer av giftiga gaser och för låga syrehalter. Som tumregel används dock ofta de uppnådda kritiska nivåerna för toxiciteten i samband med den kritiska nivån för brandgaslagrets höjd. Det anses i nuläget räcka med att beakta koncentrationer av CO, CO₂ och O₂, med följande gränsvärden (Brandskyddshandboken 2005):

CO	< 2000 ppm
CO ₂	< 5%
O ₂	>15%

4.4 Utrymningstid och människors beteende vid brand

Vid dimensionering av utrymningsförlopp kan tiden som det tar för utrymning för en person delas upp i tre delar, varseblivningstid, beslut- och reaktionstid samt förflyttningstid. Summan av tiderna för dessa delar blir tiden som det tar att utrymma.

$$t_{krit} > t_{var\ seblivning} + t_{beslut+reaktionstid} + t_{förflyttning}$$

Den totala utrymningstiden får inte överstiga den tid det tar innan kritiska förhållanden uppstår, det bör även finnas en säkerhetsmarginal till tiden för kritiska förhållanden. Själva utrymningsförloppet kan förenklas genom att säga att först sker varseblivningen, efter det beslut och reaktion och till sist förflyttningen. De olika tiderna sker inte separat utan går in i varandra och återkommer under utrymningen (Boverket 2006a; Frantzich 2001).

4.4.1 Varseblivningstid

Varseblivning är tiden från det att branden initierats till att personen får någon information om att det brinner. Det kan t.ex. vara ett larm, lukt, synliga brandgaser/flammar eller information från andra personer. Varseblivningstiden kan variera mellan endast några sekunder till flera minuter beroende på om branden är ”dold” eller ”lätt upptäckt”. Ofta kan larmet från ett brandlarm användas som varseblivningstid om ett sådant finns tillgängligt (Boverket 2006a; Frantzich 2001).

4.4.2 Beslut- och reaktionstid

Beslut- och reaktionstiden är den tid det tar för en person från att ha fått information om branden, besluta sig om att det brinner, larma andra, släcka branden, förbereda sig för utrymning m.m. Det är beslut- och reaktionstiden som är den tid som är svårast att bedöma av de tre tiderna (Boverket 2006a; Frantzich 2001; ISO 2004).

Värden för beslut- och reaktionstiden kan fås ur t.ex. diverse olika källor så som försök, handböcker eller Delphi-undersökningar. Värdena måste bedömas utifrån olika faktorer som beror på hur värdena är framtagna. Dessa faktorer kan vara byggnadstyp (bostadshus eller kontorsbyggnad), alarmtyp (t.ex. enkel ringsignal eller talat meddelande), byggnadens komplexitet (t.ex. flera rum med komplex geometri eller stort överblickbart rum) och brandutbildningen hos personalen i byggnaden (Boverket 2006a; Frantzich 2001; ISO 2004).

4.4.3 Förflyttningstid

Förflyttningstiden är tiden det tar för en person att förflytta sig till en nödutgång eller en säker plats. Det är bara förflyttning till nödutgång och säker plats som räknas in i förflyttningstiden, annan förflyttning, t.ex. för att larma eller släcka, räknas in i beslut- och reaktionstiden. Förflyttningstider för personer kan beräknas genom handberäkningar eller datorprogram (Boverket 2006a; Frantzich 2001).

4.4.4 Utrymningsfaktorer

Vid utrymning från lokaler med flera personer sker utrymning oftast i grupp. Detta kan leda till att ingen vill ta initiativ till utrymning, vilket kan ge ett längre utrymningsförlopp. Vid situationer där personal känner till byggnaden och utrymningsrutiner kan de minska beslut- och reaktionsdelen genom att initiera en utrymning. Om inte den som är den formelle ledaren, som vanligtvis tar beslut, initierar en utrymning så kan utrymningen avsevärt fördröjas (Frantzich 2001; SFPE 2004).

Vid situationer där det finns gamla, funktionshindrade eller små barn så kan förflyttningstiden komma att öka. Delvis för dem själva, beroende på att personerna rör sig långsammare, men också för andra eftersom den lägre gånghastigheten kan hindra personer som rör sig snabbare att gå förbi och det då bildas köer bakom personen med låg gånghastighet. Även en hög persontäthet kan skapa köer vid dörrar och smala passager (Frantzich 2001).

Beroende på vad för aktivitet en person håller på med då branden startar, kan personen vara mer eller mindre villig att avsluta aktiviteten och påbörja en utrymning, samt mer eller mindre mottaglig för signaler från omgivningen. Personer som t.ex. äter i en restaurang, står i kö för att betala varor eller plockar ner betalda varor kan vara mindre motiverade att avsluta sin aktivitet och utrymma. Personer som sover eller duschar kan behöva tid innan de fullt ut uppfattar att det brinner och troligen vill de t.ex. klä på sig innan utrymning påbörjas (Frantzich 2001; SFPE 2004).

Vid en utrymning kommer de flesta som utrymmer att använda den väg som de är vana att använda. Ofta ignoreras eller missas skyltar om nödutgångar och personerna går mot den ”vanliga” utgången. Det är först när den normala vägen är blockerad på något sätt som majoriteten letar efter en alternativ nödutgång (SFPE 2004).

Olika typer av ljud- och ljussignaler kan användas som utrymningslarm. Vad som är viktigt är att ett utrymningslarm är informativt, detta leder till kortare utrymningstider. Ett talat utrymningslarm som berättar vad personer i byggnaden ska göra kommer oftast leda till kortare beslut- och reaktionstider än om utrymningslarmet endast består av en signal (Frantzich 2001).

4.5 Funktionshindrades tillgänglighet i byggnader

Funktionshinder innebär begränsning i personens funktionsförmåga. En stor del människor i samhället har någon form av funktionshinder, det kan vara överkänslighet, rörelsehinder, synskada, hörselskada, demens, förståndshandikapp och en rad andra faktorer som påverkar funktionsförmågan. Målsättningen i svensk handikappolitik är att personer med funktionshinder ska kunna leva på samma sätt som andra människor och kunna delta i samhällslivet tillsammans med andra (Svensson 1997). Funktionshindrade blir allt mer integrerade i samhället, tillgängligheten ökar och det ställer krav på byggnader.

Enligt BFS 2006:12 står det att ”Byggnader skall utformas så att *tillfredställande utrymning* kan ske vid brand” vilket innebär fullständig utrymning eller förflyttning till säker flyktplats inom byggnaden.

En hiss i en flervåningsbyggnad ökar tillgängligheten för en rörelsehindrad, men en vanlig hiss får av säkerhetsskäl inte användas vid brand (Svensson 1997). Hissar kan förses med brandsäker strömförsörjning och övertrycksventilation för att då bli en säkerhetshiss. En sådan investering är kostsam och kan vara svår att lösa vid en uppgradering av brandskyddet i befintlig byggnad. Den rörelsehindrade är då beroende av hjälp från medmänniskor eller räddningstjänst för att komma ut. Förstärkta brandceller kan utformas för att skapa en säker flyktplats för rörelsehindrade i väntan på hjälp av räddningstjänst. För att skapa en trygg plats bör brandcellerna vara utrustade med talkommunikation till larmcentral och räddningstjänst (Berner, Johansson 2005).

Speciella utrymningsskyltar med rullstolssymbol tydliggör för rörelsehindrade vart de kan utrymma säkert. Akustiska markeringar är ett sätt att visa utrymningsvägar för de synskadade. Även informationsmaterial på punktskrift som innehåller information om brandlarm och utrymningsmöjligheter är ett lätt sätt att hjälpa synskadade vid utrymning. Brandlarm kan vara både visuellt och akustiskt för att kunna påvisa fara för syn- och hörselskadade (Berner, Johansson 2005). Med tekniska hjälpmedel skapas möjligheter att funktionshindrade själva kan utrymma, vilket ger friheten att leva och delta i samhällslivet som också är målsättningen i svensk handikappolitik.

5 Regelverk

Lagar, förordningar och föreskrifter styr hur byggnader ska utformas och vilket brandskydd som byggnaderna ska inneha vilket är grundläggande vid en brandteknisk riskvärdering.

5.1 Allmänt

Skillnaden mellan lag, förordning och föreskrift är dels olika auktoritetsgrad men även vem som får besluta om ny eller ändrad lag, förordning eller föreskrift. Lagar kan endast beslutas av riksdagen, en förordning som har lägre auktoritet än en lag kan beslutas av regeringen och myndigheter kan besluta om föreskrifter. Sveriges fyra grundlagar står över alla andra lagar ([www] Riksdagen 2006). Föreskrifter och allmänna råd är mer detaljerade än lagar och förordningar. Flera olika myndigheter publicerar regelverk i brandtekniska frågor utifrån dess intresse.

5.2 Boverket

Boverket är en central myndighet som ger ut föreskrifter och allmänna råd om bland annat byggnationer och samhällsplanering. Boverket reviderar sina föreskrifter efterhand som nya krav uppkommer från förordningar och lagar. Boverkets Författningssamling, BFS, innehåller samtliga föreskrifter och de allmänna råd som är direkt kopplade till en föreskrift. Föreskrifterna är bindande, medan de allmänna råden innehåller rekommendationer hur tillämpningen av en föreskrift bör användas men måste inte följas ([www]Boverkets 2006a).

Boverket regleras av två lagar, PBL och BVL och dess förordningar, PBF och BVF . De publicerar tre föreskrifter, BBR, BKR och BÄR samt allmänna råd ([www]Boverket 2006b).

- Plan- och bygglagen (1987:10), PBL
- Lagen (1994:847) om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk, m.m., BVL
- Plan- och byggförordningen (1987:383), PBF
- Förordningen (1994:1215) om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk, m.m., BVF
- Boverkets byggregler, BBR
- Boverkets konstruktionsregler, BKR
- Boverkets ändringsråd, BÄR

5.2.1 BVF

Samhällets brandtekniska krav på nya byggnader är reglerade i PBL, BVL samt BVF. I PBL kap 3 § 3 anges att byggnadsverk skall uppfylla krav i BVL, vilka utvecklats till fem grundläggande krav som anges i BVF § 4.

§4 Byggnadsverk skall vara projekterade och utförda på ett sådant sätt att:

1. Byggnadsverkets bärförmåga vid brand antas bestå under en bestämd tid
2. Utveckling och spridning av brand och rök inom byggnadsverket begränsas
3. Spridning av brand till närliggande byggnadsverk begränsas
4. Personer som befinner sig i byggnadsverket kan lämna det eller räddas på annat sätt
5. Räddningsmanskapets säkerhet vid brand beaktas

I BVL och BVF finns även krav på byggnadens ventilation och kontroll av ventilationssystemet.

5.2.2 BBR

Föreskriften Boverkets Byggregler som Boverket publicerar förkortas BBR. Den nu gällande BFS 1993:57 med ändringar t.o.m. 2006:12. Föreskrifterna gäller:

- Vid nybyggnad
- Beträffande tillbyggda delar, vid en tillbyggnad
- Mark- och rivningsarbetet samt
- Tomter som tas i anspråk för bebyggelse

Föreskrifterna i BBR baseras främst på BVF:s grundkrav. Kapitel 5 i BBR handlar om brandskydd. BBR beskriver de gällande föreskrifter och innehåller även allmänna råd. De allmänna råden behöver inte följas utan en annan lösning kan väljas, så länge lösningarna uppfyller föreskrifterna (Boverket 2006b).

BBR är funktionsbaserad, vilket då ger friheten för byggherren vid brandskyddsteknisk dimensionering att välja dimensioneringsmetod, när det gäller att visa att de funktionsbaserade kraven är uppnådda. De två dimensioneringsmetoderna är:

- Förenklad dimensionering
- Analytisk dimensionering

Vid förenklad dimensionering följs alla ändamålsenliga krav och allmänna råd i BBR för hela byggnaden. Boverkets rapporter och övriga råd kan också tillämpas. Analytisk dimensionering baseras istället på erfarenhet, tidigare föreskrifter, vedertagen praxis, beräkningar och provning, exempel från andra länder och sund förnuft. I handböcker är detta tillvägagångssätt ofta benämnt som *andra lösningar och metoder*. Dessa metoder kräver att verifiering utförs (Brandskyddshandboken 2005). Oavsett val av dimensioneringsmetod måste lagkraven i PBL och BVL uppfyllas.

Avsnittet i BBR som anger att analytisk dimensionering får genomföras infördes år 1994 och är som följer:

”Brandskyddet får utformas på annat sätt än vad som anges i detta avsnitt (avsnitt 5), om det i särskild utredning visas att byggnadens totala brandskydd därigenom inte blir sämre än om samtliga aktuella krav i avsnittet uppfyllts. (BFS 1995:17)” (Boverket 2006b).

5.2.3 Utrymningsdimensionering

Rapporten Utrymningsdimensionering är framtagen av Boverket för att förtydliga föreskrifterna och de allmänna råden i BBR. Utrymningsdimensionering ersätter Boverkets rapport 1994:10 och beskriver de två dimensioneringsmetoderna. Den nu gällande är från 2006 och ersätter på så sätt den tidigare utgåvan från 2004. Rapporten ger mer detaljerade råd och anvisningar samt vissa riktlinjer för hur utrymningsvägar kan utformas. Utrymningsdimensionering är ett komplement till BBR och andra handböcker (Utrymningsdimensionering 2006).

5.3 Arbetsmiljöverket

Arbetsmiljöverket publicerar flera olika föreskrifter, men AFS 2000:42 är viktig att beakta då en brandteknisk riskvärdering genomförs. Denna reglerar arbetsplatsens utformning, § 77-91 beskriver hur utrymning och larm ska vara utformade på en arbetsplats samt utrymningsskyltars utformning.

5.4 Räddningsverket

Lag (2003:778) om skydd mot olyckor, LSO, trädde i kraft 2004-01-01 och ersatte den tidigare Räddningstjänstlagen. Lagens struktur bygger på de tre skedena:

- förebyggande åtgärder
- räddningstjänst och efterföljande åtgärder
- ansvar för den enskilde, för kommunen och för staten

Några viktiga förändringar i och med den nya lagen är minskad detaljreglering i förhållande till tidigare lagstiftning och förordning, nationella mål för både olycksförebyggande verksamhet och räddningstjänstverksamheten har införts samt att handlingsprogram för skydd mot olyckor ska upprättas i kommunerna. Tillsyn sker av kommunen för kontroll av säkerheten ([www]Räddningsverket 2006).

Den enskildes ansvar har också tydliggjorts i kap 2 i LSO (2003:778).

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

6 Riskbedömning

Riskbedömningen ligger till grund för val av scenarier som ska utvärderas vidare i en fördjupad scenarioanalys.

6.1 Reflektioner från studiebesök

Under studiebesöket på objektet granskades de publika delarna av museet noggrant. Säkerhetsansvarig och en representant från Statens Fastighetsverk åtföljde för att presentera objektet och svara på frågor. De tankar och reflektioner angående brand och utrymningssäkerhet, som uppkom under besöket, sammanställdes och har sedan legat som grund vid diskussionerna om tänkbara scenarier samt vilka scenarier som slutligen valdes för djupare studier.

- Är det verkligen lämpligt och/eller tillåtet att utrymning sker genom innergården. Säkerhetsansvarig tar själv upp den här frågan och menar på att från museets sida är medvetna om den eventuella problematiken men ej har hittat andra lösningar. Det finns många dörrar som leder *ut* till innergården i form av utrymningsvägar, svårigheterna börjar när besökare ska utrymma från innergården *in* i museet om de inte kan använda sig av huvudentrén. Dörrarna är inte märkta eller öppningsbara från gården och skyltarna som finns hänvisar utrymning *mot* entrén. Vad kommer att hända om branden blockerar entrén?
- På museets hemsida på Internet kan museets Tillgänglighetsguide laddas ner. Guiden berättar om att museet har anpassats för att bli tillgängligt för fler grupper i samhället, så som hörselskadade, synskadade och rörelsehindrade. Det finns en handikappentré med hiss, då entrétrappan inte är försedd med ramp. I byggnaden finns det hissar till alla våningar och ramper över trösklar där rullstolsburna kan ha svårt att ta sig fram. Hissarna är dock inte anpassade för användning vid brand. Det finns inga ramper ned från övervåningen eller upp ifrån källarvåningen. Flera av utrymningsvägarna ut på balustraden medför problem för rullstolar. Hur ska rullstolsburna som utrymt till balustraden komma ner till innergården? Enligt säkerhetsansvarig är tanken att väktarna ska samla rullstolsburna och rörelsehindrade som inte kan ta sig ned för trappor i en säker brandcell och där invänta räddningstjänstens assistans för att utrymma. En väktare som jobbade under studiebesöket tillfrågades om utrymningsrutiner men kunde inte redogöra för hur personalen hanterar rörelsehindrade eller hur brandcellsindelningen är gjord.
- En del av dörrarna i utrymningsvägarna som öppnas i två delar var väldigt svåra att öppna. Oftast var det den ”fasta” dörrhalvan som krävde både rätt handhavande och muskelkraft. Flertalet olika typer av beslag används på dörrarna i utrymningsvägarna. De självstängande dörrarna in till textilkammaren låser sig då de stängs vid brandlarm och kan bara öppnas inne ifrån Textilkammaren. Detta medför att utrymning inte kan ske igenom Textilkammaren och att panik kan uppstå om till exempel ett barn hamnar på ”fel” sida om dörren.
- Alla utrymningsskyltar följer inte den senaste standarden. I vikingautställningen urskiljs skylten inte alls mot entrén inne ifrån utställningen då den skymms av inredning. En av utrymningsskyltarna i Forntidsutställningen sitter i nära anslutning till en ljusramp och

tenderar därför till att drunkna i ljusrampens sken. Utrymningsskyltarna i och runt omkring Guldrummet är svagt belysta av estetiska skäl men uppfyller ändå kraven. Av samma skäl har de också en helt egen design. Om utrymning från Guldrummet måste ske, kan skyltningen i utrymningsvägen som går mellan Guldrummet och Fornverkstaden vara svår att uppfatta då skylten inte ses från alla vinklar. Vid exempelvis tillfälliga utställningar använder museet mobila utrymningsskyltar på stativ som ansluts i väggkontakt. Dessa skyltar kan utan vidare flyttas eller vändas på om personen är av ont uppsåt eller bara busig.

- Mayautställningen har mycket förvirrande geometri då tanken är att besökarna ska röra sig runt som i en labyrint. Då utställningen är tillfällig använder museet sig av kompletterande mobila utrymningsskyltar. En av de fasta skyltarna blir med denna utställning nästan direkt missvisande då tillfälliga väggar, som måste rundas, stoppar utrymningsvägen om utrymning sker rakt mot skylten. På vissa ställen i rummet syns ingen skylt alls.
- På sommaren har museet ibland öppen eld på innergården vid vikingautställningar och aktiviteter. Personal och vattenhinkar finns alltid på plats.

6.2 Statistik

År 2003 inträffade 1832 bränder i allmän byggnad, 51 av dessa inträffade på teater, biograf eller museum. Inga dödsfall men två lindrigt skadade är rapporterade vid dessa brandtillbud. Statistik över inträffade händelser ger vägledning till att välja ett så troligt scenario som möjligt (Räddningsverket 2004).

Vad som orsakat branden skiljer stort beroende på vad det är för byggand som brinner. I en allmän byggnad, dit Historiska museet kan räknas, är anlagd brand den vanligaste brandorsaken (se tabell 6.1).

Anlagd med uppsåt	24, %
Okänd	18 %
Tekniskt fel	13 %
Glömd spis	10 %

Tabell 6.1 Preliminär brandorsak i allmän byggnad (Räddningsverket, 2004).

Var i byggnaden branden startar har betydelse för brandens förlopp och utrymning. En brand med startutrymme i samlingslokal där människor inte kan tänkas ha god lokalkännedom är den näst vanligaste startutrymme för en brand i allmän byggnad (se tabell 6.2).

Kök	21 %
Samlingslokal	7 %
Utomhus	6 %
Trapphus/korridor	6 %

Tabell 6.2 Vanligaste startutrymme där branden startade i allmän byggnad (Räddningsverket 2004).

Brandens startföremål har stor påverkan på om branden sprids och hur förloppet utvecklas. I nästan 20 % av alla bränder i allmän byggnad är startföremålet lös inredning (se tabell 6.3).

Lös inredning	19 %
Spis	12 %
Byggnadens utsida	7 %

Tabell 6.3 Vanligast startföremål i allmän byggnad (Räddningsverket 2004).

6.3 Riskidentifiering

För att analysera byggnadens brandsäkerhet studeras ett antal valda brandscenarier. Det finns oändligt många kombinationer av hur branden startar och utvecklas samt var branden startar. I urvalsprocessen är det viktigt att hitta lämpliga scenarier som ger en realistisk bild av ett brandförlopp och dess konsekvenser. De scenarier som väljs är de som är troliga att inträffa och kan tänkas ge störst konsekvens med avseende på utrymnings säkerhet. Urvalet bygger dels på konsekvens och dels sannolikheten för att inträffa.

De valda scenariona tar inte hänsyn till om personal eller besökare skulle upptäcka och släcka branden.

6.4 Valda scenarier

Med utgångspunkt från den statistisk över brandtillbud i allmän byggnad och reflektionerna från studiebesöket har tre scenarier för vidare scenarioanalys av brandsäkerheten vid utrymning valts.

- Anlagd brand i Barocksalen
- Anlagd brand eller tekniskt fel i Fornverkstaden
- Anlagd brand i Tankerummet

På Historiska museet, som har många värdefulla föremål, kan en anlagd brand vara en följd av ökad stöldrisk. Anlagd brand är enligt statistiken den vanligaste orsaken vid brand i allmän byggnad. Valet av scenarier är därför anlagd brand i tre olika försöksuppställningar samt att Historiska museet själva har önskat scenarioanalys på anlagda bränder.

6.4.1 Anlagd brand i Barocksalen

I Barocksalen anordnas konserter med upp till 300 sittande gäster. Statistik visar att var femte brand i allmän byggnad startar i samlingslokaler. Ett tillbud har tidigare skett i Barocksalen, då på grund av tekniskt fel.

En orgel som består av trä finns på en entresolvåning längs den ena kortsidan i Barocksalen. En anlagd brand kan innebära stora konsekvenser då branden eventuellt kan spridas till trätaket. De personer som besöker konserter kan ha funktionshinder vilket försvårar utrymningen eftersom utrymningsvägen leder genom en trappa. För vidare analys se kapitel 7.

6.4.2 Anlagd brand eller tekniskt fel i Fornverkstaden

Fornverkstaden är ett ställe för barn att själva pyssla och leka med ledarhjälp. Fornverkstadens intilliggande rum är förrådsutrymme för materiel, kläder och diverse saker. Det vanligaste startföremålet vid brand i allmän byggnad är just lösa föremål. Den anlagda branden här skulle även kunna likna en brand orsakat av tekniskt fel som också är en trolig brandorsak i gällande rum.

Utrymningen är intressant att studera då det är barn som ska utrymma lokalen. För vidare analys se kapitel 8.

6.4.3 Anlagd brand i Tankerummet

I Tankerummet som ligger mellan Textilkammaren och Tornrummet förvaras stolar som används vid konserter i Barocksalen. I huvudsak ska stolarna förvaras i avsett förrådsutrymme men de som inte får plats där placeras i tankerummet. De cirka 200 stolarna är tätt staplade.

De uppstaplade stolarna i det relativt tomma utställningsrummet kan te sig inbjudande för att anlägga en brand. För vidare analys se kapitel 9.

6.5 Ej valda scenarier

Mayarummet

Brand under det temporärt upphöjda golvet på grund av elektriskt fel. Scenariot är intressant då den tillfälliga utställningens design kan vara förvirrande ur ett utrymningsperspektiv. Förbyggande åtgärder mot elektriska fel och rummets låga brandbelastning är anledningar till att scenariot ej valts.

Vikingarummet

Det troligaste stället för en brand att initieras i vikingautställningen är modellen av vikingabyggnaden då resten av föremålen i utställningen befinner sig i glasmontrar. Branden kan ej tänkas ge stora konsekvenser.

Brand i entrén

Utrymning genom entrén är den naturliga utrymningsvägen för besökarna, större delen av utrymningsvägarna leder dessutom ut genom entrén. En brand där skulle blockera denna viktiga nödutgång. Brandbelastningen i entrén är dock mycket liten och skulle snabbt kunna upptäckas av personalen som arbetar vid informationsdisken.

Brand i kyrkoutställningen

Kyrkoutställningen har många träföremål. Föremålen är placerade med förhållandevis stora avstånd till varandra, en brand skulle då inte spridas initialt.

Brand i caféet

På entréplan finns det ett café med tillhörande kök. Köket är litet och risken för ett brandförlopp som medför stora konsekvenser bedöms som liten.

Attentat mot Israels ambassad

Israels ambassad kommer under år 2007 flytta in som hyresgäster i byggnaden, dock inte i de publika delarna av museet. I samband med detta kan hotet mot byggnaden öka. Huruvida brandsäkerheten i de publika delarna påverkas av ett attentat samt uppskatta sannolikheten för att händelsen ska inträffa är komplext att analysera i en scenarioanalys.

Brand på innergården

Under sommaren används innergården som utställningsplats. I en kåta eldar personal för besökarna. Ett brandförlopp skulle pågå utomhus vilket inte innebär någon stor risk för utrymningssäkerheten, dels för folk i byggnaden och folk ute på innergården. Vattenhinkar finns dessutom alltid på plats.

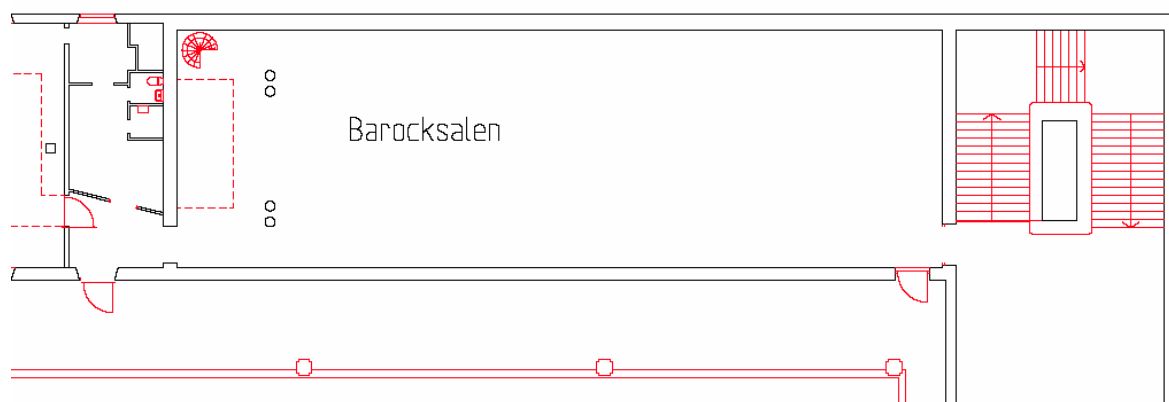
7 Anlagd brand i Barocksalen

Scenarioanalys på brand i Barocksalen vid en fullsatt konsert. Analysen behandlar datorsimuleringar med avseende på utrymningssäkerhet av valt scenario.

7.1 Allmän beskrivning

Barocksalen är en stor sal, belägen på våning 2 i anslutning till det stora trapphuset. Trapphuset leder in i Barocksalen på dess ena kortsida genom en självstängande dörr (se figur 7.1). Längs långsidorna står flera stora träföremål med en till ett par meters avstånd från varandra. Fönstren är höga och relativt smala, de sitter glest placerade längs den övre halvan av långsidorna. På motstående kortsida finns en entresolvåning i trä som vilar på fyra pelare. Uppe på entresolvåningen står en stor träorgel och diverse möbler (se figur 7.2). Taket i Barocksalen är helt i trä som inte är flamskyddsbehandlat. Under entresolvåningen leder en passage ut ur Barocksalen, genom en liten hall och vidare in i Textilkammaren. I hallen finns en nödutgång med ett trappsteg på 0,5 m, vilket leder ut till innergårdens balustrad via en glasad dörr. Mellan hallen och Textilkammaren finns en självstängande dörr, som vid aktivering av brandlarm stängs och då låses.

Mitt på den ena långsidan finns en scen med en flygel. Barocksalen anses ha mycket bra akustik och används därför ibland för konsertarrangemang. Dessa tillställningar kan äga rum både på kvällstid och under museets vanliga öppettider. Publiken sitter på utplacerade stolsrader, salen tar upp till 300 sittande åhörare.



Figur 7.1 Layout, Barocksalen



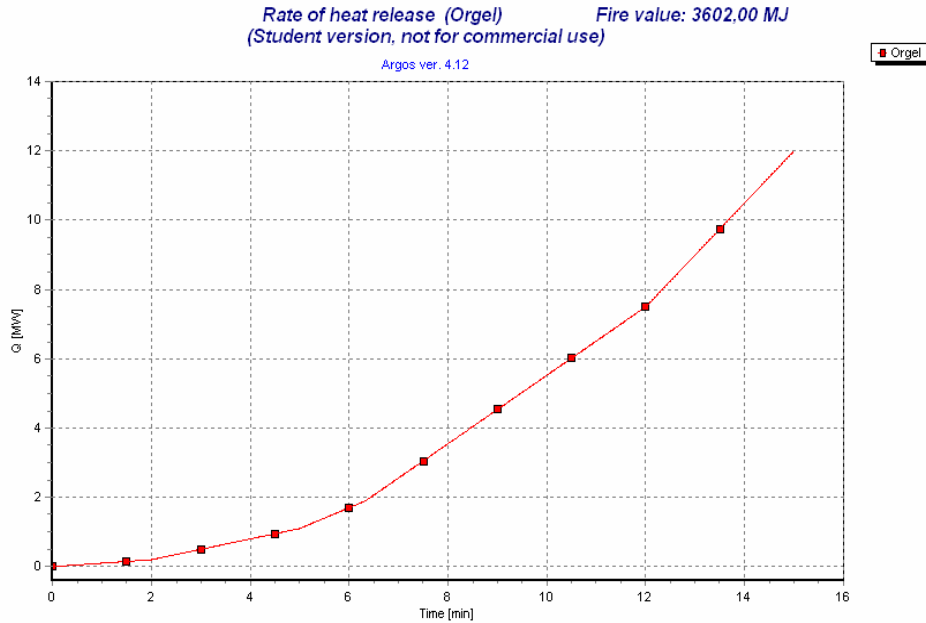
Figur 7.2 Barocksalen

7.2 Scenario

För att bedöma värsta troliga scenario äger det rum under en konsert, dagtid med 300 sittande gäster. Det finns även 150 besökare utspridda i museets övriga delar. I scenariot är utrymningen via hallen blockerad då det är en oattraktiv utgång som dessutom är svår att öppna. Branden startar dessutom i den delen av rummet vilket minskar attraktiviteten ytterligare. Dörren mellan hallen och textilrummet är först öppen men stängs sedan när brandlarmet aktiverar. Dörren mot trapphuset är öppen hela tiden då det kommer att utrymmas genom den.

7.3 Dimensionerande brand

Branden antas starta i orgeln som till största delen består av trä, vilken är belägen på entresolvåningen som löper längs ena kortsidan av Barocksalen. Läktaren, liksom golvet och taket i hela salen, är gjord i trä som inte är flamskyddsbehandlad. Effektutvecklingskurvan (se figur 7.3) i det här scenariot baseras på data för lastpallar, men modifieras med avseende på orgelns utformning och att branden kommer att sprida sig till taket. För utförligare beskrivning, se Bilaga D.



Figur 7.3 Effektkurva, Barocksalen

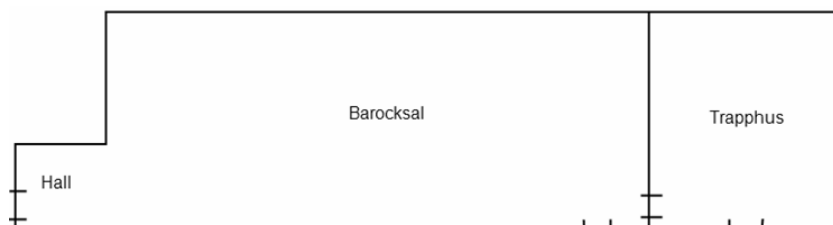
7.4 Försökuppställningar

Simuleringsprogrammen Argos, CFast och Simulex används för att utvärdera säkerheten. Mer om programmen finns i Bilaga E. Försökuppställningen visar införd indata i respektive program.

7.4.1 Argos

Tre zoner byggs upp i Argos (se figur 7.4).

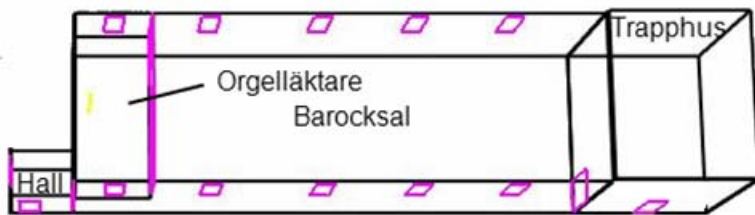
Hallen har golv, väggar och tak av betong. Barocksalen har golv av trä, väggar av isolerad betong och ett tak bestående av trä och betong. Dörren mot trapphuset och dörren i hallen är EI 60-C med måtten 1,2x2,1 m. 10 fönster med måtten 1,2x5 m sitter i Barocksalens väggar. Branden startar i Barocksalen.



Figur 7.4 Försökuppställning, Argos

7.4.2 CFast

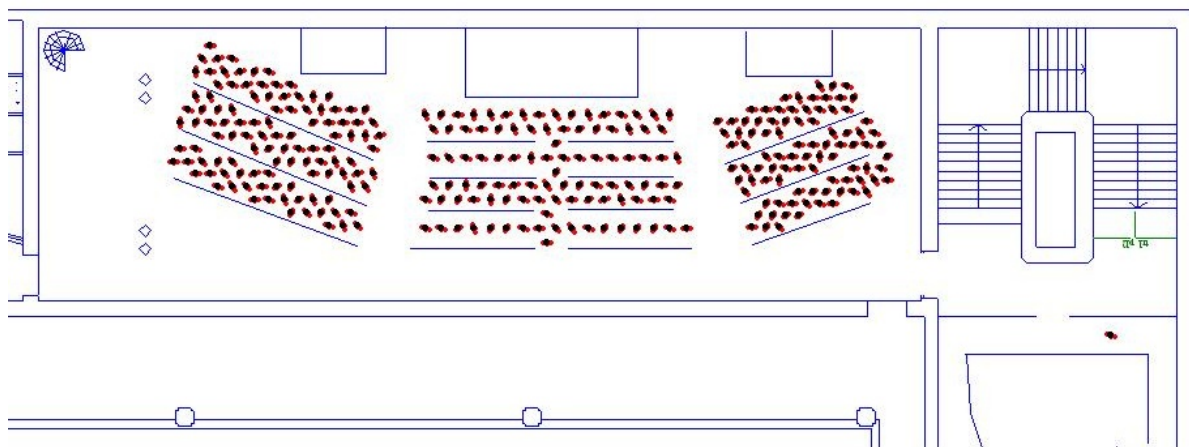
Hall, trapphus och Barocksal byggs upp med samma material som i Argos. En skillnad är att i CFast kan bygga mer komplexa rumsgeometrier (se figur 7.5). Vilket ger möjlighet att skapa en entresolvåning, där orgeln är placerad, på vilken branden startar. Två fönster öppnas då temperaturen i övre lagret når 300°C, för att simulera att fönstren går sönder vid den temperaturen.



Figur 7.5 Försöksuppställning, CFast

7.4.3 Simulex

Vid utrymningen placeras 300 personer i Barocksalen för att efterlikna en fullsatt konsert (se figur 7.6). I resten av museet placeras personer ut så realistiskt som möjligt med avseende på verksamheter i de olika salarna och det totala antalet besökare. Totalt placeras 450 personer ut i byggnaden. Majoriteten av dessa kommer att utrymma ut genom huvudentrén. För att skapa effekten av stolsrader i Barocksalen har ritningen modifierats, stolarna symboliseras av ett antal streck som personerna måste ta sig förbi under utrymningen. Utrymningsvägen mellan Barocksalen och Hallen har blockerats pga. Branden i orgeln. Tiden innan personerna börjar förflytta sig sattes till 2 min 30 s i Barocksalen och 3 min 30 s i resten av byggnaden, varseblivningstider samt beslut- och reaktionstider finns i Bilaga F.



Figur 7.6 Försöksuppställning i Barocksalen, Simulex

7.5 Resultat

Branden startar i Barocksalen och brandgaser kommer sedan att spridas till intilliggande rum, Trapphuset och Hallen. Brandgaserna sprids ej vidare från hallen pga dörren som stängs av det automatiska brandlarmet.

I Argosimuleringen når den optiska densiteten kritiska förhållanden i Barocksalen efter 5 min 20 s. I hallen bredvid Barocksalen är brandgaslagrets höjd på kritisk nivå, efter 9 min 10 s (se tabell 7.1).

I CFastsimuleringen inträffar inte kritiska förhållanden under simuleringen (se kapitel 7.5.1).

Tiderna till kritiska förhållanden är hämtade från simuleringsgrafer som visar brandgaslagrets höjd samt strålning (se Bilaga H).

Barocksalen - Argos			
	Barocksalen	Hall	Trapphus
Optisk densitet	5 min 20 s	-	10 min
Brandgaslager	-	9 min 10 s	-
Strålning	11 min 40 s	15 min	-

Tabell 7.1 Tid till kritiska förhållanden, Argos

Genom handberäkningar erhålls kritiska förhållanden efter 5 min 20 s då brandgaslagrets höjd understiger kritisk höjd i Barocksalen, samtidigt som brandgasernas temperatur är ca 80°C. Om ett brandgaslager inte bildas kommer optisk densitet ge kritiska förhållanden efter 6 min (se tabell 7.2). För utförligare beräkningar se Bilaga G.

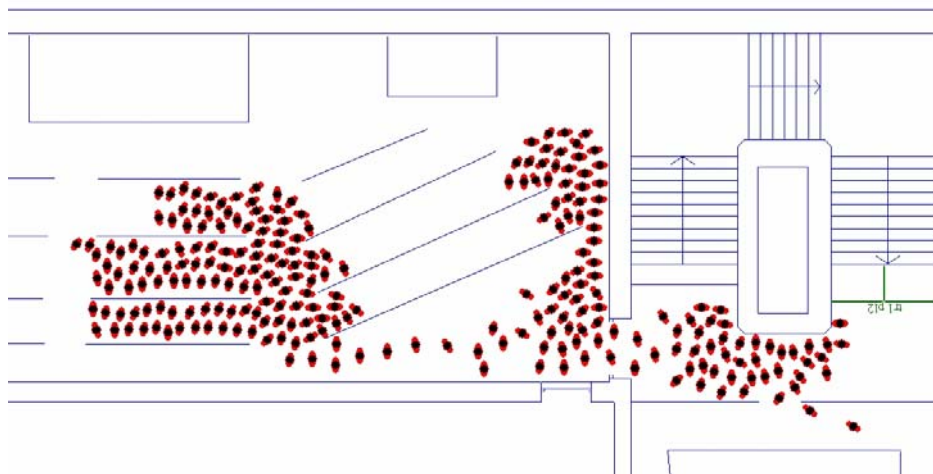
Barocksalen - Handberäkningar	
	Barocksalen
Optisk densitet	6 min
Brandgaslager	5 min 20 s
Strålning	-

Tabell 7.2 Tid till kritiska förhållanden, handberäkningar

Simulexsimulering visar att utrymning för alla personer i Barocksalen tar 6 min ut ur själva salen. För samtliga personer på våning 2 tar det 7 min 30 s att utrymma ut via trapphuset som är den enda utrymningsvägen (se tabell 7.3). Simulexsimuleringen av utrymningsförloppet i Barocksalen visar att köbildning uppstår vid stolsraderna och vid trappan ner till entrén från våning 2 samt köer vid entrén (se figur 7.7).

	Tid
Barocksal	6 min
Trapphus	7min 30 s
Hela byggnaden	7 min 40 s

Tabell 7.3 Total utrymningstid, Barocksalen, Simulex



Figur 7.7 Köbildning i Barocksalen

7.5.1 Analys

Det är inte helt säkert ifall det kommer att bildas ett tydligt brandgaslager i Barocksalen eller om det blir ett väl omblandat fall. Extra simuleringar i Argos har utförts där 2-zonsmodell fram-tvingades. Detta gav att brandgaslagret når kritisk nivå efter 5 min 20 s. CFAST ger inga kritiska förhållanden inom 15 min. Detta sker troligtvis för att fönster går sönder i ett tidigare skede än i Argos, då temperaturen i CFASTs brandgaslager är högre i början av brandförloppet än vad Argos-simuleringen visar. Brandgaserna ventileras då ut i så stor mängd att kritiska förhållanden inte uppstår. Sammantaget konstateras att kritiska förhållanden i Barocksalen uppstår enligt simuleringar och handberäkningar efter *tidigast* 5 min 20 s.

I tabell 7.4 och 7.5 jämförs tider till kritiska förhållanden med tid det tar att utrymma. I Barocksalen uppstår kritiska förhållanden innan utrymning är fullbordad.

Kritiskt förhållanden (Argos) - Utrymning				
	Optisk densitet	Brandgaslager	Strålning	Utrymningstid
Barocksal	5 min 20 s	-	11 min 40 s	6 min
Trapphus	10 min	-	-	7 min 40 s

Tabell 7.4 Tider för kritiska förhållanden (Argos) och utrymning

Kritiskt förhållanden (Handberäkningar) - Utrymning				
	Optisk densitet	Brandgaslager	Strålning	Utrymningstid
Barocksal	6 min	5 min 20 s	-	6 min

Tabell 7.5 Tider för kritiska förhållanden (Handberäkningar) och utrymning

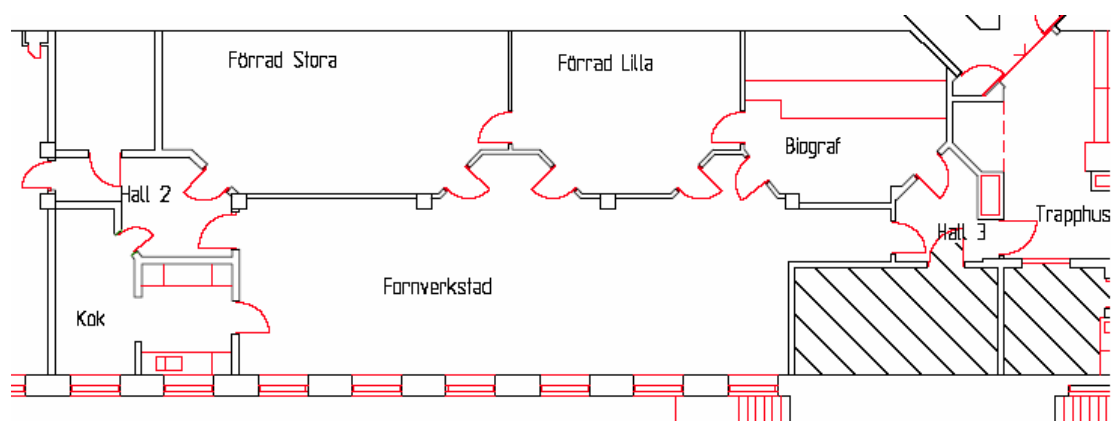
För känslighetsanalys se kapitel 11.

8 Anlagd brand eller tekniskt fel i Fornverkstaden

Scenarioanalys på brand i Fornverkstaden då aktivitet för barngrupp pågår. Analysen behandlar datorsimuleringar med avseende på utrymningssäkerhet av valt scenario.

8.1 Allmän beskrivning

Fornverkstaden, som också kallas *childrens workshop*, är belägen i källarplanet intill Guldrummet (se figur 8.1). Den utgör ingen öppen del av museet utan hit kommer skolklasser och barngrupper för att bland annat pyssla, se och själva spela teater på vikinga- och forntidstema. Alla aktiviteter i Fornverkstaden är ledda av personal från museet. Fornverkstaden utgörs av en verkstadsdel (se figur 8.2) med bord och stolar, två förrådsrum med väldigt mycket rekvisita och pysselmateriel, samt ett teater-/filmvisningsrum med projektorer och en liten scen.



Figur 8.1 Layout, Fornverkstaden



Figur 8.2 Fornverkstaden

8.2 Scenarier

I scenariot befinner sig en skolklass och personal från museet i Fornverkstaden. En brand utbryter i Förråd stora.

8.2.1 Scenario 1

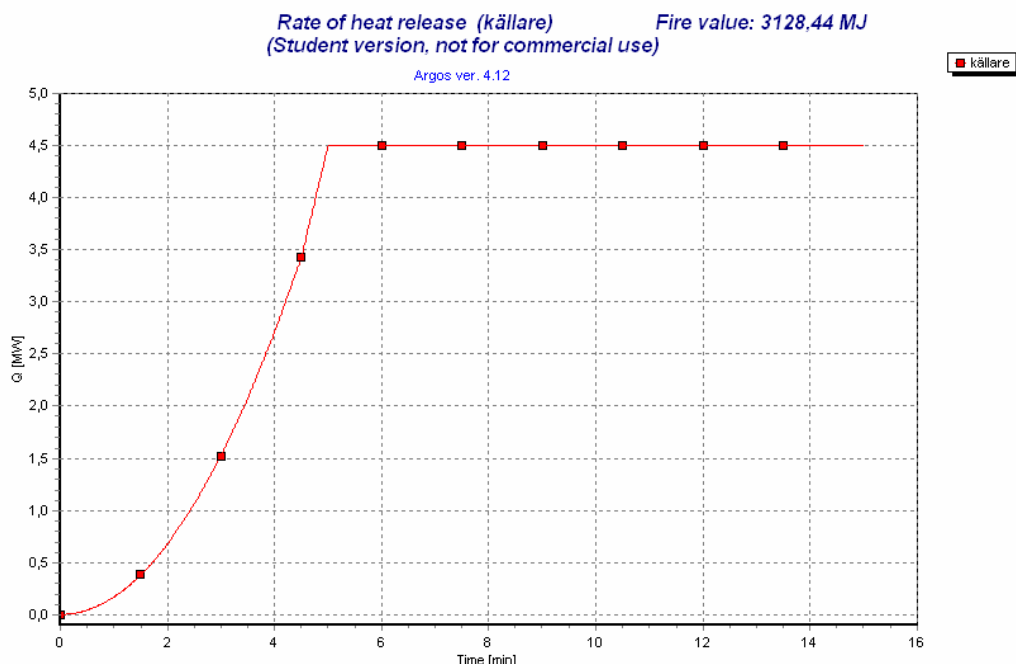
Dörr mellan Förrådet stora och Hall 2, mellan Förrådet lilla och Fornverkstaden samt Förråd stora och Fornverkstaden är stängda, resterande öppna (se figur 8.1). Efter 1 min 40s öppnas dörren mellan Förråd stora och Fornverkstad. Detta ska representera att branden inte märks av personerna i Fornverkstaden i början av brandförloppet. Efter ungefär 40 s går brandlarmet och då börjar personerna undra vad som händer och se sig omkring. Efter ytterligare 1 min har t.ex. röklukt känts eller rök setts komma ut från dörren mellan Förråd stora och Fornverkstaden. Dörren öppnas då för att undersöka.

8.2.2 Scenario 2

Alla dörrarna är öppna förutom dörren mellan Förråd stora och Hall 2 samt mellan Förråd lilla och Fornverkstaden (se figur 8.1). Detta kommer att medföra att brandgaser kommer att kunna spridas till Fornverkstad och utrymningsvägar.

8.3 Dimensionerande brand

I förrådsrummet, där branden startar i scenariot, finns en stor mängd kläder, möbler, hyllor och skåp av trä fyllda med diverse brännbart material. Tillväxtfasen av branden antas likna en α^2 -kurva enligt tillväxthastigheten *fast*. Branden blir ventilationskontrollerad med en maximal effektutveckling på 4,5 MW (se figur 8.3). Utförligare beskrivning finns i Bilaga D.



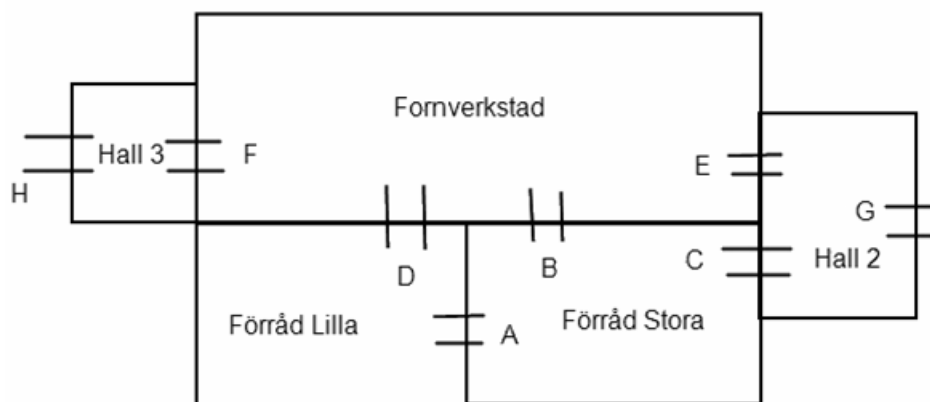
Figur 8.3 Effektkurva, Fornverkstaden

8.4 Försökuppställningar

Simuleringsprogrammen Argos, CFast och Simulex används för att utvärdera säkerheten. Mer om programmen finns i Bilaga E. Försökuppställningen visar införd indata i respektive program.

8.4.1 Argos

Fem zoner skapas i Argos enligt figur 8.4.



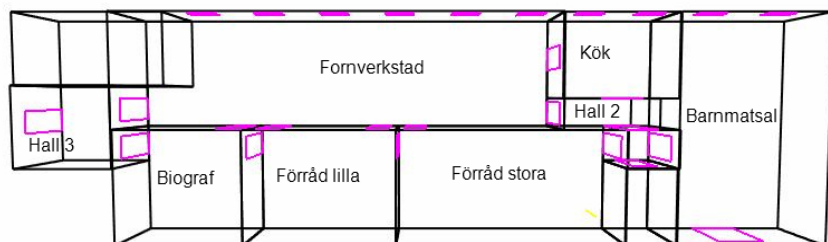
Figur 8.4 Försökuppställning, Argos

Förråden byggs med en tegelvägg mot omgivningen. Mot övriga zoner består väggarna av 2 st 13 mm gipsskivor med 50 mm isolering. Alla zoner har parkettgolv och ett gips/mineralull/betongtak. Dörrarna är oisolerade 34 mm tjocka med måtten 0,9x2,1 m. Branden antas starta i Förråd stora.

8.4.2 CFast

I CFast skapades Fornverkstaden med intilliggande zoner (se figur 8.5).

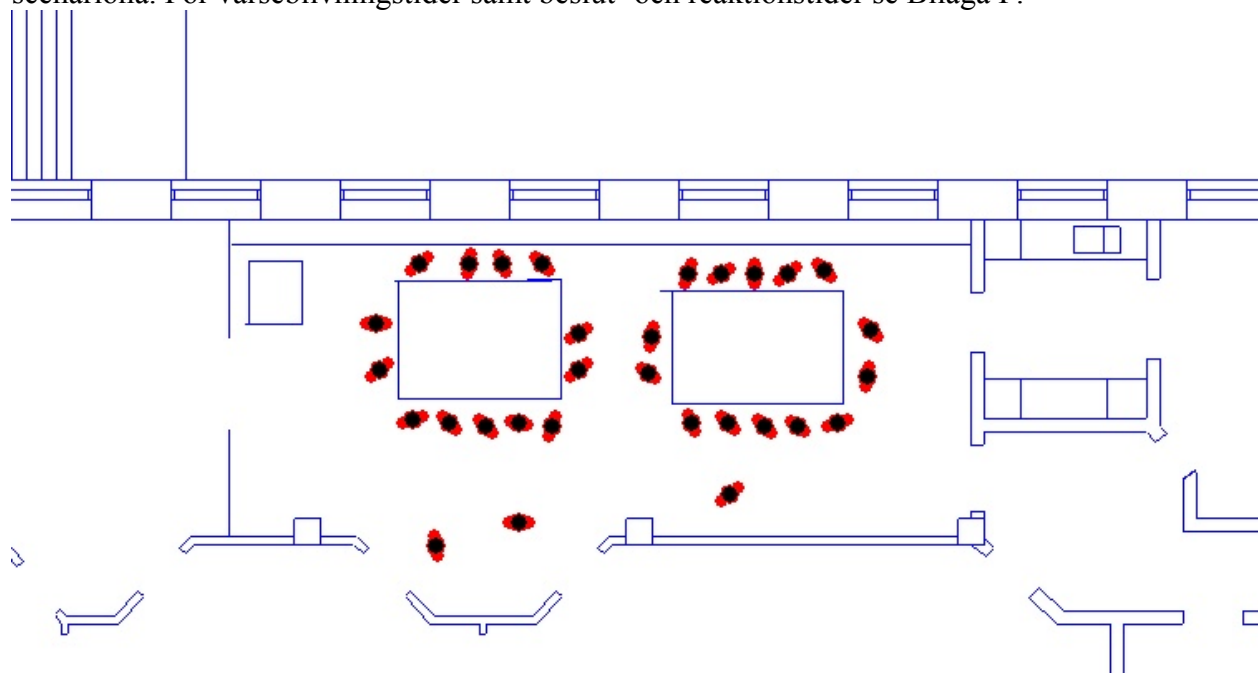
På grund av begränsningar i programmet så måste alla väggar i en zon bestå av samma material. De olika zonernas väggmaterial, golv, tak och dörrar har modifierats så att de efterliknar de som används i Argos. Branden placeras i Förråd stora.



Figur 8.5 Försöksuppställning, CFast

8.4.3 Simulex

Värsta troliga scenario i Fornverkstaden antas vara när en skolklass eller större barngrupp befinner sig där. Personerna i Fornverkstaden placerades ut som de kan tänkas befinna sig vid normal aktivitet, i detta fall främst kring borden. Det totala antalet sattes till 30 st vilket kan antas vara en normal skolklass. I resten av museet placeras personer ut så realistiskt som möjligt med avseende på verksamheter i de olika salarna och det totala antalet besökare. Totalt placerades 300 personer ut i byggnaden. En majoritet av dessa kommer att utrymma ut genom huvudentrén. Tiderna innan personerna börjar förflytta sig sattes till 1 min 40 s respektive 1 min 20 s i Fornverkstaden vid scenario 1 och 2. I resten av byggnaden sattes denna tid till 2 min 10 s i båda scenariona. För varseblivningstider samt beslut- och reaktionstider se Bilaga F.



Figur 8.6 Försöksuppställning i Fornverkstaden, Simulex

8.5 Resultat

I **scenario 1** startar branden i Förråd stora och brandgaser sprids genom den öppna dörren till Förråd lilla. Dörren mellan Fornverkstaden och Förråd stora är vid initialskedet stängd. Då dörren öppnas efter 1 min 40 s kommer brandgaser sedan att kunna spridas till Fornverkstaden.

I de två scenarierna blir branden ventilationskontrollerad vilket ger en lägre effektutvecklingskurva i resultaten än den antagna som används som indata i simuleringsprogrammen. Det kommer förmodligen att ske förbränning av oförbrända brandgaser utanför brandrummet, men har med hjälp av CFast bedömts att ske efter att utrymning i berörda rum är genomförd.

I Fornverkstaden, där personerna befinner sig, är brandgaslagrets höjd på kritisk nivå efter 2 min 40 s i Argos-simuleringen. Optisk densitet i brandgaslagret överstiger acceptabla nivåer för utrymning. Vidare uppstår kritisk höjd på brandgaslagret i Hall 3 som är den utrymningsvägen som använts vid utrymningssimuleringen (se tabell 8.1). I CFast-simuleringen når brandgaslagret kritisk höjd efter 2 min 40 s i Fornverkstaden. Efter 3 min inträder kritiska förhållanden med avseende på brandlagrets höjd i hall 3, och kritisk strålning efter 6 min 40 s (se tabell 8.2). Tiderna till kritiska förhållanden är hämtade från simuleringsgrafer som visar brandgaslagrets höjd samt strålning (se Bilaga I).

Scenario 1, Fornverkstaden - Argos					
	Fornverkstaden	Förråd stora	Förråd lilla	Hall 2	Hall 3
Brandgaslager	2 min 40 s	1 min 10 s	2 min	6 min	3 min 10 s
Strålning	14 min 10 s	2 min 30 s	-	-	-

Tabell 8.1 Tid till kritiska förhållanden, scenario 1, Argos

Scenario 1, Fornverkstaden - CFast					
	Fornverkstaden	Förråd stora	Förråd lilla	Hall 2	Hall 3
Brandgaslager	2 min 40 s	1 min 20 s	1 min 50 s	3 min	3 min
Strålning	-	2 min 40 s	8 min 50 s	-	6 min 40 s

Tabell 8.2 Tid till kritiska förhållanden, scenario 1, CFast

I **scenario 2** startar branden i Förråd stora och sprids till Förråd lilla då dörren är öppen. Dörren mellan Förråd stora och Fornverkstaden är öppen under hela förloppet. I Argos-simuleringen når brandgaslagrets höjd kritiska förhållanden efter 2 min 40 s i Fornverkstaden. Optisk densitet i brandgaslagret överstiger kritiska nivåer. I Hall 3, som i simuleringen används som utrymningsväg, uppstår kritiska förhållanden efter 2 min 50 s (se tabell 8.3). I CFastsimuleringen är brandgaslagret på kritisk nivå efter 2 min 30 s i Fornverkstaden. Hall 3 är kritisk höjd på brandgaslager efter 2 min 50 s (se tabell 8.4). Tiderna till kritiska förhållanden är hämtade från simuleringsgrafer som visar brandgaslagrets höjd samt strålning (se Bilaga J).

Scenario 2, Fornverkstaden - Argos					
	Fornverkstaden	Förråd stora	Förråd lilla	Hall 2	Hall 3
Brandgaslager	2 min 40 s	1 min 10 s	2 min	5 min	3 min 10 s
Strålning	-	2 min 30 s	8 min 50 s	-	-

Tabell 8.3 Tid till kritiska förhållanden, scenario 2, Argos

Scenario 2, Fornverkstaden - CFast					
	Fornverkstaden	Förråd stora	Förråd lilla	Hall 2	Hall 3
Brandgaslager	2 min 30 s	1 min 10 s	1 min 50 s	2 min 50 s	2 min 50 s
Strålning	-	2 min 50 s	6 min 40 s	-	6 min 40 s

Tabell 8.4 Tid till kritiska förhållanden ,scenario 2, CFast

Handberäkningar visar att i scenario 2 då dörren till Fornverkstaden är öppen vid initialskede, når brandgaslagret kritisk höjd efter 1 min 20 s i Fornverkstaden och Förråd stora. Detta resultat är uträknat med stor osäkerhet och används därför endast för att kontrollera att de simulerade resultaten är någorlunda rimliga. Utförligare beräkningar finns i Bilaga G.

Simulexsimulering visar att utrymning för alla personer i Fornverkstaden tar 2 min 20 s i scenario 1. För samtliga personer i källarplanet tar det 3 min 30 s att utrymma ut från källarvåning till entréväning (se tabell 8.5). Det tar 4 min 40 s att utrymma hela byggnaden.

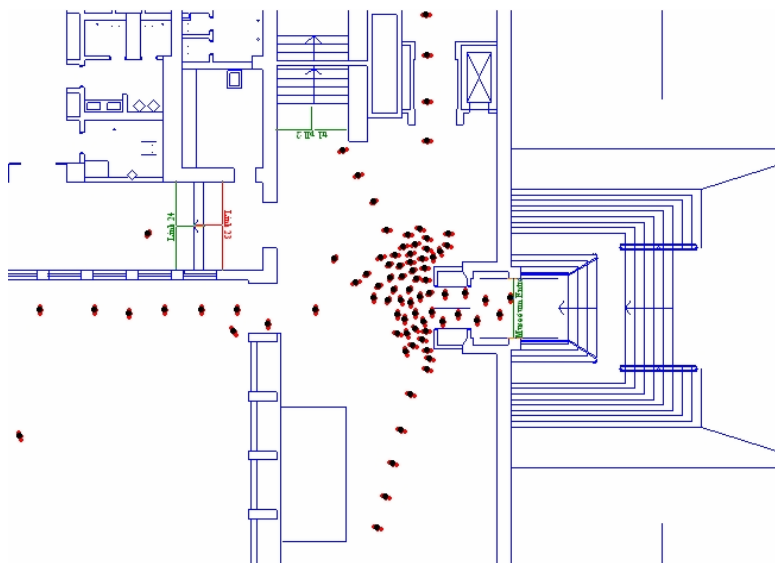
Scenario 1, Utrymningssimulering - Simulex	
Zon	Tid
Fornverkstaden	2 min 20 s
Källarplan	3 min 30 s
Hela byggnaden	4 min 40 s

Tabell 8.5 Total utrymningstid, Simulex

I utrymningssimulering av scenario 2 tar det 1 min 50 s för personerna i Fornverkstaden att utrymma Fornverkstaden. Utrymningstiden för alla personer i källarvåning är 3 min 20 s enligt Simulex-simulering. Hela byggnaden utryms på 4 min. Köbildning uppstår i huvudentrén (se figur 8.7)

Scenario 2, Utrymningssimulering - Simulex	
Zon	Tid
Fornverkstaden	1 min 50 s
Källarplan	3 min 20 s
Hela byggnaden	4 min

Tabell 8.6 Total utrymningstid, Simulex,



Figur 8.7 Köbildning i huvudentrén

8.5.1 Analys

I tabell 8.7 – 8.10 jämförs tider till kritiska förhållanden med tid det tar att utrymma. I fornverkstaden uppnås kritiska förhållanden strax efter att utrymningen är fullbordad.

Kritiskt förhållanden (Argos) - Utrymning - Scenario 1			
	Brandgaslager	Strålning	Utrymningstid
Fornverkstad	2 min 40 s	14 min 10 s	2 min 20 s

Tabell 8.7 Tider för kritiska förhållanden (Argos) och utrymning - Scenario 1

Kritiskt förhållanden (CFast) - Utrymning - Scenario 1			
	Brandgaslager	Strålning	Utrymningstid
Fornverkstad	2 min 40 s	-	2 min 20 s

Tabell 8.8 Tider för kritiska förhållanden (CFast) och utrymning - Scenario 1

Kritiskt förhållanden (Argos) - Utrymning - Scenario 2			
	Brandgaslager	Strålning	Utrymningstid
Fornverkstad	2 min 40 s	-	1 min 50 s

Tabell 8.9 Tider för kritiska förhållanden (Argos) och utrymning - Scenario 2

Kritiskt förhållanden (CFast) - Utrymning - Scenario 2			
	Brandgaslager	Strålning	Utrymningstid
Fornverkstad	2 min 30 s	-	1 min 50 s

Tabell 8.10 Tider för kritiska förhållanden (CFast) och utrymning - Scenario 2

För känslighetsanalys se kapitel 11.

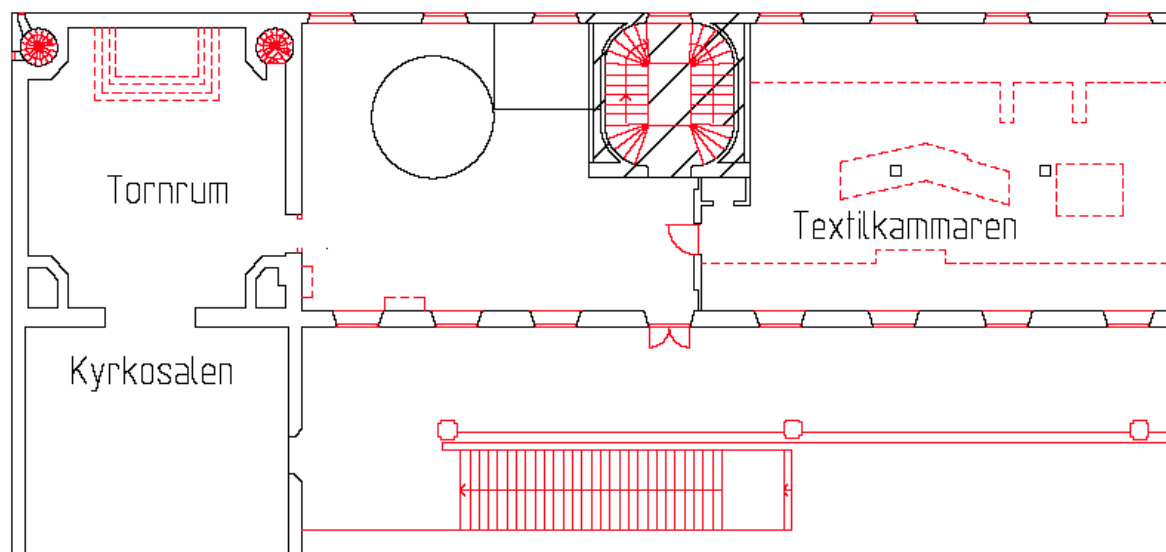
9 Anlagd brand i Tankerummet

Scenarioanalys av anlagd brand i Tankerummet. Analysen behandlar datorsimuleringar med avseende på utrymningssäkerhet av valt scenario.

9.1 Allmän beskrivning

Tankerummet ligger på våning 2 mellan Textilkammaren och Tornrummet i kyrkoutställningen (se figur 9.1). Detta rum hör inte till någon av utställningarna utan är tänkt att fungera som ett rum där besökaren kan stanna upp en stund för tankar och reflektioner eller bara lite vila. I rummet finns några tavlor på väggarna och i mitten en cirkelformad vägg med öppningar, inuti vilken besökare kan slå sig ned en stund på några bänkar.

I rummets ena hörn, mellan den runda väggen och rummets vägg, förvaras en större mängd stolar som används vid arrangemang i Barocksalen (se figur 9.2).



Figur 9.1 Layout av Tankerummet



Figur 9.2 Staplade stolar i Tankerummet

9.2 Scenario

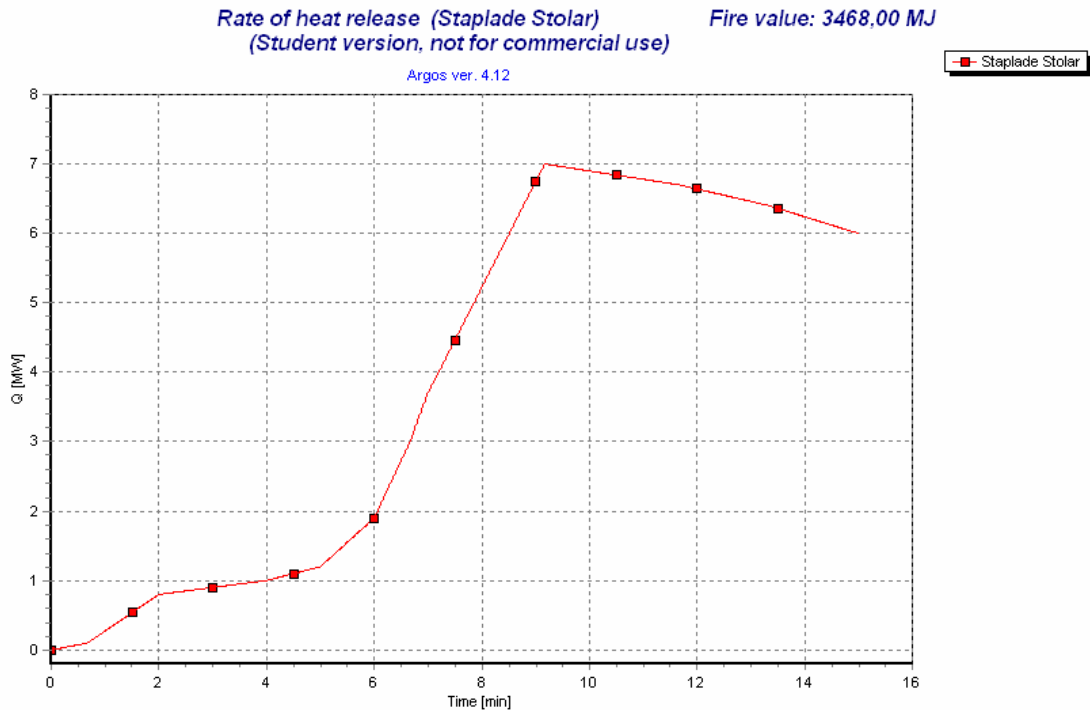
Det här scenariot har valts främst för att se hur brandgasspridningen kommer att ske till övriga delar av byggnaden och hur utrymningen eventuellt kan påverkas. Persontätheten i rummet är låg. Dörren in till Textilkammaren stängs automatiskt när brandlarmet aktiveras. Dörren mellan Tankerummet och Tornrummet är öppen hela tiden.

Det uppstaplade stolar i det relativt tomma utställningsrummet, kan te sig inbjudande för att anlägga en brand.

9.3 Dimensionerande brand

I Tankerummet finns staplade stolar gjorda av en stomme av metall, med sittdyna och ryggstöd av trä med tunn stoppning av polyuretanskum. Det finns tretton staplar tätt intill varandra med ungefär 16 stolar i varje stapel. Intill stolarna finns en cylinderformad vägg av träfibermaterial.

Branden antas starta i en stolsstapel och sprider sig sedan till intilliggande stolar. Därefter börjar även träfiberväggen brinna. En effektutvecklingskurva (se figur 9.3) har tagits fram med hjälp av Initial Fires (Särdqvist 1998) (se Bilaga D).



Figur 9.3 Effektkurva, Tankerummet

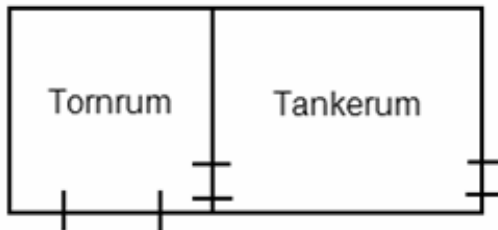
9.4 Försöksuppställningar

Simuleringsprogrammen Argos, CFast och Simulex används för att utvärdera säkerheten. Mer om programmen finns i Bilaga E. Försöksuppställningen visar införd indata i respektive program.

9.4.1 Argos

Försöksuppställningen i Tankerummet enligt figur 9.4. Tankerum och Tornrum med väggar, tak och golv av betong.

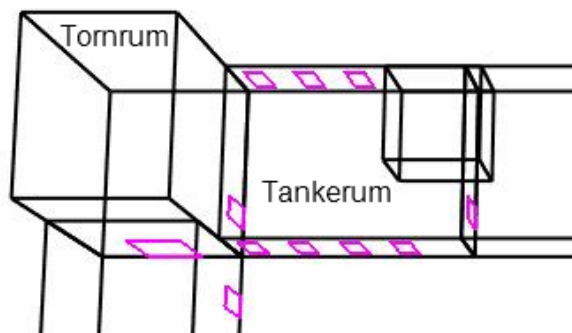
Mellan Tornrum och omgivningen finns det en öppning i väggen som mäter 3,5x7m. Dörren mellan Tankerum och omgivningen är en EI 60-C med måtten 1,2x2,1 m. Mellan Tornrummet och Tankerummet finns ett valv som mäter 1,2x2,5 m. I Tankerummet finns det sju fönster som mäter 1,2x1,6 m.



Figur 9.4 Försöksuppställning, Argos

9.4.2 CFast

Geometrin blir lite mer avancerad i CFast men alla byggnadsdelar är liknande de som används i Argos (se figur 9.5). Två fönster öppnas då temperaturen i övre lagret når 300°C för att simulera att de går sönder.



Figur 9.5 Försöksuppställning, CFast

9.4.3 Simulex

Vid brand i Tankerummet antas att branden kommer att blockera rummet så att utrymning ej kan ske igenom det. I museet placeras personer ut så realistiskt som möjligt med avseende på verksamheter i de olika salarna och det totala antalet besökare. 400 personer placerades ut i byggnaden. Majoriteten av dessa kommer att utrymma ut genom huvudentrén. Utrymningsvägarna från Tankerummet blockerades i scenariot. Tiden innan personerna börjar förflytta sig sattes till 2 min 20 s, för varseblivningstider samt beslut- och reaktionstider (se Bilaga F).

9.5 Resultat

Branden startar i Tankerummet och brandgaser kommer sedan att spridas vidare till Torrummet. Då dörren till Textilkammaren stängs automatiskt av brandlarmet sker ingen brandgasspridning dit.

I Argos-simuleringen når brandgaslagret kritiska förhållanden efter 2 min 30 s i Tankerummet (se tabell 9.1). I Cfast-simuleringen uppnås kritiska förhållanden efter 2 min 50 s genom brandgaslagret som når kritisk höjd och temperatur. I Torrummet når brandgaslagret kritiska förhållanden efter 3 min 40 s (se tabell 9.2). Tiderna till kritiska förhållanden är hämtade från simuleringsgrafer som visar brandgaslagrets höjd samt strålning (se Bilaga K).

Tankerum -Argos		
	Tankerum	Torrum
Optisk densitet	-	6 min 20 s
Brandgaslager	2 min 30 s	-
Strålning	6 min 50 s	-

Tabell 9.1 Tid till kritiska förhållanden, Argos

Tankerum -CFast		
	Tankerum	Tornrum
Brandgaslager	2 min 50 s	3 min 40 s
Strålning	7 min 40 s	-

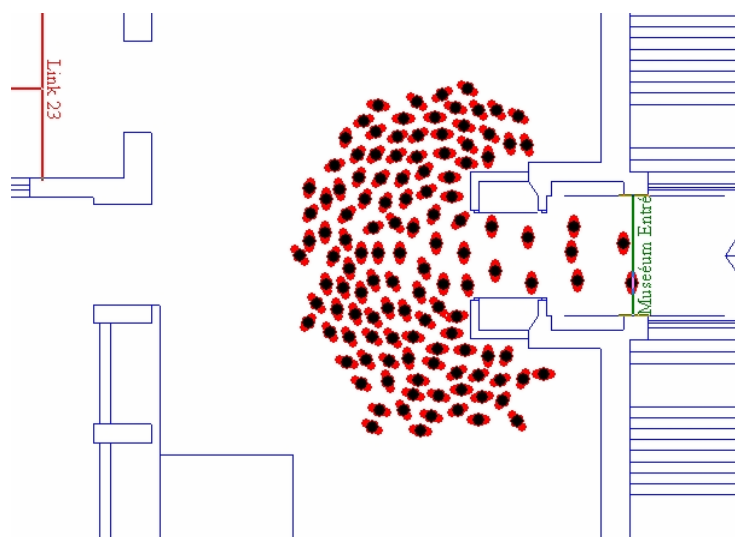
Tabell 9.2 Tid till kritiska förhållanden, CFast

Handberäkningar är ej utförda för Tankerummet (för motivering se Bilaga G).

Utrymning från Tornrummet beaktas inte då antagandet är att det inte befinner sig några personer vid initialskedet. Hela byggnaden utryms på 5 min 10 s (se tabell 9.3). Köbildning uppstår vid huvudentrén (se figur 9.6).

Utrymningssimulering, Simulex	
Rum	Tid
Tankerum	-
Hela byggnaden	5 min 10 s

Tabell 9.3 Total utrymningstid, Simulex



Figur 9.6 Köbildning i huvudentrén

9.5.1 Analys

För analys av personsäkerheten, se kapitel 12.3

För känslighetsanalys se kapitel 11.

10 Ventilation

Ventilationssystemet i byggnaden är omfattande och skiljer sig en del i funktion. De flesta brandceller har helt egna ventilationssystem vars funktion är anpassad efter respektive brandcells förutsättningar och funktioner. Ventilationssystemet har moderniserats ett flertal gånger sedan byggnaden uppfördes.

Dokument om genomförd Obligatorisk ventilationskontroll, OVK, finns uppsatt. Samtliga brandspjäll i museet motioneras var 48:e timme, detta sker på måndagar, onsdagar och fredagar då personal finns på plats som kan åtgärda ett eventuellt fel (Gustafsson 2006). Brandspjällen stänger vid strömbortfall och öppnas automatiskt när strömmen kommer tillbaka.

10.1 Barocksalen

Barocksalen är en egen brandcell med ett separat ventilationssystem, brandgasspridning till andra brandceller via ventilationen är således otänkbart.

10.2 Fornverkstaden

Tilluften kommer från ett angränsande fläktrum som serverar hela Fornverkstadens brandcell, inklusive barnmatsalen. Fem huvudkanaler går ut från en fördelningslåda till olika delar av brandcellen, varav en går in till Fornverkstaden. I fördelningslådan sitter en rökdetektor som stänger brandspjällen i de fem huvudkanaler om brandgaser skulle tryckas ut i systemet och förhindrar således brandgasspridning via tilluften.

Frånluften samlas i en huvudkanal och leds upp på taket. I denna kanal finns en rökdetektor i den kanaldel som kommer från Barnmatsalen. Rökdetektorn reglerar ett brandspjäll som vid detektion stänger av barnmatsalen från huvudkanalen. Detta för att hindra att rök trycks in i Barnmatsalen då utrymning från Fornverkstaden kan ske genom denna.

10.3 Tankerummet

Tankerummet, Tornrummet och Kyrksalen ligger i en gemensam brandcell och delar på ett ventilationsaggregat. Det finns inga dörrar som kan skilja dessa rum från varandra. Vid en eventuell brand kan brandgaser spridas mellan rummen inom brandcellen, men ventilationen bidrar inte till detta då det sitter en rökdetektor vid fördelningslådan som stänger brandspjäll vid detektion.

10.4 Övriga rum

De flesta brandcell har ett eget ventilationssystem med brandtekniskt avskiljda ventilationsrum. Brandgasspridning via ventilationen är således ej troligt.

11 Känslighetsanalys

Då både brandförloppet och utrymningen styrs av flera olika och ofta osäkra parametrar måste en känslighetsanalys göras för att se hur antaganden kan påverka resultaten. De flesta och minst säkra antaganden som gjorts är de om effektutvecklingskurvorna, varför de har varierats i de olika scenariona för att se hur de påverkar resultaten. Även andra faktorer vars betydelse har bedömts som viktiga har analyserats.

11.1 Urvalsprocess och simuleringsprogram

Urvalsprocessen vid val av scenarier, har utgångspunkt *värsta troliga scenario* som kan inträffa, och bygger dels på sannolikhet att branden ska inträffa och vilka konsekvenser den får. Det finns stora osäkerheter i uppskattningen av brandens storlek och tillväxt, samt sannolikheten att scenariot ska äga rum vilket påverkar resultatet av utrymningssäkerheten.

De program som använts för att simulera brandförloppen är relativt enkla modeller baserade på förenklade antaganden vilket ger osäkerhet i resultaten. Valideringsrapporter och egna erfarenheter visar att programmen är konservativa, men det finns ingen garanti för att det gäller i alla scenarier.

I Simulex påverkar varseblivnings-, beslut- och reaktionstiderna den totala utrymningstiden linjärt, både i rummen i scenariona och för hela museet. Även personernas placering och antal påverkar utrymningstiden. Däremot påverkar inte olika gånghastigheter i Simulex utrymningstiden nämnvärt då köbildningen som uppstår är mest avgörande i valda scenarier. Vilken väg som väljs av personerna har betydelse för flaskhalsarna; även om sträckan är längre så kan personflödet per tidsenhet öka.

11.2 Barocksalen

Det är svårt att uppskatta hur en orgel av trä brinner. Effektutvecklingskurvan har baserats på trälastpallar, där osäkerheten ligger i hur tillväxtfasen och maximal effektutveckling påverkas av skillnader i skrymdensitet mellan lastpallarna och orgeln. Även takets inverkan på branden är osäker då inte mycket data finns tillgänglig inom horisontalbrandspridning under tak. Om taket antänder tidigare än vad som antagits så blir det en snabbare effektutveckling.

I Barocksalen finns det flera stora fönster som är placerade högt över golvnivån, beroende på hur många som antas gå sönder har det en stor inverkan på brandgaslagrets höjd och temperatur. Desto fler fönster som går sönder, ju mer kall luft kommer in genom fönstren samtidigt som varma brandgaser försvinner ut. Troligtvis kommer kritiska förhållanden uppstå på grund av strålning från de varma gaserna oavsett vilka eller hur många fönster som går sönder.

Då branden antas starta på entresolvåningen ökar osäkerheten, framförallt i Argos, där brandens bas inte kan höjas över golvnivå.

11.3 Fornverkstaden

Branden har räknats ut bli ventilationskontrollerad vid maximalt 4.5MW (se Bilaga D). Simuleringar visar att branden blir ventilationskontrollerad vid en betydligt lägre maximal effektutveckling, vilket visar att vårt antagande är konservativt. Tillväxtfasen har bedömts motsvara en α^2 -kurva av modell *fast*. Simulering med tillväxthastighet *Ultra fast*, som bedömts som osannolik, visar att tiden till kritiska förhållanden uppstår sänks något.

En brand i Fornverkstaden kan komma att försvåra utrymningen från Guldrummet, då en av guldrummets utrymningsvägar leder genom Fornverkstadens brandcell. Beroende på hur utrymningen sker med avseende på vilken utrymningsväg som används, och om dörrar lämnas öppna eller stängda när utrymningen ur Fornverkstaden sker, kan brandgasspridning ske till den ena utrymningsvägen för Guldrummet. Försöken i Simulex där denna utrymningsväg var spärrad hade ingen märkbar påverkan på utrymningsresultatet.

11.4 Tankerummet

Den dimensionerande brandens största osäkerhet är tillväxthastigheten, då försöken som effektutvecklingskurvan baseras på endast är utförda på en ensam stapel stolar. Dock visar simuleringar att även om brandens tillväxthastighet och maximala effektutveckling är högre blir brandgasspridningen likvärdig valt scenario.

12 Diskussion

Historiska museet har jobbat med Systematiskt brandskyddsarbete i 2-3 år, vilket är ett lagkrav enligt Lag om skydd mot olyckor (SFS 2003:778). Brandskyddslagets konsulter har anlåtats vid flera uppdrag som handlat om till exempel materialval i nya utställningar. Det finns en vilja och ett intresse av att göra byggnaden och verksamheten mer säker. Utrymningen kan ses som en stor problematik då byggnaden är väldigt stor och kan rymma mycket folk, samtidigt som antalet nödutgångar är få. Men samtidigt måste det beaktas att även om brand kan uppstå och nå kritiska förhållanden i vissa delar av byggnaden så kommer det att ta tid innan det sprids till andra delar, om detta överhuvudtaget sker. I många utställningshallar är mängden brännbart material förhållandevis liten. Byggnaden är sektionerad på flertalet ställen vilket gör många utställningshallar till egna brandceller. Utrymningen kommer enligt rapporten således att vara svårast för de människor som befinner sig i samma rum eller brandcell som branden initieras.

12.1 Barocksalen

Utrymning från Barocksalen är inga problem vid normal verksamhet. Kombinationen att brandtillbudet sker i salen samtidigt som där är en fullsatt konsert kan dock leda till allvarliga konsekvenser då det blir en flaskhals vid utrymningsvägen mot trapphus1. Det finns en dörr i samma del av salen som leder ut på balustraden men ej är skyltad som utrymningsväg. I gångsträcka innebär det en omväg mot entrén men i simuleringar visar att flaskhalsen minskar och att utrymningstiden från salen minskar med ungefär 1 min 30 s om dörren används (se Bilaga L). Då simuleringar också visar att kritiska förhållanden kommer att uppnås i lokalen bör denna dörr göras om till utrymningsväg för att säkra utrymningen vid större evenemang.

12.2 Fornverkstaden

Simuleringarna av scenariona i Fornverkstaden visar att utrymning från brandcellen hinner genomföras i båda scenariona innan kritiska förhållanden uppnåtts. Utrymningen från källarvåningens övriga delar, det vill säga Guldrummet, kommer att ske tillfredställande. Dörren in till Fornverkstaden från trapphus1 saknar dock självstängare vilket innebär att brandgaser kan komma att spridas denna väg och blockera Trapphuset och utrymningsvägen mellan Guldrummet och Fornverkstaden. Branden upptäcks rimligtvis tidigare med öppen dörr in till förrådet, men simuleringarna visar inte på någon större skillnad för själva brandförloppet. Det bör dock beaktas att det rör sig om tidsmarginaler på runt en halv minut och att de utrymmande till största del är barn. Personalen måste initiera och genomföra utrymningen så snabbt och effektivt som möjligt, ett riktigt och inövat agerande spelar en viktig roll för barnens säkerhet. Det är i övrigt svårt att peka på några konkreta förändringar som kan göras för att öka säkerheten i Fornverkstaden. Risken för anlagd brand under pågående verksamhet i Fornverkstaden bedöms som liten.

12.3 Tankerummet

Scenariot valdes främst för att det fanns önskemål om att undersöka risker med anlagd brand i museet. De staplade stolarna i det någorlunda avskiljda rummet bedömdes som inbjudande för en person med ont uppsåt. Simuleringar visar att brandgaser kan spridas in i kyrkutställningen.

Tornrummets stora volym och väggmaterial kommer troligtvis att medföra att brandgaserna kyls och därmed förlorar sin termiska stigmatkraft. Detta gör att det liknar en 1-zonsmodell och brandgaser sprids in i kyrksalen. Det kommer inte att bli något problem för personer som befinner sig i Tankerummet att hinna utrymma innan kritiska förhållanden uppstår där. Det är sannolikt inte heller några personer kvar i kyrkutställningen vid den tidpunkt då brandgaserna börjar spridas in dit. Det bör beaktas att förvaring av stolar i Tankerummet medför en ökad risk, men ur utrymnings synpunkt är den acceptabel.

12.4 Utrymning för funktionshinder

Historiska museet har arbetat för att öka tillgängligheten för funktionshinderade till museets lokaler och utställningar. Dessvärre är utrymningsvägar för funktionshinderade och rullstolsburna obefintliga då de ej kan ta sig varken upp från källarvåningen eller ned från våning 2. Då byggnaden förmodligen kommer att bli kulturminnesmärkt inom en snar framtid måste det beaktas att allt för stora förändringar, så som öppningar i fasaden eller utvändiga trappor och liknande, kan utföras i mycket begränsad omfattning. Som alternativ till utrymning av funktionshinderade till det fria, kan utrymning ske till en säker flyktplats (Berner, Johansson 2005). I detta fall skulle det innebära en förstärkt brandcell, utrustad med kommunikationsutrustning. Den psykologiska faktorn måste beaktas då det handlar om människor som ska sitta inne i en byggnad där det brinner och vänta på assistans, men detta bör ändå vara det mest aktuella åtgärdsalternativet med hänsyn till byggnaden och verksamheten. Ett billigare alternativ skulle kunna vara att införskaffa trappstolar avsedda för utrymningsituationer. Vaktpersonalen verkar i dagsläget osäkra på vilka rutiner som gäller. Även om rutinerna ser ut att fungera i teorin, blir de så gott som obefintliga om personalen är osäker på hur de ska agera. Med dessa åtgärder är det ett krav att utbildningsnivån hos vakterna säkerställs.

12.5 Utrymning från innergården

Att utrymning sker via innergården mot entrén bör sällan innebära några problem. Däremot finns ingen direkt plan för hur utrymning ska gå till om entrén är blockerad och besökare måste utrymma in i museet från innergården och vidare mot någon annan utgång. Om utrymningsvägen vänds i utgången som ligger mellan shoppen och forntidsutställningen, så att den leder in i stället för ut. Med hjälp av skyltning leds de utrymmande besökarna mot utgången i kontorsdelen, på så sätt skapas en alternativ utrymningsväg (se Bilaga M). I dagsläget är endast 0,6 m av nödutgången öppningsbar och måste därför justeras, både för att utrymningskraven ska uppfyllas men även för att rullstolsburna ska kunna använda utgången. Utrymning mot entrén kan fortfarande ske genom de andra utgångarna mot innergården (se Bilaga M). Det bör även beaktas att oavsett vilket scenario som studeras bildas flaskhalsar i entrén. Att leda en del av besökarna till ovan nämnd utgång skulle minska detta fenomen.

12.6 Talat utrymningsmeddelande

Vid en utrymningsituation läser personalen i entrén upp följande meddelande: *"Brandlarm, gå lugnt mot närmaste nödutgång. Avvakta instruktioner från personal"* som går ut i Hörsal, Café, Butik, Entréhall, Garderob samt i Guldrummet. Meddelandet är motsägelsefullt då besökare uppmanas att börja utrymma men samtidigt att avvakta ytterligare instruktioner. Detta kan leda

till förvirring och försening av beslut- och reaktionstiden. Meddelandet kan också tolkas som att besökare uppmanas att gå till nödutgången och *där* avvakta vidare instruktioner.

13 Förslag till åtgärder

Åtgärdsförslagen är framtagna utifrån analyserna av scenarierna samt reflektioner från objektsbesöket och *skall* uppfylla de lagkrav som reglerar personsäkerheten vid brand i byggnader (Lag om skydd mot olyckor, SFS 2003:778) samt Arbetsmiljöstyrelsens krav på arbetsplatsens utformning baserad på brandteknisk riskvärdering (Arbetsplatsens utformning, AFS 2000:42).

1. Historiska museet *skall* tillse att utrymning kan ske tillfredställande även för funktionshindrade och rullstolsburna. Då nästan samtliga trappor i museet är långa och branta skulle byggandet av ramper i dessa ändå inte medföra att funktionshindrade skulle kunna utrymma säkert. Från museets sida finns det redan tänkt på att samla de funktionshindrade i en säker brandcell och invänta assistans från räddningstjänst. Detta kräver att aktuell brandcell/er eventuellt förstärks och utrustas med till exempel kommunikationsutrustning. Inskaffning av trapprullstolar, avsedda för evakuering av rörelsehindrade, kan vara ett billigare alternativ. Oavsett hur frågan löses *skall* vaktpersonalen utbildas för att tillgodose funktionshindrades utrymning.
2. Även om fallet där huvudentrén är blockerad är mindre sannolikt, måste utrymning ändå kunna ske för de människor som utrymmer till innergården men sedan inte kommer vidare till entrén. Riktningen i utrymningsvägen mellan shoppen och forntidsutställningen *skall* vändas och förstärkas med skyltar så att människor från gården kan ledas ut via kontorsdelen (se Bilaga M).
3. Den extra dörren i Barocksalen *skall* göras till en utrymningsväg så att utrymningen blir säkrare vid stora evenemang i salen.
4. Museet *skall* se över samtliga dörrar i utrymningsvägarna så att de kan öppnas med lätthet.
5. Dörren i utgången i kontorsdelen *skall* modifieras så att den kan öppnas helt. Då utgången kommer att användas av utrymmande rullstolsburna *bör* den kompletteras med en automatisk dörröppnare.
6. Museet *skall* tillse att modifieringen av grinden ut från parkeringen genomförs så att utrymmande besökare själva kan öppna den inifrån.
7. Utrymningsskyltarna i hela byggnaden *skall* ses över med avseende på placering och *bör* ses över med avseende på utförande. Även om de flesta är godkända enligt gällande standard finns modeller som är lämpligare.
 - 7.1 Skyltarna kring Guldrummet är både små och svagt belysta. Anledningen är estetiska skäl men någon eller några av dem *bör* kunna ersättas med en större eller genomlyst skylt.
 - 7.2 Utrymningsvägen mellan Guldrummet och Fornverkstaden, ut bredvid handikapphissen, *bör* kompletteras med en skylt på väggen bredvid ingången till fornverkstaden så att de utrymmande hittar vidare i utrymningsvägen.
 - 7.3 Vikingautställningen *bör* kompletteras med en utrymningsskylt antingen på väggen på kortsidan närmast entrén eller på den blå ”inramningen” av utställningen. Som det är idag ses inte utrymningsskylt alls inne ifrån utställningen.

- 7.4 Utrymningsskylten i taket i forntidsutställningen *bör* flyttas då den både skyms från vissa vinklar och tenderar till att ”drunkna” i ljusrampen.
- 7.5 Det är väldigt bra att museet kompletterar tillfälliga utställningar med mobila utrymningsskyltar. Det *bör* dock ses över för att förhindra för personer med ont uppsåt eller busiga skolbarn att vända på/flytta skyltarna. Detta speciellt som de mobila skyltarna även används på några ställen i de fasta utställningarna.
- 7.6 Oavsett hur utrymningsvägar frambringas för rörelsehindrade och rullstolsburna *bör* utrymningsvägen förstärkas med speciella utrymningsskyltar med en rullstolssymbol.
- 7.7 Tillfälliga utställningar *bör* ses över en extra gång då de byggts upp så att utrymningsskyltar fortfarande syns och visar rätt.
8. Det talade meddelandet som läses upp vid utrymning *bör* redigeras. Ett förslag till ny formulering är: ”*Brandlarm, utrym via närmaste nödutgång. Följ personalens instruktioner*”.
9. Dörrar till Textilkammaren *bör* ej låsas automatiskt vid eventuell stängning av dörren.

14 Slutsats

I scenariona Fornverkstad och Tankerum visar simuleringarna och beräkningarna att tillfredställande utrymning för icke funktionshindrade kan ske. I Barocksalsscenarioet kommer kritiska förhållanden uppstå innan samtliga personer hunnit utrymma brandrummet. Med föreslagen åtgärd att utöka antal nödutgångar i Barocksalen genom att göra om befintlig dörr mot balustraden till en nödutgång, kan tillfredställande utrymning ske.

Utrymning för funktionshindrade och rullstolsburna är otillfredsställande, men med föreslagna åtgärder så som säker tillflyktsplats, trappullstolar och tydlig skyltning uppfylls kraven för utrymning.

Med rekommenderade åtgärder anser vi att Historiska museets utrymnings säkerhet kan bli tillfredställande för alla besökare samt personal.

15 Referenser

Tryckta

- Babrauskas V, Grayson S. J, 1992, *Heat release in fires*, Elsevier Applied Science, New York
- Berner A, Johansson P-A, 2005, *Tillgänglighet och kulturarv*, Statens Fastighetsverk, Stockholm
- Boverket, 2006a, *Utrymningsdimensionering*, Boverket, Karlskrona
- Boverket, 2006b, *Regelsamling för byggande – Boverkets byggregler*, Boverket, Karlskrona
- Brandskyddshandboken, 2005, *Brandskyddshandboken, Rapport 3134*, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund
- Burström P-G, 2001, *Byggnadsmaterial*, Studentlitteratur, Lund
- Drysdale D, 1998, *An introduction to fire dynamics*, John Wiley and Sons, Chichester
- Floyd J, Wolf L, 1997a, *Evaluation of the hdr fire test data accompanying computational activities with conclusions from present code capabilities. Volume 1*, NIST, Gaithersburg
- Floyd J, Wolf L, 1997b, *Evaluation of the hdr fire test data accompanying computational activities with conclusions from present code capabilities. Volume 2*, NIST, Gaithersburg
- Floyd J, Wolf L, 1999, *Evaluation of the hdr fire test data accompanying computational activities with conclusions from present code capabilities. Volume 3*, NIST, Gaithersburg
- Floyd J, Wolf L, 2000, *Evaluation of the hdr fire test data accompanying computational activities with conclusions from present code capabilities. Volume 4*, NIST, Gaithersburg
- Frantzich H, 2001, *Tid för utrymning vid brand, Rapport P21-365/01*, Räddningsverket, Karlstad
- Husted B.P, Sødring T.W, 2003, *Argos theory manual*, Danish Institute of Fire and Security Technology, Hvidovre
- Nilsson D, Holmstedt G, 2006, *Kompendium i Aktiva system – Detektion*, Brandteknik, Lund
- Karlsson B, Quintere J.G, 2002, *Enclosure Fire Dynamics*, CRS Press, Boca Raton
- ISO, 1995, *ISO/WD 13390 “Subsystem 1: Initiations and development of fire and fire effluents”, ISO/TC 92/SC 4 N 72 E*, International Organization for Standardization, Genève
- ISO, 2004, *Fire Safety Engineering: Evaluation of behaviour and movement of people, ISO/TC 92/SC 4/WG11N 19 rev 7a*, International Organization for Standardization, Genève
- Räddningsverket, 2004, *Räddningstjänst i siffror*, Statens räddningsverk, Karlstad

Scherfig S, Baden N, 1992, *Argos validation report*, Danish Institute of Fire and Security Technology, Hvidovre

SFPE, 2002, *Engineering Guide to Human Behavior in Fire*, Society of Fire Protection Engineers, Bethesda

Svensson E, 1997, *Bygg i kapp handikapp*, Svensk byggtjänst och Handikappsinstitutet Stockholm

Särdqvist S, 1998, *Initial fires*, Brandteknik, Lunds Tekniska högskola, Lund

Regelverk

Arbetsplatsen utformning, AFS 2000:42

Boverkets byggregler, BFS 1993:57 med ändringar 2006:12

Lag om skydd mot olyckor, SFS 2003:778

Lag om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk m.m, SFS 1994:847

Internet

Boverket a, <http://www.boverket.se/templates/Page.aspx?id=151>, hämtad 2006-09-24

Boverket b, <http://www.boverket.se/templates/Page.aspx?id=141>, hämtad 2006-09-24

Riksdagen, http://www.riksdagen.se/templates/R_Page___2161.aspx, hämtad 2006-09-25

Räddningsverket, http://www.srv.se/templates/SRV_AreaPage___803.aspx, hämtad 2006-09-25

Stockholms museer, http://www.shmm.se/shmm_templates/Page___133.aspx, hämtad 2006-10-14

SP Brandteknik, <http://www.sp.se/fire/fdbChart/frmChart.aspx?ID=276>, hämtad 2006-10-20

SP Träteknik, <http://www.sp.se/publ/user/default.aspx?Year=2003&Number=11042#4136>, hämtad 2006-12-13

Samtal

Anderberg S, Säkerhetsansvarig, Historiska museet, 2006-09-14

Dittmer T, Brandingenjör, Brandskyddslaget, 2006-11-27

Gustafsson S, Förvaltningstekniker, Statens Fastighetsverk, 2006 2006-11-14

Stockholms Brandförsvär, Östermalms Brandstation, 2006-12-10

Bilaga A - Tekniska begrepp

(hämtade ur (Brandskyddshandboken 2005) och (Karlsson, Quintiere 2000))

α^2 -kurva. Ett sätt att beskriva tillväxten av en brand med hjälp av en konstant, α och tiden, t i kvadrat. Konstanten α varierar mellan olika tillväxthastigheter, slow, medium, fast och ultra fast.

Brandcell. Del av byggnad, till exempel ett rum, ett trapphus eller en grupp av rum inom vilken en brand kan pågå under en föreskriven minsta tid utan att sprida sig vidare till andra delar av byggnaden, där utrymning samtidigt ska kunna fortgå på ett betryggande sätt. Brandcellen ska vara avskiljd mot resten av byggnaden med till exempel brandavskiljande väggar och bärande konstruktioner.

Brandscenario. I brandscenariot beskrivs de förutsättningar, parametrar och omkringliggande faktorer som skapar ett brandförlopp. I scenariot finns saker som brännbara produkter, brandtekniska installationer, tid på dygnet osv.

Brandteknisk klass. Byggnadsdelar, material och dess utformningar kan delas in i klasser efter deras brandtekniska egenskaper.

Brandtekniska beteckningar på byggnadsdelar:

R- bärförmåga

E- täthet/integritet (hindrar flammor och rök)

I- isolering (skydd mot temperaturhöjningar på utsidan brandrummet)

A- Högsta materalklassningen, detta är en gammal klassning som inte används numera men material som klassade i den gamla klassningen kan inte klassas om till den nya.

Bokstäverna ovan kan kombineras med en siffra som anger förmågan att upprätthålla motståndet i minuter. Dörrar med automatisk stängningsfunktion får även beteckningen -C.

Bränslepaket. Det brännbara material som kan delta i en brand.

Ceiling jet. När en flamma når upp till ett tak och fortsätter utbreda sig horisontellt under taket, kallas flammen under taket för ceiling jet.

Dimensionerande brand. Teoretisk brand, oftast enligt principen med worst-case, som skapas utifrån tillgängligt bränsle, rumgeometri, ventilationssystem osv.

F-system. Ventilationens frånluftssystem dvs. den del av ventilationen som leder ut luft från en lokal.

Flaskhals. En smal del av en byggnad där kö kan uppstå vid en utrymningsituation t.ex. en dörr eller en trappa.

Normalfördelning. Ett sätt att inom statistik, definiera när en händelse inträffar.

Nödutgång. Utrymningsväg som normalt inte används för passage.

OVK (Obligatorisk Ventilations Kontroll) Lag om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk m.m (SFS 1994:847) som kräver att fastighetsägare ska låta besiktiga byggnadens ventilations-system enligt regler och inom en tidsram fastställda av Boverket.

Skrymdensitet. Ett objekts totala volym inklusive hålrum i förhållande till vikten. (Burström 2001)

Species. Ämnen som bildas vid förbränning.

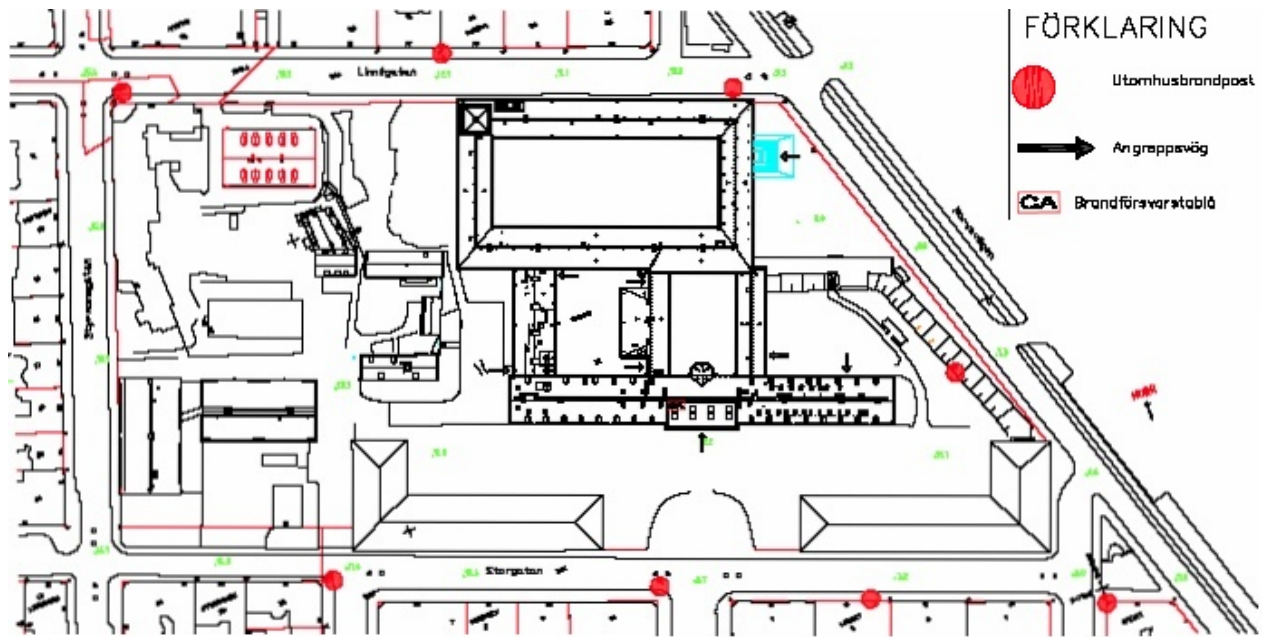
T-system. Ventilationens tilluftsystem dvs. den del av ventilationen som leder in frisk luft i en lokal.

Utrymningsväg. Väg till säker plats i det fria. Antingen dörr, port eller fönster som leder direkt ut i det fria eller till exempelvis en trappa eller korridor inom egen brandcell som leder till det fria.

Worst-case. Värsta tänkbara scenario med avseende på främst konsekvenser för människor och egendom.

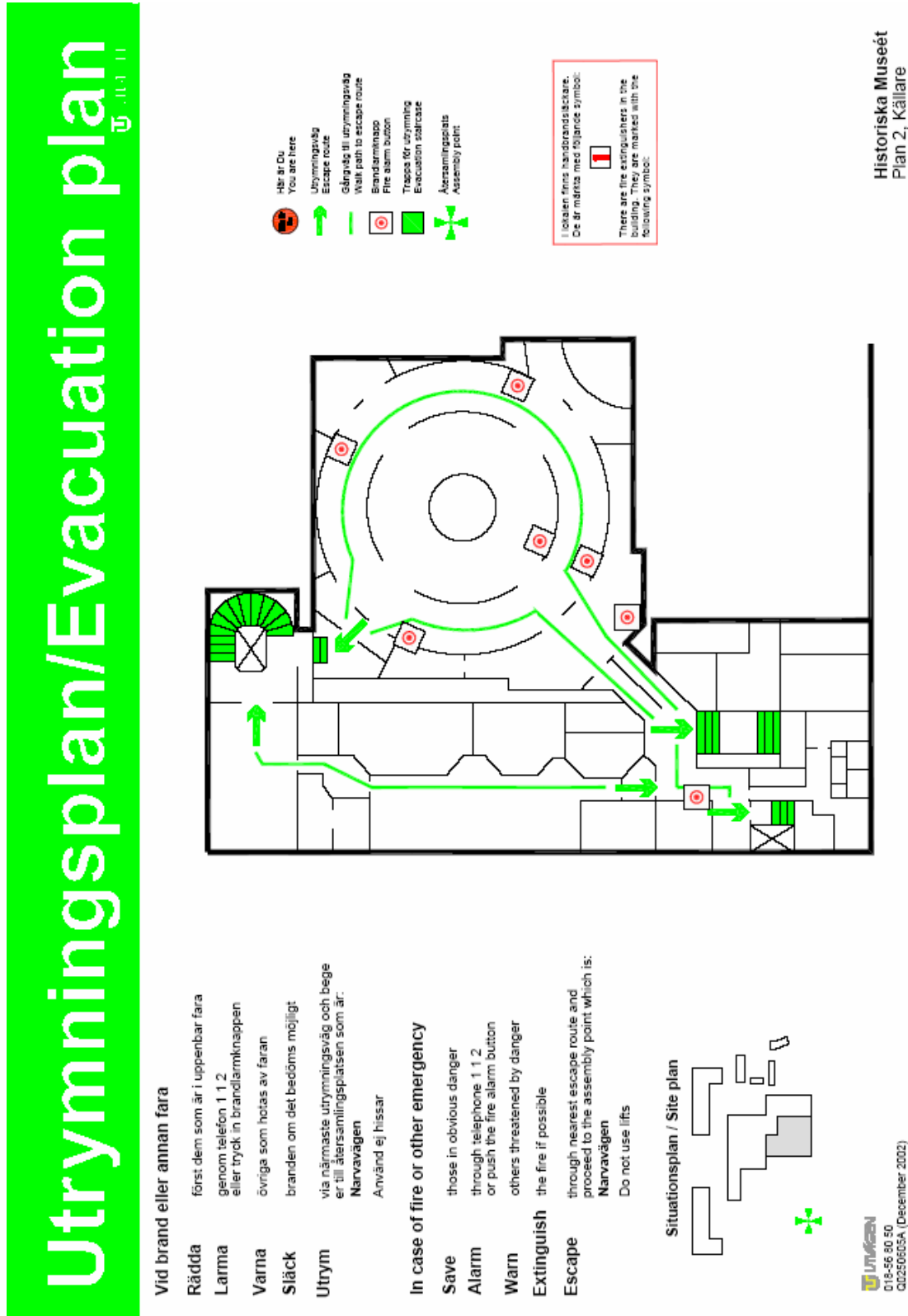
Worst credible case. Värsta troliga scenario.

Bilaga B - Angreppsvägar för räddningstjänst

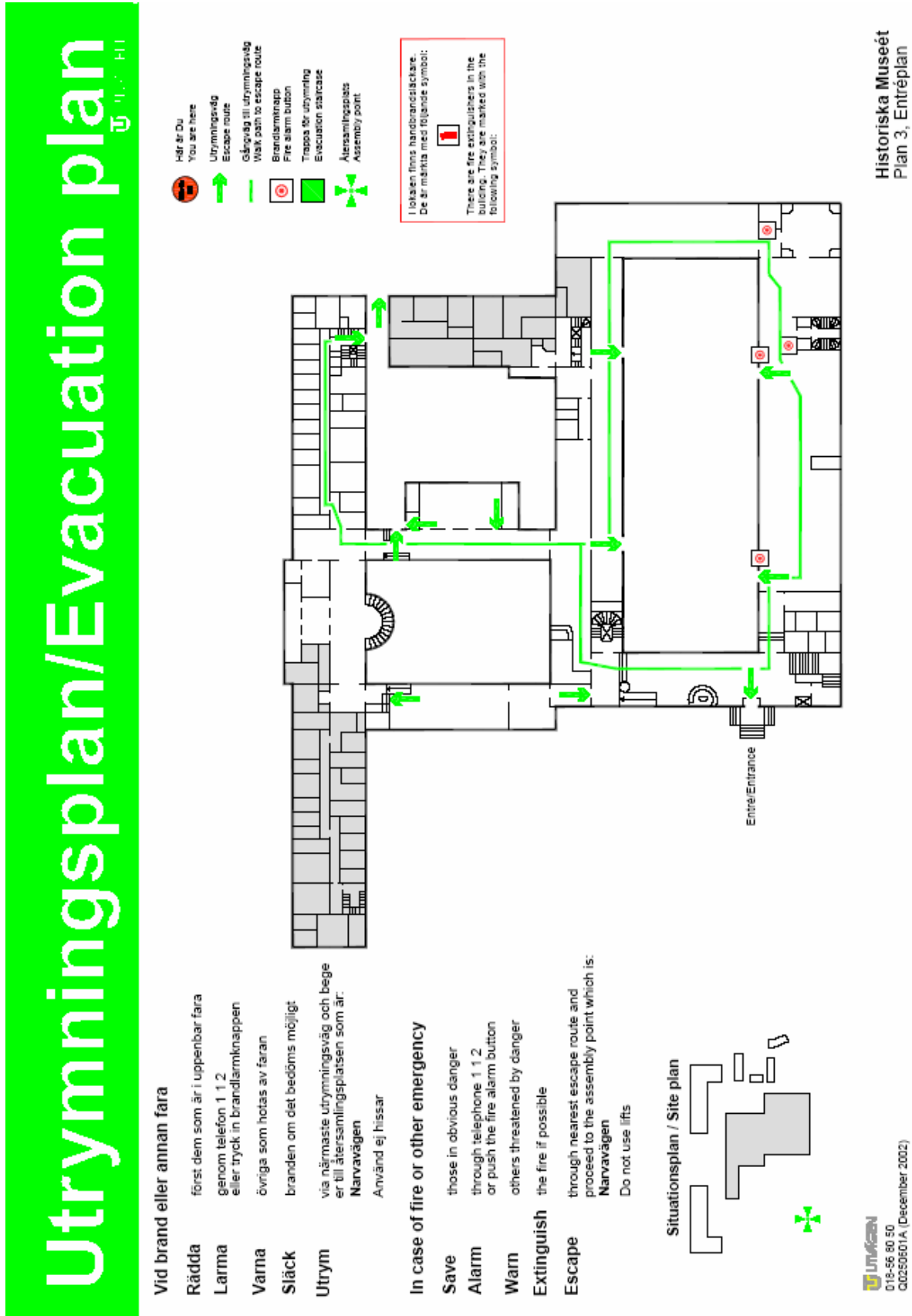


Figur B.1 Räddningstjänstens angreppsvägar

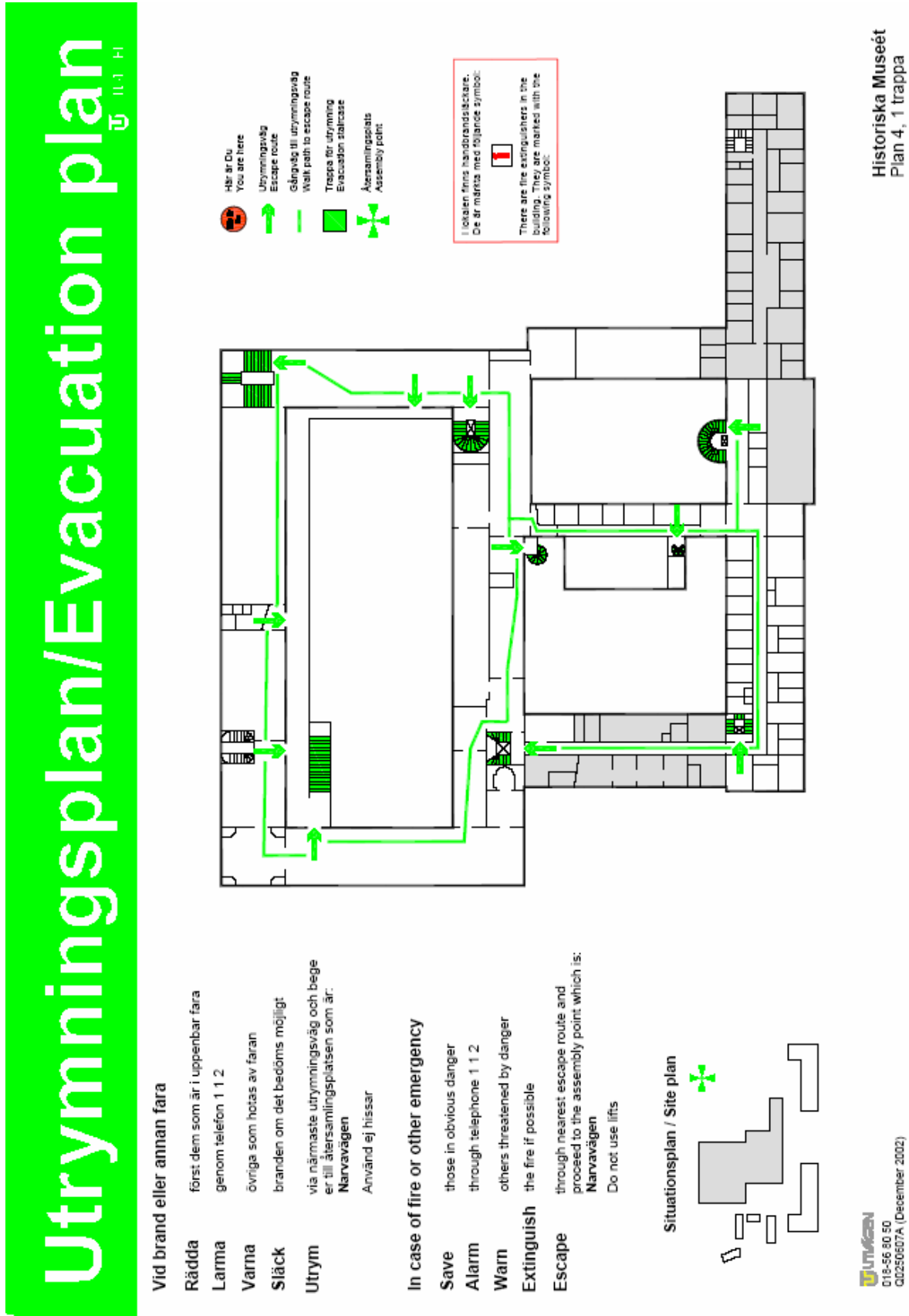
Bilaga C - Utrymningsplaner



Figur C.1 Utrymningsplan källarvåning



Figur C.2 Utrymningsplan Entrévåning



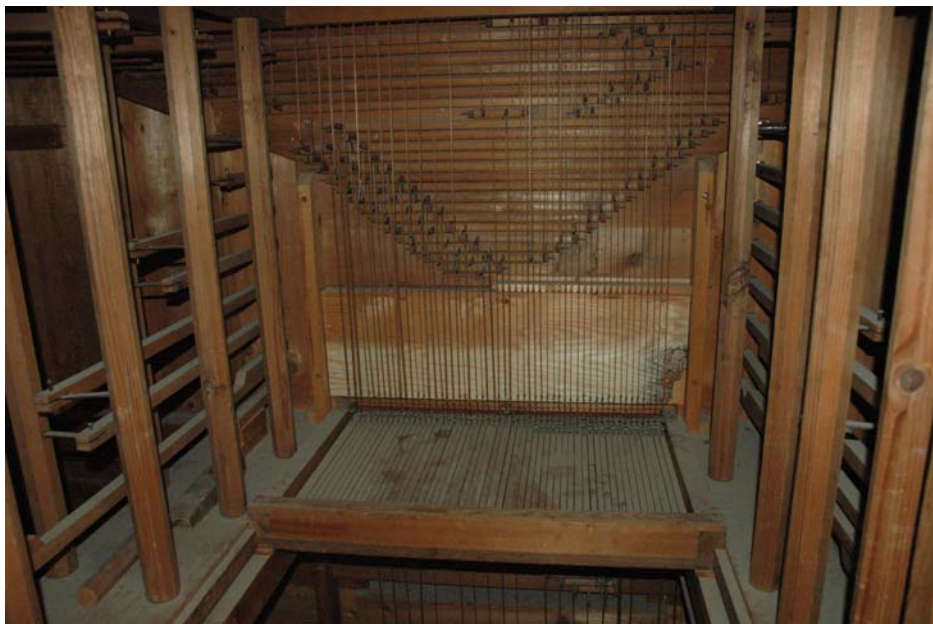
Figur C.3 Utrymningsplan våning 2.

Bilaga D - Dimensionerande bränder

Dimensionerande bränder har valts utifrån värsta troliga brand i respektive scenario. Effektutvecklingskurvor har definierats beroende på vad som förutsätts brinna i rummen och hur det sprider sig mellan bränslepaketet. I de scenarier där det varit praktiskt möjligt har effektutvecklingskurvorna baserats på uppmätta värden i fullskaleförsök, men i scenariot i Fornverkstaden har de många olika bränslena omöjliggjort detta och tillväxtfasen har antagits anta en α^2 -kurva. Efter 15 minuter antas utrymningen vara avslutad och därmed är inte effektutvecklingen längre intressant ur utrymningssynpunkt.

D.1 Barocksalen

Branden startar i en stor orgel som mäter ungefär 3,5x1x4,5 m (längd, bredd, höjd). Den består till största delen av trä. Orgeln är belägen på en entresolvåning som löper längs ena kortsidan 3 m över golvet. Entresolvåningen, liksom taket i hela salen, är gjord i trä som inte är flamskyddsbehandlat. Effektutvecklingskurvan i det här scenariot baseras på data för lastpallar, som för en staplingshöjd av 4,5 m ger en topp effekt av ungefär 10 MW efter 7 min (Karlsson, Quintiere 2000). Lastpallar är luftiga och har därmed väldigt stor yta som kan brinna, samtidigt som syre kan tränga in längs alla fyra sidor. Orgeln däremot är mer kompakt och har tre täta sidor som gör att luft inte tränger in lika lätt i den (se figur D.1). Därför antas maximal effektutveckling för orgeln vara ungefär 6 MW och tillväxttiden ökas till ca 12 min.



Figur D.1 Inuti orgeln

Eftersom taket är brännbart och ej flamskyddsbehandlat kommer det antända relativt tidigt och bidra till en högre effektutveckling. Flamspridning under ett horisontellt tak går långsamt om det inte finns en *ceiling jet* skapad av en annan brand som kan driva på flamfronten (Drysdale 2005). Branden börjar rimligtvis i nedre halvan av orgeln och flammorna kan därför antas nå taket då

flamhöjden är 3,5 m. Flamhöjden kan räknas ut som $L = 0,235 \dot{Q}^{2/5} - 1,02D$ (Karlsson, Quintiere 2000)

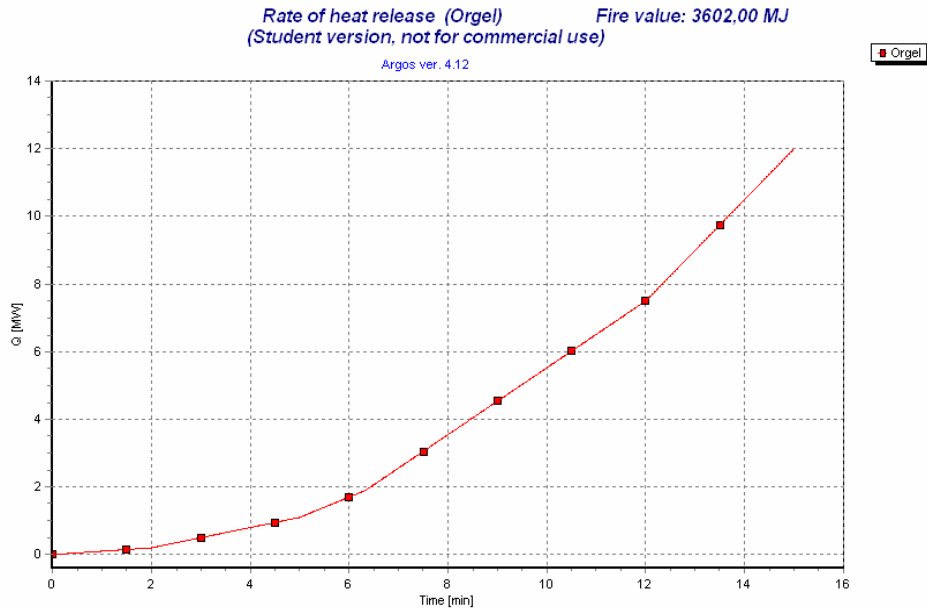
Om halva orgelns bottenarea antas vara brandarean när taket antänds fås flamhöjden 3,5 m vid effekten $\dot{Q} = 2,1$ MW. Detta kommer att inträffa efter runt 6 min enligt tidigare antagande om orgelbrandens tillväxt. Därefter kommer taket att successivt tillföra mer och mer till effektutvecklingen efterhand som orgelbrandens flamhöjd växer, och ceiling jets bildas som driver på takbrandens utbredning. När orgeln når sin maximala effekt blir flamhöjden 5,5 m då nu hela orgelns area antas vara lika med brandarean. Med utgångspunkt att bränslekällan finns 2,5 m under taket blir radien på flamutbredningen:

$$r_f = 0,95 \cdot (L - H) = 2,9 \text{ m} \quad \text{då } L = 5,5 \text{ m, } H = 2,5 \text{ m (Karlsson, Quintiere 2000)}$$

Detta betyder att flamspridning i taket p.g.a. ceiling jets blir ca 26 m², övrig flamspridning bortses från då den sker så långsamt att den kommer att vara försumbar för de 15 min som är intressanta för utrymningen. Effektutveckling för trä är cirka 0,22 MW/m² ([www]SP Brandteknik 2006), vilket betyder att taket kommer medverka med ca 6 MW relativt tidigt i brandförloppet.

Sammantaget kommer effektutvecklingskurvan att följa orgelns kurva fram till 6 min, då taket antänds. Taket börjar då successivt tillföra mer och mer energi till branden, som antas nå ca 12 MW efter 15 min. På grund av salens stora volym kommer branden inte att bli ventilationskontrollerad under de första 15 minuterna.

Rummet mäter 33,8x10,5x8,5 m (längd, bredd, höjd) = 3017 m³. Luftens densitet är ca 1,2 kg/m³ vid rumstemperatur vilket ger 3620 kg luft i rummet. Luft innehåller ungefär 23 mass% syre $\Rightarrow 3620 \cdot 0,23 = 833$ kg syre i rummet. Vid 15 minuter har branden utvecklats 3600 MJ, se figur D.2. För varje kilo syre som förbränns då kolväten brinner utvecklas 13,1 MJ (Karlsson, Quintiere 2000). Detta innebär att $3600/13,1 = 275$ kg syre har förbrukats. Syreinnehålllet i Barocksalen är då ca 15 %, även om inget syre skulle tillföras genom öppningar i rummet, vilket är fullt tillräckligt för att det ska kunna brinna.



Figur D.2 Effektkurva, Barocksalen

D.2 Fornverkstaden

I förrådsrummet, där branden startar i scenariot, finns en stor mängd kläder, möbler och hyllor och skåp av trä fyllda med diverse brännbart material (se figur D.3).

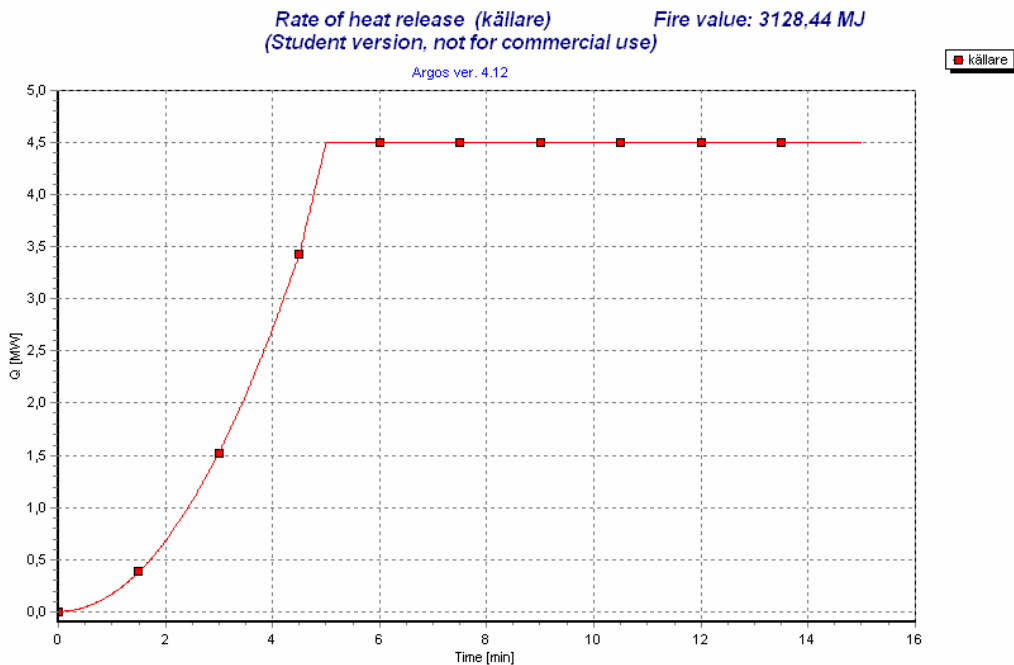


Figur D.3 Förrådsutrymme bredvid Fornverkstaden.

Av mängden bränsle att döma inses lätt att branden kommer att bli ventilationskontrollerad, varför största möjliga massflöde av luft in i rummet beräknas genom: $\dot{m}_a = 0,5 \cdot A \cdot \sqrt{H_0}$ (Karlsson, Quintiere 2000).

$$A = 2,1 \text{ m}^2, H_0 = 2,1 \text{ m} \Rightarrow \dot{m}_a \approx 1,5 \text{ kg/s}$$

23 mass% syre och 13,1 MJ per kilo förbränt syre $\Rightarrow 1,5 \cdot 0,23 \cdot 13,1 = 4,5 \text{ MW}$ maximal stationär effektutveckling. Tillväxtfasen av branden antas likna en αt^2 -kurva enligt tillväxthastigheten *fast* (se figur D.4), då denna visade sig stämma mest överens med försök gjorda på garderober, stolar, soffor och trälastpallar (Särdqvist 1998).



Figur D.4 Effektkurva, Fornverkstaden

D.3 Tankerummet

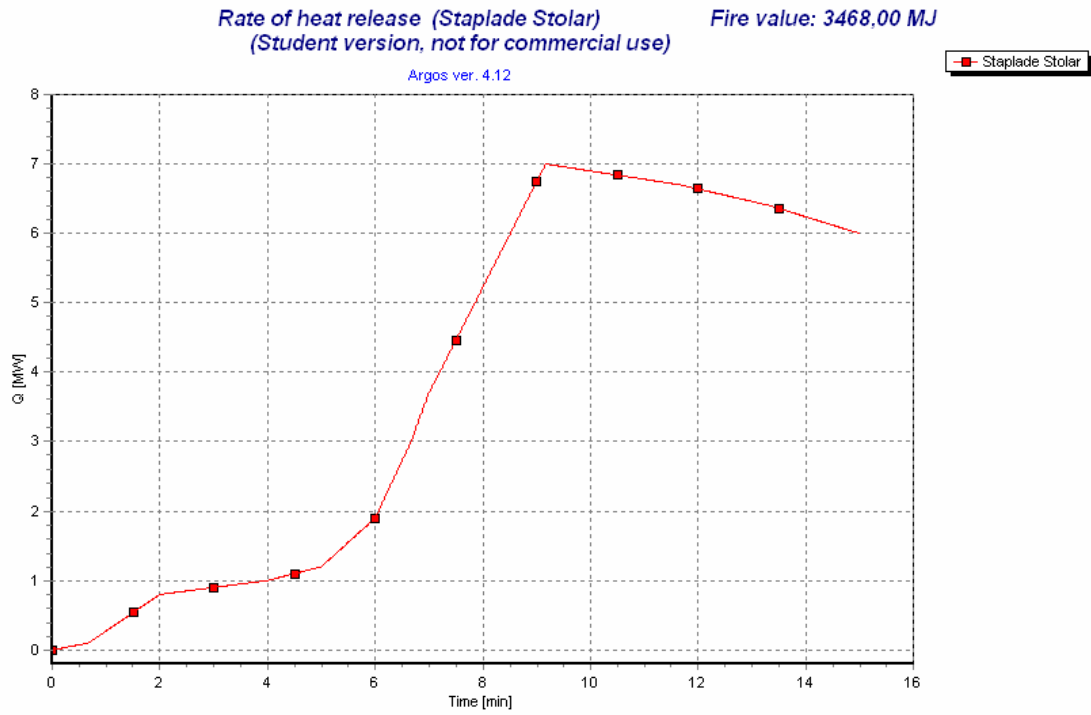
I detta scenario startar branden i staplade stolar gjorda av en stomme av metall, med sittdyna och ryggstöd av trä med tunn stoppning av polyuretanskum, se figur D.5. Det finns 13 staplar tätt intill varandra med ungefär 16 stolar i varje stapel. Intill stolarna finns en cylinderformad vägg av träfibermaterial som är brandskyddsimpregnerat (Dittmer 2006). I Initial Fires finns uppmätta effektutvecklingskurvor på just den här sortens stolar i staplingshöjder om fyra respektive åtta stolar (Särdqvist 1998). Dessa visar att maximal utvecklade effekt dubblas vid dubblad staplingshöjd, men att tillväxtfasen sker lika snabbt oavsett staplingshöjd. Maximal effektutveckling för en stapel om åtta stolar är ca 0,5 MW, vilket omräknat till 16 stolar blir ca 1 MW. Tiden tills denna effekt nås är 2-3 min. Vid den här tiden sjunker effektutvecklingen något för att sedan öka igen efter 3-4 min när träet i stolarna har hunnit börja delta fullt ut i brandförloppet.



Figur D.5 Staplade, stoppade stolar

För att ta hänsyn till att det finns 13 staplar intill varandra, har branden antagits sprida sig först vertikalt i stoppningen på stolsryggarna inom en stapel. Sedan antas branden sprida sig horisontellt inom stapeln till sittdynorna, och slutligen horisontellt till intilliggande staplar, som sedan brinner på likvärdigt vis. Vår topp effekt har satts till 7 MW då vi räknar med att det som mest kommer att brinna i 4-5 staplars stoppning samtidigt, medan dessutom träskivorna i de staplar där stoppningen redan brunnit upp i brinner. Därefter sjunker effekten något efterhand som stolarna brinner upp, men så här sent i brandförloppet antas träfiberväggen ha antänts och delta mer och mer i förloppet. Träfiberväggen är brandskyddsimpregnerad men antas ändå antända eftersom trä inte kan göras helt obrännbart och kommer vid en tillräckligt kraftig brand antända även om det brandskyddats ([www]SP Trätek 2006). Då träfiberväggen står precis intill stolarna antas den utsättas för tillräcklig brandbelastning för att antända. För effektutvecklingskurva se figur D.6.

Maximal effektutveckling p.g.a. ventilationskontroll blir ca 7,1 MW om inga dörrar eller fönster öppnas, enligt samma beräkningsgång som i scenariot i Fornverkstaden.



Figur D.6 Effektkurva, Tankerummet

Bilaga E - Använda program

Följande program har använts för att utvärdera utrymnings säkerheten i byggnaden.

E.1 2-zonsmodeller

En 2-zonsmodell bygger på en plymekvation och antagandet att det finns en tydlig gräns mellan de varma brandgaserna och den kalla luften, varma gaser överst och kalla i den undre zonen. Vidare antas att temperaturerna i zonerna är homogena, dvs. att temperaturen vid en viss tidpunkt är konstant i hela brandgaszonen. Genom att programmen löser kontinuitetsekvationerna för massflöde och energitransport och allmänna gaslagen kan data erhållas om hur temperatur och storlek på zonerna förändras med avseende på tiden. Eftersom att zonerna i simuleringen är homogena så innebär detta att vissa begränsningar finns. Brandens storlek i förhållande till brandrummets storlek och brandrummets geometri längd/bredd/höjd måste beaktas. Detta i kombination med att alla förändringar i zonerna sker momentant innebär att ju längre bort från branden beräkningarna baseras på, desto osäkrare blir resultaten. Modellen är giltig om rummets:

längd/bredd-förhållande är mindre än 5,
längd/höjd-förhållande är mindre än 6 (ISO 1995).

För giltighet för de olika scenariona, se tabell E.1.

Zon	Längd/Bredd < 5	Längd/Höjd < 6	Giltig
Barocksal	3,1	4	OK
Förråd Stora	2,25	3,6	OK
Fornverkstad	4	6	OK
Tankerum	1,6	3,2	OK

Tabell E.1. Verifiering av giltighet av brandrummen.

E.1.1 CFAST version 6.0.9

Consolidated Model of Fire and Smoke Transport, CFAST, är en 2-zonsmodell utvecklad av amerikanska NIST (National Institute of Standards and Technology). I CFAST byggs med hjälp av x,y,z-koordinater en enkel modell, med zoner och öppningar mellan zonerna, upp vilket illustrerar den simulerade byggnaden. Omslutningsytornas egenskaper definieras med avseende på värmegenomgångsegenskaper och tjocklek. En brand skapas genom att definiera en effektutvecklingskurva och att pyrolyshastighet och *species*-parametrar anges. Branden kan sedan placeras på ett lämpligt ställe i modellen genom att bestämma en punkt (x,y,z) i vilken branden har sin bas. Simuleringen ger ett grafiskt resultat med brandgasspridning i realtid, samt ett stort sifferunderlag som ligger till grund för grafer över temperatur och brandgasnivåer. CFAST använder McCaffrey's plymekvation, fördelen med denna ekvation är att den inte tar hänsyn till brandens basarea och att temperaturen kan beräknas på olika höjder i plymen. Nackdelarna med ekvationen är att bränslets egenskaper inte tas med i beräkningarna. Vidare är det en svag modell och fungerar bäst högt upp i plymen (Karlsson, Quintiere 2000)

Giltigheten i CFasts resultat har verifierats flera gånger och resultaten tenderar att ge väl överrensstämmelse för brandgaslagrets temperatur, men överskattar dess tjocklek (Floyd, Wolf 1997a; 1997b; 1999; 2000).

E.1.2 Argos version 4.12

Argos är ett simuleringsprogram för brand och brandgasspridning utvecklat av *Danish Institute of Fire and Security Technology*, DIFT. Liksom CFast utnyttjar Argos det grundläggande antagandet om 2-zonsmodellen, men gör dessutom antagandet att branden är bränslekontrollerad tills syrenivån i något av lagren understiger 10,5 vol%. Vid syrenivåer under denna nivå antas effektutvecklingen minska linjärt ned till 0 W vid 0 % syre. Masstillförseln från branden till det varma lagret beräknas genom McCaffreys plymmodell och masstransporten mellan rum beräknas med avseende på statiskt tryck och värme- och massbalans för respektive rum. I speciella fall där temperaturen på det varma lagret inte är högre än 10 K över det kalla lagret övergår Argos till att bli en 1-zonsmodell där brandgaserna antas fördela sig jämnt i hela rummet (Hustedt, Sødring 2003).

Argos är ett användarvänligt program där de enda indata som behövs är rumsgeometri, byggnadsmaterial och effektutvecklingskurva från tänkt brandscenario. Detta gör det enkelt att simulera och resultat fås snabbt i form av överskådliga grafer över det mesta som kan vara intressant i ett brandförlopp, så som effektutveckling, brandgaslagrets temperatur, -höjd över golvet och -värmestrålningsintensitet. Resultatets giltighet har verifierats i flera fullskaleförsök utförda av Cooper et al. (1982), Hägglund (1992) och Meland and Lønvik (1989), och simulerade av DIFT (Scherfig, Baden 1992). Även egna verifieringar av Argos giltighet i små- och storskaliga försök i laborationer i kursen Branddynamik vid Lunds tekniska högskola har utförts. Dessa försök visar alla på bra överrensstämmelse mellan simuleringar och uppmätta resultat.

E.2 Utrymningsprogram Simulex version 11.1.3

Simulex är en utrymningssimulator. Programmet arbetar med modifierade CAD-ritningar, i vilka utgångar och länkar läggs till mellan olika våningsplan. Utifrån dessa modifierade ritningar beräknar Simulex avstånd till de olika utgångarna och skapar en avståndskarta kopplad till varje utgång. Dessa avståndskartor är grunden i själva simuleringen. Personegenskaperna definieras främst genom att olika reaktionstider och rörelsehastigheter anges. Programmet är enkelt att förstå, varje simulerad person rör sig mot en fördefinierad utgång genom att röra sig vinkelrät mot linjerna i avståndskartan. Saker som kan försvåra utrymningen såsom flaskhalsar i konstruktionen är lätta att identifiera när simuleringen körs. Personer med lämpliga egenskaper placeras ut på olika platser i objektet och när simuleringen sedan är klar erhålls en total utrymningstid.

Ett problem med programmet är att simulerade människor inte tar egna beslut, de går alltid kortast möjliga väg mot den utgång de blivit programmerade att gå till. De söker alltså inte upp någon alternativ väg. Detta ger ett konservativt resultat, då utrymningstiden kan vara längre än om det hade varit riktiga personer i en utrymningssituation. Som alltid när det gäller simuleringsprogram så ger resultaten bara en fingervisning om resultaten och inga absoluta tider.

Bilaga F - Antaganden Simulex

Alla simuleringar i Simulex, i denna rapport, startar när branden startar. Utrymningsförloppet antas sedan kunna delas in i tre faser: varseblivningsfasen, beslut- och reaktionsfasen samt förflyttningsfasen. Faserna antas ske i ordning, utan att gå in i varandra eller återkomma. Den antagna tid som är satt till det att personerna börjar röra på sig är tiden fram till förflyttningsfasen, alltså varseblivningsfasen samt beslut- och reaktionsfasen.

Varseblivningstiden ansätts i alla scenarier till tiden då utrymningslarmet enligt Argos startar. Utrymningslarmet startar i Barockscenariot efter 2 min, Fornverkstaden 40 s och Tankerummet 50 s.

Beslut- och reaktionstiden brukar antas utifrån olika faktorer som påverkar utrymningen. Olika handböcker och texter ger olika tider men ligger inom ungefär samma tidsområde (Frantzich 2001; ISO 2004).

Beslut- och reaktionstiden antas till i medel 1 min 30 s för alla personer i byggnaden. Detta grundas på att ett automatiskt utrymningslarm utan fördröjning finns i hela byggnaden. Personalen i entrén kommer att genom högtalare läsa upp ett meddelande om att alla ska bege sig till närmsta nödutgång och invänta instruktioner från personal. Detta meddelande går ut till valda delar av byggnaden men ej i utställningssalarna. Det finns även väktare som går runt på alla våningsplan och som kommer att påbörja och leda en utrymning när utrymningslarmet startar. I scenariot i Fornverkstaden antas personerna i rummet bredvid brandrummet upptäcka rök och därigenom få en kortare beslut- och reaktionstid, vilken antas till 60- respektive 40 s för de olika delscenarierna. I scenariot i Barocksalen antas en beslut- och reaktionstid till 30 s. Besökarna sitter här i brandrummet och kommer att upptäcka rök och eventuellt flammor när utrymningslarmet aktiveras, vilket förkortar beslut- och reaktionstiden väsentligt. Väktare kommer troligtvis vara närvarande vid konserten vilket också påverkar att beslut- och reaktionstiden blir kortare.

Som tidigare nämnts sätts i Simulex tiden innan personerna börjar gå mot utgångarna som varseblivningstid + beslut- och reaktionstid. Förflyttningen antas starta varierat för personerna med +/- 30 s enligt en normalfördelning. För personerna i Fornverkstaden och Barocksalen sätts den varierande tiden till +/- 15 s i respektive scenario. Detta pga. att barnen i Fornverkstaden kommer att hjälpas ut av personal och vid konserten kommer personerna i Barocksalen att påverkas av varandra.

Rörelsehastigheten på personerna valdes till 1,3 m/s utifrån tabellvärde rapporten Utrymningsdimensionering (Boverket 2006a). Denna hastighet är ej representativ för alla personer i byggnaden. Men då det är svårt att uppskatta hur många som ej kan gå med denna hastighet har vi valt att använda 1,3 m/s som ett genomsnitt för alla personer i byggnaden. Simulex sänker hastigheten när personer går i trappor eller kommer nära en annan person.

Antagna tider för varje valt scenario finns i tabell F.1

Brandteknisk riskvärdering av Historiska museet

Scenario/Zon	Brandlarm [s]	Beslut- och reaktionstid [s]	Variation [s]	Gånghastighet [m/s]
Barocksal	120	30	±15	1,3
Fornverkstaden s1	40	60	±15	1,3
Fornverkstaden s2	40	40	±15	1,3
Tankerummet	50	90	±30	1,3
Övriga zoner	40-120	90	±30	1,3

Tabell F.1 Antagna tider i Simulex

Bilaga G - Handberäkningar

För att verifiera resultaten från datorsimuleringarna utförs även beräkningar med hjälp av handberäkningsmodeller. Tid till kritiska nivåer för brandgaslagrets höjd och/eller röktätheten i rummen beräknas. Resultaten används som komplement till de datorsimulerade resultaten, vid bedömning av utrymningssäkerheten.

G.1 Barocksalen

Branden startar i rummet ur vilket människorna ska utrymma och därmed kan tid tills brandgaslagret når kritisk nivå, Z_{kritisk} , beräknas med hjälp av en metod framtagen av Yamana-Tanaka. Modellen beräknar rökfyllnad vid transient effektutveckling och bygger på antaganden om att temperaturökningen i det övre lagret är liten och att temperaturen är densamma i hela lagret. Transporttider för brandgaserna och deras värmeförluster till omgivningen bortses helt från. På grund av dessa antaganden fungerar modellen bäst i rum vars volym är stor i förhållande till effektutvecklingen. Detta kan kontrolleras genom att densiteten för brandgaserna räknas ut som ett steg i beräkningsmetodiken. För bäst giltighet bör densiteten vara i närheten av 1,0 kg/m³ (Karlsson, Quintiere 2000).

Brandgaslagrets höjd över golvet beräknas som:

$$z = \left(k \frac{\alpha^{1/3}}{S} \frac{2t^{(1+n/3)}}{n+3} + \frac{1}{H^{2/3}} \right)^{-3/2} \quad (\text{Karlsson, Quintiere 2000})$$

Där:

$$k = \frac{0,21}{\rho_g} \left(\frac{\rho_a g}{c_p T_a} \right)^{1/3}$$

α och n är parametrar som styr effektutvecklingens tillväxt enligt $\dot{Q} = \alpha t^n$. Den dimensionerande brand är inte beskriven enligt en αt^n -kurva, varför en sådan som är likvärdig med den dimensionerande branden tas fram. $\alpha = 0,014$ och $n = 2$ ger en effektutvecklingskurva som stämmer väl överens med den dimensionerande-, i intervallet 0 till 500 s i brandförloppet.

$$S = \text{golvyta} = 355 \text{ m}^2$$

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

$$H = \text{rummets höjd} = 8,5 \text{ m}$$

$$\rho_g = \text{brandgasernas densitet [kg/m}^3]$$

$$\rho_a = \text{luftens densitet} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$g = \text{tyngdaccelerationen} = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$c_p = \text{brandgasernas värmekapacitet} = 1,0 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

$$T_a = \text{luftens temperatur} = 293 \text{ K}$$

$$Z_{\text{kritisk}} = 1,6 + 0,1 \cdot H = 2,45 \text{ m}$$

Genom att gissa ett värde på ρ_g kan tiden tills brandgaserna når kritisk nivå räknas ut. Därefter räknas ρ_g ut med hjälp av den tid som nyss räknades ut enligt formeln:

$$\rho_g = \rho_a \left(1 - \frac{\alpha^{n+1}}{(n+1)(H-z)Sc_p 353} \right) \quad (\text{Karlsson, Quintiere 2000})$$

Stämmer inte det uträknade ρ_g med det som gissades i första steget, gissas ett nytt värde och proceduren upprepas. Itereringen pågår tills det ρ_g uträkningen börjar med, stämmer med det som räknas ut.

Yamana-Tanakas modell för rökfyllnad ger:

$$t = 320 \text{ s och } \rho_g = 1,0 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Brandgaslagrets temperatur} = \frac{353}{\rho_g} \Rightarrow 353\text{K} = 80^\circ\text{C}$$

Resultatet bör ha hög giltighet då brandgasernas densitet är $1,0 \text{ kg/m}^3$, dock kan den uträknade tiden behöva kompenseras för transporttiden med upp till 1 min då försök har visat på detta (Karlsson, Quintiere 2000).

G.1.1 Sikt

Då Barocksalen är stor och branden liten i början av förloppet finns en risk att brandgaserna kyls ner och mister sin termiska stigkraft. De kommer då att blanda sig i hela rummet utan att bilda ett tydligt lager och försämra sikten redan i ett tidigt skede. Lägsta acceptabla nivå för utrymning i ett brandrum är 5 m sikt (Brandskyddshandboken 2005). Vid beräkningarna antas brandgaserna vara helt omblandade med luften i rummet.

$$\text{Sikt [m]} = \frac{\ln 10}{D_L} \quad (\text{Nilsson, Holmstedt 2006})$$

$$D_L = \text{optisk densitet per meter [m}^{-1}\text{]}$$

$$5\text{m sikt} \Rightarrow D_L = 0,46 \text{ m}^{-1}$$

Förhållandet mellan sikt och rökpotential ges av:

$$D_0 = D_L \cdot \frac{V}{m}$$

$$D_0 = \text{rökpotential [m}^2\text{/g]}$$

$$D_L = 0,46 \text{ m}^{-1}$$

$$V = \text{rummets volym} = 355 \cdot 8,5 = 3017 \text{ m}^3$$

$$m = \text{massa brunnat material [g]}$$

Då det är nästan enbart trä som brinner sätts D_0 till $0,085 \text{ m}^2\text{/g}$ (Nilsson, Holmstedt 2006), vilket ger $m = 16284 \text{ g}$

Effektivt förbränningsvärme för trä, $\Delta H_{c, \text{eff}} = 13 \text{ kJ/g}$ (Babrauskas, Grayson 1992)
Energi utvecklade av branden tills sikten är fem meter fås genom:
 $16284 \cdot 13 = 211700 \text{ kJ}$

Tiden tills denna energi har utvecklats av branden fås, om $\dot{Q} = \alpha t^2$ -effektutvecklingskurvan används för enkelhetens skull, genom:

$$Q = \int_0^t \alpha t^2 dt \Rightarrow \left(\frac{3 \cdot Q}{\alpha} \right)^{1/3} = \left(\frac{3 \cdot 211700}{0,014} \right)^{1/3} = 360 \text{ s}$$

G.2 Fornverkstaden

Då branden startar i ett intilliggande rum till där människorna som ska utrymmas befinner sig, blir handberäkningsmodellerna som finns otillräckliga för att räkna ut brandgaslagrets höjd eller röktätheten i rummet där människorna vistas. Siktberäkningar har ej utförts i Fornverkstaden då brandens effektutveckling är stor i förhållande till rummets volym. Därmed kommer en 1-zonsmodell, som siktberäkningsmodellen utnyttjar, ej bildas.

Det som går att beräkna som kan vara av intresse är på vilken höjd brandgaslagret befinner sig i brandrummet, när dörren in till brandrummet öppnas efter 100 s. Detta görs med hjälp av Yamana-Tanakas metod beskriven i kapitel G.1.

G.2.1 Scenario 1

$\alpha = 0,047$ och $n = 2$ enligt dimensionerande brand
 $S = \text{Förråd Stora} = 26 \text{ m}^2$, $\text{Förråd Lilla} = 20 \text{ m}^2$, $\text{Fornverkstad} = 46,5 \text{ m}^2$
 $t = 100 \text{ s}$
 $H = \text{rummets höjd} = 3,1 \text{ m}$ för alla rum

När brandgaserna når ner till $z = 2,1 \text{ m}$ kommer de börja strömma in genom den öppna dörren in till rum B. Iterering då $z = 2,1 \text{ m}$ ger:

$t = 35 \text{ s}$ och $\rho_g = 1,1 \text{ kg/m}^3$

Efter detta görs antagandet att brandgaserna fördelas jämnt mellan Förråd stora och Förråd lilla. Därmed utökas golvytan till båda rummens $= 46 \text{ m}^2$. Handberäkningsmetodens giltighet påverkas av detta antagande och resultatet kan nu inte förutsättas vara mer än en grov uppskattning.

Tiden är nu känd som 100 s och istället löses z och ρ_g ut:
 $z = 0,8 \text{ m}$ och $\rho_g = 0,7 \text{ kg/m}^3$ då dörren öppnas. Då brandgasernas densitet blir så pass låg minskar resultatets giltighet ytterligare. Brandgaslagrets temperatur är ca 270°C .

Om brandgaslagret hade legat på en högre nivå då dörren öppnas skulle chansen eller möjligheten att stänga den vara större. Nu kommer personen som öppnar dörren att hastigt exponeras för de varma brandgaserna och ha svårt att stänga dörren. I Bilaga I ses att den simulerade höjden på

brandgaslagret är något högre än den handberäknade, men fortfarande tillräckligt låg för att resonemanget ska vara giltigt.

G.2.2 Scenario 2

Här är dörren mellan Förråd stora och Fornverkstaden under hela simuleringen och därmed börjar brandgaserna strömma ut i Förråd lilla och Fornverkstaden samtidigt efter 35 s enligt beräkning för scenario 1. Därför sätts golvytan lika med alla tre rummens = 92,5 m². Brandgaserna antas fördela sig jämt i alla tre rummen efter 35 s. Tiden tills brandgaserna når kritiskt nivå ur utrymningssynpunkt beräknas.

$Z_{\text{kritisk}} = 1,91$ m, vilket ger:

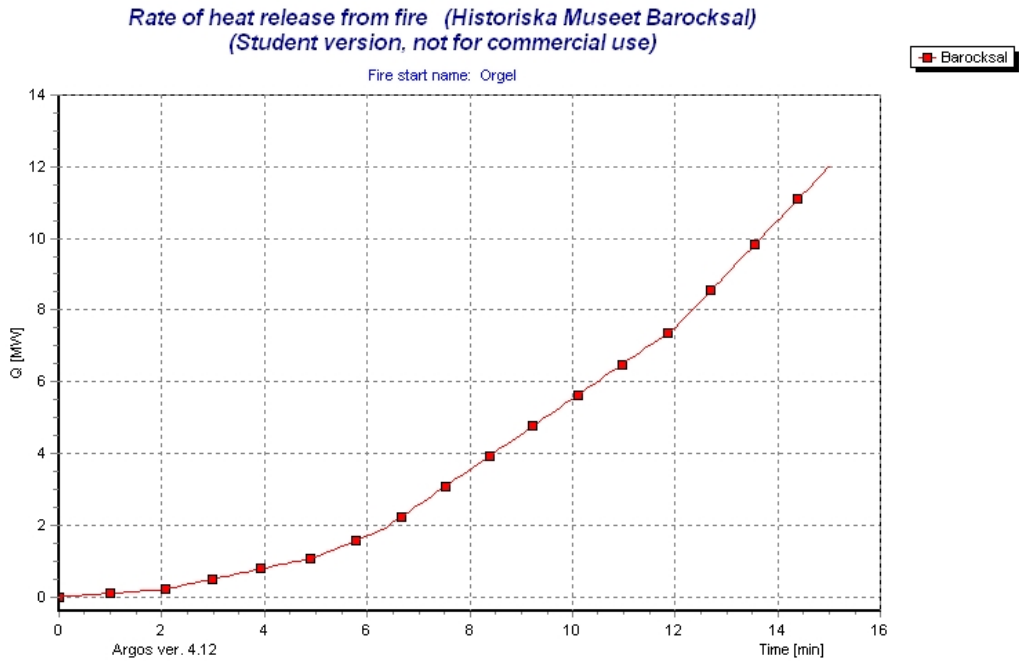
$t = 80$ s och $\rho_g = 1,0$ kg/m³

Brandgaslagrets temperatur är ca 80°C.

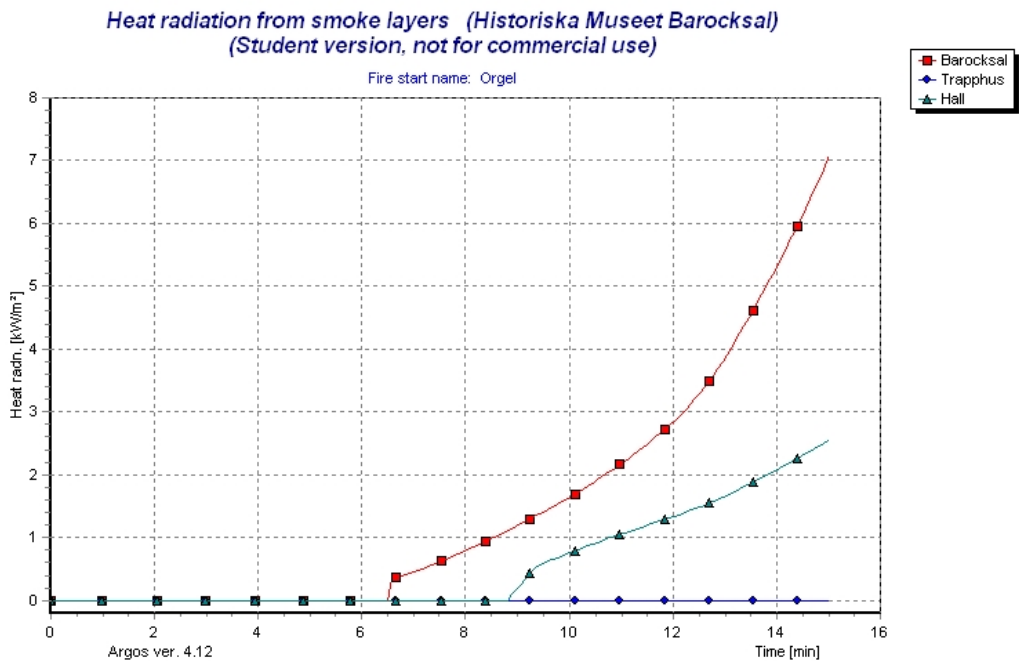
G.3 Tankerummet

Varken beräkningar för brandgaslagrets höjd, eller för sikt i Tankerummet har utförts då utrymning ur det inte bedömts utgöra ett problem. För Tornrummet och Kyrkosalen har inga beräkningar utförts då förhållandena i Tankerummet kommer likna en 2-zonsmodell, medan i Tornrummet och Kyrkosalen kommer brandgaserna sannolikt ej skikta sig. På grund av de olika förhållandena i rummen blir handberäkningsmodellerna otillräckliga.

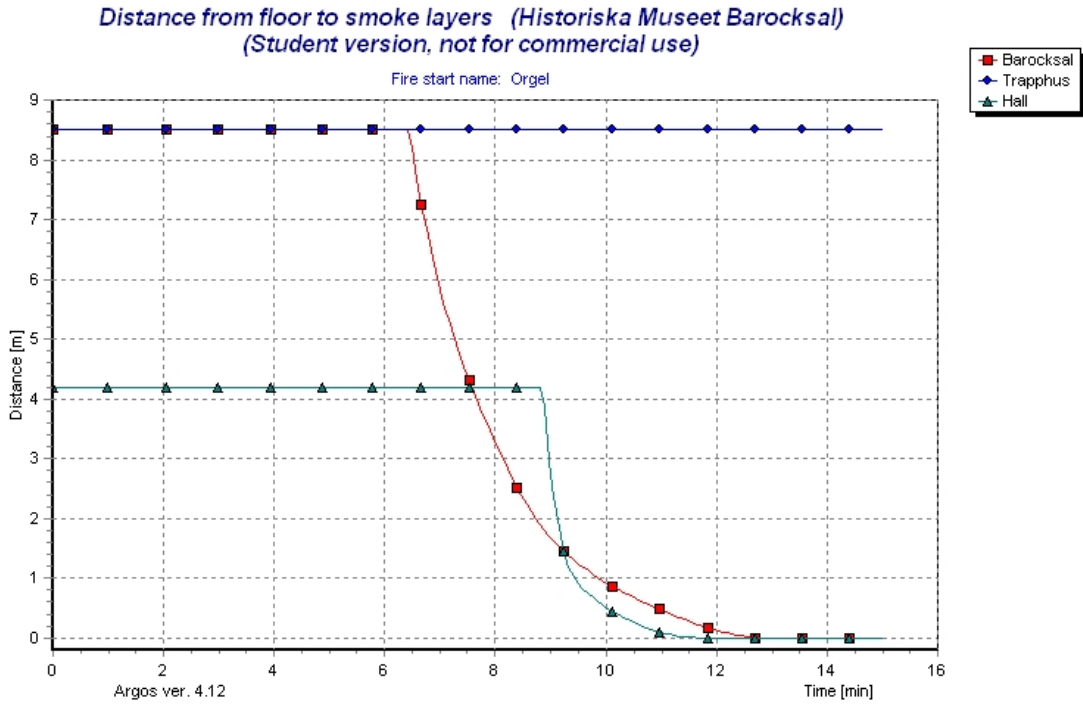
Bilaga H - Simuleringsresultat Barocksalen



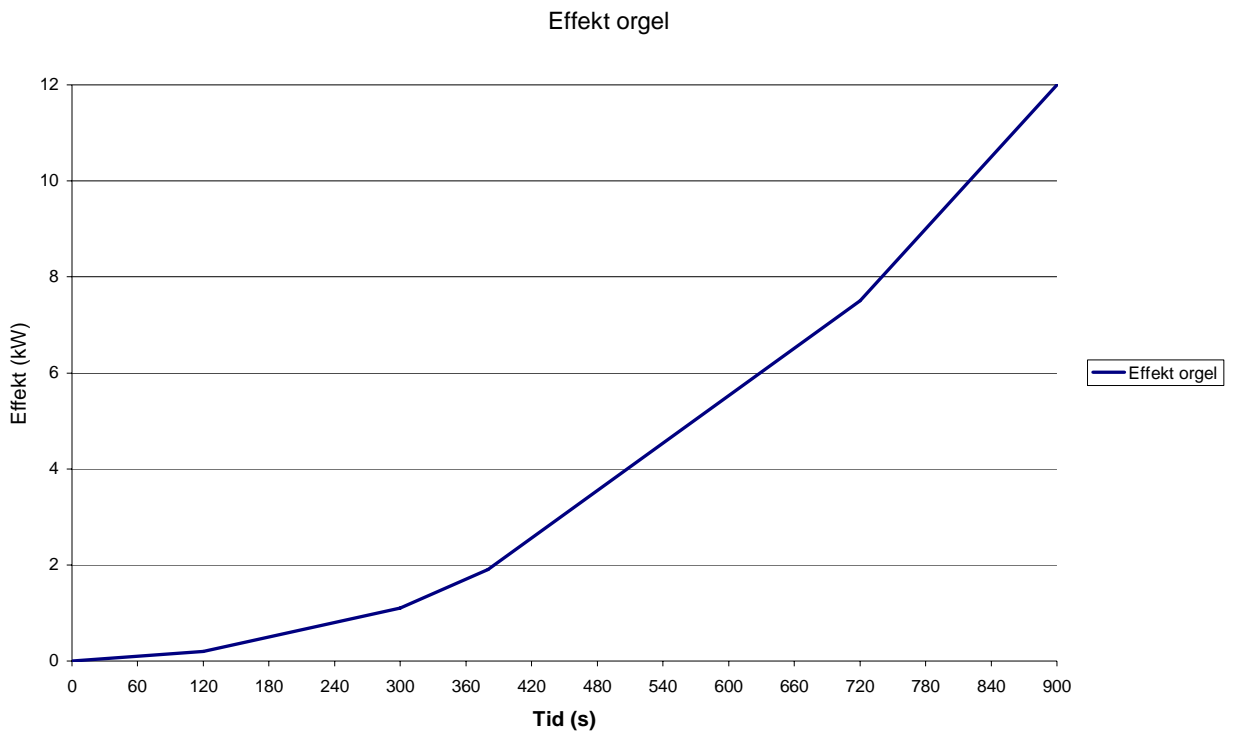
Figur H.1 Effektutveckling Barocksalen, Argos



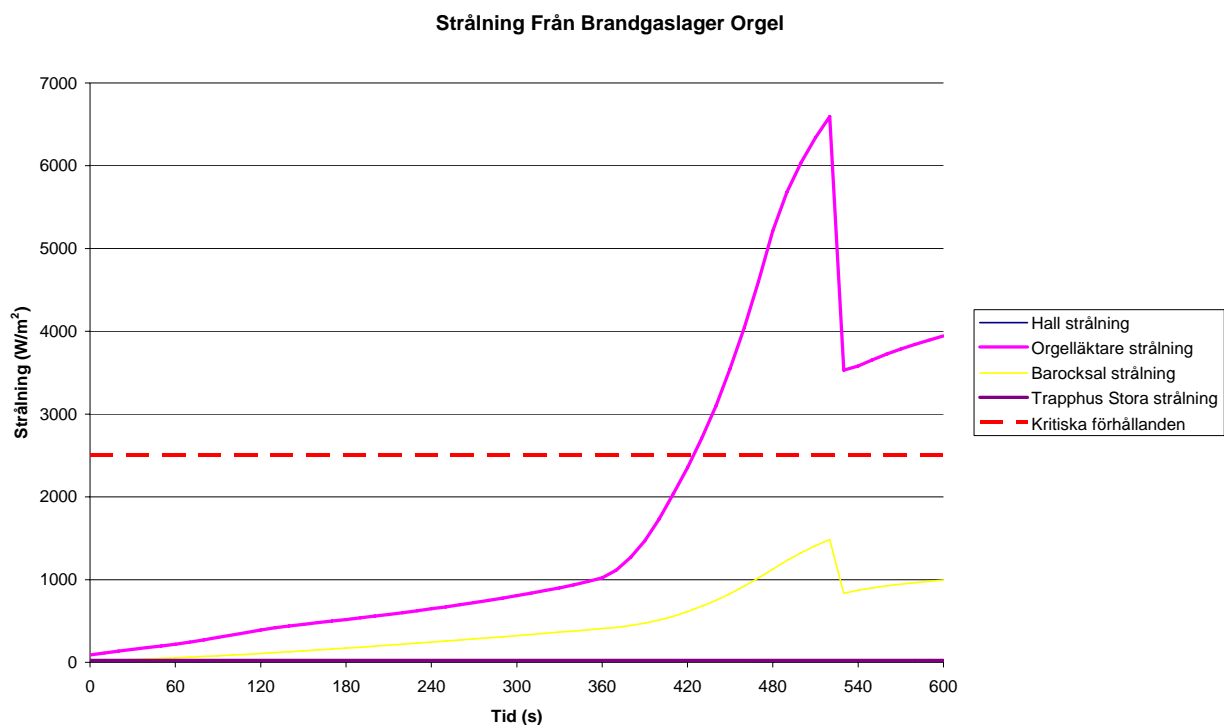
Figur H.2 Strålning från brandgaslagret Barocksalen, Argos



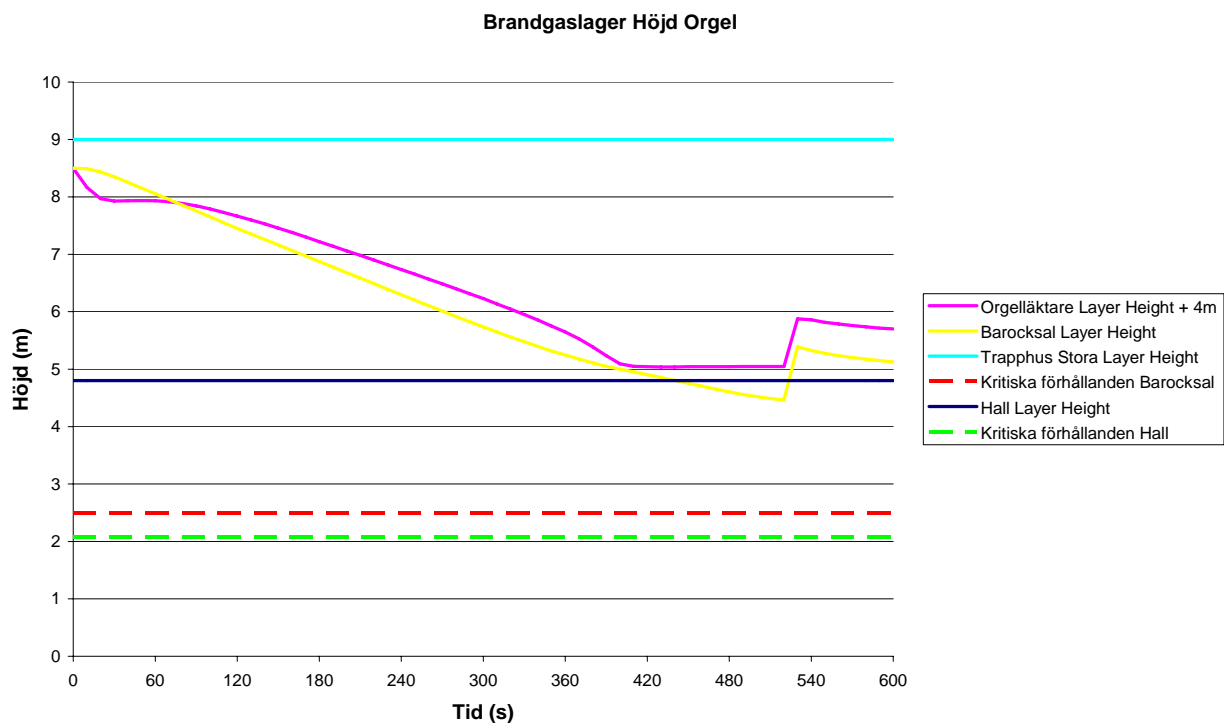
Figur H.3 Höjd till brandgaslagret Barocksalen, Argos



Figur H.4 Effektutveckling Barocksalen, CFast

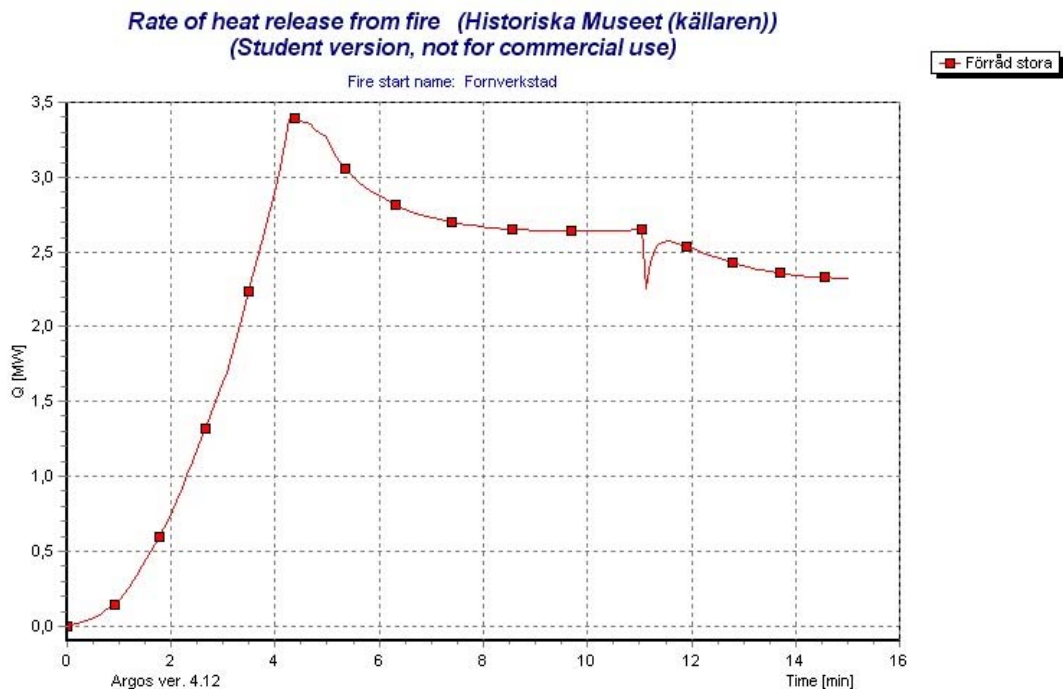


Figur H.5 Strålning från brandgaslagret i Barocksalen då fönster går sönder efter ca 500 s, CFast

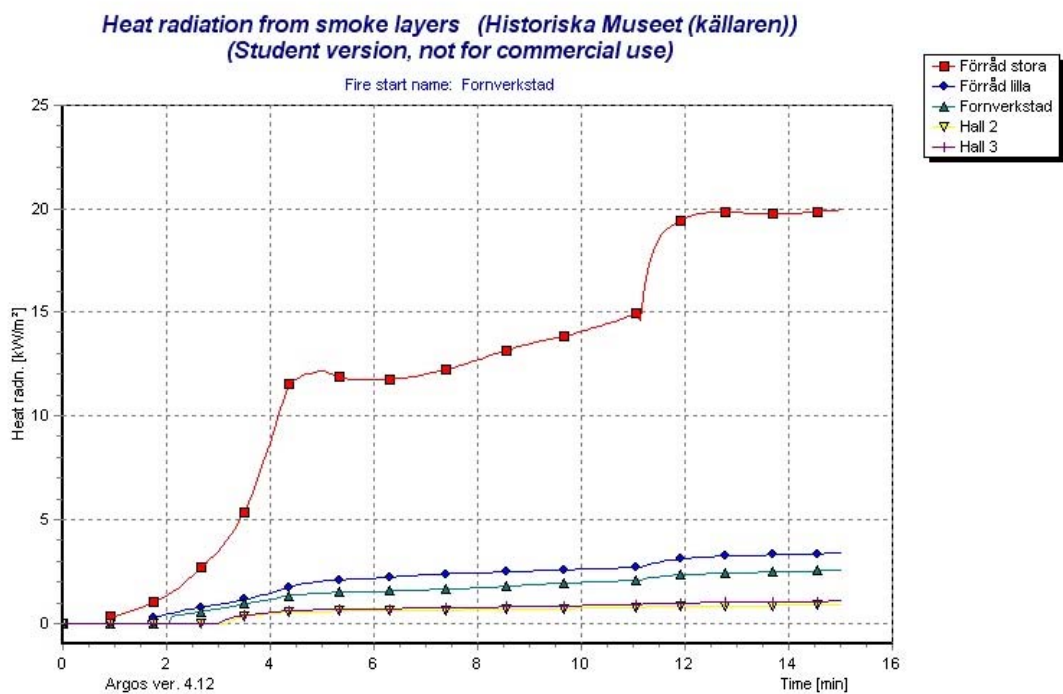


Figur H.6 Höjd till brandgaslagret Barocksalen, CFast

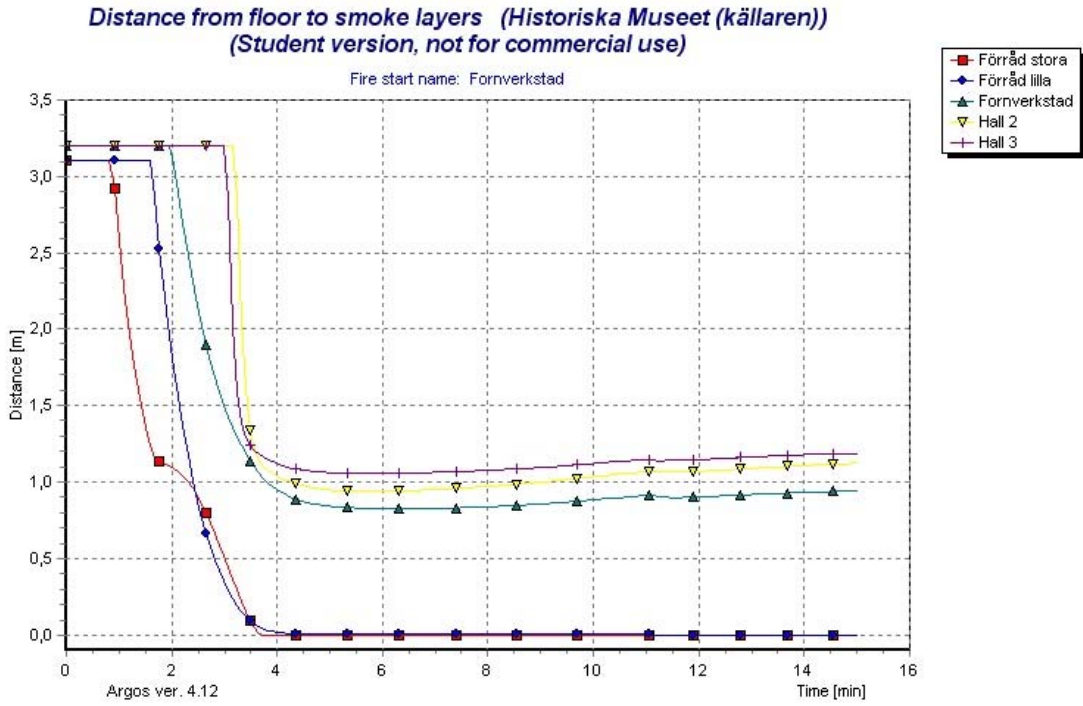
Bilaga I - Simuleringsresultat Fornverkstaden, Scenario 1



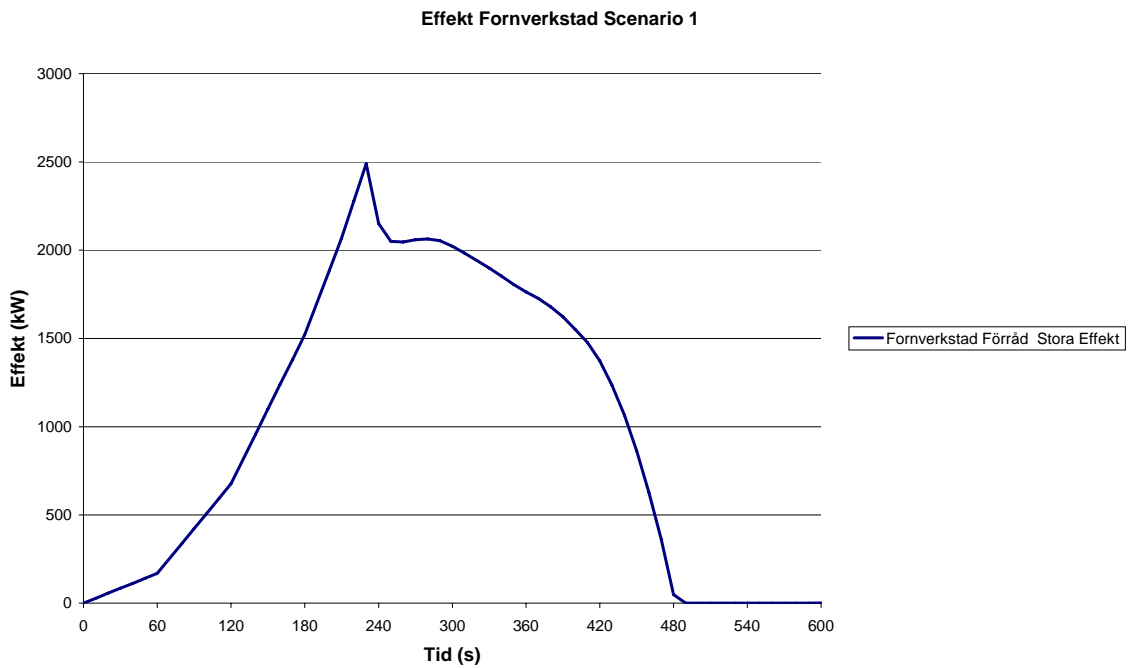
Figur I.1 Effektutveckling scenario 1, Argos



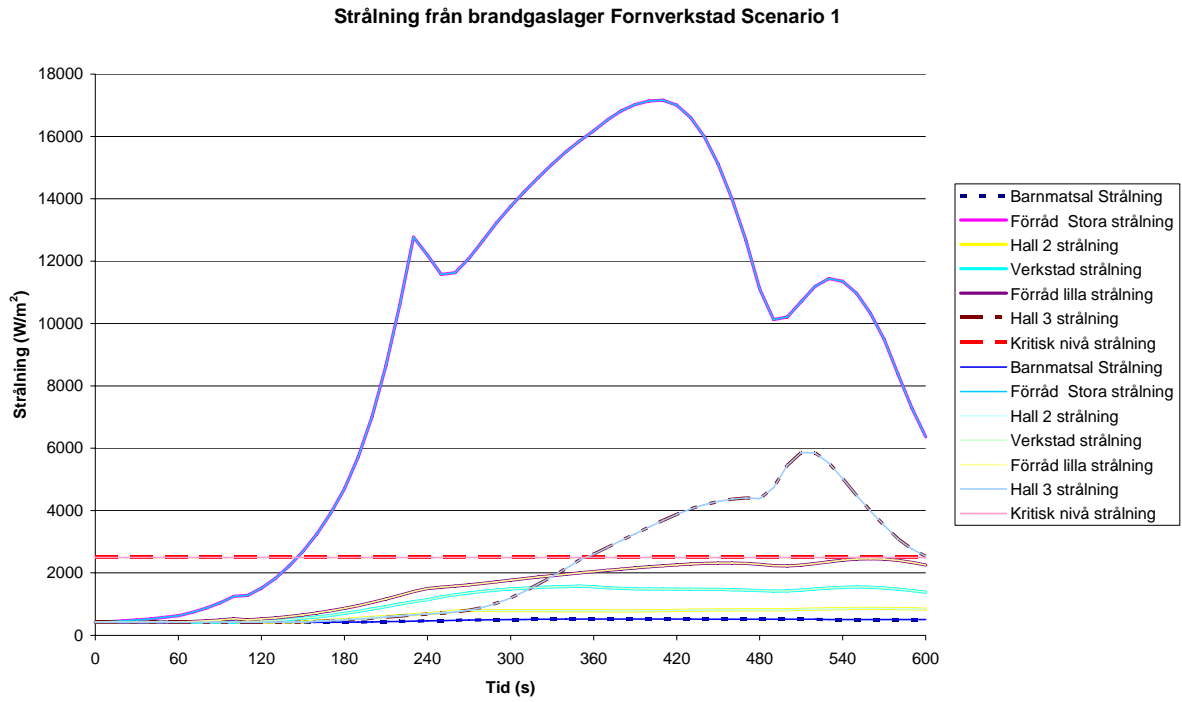
Figur I.2 Strålning från brandgaslagret scenario 1, Argos



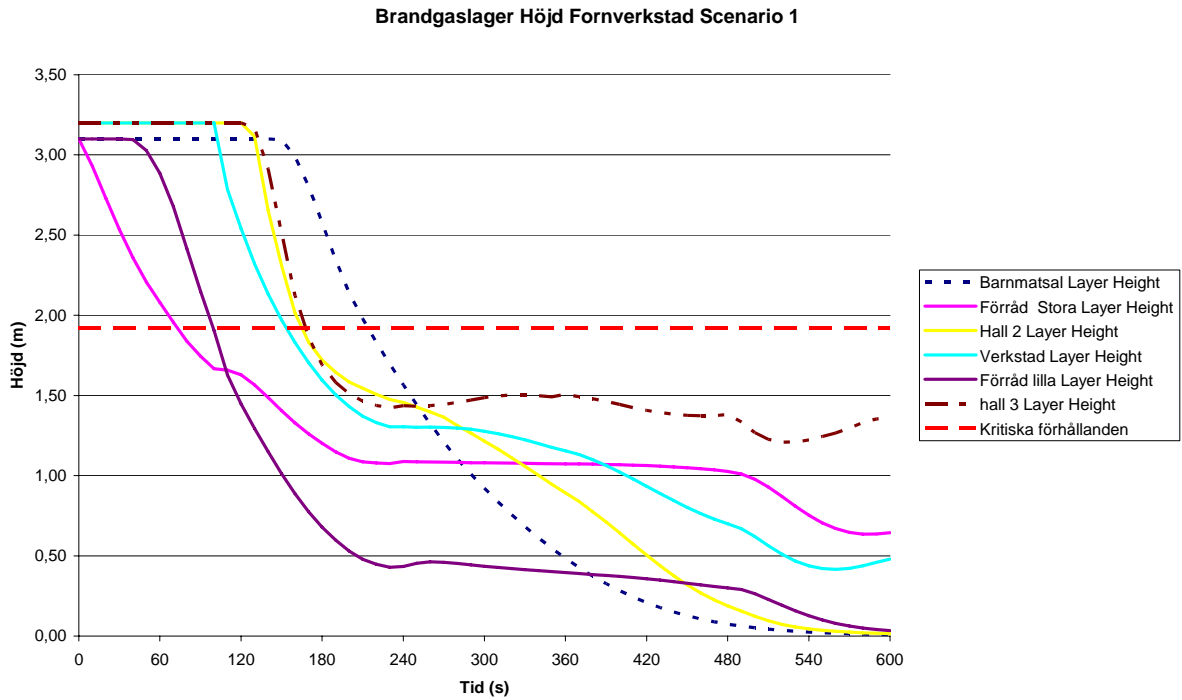
Figur I.3 Höjd till brandgaslagret scenario 1, Argos



Figur I.4 Effektutveckling scenario 1, CFAST

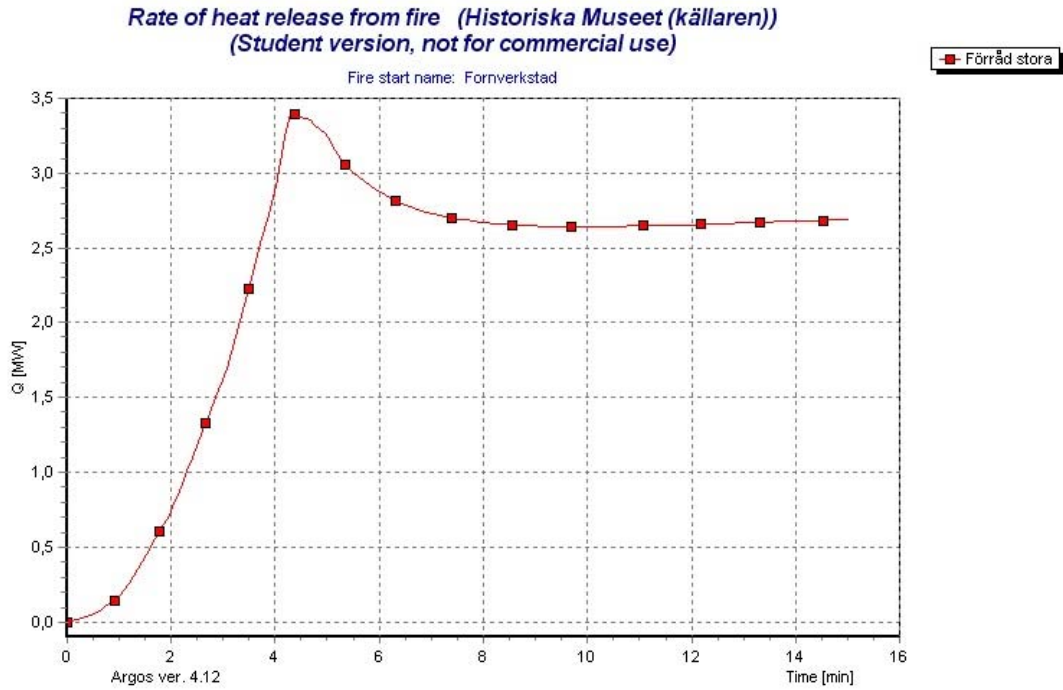


Figur I.5 Strålning från brandgaslagret scenario 1, CFast

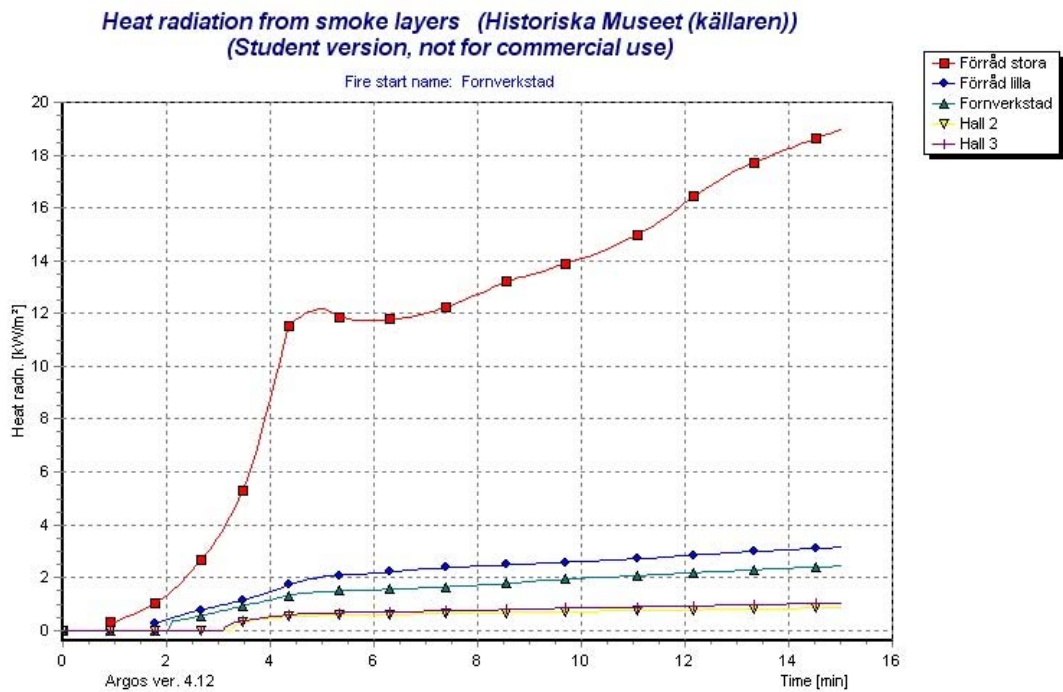


Figur I.6 Höjd till brandgaslagret scenario 1, CFast

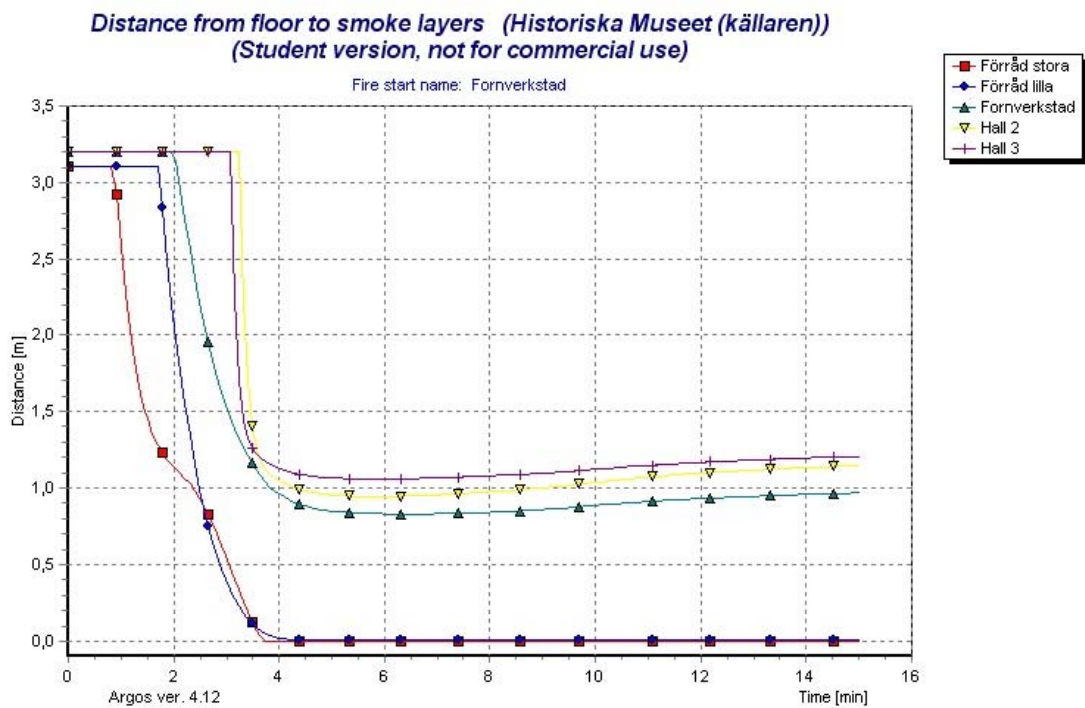
Bilaga J - Simuleringsresultat Fornverkstaden, Scenario 2



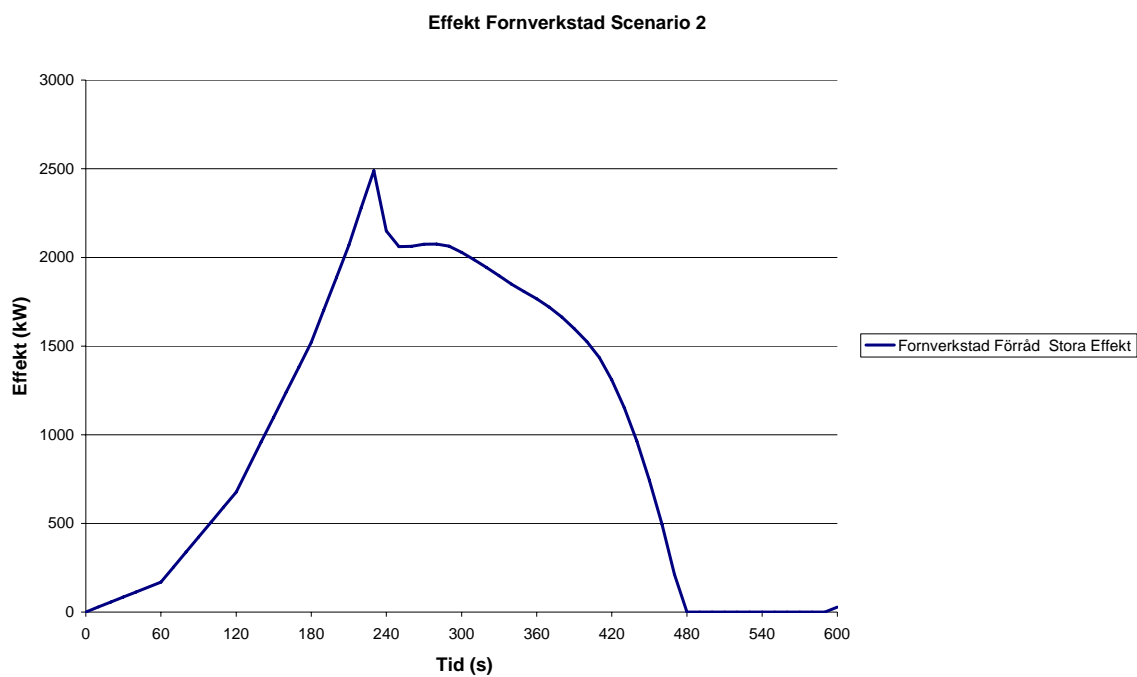
Figur J.1 Effektutveckling scenario 2, Argos



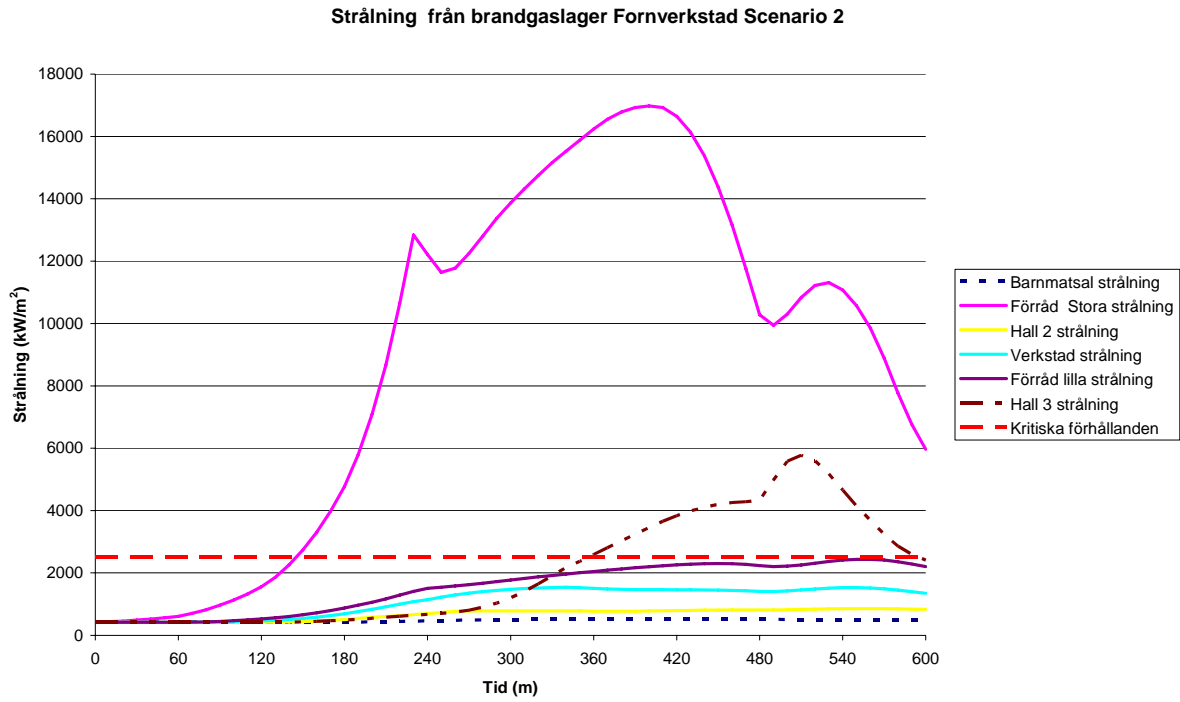
Figur J.2 Strålning från brandgaslagret scenario 2, Argos



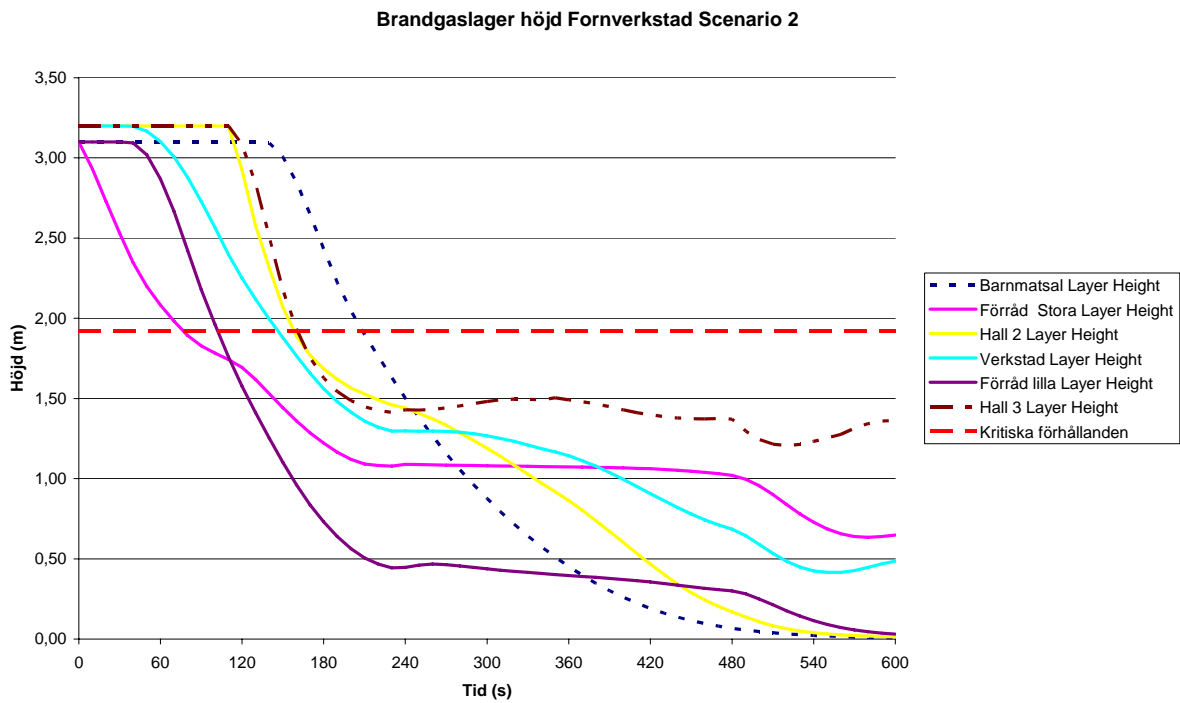
Figur J.3 Höjd till brandgaslagret scenario 2, Argos



Figur J.4 Effektutveckling scenario 2, CFast

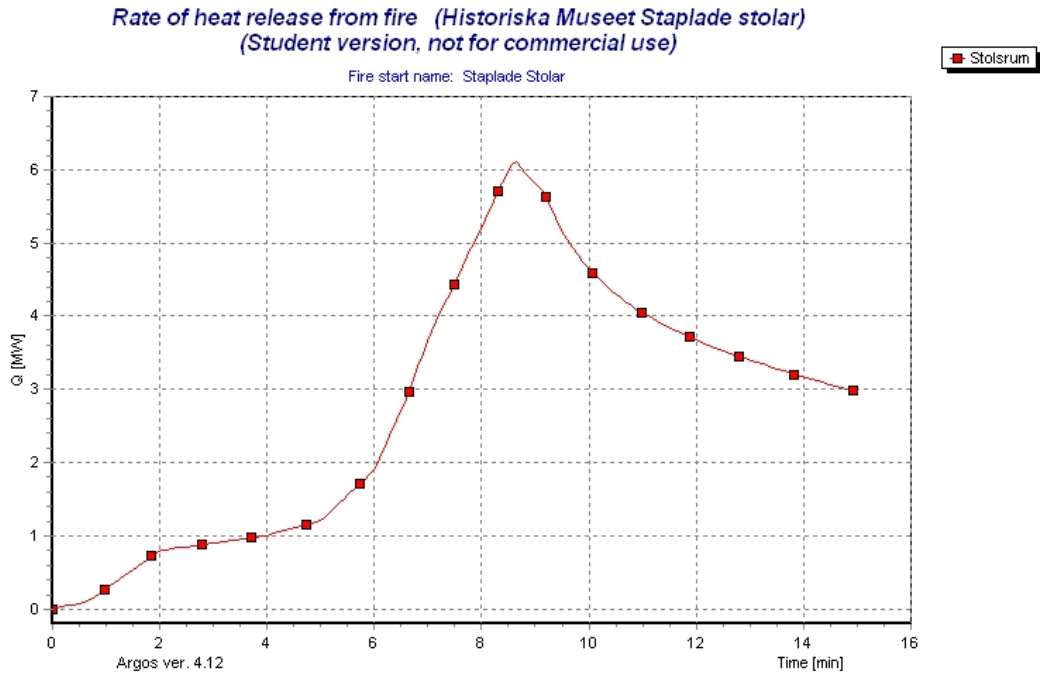


Figur J.5 Strålning från brandgaslagret scenario 2, CFast

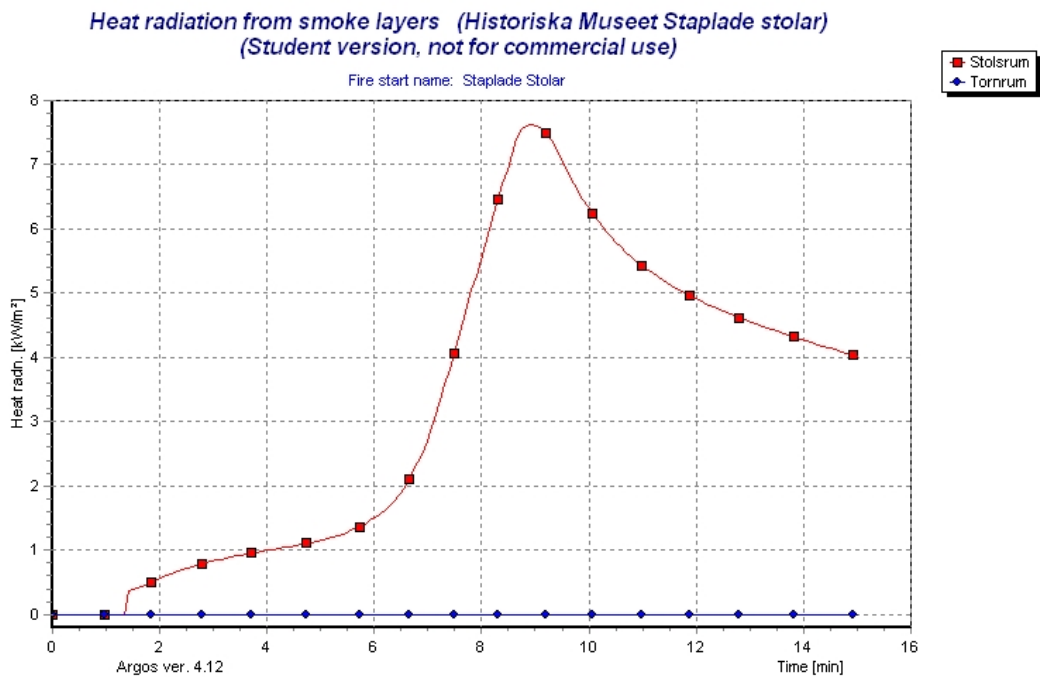


Figur J.6 Höjd till brandgaslager scenario 2, CFast

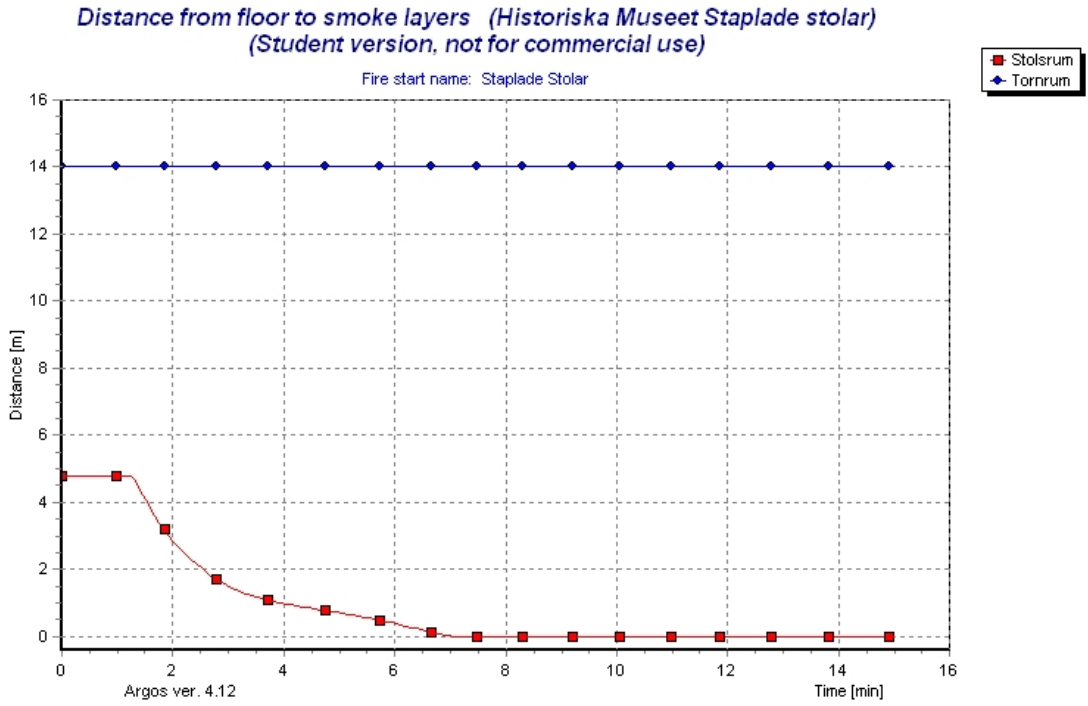
Bilaga K - Simuleringsresultat Tankerummet



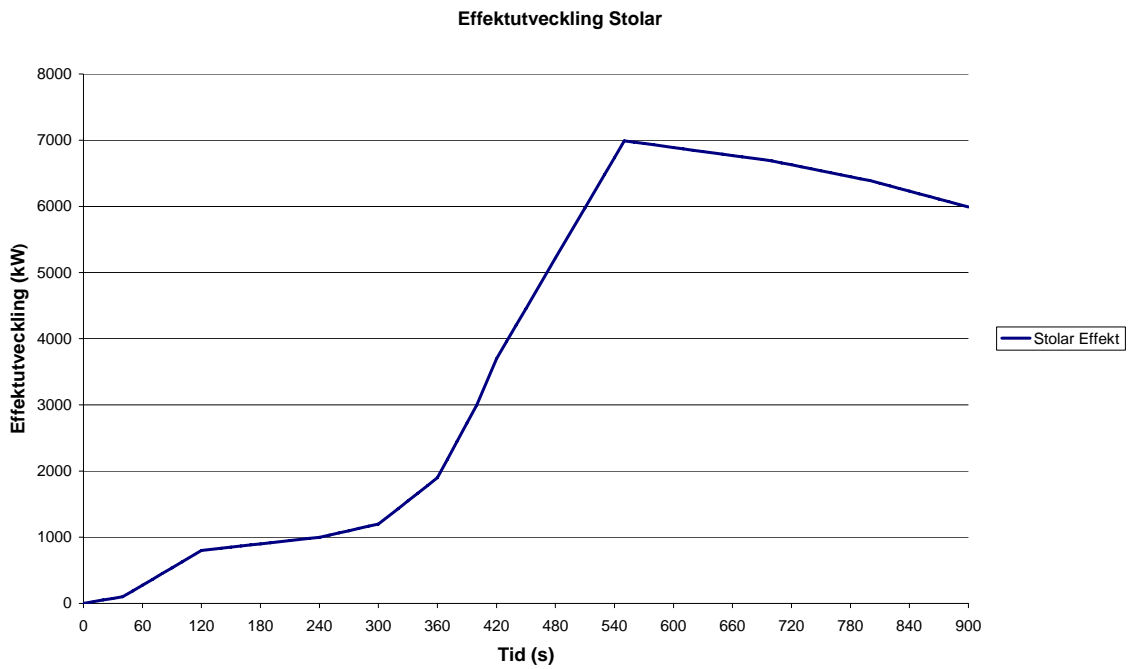
Figur K.1 Effektutveckling Tankerummet, Argos



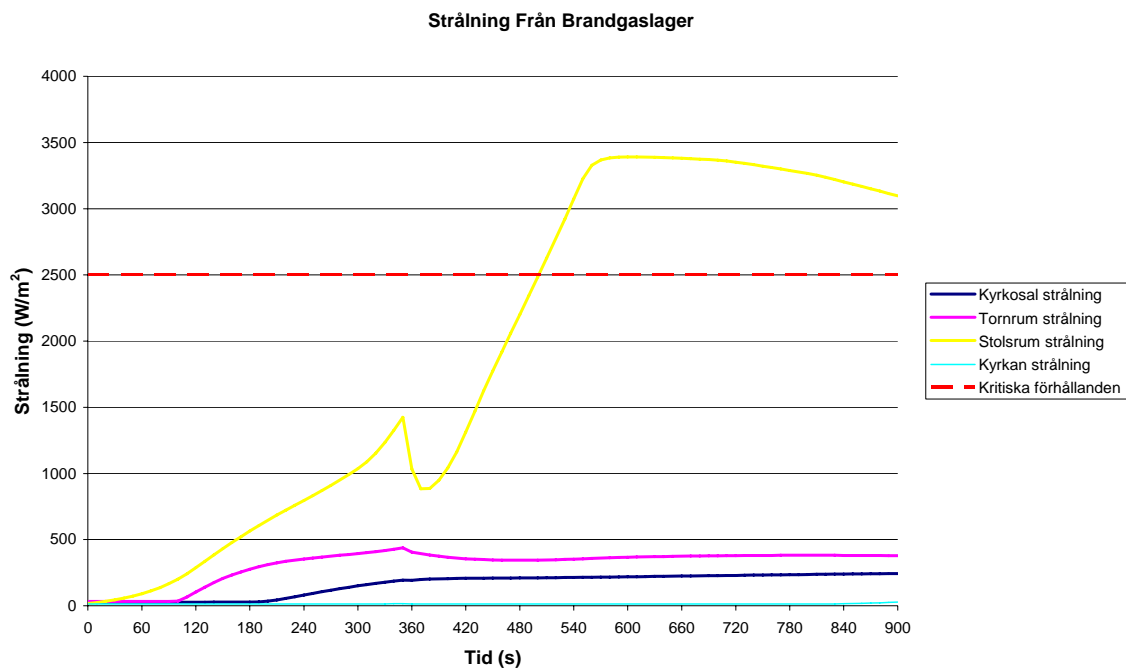
Figur K.2 Strålning från brandgaslagret Tankerummet, Argos



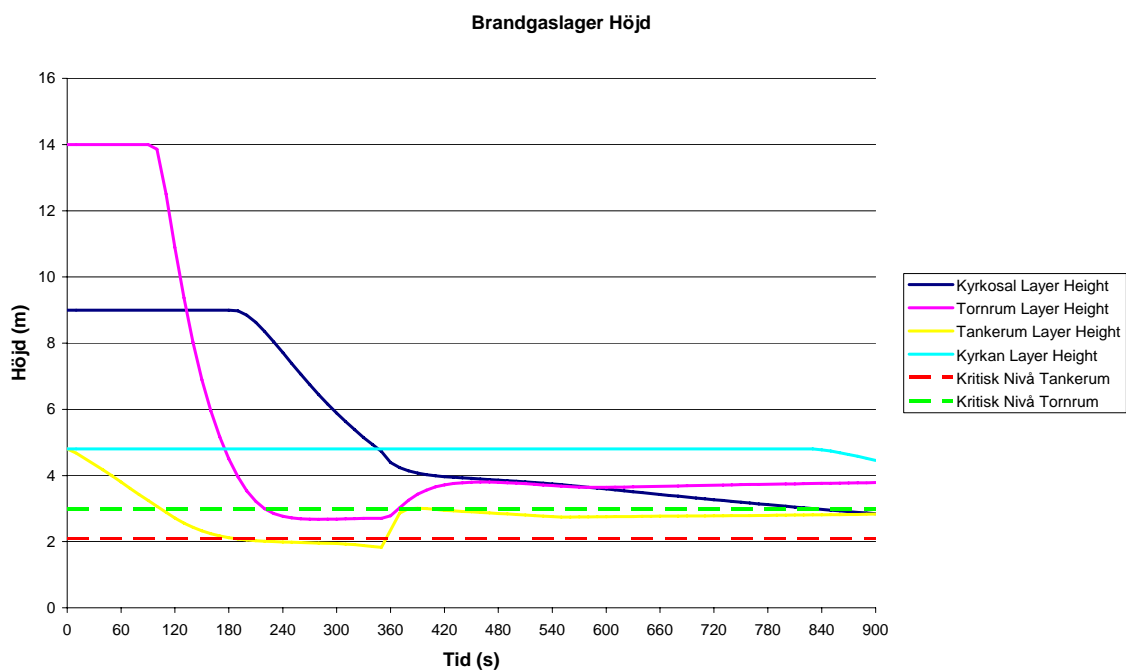
Figur K.3 Höjd till brandgaslagret Tankerummet, Argos



Figur K.4 Effektutveckling Tankerummet, CFast



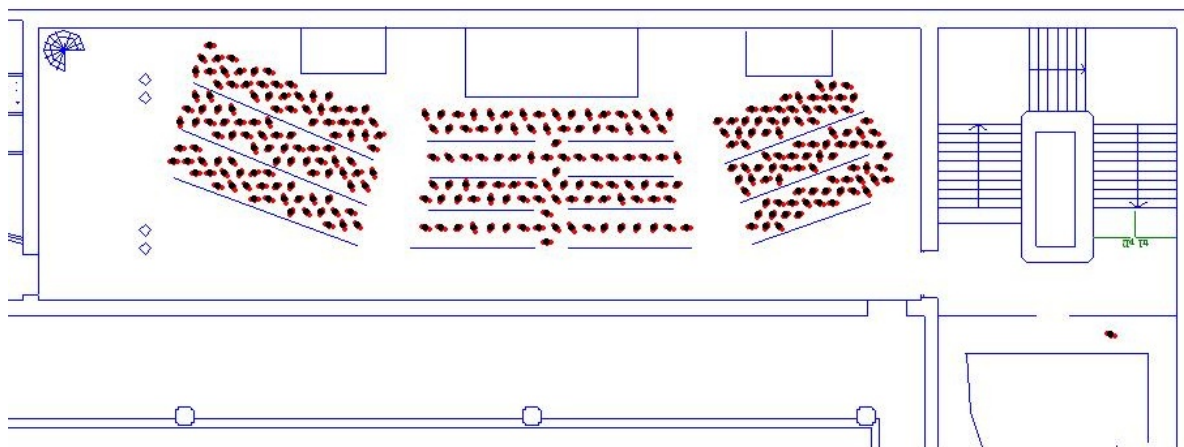
Figur K.5 Strålning från brandgaslagret Tankerummet, CFast



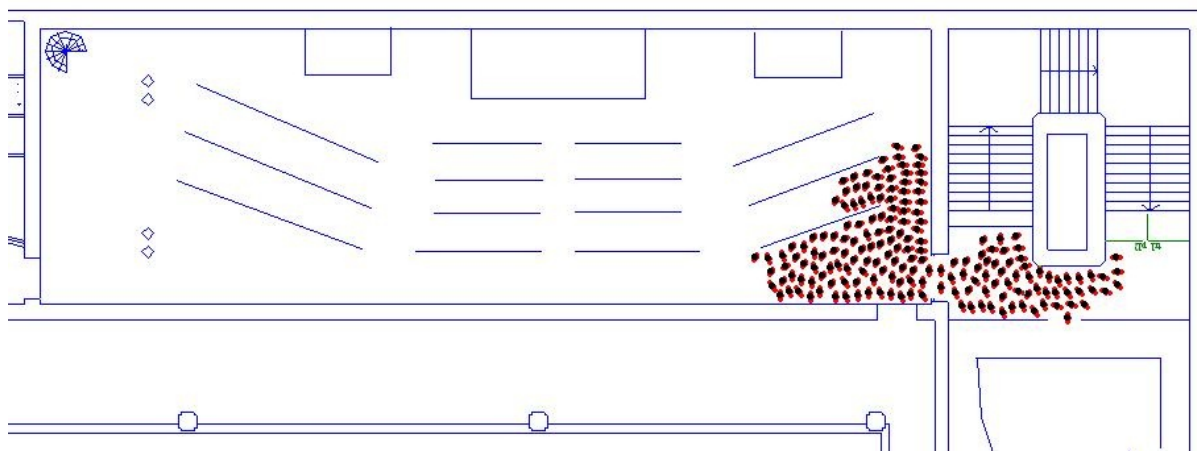
Figur K.6 Höjd till brandgaslagret Tankerummet, CFast

Bilaga L - Simulering av ny nödutgång från Barocksalen

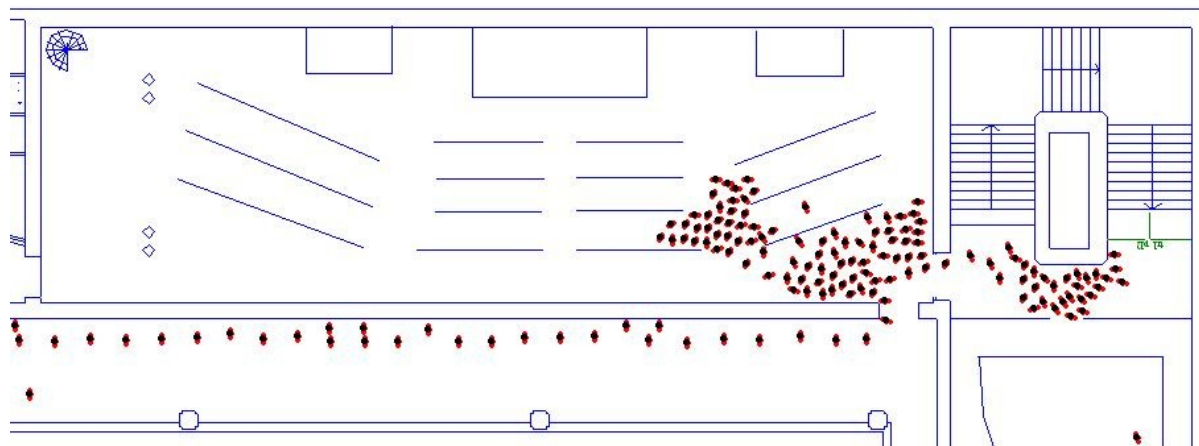
Enligt bestämmelser får det i Barocksalen maximalt vistas 300 personer samtidigt. Då det är konsert antas att om dessa 300 personer är sittandes på stolar är det ett *worst credible* scenario (se Figur L.1). Eftersom en brand på entresolvåningen kommer att blockera nödutgången i hallen mellan Barocksalen och Textilkammaren, kommer den enda vägen ut att vara genom trapphuset ner till entrén. Simulering av detta scenario visar att dörren mot trapphuset blir en flaskhals (se Figur L.2). Om ytterligare en dörr kan användas vid utrymning skulle ovan nämnda flaskhals-effekt minska och utrymningen gå snabbare (se Figur L.3). Förslag på denna dörr är den redan befintliga dörren som leder ut till balustraden från Barocksalen.



Figur L.1 Uppställning av personer i simulering.



Figur L.2 Utrymning utan ny nödutgång.



Figur L.3, Utrymning med ny nödutgång.

L.1 Resultat

Utrymningstiderna för de olika scenarierna visar på en tydlig skillnad på att utrymma genom en utrymningsväg (se tabell L.1) och om en ytterligare utrymningsväg öppnas. Tiden förkortas avsevärt ju fler personer som väljer att utrymma genom den nya dörren (se tabell L.2 och L.3).

Zon	Tid
Barocksal	6 min 10 s
Trapphus	7 min 20 s
Hela byggnaden	7 min 40 s

Tabell L.1 Utrymning utan ny nödutgång

Zon	Tid
Barocksal	5 min
Trapphus	6 min 30 s
Hela byggnaden	6 min 50 s

Tabell L.2 Utrymning med 80 personer som utrymmer ur ny nödutgång

Zon	Tid
Barocksal	4 min 30 s
Trapphus	5 min
Hela byggnaden	5 min 40 s

Tabell L.3 Utrymning med 120 personer som utrymmer ur ny nödutgång

Bilaga M - Simulering av blockerad entré

Ett av problemen som finns på museet är många utrymningsvägar leder till entréhallen via innergården. Men vad händer om entréhallen är blockerad? Tre olika simuleringar i Simulex jämförs med varandra för att ge en bild av konsekvenserna av att entrén blockeras och att en extra utrymningsväg från innergården skapas. I samtliga simuleringar används 380 personer, en responstid på 90 ± 30 sekunder och en rörelsehastighet på 1,3 m/s

Simulering 1

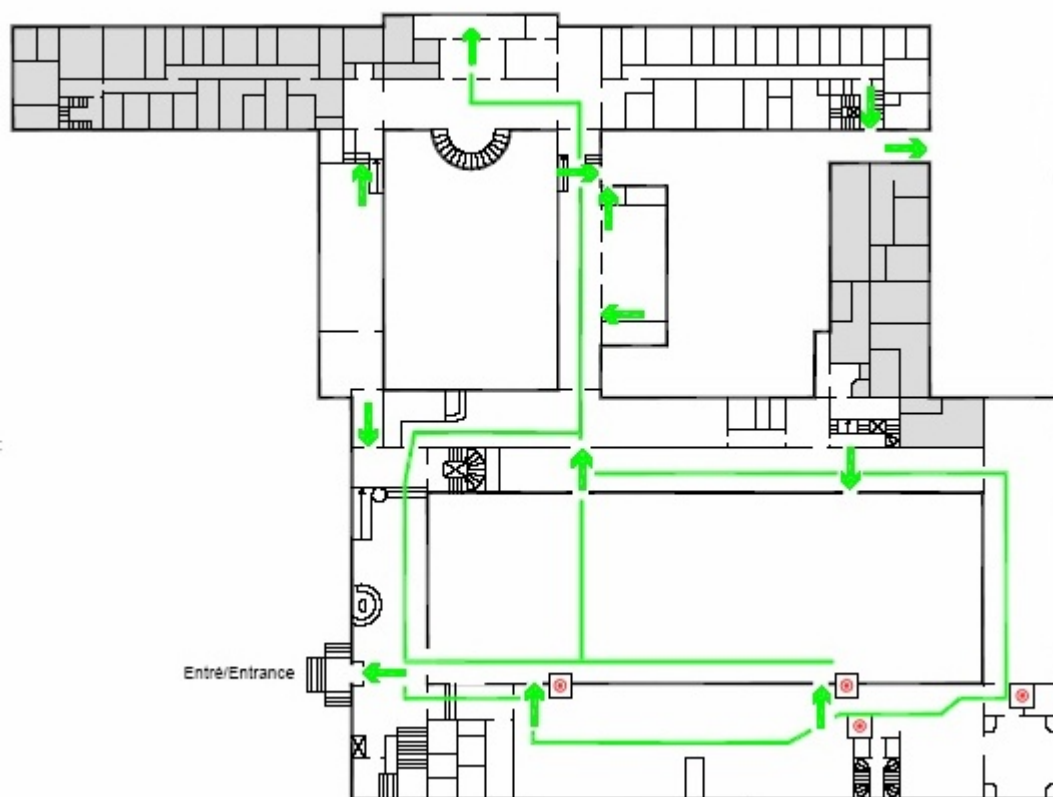
Objektet konstrueras som det ser ut idag, utrymning sker genom alla befintliga nödutgångar.

Simulering 2

I denna simulering är entréhallen blockerad vid trapphus 1, vid trapphus 2, vid passagen till vikingautställningen samt vid dörren till innergården men i övrigt som i simulering 1.

Simulering 3

Här öppnas en extra dörr mellan innergård och shoppen men i övrigt som simulering 2. (Figur M.1)



Figur M.1 Förslag på ny utrymningsväg, jämför med bilaga C

M.1 Resultat

Det ses direkt att utrymningstiden blir längre om en nödutgång tas bort. Det som inte syns i resultatet är att om huvudentrén, som är den naturliga utrymningsvägen, blockeras så blir utrymningsvägen väldigt komplicerad. Detta då en person i verkligheten inte direkt kan se vilken väg som är den kortaste. I vissa fall leder kortaste vägen genom tre våningsplan, tas detta i beaktning så inses att utrymningstiden bör bli ännu längre än det simulerade resultatet, då de simulerade personerna vet precis vilken väg de ska gå. Personer i verkligheten måste hitta rätt väg också. En lösning på detta problem är att som i simulering 3 lägga till en utrymningsväg från innergården in till shopen och att göra nödutgångskyltningen tydligare. Detta kommer att göra att utrymningen blir smidigare i det fall när entréhallen blir blockerad (se Tabell M.1).

Simulering 1	Simulering 2	Simulering 3
4 min 10 s	6 min	5 min 10 s

Tabell M.1 Resultat från simulering i Simulex

