



LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Lunds universitet

Brandteknisk riskvärdering Läckö Slott



Emil Berggren
Rasmus Frid
Anders Håkansson
Erik Mattsson

Titel

Brandteknisk riskvärdering Läckö Slott

Title

Fire safety evaluation Lacko Slott

Författare/Authors

Emil Berggren
Rasmus Frid
Anders Håkansson
Erik Mattsson

Rapport/Report

9326

Sökord

Brandteknisk riskvärdering, Läckö Slott, utrymning, CFast, Simulex, kritiska förhållanden, brandscenario

Keywords

Fire safety evaluation, Lacko Slott, evacuation, CFast, Simulex, critical conditions, fire scenario

Språk/Language

Svenska/Swedish

Abstract

This report is a fire safety evaluation of Läckö Slott located near Lidköping, Sweden. The purpose of the report is to evaluate the human safety regarding evacuation in case of fire. The project is the major part of the course Fire safety evaluation (VBR054), and is done by third-year students at the Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University, Sweden. After visiting the object a number of scenarios were selected and further evaluated. The evaluation was made by simulating in the 2-zone modelling program CFast and the evacuation program Simulex. The input data used to simulate in these programs are design fires, building geometry and number of occupants etc. The results are presented and suggestions to improvements are given if necessary. The target group of this report is Fire Safety Engineer students, the owner and the user of Läckö Slott.

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 själva ansvaret.

© Copyright Avdelning för Brandteknik och Riskhantering, LTH, Lund 2007

Avdelning för Brandteknik och Riskhantering

Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet
Box 118
22100 Lund
Telefon: 046-2227360
Fax: 046-2224612
www.brand.lth.se
brand@brand.lth.se

Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety

Faculty of Engineering LTH
Lund University
P.O. Box 118
S-22100 Lund
SWEDEN
Telephone: +46462227360
Fax: +46462224612
www.brand.lth.se
brand@brand.lth.se

Förord

Vi vill rikta ett stort tack till följande personer som har ställt upp med tid och stor kunskap för att hjälpa oss att färdigställa rapporten:

Marcus Abrahamsson, Doktorand på Brandteknik LTH. För rådgivning, granskning och handledning i stora och små frågor.

Jan-Erik Andersson, Tillsynsman på Läckö Slott, för detaljerad beskrivning av objektet, stort visat intresse samt snabba svar på frågor.

Thomas Andersson, Brandingenjör i Lidköpings kommun. För hjälp vid objektsbesöket.

Håkan Frantzich, Universitetslektor på Brandteknik LTH. För rådgivning gällande utrymning och siktberäkningar.

Patrick van Hees, Professor på Brandteknik LTH. För rådgivning vid framtagande av effektkurvor.

Vi vill även passa på att tacka Helene Degerman, Carin Nero, Henrik Nilsson samt Johan Szymanski för ett utmärkt jobb med opponeringen.

E-Ravel

Lund 2007-11-30

Emil Berggren

Rasmus Frid

Anders Håkansson

Erik Mattsson

Sammanfattning

Denna rapport är en brandteknisk riskvärdering av Läckö Slott utanför Lidköping. Den utgör huvuddelen av kursen Brandteknisk Riskvärdering (VBR054) som ges av avdelningen för Brandteknik och Riskhantering vid Lunds Tekniska Högskola.

Syftet med rapporten är i första hand att eleverna ska få träning i de metoder som används för att utvärdera brandskyddet i en byggnad. Målgruppen för rapporten är främst andra elever på brandingenjörsprogrammet samt verksamhetsutövare på objektet.

Läckö Slott är ett K-märkt 1200-talsslott som vid ett flertal tillfällen har byggts om. Senaste ombyggnationen skedde i slutet av 1600-talet av Greve Magnus Gabriel De la Gardie då det fick sin nuvarande utformning. Slottet är uppdelat i förborg, huvudborg och köksborg. På grund av objektets storlek och komplexitet begränsas rapporten till huvudborgen där den största utrymningsproblematiken finns. Huvudborgen består av fyra plan samt en vindsvåning. Plan ett, två och fyra är öppna för allmänheten och på plan tre anordnas rundvandringar med grupper på upp till 50 personer som är ledda av en guide.

Rapporten är indelad i tre delar för att ge en tydlig struktur på rapporten. Den första delen beskriver objektet, den andra analyserar inhämtad information och den tredje innehåller bilagor där kompletterande beskrivningar ingår.

Resultaten visar att i nuläget skall vissa förändringar göras för att uppfylla kriterierna för en säker utrymning. De flesta föreslagna åtgärderna är relativt enkla och kräver inga omfattande ombyggnationer. Ett urval av dessa redovisas nedan:

- Brandklassade dörrar *skall* installeras i samtliga trapphus.
- Scenen vid tillställningar i Kungsalen *skall* flyttas så att båda utrymningsvägarna är tillgängliga.
- Draperier i skattkammaren *skall* tas bort eller ersättas med flamskyddsbehandlade draperier.
- Dörren i rum 43 mot borggården *skall* fungera som utrymningsväg.
- Inventarier *skall* tillses att de inte består av material som ger upphov till ett snabbt brandförlopp, t.ex. julgran, samt se över placering av inventarier.

Innehållsförteckning

Beskrivning

1 Inledning	12
1.1 Syfte och mål.....	12
1.2 Metod	12
1.3 Avgränsningar	12
2 Objektsbeskrivning	13
2.1 Förvaltning	13
2.2 Översikt	13
2.3 K-märkning	13
2.4 Konstruktion.....	14
2.4.1 Bärande konstruktion	14
2.4.2 Mellanbjälklag.....	14
2.4.3 Takkonstruktion	14
2.4.4 Ytskikt	14
2.5 Verksamhet.....	14
2.5.1 Bottenplan (Plan 1).....	14
2.5.2 Plan 2.....	16
2.5.3 Plan 3.....	17
2.5.4 Plan 4.....	18
2.5.5 Vind (Plan 5)	19
2.6 Utrymningsvägar.....	19
2.7 Befintliga installationer	19
2.7.1 Ventilation.....	19
2.7.2 Automatiskt brandlarm.....	19
2.7.3 Utrymningslarm	19
2.7.4 Inbrottslarm/ överfallslarm.....	19
2.7.5 Brandcellsgränser	20
2.7.6 Släckutrustning.....	20
3 Befintlig dokumentation	21
3.1 Brandskyddsbeskrivning Läckö Slott.....	21
3.2 Manual Brand & Säkerhet Läckö Slott	21
3.3 Riskanalys – Brandskydd vid Läckö Slott	21
3.4 Tillsyn.....	21
4 Räddningstjänstens insats	21
5 Regelverk.....	22
5.1 BVF	22
5.2 BBR.....	22
5.3 Övriga lagar	23
6 Riskbedömning	24
6.1 Reflektioner från studiebesök.....	24
6.2 Statistik brandorsaker	24
7 Utrymning	26
7.1 Allmänt.....	26
7.1.1 Kritiska förhållanden.....	26
7.1.2 Människors beteende.....	26
7.2 Rutiner vid utrymning	27

7.3 Utbildning.....	27
---------------------	----

Analys

8 Brand- och utrymningsscenarier	28
8.1 Metod för simulering i Simulex och CFast	29
8.2 Brand i matsalen (rum 44).....	30
8.2.1 Översikt	30
8.2.2 Scenariobrand.....	31
8.2.3 Kritiska förhållanden enligt beräkningar med CFast	32
8.2.4 Förutsättningar och resultat från Simulex	33
8.2.5 Utvärdering av resultat	34
8.2.6 Känslighetsanalys.....	35
8.3 Anlagd brand i skattkammare (rum 84)	36
8.3.1 Översikt	36
8.3.2 Scenariobrand.....	38
8.3.3 Kritiska förhållanden enligt beräkningar med CFast	39
8.3.4 Förutsättningar och resultat från Simulex	41
8.3.5 Utvärdering av resultat	41
8.3.6 Känslighetsanalys.....	42
8.4 Brand i Kungssalen (rum 160)	46
8.4.1 Översikt	46
8.4.2 Scenariobrand.....	47
8.4.3 Kritiska förhållanden enligt beräkningar med CFast	48
8.4.4 Förutsättningar och resultat från Simulex	49
8.4.5 Utvärdering av resultat	50
8.4.6 Känslighetsanalys.....	50
9 Diskussion	55
9.1 Brand i matsalen.....	55
9.2 Anlagd brand i skattkammaren	55
9.3 Brand i Kungssalen	56
10 Förslag till åtgärder	58
10.1 Allmänna förslag till åtgärder	58
10.2 Matsalen	59
10.3 Skattkammaren.....	59
10.4 Kungssalen	60
11 Slutsats.....	61
12 Referenser	62

Bilagor

Bilaga A – Utrymningsplaner.....	64
Bilaga B – Insatsplaner	68
Bilaga C – Använda datorprogram	74
C.1 Tvåzonsmodeller	74
C.2 CFast.....	74
C.3 Simulex	75
Bilaga D – Scenariobränder	76
D.1 Brand i matsalen (rum 44).....	76
D.2 Anlagd brand i skattkammare (rum 84)	77

D.3 Brand i Kungssalen (rum 160)	80
Bilaga E – Nomenklatur	81
Bilaga F – Handberäkningar/ jämförelse med datorprogram.....	83
F.1 Brand i matsalen.....	86
F.2 Anlagd brand i skattkammaren	88
F.3 Brand i Kungssalen	91
Bilaga G - Indata Simulex	93

1 Inledning

Rapporten är uppdelad i tre delar. I den första delen beskrivs objektet för att ge läsaren en uppfattning om hur det ser ut och vilken verksamhet som bedrivs i olika delar av huvudborgen. Här beskrivs även gällande regelverk och information av allmän karaktär.

I den andra delen analyseras inhämtad information och ett större antal scenarier arbetas fram. Dessa reduceras sedan till tre huvudscenarier som bedöms innefatta den största problematiken gällande utrymning och personsäkerhet. Huvudscenarierna analyseras noggrant med hjälp av simuleringssprogram och handberäkningar. Simuleringarna resulterar i tider för både kritiska förhållanden och utrymning. Resultaten används i huvudsak för att bedöma utrymningssäkerheten men även för att ge förslag till förbättringar av brandskyddet.

Den tredje delen innehåller bilagor där kompletterande beskrivningar och beräkningar av huvudscenarierna ingår samt även ritningar och insatsplaner.

1.1 Syfte och mål

Kursen BTR (VBR 054) som ges av avdelningen för Brandteknik och Riskhantering vid Lunds Tekniska Högskola, består av att framställa en brandteknisk riskvärdering av ett objekt där befintligt brandskydd granskas med hjälp av bland annat analytiska metoder. Arbetet ska ge träning i att tillämpa de regler och föreskrifter som finns, att använda datorprogram och beräkningsmetoder för simulering av brandscenarier samt att ge förslag till förbättringar.

1.2 Metod

Vid kursstart tilldelades studenterna ett objekt och en handledare. Tillsammans med handledaren genomfördes ett besök på objektet under två dagar. Besöket planerades i förväg genom att studera planritningar och befintlig dokumentation för att få en övergripande uppfattning om objektet. Under besöket insamlades all nödvändig mätdata. Även information om vilken typ av verksamhet som bedrivs samt hur mycket människor som kan tänkas befinna sig i objektet under en dag. Efter besöket sammanställdes informationen och arbetet med att utvärdera brandsäkerheten påbörjades.

Genom att ta fram ett antal dimensionerande brandscenarier ska inverkan på människor med avseende på temperatur, rök och strålning beräknas med hjälp av datorprogrammen CFast, Simulex och med handberäkningar. För att beräkna utrymningstider används programmet Simulex där hänsyn tas till bland annat olika personers gånghastighet och beslutstid. Tiden för utrymning jämförs sedan med tiden det tar tills kritiska förhållanden uppstår enligt beräkningar med CFast. Resultatet redovisas i en rapport som följer kraven för en nivå III-rapport enligt brandtekniks krav på rapportskrivning.

1.3 Avgränsningar

Läckö Slott är ett stort objekt bestående av förborg, huvudborg samt köksborg, totalt cirka 250 rum. Det finns även ett antal tillhörande byggnader på området. Efter samråd med handledare, räddningstjänst och anställda vid stiftelsen Läckö Slott beslutades att rapporten avgränsas till huvudborgen. Det är i huvudborgen den största delen av verksamheten bedrivs och därav är det där den stora problematiken vid brand kan förväntas uppstå. Eventuella

släckinsatser tas ej hänsyn till i arbetet. Rapporten fokuserar endast på personsäkerheten i byggnaden vid brand och tar ej hänsyn till materiella eller ekonomiska skador.

2 Objektsbeskrivning

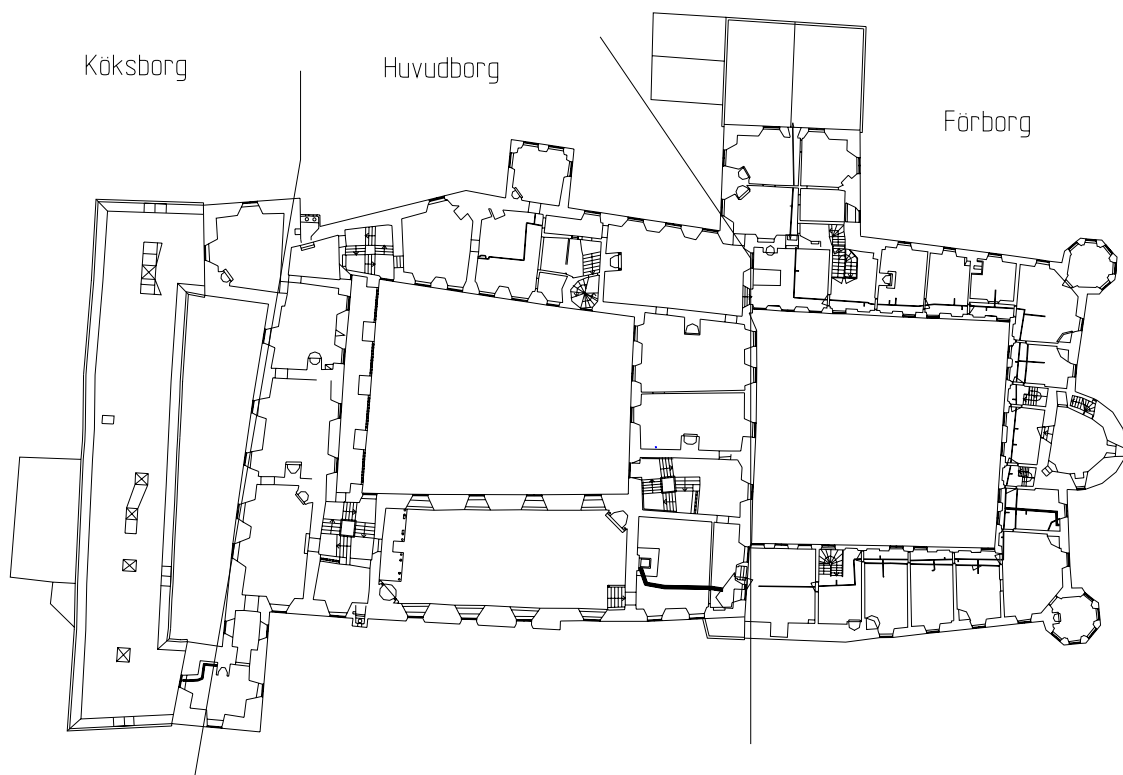
Denna del utgör underlag för framtagandet av brandscenarier.

2.1 Förvaltning

Numera ägs Läckö Slott av staten och förvaltas av Statens Fastighetsverk. Stiftelsen Läckö Slott arrenderar objektet och driver den dagliga verksamheten.

2.2 Översikt

Läckö Slott, beläget på Kållandsö i Vänern, uppfördes år 1298 som försvarsborg åt Skaraborgs biskop Brynolf Algotsson. Ursprungligen bestod byggnaden av en försvarsmur som inrymde ett litet antal stenhus. Slottet har fram till 1600-talets senare del byggts ut till dess nuvarande form. Idag består slottet av förborg, huvudborg och köksborg (se figur 2.1).



Figur 2.1 Översikt över slottet

2.3 K-märkning

K-märkning är ett allmänt använt samlingsbegrepp för många olika typer av lagskydd där Kulturminneslagen utgör stommen. Dessa lagar är avsedda att skydda bebyggelse och miljöer

av kulturhistoriskt intresse. Ofta innebär lagskyddet att en byggnad inte får rivas eller förändras på sådant sätt att det kulturhistoriska värdet minskar.

Läckö Slott är en K-märkt byggnad och skyddas därför av dessa lagar. Eftersom det är ett statligt byggnadsminne är det riksantikvarieämbetet som ger tillstånd vid om- och tillbyggnad. Riksantikvarieämbetet har maximalt sex veckor på sig att behandla ett ärende (Åström 2007). Då en ombyggnad är nödvändig för att säkerställa personsäkerheten är det sällan K-märkningen sätter stopp.

2.4 Konstruktion

Objektets konstruktion beskrivs nedan.

2.4.1 Bärande konstruktion

Slottet har en bärande konstruktion av murverk i sten och tegel där de äldsta delarna är uppmot två meter tjocka. För varje våningsplan minskar tjockleken på väggarna till att högst upp endast vara 0,8 m.

2.4.2 Mellanbjälklag

Mellanbjälklagen består i huvudsak av träbalkar (cirka 250 mm) som är förankrade i yttermuren med genomgående smidesjärn, trossbotten av träplank (cirka 28 mm), blindbotten av varierande fyllnadsmaterial t.ex. kalk, näver och torv, innertak av träplank (28-50 mm) samt golvplank (28-50 mm). Mellanbjälklagen kan ej ses som en brandtekniskt avskiljande konstruktion (Nordgren 2004).

2.4.3 Takkonstruktion

Taket är till största delen ett sadeltak bestående av tjärade träspån.

2.4.4 Ytskikt

Ytskikten varierar mellan papp, tyg, puts och träpanel. I trapphusen består ytskiktet av målad puts.

2.5 Verksamhet

Slottet är ett berömt turistmål och besöks årligen av cirka 80 000 personer (Nordgren R., 2004). Under säsongen som sträcker sig från maj till september arrangeras bl.a. operaföreställningar, konstupställningar, guidade rundvandringar, bröllop och gästbud. Unders högsäsong kan besökarantalet uppgå till cirka 2000 personer per dag och som mest kan cirka 700 personer vistas samtidigt i slottet (Andersson J-E, 2007).

2.5.1 Bottenplan (Plan 1)

Informationen i kapitel 2.5.1 kommer från en tidigare gjord brandskyddsbeskrivning (Nordgren 2004). På bottenplan finns en restaurangdel som består av matsalar i rummen 43

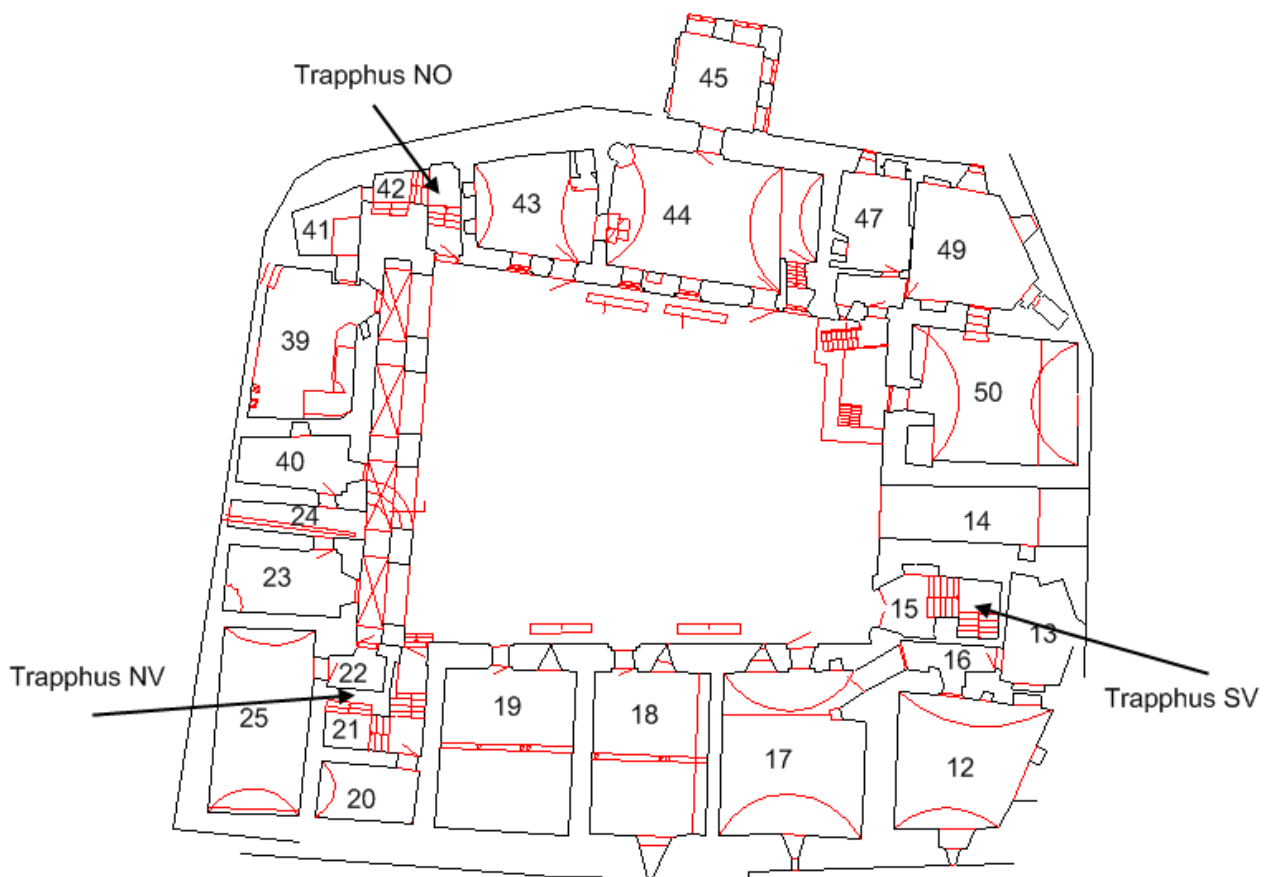
och 44 samt ett kök i rum 45 (se figur 2.2). I restaurangen anordnas ibland bjudningar för upp till 70 personer, t.ex. kan brudpar hyra restaurangen efter vigsel.

Utomhus på borggården anordnas olika tillställningar där opera är mest förekommande. En tillfällig scen byggs upp i anslutning till norra innerfasaden som är belägen mot köksborgen och cirka 350 stolar utplaceras.

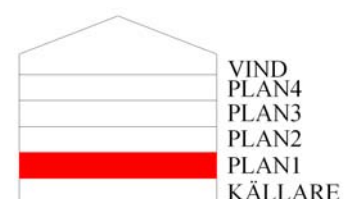
Det finns även ett antal förråd varav ett i rum 19 som innehåller cirka 350 stolar. Rummen 20 och 21 kallas för rustkammaren där det finns ett antal montrar med antika vapen.

I övriga rum finns bland annat en butik, små bodar och mindre utställningar.

I huvudborgen finns tre trapphus vilka fungerar som utrymningsvägar.



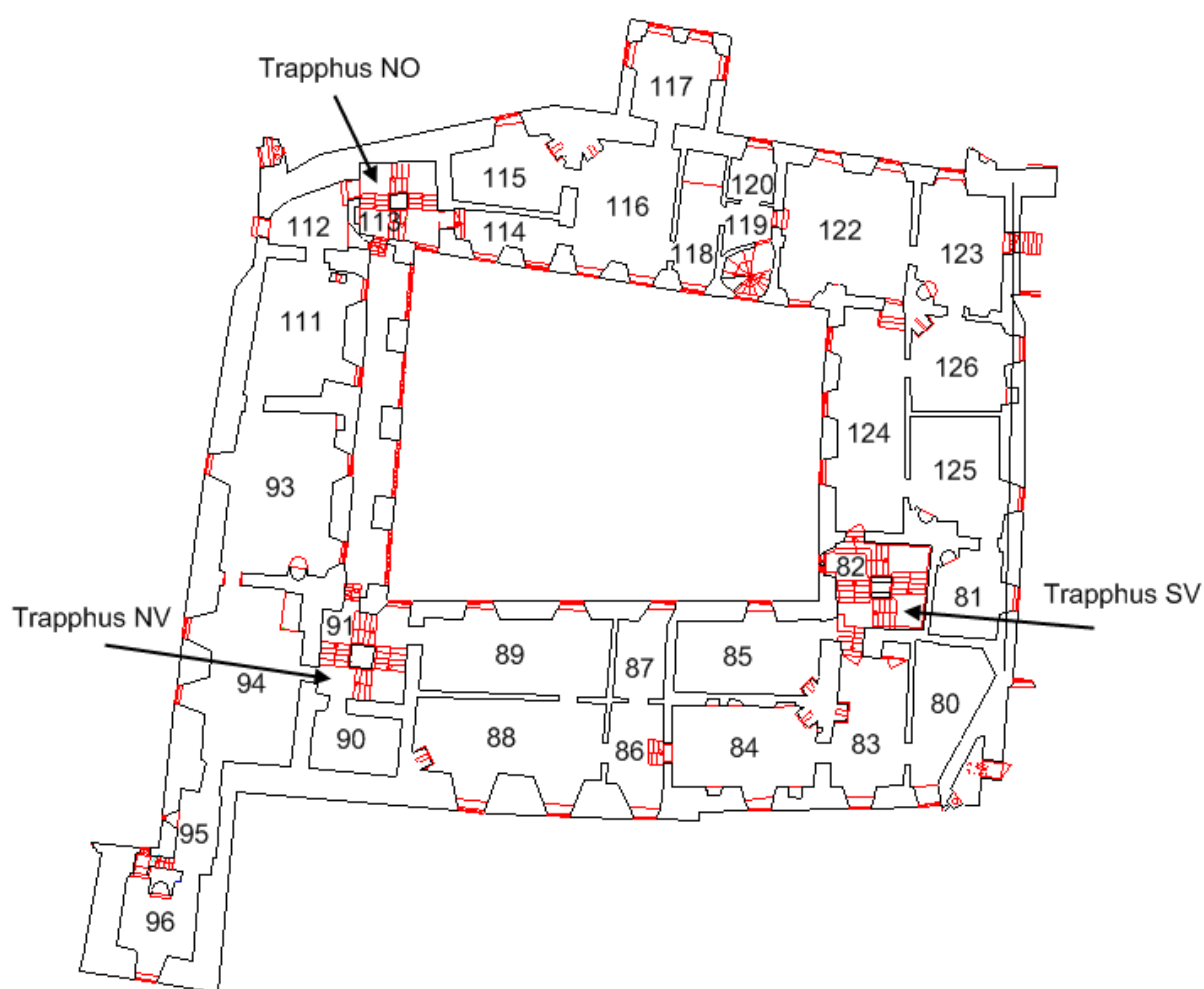
Figur 2.2 Plan 1



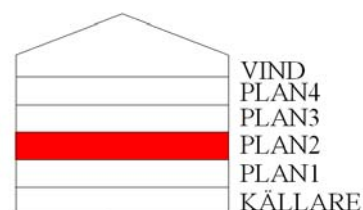
2.5.2 Plan 2

Plan 2 rymmer en skattkammardel som innefattar rum 83-89 (se figur 2.3). I skattkammaren finns några montrar innehållande bl.a. silverföremål och dylikt. Detta plan rymmer även en utställning som varierar varje år.

I övriga rum visas tidsenlig interiör och levnadsförhållanden. Allmänheten har tillträde till hela planet förutom några enstaka förråd.



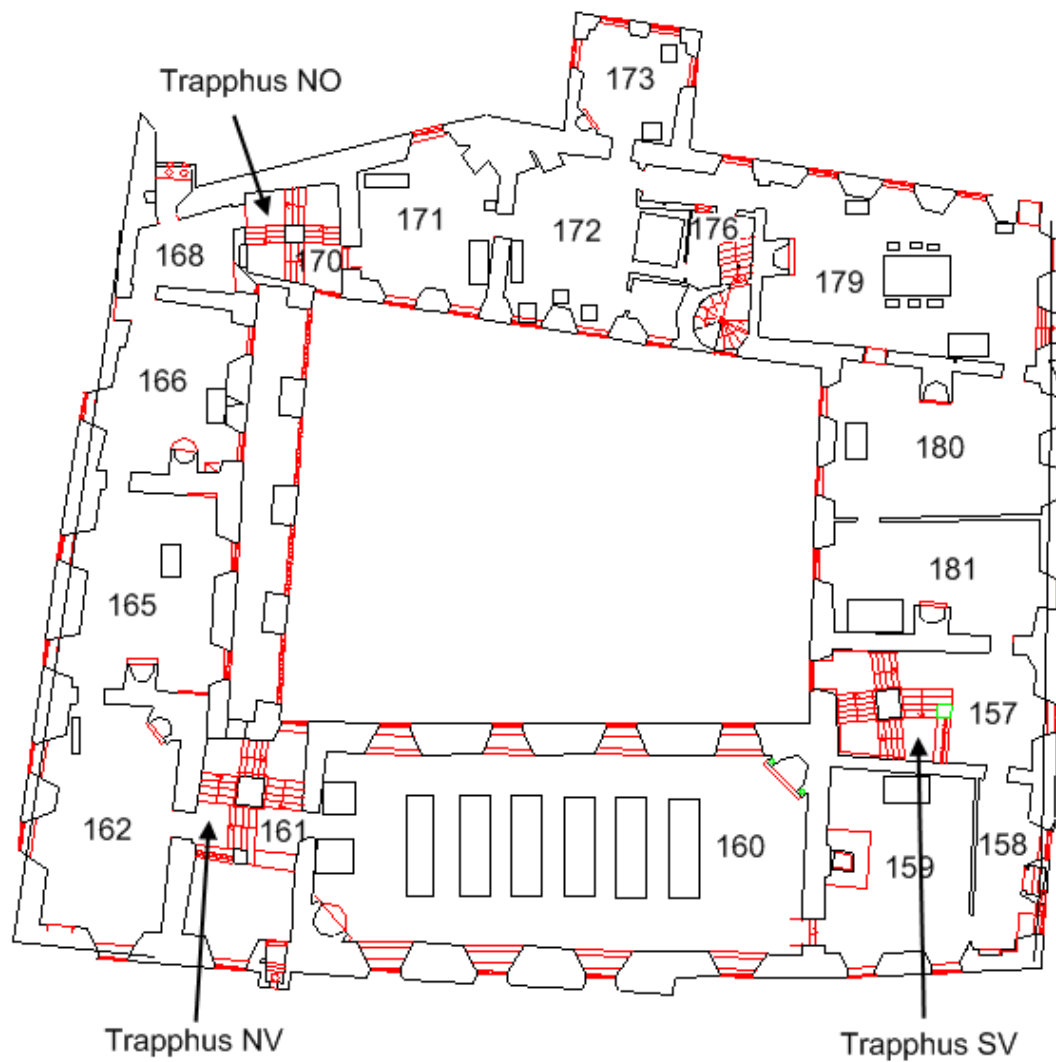
Figur 2.3 Plan 2



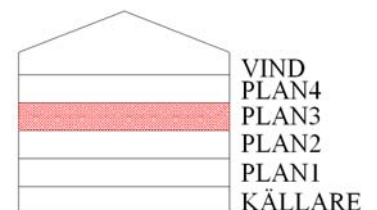
2.5.3 Plan 3

Plan 3 rymmer den så kallade Kungssalen (rum 160) där det anordnas bland annat musikaftnar för cirka 150 personer (se figur 2.4). Då dessa tillställningar arrangeras är resten av slottet stängt.

Endast en guidad rundvandring ger tillträde till detta plan som är inrett med tidsenlig interiör.

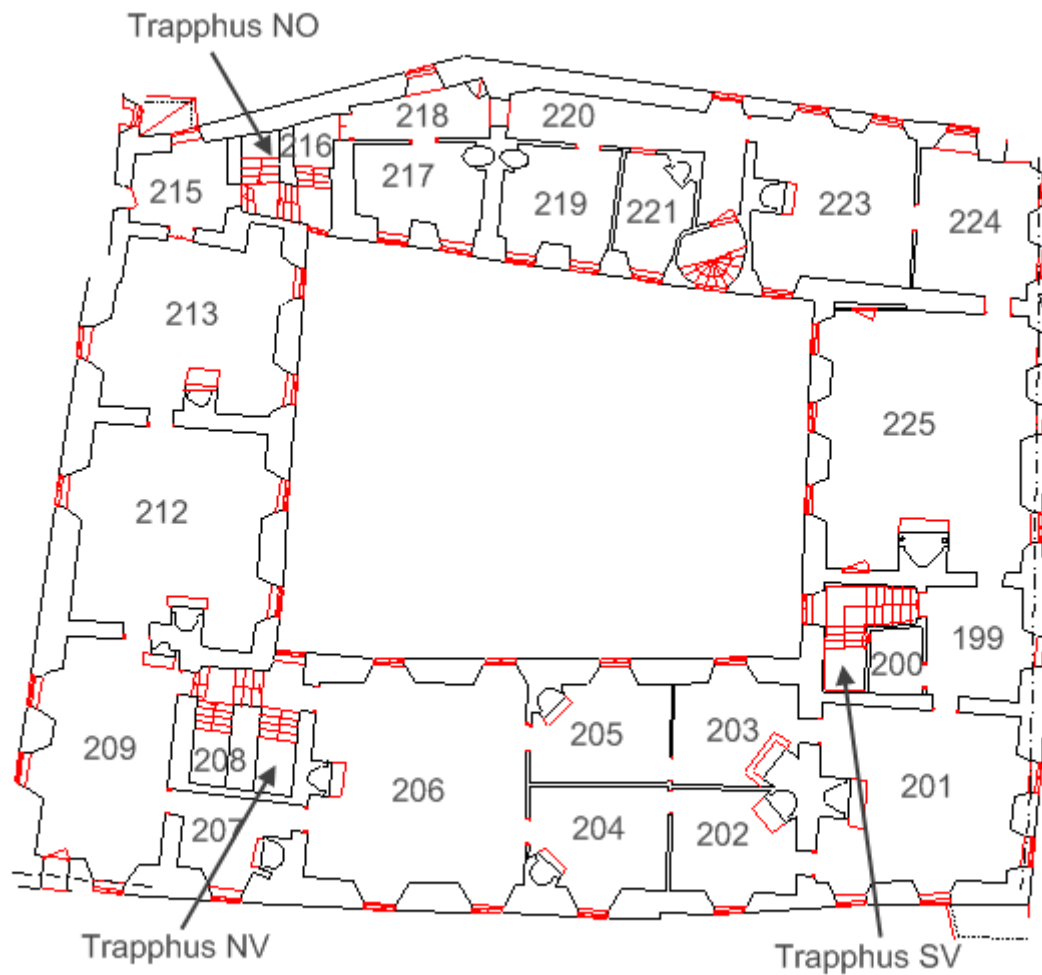


Figur 2.4 Plan 3

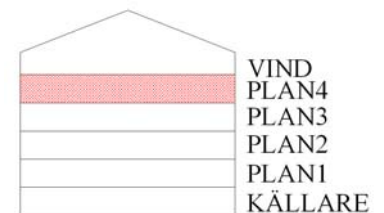


2.5.4 Plan 4

Plan 4 är inrett med tidsenlig interiör och är tillgängligt för allmänheten (se figur 2.5).



Figur 2.5 Plan 4



2.5.5 Vind (Plan 5)

Vinden används som installationsplan samt förvaringsplats för anordning till väderskydd på borggården.

2.6 Utrymningsvägar

Utrymning sker via tre trapphus som inte är brandtekniskt avskilda (se figur 2.5), de leder i sin tur ner till borggården. I det nordvästra trapphuset finns det magnetuppställda dörrar som dock saknar brandteknisk klassning. I trapphusen finns nödbelysning, utrymningsplan samt efterlysande utrymningsskyltar. Efterlysande utrymningsskyltar finns även i rum som angränsar mot trapphus.

2.7 Befintliga installationer

Idag finns det ett flertal installationer som är till för att skydda slottet och personer som befinner sig i det. Stora delar av slottet täcks in av ett samplande automatiskt brandlarmssystem som är kopplat till ett utrymningslarm.

2.7.1 Ventilation

En avfuktningssystem är installerad för att skydda slottets inventarier. Den är placerad i en egen brandcell på vindsvåningen. Vid brand stängs avfuktningssystemet av och brandspjäll stänger så att ingen spridning av brandgaser är möjlig via ventilationssystemet (Nordgren 2004). Ventilationsrummet är utrustat med ett gassläcksystem som aktiverar automatiskt om en brand uppstår i rummet.

2.7.2 Automatiskt brandlarm

Ett automatiskt brandlarm är installerat och går direkt till jourhavande anläggningsskötare som skall infinna sig på plats inom 10 minuter. Det går även till räddningstjänsten i Lidköping som har en insatstid på 20 – 30 minuter. Detektionssystemet består av ett samplande system samt rök- och värmedetektorer. Utöver detta är även manuell aktivering av larmet med hjälp av larmknapp möjlig. Vid larm är det via brandlarmcentralen möjligt att se i vilken sektion larmet har utlöst. Även magnetuppställda dörrar och brandgasspjäll i avfuktningssystemet stängs. Larmet provas en gång per månad (Nordgren 2004).

2.7.3 Utrymningslarm

Vid utlöst brandlarm startar utrymningslarmet som består av ett antal ringklockor och en siren på taket.

2.7.4 Inbrottslarm/ överfallslarm

Ett inbrottslarm är installerat för huvudborgen som består av bland annat rörelsedetektorer i varje trapphus. Det finns även ett överfallslarm installerat som personalen kan aktivera via tryckknapp (Andersson 1998).

2.7.5 Brandcellsgränser

Slottet delas naturligt in i för-, huvud- samt köksborg och målet är att dessa ska vara brandtekniskt avskilda. De håller brandteknisk klass lägst EI-60. Brandcellsgränser mellan planen existerar inte förutom på plan 1 där vissa av rummen har tak av stenmaterial (Nordgren 2004).

2.7.6 Släckutrustning

På varje plan i trapphusen finns inomhusbrandposter där ledstängerna fungerar som stigarledning. Systemet är torrlagt och startas vid behov med en knapp vid varje centrumrulle. Tydliga instruktioner för användandet av detta system finns beskrivet i Manual för Brand & Säkerhet Läckö Slott (Stiftelsen Läckö Slott 2003). Vid varje centrumrulle sitter även en nio kg skumsläckare. I elcentralen på plan 3 finns en kolsyresläckare. Ett halotronsysteem som betjänar klimatrummet finns på vinden.

3 Befintlig dokumentation

Det systematiska brandskyddsarbetet på objektet har hittills resulterat i ett antal dokument som beskriver befintligt brandskydd och regler för verksamheten.

3.1 Brandskyddsbeskrivning Läckö Slott

Denna dokumentation beskriver det befintliga brandskyddet på Läckö Slott. Dokumentationen skall två gånger per år utvärderas, uppföljas och revideras av brandskyddsansvarig i brandskyddsorganisationen inom Läckö Slott för att kontrollera eventuella förändringar.

3.2 Manual Brand & Säkerhet Läckö Slott

Dokumentationen är upprättad i samråd mellan Stiftelsen Läckö Slott och Statens Fastighetsverk. Den presenterar uppbyggnad av befintlig säkerhetsorganisation och beskriver hur verksamheten skall bedrivas. All personal erhåller vid nyanställning en kopia av manualen i syfte att studera dess innehåll. För att kontrollera personalens kunskap om innehållet hålls årligen utbildningsdagar för detta. Manualen skall revideras årligen.

3.3 Riskanalys – Brandskydd vid Läckö Slott

På uppdrag av Statens Fastighetsverk har Sycon AB genomfört denna riskanalys som omfattar en översiktlig riskanalys, en värdering av befintliga brandskydd och rutiner samt förslag till åtgärder (Andersson 1998).

3.4 Tillsyn

Tillsynen utförs av räddningstjänsten i Lidköpings kommun (Andersson T, 2007).

4 Räddningstjänstens insats

Den räddningstjänst som är belägen närmast Läckö Slott är Lidköpings Räddningstjänst. Insattiden är 20-30 min. Räddningstjänsten har en angreppsväg till förfogande fram till slottet. På grund av den långa insattiden måste en eventuell utrymning ske utan räddningstjänstens stöd. Detta gör att ett stort ansvar läggs på personalen.

5 Regelverk

Utformningen av byggnader styrs av lagar, förordningar och föreskrifter för att säkerställa ett välfungerande brandskydd hos byggnaden. Informationen i kapitel 5 kommer ifrån (Bengtson med flera 2005).

5.1 BVF

Förordningen om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk mm. (BVF), består av fem grundläggande krav som ursprungligen regleras av Plan- och Bygglagen (PBL) och Lagen om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk mm.(BVL). Enligt BVF skall en byggnad utformas så att:

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

Även krav på ventilationssystem och kontroll av ventilationssystem regleras i BVF samt BVL.

5.2 BBR

Boverkets Byggregler (BBR), är en föreskrift som baseras på de grundkrav som ställs enligt BVF. Föreskrifterna gäller för nybyggnationer, om- och tillbyggnationer, mark- och rivningsarbeten samt för tomter som tas i anspråk för bebyggelse.

Kapitel 5 i BBR behandlar brandskydd. Förutom de föreskrifter som nämns finns även allmänna råd som inte är tvungna att efterföljas men används som rekommendationer. Ett frångående från dessa allmänna råd kräver att lösningarna ändå uppfyller de föreskrifter som finns i BBR.

Dimensioneringsmetoderna kan sedan delas upp i

- Förenklad dimensionering
- Alternativ utformning
- Analytisk dimensionering

Den förenklade dimensioneringen innebär att alla krav och allmänna råd enligt BBR följs. Då avsteg från BBR görs, vilket kallas alternativ utformning, måste det i en särskild utredning visas att byggnadens totala brandskydd uppnår samma nivå som om kraven följts.

I byggnader där brand kan medföra mycket stor risk för personskador t.ex. större komplexa byggnader eller byggnader där det kan vistas ett mycket stort antal personer kan en analytisk dimensionering krävas. Den analytiska dimensioneringen baseras istället på beräkning, provning, objektsspecifika försök eller kombinationer av dessa och kravet är att den ska verifieras. Om dimensionering av brandskyddet sker genom beräkning, skall beräkningen utgå

från omsorgsfullt valda dimensionerande värden och utföras enligt beräkningsmodeller som på tillfredsställande sätt beskriver aktuella fall. Valda beräkningsmodeller skall redovisas.

5.3 Övriga lagar

Utöver ovan nämnda regelverk finns ytterligare lagstiftningar som reglerar brandskyddet, bland annat:

- Lag om skydd mot olyckor (2003:778), LSO

LSO anger i 2 kap 2 § följande: *”Ägare och 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

Framtagandet av brandscenarier och värderingen av dessa bygger på en riskbedömning där egna reflektioner från studiebesöket, samtal med personal på Läckö Slott samt räddningstjänsten och befintlig statistik från Räddningsverket på brandorsaker analyserats.

6.1 Reflektioner från studiebesök

Under besöket på objektet fanns en representant till förfogande från Räddningstjänsten i Lidköping samt en anläggningsskötare vid Läckö Slott till vilka frågor kunde ställas. Tidigt under besöket begränsades arbetet till att behandla huvudborgen där flest antal människor vistas och störst utrymningsproblematik förekommer. Den största problematiken som noterades är att trapphusen, som utgör utrymningsvägar, inte är brandtekniskt avskilda från övriga delar av byggnaden. Dessutom saknas dörrar ut till trapphusen på några ställen. Tillgängligheten för rörelsehindrade i slottet är kraftigt begränsad, de kan endast vistas på bottenplan där de kan se slottets rum och inventarier på video. På bottenplan finns ett förrådsutrymme där ungefär 350 stolar finns lagrade.

Under två tillfällen har slottet utsatts för försök till anlagd brand, båda försöken misslyckades. En felaktigt monterad halogenlampa var nära att utveckla en brand vilket sedan lett till att halogenlampor numera är förbjudna i slottet utan speciellt tillstånd.

Den allmänna uppfattningen efter besöket är att det arbetas aktivt med brandskyddsfrågor. Med tanke på slottets konstruktion och byggnadsmaterial läggs huvuddelen av arbetet på att förhindra uppkomst av brand.

6.2 Statistik brandorsaker

Informationen i detta kapitel är hämtad från (Räddningsverket 2007¹). Enligt Räddningsverkets statistik skedde år 2006 totalt 2201 bränder i allmän byggnad. Eftersom Läckö Slott inte ingår i någon självklar grupp inom allmän byggnad presenteras statistik för tre olika grupper; Annan allmän byggnad, Kyrka/motsvarande och Museum/bibliotek/biograf/teater (se tabell 6.1).

Tabell 6.1 Antal bränder per grupp i allmänna byggnader

Grupp	Antal
Annan allmän byggnad	146
Kyrka/motsvarande	22
Museum/bibliotek/biograf/teater	20

¹ Räddningsverket, <http://ida.srv.se/port/main/>, hämtad 2007-10-24

Statistik om brandorsak, startutrymme och startföremål ligger till grund då olika scenarier ska diskuteras och väljas. Anlagd brand är den vanligast förekommande brandorsaken inom allmänna byggnader och därefter kommer tekniskt fel (se tabell 6.2).

Tabell 6.2 Brandorsak i allmänna byggnader

Brandorsak	Andel
Anlagd med uppsåt	29 %
Tekniskt fel	15 %
Okänd	13 %
Levande ljus	3 %

Tabell 6.3-4 visar intressant statistik för tänkbara scenarier i slottet. Startutrymme och startföremål är viktiga faktorer för brandens förlopp och spridning.

Tabell 6.3 Startutrymme i allmänna byggnader

Startutrymme	Andel
Kök	22 %
Korridor	6 %
Samlingslokal	4 %
Trapphus	2 %

Tabell 6.4 Startföremål i allmänna byggnader

Startföremål	Andel
Spis	13 %
Lös inredning	5 %
Andra elinstallationer	4 %
Gardiner	1 %
Glödlampa	< 1 %

År 2006 var det en person som omkom, två skadades svårt samt åtta skadades lindrigt i grupperna; Annan allmän byggnad, Kyrka/motsvarande och Museum/bibliotek/biograf/teater (se tabell 6.5).

Tabell 6.5 Personskador i allmänna byggnader

Grupp	Omkomna	Svårt skadade	Lindrigt skadade
Annan allmän byggnad	1	2	5
Kyrka/motsvarande	0	0	0
Museum/bibliotek/biograf/teater	0	0	3

7 Utrymning

Enligt Boverket finns kravet på en byggnad att den skall utformas så att tillfredsställande utrymning kan ske vid brand. Kraven på personsäkerheten är höga. Utfallet av en eventuell utrymning vid brand styrs av flertalet faktorer såsom människors beteende, lokalens utformning, rutiner bland personal etcetera (Boverket² 2006).

7.1 Allmänt

Nedan beskrivs de kriterier som finns för att genomföra en säker utrymning vid brand, där hänsyn tas till personsäkerhet. Dessutom avhandlas kort människors beteende vid en utrymningssituation.

7.1.1 Kritiska förhållanden

För att definiera under vilken tid utrymning kan ske under acceptabla förhållanden anges några gränsvärden för temperatur, strålning, brandgaslagrets höjd, toxicitet samt sikt (Bengtson med flera 2005).

- Temperaturen i vistelsezonen får inte överstiga 80°C.
- Strålningen får under en kort tid uppgå maximalt till 10 kW/m² med en sammanlagd strålningsenergi på 60 kJ/m², eller 2,5 kW/m² under en något längre tid.
- Avståndet från golvet till brandgaslagret får inte vara mindre än 1,6 + 0,1×H m (H är rummets takhöjd).
- Syrekoncentrationen bör inte understiga 15 % och mängden kolmonoxid samt koldioxid i luften får inte vara större än 0,2 % respektive 5 %.
- Sikten måste vara minst 10 m (5 m i brandrummet).

7.1.2 Människors beteende

Informationen i detta kapitel är hämtad från (Boverket¹ 2006).

Vad gäller människors beteende vid en utrymningssituation är det högst individuellt hur man reagerar, vilka beslut man tar samt hur lång tid det tar för en person att förflytta sig. Man tar därför hänsyn till alla dessa parametrar när man beräknar en total utrymningstid. Denna utrymningstid bör understiga tiden till dess att kritiska förhållanden uppstår och man kan därför ställa upp följande samband.

$$t_{\text{kritisk}} > t_{\text{varseblivning}} + t_{\text{beslut och reaktion}} + t_{\text{förflyttning}}$$

Varseblivningstiden är den tid det tar från det att branden startar till dess att en person uppmärksammar branden och uppfattar faran. Det innefattar moment som att personen under den tiden ska hinna upptäcka rök eller flammor, alternativt få informationen via larmsignal

eller på annat sätt. Varseblivningstiden kan variera stort beroende på om branden är synlig eller dold, hur många människor som antas befinna sig i lokalen, överblickbarheten i lokalen samt om ett automatiskt brandlarmssystem finns installerat.

Besluts- och reaktionstiden beskriver den tid det tar för en person att ta ett beslut om hur situationen ska hanteras. Det kan exempelvis handla om att lyssna på utrymningslarm, hjälpa andra personer att utrymma, självförberedelser samt att försöka släcka branden på egen hand. Ett utrymningslarm, tydliga utrymningsskyltar och synliga nödutgångar kan hjälpa till att minska denna tid betydligt. En annan faktor som påverkar besluts- och reaktionstiden är om personerna i lokalen är vakna eller sover. I hotell, vårdanläggningar, restauranger eller danslokaler kan mycket längre reaktionstider förutsättas eftersom deras medvetenhet om situationen ibland kan tänkas vara mycket liten.

Förflyttningstiden är tiden det tar för en person att rent fysiskt transportera sig från befintligt läge till dess att denne befinner sig i en säker miljö. Denna tid varierar med fördelningen av personer i lokalen, rörligheten hos personerna och deras hjälpbehov med mera. Förutom detta kan gånghastigheten variera beroende på miljön i lokalen, belysningsförhållanden och utrymningsskyltning.

7.2 Rutiner vid utrymning

Varje anställd i tjänst har en specifik uppgift vid brand eller annan nödsituation. Detta regleras i Manual Brand & Säkerhet Läckö Slott (Stiftelsen Läckö Slott 2003). Organisationen för utrymning är följande:

- Butikspersonal ansvarar för att utrymma slottsbutikerna.
- Vakt på plan två ansvarar för utrymning av plan två.
- Guide på plan tre ansvarar för utrymning av plan tre.
- Guide på plan fyra tillsammans med icke-uniformerad vakt ansvarar för att utrymma plan fyra och därefter köksborgen.
- Barnaktivitetsvärd ansvarar för att säkerställa utrymningen av de barn som denne ansvarar för.
- Restaurangpersonal i restaurang Fataburen ser till att egna lokaler utryms. Restaurangen är belägen utanför slottsbyggnaden.
- Trädgårdspersonalen ansvarar för utrymning från trädgården.

7.3 Utbildning

Samtlig personal vid Läckö Slott genomgår varje år undervisning i brandskydd som består av teori, släckövningar, utrymningsplaner samt livräddning. Läckö Slott har även förhållningsregler till utställningsarbetare och hantverkare. (Stiftelsen Läckö Slott 2003)

Analys

I denna del av rapporten analyseras ett antal scenarier. Den innehåller beräkningar, resultat, värderingar samt förslag till åtgärder. Med tanke på de osäkerhetsfaktorer som finns gällande brandförlopp och utrymning görs känslighetsanalyser på respektive scenario där vissa parametrar ändras för att se om det blir tydliga effekter på resultaten.

Effektutvecklingskurvor, syretillförsel, personantal och funktion hos aktiva system är exempel på sådana parametrar som kan varieras i känslighetsanalysen.

8 Brand- och utrymningsscenarier

Följande scenarier har arbetats fram och anses vara de som belyser utrymningsproblematiken på ett relevant sätt. Inledningsvis var det ett större antal scenarier som senare reducerades till tre huvudscenarier som granskades ingående. De scenarier som till en början beaktats är:

- **Brand i stolsförråd (rum 19)**

I stolsförrådet finns en hög brandbelastning men scenariot bedöms inte som problematiskt ur utrymningssynpunkt. Detta på grund av att brandgaserna inte har möjlighet att sprida sig till trapphusen under tiden det tar för en utrymning.

- **Brand i matsalen (rum 44)**

Scenariot valdes att studeras ingående på grund av det stora personantalet i förhållande till lokalens begränsade storlek.

- **Brand på stora borggården under föreställning**

Under en föreställning kan upp till 380 personer vistas på borggården och brandbelastningen är betydande. Däremot är det orimligt att kritiska förhållanden skulle kunna uppstå eftersom det inte kommer att uppstå något brandgaslager samt att strålningen bedöms som ringa under utrymningstiden.

- **Brand i kyrksal under vigsel**

I kyrksalen kan det vistas upp till 150 personer samtidigt. Bänkar samt övrig inredning består av massivt trä. På grund av den höga takhöjden samt att utrymningsvägen är bred bedöms inte kritiska förhållanden uppstå innan utrymning har skett.

- **Anlagd brand i skattkammare (rum 84)**

Scenariot valdes att studeras ingående på grund av den höga brandbelastningen i rummet och den låga takhöjden som ger en snabb brandgasspridning. Det faktum att Kungssalen ligger i direkt anslutning till rummet på våningen ovanför samt att det finns risk för brandgasspridning till de två närmsta trapphusen gör att en utrymning kan bli mycket problematisk.

- **Brand i utställningsrum (rum 122)**
Riskbilden är ungefär densamma som i skattkammaren men brandbelastningen är mindre vilket medför att scenariot är mindre intressant ur utrymningssynpunkt än skattkammaren.
- **Brand i Hertiginnans gemak (rum 171)**
I detta rum finns mycket hög brandbelastning som kan ge snabb och betydande brandspridning samt brandgasutveckling. Problematiken täcks däremot in i skattkammarscenariot som troligen ger värre konsekvenser som i sin tur ger svårare utrymningsförhållanden.
- **Brand i Kungssalen (rum 160)**
Scenariot valdes att studeras ingående på grund av det möjligt stora personantalet vid föreställning samt den höga brandbelastningen. En brand startar med ett elfel i utrustning som är belägen under balkongen. Då balkongen är belägen vid den ena utrymningsvägen finns risk för att denna blockeras vilket försvårar en utrymning.
- **Brand i ett trapphus**
Eftersom det inte förvaras något brännbart material i trapphusen samt att ytskiktet på väggarna består av puts bedöms brandrisken som mycket liten.

De tre scenarier som slutligen valts ut innehåller den största utrymningsproblematiken samtidigt som de täcker in flera av de övriga. Parametrarna som beaktats är antal personer, brandbelastning, rökutveckling samt utrymningssvårigheter. Även potentiella antändningskällor har diskuterats:

- Halogenlampa
- Värmeljus
- Elektriskt fel
- Anlagd brand
- Åsknedslag
- Heta arbeten

Även vad gäller dessa har antalet reducerats till de mest troliga. På slottet finns strikta regler gällande till exempel heta arbeten, användande av halogenlampor med mera och dessa regler finns tydligt beskrivna i kompendiet Manual Brand & Säkerhet Läckö Slott (Stiftelsen Läckö Slott 2003).

8.1 Metod för simulering i Simulex och CFast

I denna rapport används datorprogram för att simulera framtagna scenarier. Datorprogrammen ger snabba och acceptabla resultat men har sina begränsningar. Dessa begränsningar presenteras närmare i bilaga C.2 och C.3. För själva brandens utveckling med efterföljande konsekvenser avseende brandgasspridning, temperatur etc. används CFast vilket är ett modelleringsprogram som bygger på en tvåzonsmodell. När brandförloppet modelleras med

CFast tas hänsyn till rummets storlek samt dess öppningar och effektutvecklingskurvan korrigeras om syretillförseln till branden är för låg, eftersom ventilationskontroll då kan uppstå. Tiden för simulering väljs till en tid som är längre än tiden för utrymning. I scenarierna skattkammaren och matsalen väljs den till 15 minuter och i Kungssalen till 12 minuter.

Utrymning simuleras i Simulex där planritningar över byggnaden importeras från t.ex. ett Autocad-program. Därefter kan valfritt antal personer läggas in och låtas utrymma byggnaden. Ur programmen fås slutligen tider som ställs mot varandra. En del handberäkningar genomförs och jämförs med resultat från datorprogrammen. Även handberäkningarna har begränsningar och dessa presenteras i bilaga F.

8.2 Brand i matsalen (rum 44)

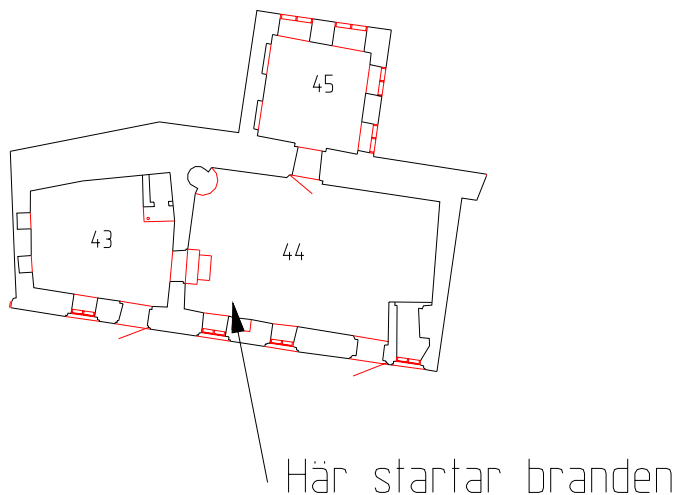
Ett brandscenario i matsalen är intressant på grund av ett stort personantal på en liten yta. Samtidigt används lokalen vid speciella sittningar där varierande dekor och inredning kan förekomma.

8.2.1 Översikt

Matsalen rymmer ungefär 70 sittande gäster (Andersson J-E, 2007). Dukningen består av långbord, både i rum 43 och rum 44 (se figur 8.1). Samtliga möbler är av massivt trä. I taket finns två friliggande bjälkar med kärvar och dukar som utsmyckning. Scenariot äger rum juletid och därmed finns även en mindre mängd juldekoration samt en julgran placerad vid dörren mellan rum 43 och 44 (se figur 8.2). I anslutning till rum 44 finns ett kök (rum 45). Utrymningsvägarna från lokalen består av dörrar mot borggården, en från rum 43 och en från rum 44. I huvudscenariot antas dörren ut ur rum 43 vara stängd och ej tillgänglig för utrymning eftersom den normalt är låst och inte används. Den är ej heller markerad med utrymningsskylt. Problematiken i matsalen är det möjligt stora personantalet på en begränsad yta. Eftersom lokalen fungerar som en egen brandcell antas ingen brandgasspridning till övriga delar av huvudborgen.



Figur 8.1 Matsalen (rum 44). I högra kanten antas granen vara placerad



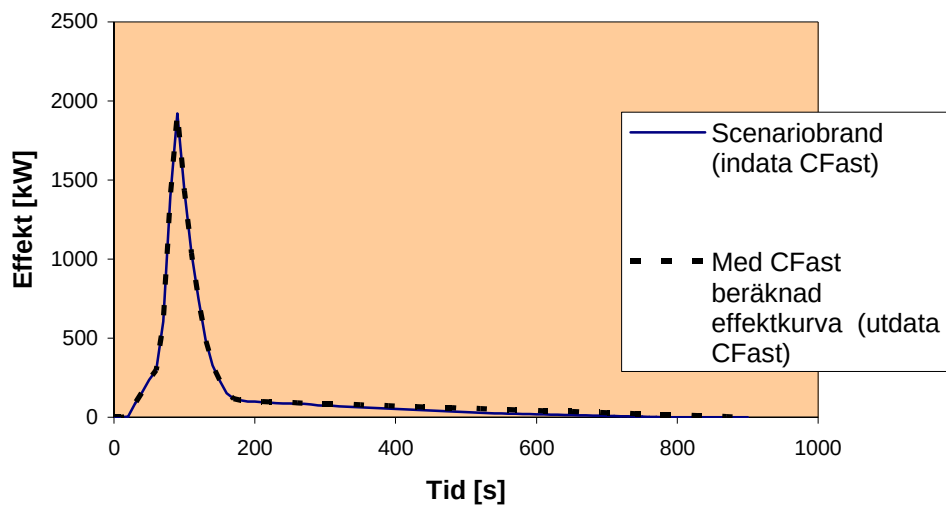
Figur 8.2 Översikt över scenariot

I figur 8.2 ovan demonstreras var den tänkta branden startar. Dimensionerna på brandrummet, rum 44, är 10×6 m och rummet har en genomsnittlig takhöjd på 4,2 m. Dörrbredden mellan rum 44 och 45 är 1,0 m och mellan rum 43 och 44 är den 1,2 m.

8.2.2 Scenariobrand

Branden antas starta i julgranen med ett levande ljus som antändningskälla. Scenariobranden är tagen från experimentella fullskaleförsök gjorda vid National Institute for Standards and Technology (NIST 2007²) för att erhålla ett så troligt scenario som möjligt. För en djupare beskrivning för framtagning av effektkurvan, se bilaga D.1. Effektkurvan visas nedan i figur 8.3. Ingen skillnad kan urskiljas mellan kurvorna för indata och utdata vilket beror på att ventilationskontroll inte uppstår (se även bilaga F.1).

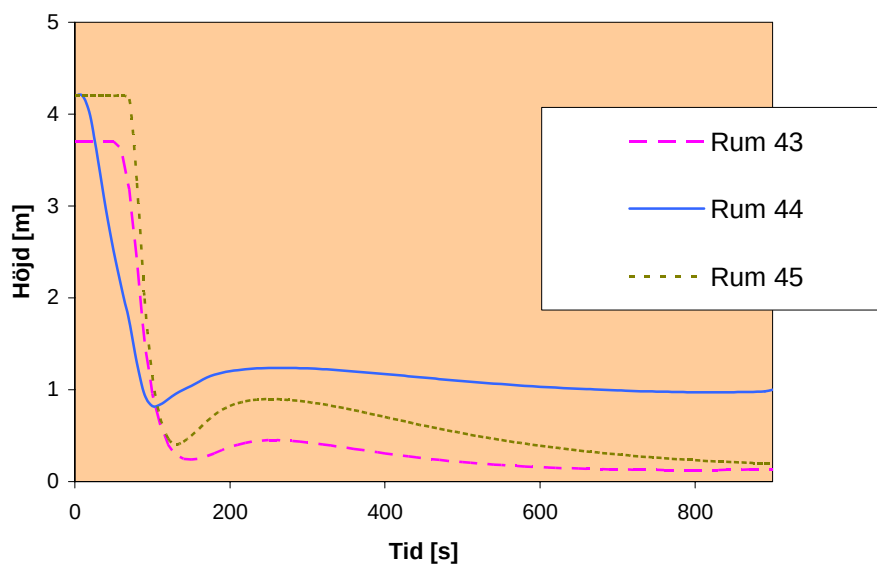
² NIST, <http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/fire00/art147.html>, hämtad 2007-10-15



Figur 8.3 Framtagen effektutvecklingskurva för brand i matsalen jämfört med den med CFast beräknade kurvan.

8.2.3 Kritiska förhållanden enligt beräkningar med CFast

Gränsvärden för kritiska förhållanden beskrivs i kap 7.1.1. Enligt beräkningarna med CFast uppstår kritiska förhållanden endast enligt kriteriet för brandgaslagrets höjd inom de 15 minuter som simulerats. Se tabell 8.1 och figur 8.4.



Figur 8.4 Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden

Parametrar som inte uppnår kritiskt förhållande inom 15 min redovisas inte i tabellen.

Tabell 8.1 Tid till kritiska förhållanden

Rum	Brandgaslagrets höjd
43	1 min 25 s
44	1 min
45	1 min 30 s

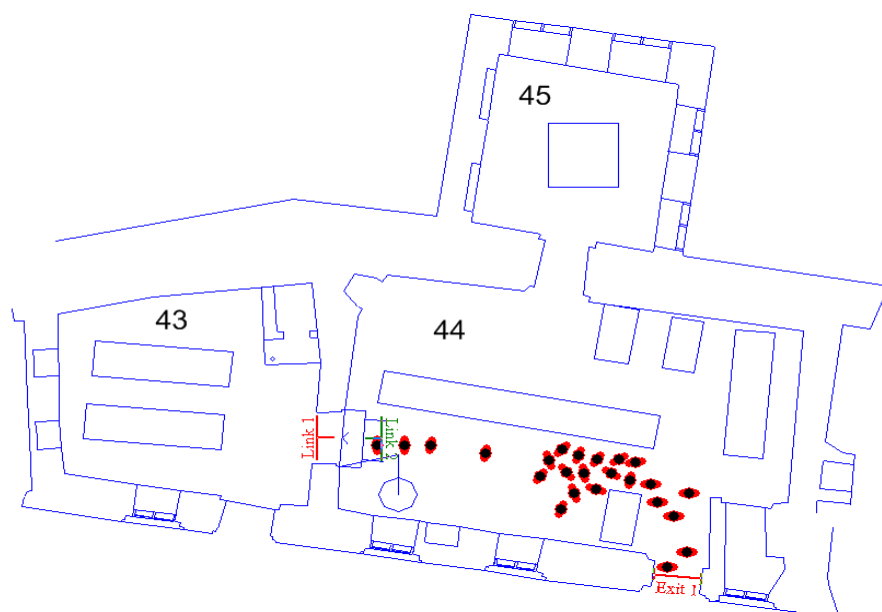
8.2.4 Förutsättningar och resultat från Simulex

Simuleringen i Simulex utfördes enligt följande:

- Totalt 70 personer i lokalen varav 20 är äldre, 35 vuxna och 15 barn med gånghastigheter enligt tabell C.2 i bilaga C.3. Fördelningen av personer är ett antagande men avser att skildra ett normalfall för detta scenario.
- Det är 22 personer i rum 43, 45 personer i rum 44 samt 3 personer i rum 45.
- Varseblivningstiden samt besluts- och reaktionstiden antas till 30 s för personerna i rum 43 och 44 eftersom branden antas synas tydligt samt 40 s sekunder för kökspersonalen i rum 45.

Tabell 8.2 Tid för utrymning ur respektive rum

Rum	Total tid för utrymning
43	1 min 5 s
44	1 min 30 s (Total utrymningstid)
45	45 s

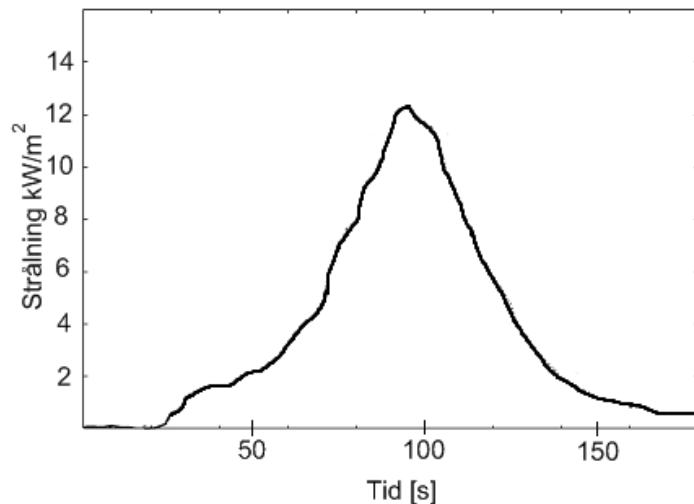


Figur 8.5 Köbildning från simuleringen i Simulex vid tiden då kritiska förhållanden uppstår.

8.2.5 Utvärdering av resultat

I matsalen uppstår kritiska förhållanden redan efter cirka en minut då brandgaslagret sjunkit till kritisk nivå. Enligt simuleringarna i Simulex är den totala utrymningstiden 1 min 30 s för 70 personer (se tabell 8.2). Kritiska förhållanden kommer att uppstå innan alla hunnit utrymma. Figur 8.5 visar utrymningsläget just då kritiska förhållanden uppstår.

Personer som vid utrymningen passerar branden kommer att utsättas för strålning av denna (se figur 8.6). Dock uppnås ej kritiska nivåer av denna strålning.



Figur 8.6 Strålningen från branden som funktion av tiden (NIST 2007³)

8.2.6 Känslighetsanalys

I denna känslighetsanalys fungerar även dörren mot borggården i rum 43 som en utrymningsväg. Scenariobranden antas vara densamma som i huvudscenariot. Effektkurvan visas i figur 8.3, för utförligare beskrivning se bilaga D.1.

Resultat CFast

Tiden till kritiska förhållanden för känslighetsanalysen uppstår vid samma tidpunkter som för huvudscenariot, se tabell 8.1. Figur 8.4 visar utvecklingen för brandgaslagrets höjd.

Resultat Simulex

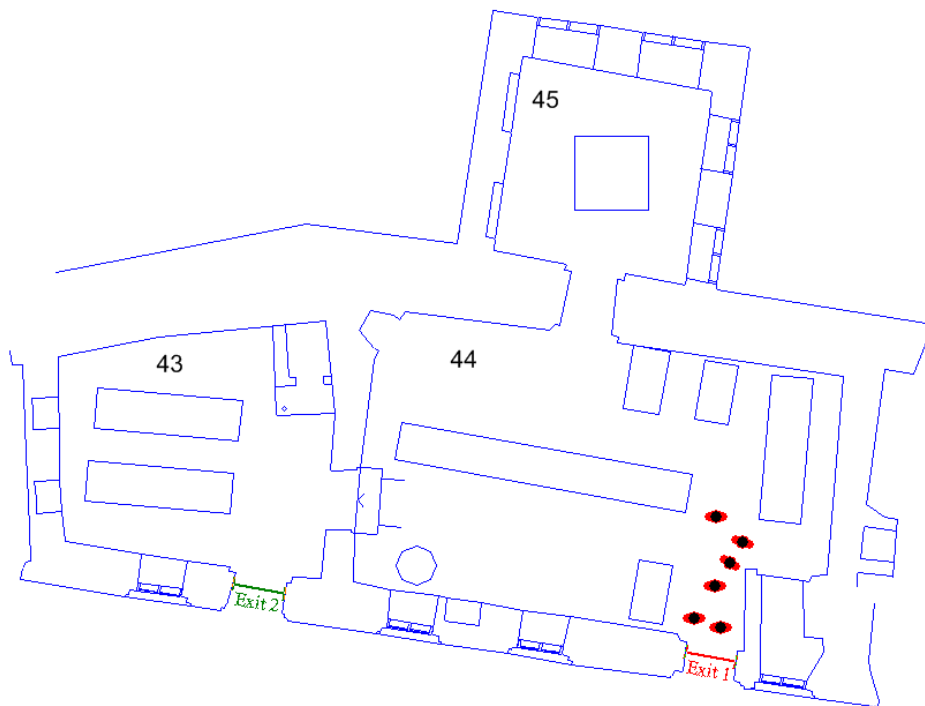
Simuleringen utförs med samma förutsättningar som huvudscenariot förutom att dörren i rum 43 nu används som utrymningsväg.

- Totalt 70 personer i lokalen varav 20 är äldre, 35 vuxna och 15 barn med gånghastigheter enligt tabell C.2 i bilaga C.3. Fördelningen av personer är ett antagande men avser att skildra ett normalfall för detta scenario.
- Det är 22 personer i rum 43, 45 personer i rum 44 samt 3 personer i rum 45.
- Varseblivningstiden samt besluts- och reaktionstiden antas till 30 s för personerna i rum 43 och 44 eftersom branden antas synas tydligt samt 40 s sekunder för kökspersonalen i rum 45.

Tabell 8.3 Tid för utrymning ur respektive rum

Rum	Total tid för utrymning
43	50 s
44	1 min 5 s (Total utrymningstid)
45	35 s

³ NIST, <http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/fire00/art147.html>, hämtad 2007-10-15



Figur 8.7 Köbildning från simuleringen i Simulex vid tiden då kritiska förhållanden uppstår.

Utvärdering av resultat

Känslighetsanalysen visar att även då dörren i rum 43 används som utrymningsväg uppstår kritiska förhållanden innan alla hunnit utrymma matsalen. Det är sex personer kvar i matsalen då brandgaslagret sjunkit till kritisk nivå (se figur 8.7).

8.3 Anlagd brand i skattkammare (rum 84)

Ett brandscenario i skattkammaren riskerar att få stora konsekvenser med tanke på rummets utformning samt att brandbelastningen i rummet är stor. Vid brand i skattkammaren antas hela slottet vara öppet och människor befinner sig på samtliga våningsplan.

8.3.1 Översikt

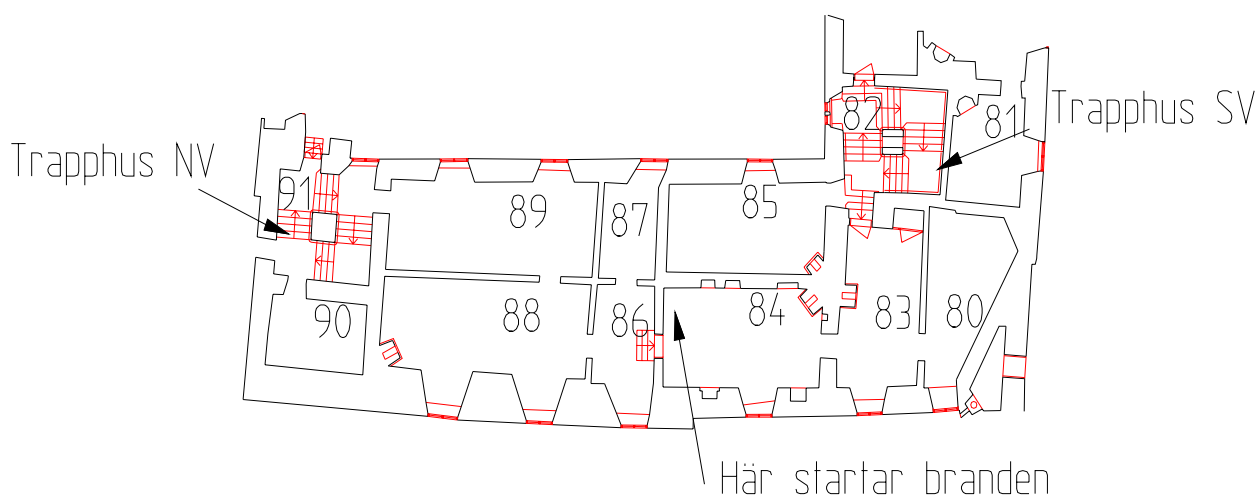
Skattkammaren ligger på plan 2 och består av ett antal utställningsrum med glasmontrar där värdefulla föremål visas. Denna del är öppen för rundvandring. Rum 84, där branden antas starta, har låg takhöjd och alla ytskikt är av brännbart material. Golv och tak består av massivt trä och längs väggarna hänger icke-flamskyddade draperier (se figur 8.8). Dimensionerna på brandrummet är 6,8×5,3 m och takhöjden är 2,2 m. Det finns säkerhetsfönster i skattkammaren för att förhindra stöld. Mellan rummen i skattkammaren är dörrarna avhängda,

måtten på öppningarna är 0,9×2,0 m. Dörrarna som leder ut till var och ett av trapphusen har en bredd på 0,9 m.

Vad gäller utrymning kan denna ske åt två håll där man via ett antal rum leds ut till antingen trapphus NV eller SV (se figur 8.9). Den stora problematiken bedöms vara brandgasspridning till trapphusen som försvårar utrymning från planen ovanför. I scenariot är dörren till trapphus SV öppen eftersom denna saknar automatisk dörrstängare, medan dörren till trapphus NV är magnetuppställd och stängs då brandlarmet aktiveras (se figur 8.9).



Figur 8.8 Skattkammaren, i vänstra kanten antas branden starta



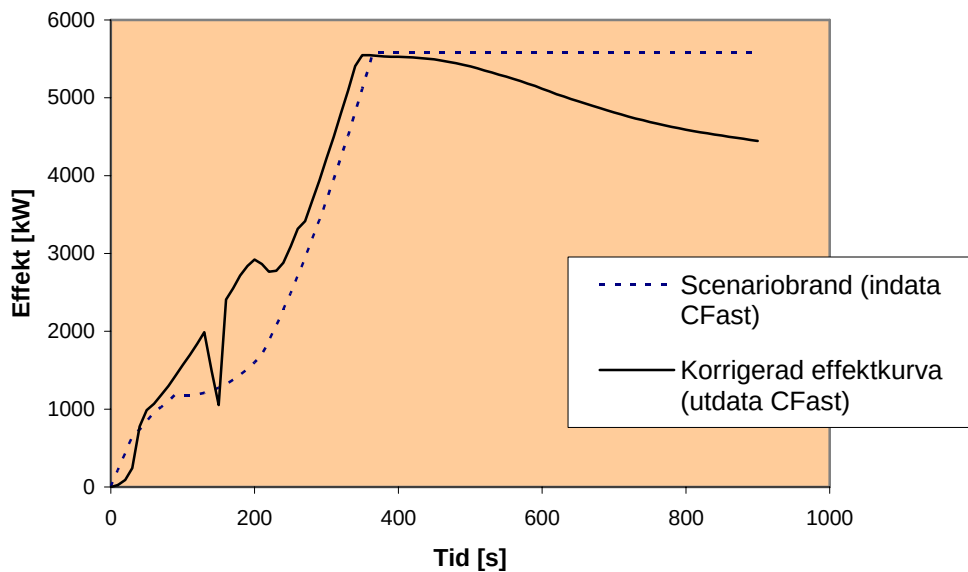
Figur 8.9 Översikt över scenariot

8.3.2 Scenariobrand

En anlagd brand startar i rum 84 i de draperier som hänger längs väggarna. Dessa genererar en mycket snabb effektutveckling enligt experimentella fullskaleförsök (Särdqvist 1993). Den höga strålningsintensiteten från flammorna och brandgaserna antänder senare även taket som antas brinna under en längre tid. Effektutvecklingen för taket antas tillväxa enligt en $\alpha \cdot t^2$ kurva med tillväxthastigheten *fast*. För djupare beskrivning av effektkurvan, se bilaga D.2. Då temperaturen i det övre brandgaslagret når cirka 410 °C antas att de två fönster i skattkammaren går sönder. Detta bedöms vara ett konservativt antagande eftersom den temperaturen normalt antas ligga mellan 290-380°C⁴. Enligt beräkningar i CFast går de sönder 150 s in i brandförloppet.

Figur 8.10 illustrerar skillnaden mellan den konstruerade och den av simuleringsprogrammet framräknade effektutvecklingen. Effektutvecklingskurvorna skiljer sig åt efter cirka 150 s då de båda säkerhetsfönstren går sönder och efter drygt 300 s vilket beror på att CFast antar att ventilationskontroll uppstår i brandrummet. Handberäkningar i bilaga F.2 visar på att detta inte inträffar. Skillnaden är dock inte avgörande ur utrymningssynpunkt.

⁴ Fire Science and Technology Inc., <http://www.doctorfire.com/glass.html>, hämtad 2007-10-02



Figur 8.10 Framtagen effektutvecklingskurva jämfört med den av CFast korrigerade kurvan

8.3.3 Kritiska förhållanden enligt beräkningar med CFast

Gränsvärden för kritiska förhållanden nämns tidigare i kap 7.1.1. Den kritiska parametern för scenariot är huvudsakligen brandgaslagrets höjd. Tiden då kritiska förhållanden uppstår enligt gränsvärdet för brandgaslagrets höjd i trapphusen (rum 82 och 91) avser då kritiska förhållanden uppstår för plan 2.

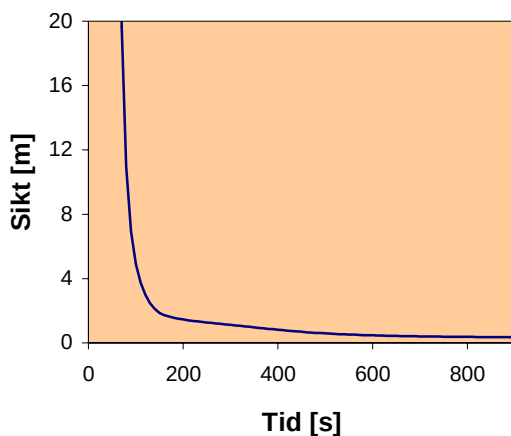
Parametrar som inte uppnår kritiskt förhållande inom 15 min redovisas inte i tabellen.

Tabell 8.4 Tid till kritiska förhållanden

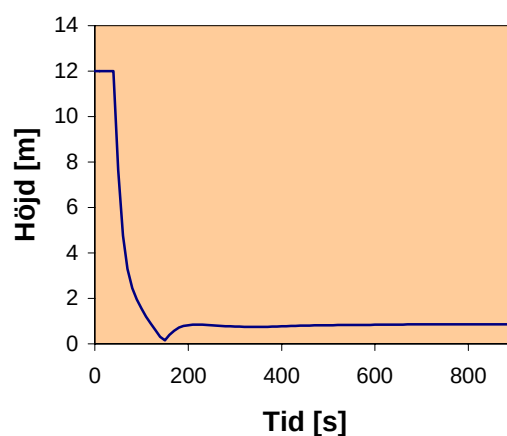
Rum	Brandgaslagrets höjd	Temperatur
82 Trh SV	1 min 5 s	Ej inom 15 min
83	45 s	Ej inom 15 min
84	30 s	5 min 30 s
86/87	1 min 15 s	14 min
88	2 min 20 s	Ej inom 15 min
89	4 min 20 s	Ej inom 15 min
91 Trh NV	Ej inom 15 min	Ej inom 15 min

I detta scenario där brandgasspridning sker till trapphusen SV (se tabell 8.4) får stora konsekvenser för utrymningen från planen ovanför. Då trapphusen utgör utrymningsvägar är det av stor vikt att även analysera sikten i dessa för att kunna verifiera om utrymning via trapphusen är möjlig eller inte.

CFAST beräknar siktförhållanden utifrån vissa parametrar som styr brandgasproduktionen. Indata är hämtade ur rapporten (Hultquist 2000). Den beräknade tiden till dess att sikten minskat till 10 meter är 80 s i trapphus SV (se figur 8.11). Figur 8.12 visar brandgaslagrets höjd som funktion av tiden i trapphus SV. Enligt beräkningarna i CFAST rökfylls inte det nordvästra trapphuset.



Figur 8.11 Sikten i meter som funktion av tiden



Figur 8.12 Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden

8.3.4 Förutsättningar och resultat från Simulex

Med tanke på att fördelningen samt det totala antalet personer i huvudborgen är svårt att bestämma ger resultaten från Simulex här endast en grov uppskattning av utrymningstiderna.

Simuleringen i Simulex utfördes enligt följande:

- Totalt befinner sig 400 personer i huvudborgen varav 250 är äldre, 100 vuxna och 50 barn med gånghastigheter enligt tabell C.2 i bilaga C.3. Fördelningen av personer är ett antagande men avser att skildra ett normalfall för detta scenario.
- I skattkammardelen (rum 83-89) befinner det sig 55 personer. Den i simuleringen använda personfördelningen för varje rum redovisas i bilaga G.
- Varseblivningstiden samt besluts- och reaktionstiden antas vara 30 s i skattkammardelen. I övriga plan på slottet antas tiden till 90 s.

Tiderna motiveras enligt följande:

Eftersom brandförloppet inledningsvis är extremt snabbt i skattkammaren kommer också branden att upptäckas tidigt här. Utrymningslarmet antas aktivera efter 10 s eftersom det sitter rökdetektorer i taket som enligt beräkningar med CFast aktiverar efter den tiden. I övriga delar av slottet antas att beslutsunderlaget för utrymning utgörs av att larmet varit aktiverat i 80s samt att utbildad personal på varje plan inlett utrymningen. Detta gör att tiden kan antas till 90s vilket annars kan anses som en något kort vid jämförelse med (Frantzich 2001).

Tabell 8.5 Tid för utrymning ur respektive rum

Rum	Total tid för utrymning, skattkammardel
83	40 s
84	Inga personer befinner sig i detta rum
86/87	45 s
88	1 min 10 s
89	1 min 30 s

Personer som befinner sig i närheten till trapphus SV (rum 80-84) hinner använda detta eftersom utrymningen från rummen tar 40 s och sikten har minskat till kritisk nivå i trapphuset vid 80 s. Resterande personer antas välja trapphus NV och NO som utrymningsväg eftersom deras varseblivningstid samt besluts- och reaktionstid överstiger 80 s. Detta medför att trapphus SV är utesluten som utrymningsväg.

Den totala utrymningstiden för scenariot är 7 min .

8.3.5 Utvärdering av resultat

På grund av den snabba effektutvecklingen från draperierna uppstår kritiska förhållanden enligt CFast redan efter drygt 30 s i brandrummet (rum 84). Marginalen för säker utrymning från rum 83 är endast 5 s vilket inte är tillfredsställande. Detta visar på att åtgärder behöver vidtas för att förlänga tiden till kritiska förhållanden.

8.3.6 Känslighetsanalys

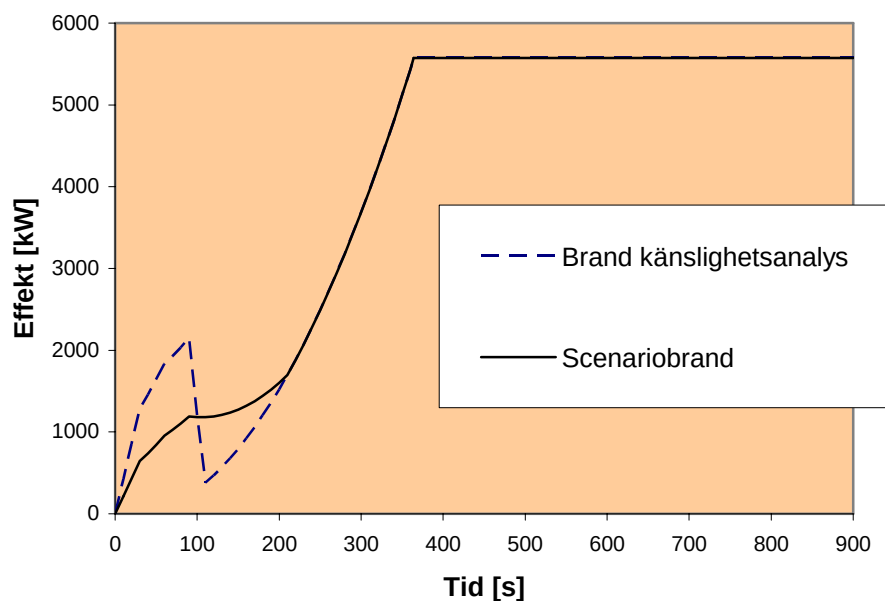
Detta scenario är komplicerat både ur brand- och utrymningssynpunkt. Därför delas känslighetsanalysen in i tre delar.

I **del 1** ändras scenariot så att personen antänder på två ställen istället för ett. Detta kommer att påskynda brandförloppet och generera en högre effektutveckling än tidigare i huvudscenariot. Effektutvecklingskurva med ovanstående modifikation visas nedan (se figur 8.13).

I **del 2** bibehålls brandscenariot för del 1 men med tillägget att dörren till trapphus NV är öppen. Denna är magnetuppställd och ska stänga vid brand, men om denna funktion fallerar fås ett scenario med två trapphus rökfyllda. Även tillförseln av syre kan komma att förändra scenariot (se figur 8.14).

I **del 3** behandlas utrymningsproblematiken för del 2 eftersom detta scenario förvärrar utrymningssituationen från de övre planen.

Del 1 Resultat CFast



Figur 8.13 **Del 1**, effektutvecklingskurva för brand då antändning sker på två olika punkter i skattkammaren jämfört med huvudscenariot

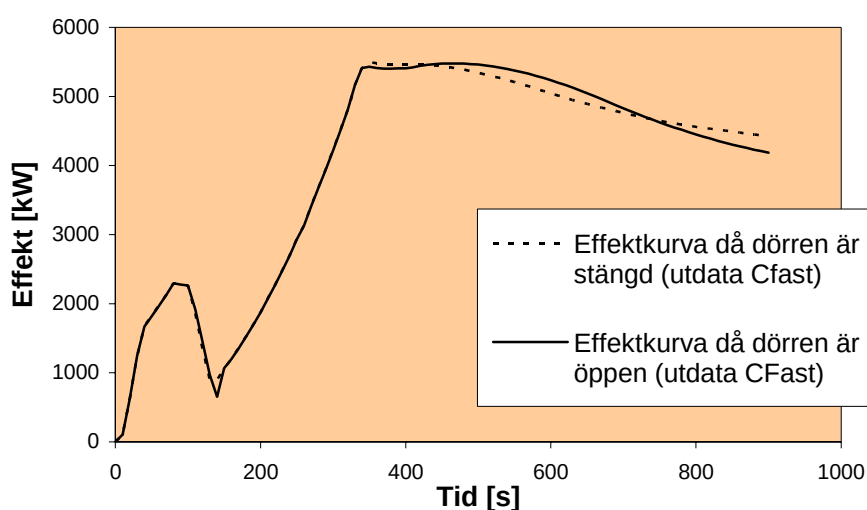
I figur 8.13 ovan visas skillnaden på effektkurvorna i huvudscenario och känslighetsanalys. Effektutvecklingskurvan för känslighetsanalysens brand baseras som tidigare nämnt på att tyget antänds på två ställen momentant och beräkningarna för framtagandet av denna kan ses i bilaga D.2. Efter drygt 200 s korrelerar kurvorna vilket beror på att det då endast är trätaget som brinner.

Tabell 8.6 Tid till kritiska förhållanden

Rum	Strålning	Brandgaslagrets höjd	Temperatur
82 (Trh SV)	Ej inom 15 min	1 min	Ej inom 15 min
83	Ej inom 15 min	35 s	Ej inom 15 min
84	28 s	14 s	5 min 30 s
86/87	Ej inom 15 min	55 s	13 min 40 s
88	Ej inom 15 min	1 min 50 s	Ej inom 15 min
89	Ej inom 15 min	3 min 40 s	Ej inom 15 min
91 (Trh NV)	Ej inom 15 min	Ej inom 15 min	Ej inom 15 min

CFast beräknar siktförhållanden utifrån vissa parametrar som styr brandgasproduktionen. Indata är hämtade ur rapporten (Hultquist 2000), se tabell C.1. Den beräknade tiden till dess att sikten minskat till 10 meter är 60 s i det sydvästra trapphuset. Enligt beräkningarna i CFast rökfylls inte det nordvästra trapphuset.

Del 2 Resultat CFast

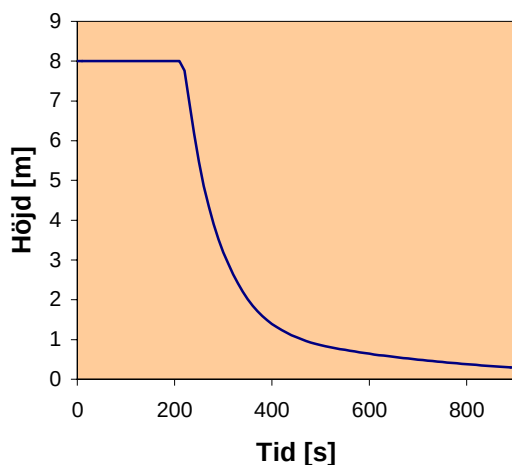


Figur 8.14 **Del 2**, effektutvecklingskurva för brand då antändning sker på två olika punkter i skattkammaren och dörren till trapphus NV är öppen respektive stängd

Tabell 8.7 Tid till kritiska förhållanden

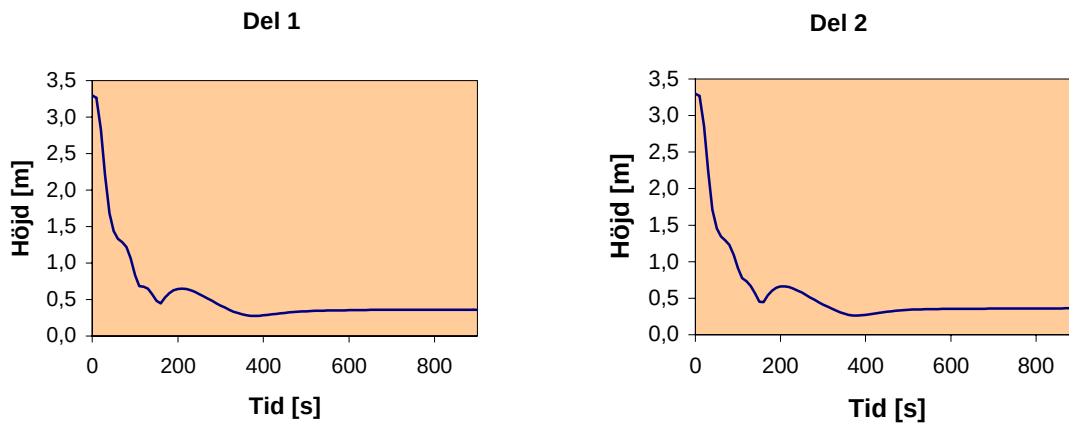
Rum	Strålning	Brandgaslagrets höjd	Temperatur
82 (Trh SV)	Ej inom 15 min	1 min	Ej inom 15 min
83	Ej inom 15 min	35 s	Ej inom 15 min
84	27 s	14 s	5 min 40 s
86/87	Ej inom 15 min	50 s	Ej inom 15 min
88	Ej inom 15min	1 min 35 s	Ej inom 15 min
89	Ej inom 15 min	3 min 50 s	Ej inom 15 min
91 (Trh NV)	Ej inom 15 min	6 min	Ej inom 15 min

Den beräknade tiden till dess att sikten minskat till 10 meter är 60 s i trapphus SV och 7 min 40 s i trapphus NV enligt simuleringar i CFast. Figur 8.15 visar brandgaslagrets höjd som funktion av tiden i trapphus NV.



Figur 8.15 Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden

I känslighetsanalysen del 1 och 2 uppstår kritiska förhållanden i rum 83 innan de personer som befinner sig där har hunnit utrymma rummet. Brandgaslagrets höjd sjunker under definierat gränsvärde och därför visas grafer för den parametern som funktion av tiden (figur 8.16)



Figur 8.16 Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden i rum 83. Kurvorna har likartat utseende.

Del 3 Resultat Simulex

Personantalet anses vara det maximala varpå detta inte ändras i känslighetsanalysen.

Vad gäller känslighetsanalys del 2 är skillnaden mot de andra scenarierna att även trapphus NV blir rökfyllt. Detta är ett stort problem vid utrymning från de övre planen. Trots detta antas trapphuset användas vilket motiveras med att det tar lång tid (cirka 6 min) innan det börjar rökfyllas (se figur 8.15) samt att sikten fortfarande understiger kritisk nivå enligt beräkningar med CFast. Den totala utrymningstiden för känslighetsanalys del 1 och del 2 är då fortfarande 7 min. Om trapphus NV inte kan användas som utrymningsväg utan utrymning måste ske via det tredje trapphuset NO blir utrymningstiden istället 9 min. Utrymningen sker fortfarande inte tillfredsställande eftersom för att ta sig till trapphus NO från till exempel Kungssalen måste man på samma plan passera genom ett av trapphusen NV eller SV vilka är mer eller mindre rökfyllda. Detta underbygger än mer det faktum att åtgärder måste vidtas för att säker utrymning ska kunna ske.

Utrymningstiderna för skattkammardelen är samma som för huvudscenariot men tiderna redovisas igen för tydlighetens skull.

Tabell 8.8 Tid för utrymning ur respektive rum

Rum	Total tid för utrymning, skattkammardel
83	40 s
84	Inga personer befinner sig i detta rum
86/87	45 s
88	1 min 10 s
89	1 min 30 s

8.4 Brand i Kungssalen (rum 160)

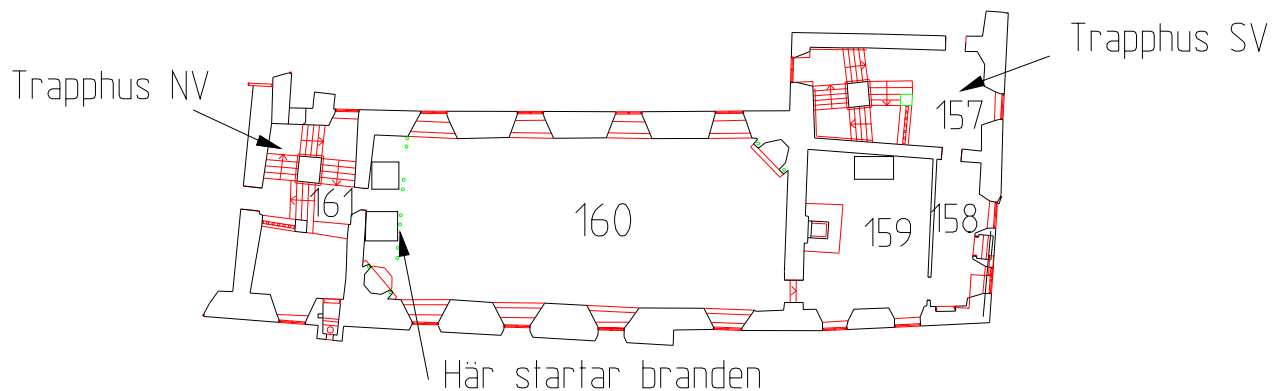
I Kungssalen begränsas idag personantalet till 150 personer. Det finns en önskan från Stiftelsen Läckö Slott att utöka detta antal, framför allt vid speciella evenemang. Detta har tagits hänsyn till i känslighetsanalysen där utrymning med olika personantal redovisas.

8.4.1 Översikt

Kungssalen är en stor samlingssal på plan 3 med plats för cirka 200-250 sittande personer. Här anordnas musikaliska uppträdanden som till exempel operaföreställningar. Scenariot har valts med tanke på det möjligt höga personantalet och utrymningsproblematiken i samband med detta. Vid dessa föreställningar används teknisk utrustning som vid elfel skulle kunna förorsaka en brand. På ena kortsidan finns en stor balkong av massivt trä vid vilken musikanterna står (se figur 8.17). Det är även här som den tänkta elektroniken är monterad. Väggar, tak och golv består av olika typer av brännbart material. På väggarna sitter oljemålningar målade på någon typ av målarduk och bakom dessa består väggarna av stenmaterial. Tak och golv är av trä och taket är även klätt med oljemålningar. I Kungssalen finns två utrymningsvägar, en rakt under balkongen och en i den bakre delen vilket också är vägen in för åskådarna. Möbleringen består i huvudsak av ihopkopplade stolar samt musikanternas utrustning.



Figur 8.17 Balkongen där branden startar. Mitt i balkongen finns utrymningsvägen mot trapphus NV vilken antas bli blockerad.



Figur 8.18 Översikt över scenariot

I figur 8.18 ovan demonstreras var den tänkta branden startar. Dimensionerna på brandrummet (rum 160) är $21 \times 8,5$ m och rummet har en takhöjd på 4,6 m.

Kungssalen ligger i direkt anslutning till trapphus NV och utgången till detta har en dörrbredd på $2,0 \times 1,0$ m. De dörröppningar som måste passeras för att ta sig till trapphus SV har bredden 1,0 m.

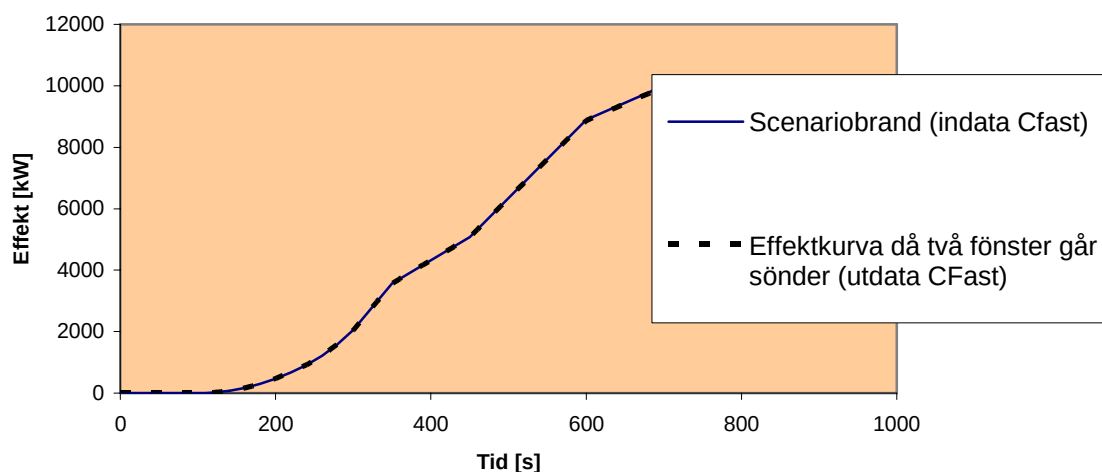
8.4.2 Scenariobrand

Branden startar under en föreställning i någon typ av elektrisk utrustning som är monterad på balkongen.

Branden gör att den främre utrymningsvägen vid scenen blockeras och utrymning är endast möjlig genom den bakre utgången. Den konstruerade effektutvecklingskurvan beskriver ett brandförlopp som startar med ett elfel i utrustningen på balkongen på cirka 2 m höjd. Eftersom balkongen totala höjd är 3,2 m approximeras scenariobranden till 1,2 m hög trave med lastpallar. Detta bedöms vara ett rimligt men konservativt antagande. Med tanke på material och tänkt antändningskälla antas det föreligga en förbrinntid på 100 s innan branden börjar tillväxa (Karlsson, Quintiere 2000). Då flammorna når taket antänds även detta vilket beskrivs med en $\alpha \cdot t^2$ kurva. Dessa kurvor adderas sedan för att få en kurva över det totala brandförloppet. För detaljerad beräkningsgång, se bilaga D.3. Då temperaturen i det övre brandgaslagret når cirka 250°C antas att de två fönster som är närmast branden går sönder. Detta bedöms vara ett konservativt antagande eftersom den temperaturen normalt antas ligga mellan $150\text{--}200^\circ\text{C}$ (Fire Science and Technology Inc 2007⁵).

Eftersom ingen skillnad föreligger mellan kurvorna för indata och utdata i figur 8.19 visar simuleringarna med CFast att ingen ventilationskontroll uppstår.

⁵ Fire Science and Technology Inc., <http://www.doctorfire.com/glass.html>, hämtad 2007-10-02



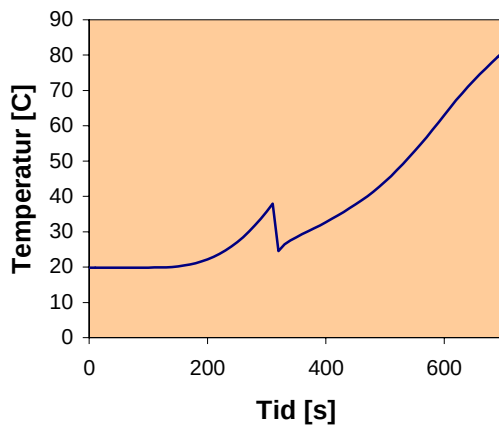
Figur 8.19 Framtagen effektutvecklingskurva för branden i Kungssalen jämfört med den med CFast korrigerade kurvan.

8.4.3 Kritiska förhållanden enligt beräkningar med CFast

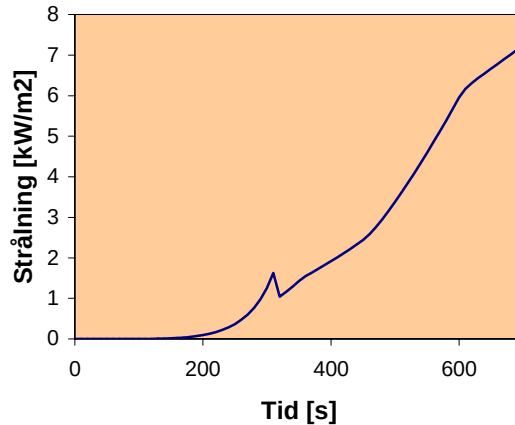
Gränsvärden för kritiska förhållanden nämns i kap 7.1.1. Brandgasspridning förekommer till närliggande rum men leder ej till kritiska förhållanden inom 12 min, därför redovisas endast temperatur och strålning.

Tabell 8.9 Tid till kritiska förhållanden

Rum	Strålning	Temperatur
157	Ej inom 12 min	Ej inom 12 min
158	Ej inom 12 min	Ej inom 12 min
159	Ej inom 12 min	Ej inom 12 min
160	7 min 30 s	11 min 30 s
161	Ej inom 12 min	Ej inom 12 min



Figur 8.20 Temperaturen i det undre brandgaslagret som funktion av tiden i rum 160.



Figur 8.21 Strålningen som funktion av tiden i rum 160.

Parametrarna strålning och temperatur är de som uppnår definierade gränsvärden för kritiska förhållanden i scenariot inom simulerad tid. Figur 8.20 och 8.21 visar utvecklingen för dessa med avseende på tiden.

8.4.4 Förutsättningar och resultat från Simulex

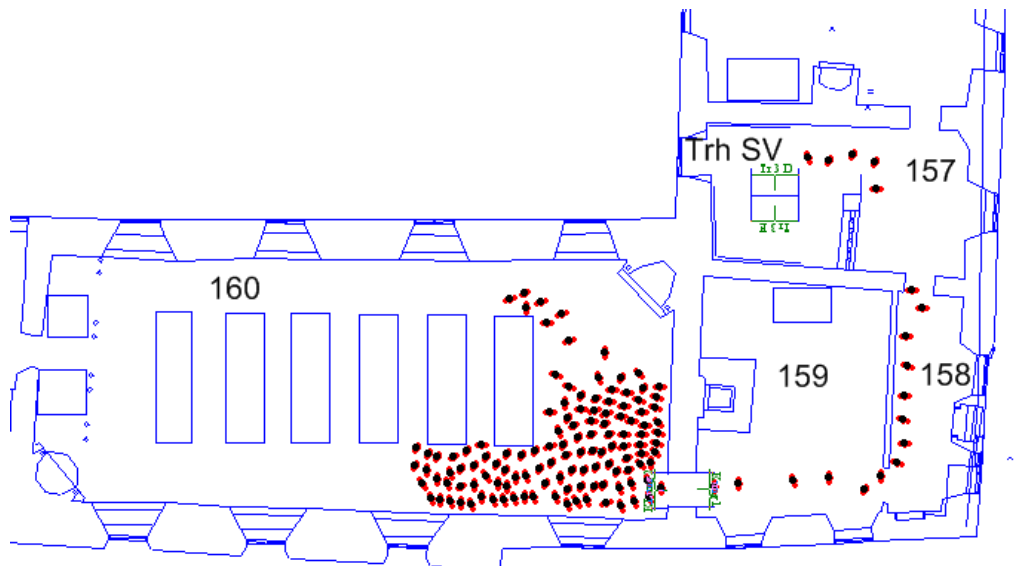
Simuleringen i Simulex utfördes enligt följande:

- Totalt befinner sig 150 personer i lokalen varav 40 är vuxna, 100 äldre och 10 barn med gånghastigheter enligt tabell C.2 i bilaga C.3. Fördelningen av personer är ett antagande men avser att skildra ett normalfall för detta scenario.
- Varseblivningstiden samt besluts- och reaktionstiden antas vara 2 min 30 s. Detta motiveras med att det finns brandutbildad personal i rummet som leder utrymningen. Dessutom är branden storlek 125 kW vid denna tidpunkt och bedöms därmed synas tydligt. Eftersom transporttid för brandgaserna till och känslighet för det samplande systemet är okänd är ingen tid till detektion fastställd.

Vid utrymning med 150 personer erhålls följande utrymningstider.

Tabell 8.10 Tid för utrymning ur respektive rum

Rum	Total tid för utrymning
157	8 min (total utrymningstid)
158	6 min 15 s
159	6 min
160	5 min 10 s
161	Ingen utrymning till 161



Figur 8.22 På grund av den smala utrymningsvägen uppstår köbildning, dock hinner alla utrymma innan kritiska förhållanden uppstår.

8.4.5 Utvärdering av resultat

Då man ställer tid för utrymning mot tid till kritiska förhållanden visar det sig att det finns god marginal för säker utrymning. Enligt beräkningar med CFast uppstår kritiska förhållanden i brandrummet (rum 160) efter drygt 7 min 30 s då strålningen når kritisk nivå (se tabell 8.9). Simulerad utrymning med Simulex visar att det tar cirka 5 min 10 s att utrymma Kungssalen (rum 160) och 8 minuter att utrymma hela slottet (se tabell 8.10).

8.4.6 Känslighetsanalys

Denna känslighetsanalys behandlar hur brandscenariot beror av syretillgången. Syretillgången ändras beroende på hur många fönster som går sönder i scenariot.

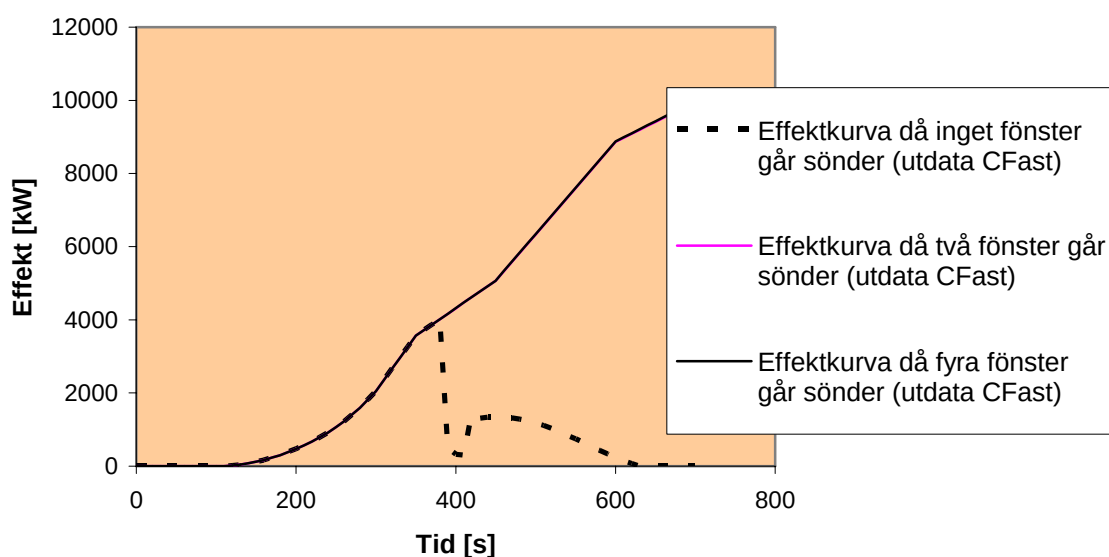
Analysen undersöker även vad två utrymningsvägar har för inverkan vid utrymning. Anledningen till att två utrymningsvägar erhålls är att scenen antas flytta till mitten vid ena långsidan. Analysen delas in i tre delar.

Del 1 simulerar brandförloppet då fönstren är intakta.

Del 2 simulerar då fyra fönster går sönder. Den framtagna effektutvecklingskurvan för huvudscenariot används även i denna analys. Däremot kan kurvan ändras i beräkningar med CFast beroende på syretillgång (Jones med flera 2005).

Del 3 simulerar utrymning med hänsyn till två utrymningsvägar samt varierande personantal.

I scenariot där inga fönster går sönder (del 1) uppstår ventilationskontroll efter cirka 370 s enligt simulering i CFast. Detta kan jämföras med resultat från handberäkningar i vilka ventilationskontroll beräknas uppstå efter cirka 400 s (se bilaga F.3). Effektkurvan från huvudscenariot och då fyra fönster går sönder (del 2) sammanfaller, se figur 8.23.



Figur 8.23 Effekttutveckling från simuleringar med CFast. Kurvorna för två och fyra fönster sammanfaller

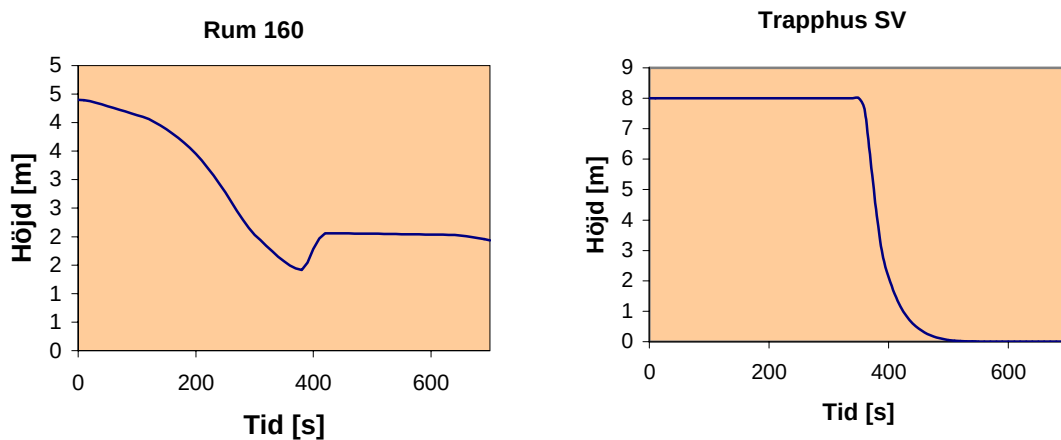
Del 1 Resultat CFast

Parametrar som inte uppnår kritiskt förhållande inom 12 min redovisas inte i tabellen.

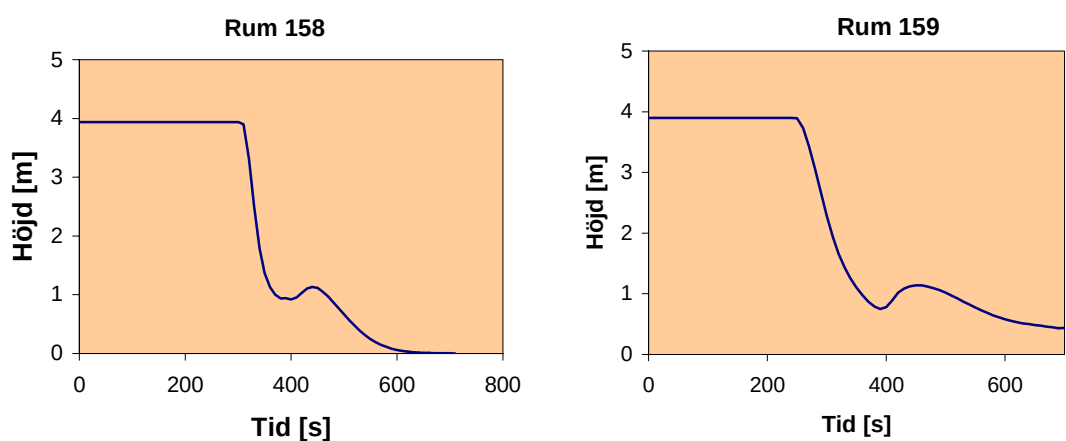
Tabell 8.11 Tid till kritiska förhållanden då inga fönster går sönder

Rum	Strålning	Brandgaslagrets höjd
157(trapphus SV)	Ej inom 12 min	6 min 35 s
158	Ej inom 12 min	5 min 35 s
159	Ej inom 12 min	5 min
160 (Kungssalen)	5 min 20 s	5 min
161 (trapphus NV)	Ej inom 12 min	Ej inom 12 min

I känslighetsanalys del 1 uppstår kritiska förhållanden i nästan samtliga utrymmen på aktuellt plan inom simulerad tid. Brandgaslagrets höjd är det som i samtliga fall utgör kritiskt förhållande tidigast. Därför visas detta i grafer för respektive rum (figur 8.24 och 8.25).



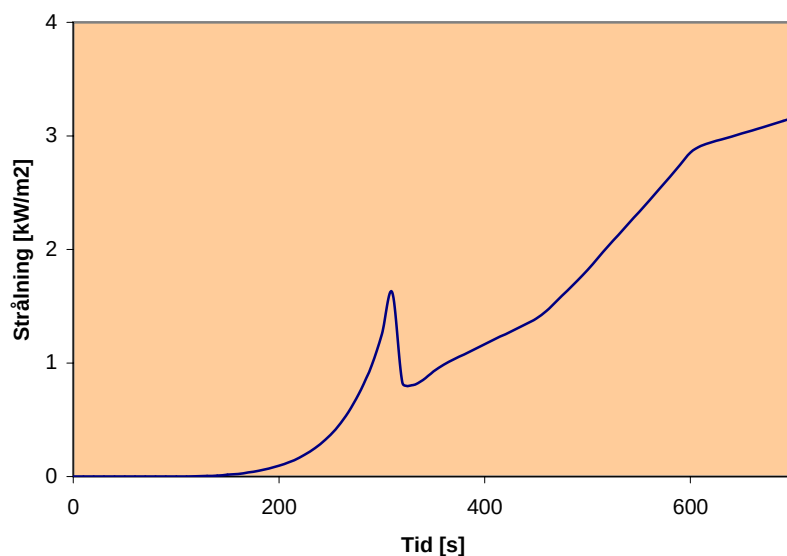
Figur 8.24 Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden.



Figur 8.25 Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden.

Del 2 Resultat CFast

I känslighetsanalys del 2 uppstår kritiska förhållanden endast i rum 160 inom 12 min (se tabell 8.12). Nedan visas strålning i rum 160 från brandgaslagret mot golvet.



Figur 8.26 Strålning i rum 160 som funktion av tiden.

Parametrar som inte uppnår kritiskt förhållande inom 12 min redovisas inte i tabellen.

Tabell 8.12 Tid till kritiska förhållanden då fyra fönster går sönder.

Rum	Strålning
157 (trapphus SV)	Ej inom 12 min
158	Ej inom 12 min
159	Ej inom 12 min
160 (Kungssalen)	9 min 30 s
161 (trapphus NV)	Ej inom 12 min

Del 3 Förutsättningar och resultat Simulex

Simuleringen i Simulex har utförts enligt följande:

- Simulering med 150 personer i Kungssalen varav 40 är vuxna, 100 äldre och 10 barn med gånghastigheter enligt tabell C.2 i bilaga C.3. Fördelningen av personer är ett antagande men avser att skildra ett normalfall för detta scenario. Båda utrymningsvägarna är tillgängliga.
- Antalet i Kungssalen har ökat till 200 personer eftersom stiftelsen Läckö Slott har önskemål om ett större personantal. Detta simuleras med både en och två utrymningsvägar. Personerna är fördelade med 50 vuxna, 140 äldre och 10 barn med gånghastigheter enligt tabell C.2 i bilaga C.3. Fördelningen av personer är ett antagande men avser att skildra ett normalfall för detta scenario.
- Varseblivningstiden samt besluts- och reaktionstiden antas vara 2 min 30 s vilket är samma resonemang som i huvudscenariot.

Vid utrymning med 150 personer och båda utrymningsvägarna tillgängliga erhålls följande utrymningstider:

Tabell 8.13 Tid för utrymning med två utrymningsvägar ur respektive rum

Rum	Total tid för utrymning
157	6 min 30 s (total utrymningstid)
158	5 min 10 s
159	4 min 50 s
160	4 min 15 s
161	5 min 30 s

Vid utrymning av 200 personer erhålls följande utrymningstider med en, respektive två utrymningsvägar.

Tabell 8.14 Tid för utrymning med en utrymningsväg ur respektive rum

Rum	Total tid för utrymning
157	9 min 30 s (total utrymningstid)
158	7 min 30 s
159	7 min 20 s
160	6 min 5 s
161	Ingen utrymning till 161

Tabell 8.15 Tid för utrymning med två utrymningsvägar ur respektive rum

Rum	Total tid för utrymning
157	7 min 30 s (total utrymningstid)
158	5 min 50 s
159	5 min 35 s
160	4 min 45 s
161	6 min 10 s

9 Diskussion

Stiftelsen Läckö Slott arbetar aktivt med förebyggande åtgärder mot brand. Bland annat finns en detaljerad manual som reglerar allt från utbildning till instruktioner vid heta arbeten. Instruktionerna och utbildningen för personalen vid brand är av yttersta vikt vid en eventuell utrymning. Då till exempel beslutstiden för utrymmande till stor del antas att personalen aktivt informerar besökarna samt initierar utrymningen är det viktigt att detta poängteras för personalen. Det är även viktigt att personalen har alla hjälpmedel som behövs för att snabbt kunna utföra sina uppgifter, till exempel kommunikationsutrustning och megafon, och att regelbunden övning med detta sker. Personalens eventuella släckinsatser bortses ifrån för att erhålla ett värsta troliga scenario.

Varseblivningstiden samt besluts- och reaktionstiden är svårskattade faktorer. De framtagna tiderna är delvis baserade på verkliga försök (Frantzich 2001) samt antagandet att personalen aktivt medverkar vid utrymningen.

Även effektkurvorna är konstruerade utifrån en kombination av utförda experiment och ingenjörsmässiga bedömningar.

9.1 Brand i matsalen

Vissa approximationer har gjorts för att underlätta simuleringarna i CFast. Rummen har omformats till lådformiga geometrier, därmed har i simuleringarna bortsetts från det välvda taket. Dock har rummen samma volym och golvyta som i verkligheten.

Dörren mot borggården i rum 43 antas vara blockerad i huvudscenariot eftersom den vanligtvis är låst och saknar utrymningsskylt. Personer som befinner sig i rum 43 tvingas utrymma via rum 44 och därmed passerar de nära branden. I verkligheten tvekar troligtvis personer att passera nära en brinnande gran, vilket skulle kunna öka utrymningstiden något. Samtidigt är granen placerad på en av de sämsta ställena ur utrymningssynpunkt.

Effektkurvan är konstruerad efter försök utförda av (NIST 2007⁶) och baseras på att granen är torr och därmed lättantändlig vilket ger ett troligt värsta scenario.

Utrymning ur lokalen är problematisk i huvudscenariot och känslighetsanalysen visar att säker utrymning inte kan ske trots en extra utrymningsväg i rum 43. Detta visar att vissa åtgärder bör vidtas för att säkerställa personsäkerheten, se kapitel 10. Dock kan sägas att i känslighetsanalysen är endast ett fåtal personer kvar och de befinner sig nära utgången. Då det endast är brandgaslagrets höjd som har nått en kritisk nivå är det troligt att de hinner utrymma utan att komma till skada.

9.2 Anlagd brand i skattkammaren

För att möjliggöra beräkningar i CFast krävdes ett antal approximationer. Effekttutvecklingen för draperierna är baserad från experiment där 3×3 m fritt hängande bomullsgardin eldades. I skattkammaren finns cirka 17×2,2 m tyg längs väggarna. Detta resulterar i en

⁶ NIST, <http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/fire00/art147.html>, hämtad 2007-10-15

effektutvecklingskurva som bygger på ett antal antaganden vilka beskrivs i bilaga D.2. Draperierna antas vara tillverkade av bomull (Andersson J-E, 2007). Om detta antagande är felaktigt kan det bli stora skillnader på dess effektutveckling.

Strålningen från flammorna antänder trätaget som antas tillväxa enligt en αt^2 -kurva med tillväxthastigheten *fast*. Detta antagande är antagligen korrekt i början av brandförloppet men relativt snabbt kommer brandgaser att omsluta taket vilket begränsar syretillförseln och borde därmed resultera i att effektutvecklingen avtar.

Att branden antas vara anlagd baseras på att slottet blivit utsatt för två försök tidigare. Dessa försök har dock inte resulterat i någon brand.

Vid brand på plan 2 i skattkammaren uppstår problem eftersom trapphusen på båda sidor om brandrummet riskerar att bli rökfyllda. I huvudscenariot rökfylls trapphus SV vilket innebär att denna utrymningsväg inte kan användas efter cirka 80 s på grund av dålig sikt. Trots att trapphus SV inte används hinner personerna i övriga delar av slottet utrymma innan kritiska förhållanden uppstår.

I känslighetsanalys 1, vilken innebär en snabbare brandtillväxt minskar tiden till kritiska förhållanden och understiger tiden för utrymning (se tabell 8.5 och 8.6). Åtgärder måste vidtas.

I det tredje och värsta scenariot, känslighetsanalys 2, där dörren till trapphus NV är öppen, börjar även detta trapphus rökfyllas efter cirka 4 min. Enligt beräkningar med CFast blir sikten kritisk (10 m) efter 7 min 40 s. Alla personer har hunnit utrymma inom denna tid, därför används trapphus NV som utrymningsväg i simuleringarna med Simulex. Det bör dock beaktas att för att detta ska vara genomförbart i praktiken tvingas människor att ta sig igenom brandgaserna i trapphuset. Det är svårt att generellt beskriva hur människor beter sig i denna situation. Om någon i ett tidigt skede tar ett tydligt kommando och utrymmer genom det rökfyllda trapphuset kommer troligen fler personer följa efter. Det är dock inte sannolikt att den intuitiva beslutet är att gå mot faran, därför är antagandet om att trapphus NV används som utrymningsväg ytterst osäkert. Alternativet till detta är att personerna istället måste utrymma via trapphus NO men detta bedöms som en mindre sannolik utrymningsväg.

Scenariot i skattkammaren är sammanfattningsvis det scenario som innehåller störst problematik eftersom personer tvingas utrymma genom brandgaser. Detta tyder på att åtgärder måste vidtas för att säkerställa en utrymning, se kapitel 10.

9.3 Brand i Kungssalen

Scenariobranden approximeras till en stapel med lastpallar. Värdena för effektkurvan har tagits från ett verkligt försök. Detta kan möjligtvis vara en något för snabb effektutveckling då balkongen har en annorlunda struktur. Vidare har takets effektutveckling approximerats till en $\alpha \cdot t^2$ -kurva med tillväxthastigheten *fast*. Detta antagande är antagligen korrekt i början av brandförloppet men relativt snabbt kommer brandgaser att omsluta taket vilket begränsar syretillförseln och borde därmed resultera i att effektutvecklingen avtar.

Antagande angående antal fönster som går sönder i de olika scenarierna bedöms som en stor osäkerhetsfaktor. Dessutom kanske fönstren bara spricker och inte går sönder helt som beräkningarna i CFast utgår ifrån.

Simuleringarna i känslighetsanalysen visar på en stor skillnad i tid till kritiska förhållanden om denna parameter ändras (se tabell 8.11 och 8.12). Framförallt om man antar att fönstren håller, eller att i alla fall de spruckna delarna sitter kvar. Då sjunker brandgaslagret betydligt snabbare vilket minskar tiden för säker utrymning.

Utrymning med 150 och 200 personer bedöms som säker i huvudscenariot samt då fyra fönster går sönder. Däremot kan inte en säker utrymning ske för något av dessa personantal då fönstren är intakta. Åtgärder måste därför vidtas, se kapitel 10.

Det skall även påpekas att det uppstår köbildning då endast en utgång används (se figur 8.22). Detta kan leda till fall och trängsel vilket kan resultera i en längre utrymningstid.

10 Förslag till åtgärder

För att säker utrymning skall kunna ske krävs att vissa åtgärder vidtas gällande slottet.

10.1 Allmänna förslag till åtgärder

- Brandklassade dörrar *skall* installeras i samtliga trapphus.
- Inventarier *skall* tillses att de inte består av material som ger upphov till ett snabbt brandförlopp, t.ex. julgran, samt se över placering av inventarier.
- Utbildning av personal *skall* ske fortlöpande.
- Videoövervakning *bör* övervägas för att minska risken för anlagd brand.
- Personen som är brandansvarig *bör* förses med en megafon.

Den största problematiken i slottet gäller trapphusen vilka ska fungera som utrymningsvägar trots att de inte i nuläget är brandtekniskt avskilda. Läckö Slott är K-märkt och därför måste tillstånd inhämtas innan ombyggnation kan ske. Brandklassade dörrar med magnetuppställning är både möjligt och högst tillbörligt i samtliga trapphus. Tillstånd finns redan från riksantikvarieämbetet att byta vissa dörrar. Några av de nuvarande dörrarna i trapphusen öppnas inåt till rummen vilket är fel i utrymningssynpunkt. När utrymning sker bör dörrarna öppnas utåt för att undvika onödig köbildning.

Personalen har ett stort ansvar vid utrymning, därför bör brandansvarig på respektive plan förses med en megafon för att besluts- och reaktionstiden för de besökande ska minimeras. Det är ytterst viktigt att personalen agerar snabbt och bestämt vid utrymning. Därför bör utrymningsövningar hållas regelbundet, helst i samverkan med räddningstjänsten.

Brandlarmet består idag av ringklockor samt en siren på taket vid köksborgen. Detta borde kompletteras med ett talat meddelande vilket hänvisar personerna i slottet att i lugnt takt gå mot närmaste utgång, till exempel ”Viktigt meddelande (paus), vårt brandlarm har aktiverats, gå i lugn takt till närmaste utgång”. Talat meddelande har genom verkliga försök visat minska besluts- och reaktionstiden avsevärt i stora lokaler (Frantzich 2001).

Andra generella åtgärder är att endast använda flamskyddade textilier och andra inventarier samt att undvika material som kan ge upphov till snabb effektutveckling.

Ingen vattensprinkleranläggning finns för närvarande på slottet men en projektering har påbörjats som framförallt berör vindarna och yttertaken på huvudborg och förborg. Slutmålet är att hela slottet ska vara försett med sprinkler (Nordgren 2004).

Att installera övervakningskameror medför en mer komplicerad installation men kan även bidra till minskad inbrottsrisk. Till och med attrapper av övervakningskameror skulle kunna minska risken för anlagd brand.

10.2 Matsalen

Följande åtgärder kan bidra till säkrare utrymningsförhållanden:

- Dörren i rum 43 mot borggården *skall* fungera som utrymningsväg.
- Det *skall* tillses att julgran och andra inventarier inte består av material som ger upphov till ett snabbt brandförlopp, samt se över placering av dessa.
- Personantalet *bör* minskas i lokalen.

Det första alternativet är enkelt att åtgärda och effektiviserar utrymningen betydligt. Att dörren i rum 43 fungerar som en utrymningsväg minskar den totala utrymningstiden till cirka 1 min enligt beräkningar i Simulex vilket är 30 s bättre än huvudscenariot. Men kritiska förhållanden uppstår redan efter 1 min vilket innebär att två utrymningsvägar inte är tillräckligt som enskild åtgärd.

Eftersom att minska antalet personer i lokalen inte är att föredra som lösning för stiftelsen Läckö Slott bör man istället vidta de andra åtgärderna. Att se över inventarier är ett bättre alternativ, till exempel kan man se till att julgranen fuktas för att minska risken för antändning. Man kan även införskaffa en flamskyddsbehandlad plastgran samt tänka på att inte placera den i anslutning till en utrymningsväg.

10.3 Skattkammaren

Följande åtgärder kan bidra till säkrare utrymningsförhållanden:

- Draperier i skattkammaren *skall* tas bort eller ersättas med flamskyddsbehandlade draperier.
- Brandklassade dörrar *skall* installeras i samtliga trapphus.

Att införskaffa flamskyddsbehandlade gardiner är en enkel och effektiv åtgärd för att drastiskt minska effektutvecklingen. Troligtvis förhindrar detta brandscenariot.

Brandklassade dörrar minskar brandgasspridning till utrymningsvägarna avsevärt. Detta scenario har även beräknats i CFast då båda dörrarna till trapphusen är stängda. Enligt beräkningarna läcker inga brandgaser ut till trapphusen men verkligheten är självklart annorlunda eftersom EI-klassade branddörrar inte är helt täta utan bara förhindrar lågor. Dock är brandklassade dörrar ett bättre alternativ än vanliga dörrar.

10.4 Kungssalen

Följande åtgärder kan bidra till säkrare utrymningsförhållanden:

- Nuvarande begränsning på 150 personer *skall* bibehållas
- Scenen vid tillställningar i Kungssalen *skall* flyttas så att båda utrymningsvägarna är tillgängliga.
- Besökare *skall* informeras om utrymningsrutinerna innan föreställningen.
- Brandansvarig *bör* föras med en megafon.

Att flytta scenen och därmed den antagna branden skulle innebära att båda utrymningsvägarna kan användas. Detta kortar ner utrymningstiderna avsevärt och medger en säkrare utrymning för 150 personer även i brandscenariot då fönstren är intakta (jfr tabell 8.10 och 8.13). För 200 personer blev utrymningstiden 4 min 45 s. Detta kan jämföras med huvudscenariots tid, 5 min 10 s, med 150 personer och en utrymningsväg.

I känslighetsanalys del 1 då två utrymningsvägar är tillgängliga kan inte säker utrymning ske innan kritiska förhållanden uppstår då 200 personer befinner sig i lokalen. Kritiska förhållanden uppstår efter 5 min i både rum 159 och 160 (se tabell 8.11).

Om scenen flyttas bedöms branden bli mindre eftersom brandbelastningen minskar då inte brandspridning kan ske i balkongen. Detta bidrar till ytterligare marginal för säker utrymning. Dock bedöms det som mycket olämpligt att öka personantalet till 200 med tanke på nämnda osäkerhetsfaktorer i känslighetsanalysen för brandscenariot.

Att förse brandansvarig med en megafon bedöms minska besluts- och reaktionstiderna för personerna som befinner sig i lokalen. Samma effekt erhålls om besökarna får tydlig information om utrymningsrutinerna innan föreställningen.

11 Slutsats

Denna del behandlar slottet som helhet. För slutsatser kopplade till respektive scenarier hänvisas till föregående kapitel.

Stiftelsen Läckö Slott arbetar aktivt med det förebyggande brandskyddet. Detta är nödvändigt eftersom vid en brand bedöms konsekvenserna som stora då brandcellsindelning i princip saknas. Ur personsäkerhetssynpunkt krävs ett antal åtgärder för att säker utrymning ska kunna ske. De flesta är relativt enkla men har stor betydelse för den totala skyddsbilden.

Trapphusen *skall* brandcellsindelas med brandklassade dörrar. Tillstånd finns redan för att byta ut ett antal, det borde inte föreligga något hinder att ersätta alla till brandklassade dörrar om man förser dem med en tidsenlig beklädnad. Denna åtgärd samt en kompletterande utredning om väggarnas brandmotstånd borde utgöra tillräckligt underlag för att klassa trapphusen som brandtekniskt avskilda och därmed godkända som utrymningsvägar.

Det är även viktigt att noga överväga val av material i inredning och dekorationer för att begränsa brandförloppet.

En grundpelare vid brand är personalen vars utbildning och insats kommer att bli viktig vid en utrymning. Därför bör det tillses att de har nödvändig utrustning för att utföra sin uppgift.

Efterföljs förslag till åtgärder som ges i kapitel 10 anses den utrymningsproblematik som finns idag vara löst.

12 Referenser

Tryckt litteratur

- Andersson, B., 1998, *Risikanalytisk – Brandskydd vid Läckö Slott*, Sycon teknikonsult AB, Lidköping
- Bengtson med flera, 2005, *Brandskyddshandboken*, Rapport 3134, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund
- Boverket¹, 2006, *Utrymningsdimensionering*, NRS Tryckeri, Huskvarna
- Boverket², 2006, *Boverkets byggregler (BBR)*, AB Danagårds grafiska, Karlskrona
- Drysdale D., 1998, *An introduction to fire dynamics*, John Wiley & Sons, Chichester
- Frantzich, H., 2001, *Tid för utrymning vid brand*, Räddningsverket, Karlstad
- Holmstedt G., Nilsson D., 2007, *Kompendium i Aktiva System - Detektion*, Rapport 7030, Brandteknik, Lund University, Lund
- Hultquist, H., 2000, *Simulating visibility in HAZARD I / CFAST*, Brandteknik, Lund
- Jones W., Peacock R., Forney G., Reneke P., 2005, *CFAST Technical Reference Guide*, U. S Government printing office, Washington
- Karlsson B., Quintiere J.G., 2000, *Enclosure fire dynamics*, CRC Press, Boca Raton
- Nordgren R., 2004, *Brandskyddsbeskrivning Läckö Slott*, Skövde
- SFPE, 2002, *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (3rd Edition)*, NFPA, Quincy Massachusetts
- Stiftelsen Läckö Slott, 2003, *Manual Brand och säkerhet Läckö Slott*, Lidköping
- Särdqvist S., 1993, *Initial Fires*, Brandteknik, Lund University, Lund

Muntlig källa

- Andersson, J-E., hösten 2007, Anläggningsskötare, Stiftelsen Läckö Slott
- Andersson, T., hösten 2007, Brandingenjör, Lidköpings kommun
- Åström, G., 2007-11-14, Statens Fastighetsverk

Webbaserade källor

Fire Science and Technology Inc., <http://www.doctorfire.com/glass.html>, hämtad 2007-10-02

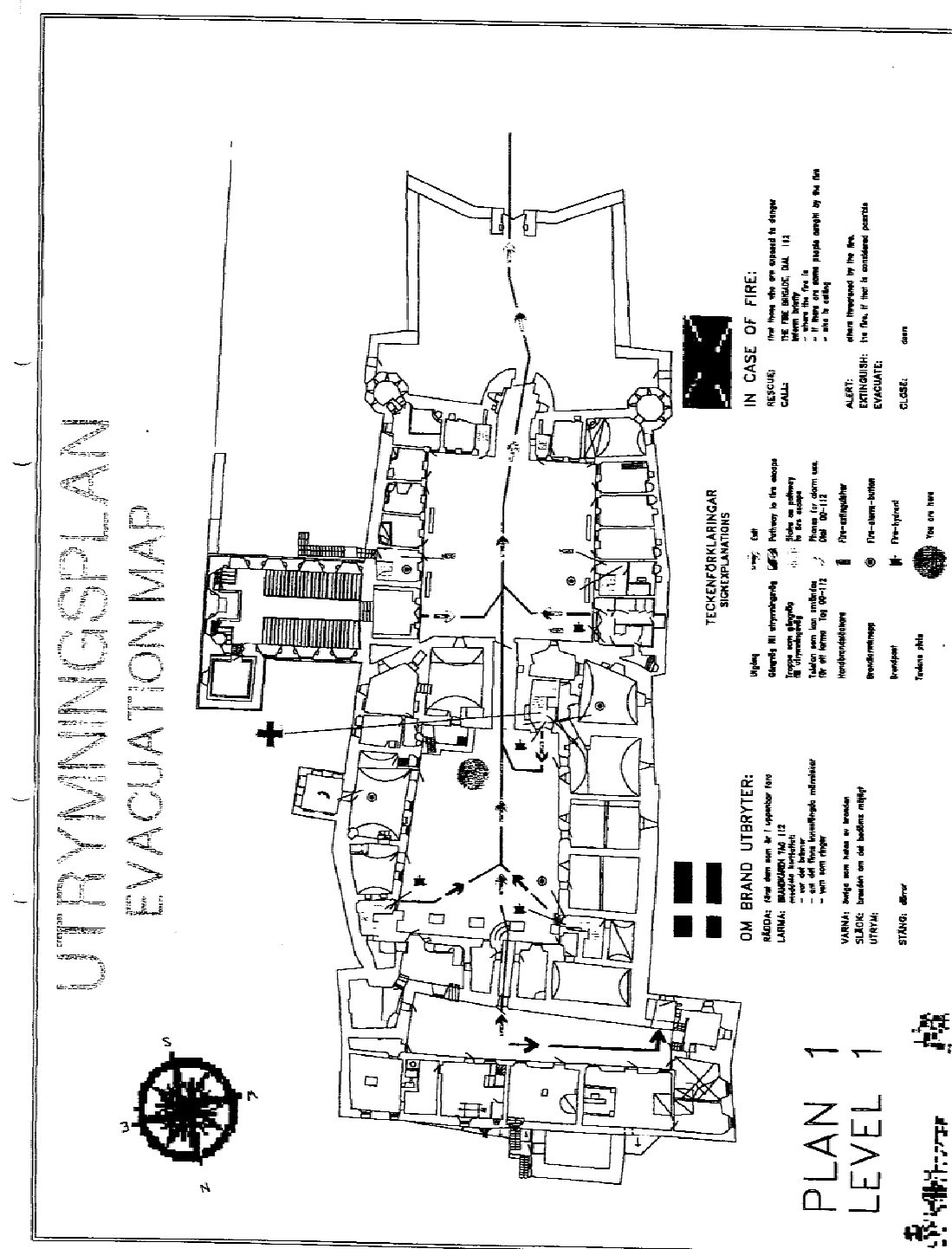
IES (Integrated Environmental Solutions Ltd),
http://www.iesve.com/content/default.asp?page=s30_2, hämtad 2007-11-27

NIST, <http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/fire00/art147.html>, hämtad 2007-10-15

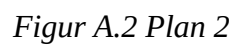
Räddningsverket, <http://ida.srv.se/port/main/>, hämtad 2007-10-24

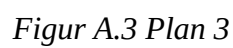
Bilaga A – Utrymningsplaner

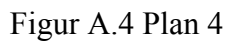
Sid. 6: A



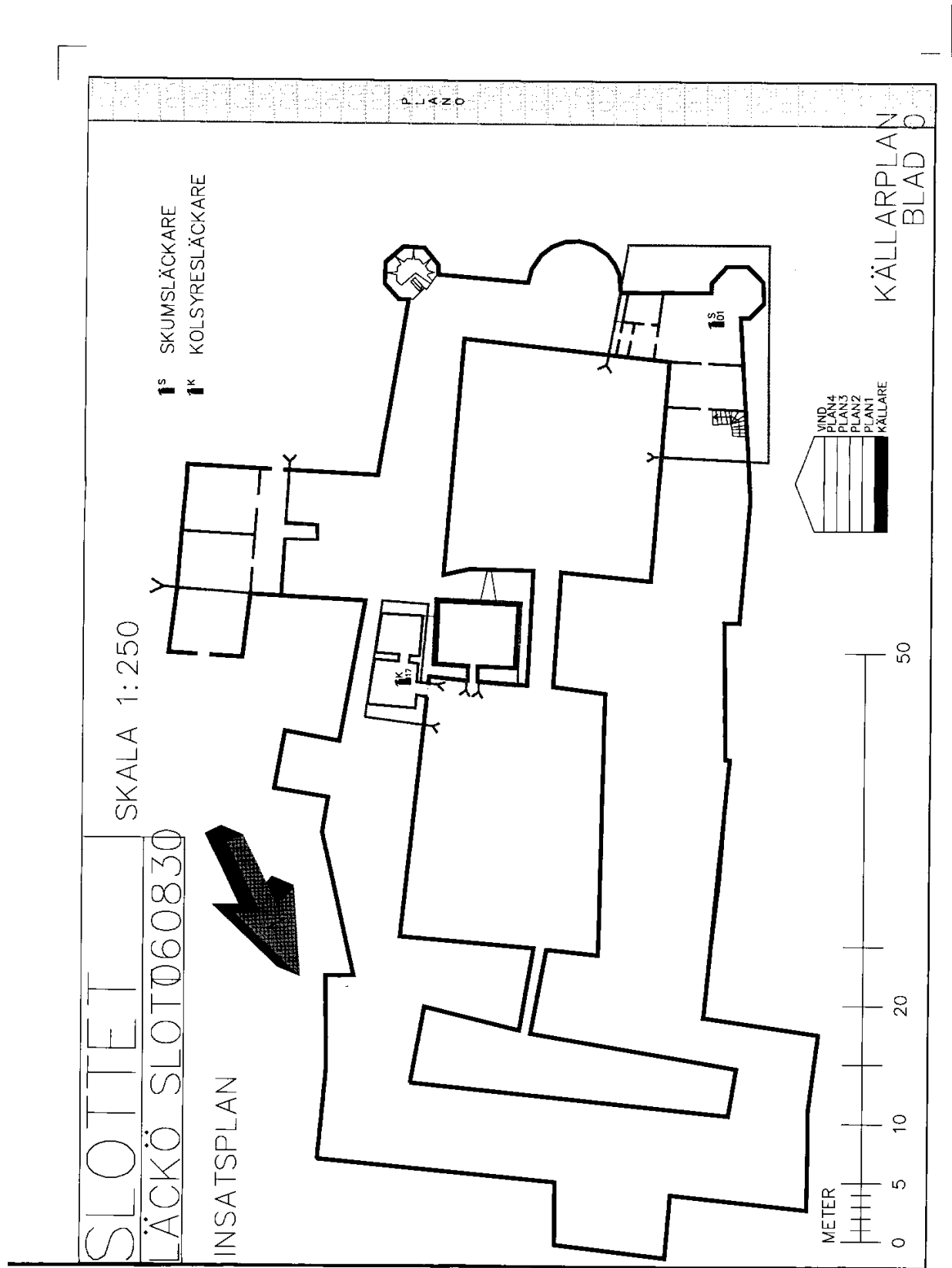
Figur A.1 Plan 1



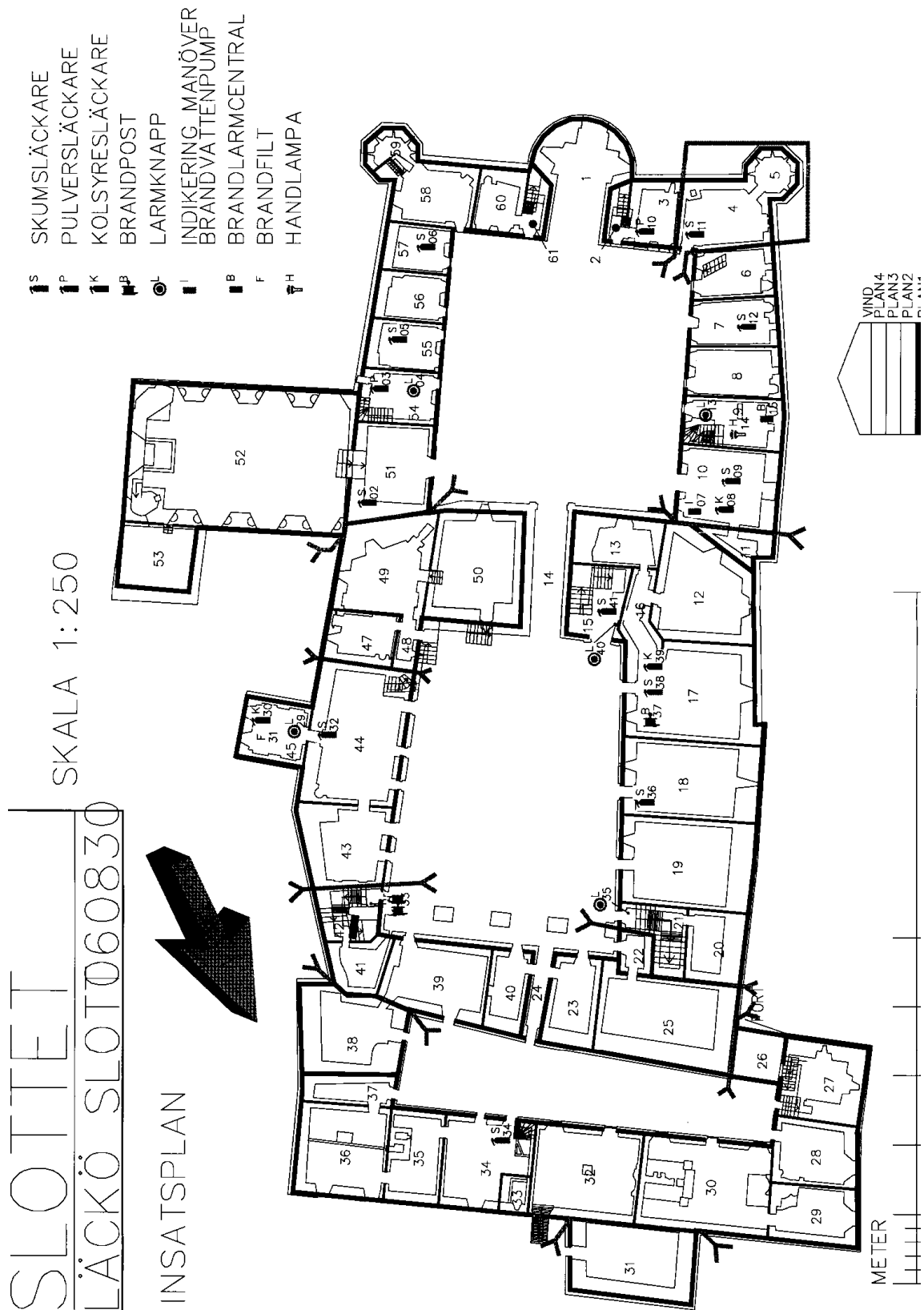




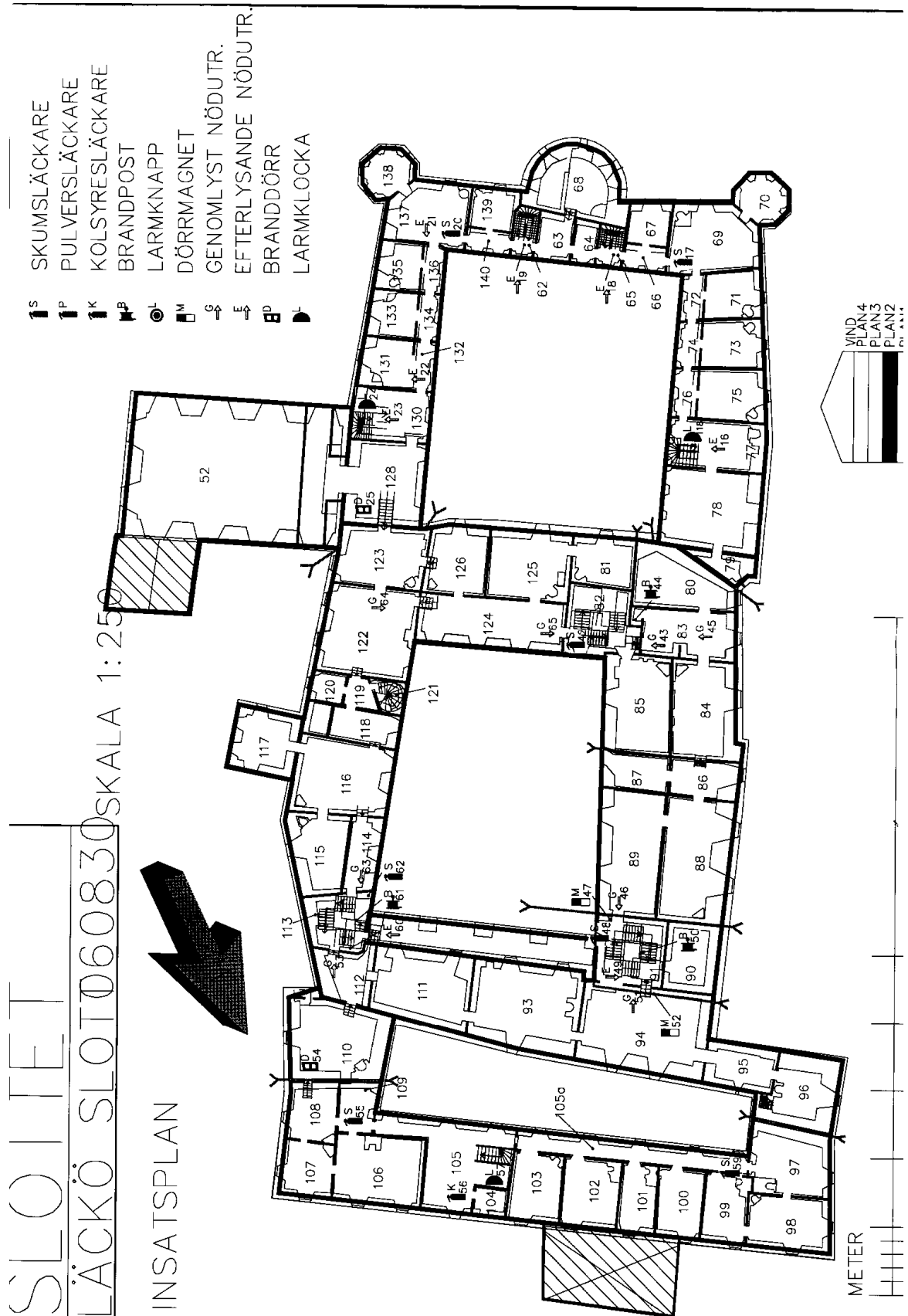
Bilaga B – Insatsplaner



Figur B.1 Källarplan



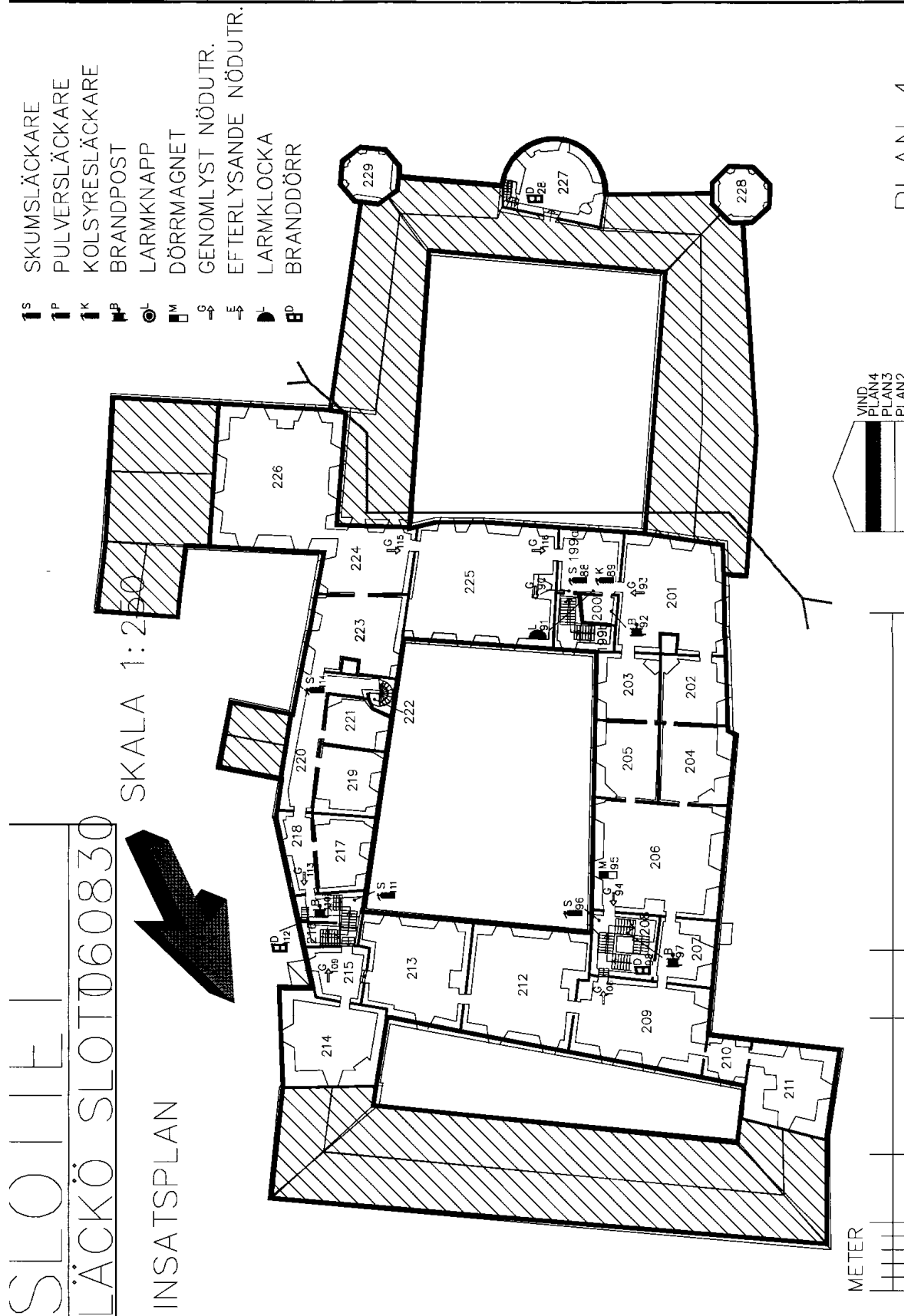
Figur B.2 Plan 1



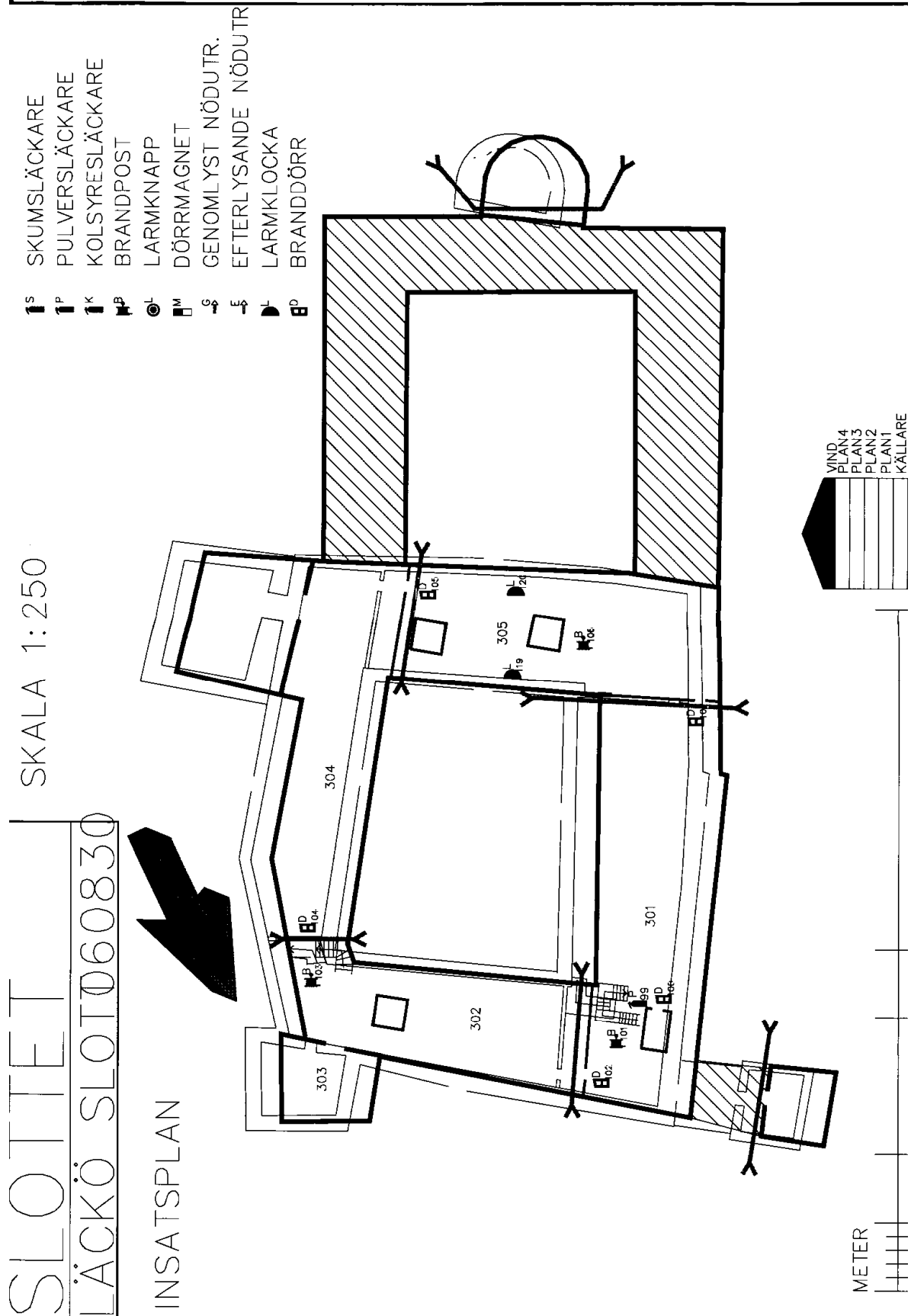
Figur B.3 Plan 2



Figur B.4 Plan 3



Figur B.5 Plan 4



Figur B.6 Plan 5

Bilaga C – Använda datorprogram

För att genomföra beräkningar och modelleringar används i denna rapport två datorprogram i vilka scenarierna simuleras. De beskrivs nedan i korthet.

C.1 Tvåzonsmodeller

Informationen i detta kapitel är hämtad från (Bengtson med flera 2005). CFast bygger på en så kallad tvåzonsmodell som innebär att man antar en tydlig skiktning i rummet där det övre skiktet består av heta brandgaser med homogen temperatur och det undre utav luft som antas hålla normal rumstemperatur. Det som krävs för att en tvåzonsskiktning ska kunna uppstå är att temperaturerna (m.a.o. densiteterna) på det undre och övre lagret har en tydlig differens. Antagandet om tvåzonsmodell som giltig modell är en approximation då gränsen mellan de två skikten sällan är knivskarp.

Ännu ett antagande man gör när man approximerar ett scenario med en tvåzonsmodell är att förbränning inte sker i det varma brandgaslagret. Detta är heller inte helt sant då en viss förbränning kan äga rum i det heta skiktet.

Modellen har dessutom geometriska begränsningar där exempelvis långa korridorer, eller rum där golvarean är mycket stor i relation till rummets höjd kan vara ogiltiga. I de scenarier som behandlas i rapporten förekommer ingen problematik angående geometrin.

Flertalet studier har utförts för att verifiera tvåzonsmodellerna och dessa har visat på en relativt hög tillförlitlighet hos modellerna, främst i brandrummet men även i angränsande utrymmen belägna på samma våningsplan.

Mass- och energitransport antas ske momentant, därmed tas ingen hänsyn till transporttider som kan existera i verkligheten. Detta är ett konservativt antagande som innebär att brandgaser börjar utbreda sig under taket i samma ögonblick som branden startar.

C.2 CFast

Informationen i följande kapitel är hämtad från (Jones med flera 2005). CFast är ett datorprogram utvecklat vid Building and Fire Research vid NIST (USA) och har störst giltighet för mindre byggnader med upp till sex rum. Nödvändig indata beträffande bygganden är:

- Befintliga öppningar samt hur och när de öppnas
- Rummens geometri
- Material i omgivande tak, väggar och golv
- Ventilationssystem
- Detektionssystem

Nödvändig indata vad gäller branden:

- Dimensionerande brand med tillhörande effektutvecklingskurva
- Bränslets massa samt övriga egenskaper som till exempel geometri, rökproduktion, förbränningsentalpi med flera.

Tabell C.1 Indata rökproduktion (Hultquist 2000)

Input parameter	Trä
H/C	0,14
C/CO ₂	0,012

För att beräkna siktförhållanden i CFast används ovanstående indata.

C.3 Simulex

Simulex är ett datorprogram utvecklat av Integrated Environmental Solutions Inc. (IES⁷) vilket är ett företag som utvecklar programvara till datorer med syfte att underlätta arbetet för arkitekter och ingenjörer med flera. Programmet simulerar och visar människors rörelse vid utrymning. Programmet bygger på videoupptagningar från riktiga utrymningsövningar där människors rörelsemönster studerats. Syftet med programmet i denna rapport är att få fram den totala utrymningstiden för respektive scenario som sedan jämförs med tiden till kritiska förhållanden. I rapporten redovisas även var eventuella köbildningar uppstår. Uppbyggnaden av respektive scenario görs genom att importera lämpligt anpassade CAD-ritningar där eventuell möblering och andra hinder lagts till. Trapphus och nivåskillnader konstrueras i programmet som sedan länkas ihop med planritningarna. Därefter adderas den utrymmande populationen. Det finns ett antal valmöjligheter vid val av population där bl.a. gånghastighet, reaktionstid och val av utrymningsväg måste definieras. I valda scenarion är populationen fördelad mellan barn, vuxna och äldre, dessa indata definieras för respektive scenario, detta redovisas i kapitel 8. Nedan redovisas gånghastigheten för respektive populationskategori.

Tabell C.2 Gånghastigheter

Kategori	Gånghastighet [m/s]
Vuxna	1,3
Äldre	0,8
Barn	0,9

⁷ IES (Integrated Environmental Solutions Ltd), http://www.iesve.com/content/default.asp?page=s30_2, hämtad 2007-11-27

Bilaga D – Scenariobränder

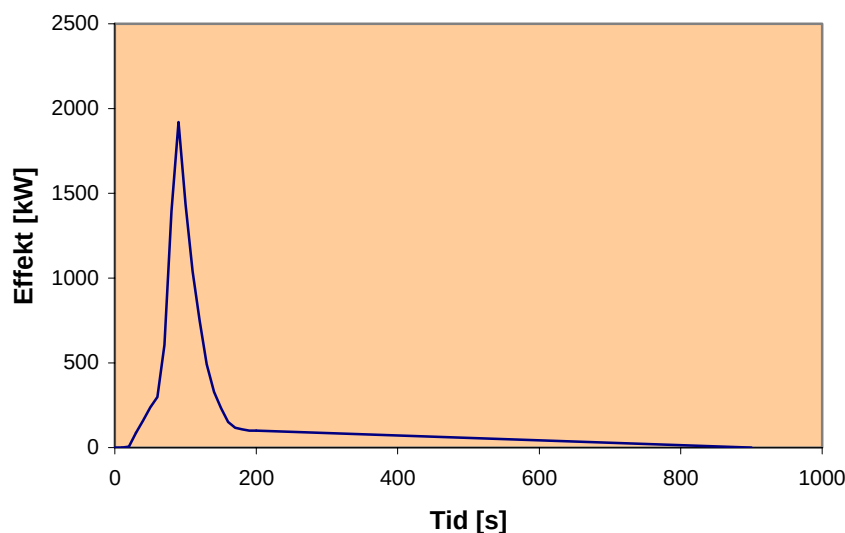
En förutsättning för att simulera brandgasspridning och tid till kritiska förhållanden i CFast är att användaren tar fram en rimlig effekt-/tidkurva som beskriver scenariobränder. För varje scenario har en sådan tagits fram. Delar av effektutvecklingskurvan i scenarierna Kungssalen och skattkammaren är på formen $\alpha \cdot t^2$, där alpha är tillväxthastigheten [kW/s^2] och t är tiden [s]. Det finns fyra standardvärden för olika typer av bränder (Karlsson, Quintiere 2000):

- *Ultrafast* $\alpha = 0,19$
- *Fast* $\alpha = 0,047$
- *Medium* $\alpha = 0,012$
- *Slow* $\alpha = 0,003$

För att noggrannare efterlikna ett verkligt brandförlopp har flera olika kurvor adderats och tillväxthastigheten anpassats efter hur olika material antänder och förbränns i respektive scenario. Den slutgiltiga kurvan ska vara väl tilltagen för att täcka in de flesta rimliga fall som kan inträffa. Då rummets geometri och syretillgång inte tillåter antagen effektutveckling anpassar CFast brandförloppet efter detta.

Tidigt i brandstadiet finns gott om syre för branden att tillväxa, det är då mängden bränsle som avgör brandens storlek, men allt eftersom effektutvecklingen ökar minskar också tillgången till syre om lufttillförseln in i rummet är låg och då kan ventilationskontroll uppstå. En kontrollberäkning kan utföras för att verifiera om ventilationskontroll kommer att uppkomma eller inte. Man jämför då den maximala effekten som bränslet kan utveckla med den maximala effekten som syret kan ge upphov till.

D.1 Brand i matsalen (rum 44)



Figur D.1 Framtagen effektutvecklingskurva för brand i matsalen

I matsalen är det högt till tak men där finns relativt stora mängder brännbart material i form av bord och stolar i massivt trä. Under juletid arrangeras emellanåt julmiddagar och därmed antas att diverse juldekoration kan komma att nyttjas för en hög trivsamt. I scenariot har antagits att en julgran börjar brinna. Figur D.1 visar effektutvecklingen för en julgran och är framtagen vid ett försök gjort på NIST i USA. Det aktuella försöket avsåg en torr julgran med en vikt på 13 kg.

D.2 Anlagd brand i skattkammare (rum 84)

I skattkammaren finns stora mängder brännbart material, främst i form av hängande tygstycken på väggarna samt massivt trä i golv och tak. Rummen är förhållandevis små och en eventuell brand kan orsaka hög effektutveckling och besvärliga förhållanden beträffande utrymning. Branden antas vara anlagd vilket är ett antagande som kan stödjas av Räddningsverkets statistik, se kapitel 6.2. Eftersom draperierna, som i huvudsak antas bestå av bomull, brinner snabbt och med relativt hög effekt kan brandscenariot se olika ut beroende på om de antänds på ett eller flera ställen. Därför har två effektutvecklingskurvor tagits fram, en där antändning sker på ett ställe samt en där antändning sker på två ställen (se figur D.2 och D.3).

Effektutvecklingen för bomull är baserad på försök av (Särdqvist 1993). I försöken eldades hängande tygstycken med dimensionen 3×3 m med hjälp av en gasbrännare med effekten 100 kW.

Totalt finns 38,3 m² draperier i rum 84. Med hjälp av data från experimentet kunde en horisontell flamspridningshastighet beräknas till 0,05 m/s.

Effektutvecklingen för ett enskilda tygstycke i bomull med dimensionen 3×3 m approximeras från (Särdqvist 1993) till:

Tabell D.1 Effektutveckling för ett tygstycke 3x3 m

Tid [s]	Effekt [kW]
0	0
30	800
60	300
90	100
120	0

Med hjälp av flamsspridningshastigheten och effektutvecklingen från experimentet har en total effektutveckling för tyget approximerats.

Tabell D.2 Konstruerade effektkurva för tyget

Normalfall	
Tid [s]	Effekt [kW]
0	0
10	214
20	426
30	640
40	720
50	800
60	880
70	906
80	934
90	960
100	880
110	800
120	720
130	640
140	560
150	480
160	400
170	320
180	240
190	160
200	80
210	0

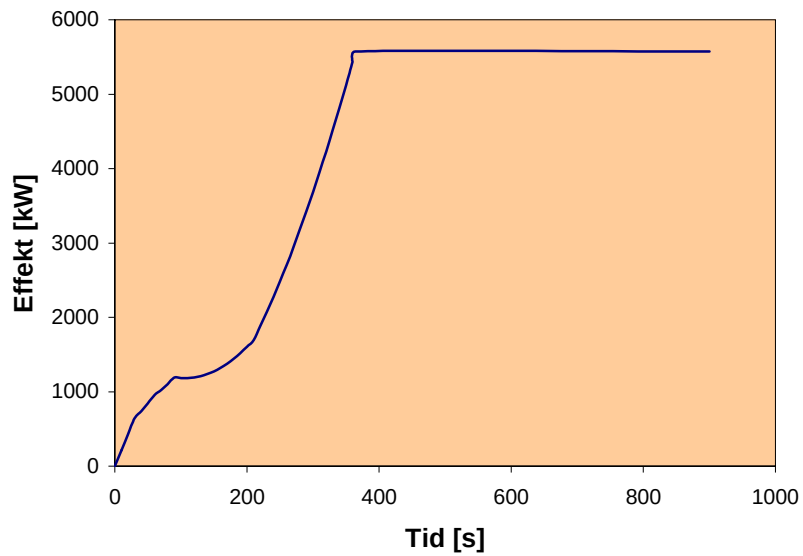
Tabell D.3 Konstruerade effektkurva för tyget

Känslighetsanalys	
Tid [s]	Effekt [kW]
0	0
10	427
20	853
30	1280
40	1440
50	1600
60	1760
70	1810
80	1865
90	1920
100	900
110	0

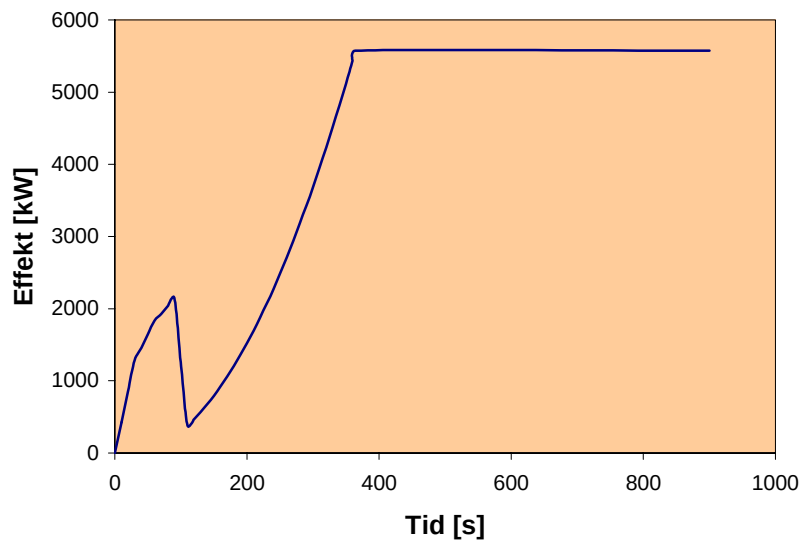
Trä antänder vid 12 kW/m^2 med hjälp av pilotlåga (Drysdale 1998). Den aktuella strålningsintensiteten beräknas med hjälp av *Ekvation 6*, se bilaga F. Flamman från tyget antas ligga an mot taket därmed ansätts synfaktorn till 1. Strålningen blir då 50 kW/m^2 när flammans temperatur antas till 1059 K och emissiviteten till 0,7 (Drysdale 1998).

Med $k_{pc} = 2,5 \times 10^5$ (Yellow Pine) (Drysdale 1998) och $T_{ig} = 623 \text{ K}$ (Drysdale 1998) blir antändningstiden $t_{ig} = 8,6 \text{ s}$. I beräkningen antas som tidigare nämnt att flamman ligger an mot taket hela tiden men i verkligheten kommer det att ta tid för flamman att utbreda sig längs tyget. Det innebär att strålningen i praktiken inte kommer att konstant vara de beräknade 50 kW/m^2 utan snarare stiga upp till den nivån. Därför justeras tiden t_{ig} till 20 s.

Trätaket antas brinna enligt en $\alpha \cdot t^2$ kurva med tillväxthastigheten *fast* (Karlsson Quintiere 2000). Effektutvecklingskurvorna för tyget summeras sedan med kurvan för trätaket och resultatet blir:

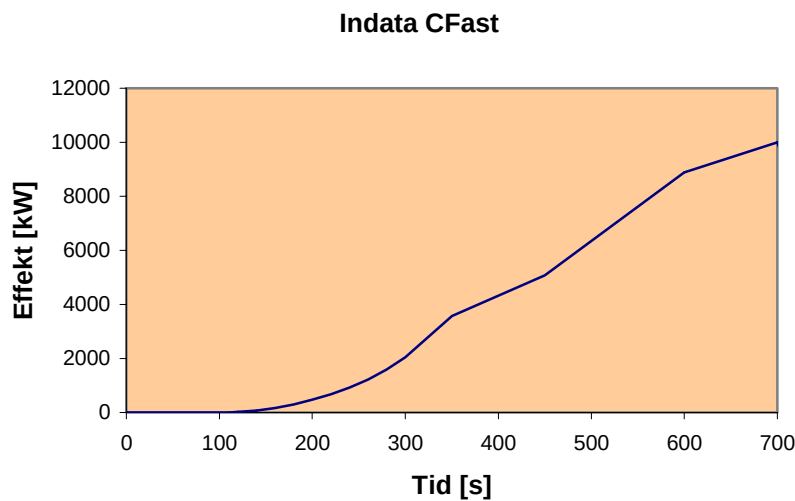


Figur D.2 Framtagen effektutvecklingskurva för brand i skattkammaren, rum 84



Figur D.3 Framtagen effektutvecklingskurva för känslighetsanalys i skattkammaren, rum 84

D.3 Brand i Kungssalen (rum 160)



Figur D.4 Framtagen effektutvecklingskurva för branden i Kungssalen.

Branden i Kungssalen startar i en träbalkong på två meters höjd från golvnivå och antändningskällan antas vara elektriskt fel i scenutrustningen. Med tanke på den relativt låga energinivån hos antändningskällan antas en förbrinningstid på 100 sekunder innan branden börjar tillväxa i form av en konstruerad effektutvecklingskurva vars framtagande presenteras nedan.

Branden approximeras till en 1,2 meter hög stapel av lastpallar med en diameter på 1,2 meter (Särdqvist 1993). Då effekten når cirka 1100 kW blir flamhöjden 2,6 meter, det vill säga, flammorna når taket vilket då antänds.

$$L = 0,235\dot{Q} - 1,02D$$

$$L = 2,6 \quad \text{Flamhöjd [m]}$$

$$D = 1,2 \quad \text{Diameter [m]}$$

$$\Rightarrow \dot{Q} = 1068 \quad \text{Effektutveckling då flammorna når taket [kW]}$$

Branden i taket approximeras med en $\text{fast } \alpha \cdot t^2$ kurva som adderas till kurvan för balkongen. Efter cirka 6 minuter börjar branden i balkongen att avta vilket leder till att tillväxthastigheten minskar något (se figur D.4).

Bilaga E – Nomenklatur

A_0	Total öppningsarea [m^2]
A_T	Total omslutningsarea [m^2]
$b_{dörr}$	Dörrbredd [m]
c_p	Värmekapacitet = 1,0 för luft [kJ/kgK]
$D_{0,log}$	Rökpotential [m^2/g] enl. amerikansk standard
$D_{L,log}$	Optisk densitet [m^{-1}] enl. amerikansk standard
f	Dimensionerande personflöde genom dörr [pers/sm]
g	Gravitationskonstant = 9,81 [m/s^2]
H	Takhöjd [m]
H_0	Öppningens höjd [m]
h_k	Värmeövergångstalet [kW/m^2K]
$k\rho c$	Termisk materialegenskap [W^2s/m^4K^2]
l_{utg}	Avstånd till utgång [m]
m	Massa [kg]
$\dot{m}_a$	Massflöde av luft [kg/s]
n	Exponent [-]
n_{pers}	Antalet personer som passerar en dörr [-]
Q	Energi [kJ]
$\dot{Q}$	Effekt [kW]
$\dot{Q}_{O_2}$	Maximal effekt [kW]
S	Golvarea [m^2]
t	Tid [s]
T	Temperatur [K]
T_0	Starttemperatur [K]
T_a	Luftens temperatur [K]
T_{ig}	Antändningstemperatur [K]
$t_{beslut+reaktion}$	Besluts- och reaktionstid [s]
$t_{dörr}$	Tid för att passera ut genom en dörr [s]
$t_{utrymning}$	Utrymningstid [s]
$t_{var seblivning}$	Varseblivningstid [s]
$t_{gång}$	Längsta tid för att gå till utrymningsväg [s]
t_{ig}	Tid till antändning [s]

$v_{gång}$	Gånghastighet [m/s]
V	Volym [m ³]
α	Tillväxthastighet [kW/s ²]
ΔH_c	Förbränningsentalpi [kJ/kg]
$\Delta H_{c,syre}$	Förbränningsentalpi, O ₂ = 13,1 [MJ/kg]
ΔT	Temperaturdifferens [K]
ε	Emissivitet [-]
ρ_a	Densitet för luft i rumstemperatur [kg/m ³]
ρ_g	Densitet för brandgaserna [kg/m ³]
σ	Stefan-Boltzmanns konstant = 5,67×10 ⁻⁸ [W/m ² K ⁴]
ϕ	Synfaktor [-]
χ	Förbränningseffektivitet [-]
χ_{syre}	Massfraktion syre i luft = 0,23 [-]

Bilaga F – Handberäkningar/ jämförelse med datorprogram

I denna bilaga presenteras de handberäkningar som är gjorda i rapporten. Syftet med dessa är dels att jämföra resultat från CFast tillsammans med handberäkningsmodeller men även för att till exempel genom beräkningar konstatera om ventilationskontroll uppstår eller inte vid framtagna scenarier.

- Yamana-Tanakas rökfyllnadsmodell
- Temperaturen i brandgaslagret
- Strålningen mot golvet
- Ventilationskontroll
- Utrymningstider
- Tid till antändning

Yamana-Tanakas rökfyllnadsmodell:

Med modellen löser man genom iteration ekvationerna för massbalans och energibalans ut en höjd på brandgaslagret.

Begränsningar i modellen:

- Giltigheten är störst för stora utrymmen med relativt liten effektutveckling
- Effektutvecklingen måste vara känd
- Inga värmeförluster sker till omgivningen

Metod:

1. Anta densitet
2. Beräkna k-värde
3. Beräkna z
4. Kontrollera densitet

Gör om.

$$k = \frac{0,21}{\rho_g} \left(\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3} \quad (\text{Ekvation 1})$$

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

$$\rho_g = \rho_a \left(1 - \frac{\alpha t^{n+1}}{(n+1)(H-z)Sc_p 353} \right) \quad (\text{Ekvation 3})$$

(Karlsson, Quintiere 2000)

Temperaturen i brandgaslagret:

Beräkning av temperaturen i det varma brandgaslagret görs enligt formeln:

$$\Delta T = 6,85 \left(\frac{\dot{Q}^2}{A_0 \sqrt{H_0} h_k A_T} \right)^{1/3} \quad (\text{Ekvation 4})$$

$$h_k = \sqrt{\frac{k\rho c}{t}} \quad (\text{Ekvation 5})$$

Begränsningarna i denna beräkningsmetod är:

- Temperaturökningen måste vara mellan 20°C och 600°C
- Effektutvecklingen måste vara känd
- Inga värmeförluster på grund av massflöden genom öppningar
- Branden antas vara bränslekontrollerad

(Karlsson, Quintiere 2000)

Strålningen mot golvet:

Beräkning av strålning generellt görs enligt följande formel:

$$Q = \sigma \cdot \phi \cdot \varepsilon \cdot T^4 \quad (\text{Ekvation 6})$$

Synfaktorn tas fram med hjälp av figur 2.25 i Drysdale som beskriver strålningen från en yta till en annan yta med ett visst avstånd, D, dem emellan.

Emissiviteten ansätts i samtliga fall till 0,7 vilket är ett vanligt antagande för en strålande kropp.

(Drysdale 1998)

Ventilationskontroll:

Beräkning av maximal effekt vid ventilationskontroll görs med följande metodik:

Massflödet av luft in i brandrummet:

$$\dot{m}_a = 0,5 \cdot A_0 \cdot \sqrt{H_0} \quad (\text{Ekvation 7})$$

Den maximala effekten som uppnås vid ventilationskontroll beräknas enligt:

$$\dot{Q}_{O_2} = \dot{m}_a \cdot \chi_{syre} \cdot \Delta H_{c,syre} \quad (\text{Ekvation 8})$$

(Karlsson, Quintiere 2000)

Siktberäkningar:

Handberäkningar på siktförhållanden görs enligt följande:

$$Sikt(m) = \frac{1}{D_{L,\log}} \quad (\text{Ekvation 9})$$

$$D_0 = D_{L,\log} \cdot \frac{V}{m} \quad (\text{Ekvation 10})$$

(Nilsson, Holmstedt 2007)

Beräkningar för utrymningstid:

Förflyttningstiden kan enligt handberäkningar uppskattas med följande enkla formler:

$$t_{gång} = \frac{l_{utg}}{v_{gång}} \quad (\text{Ekvation 11})$$

$$t_{dörr} = \frac{n_{pers}}{b_{dörr} \cdot f} \quad (\text{Ekvation 12})$$

Efter detta summeras $t_{gång}$ och $t_{dörr}$ och förflyttningstiden anges då som den längsta tid det tar att gå till utrymningsvägen och den tid det tar att passera genom utgången (Boverket¹ 2006)

Tabell F.1 Gånghastigheter vid hög persontäthet (Boverket¹ 2006)

Förbindelse	Gånghastighet [m/s]	Minsta bredd [m]	Personflöde [pers/sm]
Horisontell	0,6	0,9	1,2
Nedför trappa	0,5	0,9	1,0
Dörr	-	0,8	0,75

Slutligen summeras varseblivningstiden, besluts- och reaktionstiden och förflyttningstiden. Därmed erhålls den totala utrymningstiden:

$$t_{utrymning} = t_{varseblivning} + t_{beslut+reaktion} + t_{förflyttning}$$

Tid till antändning

Tiden det tar för ett material att antända av en viss strålningsintensitet beräknas enligt följande formel:

$$t_{ig} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{(T_{ig} - T_0)^2}{q^2} \right) \quad (\text{Ekvation 13})$$

(Drysdale 1998)

F.1 Brand i matsalen

Använda ekvationer och storheter är nämnda tidigare.

Brandgaslagrets höjd

Kräver att de begränsningar som finns i modellen inte existerar i scenariot vilket stämmer i detta fall. Effektutvecklingen är känd och relativt liten i förhållande till utrymmet och inga värmeförluster till omgivningen antas äga rum.

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

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

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

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

$$n = 2$$

$$\alpha = 0,364 \text{ kW/s}^2$$

$$t = 60 \text{ s}$$

$$S = 60 \text{ m}^2$$

$$H = 4,2 \text{ m}$$

Resultatet enligt beräkningar med *Ekvation 1-3* ovan blir 2,43 m som i sin tur kan jämföras med den med CFast beräknade höjden på 2,12 m. Skillnaden är marginell eftersom den är strax över 10 %. En anledning till skillnaden kan vara att branden som CFast räknat med varit en så kallad Design Fire, framtagen ut experiment, medan den kurvan approximerats till en αt^2 -kurva för att möjliggöra handberäkningen

Temperatur i brandgaslagret

Enligt nedanstående värden och *Ekvation 5* beräknas värmeövergångstalet h_k till $183 \text{ W/m}^2\text{K}$

$$k\rho c = 2 \cdot 10^6 \text{ W}^2\text{s/m}^4\text{K}^2 \text{ för betong}$$

$$t = 60 \text{ s}$$

Med *Ekvation 4* och nedanstående ingångsvärden beräknas resultatet

$$A_0 = 5,94 \text{ m}^2$$

$$H_0 = 1,8 \text{ m}$$

$$A_T = 254,4 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q} = 298,2 \text{ kW}$$

Resultat:

$$\Delta T = 42,6^\circ\text{C} \rightarrow T = 42,6 + 20 = 62,6^\circ\text{C}$$

$$T_{CFast} = 50,6^\circ\text{C}$$

Den med handberäkningarna framräknade temperaturen är högre än vad CFast beräknar. Denna skillnad ligger inom 10 % felmarginal vilket anses vara tillfredställande.

Strålningen från brandgaslagret

Med hjälp av *Ekvation 6* och nedanstående ingångsvärden beräknas strålningen från brandgaslagret till en punkt i golvet.

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

$$\phi = 0,5$$

$$\varepsilon = 0,7$$

$$T = 335,6 \text{ K}$$

ϕ tas fram med hjälp av metod beskriven tidigare, dimensionerna på rummet är $6 \times 10 \text{ m}$ och $D = 2,43 \text{ meter}$ enligt beräkningarna av brandgaslagrets höjd ovan.

Resultatet blir att strålningen är 252 W/m^2 vilket nästan är en faktor fyra större än den med CFast beräknade strålningen på 70 W/m^2 . Skillnaden beror dels på osäkerheter vid framtagande av synfaktor samt att CFast väljer ett mindre konservativt men mer troligt värde på emissiviteten. Skulle handberäkningarna ligga närmre sanningen skulle troligen kritiska förhållanden med avseende på strålning uppstå tidigare än vad som är presenterat i arbetet. Dock används resultat från CFast som diskussionsunderlag i arbetet eftersom handberäkningarna på grund av flertalet antaganden på vägen antagligen är mer osäkra.

Ventilationskontroll

Enligt *Ekvation 7-8* kan en beräkning göras för att se om ventilationskontroll uppnås eller inte.

Ingångsvärden för beräkningen är följande:

$$A_0 = 1,98 \text{ m}^2$$

$$H_0 = 1,8 \text{ m}$$

Det innebär att:

$$\dot{m}_a = 1,33 \text{ kg/s}$$

Och således blir

$$\dot{Q}_{O_2} = 4,0 \text{ MW}$$

Eftersom denna effekt är högre än den dimensionerande brandens maximala effekt blir branden inte ventilationskontrollerad.

Utrymningstid

Med *Ekvation 11-12* och nedanstående ingångsvärden kan förflyttningstiden beräknas till cirka 50 sekunder.

$$l_{utg} = 20 \text{ m}$$

$$v_{gång} = 0,6 \text{ m/s}$$

$$t_{gång} = 33,3 \text{ s}$$

$$n_{pers} = 24 \text{ (ingångsvärde i Simulex)}$$

$$b_{dörr} = 1,1 \text{ m}$$

$$f = 1,2 \text{ pers/sm}$$

$$t_{dörr} = 18,2 \text{ s}$$

Varseblivningstiden samt besluts- och reaktionstiden antas tillsammans utgöra en tidsrymd om 30 s. Den totala utrymningstiden beräknas med *Ekvation 13* och blir då 1 min 20 s vilket kan jämföras med den av Simulex beräknade tiden på 1 min 30 s. Överensstämmelsen är god.

F.2 Anlagd brand i skattkammaren

Använda ekvationer och storheter är nämnda tidigare.

Brandgaslagrets höjd

Kräver att de begränsningar som finns i modellen inte existerar i scenariot vilket med modifikation stämmer i detta fall. Vi antar samtliga rum mellan trapphusen till en gemensam volym vilket då leder till att effektutvecklingen är relativt liten i förhållande till utrymmet och inga värmeförluster till omgivningen antas äga rum.

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

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

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

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

$$n = 2$$

$$\alpha = 0,047 \text{ kW/s}^2$$

$$t = 300 \text{ s}$$

$$S = 168 \text{ m}^2$$

$$H = 2,7 \text{ m}$$

Resultatet enligt beräkningar med *Ekvation 1-3* blir 2,4 m som i sin tur kan jämföras med den utav CFast beräknade höjden på 2,2 m. Skillnaden är märkbar men är mindre än 10 % och därför kan den skillnaden ignoreras. Däremot kan resultatet dock anses vara mindre pålitligt med tanke på antagandet om att alla rum utgör en gemensam volym. Antagandet innebär att hela utrymmet mellan trapphusen skulle rökfillas homogent och det är inte riktigt sant eftersom rummen innehar olika takhöjder och är dessutom avskilda från varandra med väggar.

Temperatur i brandgaslagret

Enligt nedanstående värden och *Ekvation 5* beräknas värmeövergångstalet h_k till $316 \text{ W/m}^2\text{K}$

$$k\rho c = 2 \cdot 10^6 \text{ W}^2\text{s/m}^4\text{K}^2 \text{ för betong}$$

$$t = 20 \text{ s}$$

Med *Ekvation 4* och nedanstående ingångsvärden beräknas resultatet

$$A_0 = 3,6 \text{ m}^2$$

$$H_0 = 1,8 \text{ m}$$

$$A_T = 125,3 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q} = 426 \text{ kW}$$

Resultat

$$\Delta T = 67,3^\circ\text{C} \rightarrow T = 67,3 + 20 = 87,3^\circ\text{C}$$

$$T_{CFast} = 78,9^\circ\text{C}$$

Den med handberäkningarna framräknade temperaturen är något högre än vad CFast beräknar. Skillnaden är marginell och resultatet anses vara pålitligt.

Ventilationskontroll

Enligt *Ekvation 7-8* kan en beräkning göras för att se om ventilationskontroll uppnås eller inte i brandrummet, rum 84. I scenariot antas båda fönstren gå sönder. Dimensionen på fönstren är $1,8 \times 1,2$ m.

Ingångsvärden för beräkningen är följande:

$$A_0 = 4,32 \text{ m}^2$$

$$H_0 = 1,8 \text{ m}$$

Det innebär att:

$$\dot{m}_a = 2,90 \text{ kg/s}$$

Och således blir

$$\dot{Q}_{O_2} = 8,74 \text{ MW}$$

Eftersom denna effekt är högre än den dimensionerande brandens maximala effekt blir branden inte ventilationskontrollerad.

Siktberäkning

Handberäkning av sikt i scenariot med skattkammaren utförs nedan men kräver en del antaganden enligt följande:

- Samtliga rum mellan trapphus SV och trapphus NV approximeras som en gemensam volym
- Hela volymen fylls homogent med brandgaser
- Brandgasspridningen i utrymmet sker momentant

$$Sikt(m) = 10 = \frac{1}{D_{L,\log}} \Rightarrow D_{L,\log} = 0,1 \text{ enligt Ekvation 9}$$

Enligt Tabell 2-13.5 i SFPE-handboken anges D_0 :

$$D_{0, \text{ bomull}} = 0,17 \text{ m}^2/\text{g}$$

$$D_{0, \text{ alfa-cellulosa}} = 0,051 \text{ m}^2/\text{g}$$

Ett antagande är att 10 % av bränslet är bomull (vikt 7 kg) och resten är trä.

Det som gör det problematiskt är att scenariot är tidsberoende och därmed svårt att avgöra dessa andelar. Beräkning utförs med hjälp av *Ekvation 10* och resultatet blir:

$$D_0 = 0,1 \cdot 0,17 + 0,9 \cdot 0,051 = 0,063 \text{ m}^2/\text{g}$$

Totalvolym på utrymmet:

$$579 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow m = \frac{D_{L,\log} \cdot V}{D_0} = 919 \text{ g}$$

$$Q = m \cdot \Delta H_c \cdot \chi = 0,919 \cdot 17 \cdot 0,7 = 10,94 \text{ MJ}$$

Den konstruerade effektkurvan approximeras till en linjär funktion vilket är ett fullgott antagande under en kort tidsperiod upp till ungefär 100 sekunder enligt figur 8.8.

$$\dot{Q} = 14,65 \cdot t \Rightarrow Q = \int_0^t 14,65t = \left[\frac{14,65t^2}{2} \right]_0^t = 7,325t^2$$

$$10940kJ = 7,325 \cdot t^2 \Rightarrow t = 39s$$

Den korta tiden tillsammans med granskning av den dimensionerande brandens indata till effektkurvan visar att endast bomullen hunnit delta i branden.

Det innebär att $D_0 = 0,17m^2/g$ och med samma beräkningar som ovan, men med nytt värde på rökpoteentialen, blir då tiden $t = 24 s$

Att jämföra denna tid med den tid som är beräknad med CFast ger utrymme för en diskussion. Med CFast beräknas tiden till då kritiska förhållanden uppstår, avseende sikt, till 80 sekunder vilket är en tre gånger längre tid än den handberäknade tiden. Detta beror på att alla antaganden som gjorts ovan för att möjliggöra dessa beräkningar är tydligt konservativa.

På grund av det stora personantalet samt den stora spridningen av människor på flera plan i byggnaden blir det svårt att med handberäkningar ta fram tillförlitliga utrymningstider. Därför har endast Simulex använts för att ta fram tiderna för utrymning i detta scenario.

F.3 Brand i Kungssalen

Använda ekvationer och storheter är nämnda tidigare.

Brandgaslagrets höjd

CFast beräknar en höjd på brandgaslagret till 3,8 m vid 160s. I den dimensionerande brandens effektutvecklingskurva finns inlagt en förbrinntid på 100s som vi måste subtrahera från de tidigare nämnda 160s i detta fall för att kunna göra en beräkning vars resultat kan jämföras med CFast.

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

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

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

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

$$n = 2$$

$$\alpha = 0,047 \text{ kW/s}^2$$

$$t = 60 \text{ s}$$

$$S = 179 \text{ m}^2$$

$$H = 4,6 \text{ m}$$

Resultatet enligt beräkningar med *Ekvation 1-3* blir 3,8m som i sin tur kan jämföras med den med CFast beräknade höjden på 3,8m. De båda stämmer mycket väl överens med varandra och behöver inte ifrågasättas.

Temperatur i brandgaslagret

Enligt nedanstående värden och *Ekvation 5* beräknas värmeövergångstalet h_k till $100 \text{ W/m}^2\text{K}$.

$$k\rho c = 2 \cdot 10^6 \text{ W}^2\text{s/m}^4\text{K}^2 \text{ för betong}$$

$$t = 100 \text{ s}$$

Med *Ekvation 4* och nedanstående ingångsvärden beräknas resultatet

$$A_0 = 2,1 \text{ m}^2$$

$$H_0 = 2,0 \text{ m}$$

$$A_T = 626,3 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q} = 2047 \text{ kW}$$

Resultat

$$\Delta T = 193,5^\circ\text{C} \rightarrow T = 193,5 + 20 = 213,5^\circ\text{C}$$

$$T_{CFast} = 235^\circ\text{C}$$

Den med handberäkningarna framräknade temperaturen är mindre än vad CFast beräknar. Skillnaden är dock marginell och kan därför försummas.

Strålningen från brandgaslagret

Med hjälp av *Ekvation 6* och nedanstående ingångsvärden beräknas strålningen från brandgaslagret till en punkt i golvet.

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

$$\phi = 0,6$$

$$\varepsilon = 0,7$$

$$T = 486,5 \text{ K}$$

ϕ tas fram med hjälp av metod beskriven tidigare, dimensionerna på rummet är $21 \times 8,5 \text{ m}^2$ och $D = 3,8$ meter enligt beräkningarna av brandgaslagrets höjd tidigare.

Resultatet blir att strålningen är 1334 W/m^2 vilket kan jämföras med den med CFast beräknade strålningen på 1268 W/m^2 . Skillnaden är liten och resultatet kan anses vara pålitligt.

Ventilationskontroll

Enligt *Ekvation 7-8* kan en beräkning göras för att se om ventilationskontroll uppnås eller inte i Kungssalen. I denna beräkning är alla fönster hela och den enda öppningen in till Kungssalen utgörs av dörröppningen som leder till trapphus SV. Öppningen har dimensionen $2 \times 1,05 \text{ m}$.

Ingångsvärden för beräkningen är följande:

$$A_0 = 2,1 \text{ m}^2$$

$$H_0 = 2 \text{ m}$$

Det innebär att:

$$\dot{m}_a = 1,48 \text{ kg/s}$$

Och således blir

$$\dot{Q}_{O_2} = 4,5 \text{ MW}$$

Eftersom denna effekt är lägre än den dimensionerande brandens maximala effekt blir branden ventilationskontrollerad. Om ingen hänsyn tas till den syremängd som redan finns i rummet uppstår ventilationskontroll efter cirka 400 s (se figur D.4).

Utrymningstid

Med *Ekvation 11-12* och nedanstående ingångsvärden kan förflyttningstiden beräknas till 2 min 55 s.

$$l_{utg} = 30 \text{ m}$$

$$v_{gång} = 0,6 \text{ m/s}$$

$$t_{gång} = 50 \text{ s}$$

$$n_{pers} = 150 \text{ (ingångsvärde i Simulex)}$$

$$b_{dörr} = 1,0 \text{ m}$$

$$f = 1,2 \text{ pers/sm}$$

$$t_{dörr} = 125 \text{ s}$$

Varseblivningstiden samt besluts- och reaktionstiden antas tillsammans utgöra en tidsrymd om 1 min 40s. Den totala utrymningstiden beräknas med *Ekvation 13* och blir då 4 min 35 s vilket kan jämföras med den av Simulex beräknade tiden på 4 min 20 s. Överensstämmelsen är god.

Bilaga G - Indata Simulex

Tabellerna nedan beskriver personfördelningen för respektive rum i de olika scenarierna.

Scenario Skattkammaren

<i>Rum</i>	<i>Antal</i>		
83	5	160	48
84	0	199	7
85	10	200	0
86	6	201	11
87	6	202	3
88	17	203	7
89	12	204	4
90	0	205	9
91	4	206	21
92	0	207	2
93	8	208	3
Balkong mot borggården	7	209	12
111	8	210	0
112	3	211	0
113	3	212	12
114	4	213	16
115	0	214	0
116	9	215	5
117	4	216	3
118	3	217	6
119	4	218	3
120	0	219	5
121	0	220	11
122	15	221	0
123	10	222	0
124	20	223	11
125	4	224	8
126	7	225	27

Scenario Kungssalen

<i>Rum</i>	<i>Antal</i>
160	150

Scenario Matsalen

<i>Rum</i>	<i>Antal</i>
43	22
44	45
45	3