



LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Lunds universitet

Brandteknisk Riskvärdering – Manillaskolan



Brandteknik, LTH Lund 2007

Viktor Karlsson
Jesper Lidström
Rikard Lindegrén
David Wimmercranz

Handledare: Henrik Johansson,
Brandteknik LTH
Torkel Dittmer,
Brandskyddslaget

Brandteknisk Riskvärdering – Manillaskolan

***Viktor Karlsson
Jesper Lidström
Rikard Lindegrén
David Wimmercranz***

**Rapport 9327
Lund 2007**

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

|

|

**Brandingenjörsprogrammet
Engineering**

Lunds Tekniska Högskola
Box 118
221 00 Lund
Tel.: 046-222 73 00
E-post: brand@brand.lth.se
brand@brand.lth.se

Dept. of Fire Safety

Lund University
Box 118
S- 221 00 Lund
Tel.: +46 46 222 73 00
E-mail:

Rapport/Report 9327**Titel**

Brandteknisk Riskvärdering - Manillaskolan

Title

Fire safety Evaluation - Manillaskolan

Av/By

Viktor Karlsson
Jesper Lidström
Rikard Lindegrén
David Wimmercranz

Keywords

Fire safety evaluation, Manillaskolan, school fires, critical conditions, evacuation time, fire simulations

Nyckelord

Brandteknisk riskvärdering, Manillaskolan, skolbrand, kritiska förhållanden, utrymningstid, brandsimulering

Abstract

This report is a fire safety evaluation of the Manilla school in Stockholm and is written upon request by The National Property Board.

The Manilla school is an elementary school for children and youths with sense impairments, such as hearing and sight disorders.

The project is initialized by a visit at the school where class-instructors and the schools security manager participates. The project is later based on documentation such as measurements, blueprints and photographs from the visit. Personal safety is the main protective goal in the report. Whether this goal is obtained or not is evaluated by using a simplified risk analysis to divide the activity into representative fire-scenarios.

The central method used for the evaluation named above is calculations and estimations of whether the time required for evacuation falls short of the time where critical conditions are assumed to occur. Tools used in the report besides accumulated knowledge from previous classes are computer software such as CFAST, DETACT and Simulex.

The overall assessment of the results from named simulations and calculations are that the school- activity constitutes a from fire-safety perspective acceptable risk with some exceptions.

The report suggests that the system for early detection of fire should be extended to include all classrooms, offices and such premises. Tentatively this will be done by installation of smoke-detectors.

Förord

Grupp fem vill tacka flertalet personer för den hjälp och tid som de lagt ner för att bistå oss under arbetets gång. Arbetet har varit lärorikt och slitsamt. Rapporten hade inte varit möjlig utan hjälpen av följande personer:

Torkel Dittmer – för gästfrihet, snabba svar och uppmärksammande av rävar

Anders Kylberg – för visning av Manillaskolan

Henrik Johansson – för givande diskussioner och handledning kring hela arbetet

Daniel Nilsson – för ledning och förklaring av detektionsfunderingar

Lars Jensen – för givande förklaringar kring ventilation

Håkan Frantzich – för svar på allmänna funderingar kring bränder

Johan Fagerstedt – för att ha givit oss tillgång till ritningar m.m.

Sammanfattning

Denna rapport är en brandteknisk riskvärdering av Manillaskolan i Stockholm och är skriven på uppdrag av statens fastighetsverk.

Manillaskolan är en grundskola för ungdomar med framförallt hörselnedsättning men även med andra handikapp såsom synnedsättning och autism.

Projektet inleddes med ett besök på skolan där handledare för kursen tillsammans med säkerhetsansvarig från skolan deltog. Dokumentation i form av måttagning, ritningsmaterial samt fotografering ligger sedan till grund för den vidare processen. Det dominerande skyddsmålet i rapporten är personsäkerheten. Värdering av huruvida detta skyddsmål uppfylls sker med hjälp av förenklad riskanalys och indelning av skolan i representativa brandscenarier.

Metodiken som använts för att säkerställa brandskyddet grundar sig på om tiden för utrymning understiger tiden till kritiska förhållanden kan antas uppstå. Verktyg som använts är, förutom samlad kunskap från tidigare studier, programvara såsom CFAST, DETACT och Simulex.

Resultaten av rapporten visar att system för tidig upptäckt av brand bör byggas ut till att omfatta samtliga klassrum, kontor och liknande utrymmen. Förslagsvis sker detta genom installation av rökdetektorer.

Den samlade bedömningen av de resultat som rapporten visar är den att skolan får ett tillfredsställande brandskydd om de åtgärder som föreslagits ovan åtgärdas.

Innehållsförteckning

1. INLEDNING	3
1.1 SYFTE	3
1.2 MÅLGRUPP	3
1.3 METOD	3
1.4 AVGRÄNSNINGAR	4
2 OBJEKTSBESKRIVNING	6
2.1 MANILLASKOLAN	6
2.2 HUVUDBYGGNADEN	6
2.3 VERKSAMHET	8
2.4 BEFINTLIGT BRANDSKYDD	9
2.5 SYSTEMATISKT BRANDSKYDDSARBETE	10
2.6 VENTILATION	10
2.7 SÄRSKILDA FÖRUTSÄTTNINGAR	10
3. TEORI OCH FÖRENKLINGAR	11
4. SIMULERINGSPROGRAM	12
5 VAL AV SCENARIER	13
5.1 SKYDDSMÅL	13
5.2 RISKVÄRDERING	13
5.3 EJ VALDA SCENARIER	18
6. SCENARIO KYRKSAL	20
6.1 VERKSAMHET	20
6.2 LOKALENS UTFORMNING	20
6.3 REPRESENTATIVT BRANDFÖRLOPP	22
6.4 KRITISKA FÖRHÅLLANDEN	22
6.5 UTRYMNING	25
6.7 JÄMFÖRELSE MELLAN KRITISKA FÖRHÅLLANDEN OCH UTRYMNINGSTID	26
6.8 KOMMENTARER OCH KÄNSLIGHETSANALYS	27
7 SCENARIO ELEVMAATSAL	28
7.1 VERKSAMHET	28
7.2 LOKALENS UTFORMNING	29
7.3 REPRESENTATIVT BRANDFÖRLOPP	30
7.4 KRITISKA FÖRHÅLLANDEN	30
7.5 UTRYMNING	32
7.6 JÄMFÖRELSE MELLAN KRITISKA FÖRHÅLLANDEN OCH UTRYMNINGSTID	34
7.7 KOMMENTARER OCH KÄNSLIGHETSANALYS	34
8 SCENARIO KLASSRUM	35
8.1 VERKSAMHET	35
8.2 LOKALENS UTFORMNING	35
8.2.2 UTRYMNINGSVÄGAR	36
8.3 REPRESENTATIV BRAND	37
8.4 KRITISKA FÖRHÅLLANDEN	37
8.5 UTRYMNING	40
8.6 JÄMFÖRELSE MELLAN KRITISKA FÖRHÅLLANDEN OCH UTRYMNINGSTID	41
8.7 DETEKTION	42

8.8 KOMMENTARER OCH KÄNSLIGHETSANALYS	43
9 BRANDGASSPRIDNING	44
10 DISKUSSION	46
11 ÅTGÄRDER	51
12 SLUTSATSER	52
13 REFERENSER	53
BILAGOR	55
BILAGA A. RESULTAT CFAST	55
BILAGA B. RESULTAT SIMULEX	69
BILAGA C. HANDBERÄKNINGAR	72
BILAGA D. VAL AV EFFEKTKURVOR	81
BILAGA E. RITNINGAR.....	84
BILAGA F. TEORI OCH FÖRENKLINGAR	86
BILAGA G SIMULERINGSPROGRAM.....	91

1. Inledning

1.1 Syfte

Syftet med denna rapport är att göra en brandteknisk riskvärdering av Manillaskolan i Stockholm. Riskvärderingen görs på befintligt brandskydd och utvärderas med en rad olika metoder, vilkas mål är att bedöma brandsäkerheten i byggnaden med tyngdpunkt på utrymningssäkerhet. Slutsatser dras sedan kring huruvida objektets skyddsmål uppfylls och förslag ges på åtgärder som kan förbättra säkerheten. Det övergripande målet med rapporten är dock att i utbildningssyfte träna metodik och problemlösning.

1.2 Målgrupp

Rapportens målgrupp är främst uppdragsgivarna dvs. Manillaskolan och Statens Fastighetsverk. Dessutom riktar sig rapporten till övriga studenter i kursen Brandteknisk riskvärdering vid Lunds universitet samt handledare i projektet.

1.3 Metod

Rapporten skrivs under hösten 2007 som ett grupparbete där studenterna tilldelas objekt och handledare. Platsbesök och dokumentation ligger till grund för rapporten, där riskidentifiering, scenarioindelning och datorsimuleringar är centrala begrepp.

Vid simuleringar och beräkningar har tyngdpunkten genomgående legat på personsäkerhet. Metoden som använts är i stort att beräkna vilka kritiska förhållanden som kan antas uppstå samt tiden till detta och jämföra denna med den beräknade tiden som krävs för utrymning. Detta har gjorts dels via kvantitativa beräkningar, dels via simuleringar i datorprogram. Det viktigaste verktyget som använts i rapporten är dock de kvalitativa bedömningar som gjorts vilka baseras på kunskaper från tidigare kurser.

Genomgående i rapporten bedöms därför de beräkningar som gjorts vara vägledande medan de slutsatser som dras snarare grundar sig på uppskattningar och bedömningar.

1.3.1 Arbetsgång

Arbetsgången som använts för denna rapport kan sammanfattas på följande sätt.

- Identifiering av skyddsmål
- Inventering och värdering av befintligt brandskydd
- Beräkningar och simuleringar
- Identifiering och värdering av risker
- Slutsatser
- Förslag på åtgärder

1.3.2 Riktlinjer

De övergripande lagar och förordningar som följts är BBR samt BVF. Alla lösningar som uppfyller dessa grundkrav anses giltiga. För att upprätthålla en acceptabel skyddsnivå kan således dessa krav uppfyllas på olika sätt. Antingen genom att uppfylla brandtekniska detaljbestämmelser vilket kallas förenklad dimensionering eller genom så kallad analytisk dimensionering där detaljkraven ersätts med funktionskrav. Rapporten inriktar sig på funktionskrav och bygger främst på analytiska bedömningar och ingenjörsmässiga lösningar.

1.4 Avgränsningar

Skolans lokaler omfattar ca 9000 m² i sex byggnader. Huvudbyggnaden utgör ca två tredjedelar av den totala ytan och enligt uppgift¹ vistas ca 90 % av eleverna där ca 90 % av tiden. Satellitbyggnaderna är i ett eller två plan medan huvudbyggnaden är i sex plan, källare och vind inräknat. Detta medför att huvudbyggnaden är den del av skolan som är mest intressant ur utrymningsperspektiv. Av dessa anledningar begränsar sig denna rapport till skolans huvudbyggnad.

Då tyngdpunkten ligger på livräddning och utrymning kommer denna rapport av prioriteringsskäl inte beakta byggnadens bärverk eller eventuella skador på detta på grund av brand.

En stor del av verksamheten består av undervisning i klassrum, vistelse i uppehållsrum samt administration i kontorslokaler. Skillnaden mellan dessa verksamheter är att kontorslokalerna enbart nyttjas av personal, är något mindre till ytan samt nyttjas av färre personer än de övriga. I övrigt kan samtliga klassrum, uppehållsrum och kontor sägas ha liknande egenskaper. Såväl geometri, öppningar, möblering och brandbelastning antas vara lika ur brandtekniskt perspektiv. Klassrummen har olika användningsområden såsom datasal, föreläsningssal, textilslojd, NO-sal med mera. Principiellt kan det dock sägas att likheterna är större än skillnaderna.

¹ Kylberg A. (2007)

Dessa likheter medger förenklingen att resultatet från en undersökning av ett av dessa rum kan överföras till att gälla även för andra rum. Brandrummet väljs så att försvårande omständigheter för utrymning uppstår. Det vill säga en utrymningsväg blockeras. Hänsyn tas också till antalet närbelägna rum som påverkas. Genom att välja det brandrum som får allvarligast konsekvenser ur ett utrymningsperspektiv täcks även övriga klassrum, uppehållsrum och kontor in. Vid val av representativt brandscenario har dessutom faktorer som brandbelastning och persontäthet tagits hänsyn till. Scenariot ska alltså i egenskap av worst-case representera alla övriga klassrum, uppehållsrum och kontor.

Rum och verksamheter som inte behandlas i något scenario är bland annat toaletter, förrådsutrymmen, personalrum och hemkunskapskök. Dessa utrymmen antas ej utgöra större risker eller skilja sig väsentligt från de verksamheter som täcks in av de valda scenarierna.

Källare och vind behandlas inte i denna rapport. De anses inte vara allmänna utrymmen och har relativt begränsad tillgänglighet. Dessa utrymmen används inte i den dagliga verksamheten och antas därför vara skilda från den övriga verksamheten. De som eventuellt vistas i något av dessa utrymmen förutsätts vara personal och dessutom ha god lokalkännedom. Inga särskilda risker föreligger. Detsamma kan sägas gälla för liknande utrymmen såsom hissmaskinrum, pannrum etc.

Trapphus och korridorer utgör utrymningsvägar i de valda scenarierna.

2 Objektsbeskrivning

2.1 Manillaskolan

År 1812 invigdes undervisningen på Manillaskolan som då gick under namnet "Blindes och döfstummes institut" och drevs i privat regi. Huvudbyggnaden byggdes 1864 och kompletterades 1909 med ytterligare en våning. Fastigheten består av huvudbyggnad samt ett antal mindre byggnader såsom gymnastikhus och slöjdsal. Denna rapport begränsas till att enbart behandla huvudbyggnaden. 1938 övertogs driften av staten. Skolans lokaler har renoverats i omgångar och den senaste större renoveringen skedde under 1995-1996 då i stort sett hela huvudbyggnadens interiör översågs.

2.2 Huvudbyggnaden

Byggnadsår: 1864

Våningsplan: 4 plus källare och vind

Kulturskyddad: ja

Byggnadsarea: ca 6000 m²

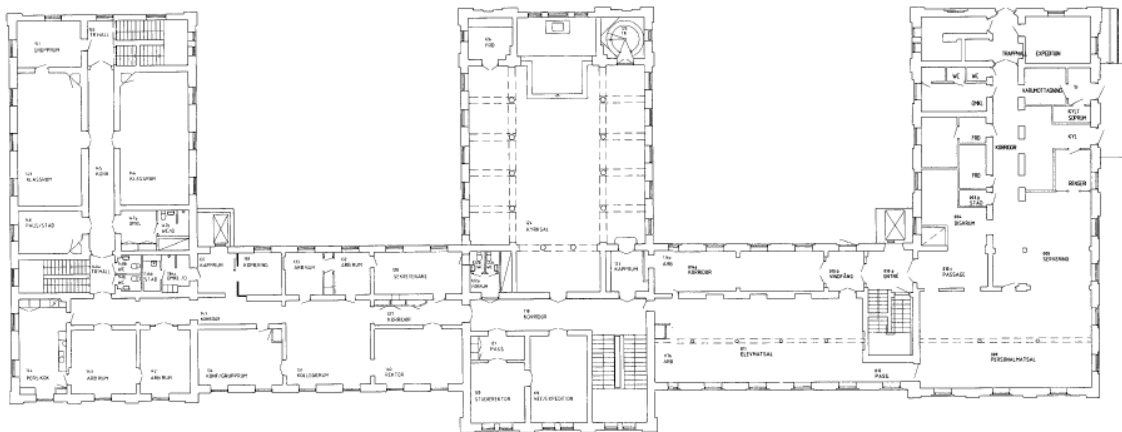


Fig. 2.1 Exempel på planlösning Plan 1

Huset är en kulturskyddad gulputsad fyra våningsbyggnad i klassicistisk stil. Källare och vindsvåning används i begränsad utsträckning som förrådsutrymme respektive aggregatsrum.

Byggnaden består av tre flyglar sammanbundna av två mellanbyggnader. I varje flygel finns två trapphus, de båda mellanbyggnaderna har en hiss vardera. Trapphusen i östra flygeln löper från källarplan till vindplan, centraltrapphuset löper från källare till plan fyra. Övriga trapphus samt hissar betjänar våningarna ett till fyra. Centralflygeln rymmer från plan två till tre en kyrksal som numera fungerar som samlingssal. Storkök och matsalar är belägna på bottenplan i den östra flygeln. På bottenplan i västra flygeln finns ett fritids för sexårsverksamheten. Korridorer löper genom hela huset på plan ett till fyra.

En rad av bärande stålpelare finns i mellanbyggnadernas klassrum och kontor. Takhöjden i huset är genomgående ca 3,5 till fyra meter. Källare, vind och samlingslokal undantaget.

Byggnaden har ca 40 rum per våningsplan vilka innefattar en rad olika verksamheter.

Dessa har för att ge en överskådlig bild av helheten delats in i kategorier

En översiktlig beskrivning av dessa kategorier ges nedan:

Korridor

Korridorerna sammanbinder klassrum och kontorsutrymmen. Korridorerna är brandtekniskt avskiljda med magnetuppställda dörrar i klass E30. I korridorerna sitter rökdetektorer samt larmdon i form av blytljus och akustisk signal. Huvudkorridorerna är även utrustade med tre brandposter per plan placerade i höjd med varje flygel. Slangarna räcker 30 meter.

Brandbelastningen består av ytterkläder och kapphängare med tillhörande förvaringshyllor i trä.

Trapphus

Byggnaden har sex trapphus. Den östra och västra flygeln har vardera två trapphus. De är brandtekniskt avskiljda utrymningsvägar. I den centrala flygeln löper en spiraltrappa som utrymmer bl.a. kyrksalen. Dessutom finns en huvudtrappa belägen i foajén. Den senare är något bredare än övriga trappor men ej egen brandcell.

Klassrum/ Uppehållsrum/personalrum

Dessa är utformade för mindre klasser om ca 10 personer. Brandbelastningen består i huvudsak av träbänkar och stoppade stolar samt bokhyllor i trä med läsmaterial. Vissa var även utrustade med datorer. En del klassrum används som uppehållsrum för elever och personal med tillhörande pentry. I övrigt finns även en hemkunskapssal med flera kök, en NO-sal och en syslöjdsal.

Kontor

Kontoren är små och utformade för en person. Brännbart material i kontoren är främst pärmar, skrivbord och bokhyllor i trä.

Bibliotek

Rummet består av små möbelgrupper och bokhyllor som upptar majoriteten av ytan. Nämnas bör att rummets möblering i kombination med blytljusets positionering gör det svårt att se från större delen av rummet. Brandbelastningen i biblioteket är relativt hög.

Kyrksal

Kyrksalen fungerar som samlingsal för högst 150 personer. Den sträcker sig över två våningar med läktare i det övre planet.

Förskola

Förskolan är en verksamhet bestående av sju rum köket inräknat. Här vistas ca 20 personer dagtid varav 12 är barn i åldern 6-7 år. Ett av rummen består av ett kök med tillhörande matplats. I pysselrummet är brandbelastningen relativt hög då stora mängder pappersmaterial finns på liten yta.

Matsal

Det finns två matsalar. En för elever och en personalmatsal. Elevmatsalen har en kapacitet på ca 90 personer. Personalmatsalen rymmer ca 40 personer. Brännbara material är i huvudsak stolar och bord i trä. Personalmatsalen är ansluten till storköket.

Storköket

Storköket serverar ca 250 personer dagligen. Varmluftsugnar, fritöser och dylikt är placerade under huv. En serveringslucka som endast är manuellt stängningsbar leder till personalmatsalen.

Pentry/kök

Utformat som ett mindre kök. Potentiella användningskällor är spis och kylskåp.

WC

Toaletterna är utformade som en offentlig toalett.

Vind

Vindsvåningen är i stort sett oanvänd. Ventilationsaggregaten som är placerade här servar hela byggnaden

Källare

Endast östra och centrala flygeln samt mellanbyggnaden är i bruk. Övriga delar är outgrävda. Den östra och de övriga delarna är förbundna endast via en krypgång som även används som utrymningsväg. Källaren är låg i tak och består av mindre förvaringsutrymmen. Även pannrummet är beläget här.

2.3 Verksamhet

Antal elever: ca 150

Antal anställda: ca 110

Verksamhetens tider: ca 07-17

Skolans verksamhet sträcker sig från förskola till årskurs tio, vilket innebär att elevernas ålder varierar från sex till sexton år. Eleverna är ca 150 till antalet med någorlunda jämn fördelning över årskurserna. Skolan har ca 110 anställda av vilka ca 90 dagligen befinner sig på skolan. Huvuddelen av verksamheten är större delen av tiden förlagd till huvudbyggnaden. Majoriteten av eleverna är helt döva eller har gravt nedsatt hörsel. Ett antal av eleverna är dessutom blinda eller har nedsatt syn. Dessutom har ett antal elever ytterligare handikapp såsom autism. Undervisning sker på grund av kommunikationsskäl i små grupper. Personaltätheten är genomgående hög. Verksamheten sker enbart under kontorstid, med undantag för enstaka föräldramöten. Skolan har hittills inte haft problem med sabotage eller anlagd brand.

2.4 Befintligt brandskydd

2.4.1 Larmsystem

Manillaskolan har ett automatiskt brandlarm med koppling till både utrymningslarm och räddningstjänst. Utrymningslarmet är på grund av de speciella omständigheterna med syn och hörselnedsättning både akustiskt och visuellt. Blixtljus finns i de allra flesta utrymmen och den akustiska signalen hörs enligt uppgift² väl i samtliga lokaler.

Detektorer och larmknappar finns främst i korridorerna och saknas i stor utsträckning i klassrum och kontor. Utbyggnad av larmsystemet har skett etappvis och vissa perioder har systemet fungerat sämre. På senare tid har dock systemet enligt uppgift fungerat väl.



Bilden visar blixtljus i kombination med akustiskt signaldon. Det orangea signaldonet är en före detta rastklocka som numera är tagen ur bruk.

2.4.2 Aktiva system

Byggnaden är utrustad med anordningar för manuell brandsläckning. Såväl inomhusbrandposter som brandsläckare finns utplacerade på skyltade platser.

I byggnaden finns sprinkler endast i köket.

2.4.3 Brandcellsindelning

Generellt för byggnaden gäller att korridorer tillsammans med trapphus utgör utrymningsvägar och är således utformade som egna brandceller. Rum som gränsar till korridor är i vissa fall egna brandceller men vanligare är att ett antal rum på samma sida en korridor tillsammans utgör en brandcell. Brandcellsgränserna utgörs ofta av dörrar med den äldre klassningen B30.

Korridorerna avgränsas med jämna mellanrum av magnetuppställda dörrar alternativt självstängande dörrar.

² Kylberg A. (2007)

2.5 Systematiskt brandskyddsarbete

2.5.1 Rutiner vid larm

Skolan håller regelbundna brandövningar för samtliga elever och personal. Kartor över uppställning vid återsamlingsplatsen finns uppsatta och utrymning av skolan fungerar enligt uppgift väl³.

2.6 Ventilation

Ventilationsanläggningen består av två aggregat belägna på vindsvåningen i östra respektive västra mellanbyggnaden. Dessa aggregat hänvisat till som VA1 (väster) samt VA2 (öster). Dessutom finns en frånluftsfläkt på taket till centralflygeln (FF1) samt en mindre på västra flygeln (FF2). VA1 betjänar västra flygeln, västra mellanbyggnaden samt centralflygeln. VA2 betjänar östra flygeln och östra mellanbyggnaden.

2.7 Särskilda förutsättningar

Teckenspråk är den huvudsakliga kommunikationsformen på skolan. Detta är ett språk som har längre inlärningsstid än talspråk, vilket gör att barnen kan antas ha sämre kommunikationsförmåga än skolbarn i genomsnitt har. Detta gör att de kan vara extra känsliga för störningar och därför ha något längre reaktionstid för att uppfatta omgivningens signaler. Ur utrymningsperspektiv kan detta få konsekvenser bland annat för att uppfatta larmsignaler även om dessa är anpassade för målgruppen.

Nämnas bör att på skolan finns elever som utöver nedsatt hörsel har en kombination av handikapp, så som nedsatt syn och autism. Att vissa av eleverna har nedsatt syn eller är helt blinda ställer höga krav på personalens förmåga att assistera vid utrymning. Även autism kan försvåra vid en utrymningssituation. Ovan nämnda förutsättningar gör att flera av eleverna kan antas sakna förmåga att själva utrymma byggnaden på ett säkert sätt.

Då byggnaden är kulturmärkt kan det innebära begränsningar kring vilka installationer som kan göras såsom sprinklers, rördragning med mera.

³ Kylberg, A (2007)

3. Teori och förenklingar

Denna rapport grundar sig på ett antal teorier och förenklingar. Dessa står som grund för huruvida säker utrymning kan ske eller ej. De teorier och förenklingar som har arbetats med är följande:

- Kritiska förhållanden
- Effektutveckling
- Utrymningsteori
- Brandgaslager
- Sikt

De kriterier för kritiska förhållanden som används i denna rapport är följande⁴:

- **Strålning** - mot person infallande strålning får ej överstiga $2,5 \text{ kW/m}^2$
- **Temperatur** - temperaturen där personer kan antas befinna sig får ej överstiga 80°C .
- **Siktförhållanden** - Sikten får ej understiga 10 meter i en okänd miljö, 5 meter i en känd, för att utrymning anses kunna ske på ett säkert sätt. De särskilda omständigheterna gör att 10 meter används som kritisk sikt.
- **Brandgaslagrets höjd** - brandgaslagrets höjd får ej understiga $1,6 + 0,1 \times \text{lokalens takhöjd meter}$.

Brandgaslagrets höjd är i sig inte kritiskt utan förutsätter att brandgaserna har en kritisk temperatur, strålning eller sikt. Det vill säga att utrymning eventuellt kan ske om sikten är bra och brandgaserna svala, trots att brandgaslaget understiger kritisk höjd. Analogt resonemang gäller för toxicitet. Dock behandlar inte rapporten begreppet toxicitet då informationen om bränslets sammansättning på objektet är mycket begränsad och beräkningar på toxiciteten skulle därför bli intetsägande och irrelevanta.

Förbrinntiden är den tid det tar för en brand att utvecklas från antändning till flambrand. Rapporten gör förenklingen att förbrinntiden inte tas hänsyn till. Detta får sannolikt som konsekvens att den beräknade tiden till maxeffekt underskattas. Detta antagande leder till att detektorer i verkligheten skulle lösa tidigare än beräknat, vilket innebär att utrymningstiden överskattas i beräkningarna. Antagandet kan därför sägas vara konservativt.

⁴ Brandskyddshandboken (2005)

4. Simuleringsprogram

Rapporten fäster stor vikt vid resultat från simuleringar med datorprogram. Programmen som använts i denna rapport är:

- CFAST
- Simulex
- DETACT

För noggrannare beskrivning av programmen hänvisas läsaren till bilaga G.

5 Val av scenarier

5.1 Skyddsmål

Denna rapport har personsäkerhet som absolut överordnat skyddsmål och tyngdpunkten ligger därför på att säkerställa att säker utrymning kan ske. Det innebär att utrymning kan ske innan kritiska förhållanden kan antas uppstå. Materiella skador har således inte tagits i beaktande.

5.2 Riskvärdering

För att kunna göra en rimlig brandteknisk riskvärdering måste åtskillnad göras mellan olika tänkbara scenarier. Det är viktigt att identifiera särskilda och representativa scenarier. För urvalsprocessen görs först en grovsortering av olika brandscenarier. Efter analytisk bedömning väljs sedan de scenarier som utreds vidare. Dessa scenarier behandlas sedan enskilt med hjälp av ett händelsetråd. I detta kombineras olika händelser som kan inträffa eller ej. Därefter görs en kvalitativ bedömning av hur sannolikt ett visst händelseförlopp är och hur allvarliga konsekvenser det kan få. Sannolikheten är relativ, det vill säga att en hög sannolikhet är hög relativt den låga. Detta utvärderas sedan i en riskmatris som redovisar en bedömning av potentiella brandrisker.

Skolans geometri är till stora delar symmetrisk och verksamheterna skiljer sig ej väsentligen mellan de olika lokalerna. Exempelvis kan ett klassrums egenskaper approximativt överföras till att gälla även för kontor och uppehållsrum.

Vissa tänkbara scenarier är unika men konsekvenserna blir mindre allvarliga. Dessa scenarier bortses från. Det värre fallet täcker även in de mindre allvarliga. Vidare identifieras vissa scenarier som ej täcks in av andra och dessutom kan få allvarligare konsekvenser. Dessa bedöms som högrisker och utreds närmare. Nedan följer ett urval av tänkbara bränder i olika utrymmen. Dessa utrymmen är valda för att de är unika eller för att de är representativa för stora delar av verksamheten.

- Brand i kyrksal

Kyrksalen används som samlingsplats. Enligt skolans kontaktperson arbetar man aktivt med att aldrig överskrida antalet 150 individer samtidigt. Dock har lokalen fysisk kapacitet som överstiger detta. Kyrksalen är unik i byggnaden, både till utformning och till användningsområde.

- Brand i elevmatsal

Matplatsen nyttjas varje dag. Man äter i tre omgångar, men har kapacitet för 90 personer samtidigt. Tät möblering och fast pelarrad kan komma att försvåra utrymning. Emellanåt är stämningen livlig vilket kan försena upptäckt av larm.

- Brand i Klassrum

Klassrum kan principiellt sägas representera ett stort antal liknande rum. Företrädesvis väljs ett med olämplig placering med tanke på detektion, brandgasspridning och blockering/försvåring av utrymning.

Händelseträd

Med hjälp av händelseträdet blir det lätt att kombinera olika parametrar till ett flertal scenarier, figur 5.1 . Varje händelsekedja har en viss sannolikhet och bedöms få en konsekvens av en viss betydelse. Genom att väga samman sannolikhet och konsekvens för ett specifikt scenario kan man bedöma den potentiella risken. Detta sammanfattas enkelt i en riskmatris, tab 5.1-5.3. På så vis kan man överskådligt bestämma vilka variationer inom det valda brandrummet som är intressanta för närmare undersökning. I riskmatrisen presenteras en bedömning av den betingade sannolikheten. Det innebär att det förutsätts att en tillväxande brand har inträffat, dvs. den självslocknar inte. Bränder som självslocknar har inte behandlats då de inte kommer att ge några allvarligare konsekvenser. Sannolikheten för att en viss händelsekedja inträffar baseras på kvalitativa bedömningar. Dessutom värderas parametrarna olika. Detta innebär i det här fallet att riskmatrisen är ett relativt trubbigt verktyg, men det är mycket användbart för val av scenario.

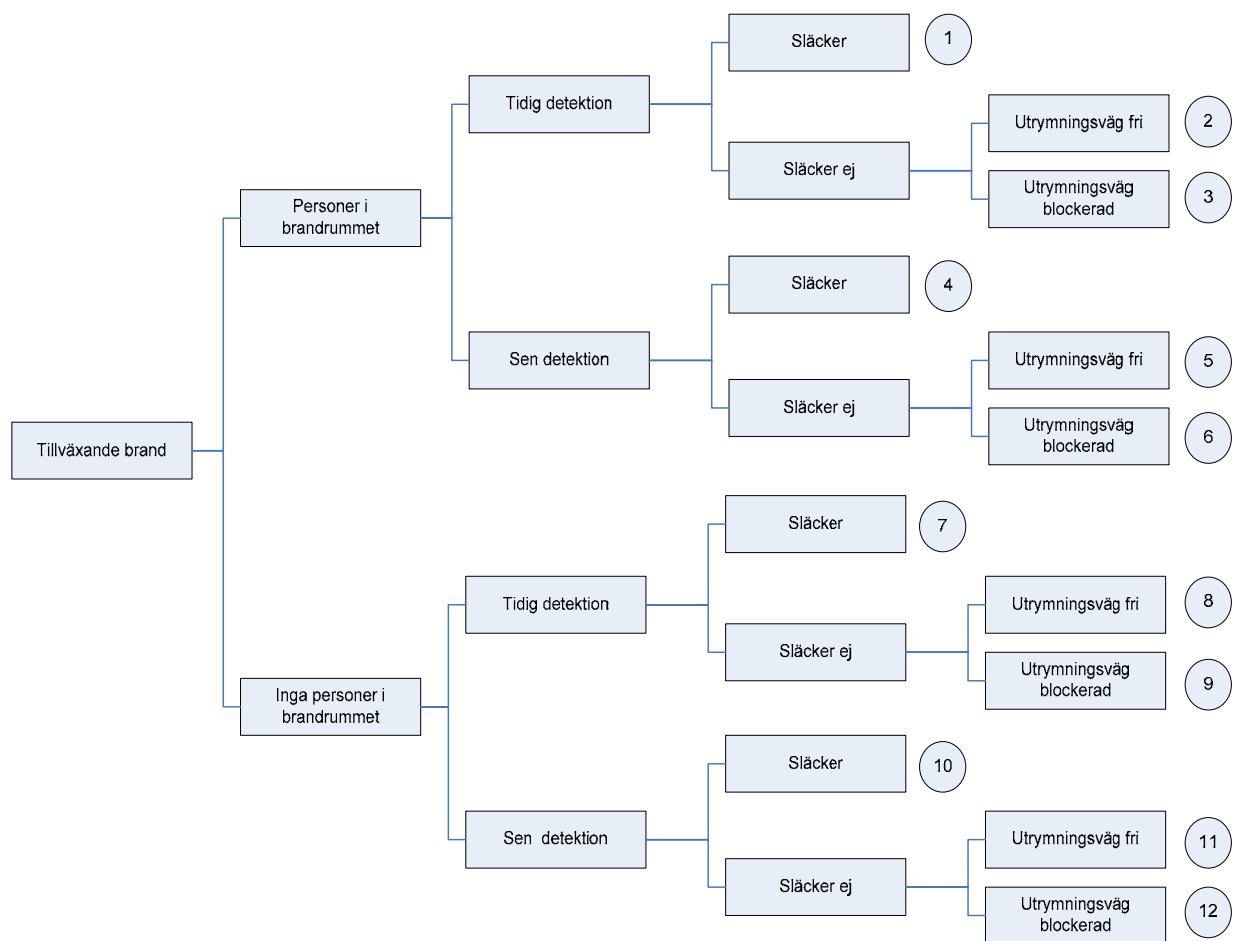


Fig. 5.1. Händelseträd

För olika scenarier kan det anses vara antingen försvårande eller förmildrande omständighet att personer befinner sig i brandrummet. Med personer i rummet kan upptäckt av branden ske tidigare med följden att även utrymning eller eventuell släckinsats kan påbörjas tidigare. Däremot blir personskaderisken betydligt högre.

Detektion kan ske både visuellt och med hjälp av rökdetektorer. Den förra leder sannolikt till utrymning och i bästa fall till släckning. Eventuellt medför det larmknappstryckning som resulterar i utrymning i större skala, dvs. omfattande även personer som befinner sig i intilliggande lokaler. Den senare medför automatiskt utrymningslarm för hela skolan samt vidarekoppling till Räddningstjänsten. Visuell upptäckt kan, i de fall de sker, generellt antas göra det tidigare än automatisk detektion. Detta sker oftast då personer redan befinner sig i rummet.

En släckinsats är mer sannolik att lyckas ju tidigare i brandförloppet den inleds. Det innebär att den är starkt beroende av tid till detektion. Dessutom är det avgörande ifall det finns personer i brandrummet eller dess närhet som snabbt kan lokalisera branden. Av uppenbara skäl begränsar en lyckad släckning konsekvenserna avsevärt. Värt att poängtera är att det fortfarande kan finnas anledning till att utrymma lokalerna.

Brandens placering kan betyda att en eller flera utrymningsvägar blockeras. Det kan medföra att riskerna snabbt eskalerar. Fler personer utsätts för kritiska förhållanden under en längre tid, dvs. risken för personskador ökar dramatiskt.

Kyrksalen

Kyrksalen har en särställning i det avseendet att den är det rum som enskilt rymmer flest personer samtidigt. Den höga persontätheten medför potentiellt mycket stora personskador och försvårar utrymning vilket gör det värt en närmare undersökning. För kyrksalen bedöms det vara mest sannolikt att en brand utbryter i anslutning till mänsklig aktivitet, dvs. det är troligast att man får en antändning då salen och dess biutor används. Detta medför även att konsekvenserna kan bli värre. Om salen står orörd är sannolikheten för antändning liten.

Brandrummet i händelseträdet får representera ett angränsande dolt utrymme såsom förråd och kapprum. En dold brand leder till en mycket senare detektion. Den sena detektionen medför att branden tillåts utvecklas under längre tid. Vidare kan det antas att en ej dold brand, exempelvis på scenen, skulle upptäckas i ett tidigare skede. Eventuell utrymning kan påbörjas snabbare och ett initialt släckförsök har större chans att lyckas. *Tidig detektion* i händelseträdet får representera synlig brand. Den dolda branden kan uppstå bland annat i förrådsrummet bredvid scenen och i kapprummet nära huvudentrén. I det senare fallet riskerar minst en utrymningsväg bli blockerad. Framförallt är scenario 5 och 6 av störst intresse på grund av de stora konsekvenser de kan leda till, se tab 5.1. Dessa scenarier utreds vidare nedan.

Tab 5.1. Riskmatris Kyrksal

Scenario	Sannolikhet	Konsekvens	Risk
1	Stor	Liten	Medel
2	Stor	Medel	Medelhög
3	Medel	Stor	Medelhög
4	Liten	Liten	Låg
5	Stor	Medel	Medelhög
6	Stor	Stor	Hög
7	Liten	Liten	Låg
8	Liten	Liten	Låg
9	Liten	Medel	Medellåg
10	Liten	Liten	Låg
11	Liten	Liten	Låg
12	Liten	Medel	Medellåg

Matsal

Matsalen nyttjas dagligen av stora grupper samtidigt. Den höga användningsfrekvensen och persontätheten medför potentiellt både större sannolikhet och allvarigare konsekvens för ett tillbud med personer i brandrummet. Branden är sannolikt synlig och visuell detektion är därför trolig. Ju tidigare upptäckt av brand sker desto troligare är det att en manuell släckinsats av personal/elev lyckas. Förvisso medför eventuell släckning av branden begränsning av skador på både egendom och personer. Dock får släckning ses som ganska osannolikt om ett snabbt brandförlopp antas. Scenario 2 och 3 bedöms innebära den största risken, se tab 5.2.

Tab 5. 2. Riskmatris Matsal

Scenario	Sannolikhet	Konsekvens	Risk
1	Stor	Liten	Medel
2	Stor	Medel	Medelhög
3	Medel	Stor	Medelhög
4	Liten	Liten	Låg
5	Liten	Medel	Medellåg
6	Liten	Stor	Medel
7	Liten	Liten	Låg
8	Medel	Liten	Medellåg
9	Medel	Medel	Medel
10	Liten	Liten	Låg
11	Liten	Liten	Låg
12	Liten	Medel	Medellåg

Klassrum

För händelsen av brand i klassrum bedöms det som försvårande omständighet om inga personer befinner sig i brandrummet. På så vis upptäcks branden senare och tillåts tillväxa ostört. Däremot kan det antas vara mer sannolikt att en eventuell brand uppstår om aktivitet pågår i rummet. Rökdetektor finns ej i klassrummet, utan enbart i korridoren utanför. Detektion av rökdetektor medför att utrymningslarmet utlöser. Ju tidigare detta sker desto säkrare ur utrymningsperspektiv. Larmet utlöser antingen genom visuell upptäckt som resulterar i tryck på larmknapp eller genom att rök väller ut och kommer i kontakt med detektor. Mest sannolikt då dörr mot korridor öppnas.

Då brandgaser väller ut i korridoren kommer sannolikt minst en utrymningsväg blockeras. I bästa fall kan utrymning ske, men under försvårande omständigheter. Med personsäkerhet som skyddsmål blir tillfredställande utrymning av högsta prioritet. Mot denna bakgrund blir scenario 12 mest intressant för vidare utredning, se tab 5.3.

Tab 5. 3. Riskmatris Klassrum

Scenario	Sannolikhet	Konsekvens	Risk
1	Stor	Liten	Medel
2	Stor	Medel	Medelhög
3	Stor	Medel	Medelhög
4	Liten	Liten	Låg
5	Medel	Medel	Medel
6	Medel	Stor	Medelhög
7	Liten	Liten	Låg
8	Liten	Medel	Medellåg
9	Medel	Stor	Medel
10	Liten	Liten	Låg
11	Medel	Medel	Medel
12	Stor	Stor	Hög

5.3 Ej valda scenarier

En mängd tänkbara bränder kan kvalitativt väljas bort för att på så sätt få hanterbara mängder data. En riskbedömning ger att vissa scenarier ej är intressanta för vidare utredning för att det helt enkelt inte finns något brännbart material eller rimlig antändningskälla. Ett flertal scenarier kan avföras på grund av att de täcks in av redan valda. Ytterligare en faktor som ger skäl till att stryka ett visst scenario kan vara att lokalen frekventeras förhållandevis sällan.

I korridorerna finns förvisso bränsle i form av kapphängare, hyllor och ytterkläder, men brandbelastningen kan dock sägas vara relativt liten. Ingen förhöjd antändningsrisk finns. Dessutom sitter rökdetektorer i varje korridor vilket ger tidig detektion. Utöver väggfasta hyllor är korridorerna omöblerade och breda vilket underlättar vid utrymning. I trapphusen finns inget brännbart material. Konsekvenserna för brand i toalett blir mindre allvarliga än för brand i klassrum. Resonemanget är giltigt även för övriga allmänna utrymmen, såsom uppehållsrum, kontor och pentry.

5.3.1 Speciella utrymmen

Vissa lokaler har speciella förutsättningar som gör att de är värda ett omnämnande trots att de avförs från vidare undersökning i denna rapport.

Förskola/Fritids

Eleverna i förskolan har på grund av sin ålder (6-7 år) mer begränsad förmåga till kommunikation än de äldre barnen och kan därför sägas utgöra den ur utrymningsperspektiv känsligaste gruppen. Förskolan omfattar tre-fyra rum innehållande leksaker, pysselmateriel och annat brännbart, dvs. lokalerna har relativt hög brandbelastning. Lokalerna inrymmer dessutom ett kök med tillhörande antändningskällor. Brand i förskolan är således både relativt sannolikt och får dessutom potentiellt allvarliga konsekvenser. Brand i förskolan utgör med andra ord en stor risk.

Förskolan kan däremot inte sägas skilja sig nämnvärt från klassrum och kontor i brandtekniskt avseende och kan därför antas få liknande brandförlopp. I denna rapport behandlas således inte förskolan som ett separat scenario utan omfattas av de resultat som ges av de valda scenarierna. Barnens låga ålder tas också hänsyn till vid simuleringarna.

Storkök/Hemkunskapssal

Varmluftsugn, spis och fritös kan utgöra särskilt potentiella antändningskällor. Dessa är placerade under huv med befintlig sprinkler. Köket används främst av personal som är väl införstådda med rutiner vid brand samt utrymningsvägar. Förråden innehåller inga brännbara vätskor. Då köket används av ett begränsat antal människor som dessutom är vuxna bedöms verksamheten ej utgöra någon större risk ur utrymningsperspektiv. Hemkunskapssalen skiljer sig inte nämnvärt från övrig verksamhet och behandlas ej av denna anledning.

Bibliotek

I biblioteket finns en stor mängd brännbart material. Persontätheten är dock förhållandevis låg och möbleringen har stora fria ytor som medger ohindrad utrymning. Det bör dock noteras att larmsystemets blixtljus är dolt för direkt påsyn i vissa vinklar.

Biblioteket har på grund av sin geometri med öppningar i båda ändarna bättre förutsättningar för utrymning än de flesta liknande rum i byggnaden. Trots den höga brandbelastningen bedöms eventuellt brandförlopp initialt inte skilja sig från brandförlopp i liknande rum. Av dessa anledningar representeras biblioteket av de övriga scenarierna och då scenario klassrum i synnerhet.

6. Scenario Kyrksal

Då kyrksalen är den lokal på skolan som kan hysa flest personer samtidigt är den av naturliga skäl intressant ur utrymningsperspektiv och har därför tagits upp som ett scenario.

6.1 Verksamhet

Salen används som samlingslokal vid speciella tillfällen, som skolavslutning och liknande. Dörrarna mäter 1,2 m både för entrén och för spiraltrapphuset. Dörrarna är normalt stängda och öppnas i utrymningsriktningen. Förutsättningarna för scenariot är att lokalen är fullsatt. Det motsvarar ca 150 personer sittandes på stolar, såväl i salen som på läktarna.

6.2 Lokalens utformning

6.2.1 Geometri

Area: Kyrksal ca 190m², Förråd ca 9 m², Kapprum ca 9 m²

Volym: 2250 m³ (Takhöjden uppgår till 8,7 m samt 3.7 m i förrådet.)

Golvbeläggning: Golvet består av slipade brädor av trä.

Ytskikt: Målad puts

Tak: Akustikplattor på puts

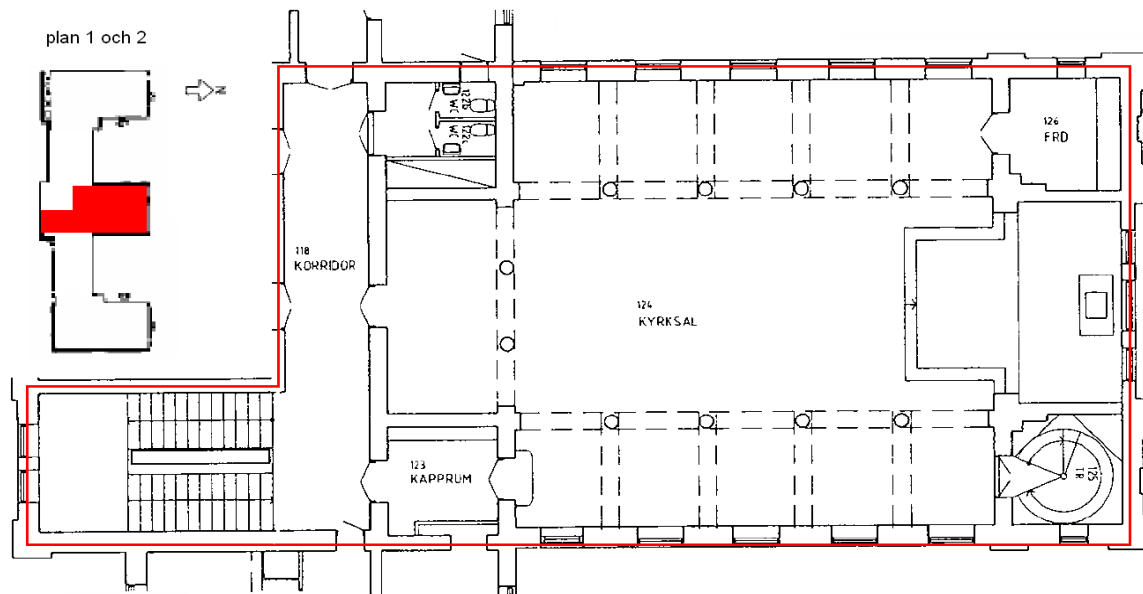


Fig. 6.1 Planlösning

6.2.2 Utrymningsvägar

Kyrksal utryms via huvudentré samt spiraltrappa. Den östra läktaren utryms antingen via spiraltrapphus eller ut i korridor på plan tre. Den västra läktaren utryms enbart ut till korridor på plan tre. Orgelläktaren utryms även den enbart till korridor, detsamma gäller för förrådet i änden på den västra läktaren.

6.2.3 Brandbelastning

Brandbelastningen i salen är relativt låg. Ca 110 trästolar med stoppning är permanent uppställda i rader om tio med en passage i mitten. Det stora draperiet på scenen mäter ca 7×5 meter och är av flamskyddsbehandlat material. Under den västra läktaren finns två pianoflyglar. Viss elektronik i form av overhead och ljudanläggning finns på scenen. Läktarna fungerar som utställningsyta och förråd. Brandbelastningen per golvytenhet är här större än i salen. Orgelläktaren kan sägas ha relativt hög brandbelastning i form av träkonstruktioner. Förrådet används som förvaringsutrymme samt kontrollcentral till ljudanläggning i salen. Säkringsskåpet till ljudanläggningen är placerat i förrådet. I kapprummet antas det finnas ca 100 jackor när det är fullsatt.



Fig. 6.2 Bilden visar kyrksalen vilken fungerar som skolans samlingslokal.

6.2.4 Antändningskällor

På scenen kan det finnas levande ljus. Dessutom finns viss elektronisk utrustning. I förrådet utgör säkringsskåpet en möjlig antändningskälla. Antändning i kapprummet kan till exempel ske genom anlagd brand.

6.2.5 Ventilation

Tilluft finns i form av deplacerande don i scenens underkant samt väggmonterade på båda sidor om orgelläktaren. Frånluftsdon finns takmonterat öster om orgelläktaren. Såväl tilluft som frånluft är kopplat till aggregat VA1.

6.2.6 Brandceller

Kyrksalen utgör egen brandcell. Dörrar till angränsande brandceller är brandklassade. Dessa är normalt stängda eller magnetuppställda.

6.3 Representativt brandförlopp

Brand i närliggande utrymmen leder ofta till betydligt sämre utrymningsförhållanden. En brand på scenen eller någon annanstans i salen kommer troligtvis att upptäckas betydligt tidigare och därför få lindrigare konsekvenser. En brand på orgelläktaren upptäcks troligtvis tidigt även om den inte ligger i blickfånget, eftersom kyrksalens enda detektor är placerad här. Eftersom branden får tillväxa ostört och den lägre takhöjden ger högre återstrålning, uppstår kritiska förhållanden betydligt snabbare vid brand i förrådet eller kapprummet än vid brand på scenen. Brand i förrådet eller kapprummet kommer således betraktas som worst-case och studeras närmare.

I förrådet har en effektutveckling antagits till en $\alpha \cdot t^2$ -kurva. Detta för att brandbelastningen varierar och en generell effektutveckling täcker in flest tänkbara fall. Vid val av tillväxtfaktor har stolar och bord antagits som den oftast förekommande brandbelastningen och tillväxtfaktorn ansätts därför till fast⁵, dvs. $\alpha = 0,047 \text{ (kW/s}^2\text{)}$.

Effektutvecklingen, se bilaga D, för brand i kapprummet approximeras enligt experiment för just kappbrumsbrand ur en forskningsrapport vid Lunds universitet⁶.

6.4 Kritiska förhållanden

6.4.1 Simulering i CFAST

Simuleringen i CFAST har som mål att ge en bild av om kritiska förhållanden kan komma att uppstå i Kyrksalen, och i så fall vid vilken tidpunkt från antändning.

⁵ Karlsson, B. (2000)

⁶ Johansson, B. (2004)

Simuleringarna visar att det uppstod kritiska förhållanden vid flera fall. Det var dock bara följande fyra som gav kritiska förhållanden inom en relevant tidsperiod:

- Fall 1: Brand i kapprum – dörr mot korridor öppen.
- Fall 2: Brand i kapprum – dörr mot korridor stängd.
- Fall 3: Brand i förråd – fönster helt.
- Fall 4: Brand i förråd – fönster går sönder.

Strålningsnivåerna uppnår aldrig kritiska värden för de utrymmen som personer väntas utrymma genom.

Höjden i mitten av kyrksalen är 8,7 m och under läktarna är den 4 m. Medelhöjden antas till 6 m. Brandgaslagrets höjd får således inte understiga 2,2 m. Vid denna höjd strömmar inga brandgaser ut ur kyrksalen.

På grund av kyrksalen geometri och begränsningarna i CFAST har kyrksalen delats in i olika rum, se bilaga A1.1. I tabell 6.1 redovisas två temperaturer för brandgaslagret vid kritisk höjd. Den första gäller för den del som är närmast branden och den andra är den högsta temperaturen för det område där personer ska utrymma.

Tab 6.1 Översikt av simuleringsresultat

Resultat från simulering i CFAST						
	Fall 1 Brand i kapprum, dörr mot korridor öppen		Fall 2 Brand i kapprum, dörr mot korridor stängd		Fall 3 Brand i förråd, fönster helt	Fall 4 Brand i förråd, fönster trasigt
	Kyrksal	Korridor	Kyrksal	Korridor	Kyrksal	Kyrksal
Max strålning mot människa [kW/m ²]	1	1,5	1,2	0	1,3	1,5
Tid till kritisk höjd brg.lagret [s]	125	65	120	-	190	240
Temperatur i brg.lagret vid kritisk höjd [°C]	200/105	90	220/115	20	150/75	130/55

6.4.2 Handberäkning av brandgaslagrets höjd

Det värsta fallet antas vara då branden blockerar utrymning via huvudentrén, alltså det fall då kapprumsdörren står öppen mot korridoren. Detta fall är svårt att handberäkna eftersom det inte går att avgöra hur stor del av brandgaserna som kommer ut i korridoren respektive i kyrksalen. Istället har handberäkning av brandgaslagrets höjd i kyrksalen gjorts för fall 2 och 3, dvs. då endast öppningar mot kyrksalen är öppna. Detta har gjorts i syftet att validera resultat ur CFAST-simuleringarna. Beräkningarna har gjorts för den tidpunkt där brandgaslagrets höjd i CFAST når den kritiska höjden för utrymning, se bilaga C.4.

Fall 2 - Kritisk höjd nås vid 105 s.

Fall 3 - Kritisk höjd nås vid 180 s.

6.4.3 Handberäkningar av siktförhållanden

Vid simulering i CFAST erhålls värden för bland annat brandgaslagrets höjd. Dessa värden grundar sig på att en tydlig skiktning uppstår. I verkligheten ligger sanningen någonstans mellan en tydlig skiktning och väl omblandade förhållanden. Experiment ger värden för rökpotential, som används för att beräkna siktförhållanden för det väl omblandade fallet. Då data saknas för rökpotentialen vid brand i kapprummet beräknas den enbart för brand i förrådet.

Rökpotentialen för trä D_0 ($0,051 \text{ m}^2/\text{g}$)⁷ ger en tid på 180s tills en sikt på 10m, se bilaga C.2. Tiden jämförs i tabell 6.2 med andra tider för kritiska förhållanden

6.4.4 Tid till kritiska förhållanden

En jämförelse mellan resultat från CFAST och handberäkningar utförs i syfte att undersöka skillnader. Jämförelsen visar att värdena från CFAST korrelerar väl med handberäkningar.

Tab 6.2

	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
Tid till kritiska förhållanden - CFAST simulering	120s	120s	190s	240s
Tid till kritiska förhållanden - Handberäkning sikt	-	-	180s	-
Tid till kritiska förhållanden - Handberäkning brandgaslagrets höjd	-	105s	180s	-

⁷ Nilsson D (2007)

6.5 Utrymning

6.5.1 Simulering i Simulex

Tiden för utrymning har simulerats i Simulex. Simuleringar har gjorts för fall 1, då brandens placering blockerar huvudentrén och utrymning antas vara möjlig endast genom spiraltrapphuset. Personernas särskilda förutsättningar har kompenserats för i programmet. Det vill säga att egenskaperna för samtliga simulerade personer har approximerats med egenskaper för barn vad gäller storlek och gånghastighet. Simuleringen gäller för 150 personer. Programmet beräknade förflyttningstiden till ca 100 sekunder. Vid simuleringen uppstår en stockning vid utgången till spiraltrapphuset. Dörren utgör flaskhals och personflödet i flaskhalsen antas vara lägre än i spiraltrappan. Se bilaga B för detaljer.

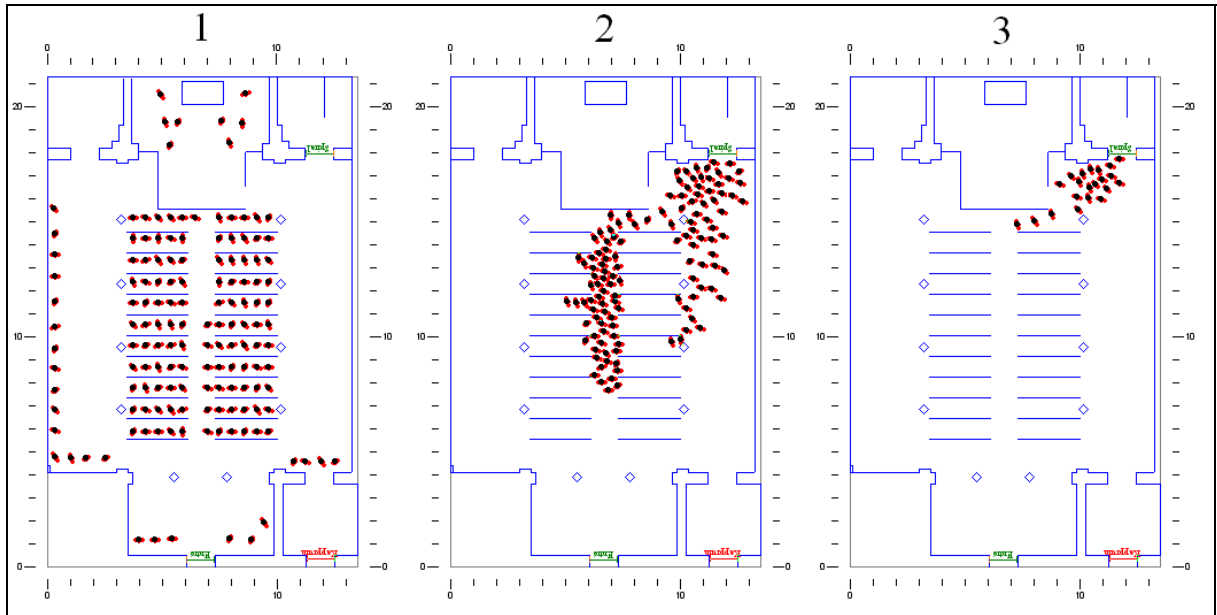


Fig. 6.3 Bilderna visar hur dörren bildar flaskhals vid utrymningssimulering av kyrksalen i Simulex

6.5.2 Handberäkningar av förflyttningstid

Handberäkningar har gjorts för fall 1, det vill säga kapprumsbranden där utrymning endast kan ske genom spiraltrapphuset. Detta fall får längst förflyttningstid då samtliga personer utrymmer genom en utrymningsväg. Därmed representerar detta det värsta fallet.

För handberäkningarna har en rad antaganden gjorts. 150 personer ska utrymma lokalen. Då personerna i stor utsträckning är hörselskadade barn och i vissa fall synskadade antas de förflytta sig något långsammare än normalt. Gånghastigheten sänks till 0,5 m/s från normala 1 m/s. Persontätheten är hög varför dörröppningarna antas utgöra flaskhals. Dörren utgör flaskhals och personflödet i flaskhalsen antas vara lägre än i spiraltrappan. Dörrarna är 1,2 m breda. Eftersom dörrarna är kända och barn är mindre än vuxna antas ett personflöde genom dörrarna till 1 person per meter och sekund. Beräkningarna ger att förflyttningstiden blir 130 sekunder. Då resultat av handberäkningar jämförs med resultat från Simulex, se tab 6.3, visar det sig ge relativt god överensstämmelse. Beräkningar redovisas i bilaga C.

Tab 6.3

Handberäkningar	Ca 130 s
Simulex	Ca 100 s

6.7 Jämförelse mellan kritiska förhållanden och utrymningstid

Till förflyttningstiden skall alltså varseblivningstid samt besluts- & reaktionstid adderas. Varseblivning antas ske relativt momentant då dörren till brandrummet öppnas. Tiden då detta sker är satt till värsta tänkbara sett ur ett branddynamiskt perspektiv. Det vill säga dörren öppnas då syret i brandrummet börjar ta slut. På så vis får branden en syretillförsel och kan fortsätta tillväxa, vilket får allvarigare konsekvenser. Direkt påsyn av brandsignaturer (flammar, rök, lukt etc.) och påverkan av personal antas påskynda besluts- & reaktionstiden, den har därför antagits till 20 sekunder.

Tab 6.4

	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
Varseblivningstid [s]	60	60	120	150
Beslut och reaktionstid [s]	20	20	20	20
Förflyttningstid [s]	130	80	80	80
Total tid för utrymning [s]	210	160	220	250
Tid till kritiska förhållanden [s]	120	105	180	240
Klarar utrymningskrav	Nej	Nej	Nej	Gränsfall

Kritiska förhållanden uppstår tidigast för fall 2, men risken för personskador blir större för fall 1 eftersom utrymningen sker betydligt långsammare.

6.8 Kommentarer och känslighetsanalys

En känslighetsanalys utförs för att bedöma betydelsen av ingående variabler.

Vid en brand i kapprummet har det betydelse, för tid till kritiska förhållanden, om dörren mot korridoren är öppen eller ej, se tabell 6.1. Tiden för kritiska förhållanden jämförs sedan med utrymningstid, tabell 6.4. Värst ur utrymningsperspektiv blir det med öppen dörr till korridoren, då det bara finns en tillgänglig utrymningsväg. Effekttutvecklingen har ändrats i och med att dörrar och fönster har varierats. Branden har tillväxt olika länge med avseende på ventilationskontroll.

För en brand i förrådet har det stor betydelse för tid till kritiska förhållanden om fönstret går sönder eller ej. Det är en osäkerhetsfaktor och simuleringar har utförts för helt respektive att fönstret går sönder vid 350° C⁸, se tabell 6.1.

Utrymningstiden varierar med de egenskaper som ges personerna i beräkningarna, vilket utgör en osäkerhet. Utrymningstiden varierar dock marginellt vid ändrade egenskaper som till exempel gånghastighet, detta beror på att det är köbildningen vid dörrarna som begränsar utrymningstiden.

⁸ Frantzich, (2007-11-15)

7 Scenario Elevmatsal

Matsalen är en av de lokaler där många personer befinner sig samtidigt. Elevmatsalen skiljs från personalmatsalen med en brandklassad magnetuppställd dörr. Elevmatsalen liknar personalmatsalen men har större kapacitet. Eftersom den dessutom används av barn kan det antas att konsekvenserna blir mer allvarliga. Ett brandscenario i elevmatsalen kan således sägas täcka in även personalmatsalen. Vid en utrymningssituation interagerar troligen de båda matsalarna med varandra och personer i den elevmatsalen kan tänkas utrymma genom personalmatsalen och vice versa. Detta leder till en svår uppskattning av hur personerna rör sig vid utrymning. Av denna anledning har ett antal olika personflöden undersökts för att identifiera det sämsta fallet.

7.1 Verksamhet

Matsalen används under lunchtid av skolans elever. Lokalen har ca 90 sittplatser. Vanligtvis befinner sig ca 50 personer samtidigt i lokalen. För scenariot har antagits att 90 personer befinner sig i lokalen.



Fig. 7.1 Bilden visar skolans elevmatsal från den representativa branden ungefärliga position.

7.2 Lokalens utformning

7.2.1 Geometri

Area: Matsal ca 120 m².

Volym: 480 m³.

Golvbeläggning: Linoleum

Ytsikt: Målad puts

Tak: Akustikplattor på målad puts

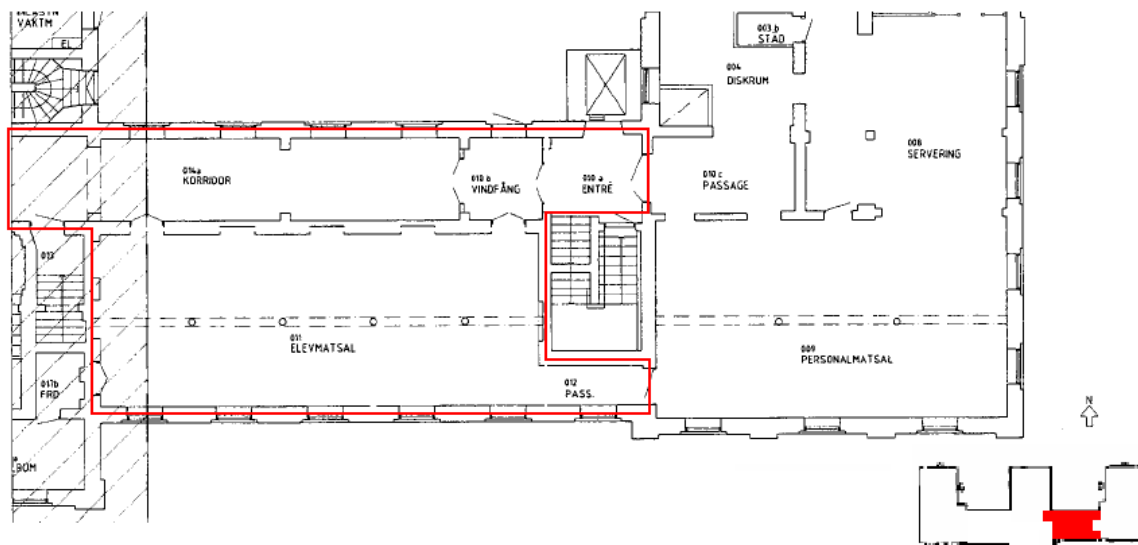


Fig. 7.2 Planlösning

7.2.2 Utrymningsvägar

Matsalen utryms genom korridor och vidare ut i det fria. Alternativt sker utrymning genom dörr till vindfång och vidare ut i det fria.

7.2.3 Brandbelastning

Brandbelastningen kan närmast beskrivas som medelhög, den utgörs mestadels av trämöbler. För scenariot har en julgran placerats vid östra kortsidan av matsalen.

7.2.4 Antändningskällor

I lokalen finns inga särskilda antändningskällor. Barns lek med eld eller elektriskt fel skulle kunna vara potentiella antändningskällor.

7.2.5 Ventilation

Kunskapen om ventilationen i matsalen är på grund av bristande ritningsmaterial inte tillräcklig för att någon bedömning av brandgasspridning kan låta sig göras.

7.2.6 Brandceller

Matsalen är utformad som en egen brandcell tillsammans med passagen mot personalmatsalen samt korridoren. En brandcellsklassad dörr finns mot personalmatsalen. Detsamma gäller för dörrarna ut till utrymningsvägarna.

7.3 Representativt brandförlopp

Vid simulering av brand, har en julgran på ca 20 kg använts som enskilt brinnande objekt. Ingen brandspridning till ytterligare föremål har antagits. Effektkurvan för granen är hämtad ur en forskningsrapport vid Kyoto universitet⁹. Vid objektsbesöket fanns det inte förutsättningar för ett brandförlopp som skulle ge några allvarligare konsekvenser för personsäkerheten.

Riskvärderingen syftar dock inte enbart till att bedöma de exakta förutsättningar som finns i nuläget utan även ta hänsyn till och väga in eventuella ändringar i verksamheten. Av denna anledning har den representativa branden valts. Detta bedöms vara ett rimligt förlopp som kan ge allvarliga konsekvenser.

7.4 Kritiska förhållanden

7.4.1 Simulering i CFAST

Simuleringen i CFAST har som mål att ge en bild av om kritiska förhållanden kan komma att uppstå i Matsalen, och i så fall vid vilken tidpunkt från antändning.

Kritiska förhållanden uppstod vid simuleringarna. Brandgaslagrets höjd visade sig i samtliga simuleringar vara det förhållande som tidigast blev kritiskt. Att tiden till kritisk höjd på brandgaslagret i matsalen inte ändrades märkbart när öppningarna varierades kan delvis förklaras med att dörröppningarnas höjd är ungefär densamma som den för brandgaslagret accepterade lägsta nivån. Brandgaser kan alltså inte strömma ut genom öppningarna förrän kritiska förhållanden redan uppstått i brandrummet. Brandgaslagrets tillväxt i matsalen sker snabbast med samtliga dörrar stängda, även högst temperatur erhålls med stängda dörrar. Den ur utrymningssynpunkt sämsta kombinationen har valts för att representera ett rimligt brandförlopp i matsalen. Detta kan således sägas representera ett worst-case.

⁹ Natori, A. et al (2006)

Tab 7.1 Översikt av simuleringsresultat

Resultat enligt simulering i CFAST						
	Fall 1 *		Fall 2 **		Fall 3	
	(Alla dörrar stängda)		(Dörrar till korridor öppna)		(Alla dörrar öppna)	
	Matsal	Korridor	Matsal	Korridor	Matsal	Korridor
Tid till brandgaslagrets kritiska höjd (2m) [s]	65	110	65	115	65	125
Maximal Temperatur i övre brandgaslagret [°C]	205	73	204	69	205	62

* Initialt är alla dörrar stängda, dock öppnas dörr till korridor när utrymning påbörjas.

** Dörrar till korridor inbegriper dörr till korridor samt dörr till vindfång.

7.4.2 Handberäkning av brandgaslagrets höjd

Handberäkning av brandgaslagrets höjd har gjorts med syfte att validera resultat från CFAST-simulering. Vid beräkningen av brandgaslagrets höjd erhöles tiden 55 sekunder som den tid det tar för brandgaslagrets höjd att nå 2.1 meter. Beräkningar redovisas i bilaga C.

7.4.3 Handberäkningar av siktförhållanden

Då CFAST använder sig av en tvåzonsmodell erhålls siktförhållanden separat för det övre respektive undre lagret. Detta kan i korridoren ifrågasättas eftersom temperaturen i brandgaslagret inte säkert skiljer sig väsentligt från omgivningen. Därför har handberäkningar på siktförhållandena i korridoren också utförts med antagandet att gaserna i rummet är väl omblandade. Beräkningar redovisas i bilaga C.

Matsalen

Vid beräkning av väl omblandade förhållanden antas granens förbrända massa fördela sig absolut jämt i rummet. Rökpotentialen för granen har antagits till $0,05 \text{ m}^2/\text{g}$ för flammmande alfacellulosa¹⁰. Tiden det tar tills sikten i rummet är 10 meter har beräknats. Denna uppgår till cirka 65 sekunder.

Korridoren

Vid beräkning av siktförhållanden i korridoren har det konservativa antagandet att brandgaserna fördelar sig absolut jämt i matsalen och korridoren gjorts. Detta innebär vid beräkning att sikten är 10 meter vid ca 70 sekunder. Detta är ett grovt antagande som sannolikt överskattar siktnedsättningen i korridoren.

¹⁰ Drysdale (1999)

7.4.4 Tid till kritiska förhållanden

Vid handberäkning med hjälp av Yamana Tanakas metod erhålls värden som stämmer någorlunda väl överens med de värden som beräknas i CFAST. Uppskattningen av tiden till kritiska förhållanden i det väl omblandade fallet stämmer även den relativt väl med den i CFAST beräknade tiden till kritiska förhållanden. I tabell 7.2 sammanfattas resultatet ur beräkningar av det värsta fallet, det vill säga när alla dörrar är stängda.

Tab 7.2

	Matsal	Korridor
Tid till kritiska förhållanden - CFAST simulering [s]	70	115
Tid till kritiska förhållanden - Handberäkning sikt [s]	65	70
Tid till kritiska förhållanden - Handberäkning brandgaslagrets höjd [s]	55	-

7.5 Utrymning

7.5.1 Simulering i Simulex

Tiden för utrymning har simulerats i Simulex. Brandens placering begränsar utrymning genom entrén väsentligt. Tio personer antas hinna utrymma via entrén innan kritiska förhållanden uppstår. Därefter antas branden blockera utrymningsvägen via entrén och resterande 80 personer utrymmer genom den bakre utgången till korridoren. Personernas särskilda förutsättningar har kompenserats för i programmet. Det vill säga att simuleringsobjektens egenskaper vad gäller storlek och gånghastighet har anpassats med hänsyn till att utrymningen i stor utsträckning avser barn med hörsel- och synnedsättningar. Programmet beräknade förflyttningstiden till ca 110 sekunder. Vid simuleringen uppstår en stockning vid utgången till korridoren. Dörren utgör flaskhals.

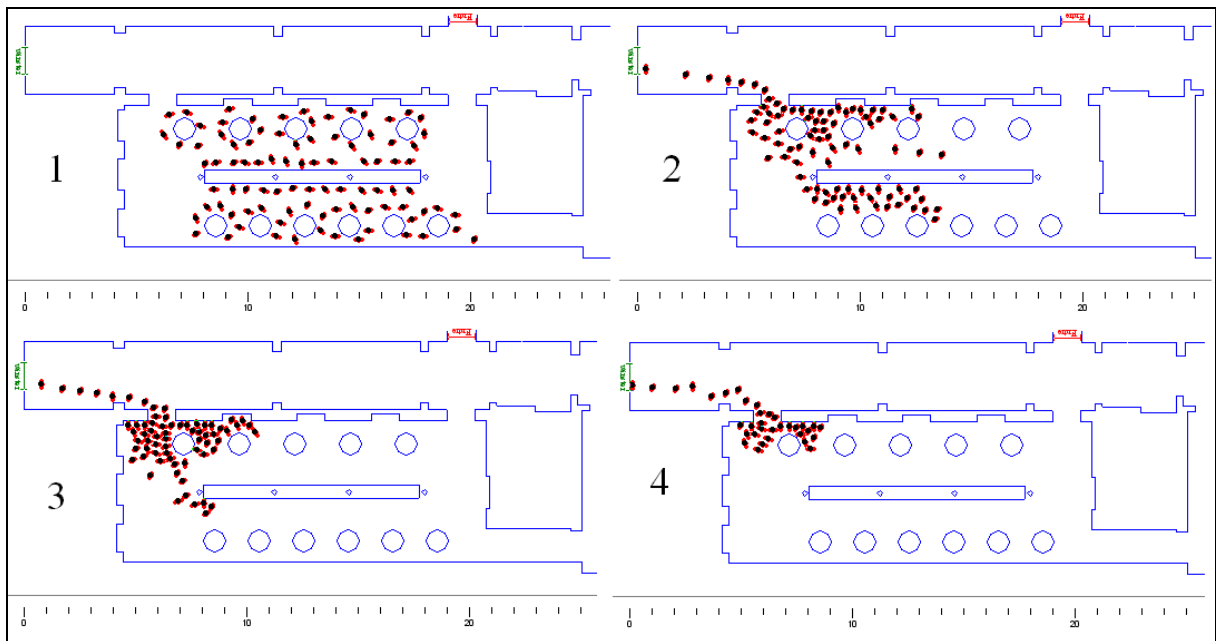


Fig. 7.3 Bilderna visar hur en flaskhals uppstår vid dörren till korridoren. Utrymningssimulering av matsalen är gjord i Simulex

7.5.2 Handberäkningar av förflyttningstid

Handberäkningar har gjorts för fallet då branden är placerad så att utrymning endast kan ske genom den bakre dörren till korridoren. Detta fall får längst utrymningstid då samtliga personer utrymmer genom en utrymningsväg. Därmed representerar detta det värsta fallet.

För handberäkningarna har en rad antaganden gjorts. Lokalen rymmer ca 90 personer, men normalt används matsalen av 30-40 personer samtidigt i flera omgångar. Det konservativa antagandet görs att lokalen är fullsatt och beräkningar har därför gjorts för 90 utrymmande personer. Då personerna i stor utsträckning är hörselskadade barn och i vissa fall synskadade antas de förflytta sig något långsammare än normalt. Gånghastigheten sänks till 0,5 m/s från normala 1 m/s. Persontätheten är hög varför dörröppningarna antas utgöra flaskhals. Dörrarna är 1,2 m breda. Eftersom dörrarna är kända och barn är mindre än vuxna antas ett personflöde genom dörrarna till 1 person per meter och sekund. Beräkningarna ger att förflyttningstiden blir 100 sekunder. Då resultat av handberäkningar jämförs med resultat från Simulex, se tab 7.3, visar det sig ge mycket god överensstämmelse.

Tab 7.3

Handberäkningar	Ca 100 s
Simulex	Ca 110 s

7.6 Jämförelse mellan kritiska förhållanden och utrymningstid

Till tiderna i tabell 7.3 skall varseblivningstid samt besluts- & reaktionstid adderas för att få den totala tiden för utrymning. Varseblivning antas ske snabbt eftersom matsalen är fullsatt och brandförloppet är häftigt. Det snabba brandförloppet bidrar även till att Besluts- & reaktionstiden antas bli väldigt kort.

Tab 7.4

	Elevmatsal	Korridor
Varseblivningstid	10 s	-
Besluts&reaktionstid	10 s	-
Förflyttningstid	ca 1½ min	ca ½min
Total tid för utrymning	ca 2 min	ca 2½min
Tid till kritiska förhållanden	ca 1 min	ca 2 min
Klarar utrymningskrav	Nej	Tveksamt

7.7 Kommentarer och känslighetsanalys

I fall 1 är samtliga dörrar stängda men dörr till utrymningsväg förmodas öppnas efter ca 10 sekunder då utrymning av lokalen antas påbörjas.

De personflöden som simulerats har varierats från att samtliga 90 personer befinner sig i elevmatsalen till att 70 personer befinner sig i elevmatsalen samt 20 personer i personalmatsalen. Detta har främst gjorts i syfte att undersöka hur personflödena från de båda lokalerna interagerar och eventuellt bidrar till köbildning. Resultatet som erhöles var att den med marginal längsta utrymningstiden uppstod när samtliga personer befinner sig i elevmatsalen och utrymmer via dörr till korridor. Detta beror till stor del på geometrin i rummet då möblemanget i viss mån försvårar utrymning genom dörr till korridor.

Vid simulering i CFAST har ett antal parametrar varierats, dessa är: brandens storlek och placering samt vilka dörrar som antas stå öppna. Vad som kunde utläsas ur variation av nämnda parametrar var att tiden till kritiska förhållanden varierade endast marginellt mellan de olika kombinationerna, (parametern brandens storlek undantaget).

I tabell 7.4 redovisas tid till kritiska förhållanden i matsal och korridor. Elevmatsalen utryms på ca 2 minuter, sedan tar det ytterligare ca en halv minut för sista person att ta sig ut ur korridoren. Att denna uppdelning gjorts beror främst på att kritiska förhållanden beräknas uppstå vid olika tidpunkter för de båda utrymnena. Tabellen tolkas så att kritiska förhållanden beräknas inträffa i matsalen innan sista person tar sig ut ur matsalen. I korridoren beräknas tid för utrymning grovt räknat sammanfalla med tid till kritiska förhållanden. Kritiska förhållanden uppstår således innan utrymning är fullbordad.

8 Scenario Klassrum

Klassrummet är det typiska rummet för objektet. Det kan sägas representera en större del av utrymmena i skolan och är därför intressant att fördjupa sig i. Som klassrum räknas även utrymmen som kontor, uppehållsrum och grupprum p.g.a. dess likheter vad gäller brandbelastning och verksamhet. För just detta scenario har valts ett specifikt rum, klassrum 235. Detta rum har valts för att det efter en kvalitativ bedömning har ansetts vara det rum som ur utrymningsperspektiv kan ge allvarligast konsekvenser vid en eventuell brand.

8.1 Verksamhet

Vanligtvis vistas upp till femton personer i detta utrymme. Verksamheten är huvudsakligen undervisning. I detta scenario har antagits att lokalen är folktom. Simuleringen avser att undersöka hur röken sprider sig och försvårar en eventuell utrymning för angränsande klassrum med gemensam utrymning via korridoren. Detta ses som ett värre scenario än att folk befinner sig i klassrummet då branden startar. Då fås nämligen en snabbare detektion och branden hinner förmodligen inte tillväxa innan utrymning skett.

8.2 Lokalens utformning

8.2.1 Geometri

Area: 30 m²

Volym: 90 m³

Golvbeläggning: linoleum

Ytskikt: Målad puts

Tak: Akustikplattor på puts

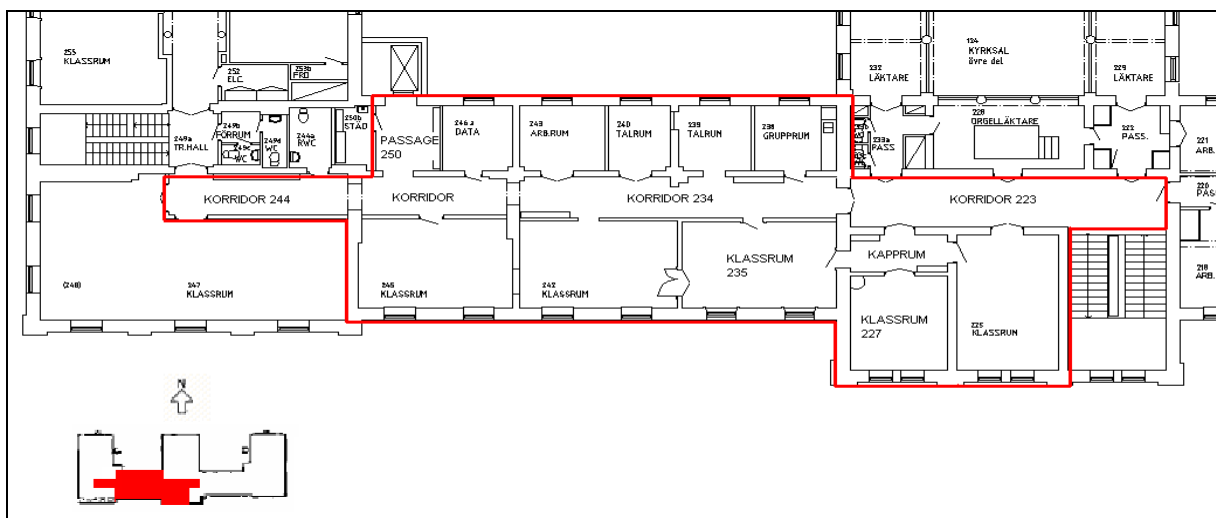


Fig. 8.1 Planlösning

8.2.2 Utrymningsvägar

Utrymning från mellanbyggnaden sker via den längsgående korridoren till huvudtrapphuset eller trapphuset i västra flygeln. Från centralflygeln sker utrymning via trapphuset, den östra läktaren i kyrksalen eller ut i den östra mellanbyggnaden.

8.2.3 Brandbelastning

Består i huvudsak av träbänkar och stoppade stolar samt träbokhyllor med läsmaterial. Korridorer har förhållandevis låg brandbelastning. I vissa fall kan ytterkläder hänga i korridorer.

8.2.4 Antändningskällor

Antändningskällor i dessa typer av utrymmen varierar. Generellt sett är sannolikheten för antändning liten. Vissa utrymmen är utrustade med pentry där det allt för ofta ligger brännbart material i direkt anslutning till spisplattorna.



Bilden visar en övertäckt spis i ett av skolans kök. En vanlig brandorsak

8.2.5 Ventilation

Ventilationen för hela observationsområdet betjänas av ventilationsaggregat 1 då det är beläget i den västra mellanbyggnaden samt delvis i centralflygeln.

8.2.6 Brandcellsgränser

Korridorer tillsammans med trapphus utgör utrymningsväg och är tillsammans en brandcell. De grupper av rum som befinner sig på vardera sidan om korridorerna utgör tillsammans varsin brandcell. Mellan korridorerna 223 och 234 finns en brandklassad magnetuppställd dörr.

8.3 Representativ brand

En brand i ett klassrum kan starta på olika sätt samtidigt som möblemanget och verksamheten varierar. Detta gör att ingen exakt effektkurva kan bestämmas för just ett klassrum. Val av effektkurva har därför gjorts i ett mer allmänt fall som kan sägas representera en typisk klassrumsbrand. Därför väljs en αt^2 -kurva med tillväxtfaktorn $fast^{11}$, dvs. $\alpha = 0,047 \text{ (kW/s}^2\text{)}$.

Ingen avsvälningsfas tas hänsyn till eftersom denna rapport endast behandlar branden ur ett utrymningsperspektiv. Troligtvis kommer räddningstjänsten att ingripa ca 10 minuter efter detektion men i detta scenario fortsätter den fullt utvecklade branden. Den antas fortsätta i 15 minuter.

8.4 Kritiska förhållanden

8.4.1 Simulering i CFAST

I brandsimuleringen för Klassrum har valts det klassrum som kan tänkas ge störst konsekvenser ur ett utrymningsperspektiv. I simuleringen ingår som mest 15 rum. Öppningen mot det östra trapphuset har antagits vara mot det fria eftersom trapphuset utgör en mycket stor volym. Däremot antas den västra öppningen från korridor 244 vara stängd då där finns självstängande dörrar. I ursprungsfallet är samtliga öppningar anslutna till korridorer stängda. Därefter har flera simuleringar gjorts där öppningar till brandrummet varierats.

Variation av simuleringar presenteras i händelseträd, fig 8.2 . Den tillväxande branden avser brand som startar i klassrum 235. De fönster som varierar är de bågiga fönster som finns i klassrum 235. Dörren som varierar är den dörr från klassrum 235 mot korridor 234. För fall 3 öppnas dörren efter 480 sekunder när effektutvecklingen är som störst. I fall 5 öppnas den också då effektutvecklingen är som störst, d.v.s. efter 180 sekunder. För fall 7 öppnas dörren mot kapprummet istället för mot korridor 234 efter tiden 150 sekunder.

¹¹ Karlsson, B. (2000)

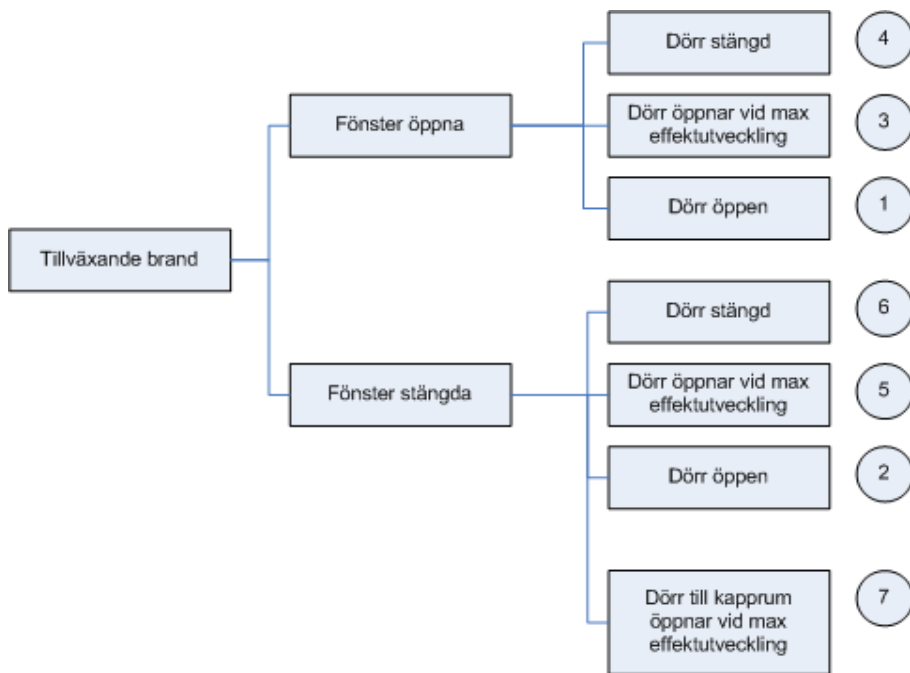


Fig. 8.2 Händelseträd

Av de simulerade fallen är det endast fall två, fem och sju som ger ett brandgaslager som når den kritiska höjden på ca två meter under utrymningstiden. Gemensamt för dessa tre fall är att fönstren är stängda. Det troliga i dessa fall är dock att fönstren kommer att gå sönder då höga temperaturer i brandrummet uppstår. Fönster kan förmodas gå sönder vid temperaturer kring 350 °C¹². Men det kan inte säkerställas att de faktiskt kommer att gå sönder. Övriga fall kan anses uppfylla utrymningskraven med avseende på brandgaslagrets höjd.

Temperaturerna i brandgaslagret överstiger i fall två, fem och sju den kritiska temperaturen samtidigt som brandgaslagret befinner sig under den kritiska höjden. För de undre skikten överstiger temperaturen aldrig den kritiska temperaturen innan utrymning skett i något av utrymmena, undantaget brandrummet.

Strålningsnivåerna mot en antagen människa i vardera utrymme når ej några kritiska värden för de utrymmen där personer kan tänkas befinna sig.

¹² Frantzich H. (2007)

Tab 8.1

Resultat enligt simulering i CFAST										
	Fall 1 (Fönster öppna, dörr öppen)			Fall 2 (Fönster stängda, dörr öppen)				Fall 3 (Fönster öppna, dörr öppnas 480 s)		
	Korr. 234	Korr.	Pass. 250	Korr. 234	Korr.	Pass. 250	Korr. 244	Korr. 234	Korr.	Pass. 250
Max strålning mot människa [kW/m ²]	0	0	0	1,1	1,2	1,2	1,2	0	0	0
Tid till kritisk höjd i brandgaslagret [s]	-	-	-	300	240	260	200	-	-	-
Temperatur i brandgaslagret vid kritisk höjd [°C]	-	-	-	92	80	47	45	-	-	-
	Fall 4 (Fönster öppna, dörr stängd)			Fall 5 (Fönster öppna, dörr öppnas 180 s)				Fall 6 (Fönster stängda, dörr stängd)		
	Korr. 234	Korr.	Pass. 250	Korr. 234	Korr.	Pass. 250	Korr. 244	Korr. 234	Korr.	Pass. 250
Max strålning mot människa [kW/m ²]	0	0	0	1,0	1,1	1,1	1,1	0	0	0
Tid till kritisk höjd i brandgaslagret [s]	-	-	-	420	300	330	270	-	-	-
Temperatur i brandgaslagret vid kritisk höjd [°C]	-	-	-	67	97	49	46	-	-	-
				Fall 7 (Fönster stängda, dörr mot kapprum öppnas 150 s)						
				Kapprum				Korridor 223		
Max strålning mot människa [kW/m ²]				0,8				0,07		
Tid till kritisk höjd i brandgaslagret [s]				160				580		
Temperatur i brandgaslagret vid kritisk höjd [°C]				214				69		

8.4.2 Handberäkning av maxeffekt

För att validera beräkningarna ur CFAST kontrolleras den maximala effekten som branden i CFAST simulerar med handberäkningar. Resultaten visar en ganska bra överensstämmelse mellan de båda tillvägagångssätten. CFAST tenderar till att underskatta effekten något i de flesta fall. Resultaten redovisas i bilaga C.3

8.5 Utrymning

8.5.1 Simulering i Simulex

Tiden för utrymning har simulerats i Simulex. Förutsättningar som antas är att det i intilliggande rum befinner sig 15 personer vardera i de större klassrummen och 5 personer vardera i de mindre rummen. Brandens placering begränsar utrymning via huvudtrapphuset. Vidare antas att 20 personer från våningarna ovanför utrymmer genom det västra trapphuset och på så sätt bidrar till eventuell köbildning. Personernas särskilda förutsättningar har kompenserats för i programmet. Det vill säga att simuleringsobjektens egenskaper vad gäller storlek och gånghastighet har anpassats med hänsyn till att utrymningen i stor utsträckning avser barn med hörsel- och synnedsättningar. Simuleringen gäller för 95 personer. Programmet beräknade förflyttningstiden till ca 100 sekunder. Det västra trapphuset utgör en flaskhals.

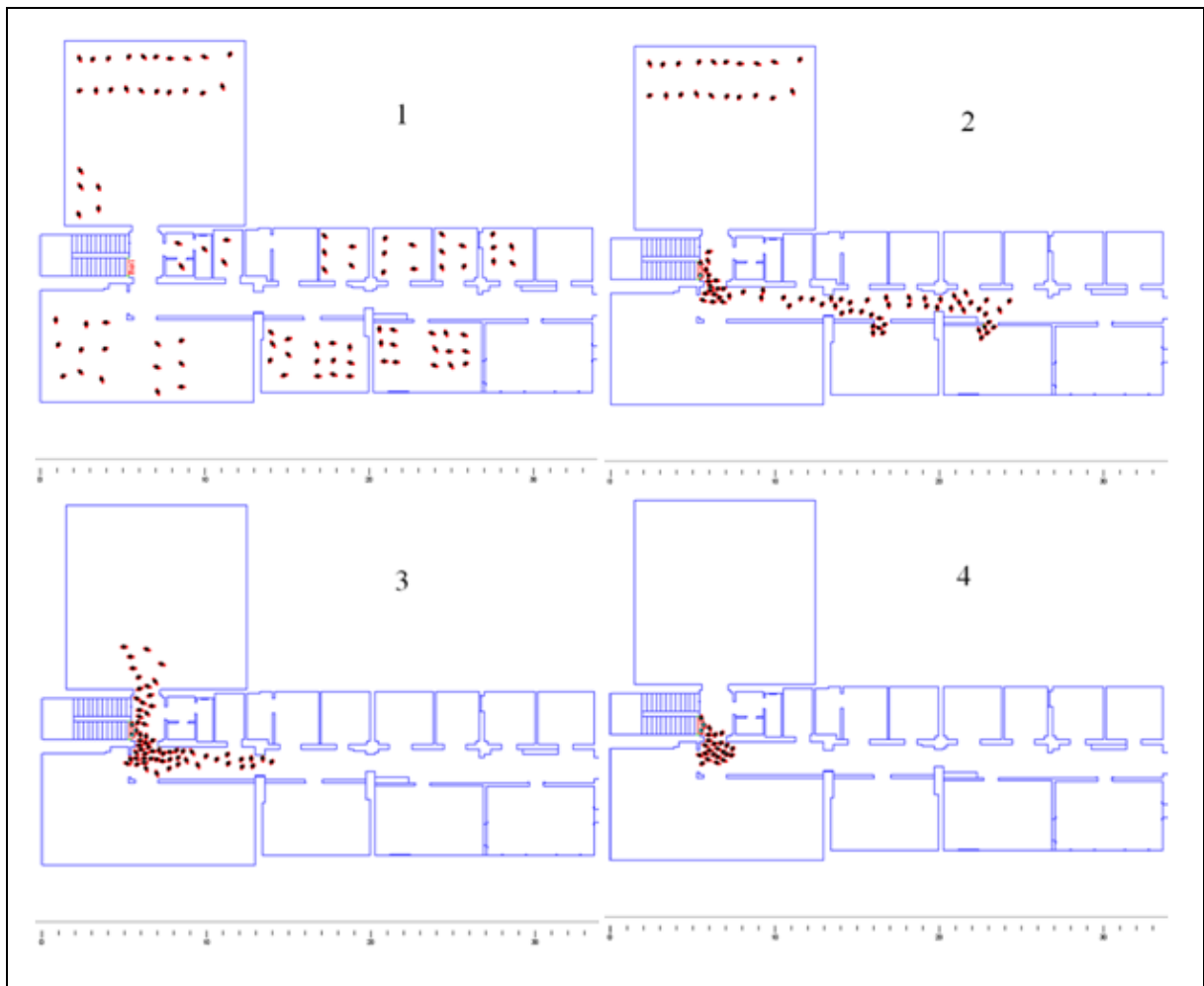


Fig. 8.3 Bilderna visar utrymningssimulering av scenario Klassrum i Simulex. Vid det västra trapphuset uppstår en flaskhals.

8.5.2 Handberäkningar av förflyttningstid

Handberäkningar har gjorts för fallet då branden är placerad i klassrum 235. Branden blockerar utrymning genom huvudtrapphuset. Då kan utrymning endast ske via det västra trapphuset. Detta fall får längst utrymningstid då samtliga personer utrymmer genom en utrymningsväg. Därmed representerar detta det värsta fallet.

För handberäkningarna har en rad antaganden gjorts. 95 personer ska utrymma den västra mellanbyggnaden. Då personerna i stor utsträckning är hörselskadade barn och i vissa fall synskadade antas de förflytta sig något långsammare än normalt. Gånghastigheten sänks till 0,5 m/s från normala 1 m/s. Persontätheten är hög varför dörröppningarna antas utgöra flaskhals. Personflödet antas vara samma för spiraltrappan som genom dörren. Dörrarna är 1,2 m breda. Eftersom dörrarna är kända och barn är mindre än vuxna antas ett personflöde genom dörrarna till 1 person per meter och sekund. Beräkningarna ger att förflyttningstiden blir 130 sekunder. Då resultat av handberäkningar jämförs med resultat från Simulex, se tab 8.3, visar det sig ge relativt god överensstämmelse.

Tab 8.3

Handberäkningar	Ca 100 s
Simulex	Ca 120 s

8.6 Jämförelse mellan kritiska förhållanden och utrymningstid

Utrymningstiden är densamma för alla fall där kritiska förhållanden uppstår. Till denna tid skall alltså varseblivningstid samt besluts- & reaktionstid adderas. Varseblivning antas ske då dörren till brandrummet öppnas. Varseblivningstiden kan likställas med tid till detektion. Tiden då detta sker är satt till värsta tänkbara sett ur brandperspektiv. Det vill säga dörren öppnas då det får allvarligast konsekvenser. En approximation som säger att en rökdetektor normalt aktiveras vid en specifik temperaturökning på 13 grader används¹³.

Värden för en 13 gradig temperaturökning har tagits fram ur CFAST i korridor 235 där en rökdetektor sitter. I de fall där ingen temperaturökning i brandgaslagret sker används värdet 90 sekunder som är tiden för detektion i fall två. I fall tre har dock tiden 490 sekunder till detektion använts ty dörren öppnas vid tiden 480 sekunder. Besluts- & reaktionstiden har på grund av den goda personaltätheten och de rutiner vid brand som finns antagits till ca 30 sekunder.

¹³ Nilsson, D. (2007)

Tab 8.4

	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4	Fall 5	Fall 6	Fall 7
Varseblivningstid [s]	90	90	490	180	270	90	150
Besluts & reaktionstid [s]	30	30	30	30	30	30	30
Förflyttningstid [s]	100	100	100	100	100	100	20
Total tid för utrymning [s]	220	220	620	310	400	220	200
Tid till kritiska förhållanden [s]	-	200	-	-	270	-	160
Klarar utrymningskrav	Ja	Nej	Ja	Ja	Nej	Ja	Nej

Här ser vi att fall ett, tre, fyra och sex samtliga klarar kraven för utrymning medan fall två, fem och sju på ett eller annat sett inte uppfyller utrymningskraven.

8.7 Detektion

För att påvisa effekten av att faktiskt ha en rökdetektor i klassrum 235 beräknas en tid till aktivering i klassrum 235 enligt samma princip som i kapitel 8.6 samt i DETACT och jämförs med tiden till detektion i korridoren.

8.7.1 Tid till detektion vid nuvarande förhållanden

I CFAST beräknas tiden till detektion till ca 90 sekunder i de fall dörren till korridoren står öppen. I de fall dörren är stängd kommer detektion ej att ske förrän dörren öppnas. Detta leder till att branden kan tillväxa under lång tid och komplicera utrymningen.

8.7.2 Tid till detektion efter föreslagen åtgärd

Aktiveringstiden beräknas i DETACT för en föreslagen rökdetektor i klassrummet till ca 30 sekunder. För samma detektor beräknas detektion enligt CFAST att ske efter ca 10 sekunder. Indata till DETACT redovisas i bilaga G.

8.7.3 Slutsats jämförelse av detektion

Detektion av brand är beräknad till att inträffa redan efter en halv minut om rökdetektor finns installerad i klassrummet. Utrymningstiden blir då kortare än tiden för kritiska förhållanden i samtliga fall. Se tabell 8.5

Tab.8.5

	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4	Fall 5	Fall 6	Fall 7
Varseblivningstid [s]	30	30	30	30	30	30	30
Besluts & reaktionstid [s]	30	30	30	30	30	30	30
Förflyttningstid [s]	100	100	100	100	100	100	20
Total tid för utrymning [s]	160	160	160	160	160	160	80
Tid till kritiska förhållanden [s]	-	200	-	-	270	-	160
Klarar utrymningskrav	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

8.8 Kommentarer och känslighetsanalys

För att få en förståelse av vilka parametrar som har störst effekt vid en eventuell brand har resultaten analyserats i en känslighetsanalys. De variabler som har varierats är öppningar mot korridor och utomhus med avseende på tiden.

När fönstren var öppna kan slutsatsen dras att det mesta av brandgaserna försvinner ut i det fria. Detta även om dörr mot korridor stod öppen.

Med fönstren intakta under hela brandförloppet kan det urskiljas att utrymnings-förhållandena blir som sämst om branden får tillväxa innan dörr mot korridor öppnas.

9 Brandgasspridning

De befintliga ventilationsritningarna är endast principskisser. Mot denna bakgrund tonas de kvantitativa delarna ner och istället beskrivs risken för brandgasspridning kvalitativt med hjälp av överslagsberäkningar och uppskattningar. Detta innebär att en mängd antaganden krävs. Klimatskalet förblir intakt och ventilationssystemet är i drift. Detta bedöms vara mest konservativt och representativt. Utredningen begränsar sig till scenariot i klassrummet och angränsande lokaler.

Den kännedom som finns är att brandrummet delar till och frånluftskanaler med närliggande rum. Vilka rum det rör sig om är oklart men antagandet har gjorts att samtliga 9 rum i den västra mellanbyggnaden betjänas av samma tilluftskanal och frånluftskanal. Dimensioner och flöden är däremot okända. Detta leder till att mycket baseras på uppskattningar.

Brandgasspridning till närliggande rum kan komma att ske när kanalbrandflödet är större än det normala ventilationsflödet. Om brandgasspridning inträffar sker det sannolikt på grund av ändring av flödesriktning via T-systemet.¹⁴ En överslagsberäkning har gjorts för att bedöma vilken storlek på brand som bedöms utgöra risk för brandgasspridning.

Klassrummen antas vara dimensionerade för ca 10 personer. Detta ger med en luftomsättning om 7 l/s per person ett flöde på ca 70 l/s. Tryckfall i såväl tilluftskanal som frånluftskanal uppskattas till standardvärdet 100 Pa¹⁵

Normkravet på byggnadens täthet är 0,6 l/sm² för lokaler vid en tryckskillnad på 50 Pa. Det äldre normkravet som gällde vid installation av ventilationsanläggningen på skolan var 1,6 l/sm². Det värde som använts i beräkningarna är 0,4 l/sm² och är hämtat från en forskningsrapport vid Lunds universitet¹⁶ och bedöms vara konservativt.

Rummets totala omslutningsyta är ca $2 \times 4 \times 6 + 2 \times 4 \times 5 + 2 \times 6 \times 5 \text{ m} = 150 \text{ m}^2$. Detta ger med tätheten 0,4 l/sm² ett läckflöde på cirka 60 l/s vid 50 Pa.

Läckbrandflödet från rummet beräknas enligt $Q_{bl} = Q_l \times (P_t/P_l)^{0,5} = 60 \times (100/50)^{0,5} = \text{ca } 85 \text{ l/s}$.

Kanalbrandflödet beräknas till $1,4 \times Q_n = 98 \text{ l/s}$.

Det totala brandflödet är summan av läckbrandflödet och kanalbrandflödet d.v.s. ca 180 l/s.

Brandflödet [m³/s] antas vara grovt lika med brandeffekten [MW]¹⁷. Vilket med ett brandflöde Q_b på cirka 0,18 [m³/s] motsvarar en effekt på ca 180 kW.

¹⁴ Lars Jensen (2002)

¹⁵ Lars Jensen (2007)

¹⁶ Lars Jensen (2007)

¹⁷ Lars Jensen (2002)

Då branden förmodas nå en maximal effektutveckling på klart över 180 kW (uppemot 8 MW) förväntas kanalbrandflödet enligt överslagsberäkningen ovan bli betydligt större än det maximalt tillåtna 180 l/s och således bedöms risken för brandgasspridning till angränsande rum vara stor.

Huruvida spridning endast kan ske inom samma brandcell eller till annan brandcell är på grund av bristande ritningsmaterial oklart.

10 Diskussion

Kritiska förhållanden

Vid beräkning av tid till kritiska förhållanden har CFAST varit det främsta verktyget. För att kontrollera resultatens rimlighet har en känslighetsanalys utförts i varje scenario. Dessutom har handberäkningar gjorts som sedan har jämförts med beräkningar från CFAST, för att på så sätt ytterligare bekräfta tillförlitligheten hos resultaten.

I flera beräkningar av tid till kritiska förhållanden är sikten i lokalen det kriteriet som blir dimensionerande. Beräkningar har därför gjorts dels för det fullständigt skiktade fallet och dels för det väl omblandade fallet. Med stor sannolikhet blir rökfyllnadsförloppet i verkligheten någonstans mittemellan dessa två modeller.

CFAST

CFAST förutsätter att det alltid bildas ett brandgaslager. Ett brandgaslager uppstår dock först när det finns en densitetsskillnad mellan brandgaserna och omgivande luft. I vissa fall kan dock antas att temperaturen i brandgaslagret initialt inte är markant högre än omgivningens temperatur. Brandgaser kan dessutom kylas av under transport till en annan del av lokalen och densitetsskillnaden gentemot omgivningen kan därför minska. I sådana fall kommer troligtvis ingen tydlig skiktning ske utan förhållandena i lokalen kan snarare antas vara väl omblandade.

CFAST's beräkningar av tid till kritiska förhållanden i brandrummet baseras dessutom på förenklingen att temperaturen i brandgaslagret är homogen. Detta får som konsekvens att kritiska förhållanden inträffar vid samma tidpunkt i hela lokalen, vilket med stor sannolikhet inte sker i verkligheten.

Detta bör snarare ses i perspektivet att i de fall då lokalen är stor i relation till branden inträffar sannolikt kritiska förhållanden vid olika tidpunkt för olika delar av lokalen.

Ingen spridning genom ventilation har tagits hänsyn till vid simuleringarna. Likaså tar programmet inte heller någon hänsyn till läckage mellan utrymmena. Detta gör att vid simulering så sker brandgasspridning till närliggande rum där dörrar är stängda långsamt eller inte alls. I verkligheten skulle det kunna tänkas att någon person som befinner sig i intilliggande rum skulle känna dofter av rök och på så sätt detektera branden tidigare.

Resultaten i CFAST's simuleringar får med hänsyn till dessa eventuella felkällor tolkas med viss försiktighet.

Utrymning

Vid beräkning av utrymningstid har handberäkningar främst använts. Simulex har främst använts som komplement till dessa samt för att illustrera utrymningsförlopp i bilder.

Simulex

Simuleringar i datorprogram såsom Simulex är känsliga för användningsområde och indata. De simuleringar som gjorts är förhållandevis enkla och ligger mestadels inom användningsområdet för programmen. Nämnas bör att Simulex lämpar sig bäst för större personflöden och används i ett fall för simulering av personantal på endast 80 personer. Detta är på gränsen för programmets tillförlitlighet. Därför har Simulex beräkningar validerats med handberäkningar. Indata till Simulex är även den en osäkerhet. De beräknade tiderna till utrymning i Simulex varierar dock grovt räknat proportionellt med de egenskaper som ges till personerna i indata. De indata som valts är grova bedömningar och bör inte tolkas exakt.

Särskilda omständigheter

De särskilda omständigheter som gör Manillaskolan till ett unikt objekt ur brandsäkerhetsperspektiv rör främst personerna som ingår i verksamheten. Snarare än själva byggnadens begränsningar är det istället de handikapp som personer på skolan har som gör projekteringen unik. Förutsättningarna för utrymning är den del som påverkas mest av dessa speciella förhållanden. Svårigheten ligger främst i att uppskatta hur utrymningsförloppet på Manillaskolan påverkas av detta.

Som nämnts tidigare bygger mycket av resonemanget kring detta på uppgifter från personal på skolan. Med hjälp av dessa uppgifter har bedömningen gjorts att eleverna på skolan vid beräkning av utrymningstid kan approximeras med egenskaper uppmätta för barn. Nackdelar ur utrymningsperspektiv såsom syn eller hörselnedsättning bedöms till stor del uppvägas av de fördelar som hög personaltäthet och små elevgrupper innebär. Utrymninglarm och utrymningsvägar är i nuläget väl anpassade för de speciella omständigheterna och bedöms ej utgöra en försvårande omständighet. Personalens roll vid brand bedöms som mycket viktig då de i egenskap av vuxna fungerar som portalfigurer. Av denna anledning bör personalens agerande i händelse av brand vara föremål för det systematiska brandskyddsarbetet.

Scenario Kyrksal

Då effektutvecklingen var hög i samtliga studerade fall var även temperaturen hög. Antagandet att det finns en tydlig skiktning kan således anses vara rimlig. Långt bort från branden kommer dock temperaturskillnaden minska och skiktningen kommer därmed inte vara lika tydlig.

Vid simuleringarna har brandspridning försumrats trots att den höga effektutvecklingen i brandrummen ger upphov till höga strålningsintensiteter. Detta görs på grund av att brandspridningen till kyrksalen inte sker momentant, när dörren öppnas, och kommer således inte att påverka tiden tills kritiska förhållanden i någon stor utsträckning.

En förutsättning för att kritiska förhållanden ska uppstå är att dörren från brandrummet mot salen öppnas. Att dörren till brandrummet öppnas vid brand kan anses som troligt men att den hålls öppen är inte lika troligt, då en naturlig reaktion är att stänga dörren.

Resultat i CFAST och handberäkningar pekar på att värst ur personsäkerhetssynpunkt är en brand i kapprummet. Eftersom det kan finnas personer med synnedsättningar och/eller problem att röra sig obehindrat i lokalen är detta något som kan få allvarliga konsekvenser. Det finns en rökdetektor i korridoren, men även om den detekterar i ett tidigt skede kommer kritiska förhållanden för utrymning snabbt att uppstå.

Eftersom brandgaslagret har en höjd på 2,2 m vid tiden för säker utrymning och dörrhöjden är 2,1 m antas att spridningen från kyrksalen till spiraltrapphus och korridor kan försummas. Detta gäller inte för fall 1, då brandgasspridning sker till korridor.

Beräkningarna är konservativa och ska ses som en grov uppskattning mer än exakta värden.

För en samlingslokal ska samtliga utrymningsvägar leda direkt ut i det fria eller leda dit via korridorer, trappor eller liknande. Spiraltrappa bör inte användas som utrymningsväg från en samlingslokal (BBR 5:37). Kyrksalen är inte en samlingslokal men dom särskilda omständigheterna gör att en spiraltrappa är olämplig som utrymningsväg.

I scenario Kyrksal simuleras en komplex geometri, vilket gör att osäkerheten i beräkningarna ökar. Dessutom får den komplexa geometrin, såsom fast inredning och pelarrader, till följd att simulering av utrymning i Simulex blir svår. Därför har beräkningar i Simulex utförts främst för att illustrera utrymningsförloppet i bilder och handberäkningar ligger till grund för den representativa utrymningstiden.

En brand som får tillväxa i kapprummet eller i förrådet kan komma att ge allvarliga konsekvenser. Det är dock flera olyckliga omständigheter som ska sammanfalla för att detta ska ske. Det är därför viktigt att vara medveten om denna risk och vidta åtgärder för att minimera denna. Åtgärder föreslås i kapitel 11.

Scenario Matsal

Det snabba brandförloppet i detta scenario gör att CFAST's antaganden om skiktning och homogenitet bör ifrågasättas. Brandgaserna kommer troligtvis att kylas av under transport till den borte delen av lokalen och densitetsskillnaden gentemot omgivningen kan därför minska. I detta fall kommer troligtvis ingen tydlig skiktning ske utan förhållandena kan snarare antas vara väl omblandade. Siktförhållandena kan därför komma att vara sämre i den borte delen i vilken dörren till utrymningsvägen är belägen.

För att beräkna siktförhållandena i korridorerna utanför matsal och klassrum har således beräkningar gjorts dels för det fullständigt skiktade fallet och dels för det väl omblandade fallet. Med stor sannolikhet blir rökfyllnadsförloppet i verkligheten någonstans mittemellan dessa två modeller. Svårigheten ligger således främst i att bedöma vilken grad av skiktning som uppstår.

Kritiska förhållanden kommer enligt beräkningar uppstå tidigare i matsalen än i korridoren. Då dörrarna till matsalen är magnetuppställda kommer de att stängas när detektion skett, dock kommer dörrarna att öppnas vid utrymning. Detta gör det svårt att förutse hur stort flöde av brandgaser som sker ut i korridoren. Med det konservativa antagandet att korridoren har samma siktförhållanden som själva brandrummet beräknas kritiska förhållanden inträffa vid ca en minut. Detta bedöms dock vara en överskattning av siktnedsättningen i korridoren då brandgaser i verkligheten har en transporttid från brandrummet till korridoren.

Vid jämförelse av beräknad utrymningstid i Simulex och handberäknad utrymningstid visar sig dessa två tider stämma bra överens, beräkningarna är relativt enkla och resultatet är därför väntat. Även resultaten i CFAST har kontrollerats med handberäkningar och kan antas vara tillförlitliga om än grovhuggna.

Tolkningen av resultatet är att kritiska förhållanden på grund av siktförhållanden kommer inträffa innan utrymning är fullbordad. I detta scenario kan således de kriterier som ansatts för säker utrymning komma att överskridas.

Den representativa branden är baserad på förutsättningar som ej fanns vid objektsbesöket. Verksamheten i lokalen kan dock ändras och med detta förutsättningarna för brand. Bedömningen görs att utrymning ur fullsatt matsal kan ske på en tid som är acceptabel. Förutsättningar för ett brandförlopp lika häftigt som det representativa brandförloppet måste dock förhindras. Restriktioner bör således införas angående ändring av verksamheten.

Scenario Klassrum

De fall som ger en allvarlig situation är de då fönstren är intakta genom hela branden. Som tumregel kan sägas att ett vanligt fönster går sönder vid temperaturer kring 350°C ¹⁸. I simuleringarna överstiger temperaturen dessa 350°C och det troliga är att fönstren kommer att gå sönder. Det vore dock ett djärvt antagande att säga att de garanterat kommer att gå sönder då konsekvenserna är så pass stora om de inte gör det. Simuleringarna med fönster stängda får ses som ett worst-case scenario och att sanningen ligger någonstans mellan de simuleringar där fönstren är öppna och då de är stängda.

I scenario klassrum är geometrin förhållandevis enkel dock simuleras ett flertal rum, vilket leder till att trovärdigheten i CFAST är hög i brandrummet och intilliggande rum, men därefter avtar med avståndet till branden.

När antaganden har gjorts har de i de flesta fall gjorts så att branden får största tänkbara konsekvens utan att vara orimligt stor. Man kan säga att antagandena görs så att resultaten hela tiden hamnar på den "säkra sidan". Detta gör att när en rad antaganden gjorts borde resultat och beräkningar visa på farligare förhållanden än förväntade för verkligheten. Men eftersom det inte kan fastställas exakt var verkligheten kommer att hamna måste vi utgå från de resultat som fås ur våra antaganden.

Det skall också påpekas att klassrumsscenarioet sägs representera övriga liknande utrymmen såsom kontor och uppehållsrum etc. Detta eftersom de kan antas ha liknande egenskaper ur brandsynpunkt. Med detta menas att klassrumsscenarioet i egenskap av att representera värsta fallet täcker in dessa utrymmen. Det är inte de exakta värdena som kan överföras utan snarare resonemanget och resultaten i det stora.

¹⁸ Frantzich, (2007-11-15)

11 Åtgärder

Kyrksal

En brand i ett dolt utrymme kan få allvarliga konsekvenser för personer som vistas i kyrksalen, det är därför av stor vikt att undvika en sådan situation. Detektor i kapprum bedöms nödvändig för tidig detektion av brand och för möjligheten att genomföra utrymning innan kritiska förhållanden uppstår.

Matsal

Med de resultat som erhållits bör man särskilt beakta de problem som den blockerade utrymningsvägen innebär. Man bör således undvika att hamna i en situation där den fullsatta lokalen endast kan utrymmas via en dörr. Lämpliga åtgärder är därför att se till så att inget brännbart placeras på ett sådant sätt att detta kan inträffa. Dessutom bör lokalen hållas fri från större brännbara objekt vilka kan leda till snabba brandförlopp.

Klassrum

Installation av detektorer i rum som representeras av klassrumsscenariet bedöms nödvändigt. Detta för att få en snabbare detektion och på så sätt förhindra att en brand får tillväxa oupptäckt. Utrymning kan på så sätt påbörjas tidigare vilket i sin tur medför att utrymning kan ske innan kritiska förhållanden uppstår.

I klassrum där flera personer förväntas vistas ofta och som bara har en utrymningsväg som t.ex. klassrum 227 bör angränsande utrymme förses med rökdetektor för att undvika att den enda utrymningsvägen från klassrummet blockeras.

Övriga rekommenderade åtgärder

- Utrymningsvägars markering bör ses över, detta gäller särskilt centraltrapphuset.
- Skyltning för handbrandsläckningsmateriel bör ses över.
- System för tidig upptäckt av brand bör byggas ut.
- Tätningarna kring fönster mellan klassrum och korridor bör ses över för att minska eventuellt läckage av brandgaser.
- Placering av blytljus i biblioteket bör ses över.
- Trapphus och utrymningsvägar bör hållas fria från brännbart material.
- Klassrum, kontor och liknande utrymmen bör vara försedda med självstängande dörrar för att minimera brandgasspridning och på så vis underlätta utrymning.
- Handbrandsläckningsmateriel bör installeras i Kyrksalen och i klassrum som 227. Med handbrandsläckare är det möjligt att i ett tidigt skede släcka eller begränsa en brand.
- Dolda utrymmen som kapprum och förråd bör förses med dörrstängare. Om brandrummen har fungerande dörrstängare minskas risken för att dörrarna lämnas öppna vid brand. Dörrstängare bör därför installeras på förrådsdörren och dörrarna till kapprummet.

12 Slutsatser

Manillaskolan bedriver en verksamhet som vid brand potentiellt kan få allvarliga konsekvenser ur personsäkerhetsperspektiv. Komplikationer för brandsäkerheten utgörs främst av personernas särskilda förutsättningar. En verksamhet som omfattar barn och ungdomar med de handikapp som finns representerade på skolan bör ha höga krav på sitt brandskydd.

Vid objektsbesöket gavs intrycket av stort engagemang och gedigen kunskap hos personal och ledning för skolan. Brandskyddet är genomtänkt och uppdaterat, systematiska förbättringar sker kontinuerligt. Utrymningsövningar hålls regelbundet och fungerar enligt uppgift väl.

De speciella omständigheter som finns har tagits i beaktande och hanterats på ett bra sätt. Problematiken med hörselnedsättningar har åtgärdats med visuellt brandlarm, problematiken med synnedsättningar har åtgärdats med kontrasterande färger på dörrar i utrymningsvägar och liknande. Korridorer och trapphus innehåller inte mycket brännbart, besöket på objektet gav ett intryck av en i helhet väl fungerande verksamhet ur brandsäkerhetsperspektiv.

Verksamheten har dock ett antal brister som bör åtgärdas. Den brist som bedöms allvarligast är avsaknaden av detektorer i många utrymmen. Avsaknaden av system för tidig upptäckt av brand kan få allvarliga konsekvenser då en dold brand kan tillväxa under en längre period och sedan blockera utrymningsvägar. Detta kan få allvarliga följder för personsäkerheten vid utrymning. Installation av detektorer rekommenderas därför i samtliga klassrum, kontor och liknande utrymmen. Tidig detektion medför att utrymning kan påbörjas tidigare. Dessutom bör detektorer installeras i kyrksalens kapprum. Utbyggnad av det befintliga detektionssystemet uppskattas förbättra personsäkerheten samt kunna genomföras till en rimlig kostnad.

Dörrar till dolda utrymmen i anslutning till kyrksal bör förses med dörrstängare för att minska risken för tillväxande brand. Om brandrummen har fungerande dörrstängare minskas risken för att dörrarna lämnas öppna vid brand. Detta innebär främst att brandgasernas spridning hindras, men även att syrebrist kommer begränsa branden.

I elevmatsalsscenarioet visar resultatet på att kritiska förhållanden kan uppstå innan utrymning är slutförd. Dock finns inte sådana förutsättningar i nuläget och åtgärder som föreslås begränsar sig till att uppmana till vaksamhet och restriktioner vid ändring av verksamhet. Om verksamheten inte ändras nämnvärt ur brandtekniskt perspektiv utgör elevmatsalen en acceptabel risk.

I kyrksalen kan situationer uppstå när säker utrymning i nuläget inte kan garanteras. Om föreslagna åtgärder genomförs förbättras brandskyddet dock till en acceptabel nivå.

Klassrum, kontor och liknande utrymmen kan i nuläget ej sägas hålla en acceptabel nivå ur brandsäkerhetssynpunkt. Brand som får tillväxa under en längre tid utan att detekteras kan komma att ge allvarliga konsekvenser. Om föreslagna åtgärder genomförs förbättras brandskyddet dock till en acceptabel nivå.

13 Referenser

BBR Boverkets byggregler. Boverket, Karlskrona, 2005.

Bengtsson, S. et al., *Brandskyddshandboken – En Handbok för Projektering av Brandskydd i Byggnader*, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet, Lund, 2005, ISSN 1402-3504.

Drysdale, D., *An Introduction to Fire Dynamics*, 2: a uppl., John Willey & Sons Ltd, England 2000, ISBN 0-471-97291-6 (pbk).

Frantzich, H., *Användarmanual till SIMULEX Ver. 1.1*, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund, 1997.

Frantzich Håkan, universitetslektor, muntlig information 2007-11-15

Jensen, L., *Brandgasspridning via Ventilationssystem*, Institutionen för byggnadskonstruktionslära, Lunds tekniska högskola, Lund, 1998, ISRN LUTAD/TABK-7050-SE.

Jensen, L., *Funktionskrav mot Brandgasspridning mellan Brandceller via Ventilationssystem - en Förstudie med Principexempel*, Avdelningen för Installationsteknik, Institutionen för bygg- och miljöteknologi Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2007, Rapport TVIT--07/7010

Johansson, B., *Analys av utrymningssäkerheten vid brand hos nattklubben Underbar i Skellefteå*, Brandteknik Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2004, Report 5135

Johansson Henrik, Handledare, Muntlig information hösten 2007

Karlsson, B. & Quintere, J.G., *Enclosure Fire Dynamics*, CRC Press LLC, USA, 2000, ISBN 0-8493-1300-7.

Manillaskolan, hemsida:

<http://www.ma.spm.se/skolor/manillaskolan/omskolan/skolanshistoria.4.3a01ec36110115bf6cd80001481.html>. Hämtat den 5 oktober 2007.

Natori, A. et al., *Development of a Simple Estimation Method of Heat Release Rate based on Classification of Common Combustibles into Category Groups*, Vol. 25, pp31-54, Fire Science and Technology Japan 2006, ONLINE ISSN : 1882-0492

Nilsson, D. & Holmstedt G., *Kompendium i Aktiva System – Detektion*, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund, 2007, ISSN 1402-3504.

Peacock, D. et al., *CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) User's Guide*, National Institute of Standards and Technology Special Publication 1041, USA 2005

Särdqvist, S. *Initial Fires*, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet, Lund, 1993, ISSN 1102-8246.

Statens Fastighetsverk, hemsida (extranät):

<http://www.sfv.se/cms/index.html>, Hämtat 25 september 2007 – 15 november 2007

Bilagor

Bilaga A. Resultat CFAST

Nedan presenteras resultat ur simuleringar i CFAST. Fokus har legat på intressanta utrymmen ur utrymningssynpunkt. Simuleringarna är gjorda utifrån följande indata:

- Lokalerna antas ha formen av rätblock.
- Mekanisk ventilation har bortsetts ifrån.
- Golvet materialegenskaper har bortsetts från.
- Lokalernas öppningar har varierats för att jämföra olika brandförlopp

A.1 Brandgaslagrets höjd

Brandgaslagrets höjd med avseende på tiden presenteras för samtliga scenarios och samtliga fall.

Scenario Kyrksal

För att ge en översikt i hur kyrksalsscenariot har simulerats visas en översiktsskiss i figur A.1. Utrymmena är numrerade från 1-6 och är tänkt att användas för tolkning av övriga figurer som berör kyrksalsscenariot.

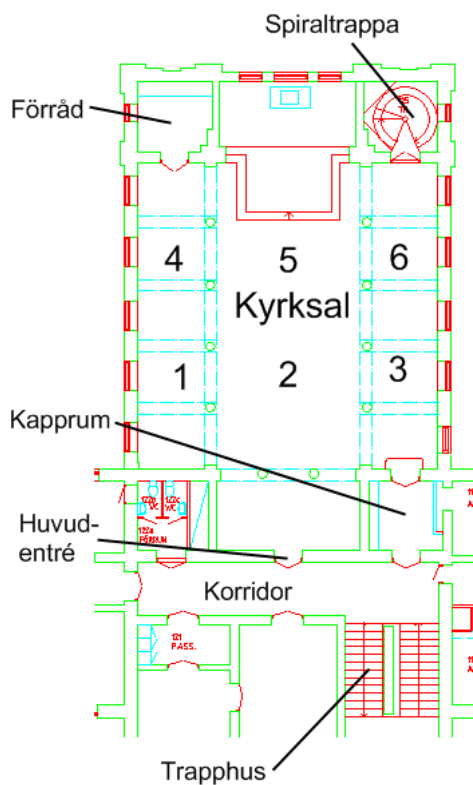


Fig. A.1. Översikt av rumsindelningen vid simulering av kyrksalsscenariot
Fall 1

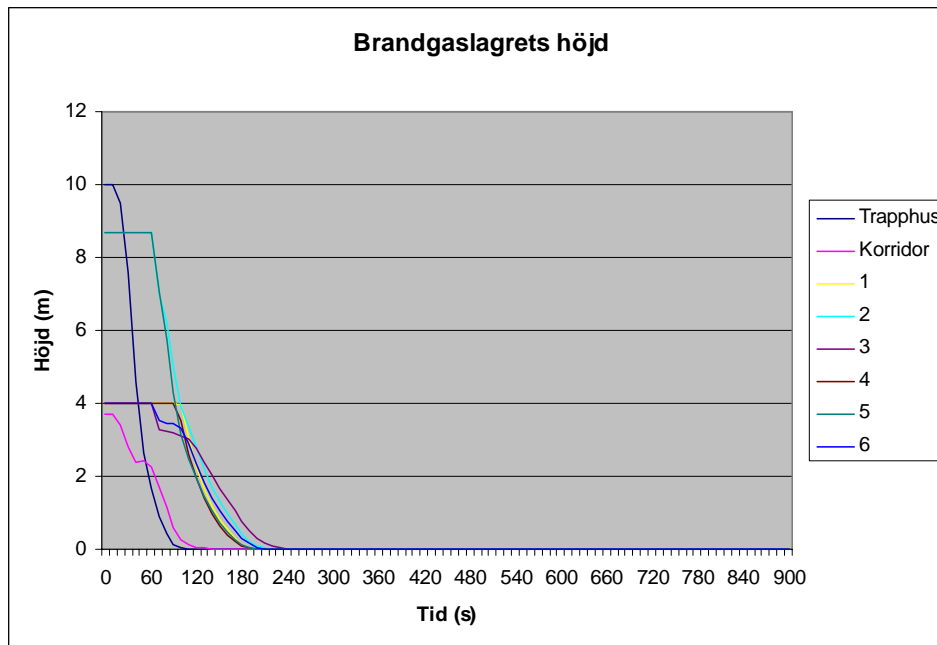


Fig. A.2 brandgaslagrets höjd med avseende på tid i fall 1 för utvalda rum

Fall 2

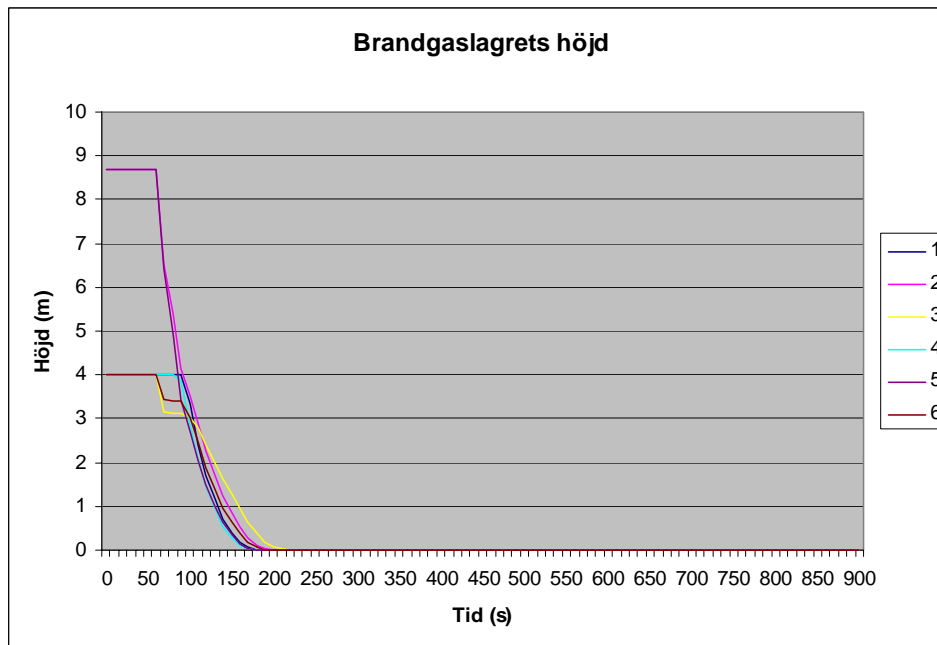


Fig. A.3 brandgaslagrets höjd med avseende på tid i fall 2 för utvalda rum

Fall 3

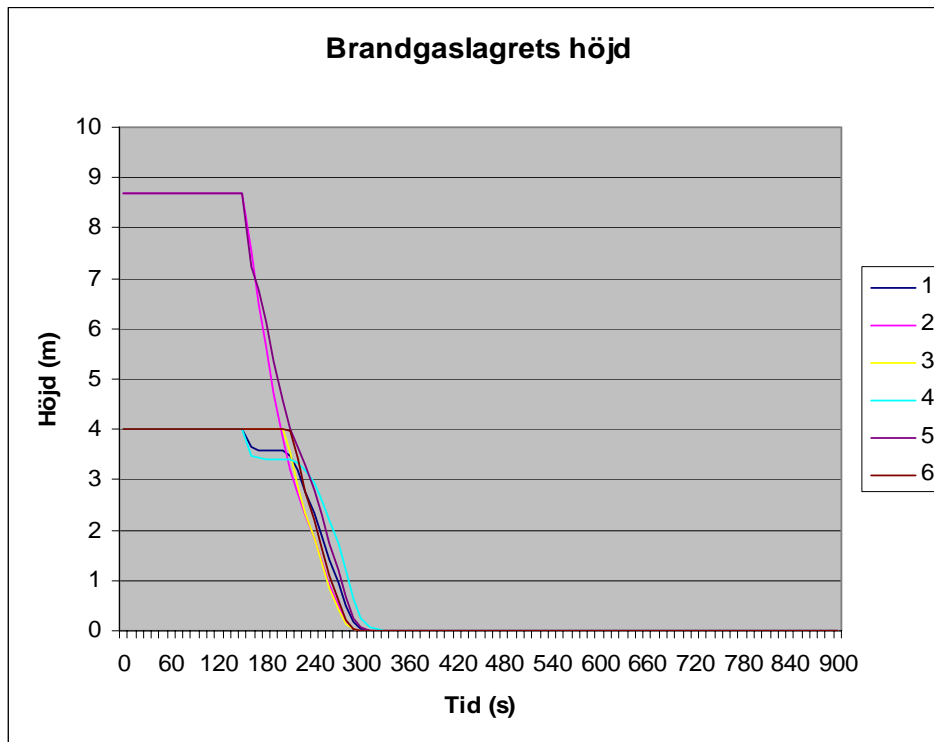


Fig. A.4 brandgaslagrets höjd med avseende på tid i fall 3 för utvalda rum

Fall 4

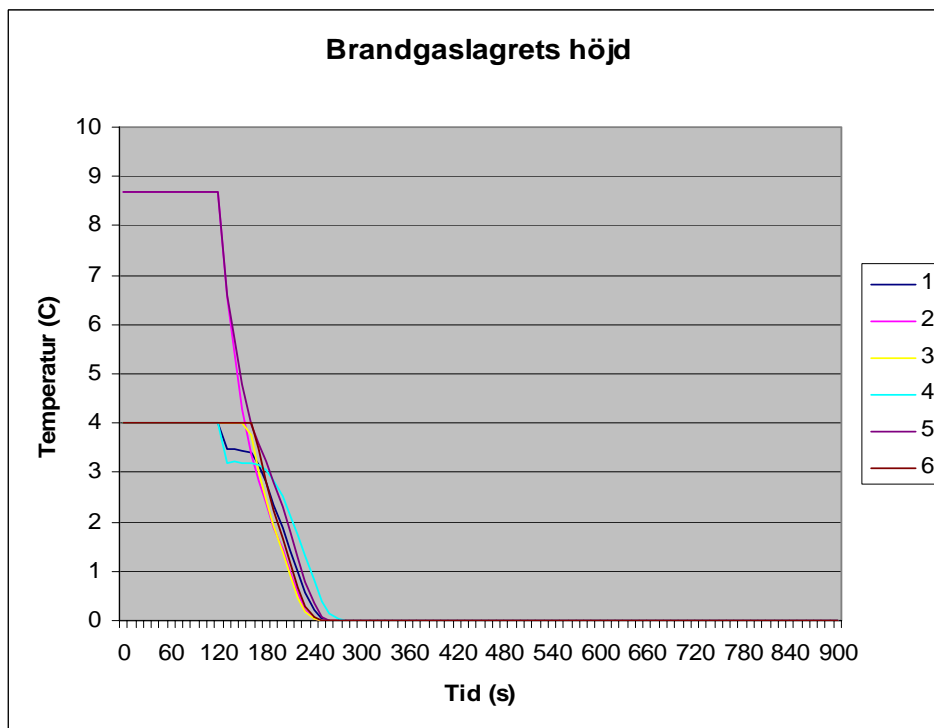


Fig. A.5 brandgaslagrets höjd med avseende på tid i fall 4 för utvalda rum

Scenario Elevmatsal

Nedan presenteras brandgaslagrets höjd med avseende på tiden för intressanta utrymmen i elevmatsalsscenariot.

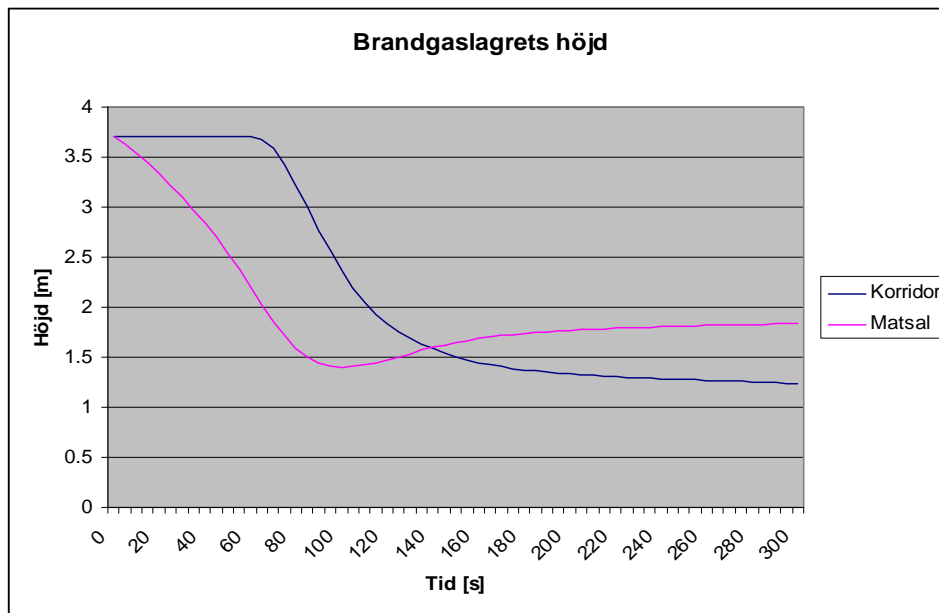


Fig. A.6 brandgaslagrets höjd med avseende på tid för utvalda rum

Scenario Klassrum

Nedan presenteras brandgaslagrets höjd med avseende på tiden för intressanta utrymmen i klassrumsscenariot.

Fall 1

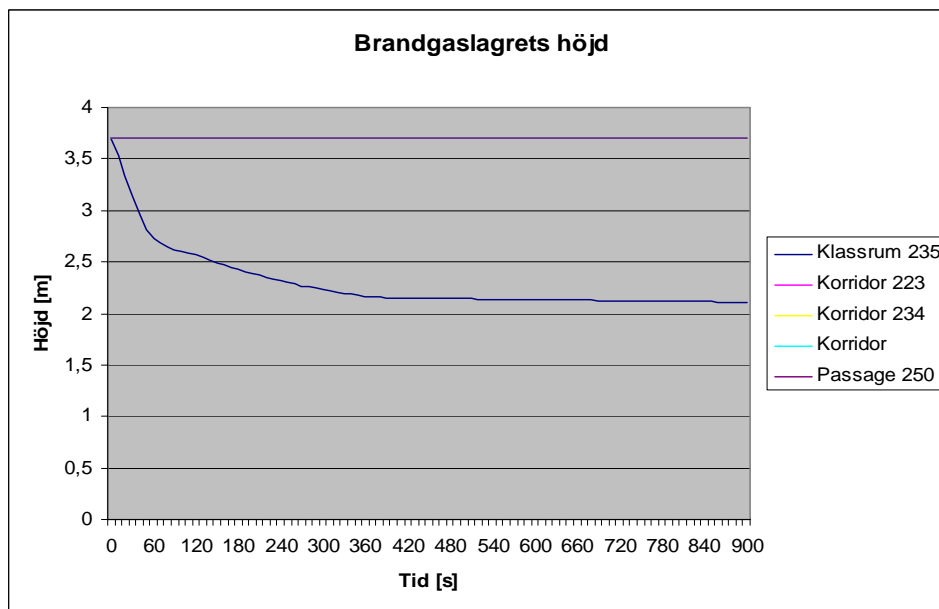


Fig. A.7 brandgaslagrets höjd med avseende på tid i fall 1 för utvalda rum

Fall 2

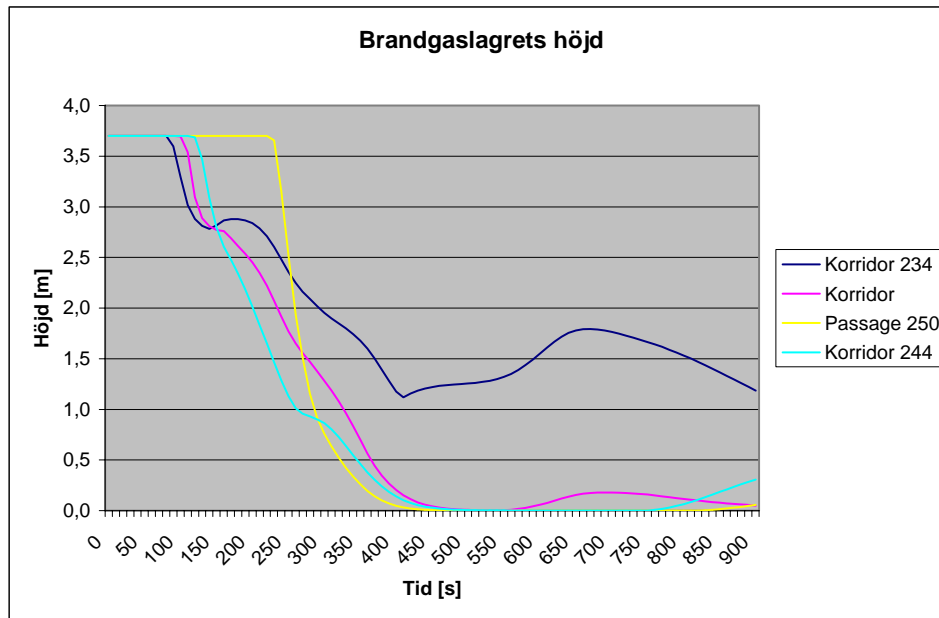


Fig. A.8 brandgaslagrets höjd med avseende på tid i fall 2 för utvalda rum

Fall 3

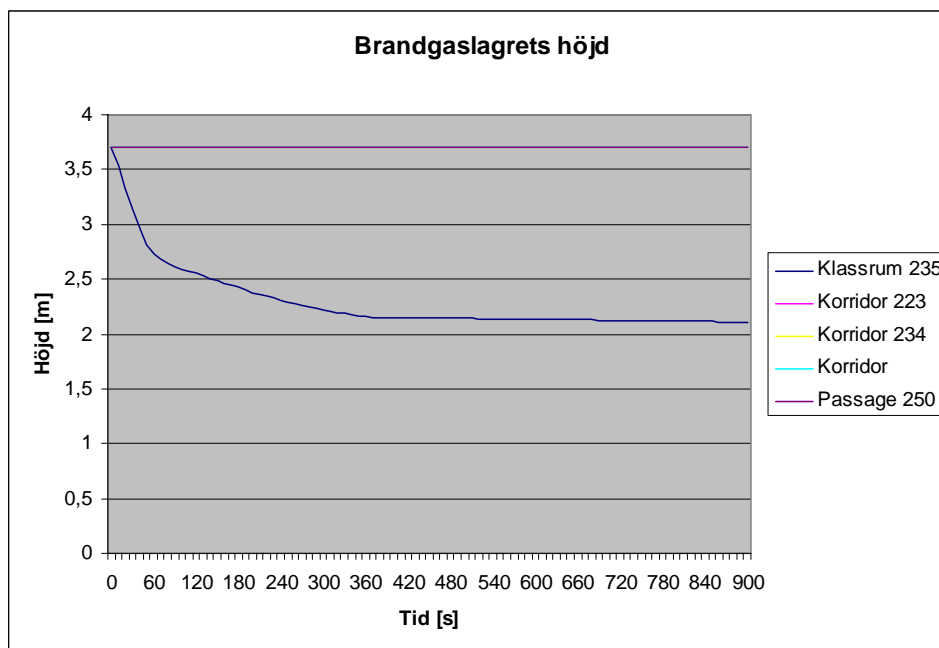


Fig. A.9 brandgaslagrets höjd med avseende på tid i fall 3 för utvalda rum

Fall 4

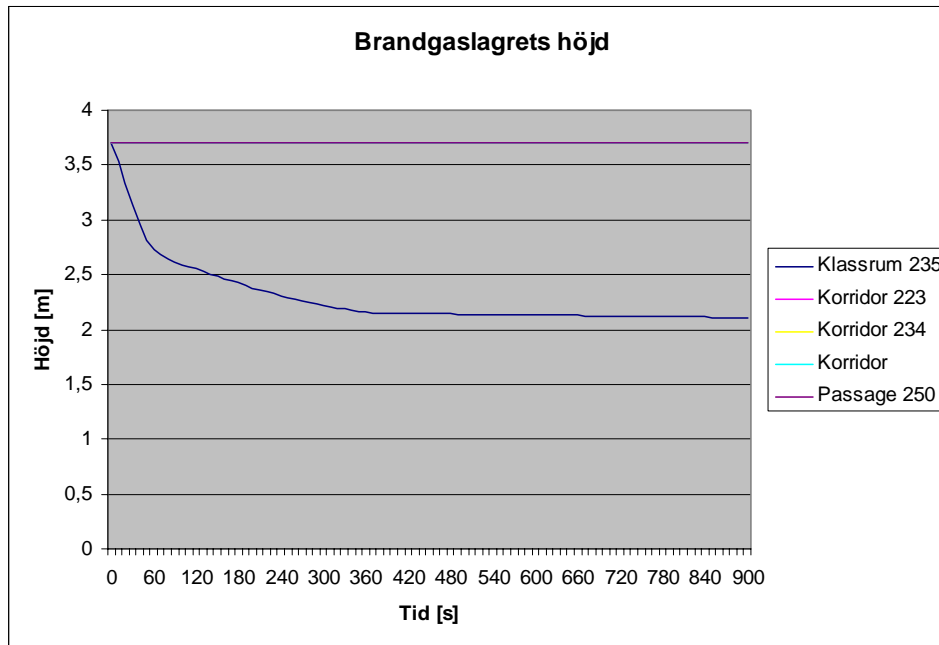


Fig. A.10 brandgaslagrets höjd med avseende på tid i fall 4 för utvalda rum

Fall 5

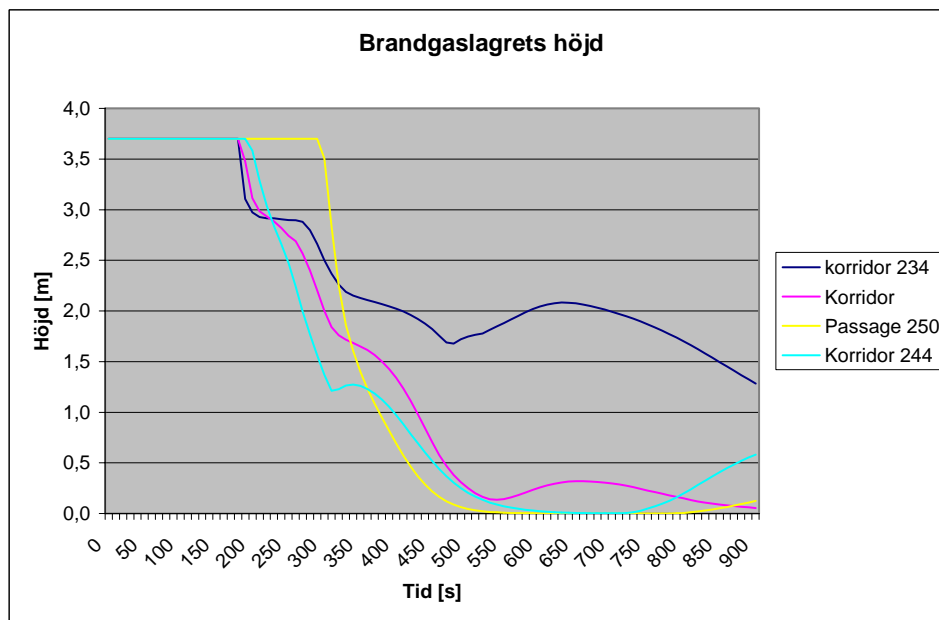


Fig. A.11 brandgaslagrets höjd med avseende på tid i fall 5 för utvalda rum

Fall 6

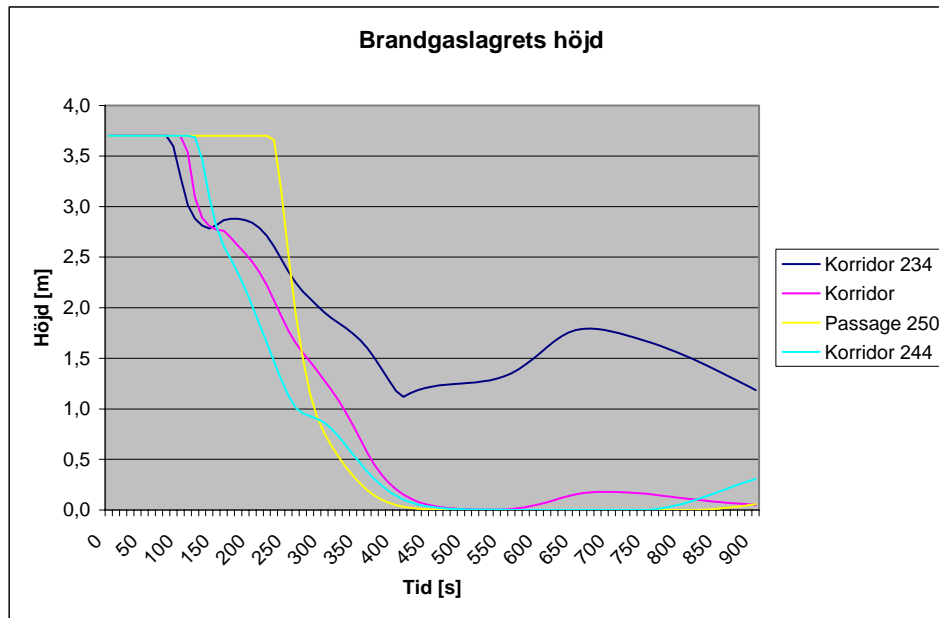


Fig. A.12 brandgaslagrets höjd med avseende på tid i fall 6 för utvalda rum

Fall 7

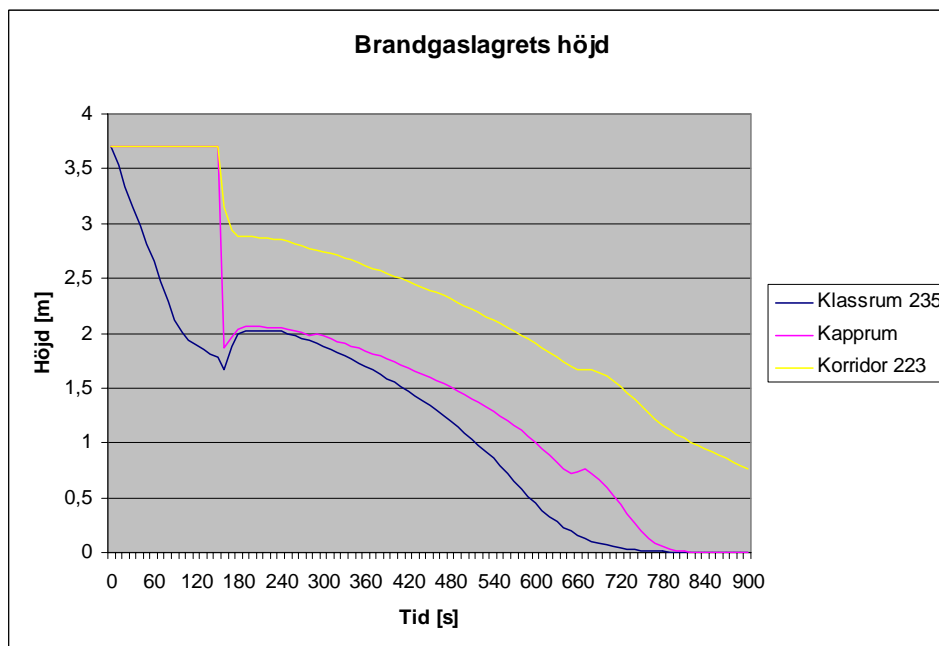


Fig. A.13 brandgaslagrets höjd med avseende på tid i fall 7 för utvalda rum

A.2 Brandgaslagrets temperatur

Brandgaslagrets temperatur med avseende på tiden presenteras för samtliga scenarios och samtliga fall.

Scenario Kyrksal

Fall 1

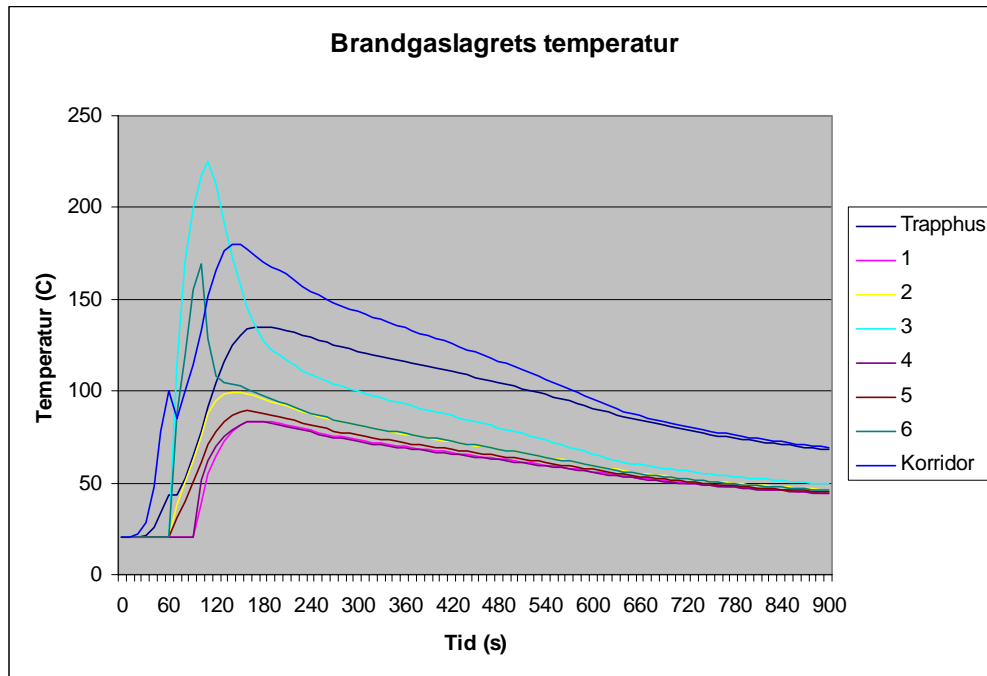


Fig. A.14 brandgaslagrets temperatur med avseende på tid i fall 1 för utvalda rum

Fall 2

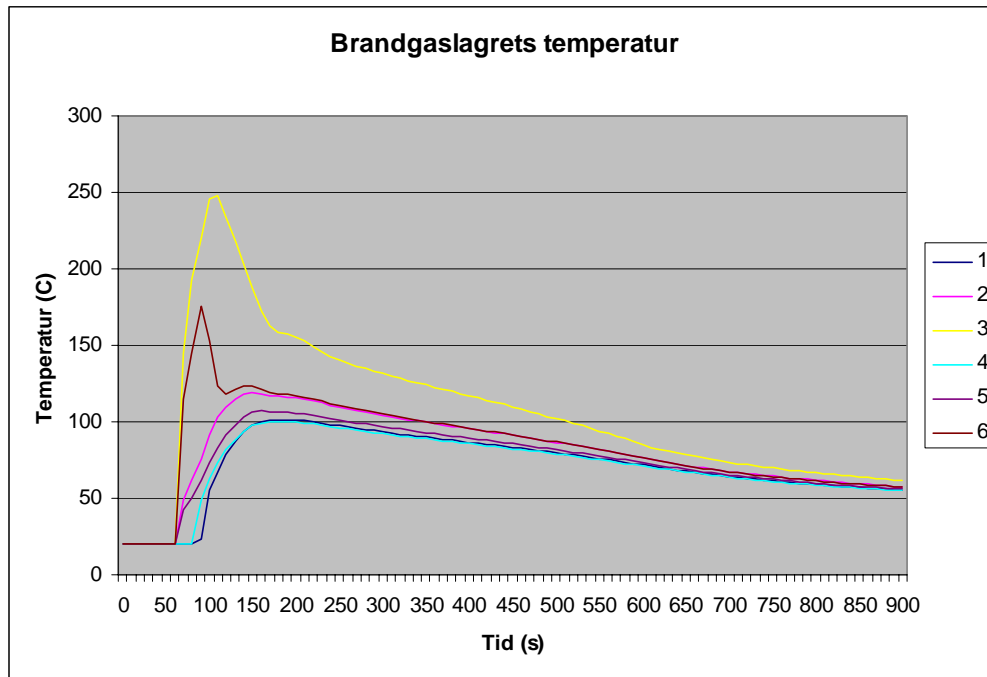


Fig. A.15 brandgaslagrets temperatur med avseende på tid i fall 2 för utvalda rum

Fall 3

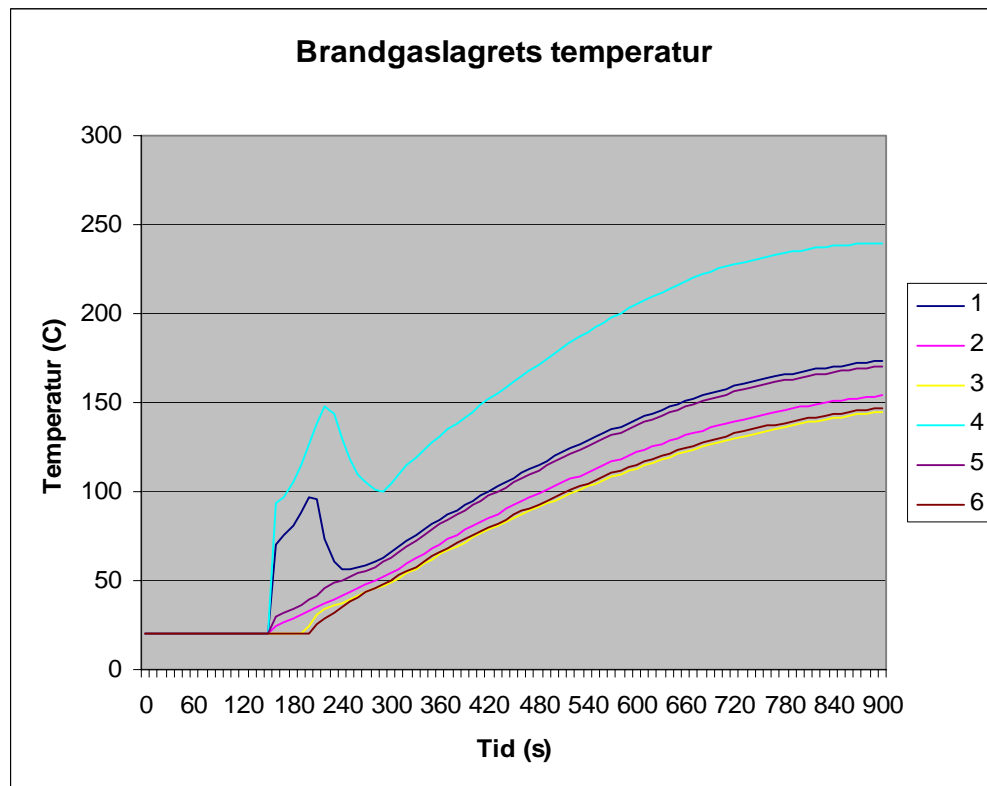


Fig. A.16 brandgaslagrets temperatur med avseende på tid i fall 3 för utvalda rum

Fall 4

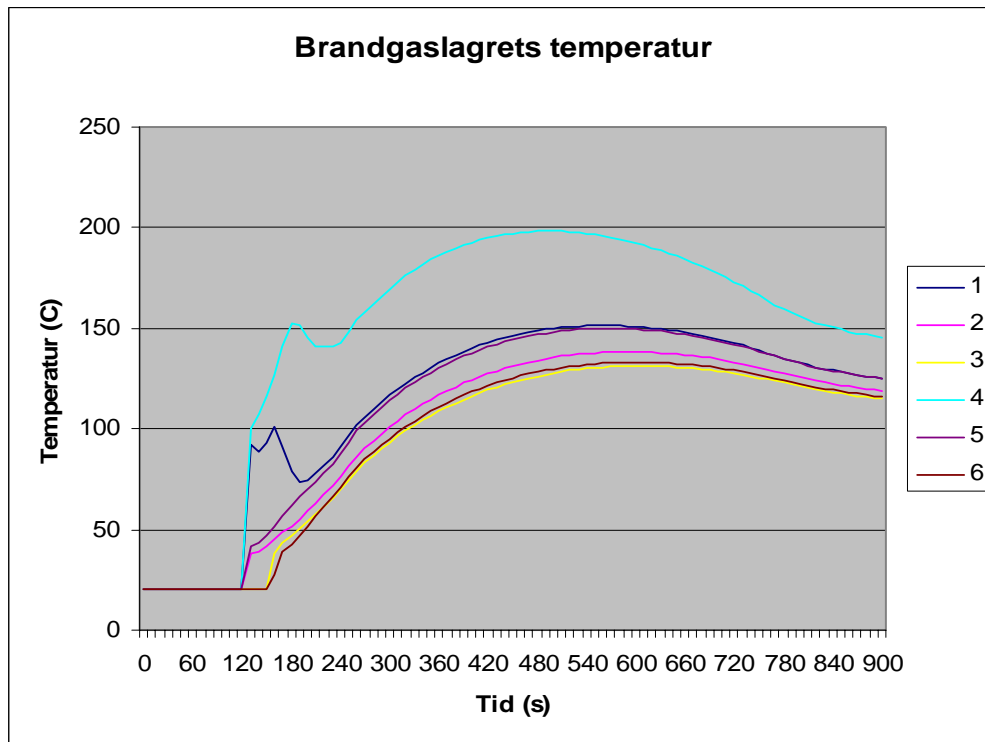


Fig. A.17 brandgaslagrets temperatur med avseende på tid i fall 4 för utvalda rum

Scenario Elevmatsal

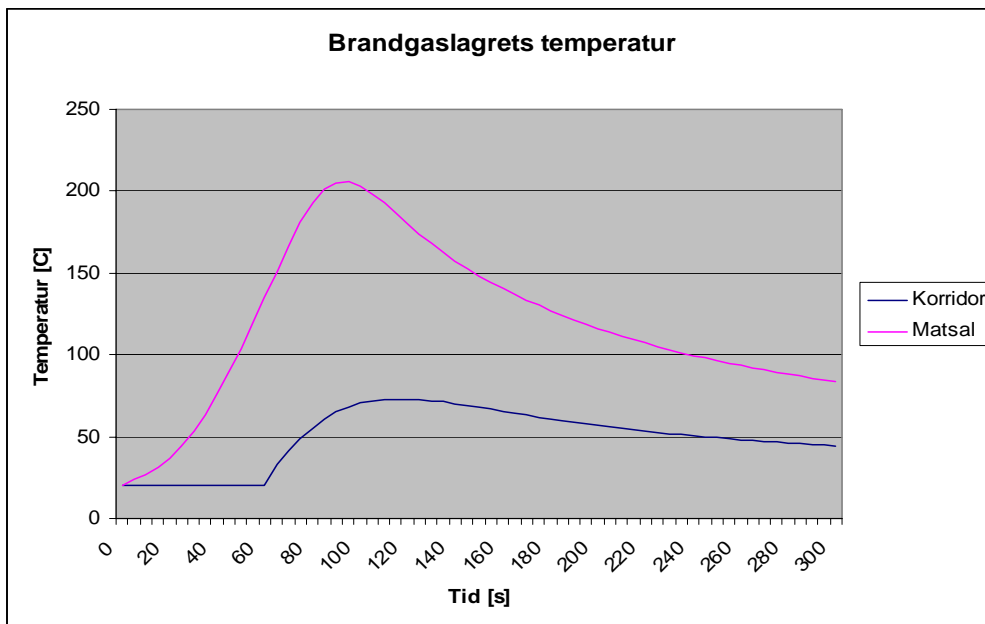


Fig. A.18 brandgaslagrets temperatur med avseende på tid för utvalda rum

Scenario Klassrum

Fall 1

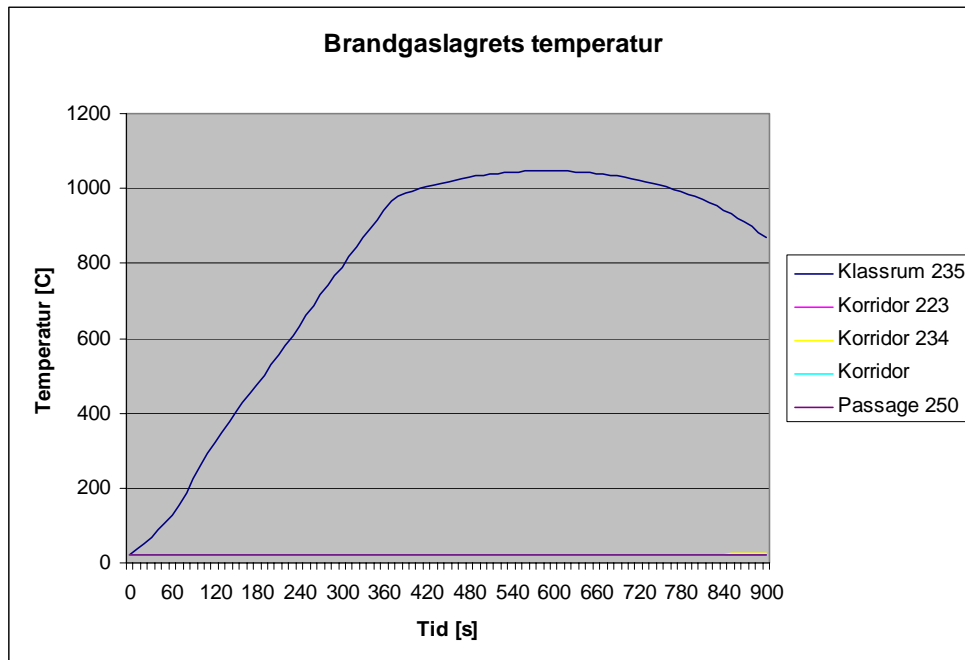


Fig. A.19 brandgaslagrets temperatur med avseende på tid i fall 1 för utvalda rum

Fall 2

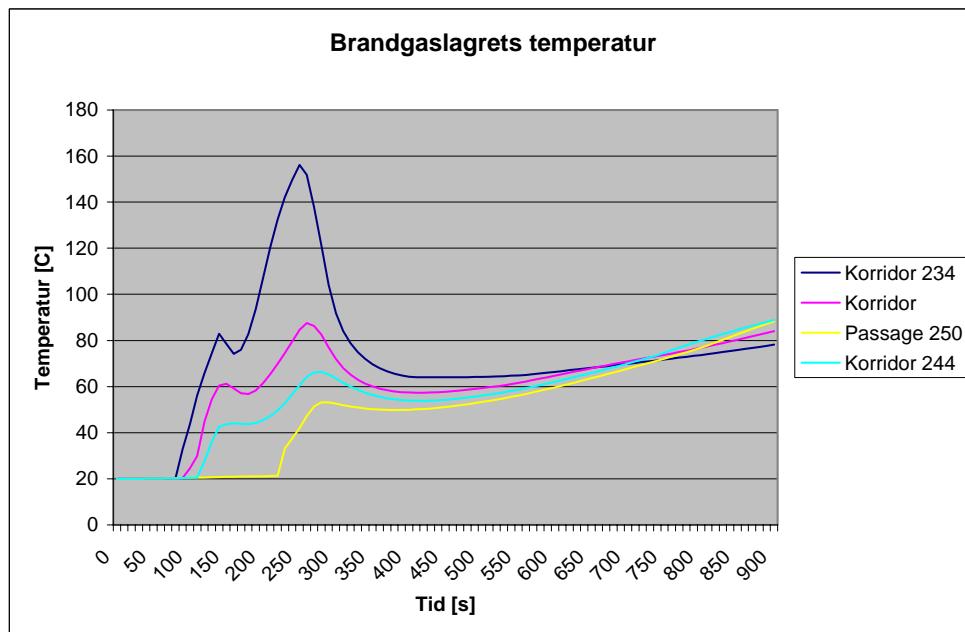


Fig. A.20 brandgaslagrets temperatur med avseende på tid i fall 2 för utvalda rum

Fall 3

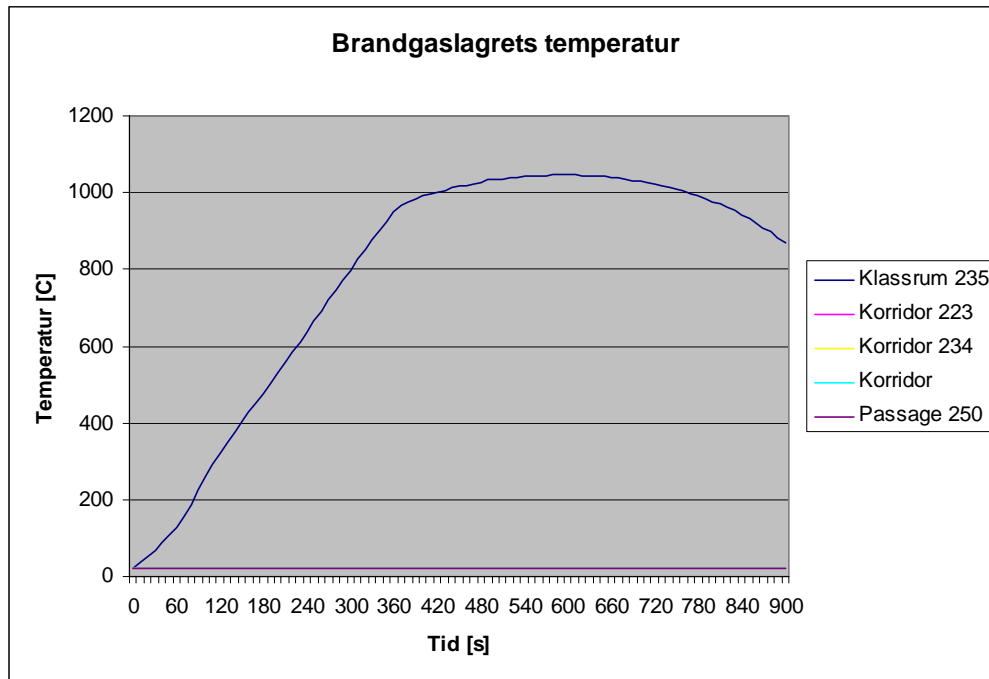


Fig. A.21 brandgaslagrets temperatur med avseende på tid i fall 3 för utvalda rum

Fall 4

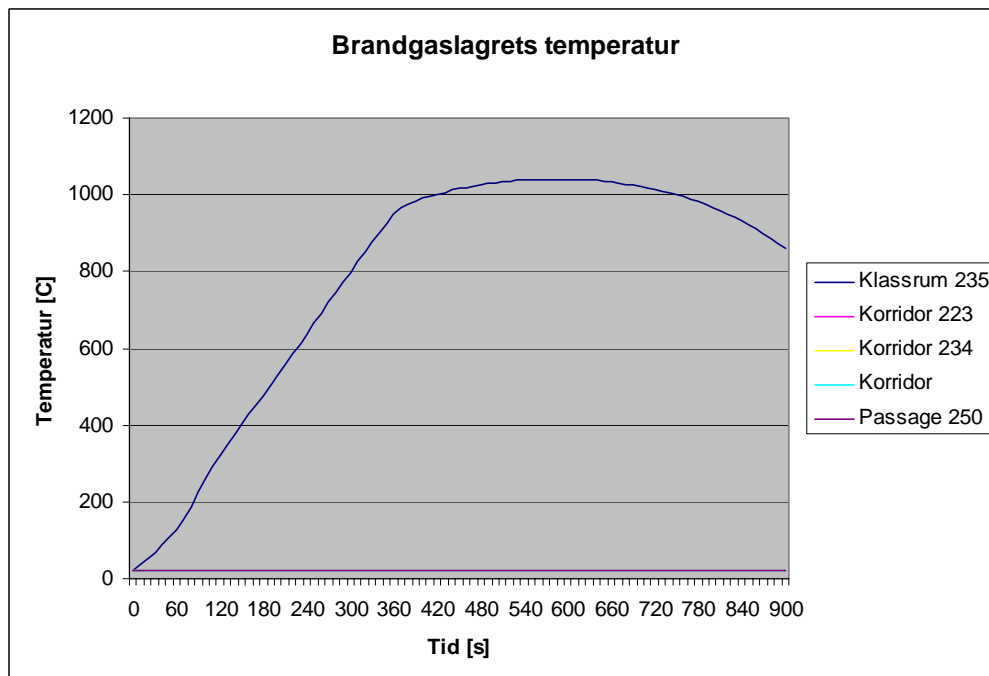


Fig. A.22 brandgaslagrets temperatur med avseende på tid i fall 4 för utvalda rum

Fall 5

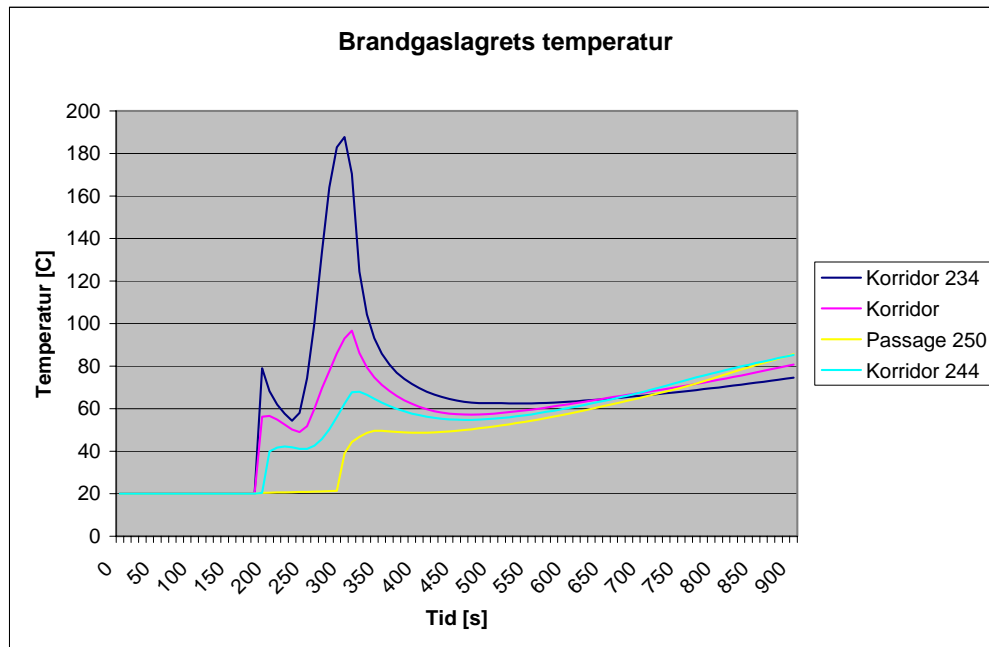


Fig. A.23 brandgaslagrets temperatur med avseende på tid i fall 5 för utvalda rum

Fall 6

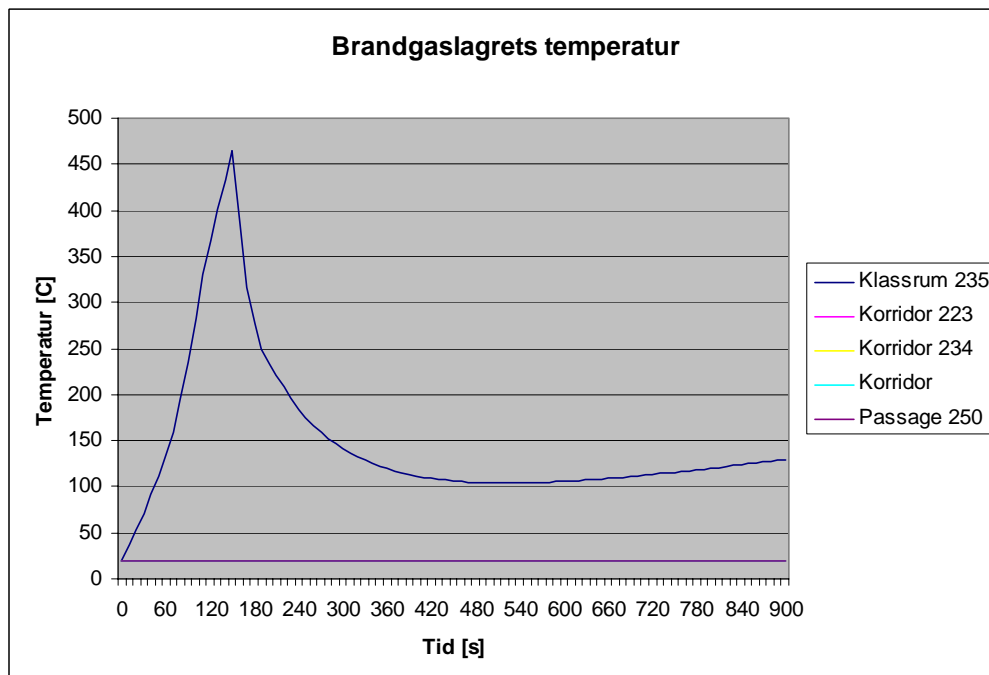


Fig. A.24 brandgaslagrets temperatur med avseende på tid i fall 6 för utvalda rum

Fall 7

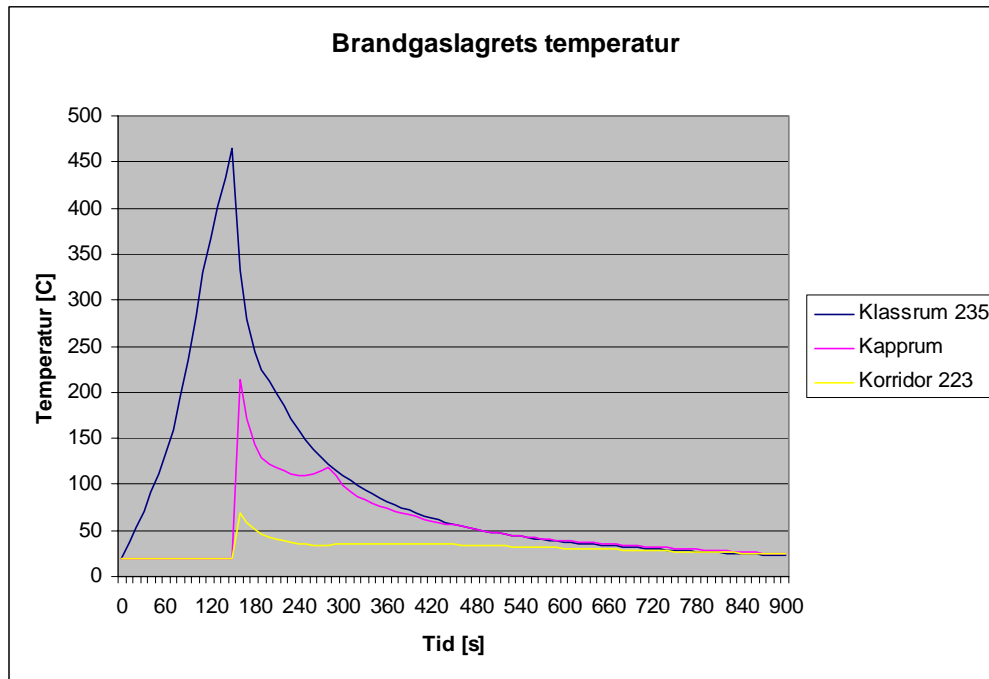


Fig. A.25 brandgaslagrets temperatur med avseende på tid i fall 7 för utvalda rum

Bilaga B. Resultat Simulex

B.1 Scenarier

Samtliga scenarios har simulerats i Simulex för att kunna avgöra om utrymning sker innan kritiska förhållanden uppstår. På grund av de särskilda omständigheter som råder har alla simulexpersonerna antagits vara små barn, detta för att kompensera för bl.a. synnedsättningar.

Scenario Kyrksal

Fig. B.1 presenterar representerande bilder ur Simulex simuleringar för kyrksalen. Bilderna är till för att få en uppfattning om hur hela utrymningen sker. Bild 1 visar tiden då utrymning inte ännu påbörjats. Bild 2 visar situationen vid tiden 30 sekunder. Bild 3 visar situationen vid tiden en minut.

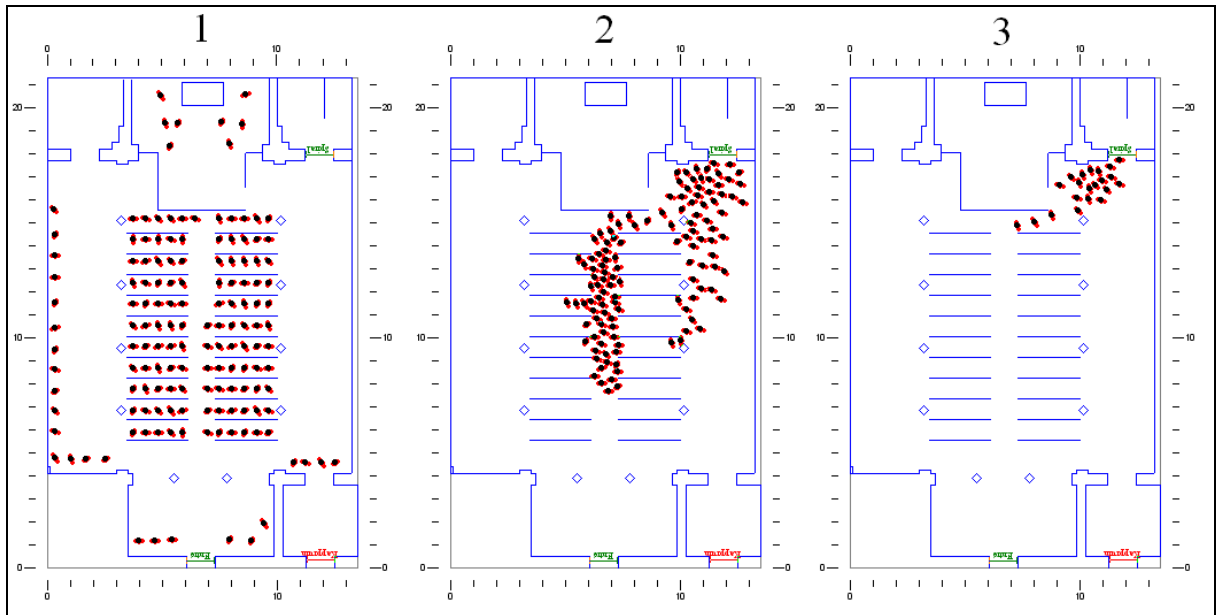


Fig. B.1 Bilderna visar utrymningssimulering av kyrksalen i Simulex.

Scenario Elevmatsal

Fig. B.2 presenterar representerande bilder ur Simulex simuleringar för Elevmatsalen. Bilderna är till för att få en uppfattning om hur hela utrymningen sker. Bild 1 visar tiden då utrymning inte ännu påbörjats. Bild 2 visar situationen vid tiden 15 sekunder. Bild 3 visar situationen vid tiden 40 sekunder. Bild 4 visar situationen vid tiden 1 minut och 20 sekunder.

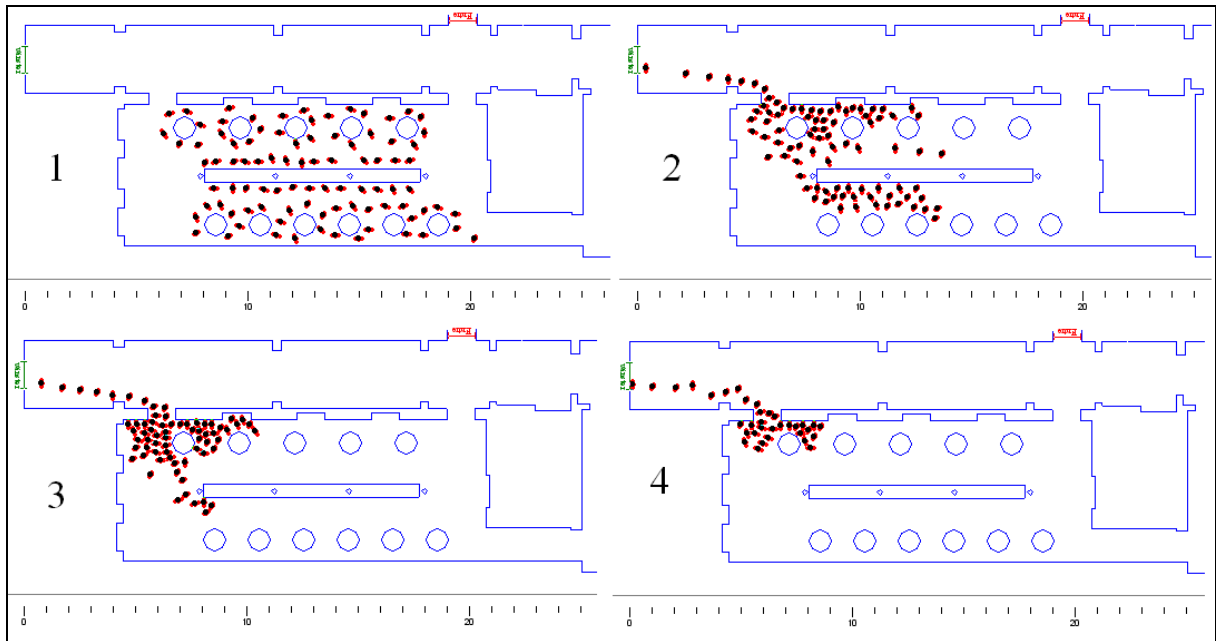


Fig. B.2 Bilderna visar utrymningssimulering av matsalen i Simulex

Scenario Klassrum

Fig. B.3 presenterar representerande bilder ur Simulex simuleringar för Klassrumsscenariot. Bilderna är till för att få en uppfattning om hur hela utrymningen sker. Bild 1 visar tiden då utrymning inte ännu påbörjats. Bild 2 visar situationen vid tiden 15 sekunder. Bild 3 visar situationen vid tiden 45 sekunder. Bild 4 visar situationen vid tiden 1 minut och 20 sekunder.

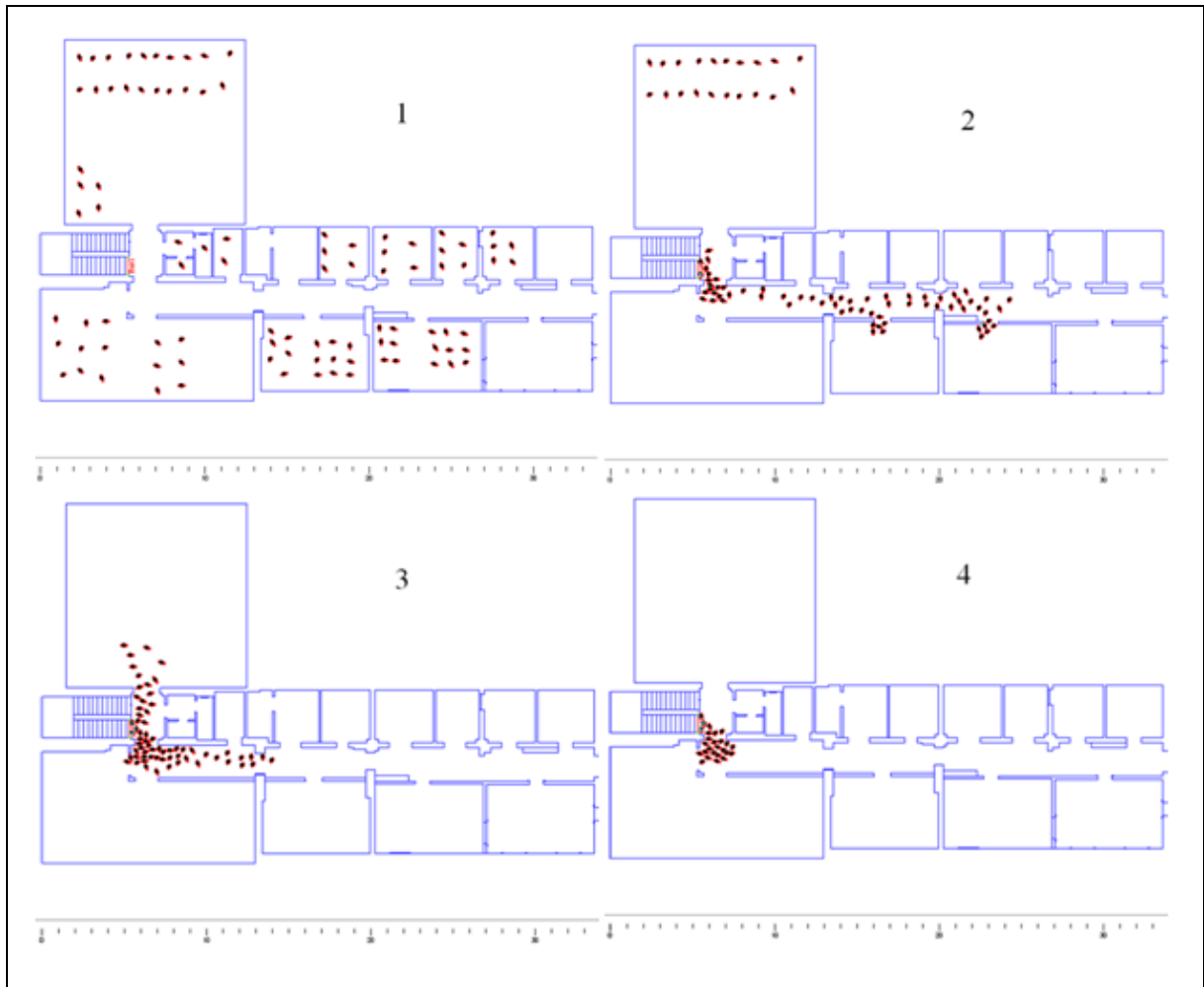


Fig. B.3 Bilderna visar utrymningssimulering av scenario Klassrum i Simulex

Bilaga C. Handberäkningar

C.1 Utrymningstid

För att validera utrymningstiderna simulerade i Simulex har handberäkningar utförts. Resultat presenteras för varje scenario.

Utrymningstid Kyrksalen

Översikt från handberäkningar av utrymningstid för scenario Kyrksalen presenteras i tabell C.1.

Tabell C.1 Handberäkningar av utrymningstid för scenariot Kyrksalen

Handberäkningar förflyttningstid			
	Fall 1 Utrymning endast via spiraltrapphus	Fall 2 Utrymning via spiraltrapphus och entré	Fall 3 Fall 2 + utrymning även via kapprummet
Längsta avstånd till utrymningsväg [m]	25	20	20
Kortaste avstånd till utrymningsväg [m]	5	5	5
Längsta gångtid [s]	50	40	40
Kortaste gångtid [s]	10	10	10
Antal personer utrymda innan flaskhals uppstår	50	70	100
Tid genom flaskhals [s]	80	30	10
Total förflyttningstid [s]	130	100	50

Indata

150 personer ska utrymma lokalen.
 Gånghastighet : 0,5 m/s
 Dörrarna är 1,2 m breda.
 Personflöde genom dörrarna : 1 person/ms \Rightarrow
 Längsta avstånd till utrymningsväg : 25 m
 Kortaste avstånd till utrymningsväg : 5 m

$t_{\text{förflyttning}}$: 130 s

Utrymningstid Elevmatsalen

Översikt från handberäkningar av utrymningstid för scenario Elevmatsalen presenteras i tabell C.2.

Tabell C.2 Handberäkningar av utrymningstid för scenariot Elevmatsalen

Handberäkningar förflyttningstid		
	Fall 1 Båda utrymningsvägar fria	Fall 2 En utrymningsväg blockerad
Längsta avstånd till utrymningsväg [m]	25	30
Kortaste avstånd till utrymningsväg [m]	15	15
Längsta gångtid [s]	50	60
Kortaste gångtid [s]	30	30
Antal personer utrymda innan flaskhals uppstår	50	35
Tid genom flaskhals [s]	25	30
Total förflyttningstid [s]	75	100

Indata

{ 80 personer ska utrymma lokalen.
 Gånghastighet : 0,5 m/s
 Dörrarna är 1,2 m breda.
 Personflöde genom dörrarna : 1 person/ms \Rightarrow
 Längsta avstånd till utrymningsväg : 30 m
 Kortaste avstånd till utrymningsväg : 15 m

$t_{\text{förflyttning}}$: 100 s

Utrymningstid Klassrum

Översikt från handberäkningar av utrymningstid för scenario Kyrksalen presenteras i tabell C.1.

Tabell C.3 Handberäkningar av utrymningstid för scenariot Klassrum

Handberäkningar förflyttningstid	
	Värsta fallet Utrymning endast via västra trapphuset.
Längsta avstånd till utrymningsväg [m]	28
Kortaste avstånd till utrymningsväg [m]	8
Längsta gångtid [s]	56
Kortaste gångtid [s]	16
Antal personer utrymda innan flaskhals uppstår	48
Tid genom flaskhals [s]	40
Total förflyttningstid [s]	96

Indata

95 personer ska utrymma lokalen.
 Gånghastighet : 0,5 m/s
 Dörrarna är 1,2 m breda.
 Personflöde genom dörrarna : 1 person/ms \Rightarrow
 Längsta avstånd till utrymningsväg : 28 m
 Kortaste avstånd till utrymningsväg : 8 m

$t_{\text{förflyttning}}$: 96 s

C.2 Siktförhållanden för väl omblandat fall

Siktförhållanden har beräknats för samtliga scenarios. Detta för att kunna säkerställa säker utrymning.

Scenario Kyrksal

$$Sikt = \frac{\ln 10}{D_L} \quad [m] \quad \text{Ekv.11}$$

Sikt = 10 m ger enligt Ekv.11 $D_L = 0,23$

$$D_0 = D_L \times \frac{V}{m} \quad [m^2/g] \quad \text{Ekv.12}$$

$$D_0 = 0,05.^{19} \quad [m^2/g]$$

$$D_L = 0,23 \quad [m^{-1}]$$

$$V_I = 1700 \quad [m^3] \text{ för kyrksal}$$

Ekv.12 ger således en massa $m = 5,4 \text{ kg}$

$\Delta H_c = 17 \text{ [MJ/kg]}$ (Antaget värde på effektiv förbränningsentalpi för trä)

$$Q = m \times \Delta H_c \quad \text{Ekv.13}$$

Ekv.13 ger således $Q_I = 91,8 \text{ [MJ]}$

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad \text{där} \quad \text{Ekv.14}$$

Integrering av Ekv.14 ger således följande:

$$\int_0^t \alpha t^2 dt = Q \quad \text{där} \quad \text{Ekv.15}$$

$$\alpha = 0,047.^{20} \quad [kW / s^2]$$

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

Insättning av $Q_I = 91,8 \text{ [MJ]}$ i Ekv.15 ger då:

$$t = 180 \text{ [s]}$$

Alla brandgaser antas fördela sig jämt i hela lokalen. Då en eventuell ventilationskontrollerad brand kan begränsa effektutvecklingen har en kontrollberäkning för detta utförts, Ekv. 3.

¹⁹ Nilsson, D. & Holmstedt, G. (2007)

²⁰ Natori, A (2006)

Scenario Elevmatsal

$$Sikt = \frac{\ln 10}{D_L} \quad [m] \quad \text{Ekv.11}$$

Sikt = 10 m ger enligt Ekv.11 $D_L = 0,23$

$$D_0 = D_L \times \frac{V}{m} \quad [m^2/g] \quad \text{Ekv.12}$$

$$D_0 = 0,05^{21} \quad [m^2/g] \quad V_1 = 480 \quad [m^3] \quad \text{för matsal}$$
$$D_L = 0,23 \quad [m^{-1}] \quad V_2 = 670 \quad [m^3] \quad \text{för matsal och korridor}$$

Ekv.12 ger således en massa $m_1 = 2,2$ kg respektive $m_2 = 3,1$ kg.
 $\Delta H_c = 16$ [MJ/kg] (Antaget värde på effektiv förbränningsentalpi för trä)

$$m \times \Delta H_c = Q \quad \text{Ekv.13}$$

Ekv.13 ger således
 $Q_1 = 35,2$ [MJ] samt $Q_2 = 49,6$ [MJ]

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad \text{där} \quad \text{Ekv.14}$$

Integrering av Ekv.14 ger således följande:

$$\int_0^t \alpha t^2 dt = Q \quad \text{där} \quad \text{Ekv.15}$$

$$\alpha = 0,39^{22} \quad [kW / s^2]$$
$$t = \text{tid} [s]$$

Insättning av $Q_1 = 35,2$ [MJ] och $Q_2 = 49,6$ [MJ] i Ekv.15 ger då:

$$t_1 = 65 [s] \quad \text{sam} \quad t_2 = 73 [s]$$

²¹ Nilsson, D. & Holmstedt, G. (2007)

²² Natori, A (2006)

Scenario Klassrum

$$Sikt = \frac{\ln 10}{D_L} \quad [m] \quad \text{Ekv.11}$$

Sikt = 10 m ger enligt Ekv.11 $D_L = 0,23$

$$D_0 = D_L \times \frac{V}{m} \quad [m^2/g] \quad \text{Ekv.12}$$

$D_0 = 0,11 \quad [m^2/g]$ (Viktat D_0 för 2/3 alfa cellulosa samt 1/3 mjuk PUR)

$D_L = 0,23 \quad [m^{-1}]$

$V_I = 350 \quad [m^3]$ för klassrum samt korridor

Ekv.12 ger således en massa $m = 0,73 \text{ kg}$

$\Delta H_c = 20 \text{ [MJ/kg]}$ (Viktad effektiv förbränningsentalpi för 2/3 alfa cellulosa samt 1/3 mjuk PUR)

$$m \times \Delta H_c = Q \quad \text{Ekv.13}$$

Ekv.13 ger således

$$Q = 14,6 \quad [MJ]$$

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad \text{Ekv.1}$$

Integrering av Ekv.14 ger således följande:

$$\int_0^t \alpha t^2 dt = Q \text{ där} \quad \text{Ekv.1.1}$$

$$\alpha = 0,047. \quad [kW / s^2] \text{ (Fast)}$$

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

Insättning av $Q = 4 \text{ [MJ]}$ i Ekv.15 ger då:

$$t = 98 [s]$$

C.3 Beräkningar av maxeffekt i Klassrum

För att validera resultaten ur CFAST jämförs maxeffekten, tagen ur CFAST, med en handberäknad maxeffekt enligt ekvation 4 och ekvation 3. Ingångsvärdena och resultat redovisas nedan.

$$\dot{m}_{O_2} = 0.5 \cdot A_0 \cdot \sqrt{H_0} (0.23 - 0.10) \quad [\text{kg/s}] \quad \text{Ekv. 4}$$

$$A_{dörr} = 0,9 \times 2,1 = 1,9 \text{ m}^2 \quad (\text{dörr mot Korridor 234})$$

$$A_{dörr} = 0,8 \times 2,1 = 1,7 \text{ m}^2 \quad (\text{dörr mot Kapprum})$$

$$A_{fönster} = 1,3 \times 2 + 1,3 \times 2 = 5,2 \text{ m}^2$$

$$H_{fönster} = 2 \text{ m}$$

$$H_{dörr} = 2,1 \text{ m}$$

För att beräkna A_0 och H_0 varierar ovan givna variabler beroende på hur de olika fallen är utformade. För att t.ex. beräkna A_0 i Fall 1 adderas $A_{dörr}$ (dörr mot Korridor 234) med $A_{fönster}$ osv. H_0 tas fram med:

$$H_0 = (A_1 h_1 + A_2 h_2 + \dots + A_n h_n) / A_0$$

När syreförbrukningen beräknats kan maxeffekten beräknas med ekvation 3.

$$\dot{Q}_{\text{max,vent}} = \dot{m}_{O_2} \cdot \Delta H_{c,O_2} \quad [\text{MW}] \quad \text{Ekv. 3}$$

$$\Delta H_{c,O_2} = 13,2 \text{ MJ/kg}$$

Resultaten presenteras i Tabell C.4

Tabell C.4 Jämförelse mellan beräknad maxeffekt och simulerad maxeffekt i CFAST

Validering effektutveckling							
Fall	1	2	3	4	5	6	7
Beräknad maxeffekt [MW]	8,6	2,3	8,6	6,5	2,3	-	2,1
Maxeffekt enl. CFAST [MW]	7,4	0,9	7,4	7,1	1,1	1,1	1,1

C.4 Beräkningar av brandgaslagrets höjd

Beräkningar av brandgaslagrets höjd har gjorts för två scenarios för att validera CFAST-simuleringar.

Scenario Kyrksal

I beräkningen av brandgaslagrets höjd har följande antaganden gjorts:

Yamana Tanakas²³ metod för rökfyllnad av större lokaler i det transienta fallet har använts. Den mekaniska ventilationen i rummet har försummats. Detta gör att brandgaslagrets höjd kan komma att underskattas något, vilket kan anses vara konservativt. Kyrksalen har approximerats med ett rätblock. Handberäkning görs för brand i kapprummet med stängd dörr mot korridoren och brand i förrådet med helt fönster. Brandgaslagrets kritiska höjd är i kyrksalen 2,2 meter.

Yamana-Tanakas metod för rökfyllnad är giltig för stora lokaler under transienta förhållanden. Metoden antar att ingen tryckuppbyggnad samt inga värmeförluster till väggar, tak och golv sker. Dessutom försummas den mekaniska ventilationen, vilket kan leda till att brandgaslagrets höjd kan komma att underskattas något. Detta får anses vara konservativt. Brandgaslagrets höjd, z , ges av

$$z = \left(k \frac{\alpha^{1/3}}{S} \frac{2t^{(1+n/3)}}{n+3} + \frac{1}{H^{2/3}} \right)^{-3/2} \quad [\text{m}] \quad \text{Ekv. 9}$$

där α är tillväxtfaktorn (kW/s^2), t är tiden (s) och n är en exponent givet av effektutvecklingen (Ekv. 1), S är golvarean (m^2), H är takhöjden (m) och k är en konstant som ges av

$$k = \frac{0.21}{\rho_g} \left(\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3} \quad \text{Ekv. 10}$$

Där ρ_g är brandgasernas densitet (kg/m^3), c_p är den specifika värmekapaciteten (kJ/kgK), T_a är omgivande luftens temperatur (K), ρ_a är omgivande luftens densitet (kg/m^3) och g är tyngdkraften (kg/ms^2). Inledningsvis antas ett ρ_g och sätts in i Ekv. 10. Därefter beräknas ett k som sätts in i Ekv. 9 och ett z beräknas för en tid t . Det antagna ρ_g kontrolleras mot

$$\rho_g = \rho_a \left(1 - \frac{\alpha \cdot t^{n+1}}{(n+1)(H-z)Sc_p 353} \right) \quad [\text{kg/m}^3] \quad \text{Ekv. 11}$$

Metoden bygger på att beräkningarna utförs i brandrummet. Då lokalen är så pass stor i förhållande till det angränsande utrymmet har metoden använts ändå och således har branden approximerats till att vara placerad i kyrksalen. Då en eventuell ventilationskontrollerad brand kan begränsa effektutvecklingen har en kontrollberäkning för detta utförts, Ekv. 3. Beräkningen visar på att ventilationskontroll inte uppstår innan tid till kritiska förhållanden.

²³ Drysdale, D. (2000)

Insättning av följande i Ekv. 9-11 ger en tid till kritisk höjd på 180 resp. 105 sekunder

$$\begin{array}{ll} \text{Golvyta} & S = 190 \text{ m}^2 \\ \text{Takhöjd} & H = 8.7 \text{ m} \\ & \alpha_1 = 0.047 \text{ resp } \alpha_2 = 0.4 \end{array}$$

Scenario Matsal

Yamana Tanakas²⁴ metod för rökfyllnad av större lokaler i det transienta fallet har använts. Den mekaniska ventilationen i rummet har försumrats, detta kan göra att brandgaslagrets höjd kan komma att underskattas något, vilket kan anses vara konservativt.

Beräkningarna har gjorts för den tidpunkt där brandgaslagrets höjd i CFAST når 2,1 meter (dörröppningarnas överkant), dvs. ca 65 sekunder. Brandgaslagrets höjd beräknas till ca 1,7 meter. Detta är en höjd där brandgaslaget nått ner nedanför dörröppningarnas överkant och alltså då Yamana-Tanakas modell inte gäller. Tiden det tar för brandgaslagrets höjd att nå 2.1 meter har istället beräknats till 55 sekunder.

Insättning av följande i Ekv. 9-11 ger en tid till kritisk höjd på 55 sekunder

$$\begin{array}{ll} \text{Golvyta} & S = 120 \text{ m}^2 \\ \text{Takhöjd} & H = 3.7 \text{ m} \\ & \alpha = 0.38 \end{array}$$

²⁴ Drysdale (1999)

Bilaga D. Val av Effektkurvor

Beräkningar och simuleringar bestäms till stor del av den valda effektkurvan därför har stor vikt lagts på val av effektkurva.

D.1 Scenario Kyrksal

Effektutvecklingen för kapprumsbranden är hämtad från försök utförda på Räddningsverkets skola i Revinge²⁵. I försöken togs effektutveckling fram för 105 jackor. Då geometrin och brandbelastningen, ca 100 jackor, i försöken stämmer väl överens med geometrin i kapprummet används denna effektkurva som representativ brand. Effektkurvan visas i Fig. D.1.

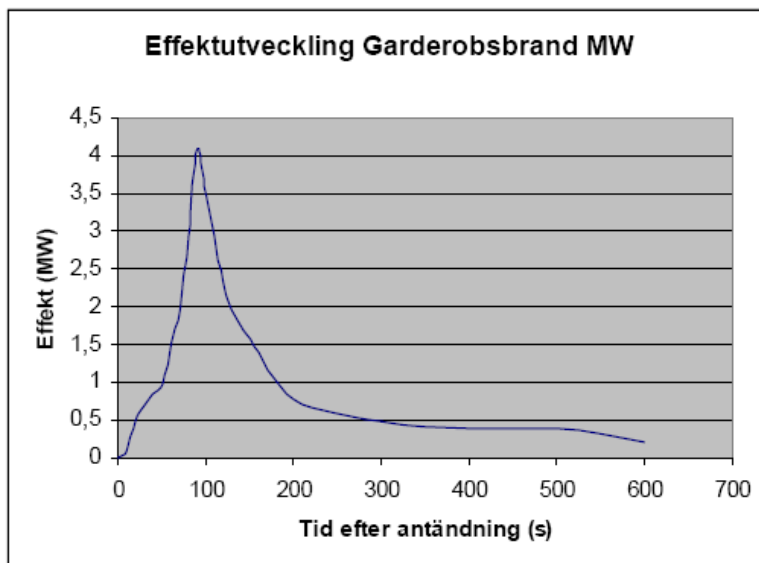


Fig. D.1 Effektutvecklingskurva för 105 jackor (Johansson, 2004)

²⁵ Johansson, B. (2004)

D.2 Scenario Elevmatsal

Vid simulering av brand i matsalen har en julgran på ca 20kg använts som enskilt brinnande objekt. Ingen brandspridning till ytterligare föremål har antagits. Effektkurvan för granen är hämtad ur en forskningsrapport vid Kyoto universitet²⁶. Se Tabell D.1 nedan.

Tabell D.1 Visar var effektkurvan för den representativa branden hämtats. Kolumnen längst till vänster i tabellen är den som använts.)

52 AKIKO NATORI, NORICHIKA KAKAI, JUN KITAHORI, TSUNETO TSUCHIHASHI, TOSHIHIKO ABE, TSUTOMU NAGAOKA, YOSHIFUMI OHMITA and KAZUVOHI HARADA

Table 11 Characteristic values to represent HRR curve of dry Christmas trees

parameter	symbol	unit	over estimation		best estimation		under estimation	
			Surface area 14.6 [m ²] Weight 20.0 [kg]		Surface area 16.4 [m ²] weight 18.6 [kg]		Surface area 18 [m ²] weight 12 [kg]	
			Exp.	Est.	Exp.	Est.	Exp.	Est.
fire growth rate	α	[-]	0.39	3.14	3.51	3.14	3.46	3.14
peak HRR	Q_{max}	[kW]	1612	2753	3155	3166	1250	3529
fire decay rate	α_d	[-]	0.66	0.82	1.26	0.82	1.59	0.82
total heat release	THR	[MJ]	92	179	143	165	43	97
growth period	τ_{grow}	[s]	66	30	30	32	21	34
duration of steady burning	τ_{max}	[s]	13	36	15	21	14	0
decay period	τ_{decay}	[s]	50	58	50	62	28	65

Figure 18 Reproduction of HRR curve
(left: worst overestimation, center: best estimation, right: worst underestimation)

²⁶ Natori, A. (2006)

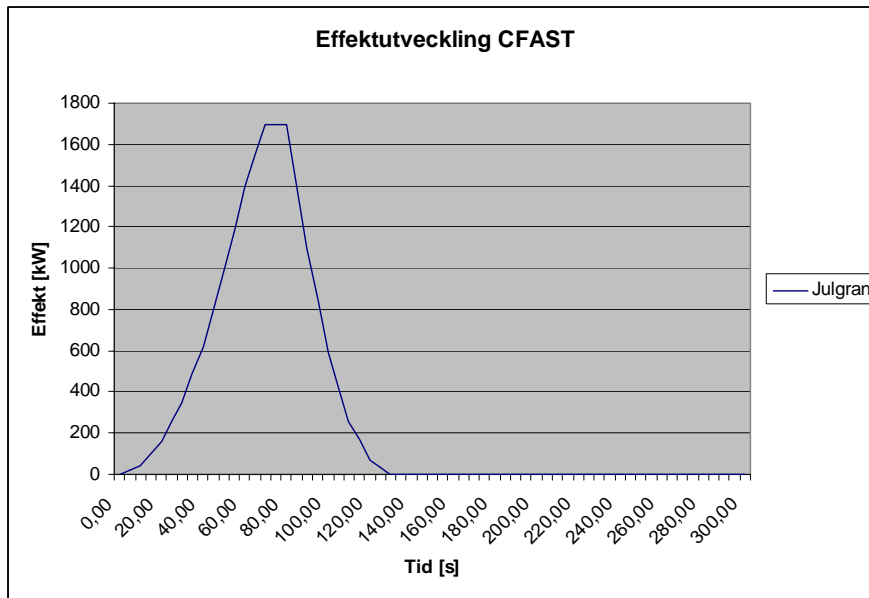


Fig. D.2 Figuren visar effektutveckling hämtad ur CFASTs utdata

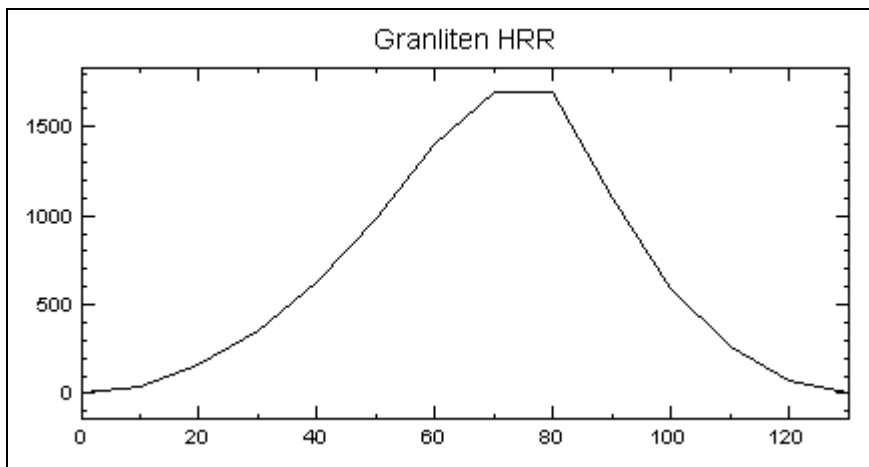


Fig. D.3 Visar den effektutveckling som använts som indata i CFAST

Bilaga E. Ritningar

E.1 Situationsplan

Situationsplan över hela Manillaskolan presenteras i Fig. D.1

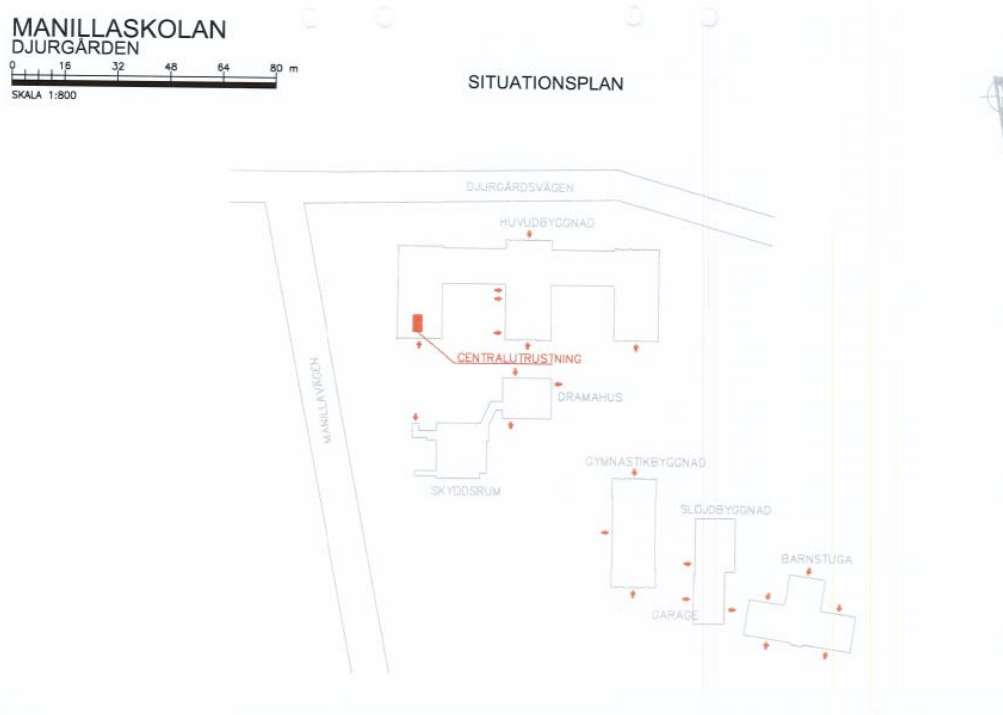


Fig. E.1 Situationsplan över Manillaskolan

E.2 Plan och sektionsritning

Plan och sektionsritning presenteras i Fig. E.2 och E.3.



Fig. E.2 Sektionsritning med fasad mot söder

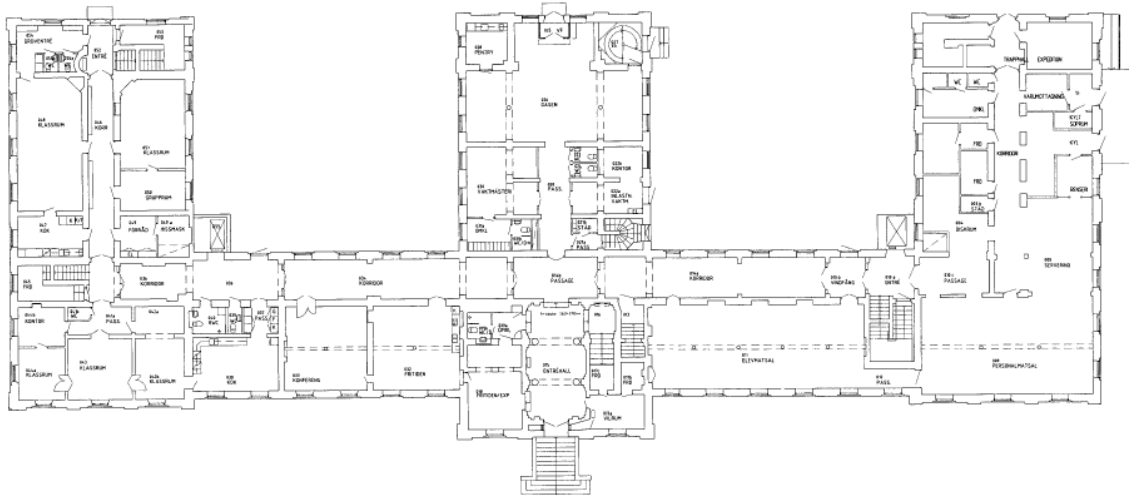


Fig. E.3 Planritning över bottenplan

Bilaga F. Teori och förenklingar

Teorier och förenklingar för de beräkningar som använts vid framtagandet av denna rapport presenteras i denna bilaga.

F.1 Effektutveckling

Ett brandförlopp är oftast mycket komplext och svårt att beskriva. Med förenklingar kan en idealiserad variation av branden antas. Den kan sägas bestå av olika faser.

- Antändning
- Tillväxt
- Övertändning
- Fullt utvecklad
- Avsvalning

Brandförloppet kan beskrivas på ett överskådligt och användbart vis med en effektutvecklingskurva, fig 3.1. Denna anger effekten över tiden. För de flesta verkliga bränder accelererar tillväxtfasen. Ett förenklat sätt att beskriva tillväxtfasen är att anta att effektutvecklingen, \dot{Q} , ökar kvadratiskt med tiden.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad [\text{kW}] \quad \text{Ekv. 1}$$

där α är tillväxtfaktorn (kW/s^2) och t är tiden (s). Denna metod är giltig enbart under tillväxtfasen upp till 500 kW. Dock har den visat sig stämma bra överens med verkligheten även för större bränder. Tillväxthastigheten varierar bland annat med bränsle och lokalens utformning. Standardvärden för tillväxtfaktorn har tagits fram för olika typer av verksamheter, däribland skolor.

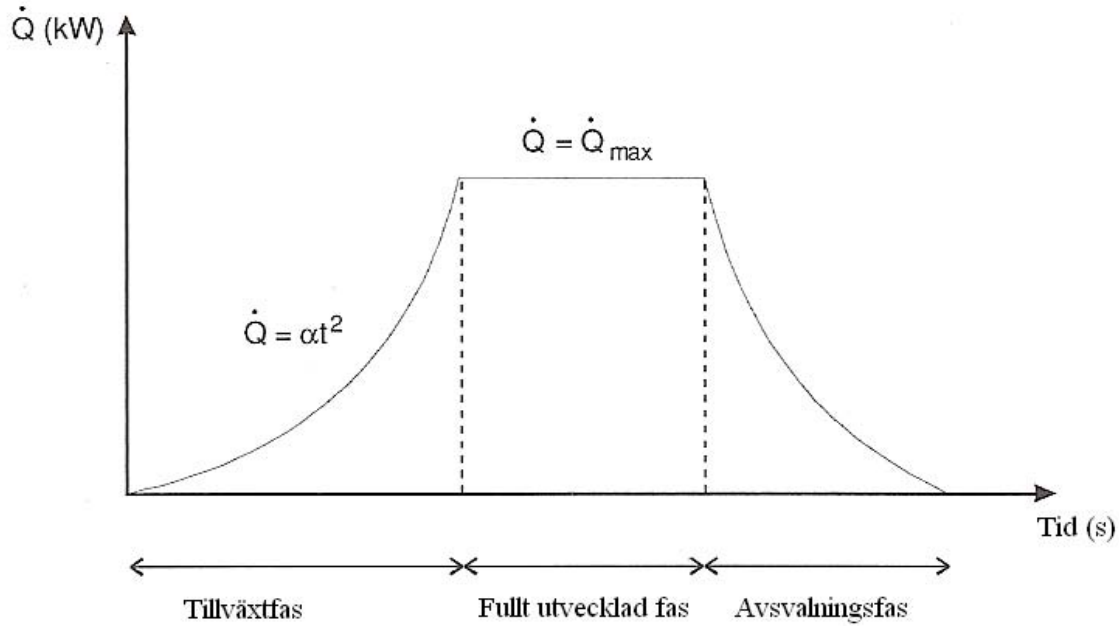


Fig. 3.1 En förenklad effektutvecklingskurva²⁷

När den idealiserade branden har nått den fullt utvecklade fasen kan effektutvecklingen approximeras till konstant och har nått sitt maxvärde, \dot{Q}_{\max} . Branden begränsas här antingen av underskott på bränsle eller underskott på syre. Om branden blir bränslekontrollerad bestäms maximal effekt med hjälp av ekvation 2.

$$\dot{Q}_{\max} = \dot{m}_{\text{trä}}'' \cdot A_{\text{bränsle}} \cdot \chi \cdot \Delta H_c \quad [\text{kW}] \quad \text{Ekv. 2}$$

Där materialegenskaperna $\dot{m}_{\text{trä}}''$ är massavbrinningen ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$), $A_{\text{bränsle}}$ är bränsleytans area (m^2), χ är förbränningseffektiviteten (-) och ΔH_c är förbränningsvärmets (kJ/kg). Om branden däremot blir ventilationskontrollerad bestäms

$$\dot{Q}_{\max} = \dot{m}_{\text{O}_2} \cdot \Delta H_{c, \text{O}_2} \quad [\text{kW}] \quad \text{Ekv. 3}$$

Där \dot{m}_{O_2} är massan av det syre som kan förbrännas ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$) och $\Delta H_{c, \text{O}_2}$ är förbränningsvärmets för syre (kJ/kg). Varje kilogram förbrukat syre producerar ≈ 13.2 MJ. Luftens massa består av ca 23 % syre. Förbränning kan fortgå ner till ca 10 %. Därav bestäms syrets massavbrinning av

$$\dot{m}_{\text{O}_2} = 0.5 \cdot A_0 \cdot \sqrt{H_0} (0.23 - 0.10) \quad [\text{kg}/\text{s}] \quad \text{Ekv. 4}$$

²⁷ Karlsson, B. (2000)

Där rumsegenskaperna A_0 är arean för rummets öppningar (m^2) och H_0 är medelhöjden för rummets öppningar (m). Ovanstående formler och resonemang är hämtade ur kurslitteratur²⁸.

F.2 Utrymningsteori

Utrymningsdimensioneringen i denna rapport grundar sig främst på beräkningar av gångavstånd, dörrbredder med mera. Den beräknade tiden för utrymning i varje scenario jämförs sedan med tiden till kritiska förhållanden kan antas uppstå.

En av svårigheterna med denna rapport är att uppskatta hur stor inverkan elevernas särskilda förutsättningar har på deras förmåga till snabb och säker utrymning. Det kan antas att dessa förutsättningar i många fall är begränsande.

Utrymningsförloppet kan sägas bestå av summan av tiderna för tre olika faser.

- Varseblivningstiden, $t_{var.se}$, ges av den tid som förflyter från det att branden börjar tillväxa tills dess att den upptäcks.
- Beslut- och reaktionstiden, $t_{beslut\&reaktion}$, är den tid som åtgår för att förstå att det brinner, förbereda sig och påbörja utrymning eller eventuell släckning.
- Förflyttningstiden, $t_{förflyttning}$, är den tid som krävs för att förflytta sig ut ur lokalen.

Dessa ska sammantaget understiga tiden för då kritiska förhållanden, t_{krit} , uppstår. Vilket kan uttryckas som

$$t_{krit} > t_{var.se} + t_{beslut\&reaktion} + t_{förflyttning} \quad \text{Ekv. 5}$$

Förflyttningstiden ut ur lokalen ges av summan

$$t_{förflyttning} = t_{dörr} + t_{gång} \quad [\text{s}] \quad \text{Ekv. 6}$$

där tiden det tar att utrymma ett visst antal person genom en viss dörr, $t_{dörr}$, bestäms av

$$t_{dörr} = \frac{n}{b \times f} \quad [\text{s}] \quad \text{Ekv. 7}$$

där n är antalet personer (-), b är dörrens bredd (m) och f är det dimensionerande personflödet genom dörren (personer/ms). Den längsta tid det tar att gå till utrymningsvägen, $t_{gång}$, bestäms av

$$t_{gång} = \frac{l}{v} \quad [\text{s}] \quad \text{Ekv. 8}$$

²⁸ Karlsson, B. (2000)

där l är längsta avståndet till utgången (m) och v gånghastigheten (m/s)²⁹. Tiden då stockning uppstår antas vara gångtiden till dörren för personen längst ifrån, $t_{gång}$. För de valda scenarierna skiljer sig det kortaste avståndet till utrymningsvägen markant från det längsta. Detta innebär att ett antal personer redan har hunnit utrymma när siste man kommer fram till dörren. Detta kompenseras genom att subtrahera antalet personer som hinner utrymma innan flaskhalsen uppstår. Detta antal beräknas enligt

$$n_{utrymda} = \frac{l_{längstasträcka} - l_{kortastesträcka}}{v} \times b \times f \quad [\text{personer}] \quad \text{Ekv. 8.1}$$

Det antal personer som skall utrymma när flaskhalsen väl har uppstått blir således

$$n = n_{total} - n_{utrymda} \quad [\text{personer}] \quad \text{Ekv. 8.2}$$

F.3 Brandgaslager

För beräkning av brandgaslagrets höjd har Yamana-Tanakas³⁰ metod för rökfylldnad använts. Modellen är giltig för stora lokaler under transienta förhållanden. Metoden antar att ingen tryckuppbyggnad samt inga värmeförluster till väggar, tak och golv sker. Dessutom försummas den mekaniska ventilationen, vilket kan leda till att brandgaslagrets höjd kan komma att underskattas något. Detta får anses vara konservativt i den meningen att de antaganden som görs är försvårande. Brandgaslagrets höjd, z , ges av

$$z = \left(k \frac{\alpha^{1/3}}{S} \frac{2t^{(1+n/3)}}{n+3} + \frac{1}{H^{2/3}} \right)^{-3/2} \quad [\text{m}] \quad \text{Ekv. 9}$$

där α är tillväxtfaktorn (kW/s²), t är tiden (s) och n är en exponent givet av effektutvecklingen (Ekv. 1), S är golvarean (m²), H är takhöjden (m) och k är en konstant som ges av

$$k = \frac{0.21}{\rho_g} \left(\frac{\rho_a^2 g}{c_p T_a} \right)^{1/3} \quad \text{Ekv. 10}$$

Där ρ_g är brandgasernas densitet (kg/m³), c_p är den specifika värmekapaciteten (kJ/kgK), T_a är omgivande luftens temperatur (K), ρ_a är omgivande luftens densitet (kg/m³) och g är tyngdkraften (kg/ms²). Inledningsvis antas ett ρ_g och sätts in i Ekv. 10. Därefter beräknas ett k som sätts in i Ekv. 9 och ett z beräknas för en tid t . Det antagna ρ_g kontrolleras mot

$$\rho_g = \rho_a \left(1 - \frac{\alpha \cdot t^{n+1}}{(n+1)(H-z)Sc_p 353} \right) \quad [\text{kg/m}^3] \quad \text{Ekv. 11}$$

²⁹ Boverket (2006)

³⁰ Drysdale, D (2000)

F.4 Sikt

Om det antas att brandgaserna fördelar sig jämnt över hela volymen kan siktförhållandena fås av sambandet

$$Sikt = \frac{\ln 10}{D_L} \quad [m] \quad \text{Ekv.12}$$

Där D_L är den optiska densiteten per meter (m^{-1}) och beskriver dämpningen av ljusintensitet/m. D_L kan bestämmas med hjälp av rökpotentialen, D_0 .

$$D_0 = D_L \times \frac{V}{m} \quad [m^2/g] \quad \text{Ekv.13}$$

Där V är volymen där brandgaserna samlas (m^3) och m är massan förbränt bränsle (g). Experimentella data ger värden på rökpotential för olika bränslen³¹ Flambrand och väl ventilerade förhållanden antas³².

³¹ Drysdale, D. (1999)

³² Nilsson, D. & Holmstedt, G. (2007)

Bilaga G Simuleringsprogram

Nedan presenteras de datorprogram som har använts vid simuleringar av olika sorter. Programmen förklaras för att läsaren ska kunna sätta sig in i de resultat som dessa program redovisar. Resultaten är inte alltid trovärdiga och dessa måste tolkas kritiskt.

G.1 CFAST

Programmets funktion

CFAST använder sig av en tvåzonsmodell som grundar sig på McCaffreys plymmodell. Simuleringen i CFAST har som mål att ge en bild av om kritiska förhållanden kan komma att uppstå i den aktuella lokalen och i så fall vid vilken tidpunkt från antändning. Indata till programmet ges i form av:

- Lokalens geometri
- Byggnadsmaterial
- Öppningars storlek och placering
- Brandens egenskaper och placering

Utdata ur programmet erhålls i form av beräknade värden på en mängd variabler som till exempel:

- Temperatur
- Brandgaslagrets höjd
- Strålningsintensitet
- Siktförhållanden

Vid Simulering i CFAST kan ett antal parametrar varieras. Av de olika kombinationerna väljs sedan den ut som bäst anses kunna representera ett rimligt brandförlopp.

Då de ur utrymningssynpunkt sämsta kombinationen väljs kan denna sägas representera ett worst-case. Målet med simuleringen är att beräkna tiden till kritiska förhållanden samt att illustrera förloppet i figur.

Begränsningar i CFAST

En tvåzonsmodell bygger på en förenklad modell av brandrummet. Modellen delar in rummet i två zoner, en med brandgaser och en utan. I brandgaslagret antas en homogen temperatur, det innebär att temperaturen är densamma vid branden som vid andra änden av rummet.

Att CFAST baserar sina beräkningar på att temperaturen i brandgaslagret är homogen, kommer att få som konsekvens att kritiska förhållanden inträffar vid samma tidpunkt i hela lokalen, vilket med stor sannolikhet inte sker i verkligheten. I de fall då lokalen är relativt stor i förhållande till branden kommer troligtvis ingen tydlig skiktning ske initialt i den ände av lokalen som är längst bort från branden.

Modellen förutsätter att det finns ett brandgaslager, det vill säga att det uppstår ett brandgaslager momentant. Ett brandgaslager uppstår först när det finns en så pass stor densitetsskillnad mellan brandgaserna och den omgivande luften att brandgaserna stiger.

Om man är medveten om programmets förenklingar och användningsområde ger CFAST en bra överblick av ett brandscenario.

I CFAST har aktivering av detektor antagits ske när temperaturskillnaden gentemot omgivningen stigit ca 13 grader.

G.2 Simulex

Programmets funktion

Programmet matas med indata i form av ritningar över lokalen, antal personer i byggnaden samt egenskaper för dessa. Programmet levererar utdata i form av tid för utrymning samt simulering av personflöde. Denna kan sedan användas för att åskådliggöra problem med flaskhalsar och liknande.

Begränsningar i Simulex

Simulex lämpar sig bäst för simulering av stora personflöden och noggrannheten kan därför ifrågasättas för mindre personantal. Personernas egenskaper utgör dessutom en osäkerhet, speciellt när det gäller personer med handikapp. Det är således svårt att uppskatta vilken indata som skall matas in i programmet.

G.3 DETACT

Vid beräkningar av tid till detektion har DETACT använts för att jämföras med CFASTs beräkningar. Att använda DETACT som är ett program framtaget just i detta syfte bör anses trovärdigt då det använts i en enkel geometri och således kan antas ligga inom det område det är definierat för. Att använda CFAST för att beräkna tid till detektion i rum som gränsar till brandrummet anses inte lika trovärdigt men när CFAST jämförts med DETACT i brandrummet fanns relativt väl överensstämmelse.

DETACT är ett program vars funktion är att beräkna tid till detektoraktivering. Programmet bygger på antaganden om att detektorn befinner sig i en relativt stor lokal, att den enda termiska påverkan som detektorn utsätts för är konvektivt via brandgasernas flöde under taket. En rökdetektor kan antas aktivera vid en temperaturökning på 13° C³³.

Indata till programmet ges i form av:

- Omgivningens temperatur
- RTI för detektortypen*
- Detektorns aktiveringstemperatur
- Detektorns transienta temperaturförändring för detektion

³³ Nilsson, D. & Holmstedt, G. (2007)

- Lokalens höjd
- Avstånd mellan detektorer
- Värde på tillväxtfaktorn α för brandens effektutveckling

* RTI kan sägas vara ett mått på känslighet för värmedetektorer

Utdata ur programmet ges i form av:

- Tid till aktivering
- Brandens effekt vid aktiveringstillfället

DETECT har använts för att jämföra och bekräfta den tid till detektion som beräknas i CFAST. DETACT är framtaget för att användas i brandrummet och gäller därför inte i angränsande rum såsom korridorer i detta fall.

Indata till DETACT för en föreslagen detektor i klassrum 235

- $RTI = 0,5$.³⁴
- Rummets höjd = 3,7 m
- $\Delta T = 4$ c/m
- $T_{\text{aktivering}} = 33$ °C
- Detektortäthet = 3 m

I DETACT har aktivering av detektor antagits ske när temperaturskillnaden gentemot omgivningen stigit ca 13 grader.

³⁴ Detektions kompendie

