



LUNDS
UNIVERSITET

Brandteknisk Riskvärdering av Vadstena Slott



Martin Fredriksson
Lotta Gustavsson
Daniel Malm
Henrik Mistander

Brandteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lund

Rapport 9330
Lund 2007

Brandteknisk riskvärdering av
Vadstena Slott

Martin Fredriksson, Lotta Gustavsson, Daniel Malm, Henrik Mistander

Lund 2007

Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering

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

Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety

Faculty of Engineering
Box 118
S-221 00 Lund, SWEDEN
Telephone: +46 46 222 73 00
Website: www.brand.lth.se
E-mail: brand@brand.lth.se

Rapport

9330

Titel

Brandteknisk Riskvärdering av Vadstena Slott

Title

Fire Safety Evaluation of Vadstena Castle

Av/By

Martin Fredriksson
Lotta Gustavsson
Daniel Malm
Henrik Mistander

Brandingenjörsprogrammet, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2007
Fire Safety Engineering Program, Lund Institute of Technology, 2007

© Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2007

Abstract

This report is a part of the educational programme of Fire Protection Engineering at Lund University. The purpose of the report is to evaluate the fire safety of Vadstena Castle from an egress perspective. Thus the structural stability or property damage is not taken into consideration. Vadstena Castle is a tourist attraction that can host a large amount of people during special events. The approach is to evaluate the personal safety in case of a fire by comparing the time for egress to the time for critical conditions caused by a fire. In order to estimate the hazard of a fire, simulations are done in CFAST by using design fires. The egress is simulated in Simulex based on existing conditions and restrictions of the building. Conclusions made from the evaluation show that a safe egress can not be accomplished at all times and the fire safety of the building is not satisfactory. A number of measures are proposed that when implemented will improve the personal safety at Vadstena Castle.

Nyckelord

Brandteknisk riskvärdering, brandscenarier, utrymning, kritiska förhållanden, Vadstena Slott, CFAST, Simulex.

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

Sammanfattning

Denna rapport är en del av kursen Brandteknisk riskvärdering (VBR054) som ges på brandingenjörsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola. Rapportens syfte är att utreda personsäkerheten på Vadstena slott i händelse av brand. Vadstena Slott är en kulturbyggnad från 1500-talet och har därför restriktioner för ombyggnation. Rapporten avgränsas till att omfatta ungefär halva slottet. Denna del är en välbesökt turistattraktion med samlingslokaler på flera plan där det vid speciella arrangemang vistas hundratals personer.

I ett inledande skede av arbetet görs ett platsbesök där nuvarande brandskydd undersöks, verksamheter vid olika arrangemang kartläggs och utrymningsvägar identifieras. En genomgång görs av fastighetens befintliga brandskydd.

Personsäkerheten vid utrymning i händelse av en brand utreds. Detta sker genom att tre värsta troliga brandscenarier identifieras och analyseras. Scenarierna går ut på att en brand uppstår:

- under en operaföreställning i den gamla slottsbyggnaden
- under julmarknaden Gammeljul i den gamla slottsbyggnaden
- under julmarknaden Gammeljul i en samlingslokal i Västra Vallen.

I analyserna ingår bland annat brandsimuleringar i programmet CFAST. Resultaten som genereras av programmet innefattar brandgaslagrets höjd, temperaturer, siktförhållanden med mera. Dessa resultat används för att uppskatta tiden det tar tills kritiska förhållanden infaller. Kritiska förhållanden kan ses som gränsvärden för temperatur, strålning, siktbarhet och toxicitet som inte får överskridas medan utrymning sker ur byggnaden.

Utrymningsförloppet kan delas upp i tre delar – varseblivning, beslut och reaktion samt förflyttning. Utrymningen simuleras i programmet SIMULEX, vilket ger en approximativ tid för förflyttningdelen. Varseblivningstiden samt beslut- och reaktionstiden fastställs genom ingenjörsmässiga bedömningar och beräkningar, bland annat med programmet DetactT2. En jämförelse genomförs mellan tiden för kritiska förhållanden och tiden för utrymning för att se om utrymningen hinner slutföras innan kritiska förhållanden uppstår.

För att undersöka osäkerheter i simuleringarna görs känslighetsanalyser för att identifiera parametrar som påverkar branden och utrymning i stor utsträckning. Resultaten från simuleringar i datorprogrammen kontrolleras med hjälp av handberäkningsmetoder. En diskussion om osäkerheter i antaganden och metoder förs.

Analyser av scenarierna visar att personsäkerheten för Vadstena Slott inte är tillfredställande. Ett antal lösningar tas fram och analyseras för att hitta lämpliga åtgärdsförslag.

Nedan listas de viktigaste åtgärdsförslagen för att personsäkerheten vid utrymning skall bli tillfredställande:

- Under teater- eller operaföreställningar i Bröllopssalen **skall** det totala personantalet, inklusive produktionen, uppgå till maximalt 230 personer. Bredden på alla gångar i Bröllopssalen, även de i gradängerna, **skall** vara minst 1,40 meter. Om utgång 4 används som utrymningsväg så **skall** extra hänsyn tas till att passagen hålls fri.

- Nordvästra utgången från Borgstugan på plan 2 **skall** öppnas och fungera som utrymningsväg. Detta gäller när slottsdelens är öppen för besökare och under alla arrangemang i slottsbyggnaden. Vidare **skall** dörren i utgången byggas om så att den öppnas utåt från Borgstugan. Draperiet i utrymningsvägen i angränsande rum V208 **skall** avlägsnas för att hålla utrymningsvägen fri.
- Mängden brännbart material i den norra delen av Västra vallens samlingslokal **skall** begränsas i samråd med räddningstjänst.
- I Brölloppsalen, Herreköket respektive Borgstugan **skall** max 150 personer vistas. Undantag gäller i Brölloppsalen under föreställning anordnad av Vadstena Akademien.
- Samtliga utrymningsskyltar i fastigheten **skall** vara belysta eller genomlysta. De skyltar som inte uppfyller dessa krav **skall** bytas ut.
- Rum V203 på plan 2 är en viktig del av en utrymningsväg och föremål **skall** placeras så att gångbredden i rummet hålls så stor som möjlig för att underlätta utrymning.

Förord

Vi vill rikta ett stort tack till följande personer som har varit till hjälp under arbetets gång.

Johan Erlandsson Kontaktperson, Brandingenjör Räddningstjänsten Motala

Håkan Frantzich Universitetslektor vid Brandteknik LTH

Daniel Gojkovic Universitetsadjunkt vid Brandteknik LTH

Robert Jönsson Handledare

Daniel Nilsson Doktorand vid Brandteknik LTH

Bo Pettersson Förvaltare Statens Fastighetsverk

Per Rydberg Slottsarkitekt Vadstena Slott

Personalen på Vadstena Turistbyrå

Innehållsförteckning

1. INLEDNING	3
1.1 SYFTE.....	3
1.2 MÅL	3
1.3 METOD.....	4
1.4 AVGRÄNSNING	5
2. OBJEKTSBESKRIVNING.....	6
2.1 BYGGNADERNA	6
2.1.1 Slottsbyggnaden.....	6
2.1.2 Vallarna.....	6
2.1.3 Tornhusen.....	7
2.2 VERKSAMHETSBEKRIVNING	7
2.2.1 Slottsbyggnaden.....	7
2.2.2 Vallarna.....	7
2.2.3 Tornhusen.....	8
2.2.4 Borggården.....	8
3. BEFINTLIGT BRANDSKYDD.....	11
3.1 BRANDTEKNISK KLASS.....	11
3.2 DETEKTIONSSYSTEM.....	11
3.3 UTRYMNINGSLARM.....	11
3.4 VENTILATIONSSYSTEM.....	11
3.5 SLÄCKUTRUSTNING.....	11
3.6 BRANDCELLSINDELNING	11
3.7 YTSKIKT.....	12
3.8 UTRYMNINGSVÄGAR	12
3.9 RÄDDNINGSTJÄNST	12
3.10 SYSTEMATISKT BRANDSKYDDSRARBETE (SBA).....	13
3.11 FÖRENKLAD DIMENSIONERING	13
3.12 OBSERVATIONER VID BESÖK	14
4. TEORI.....	15
4.1 UTRYMNING.....	15
4.1.1 Förenklad dimensionering.....	15
4.1.2 Analytisk dimensionering.....	15
4.1.3 Kritiska förhållanden.....	15
4.1.4 Utrymningsförlopp.....	16
4.2 TVÅ-ZONSMODELLERING	17
4.3 CFAST.....	17
4.4 SIMULEX	18
4.5 DETACT-T2.....	18
5. SCENARIER.....	20
5.1 VAL AV BRANDSCENARIER	20
5.1.1 Krutförvaring.....	20
5.1.2 Föreställning i Brölloppsalen	20
5.1.3 Snickeri.....	21
5.1.4 Backstage-rum.....	21
5.1.5 Julmarknad i Västra Vallen.....	21
5.1.6 Julmarknad i Herreköket.....	22
5.1.7 Sittning i Herreköket.....	22
5.1.8 Vinden.....	22
5.1.9 Källarutrymmen.....	22
5.1.10 Kanontornet och Kanongången.....	22
5.1.11 Kapell	22
5.1.12 Turistbyrå	23
5.2 SCENARIO 1 - FÖRESTÄLLNING I BRÖLLOPPSALEN.....	24

5.2.1 Val av effektkurva.....	25
5.2.2 Simulering i CFAST.....	25
5.2.3 Utrymning.....	26
5.2.4 Simulering i Simulex.....	27
5.2.5 Känslighetsanalys.....	27
5.2.6 Resultat & Analys.....	29
5.3 SCENARIO 2 - JULMARKNAD I HERREKÖKET	30
5.3.1 Val av effektkurva.....	31
5.3.2 Simulering i CFAST.....	32
5.3.3 Utrymning.....	33
5.3.4 Simulering i Simulex.....	33
5.3.5 Känslighetsanalys.....	34
5.3.6 Resultat & Analys.....	36
5.4 SCENARIO 3 – JULMARKNAD I VÄSTRA VALLEN	37
5.4.1 Val av effektkurva.....	38
5.4.2 Simulering i CFAST.....	39
5.4.3 Utrymning.....	40
5.4.4 Simulering i Simulex.....	41
5.4.5 Känslighetsanalys.....	42
5.4.6 Resultat & Analys.....	43
6. DISKUSSION.....	44
6.1 BRISTER I ANTAGANDEN OCH BEDÖMNINGAR	44
6.2 SCENARIER.....	44
6.2.1 Scenario 1 – Föreställning i Bröllopsalen	44
6.2.2 Scenario 2 – Julmarknad i Herreköket.....	45
6.2.3 Scenario 3 – Julmarknad i Västra Vallen.....	45
6.3 HANDBERÄKNINGAR	45
7. FÖRSLAG TILL ÅTGÄRDER.....	46
7.1 VALIDERING AV ÅTGÄRDER	47
7.1.1 Personantal och gångbredder i Bröllopsalen	47
7.1.2 Nordvästra utrymningsvägen i Borgstugan.....	48
7.1.3 Mängden brännbart material i Västra Vallen	49
8. SLUTSATSER.....	50
9. REFERENSLISTA	51
BILAGA A - EFFEKTUTVECKLINGAR.....	53
BILAGA B - GRAFER.....	60
BILAGA C – SCENBESKRIVNING	68
BILAGA D – STARTUPPSTÄLLNINGAR SIMULEX	69
BILAGA E – INSTRUKTIONER TILL UTSTÄLLARE	71
BILAGA F – SCENUPPSÄTTNING 1997	72
BILAGA G – HANDBERÄKNINGAR.....	73
BILAGA H – RUMSDIMENSIONER	76

1. Inledning

Denna rapport om brandtekniska risker vid Vadstena Slott skrivs hösten 2007 av studenter på Lunds Tekniska Högskola. Den är en del av kursen Brandteknisk Riskvärdering som omfattar 15 högskolepoäng. Utgångspunkten för arbetet är personers säkerhet vid händelse av brand i slottet. En utrymning ska kunna ske tryggt innan kritiska förhållanden infinner sig.

Vadstena Slott består av en huvudbyggnad på fyra plan som tillsammans med tre vallar omsluter en stor borggård. Slottet har ett stort kulturhistoriskt värde vilket medför att möjligheterna till ombyggnationer av huvudbyggnaden är kraftigt begränsade.

1.1 Syfte

Studenterna som skriver rapporten ska knyta ihop kunskaper som erhållits under studietiden och utifrån dessa utvärdera personsäkerheten i en byggnad vid händelse av brand. Materialet sammanställs i en rapport som bland annat ger förslag till förbättringar av byggnadens brandskydd.

Studenterna ska också öka sin ingenjörsmässiga förmåga att bygga och analysera modeller.

1.2 Mål

För att uppnå syftet med rapporten måste studenterna också uppnå vissa mål.

- De ska kunna beskriva och tolka föreskrifter i byggnormen med avseende på anordningar för utrymning vid brand.
- De ska kunna beskriva och förklara exempel på lösningar, metoder och allmänna råd i byggnormen.
- De ska kunna förklara datorprogrammet Simulex som används för utrymningssimulering.
- De ska kunna förklara människors beteende och reaktioner under en utrymning.
- De ska ”kritiskt kunna utnyttja” och utveckla metoder och tekniker avseende byggnadstekniskt brandskydd.
- De ska kunna bedöma verkan på människor av värme, rök och giftiga gaser utifrån brandscenarier.
- De ska kunna tillämpa en metod som beskriver utrymningshastigheten i byggnaden.
- De ska kunna tillämpa beräkningsmetoder för brandgasspridning via ventilationssystem, och trycksättning av byggnader, specifikt trapphus.
- De ska kunna söka och använda information rörande brandteknik i vetenskapliga artiklar och handböcker.

1.3 Metod

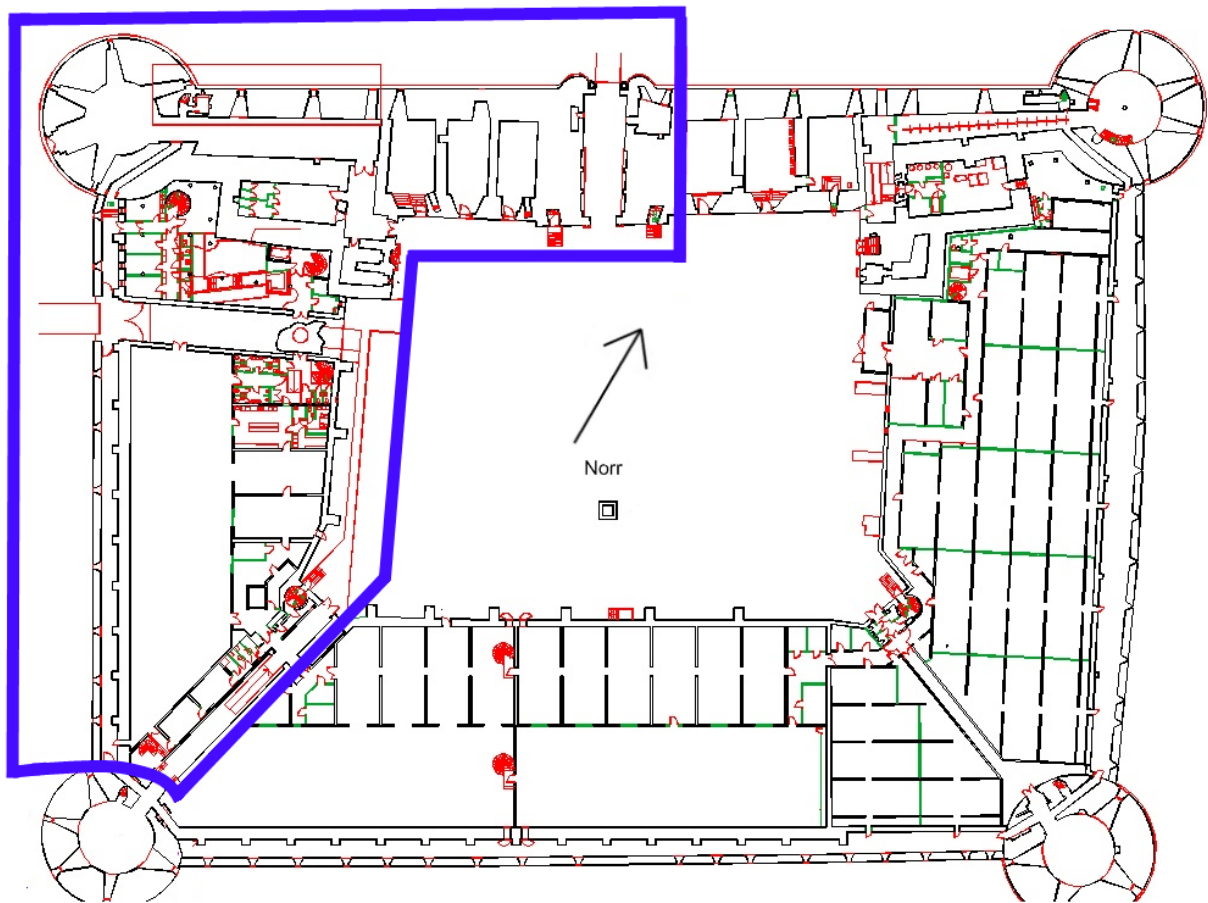
I ett inledande skede av arbetet görs ett platsbesök där nuvarande brandskydd undersöks, verksamheter vid olika arrangemang kartläggs och utrymningsvägar identifieras. Informationen används sedan för att finna troliga brandscenarier. För att undersöka byggnadens brandskydd används främst analytisk dimensionering. Detta ger stora möjligheter till alternativa och anpassade lösningar för att trygga utrymningssäkerheten. De värsta troliga scenarier som kan inträffa i byggnaden identifieras och analyseras. Därmed beaktas i praktiken även mindre omfattande händelser.

Effektutvecklingen är betydelsefull för ett brandscenario. Av den anledningen konstrueras effektkurvor som används för simuleringar i programmet CFAST. Där beräknas bland annat temperatur och spridning av brandgaser i de utrymmen som berörs av branden. Då brandgasspridningen är känd kan tiden det tar tills kritiska förhållanden infinner sig tas fram. Utrymningsprogrammet Simulex används för att beräkna utrymningstider. Då simuleringssprogrammen inte är exakta verktyg är tiderna ungefärliga och ses endast som riktlinjer. Resultaten från datorprogrammen, handberäkningar och känslighetsanalyser ligger till grund för ingenjörsmässiga bedömningar. Om tiden det tar att utrymma överstiger tiden till kritiska förhållanden ges förslag på åtgärder för att förbättra personsäkerheten.

1.4 Avgränsning

Den brandtekniska utvärderingen avgränsas till den nordvästra delen av fastigheten, med undantag av borggården, se Figur 1. Delen som utvärderas inrymmer samlingslokaler som ej är belägna på markplan och där utrymningsmöjligheterna är begränsade. I de delar som prioriteras bort i avgränsningen bedrivs verksamheter som är mindre intressanta att undersöka ur ett brandtekniskt perspektiv. Avgränsningen är anpassad efter de befintliga brandcellsgränser som beskrivs i avsnitt 3.6.

Egendomsskydd och byggnadens bärförmåga i ett senare brandskede beaktas inte.



Figur 1 Avgränsning: Rapporten begränsas till att behandla den nordvästra delen av slottet. Avgränsningen visas av de grova linjerna.

2. Objektsbeskrivning

Nedan följer en beskrivning av Vadstena Slott med dess historia, konstruktion och verksamheter.

2.1 Byggnaderna

Vadstena Slott är beläget vid Vätterns strand i Vadstena Kommun. Slottsbyggnaden är rektangulär med en borggård som på tre sidor är omgiven av jordvallar. Vattenfyllda vallgravar omsluter hela den fyrkantiga fastigheten. Vadstena Slott ägs av Statens Fastighetsverk.

2.1.1 Slottsbyggnaden

Bygget av slottet påbörjades år 1545 på initiativ av Gustav Vasa. Det skulle bli en mäktig försvarsanläggning omgiven av vallgravar, men ändrades senare till att bli residens för Gustav Vasas son Magnus. Slottsbyggnaden närmade sig sin slutliga form under slutet av 1500-talet, då Magnus bror Johan III lät bygga en rikssal och ett slottskapell på plan 4. Slottsbygget brukar anses vara slutfört år 1620, i och med uppförandet av dess andra praktgavel (P. Rydberg, personlig kommunikation, 17 september 2007). I alla fyra hörnen av fastigheten finns massiva kanontorn. Den västra, södra och östra sidan skyddas av jordvallar medan slottsbyggnaden är belägen längs den norra sidan. Byggnadens centrala del kallas Porthuset och utgörs av valvgången och alla våningsplanen ovanför.



Figur 2: Vadstena slott med de fyra kanontornen och de nybyggda vallarna.

Slottsbyggnaden är uppförd i en bärande konstruktion av murverk med horisontella bjälklag av trä. Murarna av gråsten och kalksten är upp till 4,5 m tjocka i markplan men blir tunnare högre upp i konstruktionen. Mellanbjälklagen består av grova träbjälkar, kalkbruksstabiliserad sand och grova plank (P. Rydberg, personlig kommunikation, 17 september 2007).

2.1.2 Vallarna

Vallarna som omgav borggården revs i mitten av 1800-talet, då jordmassorna användes som utfyllnad i byggandet av stadens hamnpir. En lång diskussion om slottets utformning följde fram till 1994 då Sveriges Riksdag fattade beslut om att återuppbygga slottsvallarna och borggården. De utformades så som de framgick av uppmätningar utförda på 1700-talet.



Figur 3: Slottsbyggnadens östra praktgavel.

De 30 meter breda och 3 meter höga jordvallarna är uppförda med platsgjuten betong i en valvkonstruktion. Våningsbjälklagen består av betong där vallen utgörs av två våningar, samt av stål i Västra Vallen som utgörs av en våning.

2.1.3 Tornhusen

I samband med återuppförandet av vallarna byggdes även två tornhus på södra delen av borggården. De uppfördes i tegel med bjälklag av trä.

2.2 Verksamhetsbeskrivning

Slottet var kungligt residens fram till Hedvig Eleonoras död 1715, varefter det använts som bland annat magasin och linnevävnadsfabrik. Idag inhyser slottet Landsarkiv, Vadstena Turistbyrå, Vadstena Akademien, museum samt utställningslokaler. Figur 4-6 visar slottets rum med trapphus i olika plan.

2.2.1 Slottsbyggnaden

Nedan beskrivs verksamheterna i slottsbyggnaden.

Julmarknaden Gammeljul

Varje år i slutet av november anordnas en tio dagar lång julmarknad på slottet. Utställare har montrar och bord med försäljning i följande salar: Borgstugan, Herreköket, Slottsboden, V203, Godegårdsrummet, Brölloppsalen, V301 och Drabantsalen. 2006 hade julmarknaden mellan 700 och 2000 besökare per dag, knappt 13 000 totalt under de tio dagarna. Arrangemanget har även verksamheter på borggården och i Västra Vallen.

Opera

Vadstena Akademien ger varje sommar ungefär 15 stycken operaföreställningar i Brölloppsalen på plan 3 i slottet. Rum V305, V306 och V307 fungerar som backstageutrymme. Rum V308 är ett snickeri.

Bröllop/Festlokal

Herreköket och Borgstugan på plan 2 fungerar som festlokaler och hyrs av privatpersoner för bröllopsmottagningar och andra fester. Detta sker ungefär 20 gånger per år. I slottskapellet på slottsbyggnadens plan 4 hålls ibland vigslar.

Museum

Delar av plan 4 är historiskt möblerad genom ett samarbete mellan Stiftelsen Vadstena Slotts Möblering och Statens konstmuseer. Här ger turistbyrån guidade visningar, men turister har även tillgång till plan 2 och det nordvästra kanontornet.

Landsarkivet kontor

Vadstena Landsarkiv har expedition, tjänsterum, forskarsalar, vaktmästeri med mera på plan 1,2 och 3 i slottsbyggnadens östra del.

2.2.2 Vallarna

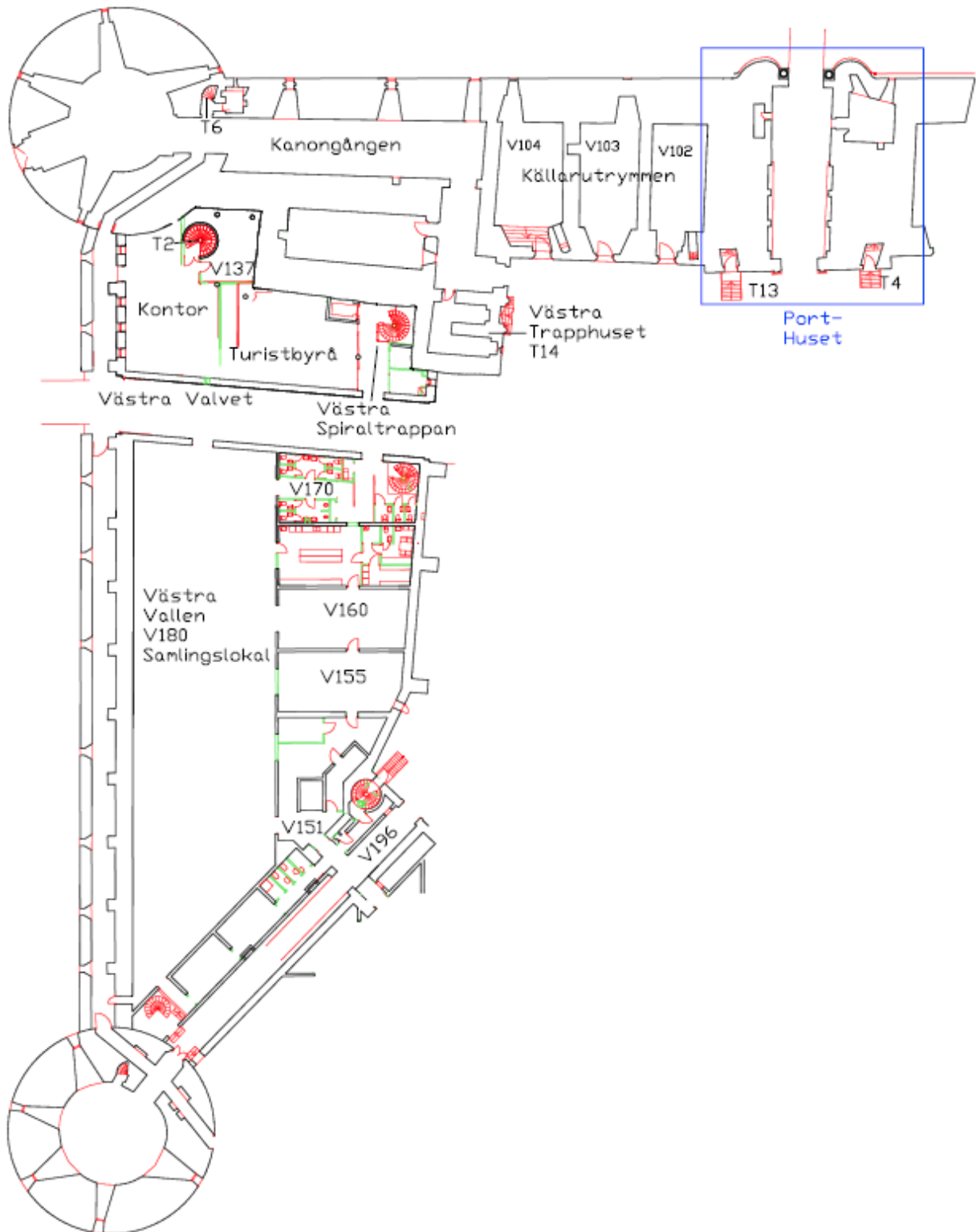
Den östra och södra vallen används av Vadstena Landsarkiv som arkiv/lager och endast landsarkivets personal vistas normalt i dessa utrymmen. I den västra vallen finns en samlingslokal dimensionerad för 820 personer. Den används bland annat som utställningslokal vid mässor och under julmarknaden. Under Gammeljul fungerar en del av samlingslokalen som café.

2.2.3 Tornhusen

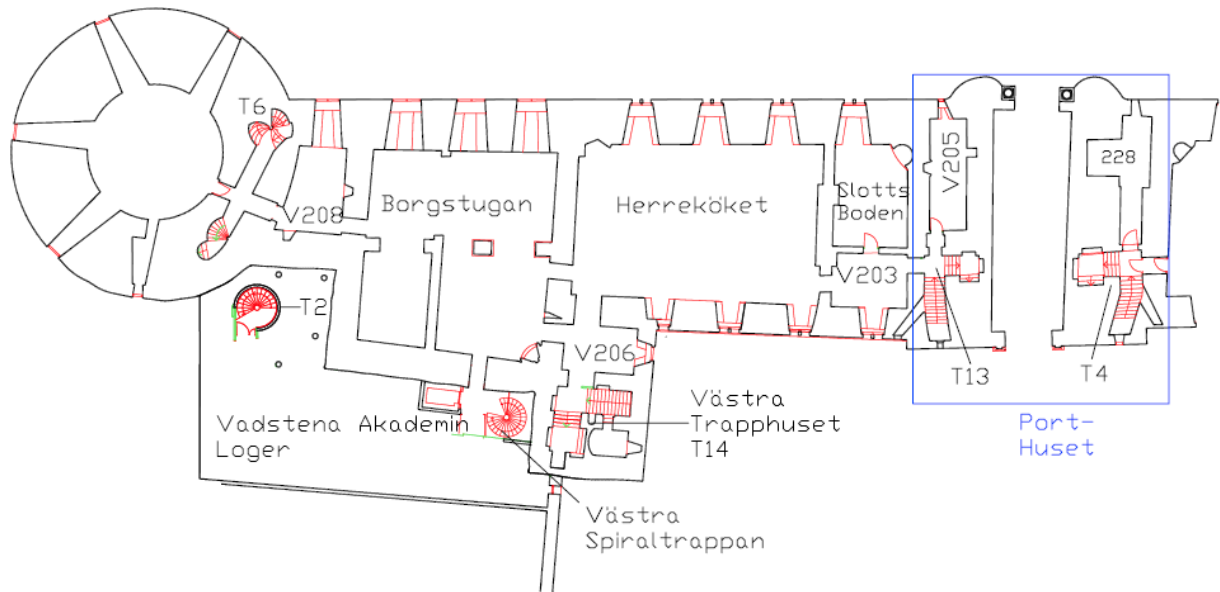
Tornen inhyser kontorslokaler och ett konferensrum som rymmer fler än tio personer.

2.2.4 Borggården

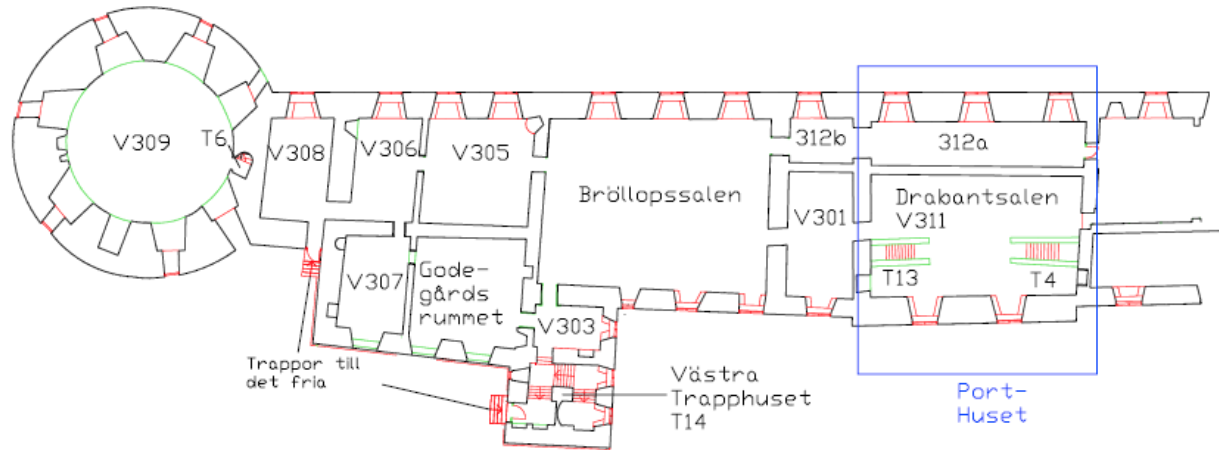
Borggården används sommartid till cirka 8-10 större musikarrangemang med en provisorisk scen på borggårdens västra del. Arrangemangen tar in upp till 5000 personer i publiken. Under Gammeljul finns utställare även ute på borggården. (T. Schultzberg, personlig kommunikation, 1 oktober 2007)



Figur 4 Plan 1: Avgränsad del av Vadstena slott Plan 1 (markplan). Rumsnummer och benämningar på trapphus anges. Notera slottsbyggnadens tjocka väggar.



Figur 5 Plan 2: Avgränsad del av Vadstena slott Plan 2. Rumsnummer och benämningar på trapphus anges.



Figur 6 Plan 3: Avgränsad del av Vadstena slott Plan 3. Rumsnummer och benämningar på trapphus anges.

3. Befintligt Brandskydd

Nedan följer en beskrivning av fastighetens befintliga brandskydd. Brandingenjör Per-Olov Nilsson (2007) på Brand & Säkerhet AB har upprättat en Brandskyddsbeskrivning som delvis återges nedan i avsnitt 3.1-3.7.

3.1 Brandteknisk klass

Slottets brandtekniska klass är Br1 enligt *Boverkets Byggregler*, 5:21 (Boverket, 2006a): ”Byggnader med tre eller flera våningsplan bör utföras i klass Br1.” Slottets vertikala bärverk av sten uppfyller kraven på brandteknisk klass Br1. Klassen på det stomstabiliserande bjälklaget av trä är svårare att fastställa, men bedöms av Nilsson (2007) motstå brand i 45-60 minuter.

Västra Vallen behöver endast vara utförd i lägst klass Br2, men bedöms av Nilsson (2007) motsvara klass Br1 .

3.2 Detektionssystem

Samtliga lokaler i fastigheten övervakas av ett automatiskt brandlarmsystem utformat enligt SBF:s regler för automatisk brandlarmanläggning SBF 110:6.

3.3 Utrymningslarm

Utrymningslarm finns i samtliga delar av fastigheten. Larmet är utformat enligt SBF:s rekommendation *Utrymningslarm* (2003). Aktivering av ljudsignalen sker via brandlarmets rökdetektorer och larmtryckknappar. Den genomsnittliga ljudnivån är 65 – 115 dB(A). Centralutrustningen övervakar elektriskt all för larmet vital utrustning. Anläggningen är utformad så att den vid strömavbrott upprätthåller sin funktion i minst 60 minuter.

3.4 Ventilationssystem

Ventilationen i Slottsbyggnaden utgörs av självdrag. Västra Vallens provisoriska ventilationssystem består av mekanisk till- och frånluft med återvinning från arkivrum. Skydd mot brandspridning mellan brandceller säkerställs genom att ventilationskanaler är isolerade då de bryter brandcellsgräns. Skydd mot brandgasspridning säkerställs genom att separata aggregat används för olika brandceller.

Brandgasventilation finns i Västra Vallen i form av rökluckor som öppnas manuellt av räddningstjänsten.

3.5 Släckutrustning

Handbrandsläckare uppfyller gällande krav på utformning, placering och storlek. Under Julmarknaden *Gammeljul* finns extra handbrandsläckare utplacerade på alla våningsplan. Under operaföreställningar med Vadstena Akademien finns en brandvakt med handbrandsläckare närvarande. Brandvakten är utbildad deltidsbrandman (T. Schultzberg, personlig kommunikation, 1 oktober, 2007).

3.6 Brandcellsindelning

Följande brandcellsindelning anges av Nilsson (2007) i brandskyddsbeskrivningen över Slottet.

Slottsbyggnaden

- Västra trapphuset T14 utgör en egen brandcell.
- Västra kanontornet, kanongången och västra delen av plan 1 utgör en brandcell.
- Västra delen av plan 2 fram till Porthusets valv utgör en brandcell.
- Västra delen av plan 3 fram till vägg mot Landsarkivet utgör en brandcell.
- Västra delen av plan 4 fram till Kapelletts vägg mot Rikssalen utgör en brandcell.

Västra Vallen

- Västra Vallen utgör en egen brandcell.
- Kanongången mellan Sydvästra kanontornet och borggården är förlagd i en egen brandcell.

3.7 Ytskikt

Ytskikt på väggar och tak har de egenskaper som krävs för en Br1-byggnad. Det innebär att ytskikt i tak har lägst klass B-s1,d0 fäst på K₂10/B-s1,d0 (Tändskyddad beklädnad) eller A2-s1,d0 (Obrännbart material). Undantaget är bjälklagen mellan Slottets plan 2,3 och 4, som är utförda i trä och därmed inte uppfyller dessa krav. Taket är utfört i grova träbjälkar och plankor, med en takhöjd över 4 meter, varför takets ytskikt enligt Nilsson (2007) inte torde påverka utrymningen från dessa lokaler. Väggytor är utförda i lägst klass C-s2,d0.

3.8 Utrymningsvägar

Nedan beskrivs utrymningsvägarna i slottet. Boverkets rekommendationer för utformning av utrymningsvägar redovisas i avsnitt 3.11.

Från Kapellet och de västra delarna av plan 4 finns tillgång till två av varandra oberoende utrymningsvägar, dels genom Rikssalen som är förlagd i egen brandcell, dels via trapphus T14. Utrymningsvägar från salarna på plan 3 är trapphus T14, T13 och T4, samt trappa ut på Västra Vallen. Salarna på plan 2 har tillgång till minst två av varandra oberoende utrymningsvägar genom fyra olika trapphus (T4, T6, T14 samt Västra Spiraltrappan)

Dörrbredderna mellan salar i slottsbyggnaden varierar kring cirka 1 meter. Dörrar ut till det fria från trapphusen T14, T13 och T4 är cirka 1,5 meter breda. Dessa trappors bredd varierar mellan 1,5 och 1,8 meter.

Från samlingslokalen (V180) i Västra Vallen finns tillgång till tre av varandra oberoende utrymningsvägar, genom entrén i västra valvet, genom Entréhallen och utgång till västra valvet samt via södra kanongången till Borggården. Från Turistbyråns lokaler med ovanliggande Vadstena Akademiens lokaler finns tillgång till två alternativa utrymningsvägar via dörr till det fria eller via trappor ner till dörr till det fria.

Dörrbredderna i huvudentrén och genom entréhallen ut till västra valvet är 2 meter. Dörrbredden för utrymningsvägen genom södra kanongången är 1,8 meter.

Vägledande markeringar finns för utrymningsvägar i fastigheten.

3.9 Räddningstjänst

Räddningstjänstens insatstid understiger under normala förhållanden 10 minuter. Det automatiska brandlarmet är direktkopplat till SOS Alarm (J. Erlandsson, personlig kommunikation, 26 november, 2007).

3.10 Systematiskt Brandskyddsarbete (SBA)

Vadstena Turistbyrå driver verksamheten kring uthyrning av lokaler i Slottet, Julmarknaden Gammeljul, guidade visningar med mera. Rutiner finns för att minska risken för en brand i fastigheten. Inför Gammeljul informeras utställare om att endast ”godkända spotlights” får användas samt att levande ljus är förbjudna i den gamla slottsbyggnaden. De *Ordnings/Säkerhetsföreskrifter vid tillfälligt nyttjande av slottets lokaler/borggård* som finns säger om brandsäkerhet:

De gamla delarna av anläggningen har takkonstruktion, bjälklag golv och tak av trä, vilket innebär att en brand i byggnaden skulle få katastofala följder med mycket omfattande förödelse.

- *Ingen form av eld får förekomma, vilket inkluderar rökning.*
- *Ljusmarschaller på borggården får endast användas efter samråd med turistbyråns personal, och då endast på dom grusade ytorna.*
- *Mängden brännbart material i slottet skall i möjligaste mån begränsas.*
- *Provisoriska el-installationer skall undvikas. All form av ljud- och ljusinstallationer skall diskuteras med turistbyråns personal innan arrangemanget. (Vadstena Turistbyrå, 2007)*

Räddningstjänsten i Motala gör inspektioner kvällen innan julmarknaden öppnar, samt någon gång under de följande dagarna. Utrymningsvägarnas framkomlighet, utplacering av handbrandsläckare, montering av strålkastare/halogenlampor med mera kontrolleras.

3.11 Förenklad dimensionering

En granskning av brandskyddet och utrymnings säkerheten av Vadstena Slott med förenklad dimensionering visar att många krav och rekommendationer från Boverkets Byggregler inte kan uppfyllas. Följande punkter har betydelse för utrymningen och byggnadens brandskydd (Brandskyddshandboken, 2005).

- Det maximala gångavståndet till närmaste utrymningsväg bör ej överstiga 30 meter för exempelvis en samlingslokal där persontätheten inte är liten. Till följd av brandcellernas storlek kommer detta krav inte kunna efterlevas i hela byggnaden.
- Utrymningsvägar för brandceller med 150 personer eller fler bör ha ett passagemått på minst 1,2 meter. Detta uppfylls inte i slottet.
- Vadstena Slott bör vara utfört i brandteknisk klass Br1 då det har fler än tre våningsplan och inrymmer samlingslokaler på både plan två och plan tre. Ytskikten i slottet uppfyller inte kraven för en Br1-byggnad.
- I byggnaden finns ett antal efterlysande utrymnings skyltar uppsatta (Figur 8). Enligt Boverket (2006a) skall utrymnings skyltar vara belysta eller genomlysta.
- Boverkets rekommendationer för scen, sittplatser och två av varandra oberoende utgångar uppfylls.

Utifrån punkterna ovan bedöms analytisk dimensionering vara en lämplig metod för att kontrollera utrymnings säkerheten.

3.12 Observationer vid besök

Vid ett besök på Vadstena Slott den 17 september 2007 gjordes följande observationer angående utrymnings säkerheten. De anses vara ämne för vidare diskussion.

- I rum V405 på plan 4 i slottet är en dörr i en utrymningsväg låst. Nyckeln är placerad bredvid dörren i en låst box som öppnas automatiskt när brandlarmssystemet detekterar en brand.
- Några av de självstängande dörrarna i slottet var uppställda med kullerstenar vilket underlättar brandgasspridningen vid en eventuell brand.
- Spiraltrappan från Vadstena Akademiens loger till turistbyrån utgör en utrymningsväg och var delvis blockerad vid besöket. Utrymmet användes som garderob och förvaring och en utrymning hade försvårats vid en eventuell brand.
- Utrymningsvägen från V208 ner och genom kanongången hade dålig belysning, ojämnt underlag, lågt i tak (Figur 7) och ett skynke som rumsavskiljare från rum V208 (Figur 8). Dessa faktorer anses försämra utrymnings säkerheten och utrymningsvägens lämplighet kan ifrågasättas.
- Den befintliga brandcellsuppdelningen ifrågasätts då det på vissa ställen saknas brandcellsavskiljande delar i gränsen mellan två angivna brandceller.



Figur 7 Utrymningsväg kanongång: I den nordvästra kanongången sker utrymning genom utrymmen med låg takhöjd, ojämnt underlag och dålig belysning.

Utifrån ovanstående punkter ifrågasätter författarna av rapporten delar av den brandskyddsbeskrivning som Per-Olof Nilsson har gjort. Författarnas reflektioner är att brandcellsindelningen är bristfällig.



Figur 8 Skynke i utrymningsväg: I rum V208 fungerar ett skynke som rumsavskiljare i en utrymningsväg. Dessutom är utrymningskylten efterlysande.

4. Teori

Nedan följer genomgångar av relevanta teorier, modeller och praxis.

4.1 Utrymning

Ändamålet med utrymning är att personer ska kunna lämna en byggnad på ett säkert sätt utan att komma till skada. Bland de faktorer som spelar in vid utrymningsdimensionering återfinns förutom branden, byggnadens utformning och brandskydd även människans beteende.

Grundkravet vid utrymning från Boverkets Byggregler (Boverket, 2006a) är att byggnaden skall utformas så att tillfredsställande utrymning kan ske vid brand. Detta krav ger utrymme för egen tolkning och möjlighet att anpassa brandskyddet efter verksamhet.

Dimensionering av utrymning kan ske efter två olika metoder: förenklad dimensionering eller analytisk dimensionering. Med förenklad dimensionering följs rekommendationer, tabellvärden och schablonvärden från BBR. Analytisk dimensionering används om delar av kraven från BBR uppfylls på annat sätt än de angivna, eller om en helt alternativ utformning tillämpas. (Boverket, 2006a)

4.1.1 Förenklad dimensionering

Genom att följa de råd och föreskrifter som finns i Boverkets Byggregler kan brandskyddet schablonmässigt dimensioneras för en byggnad. Föreskrifterna *skall* följas, medan de Allmänna råd som finns endast ses som vägledande och *bör* följas.

4.1.2 Analytisk dimensionering

Vid tillfällen då förenklad dimensionering inte anses vara tillräcklig kan analytisk dimensionering användas. Dessutom ska analytisk dimensionering användas för byggnader där brand kan medföra mycket stor risk för personskador, exempelvis höga byggnader eller öppna samlingslokaler i flera plan. Dimensioneringen kan bestå av beräkning, provning eller objektsspecifika försök, samt en kombination av dessa. Vidare kan en kvalitativ analys med ett logiskt resonemang vara en del av en analytisk dimensionering.

Då dimensioneringen utförs med en deterministisk analys, bör de valda scenarierna utgöra värsta *troliga* fall och inte värsta *tänkbara* fall då de sistnämnda skulle medföra orimligt dyra lösningar. Scenarierna bör också utformas så att de täcker ett stort område med tänkbara utfall och de ska vara representativa för hela byggnaden.

Acceptanskriterierna vid en deterministisk ansats som utgör villkoret för dimensioneringen är att utrymningen ska kunna genomföras utan att personer utsätts för kritiska förhållanden. Analytisk dimensionering måste åtföljas av en noggrann känslighetsanalys och ska dessutom alltid styrkas genom dimensioneringskontroll (Boverket, 2006a).

4.1.3 Kritiska förhållanden

Vid värdering av kritiska förhållanden bör siktbarhet, värmestrålning, temperatur, giftiga gaser samt kombinationer av dessa beaktas. Det finns rekommendationer på gränsvärden för kritiska förhållanden enligt Tabell 1 som inte får överskridas medan utrymning sker ur byggnaden.

Siktbarhet	En brandgasnivå på lägst $1,6 + (0,1 \times H)$ meter, där H är rumshöjden, eller en siktsträcka på minst 10 meter i okänd miljö och minst 5 meter i känd miljö (bostäder och kontor). Sikten i brandrummet bör vara minst 5 meter.
Värmestrålning	En maximal strålningsintensitet på $2,5 \text{ kW/m}^2$ eller en kortvarig strålningsintensitet på max 10 kW/m^2 , samt en maximal strålningsenergi på 60 kJ/m^2 utöver energin från en strålning på 1 kW/m^2
Temperatur	Högst 80°C lufttemperatur
Giftiga gaser	Kolmonoxid - CO < 2000 ppm Koldioxid - CO ₂ < 5 % Syre - O ₂ > 15 %

Tabell 1 Kritiska gränsvärden: Rekommendationer på gränsvärden för kritiska förhållanden (Brandskyddshandboken, 2005).

Det bör noteras att utrymningen möjligen kan fortgå även om brandgaslagret har nått sin kritiska höjd, förutsatt att gränserna för toxicitet, temperatur och siktsträcka inte har uppnåtts (Brandskyddshandboken, 2005).

4.1.4 Utrymningsförlopp

Ett utrymningsförlopp kan delas upp i tre delar – varseblivning, beslut och reaktion samt förflyttning. Total tid för dessa delar ska vara mindre än tiden det tar för kritiska förhållanden att uppstå i de berörda delarna. Detta beskrivs normalt som:

$$t_{\text{kritiska förhållanden}} > t_{\text{varseblivning}} + t_{\text{beslut\&reaktion}} + t_{\text{förflyttning}}$$

Tiden för att bli varse att något är onormalt beror på om personen i fråga ser branden eller inte, och om det finns ett automatiskt brandlarm med utrymningslarm installerat. Finns ett sådant system kan varseblivningstiden approximeras med den teoretiska tiden till att detektorn aktiverar vid en simulerad brand.

Besluts- och reaktionstiden består av tiden som går åt för att personen ska förstå att det brinner, lyssna på utrymningslarm, hjälpa andra att utrymma, förbereda sig, försöka bekämpa branden med mera. Ett talande utrymningslarm och synliga utrymningsskyltar är exempel på faktorer som underlättar beslutsfattandet och således minskar besluts- och reaktionstiden.

Den sista delen, förflyttningstiden, är den tid det tar att gå till utrymningsvägen och att passera ut genom dörren från den sämsta tänkbara platsen i byggnaden. Denna tid beror bland annat på hur människorna är fördelade i lokalen, vilka personer det är frågan om, deras hjälpbehov, förmåga att förflytta sig samt utrymningsskyltar (Brandskyddshandboken, 2005).

4.2 Två-zonsmodellering

Två-zonsmodellering är en förenkling av verkligheten där ett avgränsat utrymme delas upp i två homogena zoner med en distinkt gräns. Den övre zonen består av ett varmt brandgaslager medan den undre kalla zonen är fri från brandgaser.

Modellen bygger på att kontinuitetsekvationer för bevarandet av energi och massa i de båda zonerna löses. För att beräkningar ska kunna ske behövs information om:

- Brandeffekt
- Rumsgeometri
- Omgivande tryck och temperaturförhållande
- Konstruktionsmaterial
- Eventuell ventilation

Enligt modellen sker all förbränning i den undre zonen, medan det i verkligheten sker en viss förbränning även i brandgaslagret, särskilt när branden närmar sig övertändning (Brandskyddshandboken, 2005).

I verkligheten är temperatur och brandgasfördelning i zonerna inte helt homogena, och gränsen mellan zonerna är inte lika distinkt. Två-zonsmodellen blir därmed osäker vid stora volymer och vid långa korridorer där förhållandena nära branden skiljer sig avsevärt från förhållandena långt från branden. Därför finns det vissa kriterier på rummens geometrier och effektutveckling för att två-zonsmodellen ska vara giltig, se tabell 2 (D. Gojkovic, föreläsning, 19 september 2007).

	Acceptabelt	Gränsfall	Ej acceptabelt
(L/B) _{max}	L/B < 3	3 < L/B < 5	L/B > 5
(L/H) _{max}	L/H < 3	3 < L/H < 6	L/H > 6
(B/H)	B/H > 0,4	0,2 < B/H < 0,4	B/H < 0,2
\dot{Q}	$\dot{Q} \geq 5A \cdot \sqrt{H}$	-	-

Tabell 2 Kriterier två-zonsmodell: Följande kriterier för rumsgeometri och effektutveckling bör uppfyllas vid användande av två-zonsmodell (D. Gojkovic, föreläsning, 19 september 2007).

L	Rummets längd	[m]
B	Rummets bredd	[m]
H	Rummets höjd	[m]
A	Representativ area (Längd x höjd)	[m ²]
\dot{Q}	Effektutveckling	[kW]

4.3 CFAST

CFAST (Consolidated Fire and Smoke Transport model) är ett två-zons modelleringsprogram framtaget av NIST (National Institute of Standards and Technology). Rummets geometrier byggs upp med hjälp av x-, y- och z-koordinater och rummen består av olika zoner med öppningar mellan. Egenskaper för väggar, tak och golv definieras med hänseende på värmegenomgångsegenskaper och tjocklek. Simuleringen ger ett grafiskt resultat med brandgasspridning i realtid och ett sifferunderlag som ligger till grund för grafer som visar till exempel temperatur och strålningsintensitet.

Energi och massa per tidsenhet beräknas med kontinuitetsekvationerna. Brandgaslagret bildas och sprids momentant vid samma tidpunkt som branden startar. Masstransporten från den undre zonen, där förbränningen sker, till den övre zonen med brandgaser sker endast genom plymen, och ingen hänsyn tas till transporttider.

I programmet används McCaffreys plymmodell som är en svag plymmodell och som inte tar hänsyn till brandens basarea. Svaga plymmodeller är främst giltiga för bränder med låg effektutveckling och låga temperaturer i brandgaslagren (Karlsson, Quintiere, 2000).

CFAST är utvecklat för vanliga mindre rum, där geometrin på rummen är rektangulära. Upp till 30 rum kan simuleras i programmet, men tillförlitligheten på resultaten blir mindre desto längre ifrån brandrummet undersökningen sker. (D. Gojkovic, föreläsning, 19 september 2007)

Fördelar med CFAST:

- Lätt att lära sig och använda.
- Korta beräkningstider.
- Tillförlitliga resultat i lägenheter eller liknande rum.
- Relevant utdata
- Lätt att vidareutveckla ett påbörjat scenario

Nackdelar med CFAST:

- Låg brandbelastning skapar inte en tydlig skiktning mellan zonerna.
- Ingen hänsyn tas till transporttid för brandgaserna.
- Brandgaslagrets tjocklek tenderar att överskattas.
- Svårt att simulera komplicerade geometrier.

4.4 Simulex

Simulex är ett datorprogram framtaget av IES (Integrated Environmental Solutions) som används vid simulering av utrymning. Programmet arbetar med modifierade CAD-ritningar där endast relevanta byggnadsdelar och hinder för utrymningen tas med, såsom väggar, trappor, bord med mera. Länkar förbinder olika våningsplan och en avståndskarta skapas som beräknar avståndet till de olika utgångarna. Personer skapas och de tilldelas olika egenskaper, i första hand reaktionstid och gånghastighet. Personer rör sig vinkelrätt mot linjerna i avståndskartan och antingen går de mot närmaste utgången eller mot en i förväg specificerad utgång.

Simulex ger en förflyttningstid och en god överblick av vad som försvårar utrymningen och var köbildning sker. Ett problem i simuleringen är svårigheter att förutse personers val av utrymningsväg. I verkligheten tenderar människor att byta utrymningsväg om köbildning uppstår, gå mot samma utgångar som sina vänner och gå mot samma utgång som de kom in igenom (Frantzich, 2001).

4.5 Detact-T2

Detact-T2 är ett program framtaget av NIST (National Institute of Standards and Technology) som används för beräkning av aktiveringstider för sprinkler och värmedetektorer som är placerade under tak. Programmet kan också användas för att beräkna aktiveringstid för rökdetektorer, eftersom det finns ett samband mellan temperatur och partikelfördelning i brandgaslagret. Ett vedertaget värde för att beräkna aktiveringstiden för rökdetektorer är en

temperaturstegring i luften på 13°C. Brandens effektutveckling tillväxer enligt en αt^2 -modell. Programmet tar inte hänsyn till ett eventuellt varmt övre brandgaslager utan antar att känselementet endast värms upp av takstrålen (Nilsson, Holmstedt, 2007).

För att kunna simulera aktiveringstid behövs:

- Takhöjd
- Avstånd mellan detektorer
- Aktiveringstemperatur
- RTI
- Effektutvecklingens tillväxthastighet

5. Scenarier

Nedan följer kortfattade beskrivningar av brandscenarier som kan inträffa i olika delar av fastigheten. Speciellt intressanta scenarier väljs ut för vidare analys av möjliga bränder och speciella utrymningsförhållanden.

5.1 Val av brandscenarier

Varje scenario graderas med en sannolikhet mellan låg och hög. Konsekvensen av en brand graderas på liknande sätt mellan stor och liten. Graderingen är en bedömning som bygger på följande faktorer:

Sannolikhet

- Möjliga antändningskällor
- Verksamhet i utrymmet

Konsekvens

- Personantal i utrymmet
- Utrymningssäkerheten
- Brandförloppet

Om ett scenario bedöms ha hög sannolikhet och få stora konsekvenser, det vill säga om risknivån är hög, utreds scenariot vidare. Det är svårt att uppskatta hur stor sannolikheten eller konsekvenserna är för ett visst scenario så bedömningarna sker i förhållande till varandra.

Vad gäller antändningskällor så talar statistik för att anlagd brand är en stor risk. En tredjedel av alla bränder i allmänna lokaler är anlagda, enligt Räddningstjänst i siffror (Räddningsverket, 2007). Risken för anlagd brand i Vadstena slott finns i de flesta olika utrymmen, men varierar naturligtvis beroende på besökarnas tillträde och verksamhet. I genomgången av scenarier nedan tas endast ytterligare, för scenariot specifika, antändningskällor upp.

Målet är att de scenarier som undersöks närmare ska täcka in alla möjliga tänkbara scenarier på slottet. Om brandsäkerheten är tillräcklig för dessa värsta troliga scenarier antas den också vara tillräcklig för mindre allvarliga bränder. Sannolikhet och konsekvens för scenarierna listas i tabell 3. För rummens orientering i byggnaden se Figur 4, 5 och 6.

5.1.1 Krutförvaring

Krut förvaras i ett låst skåp i förrådsrum V137 med angränsande vägg till turistbyrån. Endast personal vistas i utrymmet. Närliggande kontor har tillgång till två utrymningsvägar som mynnar ut i det fria och gångavstånden till dessa är korta. Krutet används till att skjuta salut med kanoner som finns på slottsområdet. En antändning av krutet bedöms få *stora* konsekvenser för personer i lokalerna. Krutets säkra förvaring medför att sannolikheten för att detta ska inträffa bedöms som *låg*.

5.1.2 Föreställning i Brölloppsalen

Brölloppsalen är belägen på plan 3 och är ungefär 15 gånger om året plats för operaföreställning med Vadstena Akademien. I vanliga fall får maximalt 150 personer vistas i Brölloppsalen, men Vadstena Akademien har dispens som tillåter maximalt 240 åskådare under föreställning. Scenaktörer och övrig personal uppskattas till ca 30 personer. En 36 kvadratmeter stor scen placeras på olika platser i rummet, beroende på uppsättningen. Åskådarna sitter på gradänger (svagt lutande läktare) i varierande konfigurationer. Utrymningsförhållandena blir därmed unika för varje föreställning. Om en brand utbryter på scenen kan den bli omfattande då brandbelastningen är relativt hög. Brandgaser kommer att

sprida sig i rummet och utrymningen måste ske omedelbart. Det stora personantalet i lokalen gör att konsekvenserna av en brand bedöms bli *stora*. Möjlig antändningskälla är någon komponent i belysningen eller annan elektronik. Sannolikheten för en brand under en operaföreställning bedöms vara *medel*.

5.1.3 Snickeri

I västra delen av slottsbyggnadens plan 3 finns ett snickeri (rum V308) som bland annat inrymmer hantverksmaskiner, verktyg och trä. Takhöjden är cirka 3 m och både golv och tak är täckta med spånskivor. Brandbelastningen är stor och det finns ett antal möjliga antändningskällor som exempelvis spånsug eller andra maskiner. Sannolikheten för en brand i snickeriet bedöms vara *hög*. Persontätheten i detta och angränsande rum är låg, varför få personer kommer att tvingas utrymma i ett inledande skede av brand. Eventuellt närvarande personer väntas ha god lokalkännedom, vilket förenklar utrymningen. Rökdetektorerna antas detektera branden i ett tidigt skede. Denna tidiga aktivering av utrymningslarmet tillåter personer i byggnaden att utrymma innan branden ger upphov till kritiska förhållanden i angränsande rum. Konsekvensen av en brand i snickeriet uppskattas därför bli *liten*.

5.1.4 Backstage-rum

I väster angränsas Bröllopsalen av rum V305 och V306. Under föreställning är de ”backstage-rum” och är utrustade med rökdetektor. Ett brandscenario i något av rummen liknar på många sätt ett brandscenario i snickeriet. Rummen har låg persontäthet och hög brandbelastning. Takhöjden är 6 m i backstage-rummen varvid branden måste pågå en tid innan brandgaslagret sjunkit till en kritisk nivå. Konsekvensen av en brand bedöms precis som i snickeriet vara *liten*. Möjlig tändkälla i rummen skulle kunna vara elektrisk utrustning, men verksamheten i rummen är mest förvaring varför sannolikheten för en antändning bedöms vara *låg*.

5.1.5 Julmarknad i Västra Vallen

Fastighetens största samlingslokal är belägen i den Västra Vallen, som sträcker sig längs hela den västra sidan av fastigheten. Dimensionerande personantal i Västra Vallen är 820 enligt Vadstena Turistbyrå (T. Schultzberg, personlig kommunikation, 1 oktober 2007). Under Gammeljul fylls denna lokal med försäljningsmontrar innehållande mycket brännbart material (Figur 9). Under övriga året fungerar samlingslokalen som utställningshall. Brandbelastningen och persontätheten antas dock vara störst under Gammeljul. Utrymningsvägarna är belägna i norra och södra kortsidorna av lokalen, samt på östra långsidan. Om en brand inträffar så att den blockerar någon utrymningsväg antas utrymningen av det stora personantalet kunna bli problematiskt. Konsekvensen av en brand i Västra Vallen sätts därför till *stor*. Försäljningsmontrarna innehåller mycket lättantändliga material och de belyses ofta av provisoriskt uppsatta halogenlampor. (J.Erlandsson, personlig kommunikation, 17 september 2007). Dessa lampor alstrar mycket värme och försök utförda av Spearpoint,



Figur 9 Julmarknad i Västra Vallen: Under Gammeljul är både brandbelastningen och persontätheten hög i Västra Vallen.

Mowrer och McGrattan (1999) visar att en halogenlampa kan anses vara en trolig tändkälla. Sannolikheten för en brand bedöms vara *medel*.

5.1.6 Julmarknad i Herreköket

På slottsbyggnadens plan 2 finns en stor sal som kallas Herreköket. Under Gammeljul är omkring 13 försäljningsmontrar placerade i rummet. Montrarnas innehåll samt persontätheten antas vara samma som i Västra Vallen. Den stora brandbelastningen och den höga persontätheten leder till en svår utrymningssituation. Trängseln av försäljningsstånd och människor gör att lokalen blir svår att överblicka. Samtidigt pågår julmarknaden på plan tre vilket försvårar utrymningen ytterligare. Dessa parametrar gör att konsekvensen av en brand i Herreköket sätts till *stor*. Sannolikheten för att en brand ska starta bedöms med samma motivering som i Västra Vallen vara *medel*.

5.1.7 Sittning i Herreköket

Några gånger om året är det sittning i Herreköket. Privatpersoner hyr salen och serveras av cateringpersonal som använder den angränsande Borgstugan som provisoriskt kök och utgångspunkt för serveringen. Herreköket inreds med långbord och maximalt 150 gäster får tas in. Ett brandförlopp under en sittning i Herreköket antas få mindre konsekvenser än under Gammeljul, trots att gästerna kan vara påverkade av alkohol. En anledning till det är att lokalen har bättre överblickbarhet under en sittning, utrymningsvägarna är synbara från hela rummet. Dessutom är brandbelastningen i långborden och stolarna mindre än i försäljningsmontrarna. Konsekvensen bedöms därför vara *medel*. Sannolikheten för brand är samtidigt mindre då det finns färre möjliga tändkällor. Sannolikheten för en brand under sittning bedöms vara *låg*.

5.1.8 Vinden

Vindsutrymmet över västra delen av slottet nås via en trappa i toppen av trapphus T14. Ingen verksamhet bedrivs i utrymmet och brandbelastningen består endast av de grova bjälkar som utgör bjälklag och takstolar. Ur utrymningssynpunkt anses konsekvensen av en brand i vinden vara *liten*. Sannolikheten för antändning är *låg*.

5.1.9 Källarutrymmen

Det finns tre källarutrymmen i västra delen av slottet som mynnar ut mot borggården. De används bland annat som förråd och personer antas inte vistas där mer än tillfälligt. Samtliga utrymmen har endast en utväg, men är tydligt överblickbara. Det fåtalet personer som vistas i utrymmet förväntas kunna utrymma enkelt vid en brand. Brandbelastningen är hög, men de väl tilltagna stenväggarna och valvtaken förväntas eliminera spridningsrisken. Konsekvensen av en brand anses därmed vara *liten*. Sannolikheten för en antändning anses samtidigt vara *låg*.

5.1.10 Kanontornet och Kanongången

På plan 1 av det nordvästra Kanontornet vistas ibland små grupper människor, vid visningar och mindre evenemang. Mellan tornet och borggården löper Kanongången. Brandbelastningen i utrymmena är liten och utrymningsmöjligheterna goda. Konsekvensen av en brand bedöms som *liten*, och sannolikheten för antändning bedöms vara *låg*.

5.1.11 Kapell

I Kapellet på plan 4 i Porthuset hålls ibland vigslar. Det finns två utrymningsvägar från lokalen. En går genom en låst dörr som leder till Rikssalen i östra delen av slottsbyggnaden.

Nyckeln till den låsta dörren förvaras i en låst plåtlåda som öppnas då brandlarmet utlöses. Den andra utrymningsvägen leder västerut och ner genom trapphus T14. Antalet personer i lokalen kan stundtals vara stort och en utrymning långsam. Brandbelastningen i Kapellet är relativt låg, och lokalen är lätt överblickbar. Konsekvensen av en brand bedöms vara *medel*. Bristen på möjliga antändningskällor gör att sannolikheten för en brand sätts till *låg*.

5.1.12 Turistbyrån

I Turistbyrån som ligger i Västra Vallens norra del vistas mest den egna personalen och ibland mindre grupper av turister. Det finns tillgång till två utrymningsvägar och gångavstånden till dessa är relativt korta. Personalen är naturligtvis bekant med lokalen och en utrymning väntas ske snabbt och problemfritt. Konsekvensen av en brand bedöms därför bli *liten*. Möjlig tändkälla skulle kunna vara något elektriskt fel, men sannolikheten för en antändning bedöms vara *låg*.

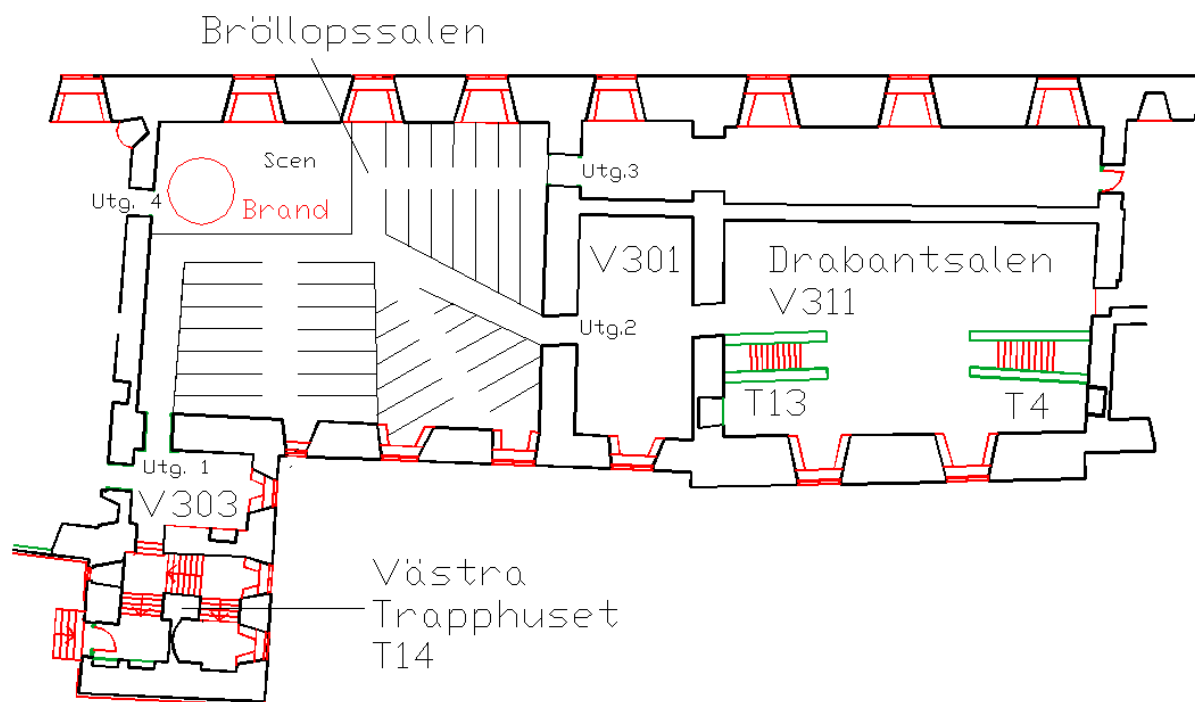
Brandscenario	Konsekvens	Sannolikhet	Djupare analys
Krutförvaring	Stor	Låg	Nej
Föreställning i Bröllopsalen	Stor	Medel	Ja
Snickeri	Liten	Hög	Nej
Backstagerum	Liten	Låg	Nej
Julmarknad i Västra Vallen	Stor	Medel	Ja
Julmarknad i Herreköket	Stor	Medel	Ja
Sittning i Herreköket	Medel	Låg	Nej
Vinden	Liten	Låg	Nej
Källarutrymmen	Liten	Låg	Nej
Kanontornet	Liten	Låg	Nej
Kapell	Medel	Låg	Nej
Turistbyrå	Liten	Låg	Nej

Tabell 3 Scenarier: Konsekvens och sannolikhet bedöms för 12 olika scenarier och beslut fattas om en djupare analys skall genomföras.

Scenarierna som undersöks närmare är Föreställning i Bröllopsalen, Julmarknad i Herreköket och Julmarknad i Västra Vallen. En utvärdering av utrymningsituationerna för dessa värsta troliga scenarier täcker även in mindre allvarliga bränder.

5.2 Scenario 1 – Föreställning i Bröllopsalen

Följande avsnitt beskriver ett scenario som har valts för simuleringar och vidare analys. Detta scenario innebär att en brand utbryter någonstans i scenkonstruktionen under en operaföreställning. Möjlig antändningskälla är någon komponent i belysningen eller annan elektronik. Scenen är placerad i nordvästra hörnet av Bröllopsalen och är 36 kvadratmeter stor, se Figur 10.



Figur 10 Föreställning i Bröllopsalen: Gradängerna, scenen och brandens placering är utritade. Utg. 1 och Utg. 2 är utrymningsvägar från rummet.

Under scenariot finns totalt 270 personer i Bröllopsalen där 240 är publik och 30 är personal. Publiken sitter på svagt lutande läktare, så kallade gradängar, vilka är placerade i rummet enligt Figur 10 och personalen befinner sig på eller runtomkring scenen. Vid varje föreställning finns en brandvakt som har till uppgift att försöka släcka en uppkommen brand och effektivisera en utrymning. Han är utrustad med megafon och har tillgång till handbrandsläckare (T. Schultzberg, personlig kommunikation, 1 oktober 2007). Rummets utformning såsom placering av scen och gradängar samt bredd på gångar bestäms i samråd med räddningstjänsten inför varje uppsättning.

Inget läckage av brandgaser förväntas upp genom takkonstruktionen eftersom bjälklaget är tätt (P. Rydberg, personlig kommunikation, 17 september 2007). Brandcellsindelningens brister leder till att brandgaser sprids fritt i hela våningsplanet. De brandgaser som genereras av branden samlas initialt i brandrummet, men sprids så småningom till angränsande rum genom de dörröppningar som finns. Detta innebär att först när brandgaslagret i Bröllopsalen når ner till dörröppningens överkant, kommer brandgaser att börja läcka ut till angränsande rum.

I Bröllopsalen finns stora spröjsade fönster av gammal typ i djupa nischer. De antas förbli hela och stängda under det inledande skedet av ett brandförlopp. Alla dörrar som leder till brandrummet antas stå uppställda under operaföreställningen.

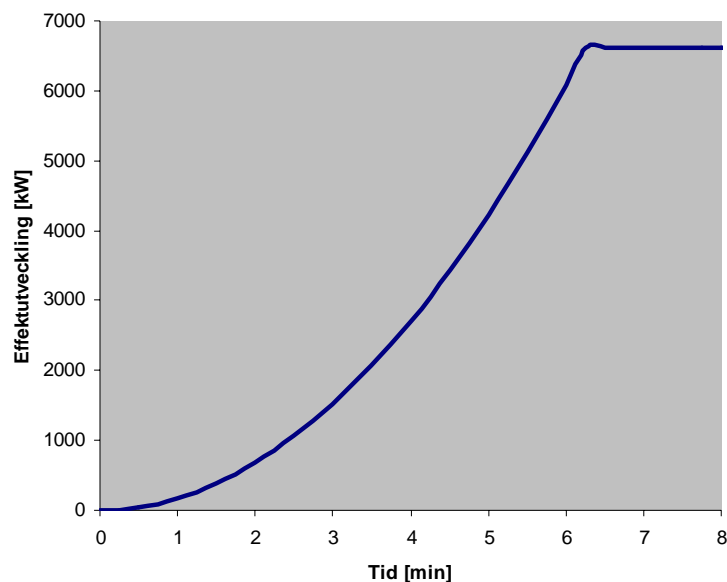
5.2.1 Val av effektkurva

En fundamental parameter för brandsimulering är effektutvecklingskurvan. Nedan följer en beskrivning av hur effektutvecklingen för en brand i scenen approximeras utifrån experimentella mätdata. En fullständig beräkningsgång med referenser finns i Bilaga A - Effektutvecklingar.

Möblemanget på scenen antas bestå av en trähylla, en soffa, två stolar och en tygbeklädd kuliss av träpanel. Scengolvet består av träskivor på en metallkonstruktion. Vaga uppgifter om att träskivorna är tändskyddade finns. Företaget som tillverkat scenen, AB Ilmonte, uppger däremot att träskivorna enbart är målade med vanlig lasyr.

Värden på effektutvecklingen för de olika objekten tas från experimentella mätdata. Genom att summera de enskilda objekternas maximala effektutvecklingar kan ett värde för hela scenen uppskattas. Den maximala effektutvecklingen för scenen beräknas bli knappt 7 MW. Den maximala effektutvecklingen kommer enligt beräkningar inte begränsas av ventilationsförhållandena i detta scenario.

Den maximala effektutvecklingen för en brand spelar stor roll i brandförloppets senare delar, men ur utrymningssynpunkt är det viktigare att beakta brandens inledande förlopp. Effektutvecklingen antas tillväxa enligt α^2 -modellen. Där klassificeras olika tillväxthastigheter som *slow*, *medium*, *fast* eller *ultra fast* (Karlsson, Quintiere, 2000). Möbler, byggnadsdelar och andra föremål kan då utifrån experiment tilldelas lämplig klass. Genom att beakta scenföremålens tillväxthastigheter kan ett värde för scenen som helhet uppskattas. Branden i scenen bedöms tillväxa enligt en *fast* α^2 -kurva enligt Figur 11.

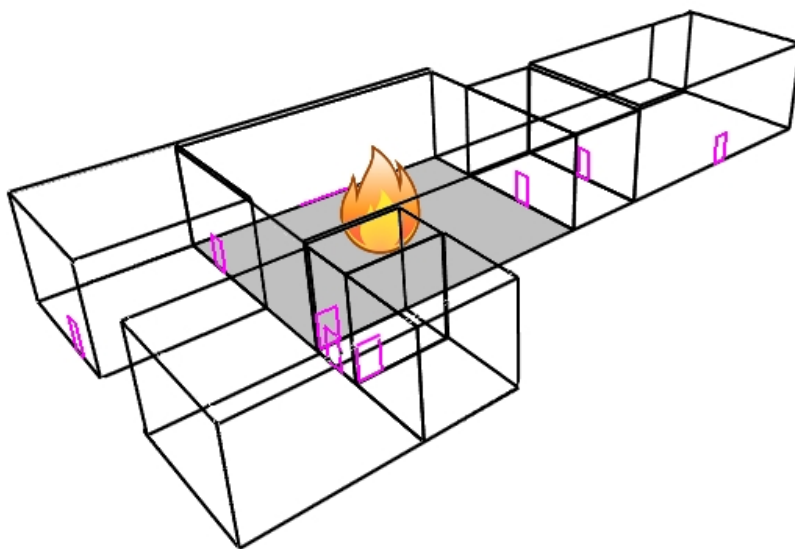


Figur 11 *Fast* α^2 -kurva *Bröllopsalen*: Kurvan representerar effektutvecklingen för scenbranden i Bröllopsalen.

5.2.2 Simulering i CFAST

För att simulera brandförloppet i CFAST krävs en del ingångsvärden. Rumsgeometrin byggs upp tredimensionellt enligt Figur 12. För rumsdimensioner se Bilaga H - Rumsdimensioner. En förenkling är att rummen i simuleringen ligger dikt an mot varandra. Det innebär att de

djupa dörrvalven i stenmurarna bortses från. Taken i rummen tilldelas termiska egenskaper för ”Wood, Hardwoods (oak, maple) (3/4 in)”. Väggarnas termiska egenskaper motsvarar ”Concrete, Normal Weight (6 in)”.



Figur 12 Rumsgeometri: Bröllopsalen och intilliggande rum ritas i en förenklad modell i programmet CFAST. För rumsdimensioner se Bilaga H - Rumsdimensioner.

Tiden till kritiska förhållanden för olika parametrar anges nedan i Tabell 4. Ytterligare viktiga resultat redovisas i grafer i Bilaga B – Grafer. Sikten i den undre kalla zonen blir aldrig så dålig att den påverkar utrymningen. Övre och undre refererar till de skiktade zonerna.

Rum	Brandgaslagrets höjd	Temperatur övre	Temperatur undre	Sikt övre	Strålning
Bröllopsalen	02:40	03:20	06:20	02:50*	05:30
V301	05:40*	05:50	-	04:10	-
Drabantsalen	05:40	-	-	06:40*	-
V303	03:30	05:20	-	03:40*	-
T14	04:20	-	-	05:20*	-

Tabell 4 Tid till Kritiska förhållanden: Olika parametrar ger olika tid till kritiska förhållanden för vardera rum under scenariot Föreställning i Bröllopsalen. Tiden anges i minuter:sekunder. Den tid som avgör när kritiska förhållanden infinner sig anges med *.

5.2.3 Utrymning

Under scenariot blockeras utgång 4 av branden och utgång 3 är ingen utrymningsväg. Alla personer i rummet måste därför utrymma genom utgång 1 eller 2 (Figur 10). Personer som vistas i okända miljöer väljer vanligen att gå ut genom samma väg som de kom in genom (Frantzych, 2001). Utrymningstiden kan därför bli lång eftersom publiken kommer in i lokalen genom utgång 2 och merparten därför också vill utrymma genom samma utgång. Då utrymningen påbörjas kommer brandvakten därför ge instruktioner om att publiken på den sydvästra gradängen ska utrymma genom utgång 1 och vidare till trapphus T14. Resterande personer kommer att utrymma genom utgång 2 och fortsätta till trapphusen T13 och T4.

Brandvakten antas detektera en brand i ett tidigt skede och inleder ett släckförsök. Då brandvaktens släckförsök misslyckas avbryter han och uppmanar alla i lokalen att utrymma.

Varseblivningstiden för publiken sätts till 30 sekunder. Tid för beslut och reaktion sätts till 30 sekunder. Den totala tiden från brandstart till förflyttning blir därmed *en minut*. Om brandvakt inte funnits i lokalen hade tiden blivit betydligt längre.

Förflyttningstiden beror på hur fort de utrymmande personerna går. Bland besökarna förväntas det finnas många äldre personer och barn som går långsamt varför stockning i trappor och andra trängre passager förväntas förekomma.

5.2.4 Simulering i Simulex

För att simulera utrymningsförloppet används programmet Simulex. Fördelningen av äldre och barn är svår att uppskatta. Dock har dessa grupper liknande egenskaper i Simulex och populationen ”Shoppers” används då den anses bäst motsvara publikens fördelning. I ”Shoppers” är 35 % vuxna män, 40 % vuxna kvinnor, 15 % barn och 10 % äldre personer. Besökarnas totala tid från brandstart till förflyttning varierar slumpmässigt med ± 15 sekunder.

Gradängerna i lokalen är förenklade i programmet. Mått på gångbredder och scenens placering är tagen från ett uppsättningsförslag från 2005. Originalskiss över förslaget finns i Bilaga C - Scenbeskrivning. Avstånd mellan stolsrader är en uppskattning utifrån antagandena att en sittplats är 0,45m djup och utrymmet för benen är 0,55m djupt. Detta leder till att varje stolsrad upptar 1 meter. Dessa mått tillåter att alla de 240 åskådarna får en bredd av 0,5 meter att sitta på. Gradängerna i programmet lutar inte utan utgörs av ett horisontalplan. Denna förenkling görs då lutningen antas vara så liten att gånghastigheten på försökspersonerna inte påverkas nämnvärt. Figur D1 i Bilaga D – Startuppställningar Simulex visar besökarnas placering vid utrymningsens startskede, samt vilken utrymningsväg de använder.

I Tabell 5 redovisas tiden det tar från att branden startar tills rummen är utrymda.

Rum	Tid
V303	03:10
T14	03:50
Brölloppssalen	03:50
V301	04:00
Drabantsalen	04:20

Tabell 5 Utrymningstider: Tiden det tar från att branden startar tills rummen är utrymda under scenariot Föreställning i Brölloppssalen. Tiden anges i minuter:sekunder.

5.2.5 Känslighetsanalys

Syftet med känslighetsanalysen är att undersöka vilka variabler som påverkar slutresultatet samt hur stora avvikelserna blir. De variabler som ändras påverkar dels tiden till att kritiska förhållanden uppstår och dels tiden det tar att utrymma.

I scenario 1 anses variablerna nedan vara osäkerheter och de undersöks i en känslighetsanalys. Då inte annat anges berör känslighetsanalysen enbart brandrummet.

Tillväxthastighet hos branden

En ökning av tillväxthastigheten från $0,047 \text{ kW/m}^2$ till $0,080 \text{ kW/m}^2$ medför att tiden till kritiska förhållanden med avseende på temperatur, strålning, sikt och höjd på brandgaslager blir kortare. Temperaturen i övre och undre zonerna når 80°C en halv minut tidigare än för scenariebranden. Höjden på brandgaslagret når den kritiska höjden 2,2 m mellan 20 och 60 sekunder tidigare, där den största skillnaden representerar det mest avlägsna utrymmet, V311.

Salen V311 når den kritiska gränsen för höjd på brandgaslagret efter tiden 04:40 vid ökad tillväxthastighet. Den kritiska strålningsnivån med avseende på utrymning är $2,5 \text{ kW/m}^2$ och nås en minut tidigare i förloppet, det vill säga efter ungefär fyra minuter jämfört med scenariebranden.

Maximal effektutveckling för branden

En maximal effektutveckling av 10 MW istället för 7 MW är som synes en större brand vilket resulterar i högre värden på temperatur och strålning samt försämrad sikt. Dock sker detta sent i brandförloppet då kritiska förhållanden redan råder i alla utrymmen. Höjden på brandgaslagret påverkas inte.

Ventilationsförhållanden i lokalen

Det påpekas i ett examensarbete (Larsson, 1999) att det är svårt att uppskatta vid vilken temperatur fönsterglas går sönder. Dessutom saknas uppgifter om typen av fönster i Vadstena Slott. Ett antagande görs att fönstren går sönder vid 250°C . Detta sker efter tiden 06:20 i brandrummet enligt simulering i CFAST. Ökad ventilation genom öppningen på 6 m^2 leder till att brandgaslagret höjs men fortfarande är för lågt i alla rum. Sikten blir sämre i rum som angränsar till brandrummet där sikten går från 15 meter till 3 meter på 10 sekunder. Temperaturen i den undre zonen och strålning minskar marginellt vid ökad ventilation. Dessa förändringar har mindre betydelse eftersom kritiska förhållanden råder innan fönster går sönder.

Rökproduktion från branden

Inverkan av material i scenariot med avseende på sikten undersöks genom att ändra rökpotentialen. Rökproduktionen för branden ändras från CFAST:s värden för trä till CFAST:s värden för en soffa vilket försämrar sikten avsevärt jämfört med scenariebranden. Efter tiden 05:00 är sikten i den undre zonen i brandrummet 40 meter respektive fem meter för de olika fallen.

Väggmaterialens egenskaper

Slottsväggen är av gråsten (granit) och en ändring av egenskaper från cement till granit påverkar inte tiden till kritiska förhållanden i något rum.

Utrymningsvariabler

En stor del av utrymningen sker i gångar mellan stolsrader samt gångar mellan gradänger och väggar. Bredden på gångarna har stor inverkan på hur fort utrymningen går. Eftersom personerna utrymmer med olika gånghastighet bildas lätt stockningar där de smala gångarna inte tillåter att personer kan passera varandra. En minskning av personantalet eliminerar inte detta problem men utrymningstiden blir något kortare då färre personer måste utrymma. För att utrymningen ska bli effektiv krävs att personer utrymmer genom alla nödutgångar som står till förfogande och att fördelningen över dessa är sådan att de töms ungefär samtidigt.

Sammanfattning

Tillväxthastighet och rökproduktion är de enda variablerna som påverkar tid till kritiska förhållanden i detta scenario. Det ska noteras att detta gäller för en försämring av variablerna ur utrymningsperspektiv och det har inte analyserats hur en förbättring av variabler påverkar förhållanden. Hur personerna fördelar sig över de utrymningsvägar som finns, hur breda gångarna mellan stolsrader är samt bredden på gångarna mellan gradänger och väggar, är de variabler som har störst inverkan på utrymningstiden.

5.2.6 Resultat & Analys

I Tabell 6 följer en sammanställning av resultaten från simuleringarna. Om tid för utrymning understiger tid till kritiska förhållanden anses utrymningen vara tillfredställande. Tiden till kritiska förhållanden är framtagen med CFAST och tiden för utrymning med Simulex. Tiden till kritiska förhållanden är den kortaste tiden tills något av de kritiska kriterierna för sikt, temperatur eller strålning uppfylls. En förutsättning är dock att då kritiska värden för sikt eller temperatur uppkommer, måste brandgaslagret redan ha sjunkit under kritisk nivå. Om förhållandena i brandgaslagret är goda kan utrymning tillåtas ske genom det.

Rum	Tid till Kritiska förhållanden	Tid för Utrymning	Tillfredställande
V303	03:40	03:10	Ja
T14	05:20	03:50	Ja
Brölloppsalen	02:50	03:50	Nej
V301	05:40	04:00	Ja
Drabantsalen	06:40	04:20	Ja

Tabell 6 Resultat Föreställning i Brölloppsalen: För respektive rum jämförs Tid till kritiska förhållanden med Tid för utrymning varpå det avgörs om utrymningen är tillfredställande. Tiden anges i minuter:sekunder.

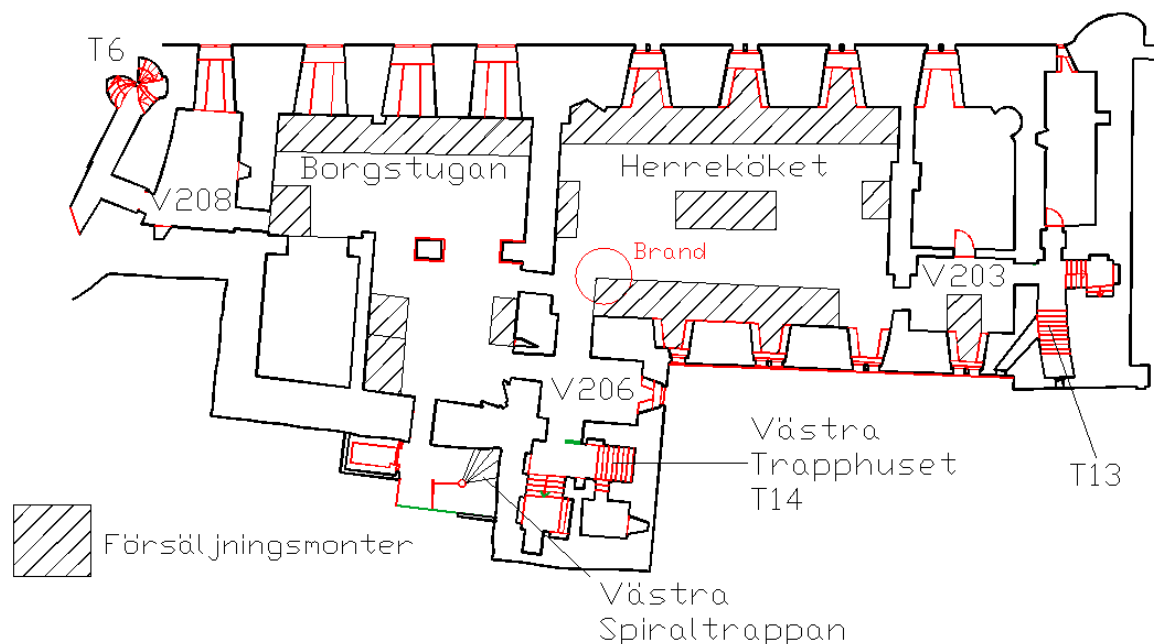
I Brölloppsalen uppkommer kritiska förhållanden innan utrymningen avklarats. Det är sikten som sjunker under 5 meter vid tiden 02:50. Redan tidigare har brandgaslagret sjunkit under kritisk nivå, men utrymningen har kunnat fortgå.

Det är utrymning genom Utgång 2 (Figur 10) som tar längst tid. Gradängernas utformning är en viktig parameter eftersom stockning uppstår där åskådarna kliver ner från gradängerna och ut i gångarna. Eftersom kritiska förhållanden uppkommer redan en minut innan utrymningen är genomförd måste olika åtgärder undersökas.

5.3 Scenario 2 – Julmarknad i Herreköket

Följande avsnitt beskriver ett scenario som har valts för simuleringar och vidare analys. Detta scenario innebär att en brand utbryter i en försäljningsmonter i Herreköket under julmarknaden. Den höga brandbelastningen, stora persontätheten och svårigheter att överblicka lokalen gör att en brand kan få allvarliga konsekvenser.

Figur 13 visar var försäljningsmontrarna antas vara placerade, samt var branden utbryter. Det är omkring 13 utställare i rummet och de tilldelas en 3x3 m² stor yta var. Storlek och utformning på utställarnas monterar varierar. Varorna som säljs i lokalen är exempelvis tomtar, halmböcker och andra hantverksprodukter av olika naturmaterial som textil, halm, skinn och trä. Utställarna använder ofta halogenlampor vilket kan vara en trolig antändningskälla.



Figur 13 Julmarknad i Herreköket: Under Gammeljul är de flesta försäljningsmontrarna på plan 2 placerade i Borgstugan och Herreköket.

Det maximala antalet personer som vistas i dessa lokaler under julmarknaden är okänt eftersom arrangörerna inte kontrollerar hur många besökare som släpps in. Det maximalt tillåtna personantalet för Herreköket och Borgstugan tillsammans är enligt Vadstena Turistbyrå 300 personer (T. Schultzberg, personlig kommunikation 1 oktober 2007). Bröllopsalen på plan 3 får maximalt inrymma 150 personer. Därför antas det i detta scenario finnas 300 personer i lokalerna på plan 2 och 150 på plan 3.

Inget läckage av brandgaser förväntas upp genom takkonstruktionen eftersom bjälklaget är tätt (P. Rydberg, personlig kommunikation, 17 september 2007). Brandcellsindelningens brister leder till att brandgaser sprids fritt i hela våningsplanet. De brandgaser som genereras av branden samlas initialt i brandrummet, men sprids så småningom till angränsande rum genom de dörröppningar som finns. Detta innebär att först när brandgaslagret i Herreköket når ner till dörröppningens överkant, kommer brandgaser att börja läcka ut till angränsande rum.

I Herreköket finns stora spröjsade fönster av gammal typ i djupa nischer. De antas förbli hela och stängda under utrymningskedet av ett brandförlopp. Alla dörrar som leder in till brandrummet antas stå uppställda under julmarknaden.

5.3.1 Val av effektkurva

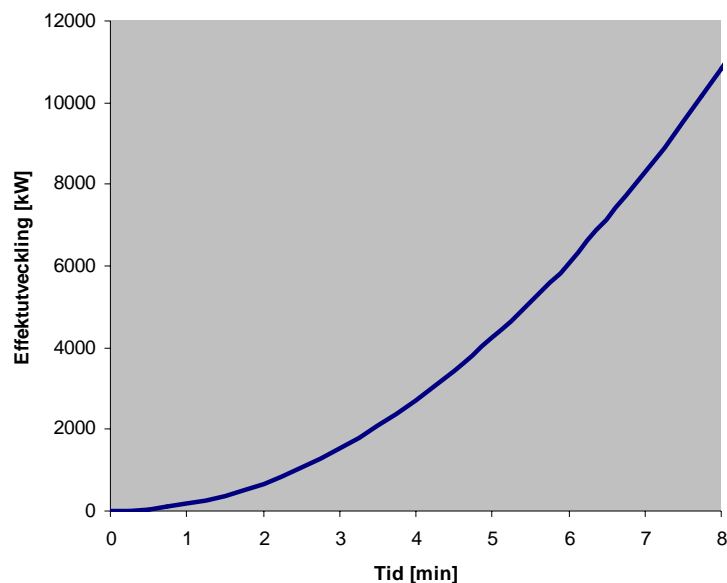
En fundamental parameter för brandsimulering är effektutvecklingskurvan. Nedan följer en beskrivning av hur effektutvecklingen för en brand i försäljningsmontrar approximeras utifrån experimentella mätdata. En fullständig beräkningsgång med referenser finns i Bilaga A - Effektutvecklingar.

Varorna i en försäljningsmonter approximeras med andra motsvarande material vilkas effektutveckling tas från experimentella mätdata. Genom att summera de enskilda objektens maximala effektutvecklingar kan ett värde för hela montern beräknas. Den maximala effektutvecklingen för en försäljningsmonter uppskattas till 2 MW.

Den maximala effektutvecklingen för en brand spelar stor roll i brandförloppets senare delar, men ur utrymningssynpunkt är det viktigare att beakta brandens inledande förlopp.

Effektutvecklingen antas tillväxa enligt α^2 -modellen. Där klassificeras olika tillväxthastigheter som *slow*, *medium*, *fast* eller *ultra fast* (Karlsson, Quintiere 2000). Möbler, byggnadsdelar och andra föremål kan då utifrån experiment tilldelas lämplig klass. Genom att beakta monterföremålets tillväxthastigheter kan ett värde för montern som helhet uppskattas. Branden i en försäljningsmonter bedöms tillväxa enligt en *fast α^2 -kurva*.

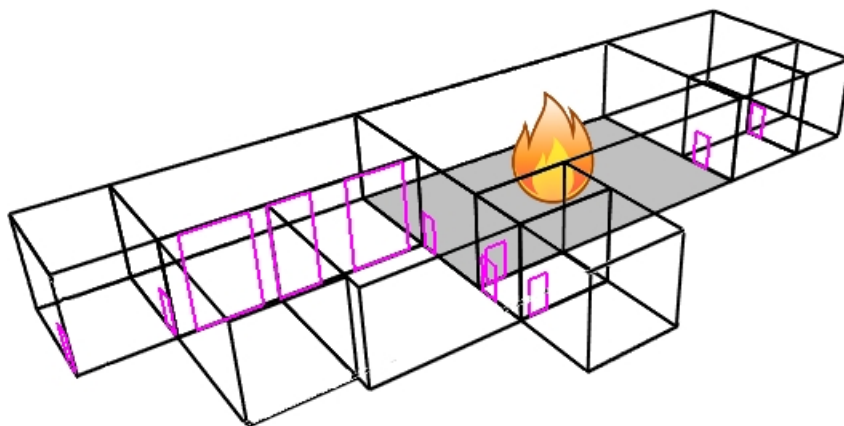
En följd av att montrarna på julmarknaden står tätt är att brandspridning mellan dem möjliggörs. Strålningsberäkningar som gjorts visar att strålningen från en brinnande monter är tillräckligt stor för att antända nästa monter. Brandspridningen mellan montrarna antas vara lika snabb som brandspridningen inom en monter. Brandtillväxten förblir alltså lika snabb även efter att den ursprungliga montern nått sin maximala effektutveckling. Branden tillväxer tills hela rummet och alla dess montrar deltar i branden. Beräkningar visar att branden i rummet blir ventilationskontrollerad då den utvecklar 13 MW. Detta inträffar efter cirka nio minuter och då antas utrymningen sedan länge vara avklarad. I det tidiga brandförloppet tas därmed ingen hänsyn till någon maximal effektutveckling, utan branden antas fortsätta tillväxa enligt en *fast α^2 -kurva* enligt Figur 14.



Figur 14 Fast α^2 -kurva Herreköket: Kurvan representerar effektutvecklingen för brand i utställningsmontrar i Herreköket.

5.3.2 Simulering i CFAST

För att simulera brandförloppet i CFAST krävs en del ingångsvärden. Rumsgeometrin byggs upp tredimensionellt enligt Figur 15. För rumsdimensioner se Bilaga H - Rumsdimensioner. Borgstugans komplexa utformning delas upp i tre zoner. Den kortaste tiden till kritiska förhållanden för de tre rummen används för hela Borgstugan. En förenkling är att rummen i simuleringen ligger dikt an mot varandra. Det innebär att de djupa dörrvalven i stenmurarna bortses från. Taken i rummen tilldelas termiska egenskaper för ”Wood, Hardwoods (oak, maple) (3/4 in)”. Väggarnas termiska egenskaper motsvarar ”Concrete, Normal Weight (6 in)”.



Figur 15 Rumsgeometri: Herreköket och intilliggande rum ritas i en förenklad modell i programmet CFAST. För rumsdimensioner se Bilaga H - Rumsdimensioner.

Tiden till kritiska förhållanden för olika parametrar anges i Tabell 7 nedan. Ytterligare resultat redovisas som grafer i Bilaga B - Grafer. Sikten i den undre zonen blir aldrig så dålig att den påverkar utrymningen. Övre och undre refererar till de skiktade zonerna.

Rum	Brandgaslagrets höjd	Temperatur övre	Temperatur undre	Sikt övre	Strålning
T14	03:50	-	-	04:40*	-
Borgstugan	04:10	06:10	-	04:10*	-
Herreköket	02:30*	02:50	05:40	02:10	05:00
V206	03:10	04:10	-	03:30*	-
V203	03:10	05:10	-	03:50*	-
T13	03:50	-	-	04:50*	-

Tabell 7 Tid till Kritiska förhållanden: Olika parametrar ger olika tid till kritiska förhållanden för vardera rum under scenariot Julmarknad i Herreköket. Tiden anges i minuter:sekunder. Den tid som avgör när kritiska förhållanden infinner sig anges med *.

5.3.3 Utrymning

Branden antas starta i Herrekökets sydvästra del (Figur 13), vilket leder till att utrymning genom trapphus T14 och Västra Spiraltrappan förhindras för merparten av personerna i Herreköket. De tvingas utrymma genom trapphus T13. Personer som vistas i Borgstugan utrymmer genom både Västra Spiraltrappan och genom V206 till trapphus T14.

De utställare vars plats är närmast en utrymningsväg får särskilda instruktioner om att hålla passagen fri från föremål, se Bilaga E – Instruktioner till Utställare.

De personer som befinner sig i brandrummet antas upptäcka branden efter ungefär 30 sekunder. Då har brandgasproduktion och flammor blivit så pass stora att alla i rummet antas bli varse att det brinner. Tiden det sedan tar dem att besluta sig om att utrymma antas bli ungefär 30 sekunder. Den totala tiden från brandstart till förflyttning för personer i brandrummet blir därmed *en minut*.

För personer som befinner sig i intilliggande rum tar det längre tid att upptäcka att något hänt. De informeras först när någon detektor aktiverar utrymningslarmet i byggnaden. Ringsignalen som då ljuder ger dem dock ingen mer detaljerad information.

Aktiveringstiden för detektorerna i rummet måste därmed uppskattas. För att beräkna aktiveringstiden för rökdetektorer kan de approximeras med en värmedetektor som aktiverar vid en temperaturhöjning på 13°C (Nilsson, Holmstedt, 2007) och har ett lågt RTI-värde. En beräkning med mjukvaran Detact-T2 ger en aktiveringstid på knappt 2 minuter med en takhöjd på 5,15 m, tillväxthastighet *fast*, aktiveringstemperatur 13°C över omgivningstemperaturen samt ett avstånd mellan detektorerna på 8 meter. RTI sätts till 0,5 eftersom rökdetektorer inte har någon termisk tröghet.

Simuleringen i CFAST gav att en 13°C temperaturhöjning i brandgaslagret inträffar efter cirka 1 minut och 20 sekunder. Vid denna tid uppgår brandgaslagrets tjocklek till 1,7 meter och dess sikt till 10 meter. Eftersom förbrinntiden har bortsetts ifrån vid simuleringarna i Detact-T2 och CFAST kan det antas att programmen ger för långa tider till aktivering. En mängd sotpartiklar har i verkligheten redan hunnit bildas innan simuleringarna i datorprogrammen startar. Utifrån ovanstående resonemang görs bedömningen att detektionstiden för rökdetektorer i Herreköket är en minut.

Eftersom personer i andra delar av byggnaden inte ser branden eller dess brandgaser, tar det längre tid för dem att besluta sig om att utrymma. Denna besluts- och reaktionstid antas vara en minut (Frantzich, 2001). Den totala tiden från brandstart till förflyttning för personer i intilliggande rum blir därmed *två minuter*.

Förflyttningstiden beror på hur fort de utrymmande personerna går. Bland besökarna förväntas det finnas många äldre personer och barn som går långsamt varför stockning i trappor och andra trängre passager förväntas förekomma.

5.3.4 Simulering i Simulex

För att simulera utrymningsförloppet används programmet Simulex. Populationen ”Shoppers” används då den antas bäst motsvara besökarnas fördelning. I ”Shoppers” är 35 % vuxna män, 40 % vuxna kvinnor, 15 % barn och 10 % äldre personer. Besökarnas totala tid från brandstart till förflyttning varierar slumpmässigt med ± 15 sekunder. Figur D2 och D3 i Bilaga D - Startuppställningar visar besökarnas placering vid utrymningsens startskede, samt vilken utrymningsväg de använder.

Gånghastigheter i spiraltrappor kan antas vara 0,5 m/s (Brandskyddshandboken, 2005) medan hastigheten i en vanlig trappa antas vara 0,75 m/s. Detta är en minskning med 2/3. Enligt detta resonemang förlängs Västra spiraltrappan med 3/2 i simuleringen.

I Tabell 8 redovisas tiden det tar från att branden startar tills rummen är utrymda.

Rum	Tid
Herreköket	02:30
V203	03:20
V206	04:00
Borgstugan	04:00
T14	04:10
T13	04:20

Tabell 8 Utrymningstider tiden det tar från att branden startar tills rummen är utrymda under scenariot Julmarknad i Herreköket Tiden anges i minuter:sekunder.

5.3.5 Känslighetsanalys

Syftet med känslighetsanalysen är att undersöka vilka variabler som påverkar slutresultatet samt hur stora avvikelserna blir. De variabler som ändras påverkar dels tiden till att kritiska förhållanden uppstår och dels tiden det tar att utrymma.

I scenario 2 anses variablerna nedan vara osäkerheter och de undersöks i en känslighetsanalys. Då inte annat anges berör känslighetsanalysen enbart brandrummet.

Tillväxthastighet hos branden

En ökning av tillväxthastigheten från 0,047 kW/m² till 0,080 kW/m² medför att tiden till kritiska förhållanden med avseende på temperatur, strålning, sikt och höjd på brandgaslager blir kortare. Temperaturen 80°C och höjden 2,2 m på brandgaslagret uppnås 30 sekunder tidigare än i scenariebranden och kritiska förhållanden råder efter tiden 02:10. Strålningsintensitet på 2,5 kW/m² uppnås 01:40 tidigare och når sitt kritiska värde efter 03:20.

Ventilationsförhållanden i lokalen

Det påpekas i ett examensarbete (Larsson, 1999) att det är svårt att uppskatta vid vilken temperatur fönsterglas går sönder. Dessutom saknas uppgifter om typen av fönster i Vadstena Slott. Ett antagande görs att fönstren går sönder vid 250°C. Detta sker efter tiden 05:10 i brandrummet enligt simulering i CFAST. Ökad ventilation genom öppningen på 6 m² leder till att brandgaslagret höjs men fortfarande är för lågt i alla rum. Temperaturen i övre och undre zonerna skiljer sig inte nämnvärt från scenariebranden. Tiden till den kritiska strålningsnivån ändras inte. Dessa förändringar har mindre betydelse eftersom kritiska förhållanden uppkommer innan fönstren går sönder.

Rökproduktion från branden

Inverkan av material i scenariot med avseende på rökproduktion undersöks genom att ändra rökpotentialen. Rökproduktionen för branden ändras från CFAST:s värden för trä till CFAST:s värden för en soffa vilket försämrar sikten avsevärt jämfört med scenariobranden. Den undre zonen når sitt kritiska värde för sikt efter tiden 05:30. Dock råder redan kritiska förhållanden vid denna tid. Höjden på brandgaslagret påverkas inte.

Väggmaterialens egenskaper

Slottsväggen är gråsten (granit) och en ändring av egenskaper från cement till granit påverkar inte tiden till kritiska förhållanden i något rum.

Utrymningsvariabler

Utrymningen från Bröllopsalen, Borgstugan och Herreköket sker via trappor. I simuleringen är Västra spiraltrappan längre än i verkligheten för att kompensera för trappans dåliga kvalitet med avseende på utrymning. Det är svårt att uppskatta hur lång förlängningen ska vara men det visar sig att denna parameter har liten inverkan på utrymningstiden. Det som framförallt är en begränsande faktor för utrymning mellan våningsplan är att det bildas köer där trappor från plan 3 ansluter till plan 2. Här sker nämligen kraftiga köbildningar då utrymmande personer från plan 3 möter utrymmande personer på plan 2 och alla ska fortsätta i samma trappa.

För att utrymningen ska bli effektiv krävs att personer utrymmer genom alla nödutgångar som står till förfogande och att fördelningen över dessa är sådan att de töms ungefär samtidigt. 450 personer finns på plan 2 och 3 under Gammeljul. För att utrymningstiden ska förändras nämnvärt krävs att personantalet varieras kraftigt.

Sammanfattning

Brandens tillväxthastighet är den variabel som har störst betydelse för tid till kritiska förhållanden i detta scenario. Det ska noteras att detta gäller för en försämring av variablerna ur utrymningsperspektiv och det har inte analyserats hur en förbättring av variabler påverkar förhållanden. Att personer använder alla utrymningsvägar som finns och att kraftig köbildning uppstår då utrymmande personer från olika plan möts i trapphus är de variablerna som har störst inverkan på utrymningstiden.

5.3.6 Resultat & Analys

I Tabell 9 följer en sammanställning av resultaten från simuleringarna. Om tid för utrymning understiger tid till kritiska förhållanden kan utrymningen anses vara tillfredställande. Tiden till kritiska förhållanden är framtagen med CFAST och tiden för utrymning med Simulex. Tiden till kritiska förhållanden är den kortaste tiden tills något av de kritiska kriterierna för sikt, temperatur eller strålning uppfylls. En förutsättning är dock att då kritiska värden för sikt eller temperatur uppkommer, måste brandgaslagret redan ha sjunkit under kritisk nivå. Om förhållandena i brandgaslagret är goda kan utrymning tillåtas ske genom det.

Rum	Tid till Kritiska förhållanden	Tid för Utrymning	Tillfredställande
Herreköket	02:30	02:30	Ja
V203	03:50	03:20	Ja
V206	03:30	04:00	Nej
Borgstugan	04:10	04:00	Ja
T14	04:40	04:10	Ja
T13	04:50	04:20	Ja

Tabell 9 Resultat Julmarknad i Herreköket: För respektive rum jämförs Tid till kritiska förhållanden med Tid för utrymning varpå det avgörs om utrymningen är tillfredställande. Tiden anges i minuter:sekunder.

I Herreköket uppkommer kritiska förhållanden samtidigt som utrymningen avklaras. Sikten sjunker under 5 meter redan vid tiden 02:10. Brandgaslagret sjunker till den kritiska nivån 02:30 vilket därmed blir tiden till kritiska förhållanden. Trots att ingen marginal finns bedöms utrymningen som tillfredställande. Ett vidare resonemang förs i avsnitt 6.1.

I V206 uppkommer kritiska förhållanden en halv minut innan utrymningen är genomförd. Återigen är det sikten som sjunker under 10 meter, det sker vid tiden 03:30. Åtgärder måste undersökas.

Utrymningsvägen genom V208 till trapphus T6 (Figur 13) används inte eftersom den är blockerad av försäljningsmontrar. Öppnandet av den utrymningsvägen skulle kunna vara en genomförbar åtgärd.

Ett kritiskt moment i utrymningen är i trapphuset T14, där de utrymmande från plan 2 möter utrymmande personer uppifrån plan 3.

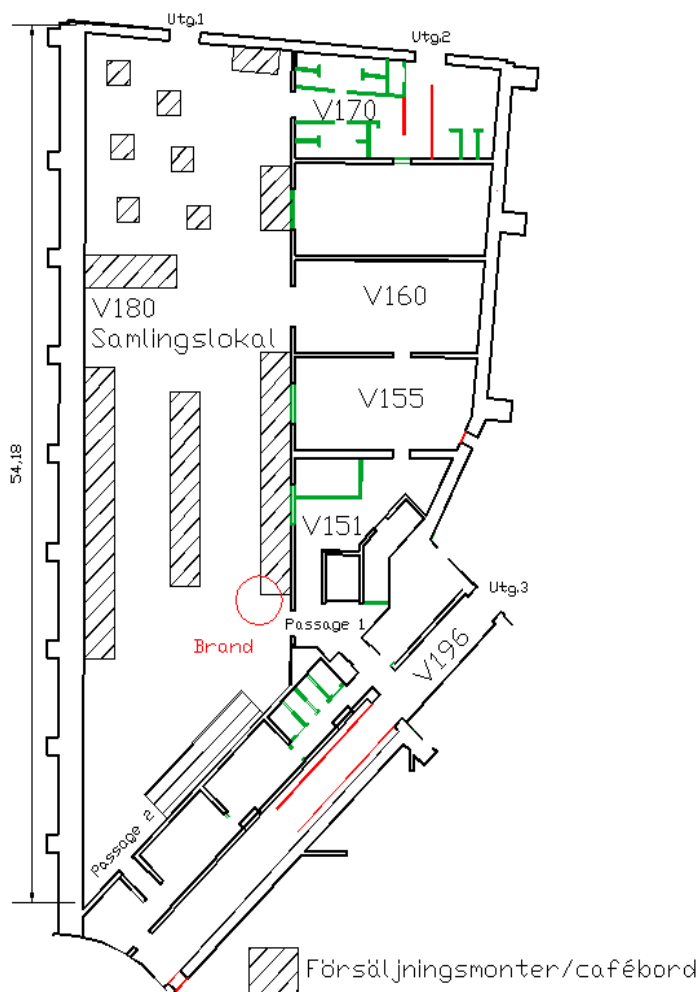
I rum V203 står ett försäljningsbord tvärs halva rummet. I utrymningssimuleringen sker ingen nämnvärd stockning där, men momentet anses ändå vara så kritiskt att framkomligheten där bör diskuteras vidare.

5.4 Scenario 3 – Julmarknad i Västra Vallén

Följande avsnitt beskriver ett scenario som har valts för simuleringar och vidare analys. Detta scenario innebär att en brand utbryter i en försäljningsmonter i samlingslokalen i Västra Vallén under julmarknaden. Den höga brandbelastningen och det stora personantalet gör att en brand kan bli allvarlig. Figur 16 visar hur försäljningsmontrarna antas vara placerade samt var branden utbryter. Storlek och utformning på utställarnas monterar varierar. Varorna som säljs i lokalen är främst livsmedelsprodukter som knäckebröd, kaffe, te, glögg, skorpor med mera. Utställarna använder ofta halogenlampor vilket kan vara en trolig antändningskälla. I norra delen av samlingslokalen bedrivs caféverksamhet, och brandbelastningen där antas vara lägre.

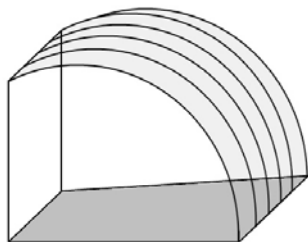
Det maximala antalet personer som vistas i dessa lokaler under julmarknaden är okänt eftersom arrangörerna inte kontrollerar hur många besökare som släpps in. Västra Valléns samlingslokal är dimensionerad för 820 personer. Under julmarknaden är dock försäljningsmontrar uppställda i lokalen, varpå ytan för människor att vistas på blir mindre. Det dimensionerande antalet personer fördelas därför i hela Västra Vallén och i detta scenario finns det totalt 820 personer i samlingslokalen och angränsande rum.

De brandgaser som genereras av branden samlas initialt i brandrummet, men sprids så småningom till angränsande rum genom de dörröppningar som finns. Detta innebär att först när brandgaslagret i samlingslokalen når ner till dörröppningens överkant, kommer brandgaser att börja läcka ut till angränsande rum.



Figur 16 Julmarknad i Västra vallén: Under Gammeljul är försäljnings-montrarna placerade i samlingslokalen V180 och branden utbryter i lokalens södra del.

Samlingslokalen i Västra Vallen utgörs av ett stort rektangulärt utrymme med ett osymmetriskt valvtak. Takets högsta linje ligger inte centrerad i lokalen, vilket gör att taket får ett lutande utseende enligt Figur 17.



Figur 17 Västra Vallen: Skiss över Västra Vallens osymmetriska valvtak.

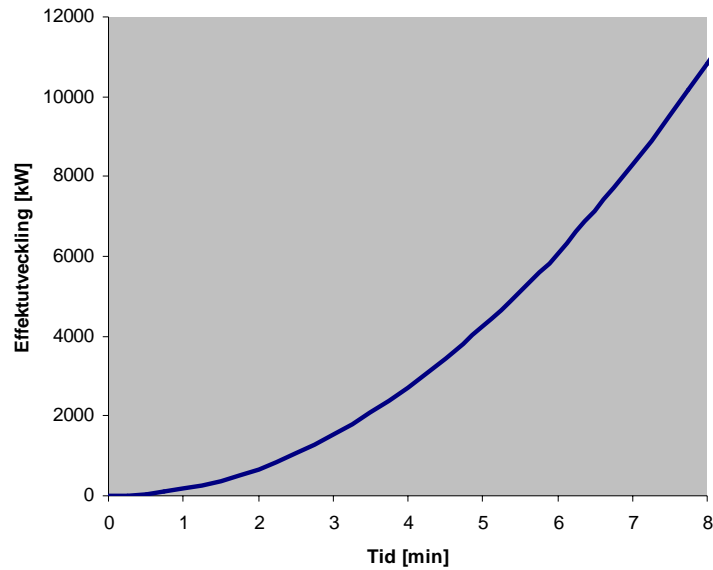
5.4.1 Val av effektkurva

En fundamental parameter för brandsimulering är effektutvecklingskurvan. Nedan följer en beskrivning av hur effektutvecklingen för en brand i försäljningsmontrar approximeras utifrån experimentella mätdata. En fullständig beräkningsgång med referenser finns i Bilaga A - Effektutvecklingar.

Varorna i en försäljningsmonter approximeras med andra motsvarande material vilkas effektutveckling tas från experimentella mätdata. Genom att summera de enskilda objektens maximala effektutvecklingar kan ett värde för hela montern beräknas. Den maximala effektutvecklingen för en försäljningsmonter uppskattas till 2 MW.

Den maximala effektutvecklingen för en brand spelar stor roll i brandförloppets senare delar, men ur utrymningssynpunkt är det viktigare att beakta brandens inledande förlopp. Effektutvecklingen antas tillväxa enligt αt^2 -modellen. Där klassificeras olika tillväxthastigheter som *slow*, *medium*, *fast* eller *ultra fast* (Karlsson, Quintiere, 2000). Möbler, byggnadsdelar och andra föremål kan då utifrån experiment tilldelas lämplig klass. Genom att beakta monterföremålens tillväxthastigheter kan ett värde för montern som helhet uppskattas. Branden i en försäljningsmonter bedöms tillväxa enligt en *fast αt^2 -kurva*.

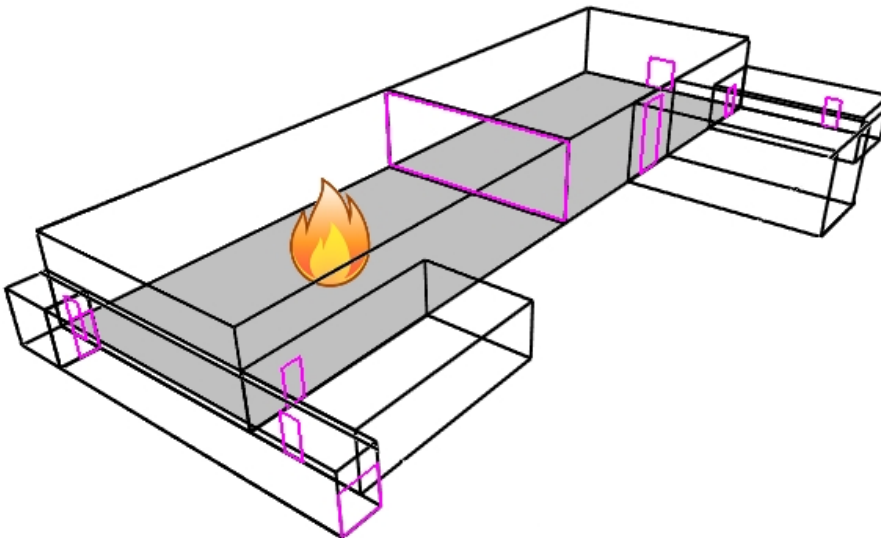
En följd av att montrarna på julmarknaden står tätt är att brandspridning mellan dem möjliggörs. Strålningsberäkningar som gjorts visar att strålningen från en brinnande monter är tillräckligt stor för att antända nästa monter. Brandspridningen mellan montrarna antas vara lika snabb som brandspridningen i en monter. Brandtillväxten förblir alltså lika snabb även efter att den ursprungliga montern nått sin maximala effektutveckling. Branden tillväxer tills hela rummet och alla dess montrar deltar i branden. Samlingslokalens stora volym gör att branden inte antas bli ventilationskontrollerad inom tiden för utrymning, utan den antas fortsätta tillväxa enligt en *fast αt^2 -kurva* (Figur 18).



Figur 18 Fast at^2 -kurva Västra Vallen: Kurvan representerar effektutvecklingen för brand i utställningsmontrar i Västra Vallen.

5.4.2 Simulering i CFAST

För att simulera brandförloppet i CFAST krävs en del ingångsvärden. Rumsgeometrin byggs upp tredimensionellt enligt Figur 19. För rumsdimensioner se Bilaga H - Rumsdimensioner. För att två-zonsmodellen ska vara giltig (avsnitt 4.2) delas samlingslokalen in i två lika stora zoner. Taket och väggarna i samlingslokalen tilldelas termiska egenskaper för "Concrete, Light Weight (6 in)".



Figur 19 Rumsgeometri: Samlingslokal V180 (uppdelad i två zoner) och intilliggande rum ritas i en förenklad modell i programmet CFAST. För rumsdimensioner se Bilaga H - Rumsdimensioner.

CFAST hanterar endast rektangulära rum, vilket innebär att samlingslokalens geometri måste förenklas. Det välvda taket approximeras med ett platt tak på genomsnittshöjden. Takhöjdens inverkan som en del av förenklingen i detta scenario undersöks i känslighetsanalysen, se avsnitt 5.4.5. Även golvytans spetsiga södra ände approximeras med en rektangulär form med samma area.

Tiden till kritiska förhållanden för olika parametrar anges nedan i Tabell 10. Ytterligare resultat redovisas i grafer i Bilaga B - Grafer. Sikten i den undre kalla zonen blir aldrig så dålig att den påverkar utrymningen. Övre och undre refererar till de skiktade zonerna.

Rum	Brandgaslagrets höjd	Temperatur övre	Temperatur undre	Sikt övre	Strålning
Samlingslokalen Södra	04:30*	03:00	09:00	03:10	06:30
Samlingslokalen Norra	04:00*	04:30	-	04:00*	08:10
V170 Entréhall	04:50	06:50	-	05:40*	
V160	03:40	05:30	-	05:00*	
V151	05:30	06:50	-	06:00*	
V196 Kanongång	05:30	07:20	-	06:00*	

Tabell 10 Tid till Kritiska förhållanden: Olika parametrar ger olika tid till kritiska förhållanden för vardera rum under scenariot Julmarknad i Västra Vallen. Tiden anges i minuter:sekunder. Den tid som avgör när kritiska förhållanden infinner sig anges med *.

5.4.3 Utrymning

Branden antas starta i en försäljningsmonter i samlingslokalens sydöstra hörn (Figur 16) och därmed blockeras Passage 1. Personer som befinner sig i samlingslokalen tvingas gå omvägen ut genom den sydliga Passage 2 till Utgång 3, alternativt använda Utgång 1 eller 2. Personer som befinner sig i rum V155 och V160 antas kunna passera genom utrymnet V151 och därmed utrymma genom Utgång 3.

De utställare som har plats närmast en utrymningsväg får särskilda instruktioner om att hålla passagen fri från föremål, se Bilaga E – Instruktioner till Utställare.

De personer som befinner sig nära branden antas upptäcka den efter ungefär 30 sekunder. Då har brandgasproduktion och flammor blivit så pass stora att alla personer i närheten antas bli varse att det brinner. Tiden det sedan tar dem att besluta sig om att utrymma antas bli ungefär 30 sekunder. Den totala tiden från brandstart till förflyttning för personer i brandrummet blir därmed *en minut*.

För personer längre bort i samlingslokalen som inte ser branden tar det längre tid att upptäcka den. De informeras först av personer som redan påbörjat utrymningen, eller när någon detektor aktiverar utrymningslarmet i byggnaden. Ringsignalen som då ljuder ger dem dock ingen mer detaljerad information. Varseblivningstiden sätts till en minut. Det tar dem sedan runt 30 sekunder att besluta sig för att utrymma eftersom de påverkas av personer som redan börjat utrymma. Den totala tiden från brandstart till förflyttning blir därmed *en och en halv minut*.

För personer som befinner sig i intilliggande rum tar det längre tid att upptäcka att något hänt. De informeras först när någon detektor aktiverar utrymningslarmet i byggnaden. Ringsignalen som då ljuder ger dem dock ingen mer detaljerad information.

För att uppskatta aktiveringstiden för rökdetektorer kan de approximeras med en värmedetektor som aktiverar vid en temperaturhöjning på 13°C (Nilsson, Holmstedt, 2007) och har ett lågt RTI-värde. En beräkning med mjukvaran Detact-T2 ger knappt 2 minuter med en takhöjd på 5,15 m, tillväxthastighet *fast*, aktiveringstemperatur 13°C över omgivningstemperaturen samt ett avstånd mellan detektorerna på 8 meter. RTI sätts till 0,5 eftersom rökdetektorer inte har någon termisk tröghet.

Simuleringen i CFAST gav att en 13°C temperaturhöjning i brandgaslagret inträffar efter cirka 1 minut och 20 sekunder. Vid denna tid uppgår brandgaslagrets tjocklek till 1 meter och dess sikt till 10 meter. Eftersom förbrinntiden har bortsetts ifrån vid simuleringarna i Detact-T2 och CFAST kan det antas att programmen ger för långa tider till aktivering. En mängd sotpartiklar har i verkligheten redan hunnit bildas innan simuleringarna i datorprogrammen startar. Utifrån ovanstående resonemang görs bedömningen att detektionstiden för rökdetektorer i samlingslokalen är *en minut*.

Eftersom personer i andra delar av byggnaden inte ser branden eller dess brandgaser, tar det längre tid för dem att besluta sig om att utrymma. Denna besluts- och reaktionstid kan antas vara en minut (Frantzych, 2001). Den totala tiden från brandstart till förflyttning för personer i intilliggande rum blir därmed *två minuter*.

Förflyttningstiden beror på hur fort de utrymmande personerna går. Bland besökarna förväntas det finnas många äldre personer och barn som går långsamt varför stockning i trappor och andra trängre passager förväntas förekomma.

5.4.4 Simulering i Simulex

För att simulera utrymningsförloppet används programmet Simulex. Populationen ”Shoppers” används då den anses bäst motsvara besökarnas fördelning. I ”Shoppers” är 35 % vuxna män, 40 % vuxna kvinnor, 15 % barn och 10 % äldre personer. Besökarnas totala tid från brandstart till förflyttning varierar slumpmässigt med ±15 sekunder. Figur D4 i Bilaga D - Startuppställningar visar besökarnas placering vid utrymningens startskede, samt vilken utrymningsväg de använder.

I Tabell 11 redovisas tiden det tar från att branden startar tills rummen är utrymda.

Rum	Tid
V160	02:40
V151	03:30
Samlingslokalen Norra	03:40
Samlingslokalen Södra	03:50
V170 Entréhall	04:10
V196 Kanongången	04:50

Tabell 11 Utrymningstider: tiden det tar från att branden startar tills rummen är utrymda under scenariot Julmarknad i Västra Vallén. Tiden anges i minuter:sekunder.

5.4.5 Känslighetsanalys

Syftet med känslighetsanalysen är att undersöka vilka variabler som påverkar slutresultatet samt hur stora avvikelserna blir. De variabler som ändras påverkar dels tiden till att kritiska förhållanden uppstår och dels tiden det tar att utrymma.

I scenario 3 anses variablerna nedan vara osäkerheter och de undersöks i en känslighetsanalys. Då inte annat anges berör känslighetsanalysen enbart brandrummet.

Tillväxthastighet hos branden

En ökning av tillväxthastigheten från 0,047 kW/m² till 0,080 kW/m² medför att tiden till kritiska förhållanden med avseende på temperatur, strålning, sikt och höjd på brandgaslager blir kortare. Temperaturen 80°C uppnås 2 minuter tidigare i den undre zonen, det vill säga efter tiden 06:40. Höjden på brandgaslaget når den kritiska höjden 2,2 meter 20 sekunder tidigare än i scenariebranden och kritiska förhållanden råder efter 04:10. Strålningsintensitet på 2,5 kW/m² uppnås 01:50 tidigare och når sitt kritiska värde efter 04:40.

Takhöjd i rummet

Takhöjden ändras för att undersöka inverkan av förenklingen i simuleringen. En sänkning av takhöjden från 5 meter till 4 meter medför att kritisk temperatur i övre brandgaslaget uppnås 30 sekunder tidigare vid tiden 02:30, medan ingen skillnad i undre zonen observeras. Varken sikt eller strålning ändras nämnvärt. Höjden på brandgaslaget når naturligtvis den kritiska höjden tidigare och infaller efter 04:00 vilket också är 30 sekunder tidigare än i scenariebranden.

Rökproduktion från branden

Inverkan av material i scenariot med avseende på sikten undersöks genom att ändra rökpotentialen. Rökproduktionen för branden ändras från CFAST:s värden för trä till CFAST:s värden för en soffa vilket leder till att temperaturen i den undre zonen uppnår 80°C efter 07:30. Även sikten blir avsevärt sämre sent i brandförloppet då kritiska förhållanden redan har inställt sig. Det är ingen skillnad i strålning, höjd på brandgaslager eller temperatur i övre brandgaslaget.

Utrymningsvariabler

Under simuleringarna inrymmer Västra Vallen 820 personer vilka ska utrymma genom tre utgångar. Trycket på varje utgång blir därför mycket stort och kraftig köbildning uppstår. Den 2 meter breda utgång 1 i norra delen av rum V180 tillåter ett stort flöde av personer och det visar sig att då den används som utrymningsväg utryms lokalen fort. Om den däremot blockeras tvingas personer välja andra smalare utgångar och utrymningsförloppet tar betydligt längre tid. Utgång 1 kan däremot inte användas som enda utrymningsväg. För att utrymningen ska bli effektiv krävs att personer utrymmer genom alla nödutgångar som står till förfogande och att fördelningen över dessa är sådan att de töms ungefär samtidigt.

Utrymningstiden beror av hur många personer som befinner sig i lokalen. Det krävs däremot kraftiga variationer av personantalet för att utrymningstiden skall förändras nämnvärt.

Sammanfattning

Tillväxthastighet och framförallt takhöjd är de variablerna som påverkar tid till kritiska förhållanden. Det ska noteras att detta gäller för en försämring av variablerna ur utrymningsperspektiv och det har inte analyserats hur en förbättring av variabler påverkar förhållanden. Att personer använder alla utrymningsvägar som finns och att huvudentrén inte blockeras är de variablerna som har störst inverkan på utrymningstiden.

5.4.6 Resultat & Analys

I Tabell 12 följer en sammanställning av resultaten från simuleringarna. Om tid för utrymning understiger tid till kritiska förhållanden kan utrymningen anses vara tillfredställande. Tiden till kritiska förhållanden är framtagen med CFAST och tiden för utrymning med Simulex. Tiden till kritiska förhållanden är den kortaste tiden tills något av de kritiska kriterierna för sikt, temperatur eller strålning uppfylls. En förutsättning är dock att då kritiska värden för sikt eller temperatur uppkommer, måste brandgaslagret redan ha sjunkit under kritisk nivå. Om förhållandena i brandgaslagret är goda kan utrymning tillåtas ske genom det.

Rum	Tid till Kritiska förhållanden	Tid för Utrymning	Tillfredställande
V160	05:00	02:40	Ja
V151	06:00	03:30	Ja
Samlingslokalen Norra	04:00	03:40	Ja
Samlingslokalen Södra	04:30	03:50	Ja
V170 Entréhall	05:40	04:10	Ja
V196 Kanongången	06:00	04:50	Ja

Tabell 12 Resultat Julmarknad i Västra Vallen: För respektive rum jämförs Tid till kritiska förhållanden med Tid för utrymning varpå det avgörs om utrymningen är tillfredställande.

Simuleringarna visar att utrymning av lokalerna kan genomföras innan kritiska förhållanden uppstår.

Trots att utrymning är tillfredsställande i alla rum visar känslighetsanalysen att utgång 1 har stor betydelse för utrymningsförloppet. Ett vidare resonemang förs därför i avsnitt 6.2.

6. Diskussion

I detta avsnitt diskuteras de antaganden som gjorts, tveksamheter i scenarierna samt de handberäkningar som gjorts.

6.1 *Brister i antaganden och bedömningar*

Trapphusen har en komplex geometri och är placerade långt från brandrummet, därför är tider till kritiska förhållanden i dessa, framtagna med programmet CFAST, ej adekvata. Tiderna kan endast ses som grova riktlinjer för när en utrymning ska vara fullbordad. Dessutom görs bedömningen att om utrymning sker tillfredsställande i ett utrymme närmare brandrummet sker även utrymning säkert i trapphusen.

Vid utrymningssimuleringar i programmet Simulex görs antagandet att personer undviker stockningar i största möjliga mån, vilket betyder att personer fördelas så att utgångarna från rummet töms vid ungefär samma tidpunkt. Resonemanget bygger på att personer antas eftersträva att välja utgången med minst kö. Detta antagande ifrågasätts dock då människor enligt Frantzich (2001) har en tendens att använda samma utgång som de kom in genom.

I det fallet då tiden för utrymning är samma som tid till kritiska förhållanden anses utrymningen vara tillfredsställande, även om inga marginaler finns. Detta antagande är en följd av konservativa antaganden i scenariot och av de säkerhetsfaktorer som finns i modeller och simuleringsprogram. Dessutom utgörs det kritiska förhållandet av sikten och personer nära en utgång anses kunna utrymma säkert även om sikten är nedsatt.

Toxiciteten hos brandgaserna har inte beaktats som en parameter för kritiska förhållanden eftersom den är svårbedömd. Försummandet av toxiciteten bör inte få stora konsekvenser då bränslet till stor del består av naturmaterial som vid välventilerad förbränning bildar förhållandevis lite toxiska brandgaser.

6.2 *Scenarier*

I scenarierna är alla dörrar på våningsplanen uppställda. För att ytterligare öka säkerheten bör de självstängande dörrar som finns i slottsbyggnaden aldrig ställas upp eller på annat sätt blockeras.

Under julmarknaden när det är mycket folk i lokalerna kan en brand antas upptäckas innan rökdetektorerna aktiverar utrymningslarmet. För att minska varseblivningstiden för personer i andra delar av fastigheten kan fler larmknappar installeras. Larmknapparna placeras lämpligen i samlingslokalerna där mycket folk vistas.

6.2.1 *Scenario 1 – Föreställning i Bröllopsalen*

Enligt Figur 10 finns fyra utgångar från Bröllopsalen. Utgång 1, utgång 2 och utgång 4 kan användas som utgångar i en utrymningsväg. Utgång 3 leder till utrymnen som har långa och otillgängliga utrymningsvägar och ska därför inte användas som utrymningsväg.

De två utrymningsvägar som inte blockeras av scenen ska hållas fria. Om de blockeras helt eller delvis ökar tiden för utrymning och en säker utrymning kan inte garanteras. I Bilaga F – Scenuppsättning 1997 visas en planritning över en scenuppsättning från 1997 där utgång 1 är överbyggd av en träbalkong. Om en brand uppstår i balkongen kan den hindra personer att utrymma genom utgången. Scenuppsättningen är ett exempel på hur Bröllopsalen inte ska

inredas under föreställning. Vidare ska de rum som ingår i utrymningsvägen vara inredda så att en utrymning inte hindras. Om till exempel utgång 4 används som utrymningsväg ska backstagerummen V305 och V306 ha breda passager så att utrymmande personer inte hindras.

6.2.2 Scenario 2 – Julmarknad i Herreköket

I scenariot Julmarknad i Herreköket infinner sig kritiska förhållanden i det angränsande rummet V206 (Figur 13) innan det är utrymt. Detta skulle kunna åtgärdas genom att öppna upp nordvästra utgången i Borgstugan som i dagsläget inte används under Gammeljul, då den blockeras av en försäljningsmonter. Dörren i utgången öppnas i dagsläget inåt. För att utgången ska fungera som utrymningsväg skall dörren enligt BBR 5:342 (Boverket 2006a) vara utåtgående i utrymningsriktningen. I samma utrymningsväg används ett draperi som rumsavskiljare. Detta skall tas bort för att inte försvåra utrymning.

I rum V203 är ett glöggbord placerat. Placeringen bör vara sådan att gångbredden i rummet hålls så stor som möjlig för att underlätta utrymning.

6.2.3 Scenario 3 – Julmarknad i Västra Vallen

Västra Vallen har tillfredsställande utrymning men en känslig parameter är entrédörren, utgång 1 (Figur 16) på norra kortsidan. Dörren har ett stort passagemått och är dessutom huvudingång för samlingslokalen. Om dörren blockeras blir tiden för utrymning mycket lång, och säker utrymning kan inte garanteras. För att undvika att entrédörren blockeras måste brandbelastningen i den norra delen av lokalen vara låg och utrymningsvägen hållas fri. Mängden brännbart material i den norra delen av lokalen ska begränsas. Detta bör ske i samråd med räddningstjänsten som har bättre möjlighet att bedöma olika materials brandtekniska egenskaper.

6.3 Handberäkningar

Handberäkningar för rökfyllnad och sikt utförs och resultaten jämförs med resultat från CFAST. För fullständiga beräkningar se Bilaga G - Handberäkningar.

Rökfyllnadsberäkningarna görs enligt en modell framtagen av Yamana-Tanaka. Handberäkningarna ger ungefär dubbelt så långa tider till kritiska förhållanden jämfört med CFAST. Resultatens giltighet ifrågasätts eftersom densiteten på brandgaserna visar sig vara mellan 0,4 och 0,6 kg/m³ och antagandet att luftens densitet inte varierar med tiden uppfylls ej.

Siktberäkningarna görs enligt en modell baserad på den naturliga logaritmen som finns beskriven i Kompendium i Aktiva System – Detektion (Nilsson, Holmstedt, 2007). Handberäkningarna ger ungefär hälften så bra sikt som CFAST gör vid samma tidpunkt.

7. Förslag till Åtgärder

Det kan vara önskvärt att installera olika aktiva system som till exempel sprinkler eller magnetuppställda dörrar. Fysiska ingrepp på byggnaden av detta slag medför däremot permanenta skador på konstruktionen och bör undvikas på grund av att slottet är en kulturbyggnad. Hänsyn till detta tas i utformandet av åtgärdsförslag.

Personsäkerheten vid utrymning på Vadstena slott kan inte säkerhetsställas i händelse av brand. Nedan följer en lista på åtgärder där *Skall* är åtgärder som krävs för att personsäkerheten ska bli acceptabel. *Bör* är en rekommendation för att ytterligare förbättra brandskyddet på Vadstena Slott. För en djupare diskussion av åtgärderna, se avsnitt 6. och avsnitt 7.1.

Skall

- Under teater- eller operaföreställningar i Brölloppsalen **skall** det totala personantalet, inklusive produktionen, uppgå till maximalt 230 personer. Bredden på alla gångar i Brölloppsalen, även de i gradängerna, **skall** vara minst 1,40 meter. Om utgång 4 används som utrymningsväg så **skall** extra hänsyn tas till att passagen hålls fri.
- Nordvästra utgången från Borgstugan på plan 2 **skall** öppnas och fungera som utrymningsväg. Detta gäller när slottedelen är öppen för besökare och under alla arrangemang i slottsbyggnaden. Vidare **skall** dörren i utgången byggas om så att den öppnas utåt från Borgstugan. Draperiet i utrymningsvägen i angränsande rum V208 **skall** avlägsnas för att hålla utrymningsvägen fri.
- Mängden brännbart material i den norra delen av Västra Vallens samlingslokal **skall** begränsas i samråd med räddningstjänst.
- I Brölloppsalen, Herreköket respektive Borgstugan **skall** max 150 personer vistas. Undantag gäller i Brölloppsalen under föreställning anordnad av Vadstena Akademien.
- Samtliga utrymningsskyltar i fastigheten **skall** vara belysta eller genomlysta.
- Rum V203 på plan 2 är en viktig del av en utrymningsväg och föremål **skall** placeras så att gångbredden i rummet hålls så stor som möjlig för att underlätta utrymning.

Bör

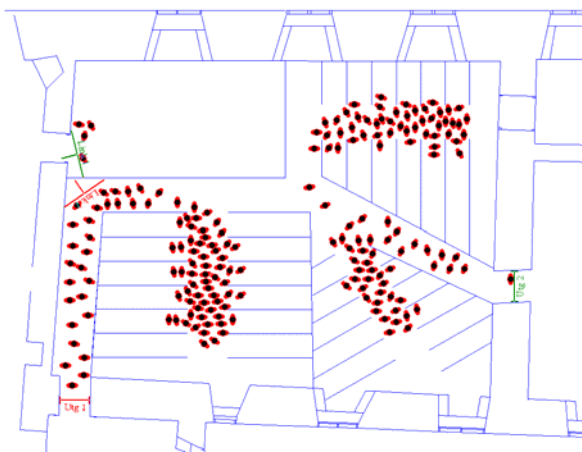
- Provisoriskt uppsatta halogenlampor **bör** inte användas under Gammeljul i de lokaler som inrymmer besökare.
- Larmknappar **bör** installeras i de samlingslokaler i fastigheten där de inte redan finns installerade.
- Självstängande dörrar **bör** aldrig hållas uppställda.

7.1 Validering av åtgärder

Nedan motiveras de åtgärder som kan styrkas med hjälp av simulering.

7.1.1 Personantal och gångbredder i Brölloppssalen

För att Brölloppssalen ska kunna utrymmas i tid innan kritiska förhållanden uppstår, ändras ingångsvärdena för simulering i programmet Simulex. Bredder på gångar i respektive sektion av gradänger, gångarna mellan scen och gradäng samt gångarna mellan gradänger ökas till 1,40 meter. Därmed minskar den totala ytan på gradängerna, vilket minskar antalet åskådare som får plats. Scenpersonal antas som tidigare uppgå till 30 personer. De förväntas gå ner från scenen och utrymma genom utgång 1 (Figur 10). Det totala utrymmande personantalet fördelas ungefär lika mellan utgång 1 och 2. Figur 20 visar var stockning uppstår i simuleringen i Simulex. För att utrymningstiden ska understiga de 2 minuter och 50 sekunder som det tar innan kritiska förhållanden inträffar, måste det totala personantalet minska till 230. Vikten av att öka bredden i gångarna och minska personantalet är därmed visad.



Figur 20 Utrymning av Brölloppssalen: Då åtgärder genomförs sker säker utrymning men stockning uppstår fortfarande.

7.1.2 Nordvästra utrymningsvägen i Borgstugan

Då den västra utgången i Borgstugan som leder till trapphus T6 (Figur 5) blockeras av försäljningsmontrar kan den inte användas som utrymningsväg. Alla 150 personer i lokalen tvingas därför utrymma genom västra spiraltrappan och Västra trapphuset T14 och utrymningstiden överstiger då tiden till kritiska förhållanden. Se Figur 21 som visar var stockningar uppstår i simuleringen i Simulex.



Figur 21 Utrymning av julmarknad: Bild från Simulex visar var stockningar uppstår under utrymningen av Plan 2 under julmarknaden.

Om försäljningsmontrarna som blockerar den västra utgången tas bort kan den användas som utrymningsväg. Med dessa förutsättningar görs en simulering i programmet Simulex som ger en utrymningstid på 3 minuter i Borgstugan och 3 minuter och 20 sekunder i rum V206 (Figur 13) vilket jämförs med tiden till kritiska förhållanden på 4 minuter och 10 sekunder i Borgstugan och 3 minuter och 30 sekunder i rum V206. Utrymningstiden understiger därmed tiden till kritiska förhållanden och utrymningen kan anses vara tillfredsställande. Vikten av att använda den västra utgången i Borgstugan som utrymningsväg är därmed visad.

7.1.3 Mängden brännbart material i Västra Vallen

Utgång 1 och utgång 2 (Figur 16) i västra Vallen är vardera 2 meter breda. Utgång 1 mynnar direkt ut i det fria och tillåter ett mycket högt flöde av personer. Denna utgång är därför mycket viktig när lokalen utryms och får därför inte blockeras av en brand. Utgång 2 mynnar också direkt i det fria men nås genom att först passera genom entréhallen. Betydelsen av utgång 2 som utrymningsväg antas därför vara mindre än utgång 1.



Figur 22 Utrymning av julmarknad: Bild från Simulex visar var stockningar uppstår under utrymningen av Västra Vallen under julmarknaden då branden blockerar de norra utgångarna.

Om montrar antas vara placerade i hela samlingslokal V180 kan en brand utbryta i norra delen av lokalen och blockera både utgång 1 och utgång 2. Utrymningen av de 820 personerna måste då ske genom utgångar i södra delen av lokalen. Med dessa förutsättningar görs en simulering i programmet Simulex som ger en utrymningstid av samlingslokalen V180 på 8 minuter. Hur stockningarna uppstår visas i Figur 22. Utrymningstiden överstiger därmed tiden till kritiska förhållanden med 4 minuter och utrymningen är inte tillfredsställande. Vikten av att utgång 1 används som utrymningsväg är därmed visad och kravet på låg brandbelastning i norra delen av samlingslokalen är stärkt.

8. Slutsats

Persoonsäkerheten vid en brand på Vadstena Slott är i dagsläget inte tillräcklig. I två av de tre undersökta scenarierna i denna rapport kommer utrymmande personer att utsättas för kritiska förhållanden. Om åtgärderna som föreslås i denna rapport under rubriken *skall* utförs, kan persoonsäkerheten vid en brand på Vadstena Slott anses vara acceptabel. Detta är under förutsättning att verksamheten inte avviker från den nuvarande.

9. Referenslista

Litteratur

- Abrahamsson, M. (1997) *Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler, Rapport 5007*. Lund: Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik
- Bengtsson, L-G. (1998). *Övertändning, backdraft och brangasexplosion sett ur räddningstjänstens perspektiv*. Karlstad: Räddningsverket
- Boverket. (2006a). *Boverkets byggregler, BBR*. Karlskrona: Boverket
- Boverket. (2006b). *Utrymningsdimensionering*. Karlskrona: Boverket
- Brandskyddshandboken*. (2005). Rapport 3134. Lund: Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik
- Drysdale, D. (1998). *An Introduction to Fire Dynamics (2nd edition)*. Chichester: John Wiley & Sons
- Frantzich, H. (2001). *Tid för utrymning*. Lund: Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik
- Karlsson, B. Quintiere, J. G. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. Boca Raton: CRC Press
- Larsson, R. (1999). *Fönsterglas under värmepåverkan – samt beskrivning och utvärdering av datorprogrammet BREAK1*. Lund: Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik
- Nilsson, D. Holmstedt, G. (2007). *Kompendium i Aktiva system –Detektion*. Lund: Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik
- Nilsson, P-O. (2007). *Beskrivning av brandskyddet på Vadstena slott*. Stockholm: Brand & Säkerhet AB.
- Räddningsverket. (2007). *Räddningstjänst i siffror: Fakta om räddningstjänstens insatser 1996-2006: NCO 2007:4*. Karlstad: Räddningsverket.
- Spearpoint, M. J.; Mowrer, F. W.; McGrattan, K. B. (1999). *Simulation of a Compartment Flashover Fire Using Hand Calculations, Zone Models and a Field Model. (1000 K)*. Paper presented at the International Conference on Fire Research and Engineering (ICFRE3), Third (3rd). Proceedings. Society of Fire Protection Engineers (SFPE), National Institute of Standards and Technology (NIST) and International Association of Fire Safety Science (IAFSS). October 4-8, 1999, Chicago, IL, Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA
- Särdqvist, S. (1993). *Initial Fires: RHR, Smoke Production and CO Generation from Single Items and Room Fire Tests*. Lund: Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik
- Tabellsamling Brandkemi*. (2006). Kursen VBR022. Lund: Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik
- Utrymningslarm*. (2003). Rekommendation. Svenska Brandskyddsföreningen, Brandskyddsföreningens service AB

Muntliga källor

Gojkovic, Daniel. Universitetsadjunkt, Lund: Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik

Rydberg, Per. Slottsarkitekt för Vadstena slott, Vadstena

Schultzberg, Tina. Vadstena: Vadstena Turistbyrå

Bilaga A - Effektutvecklingar

Utifrån experimentdata på de i branden aktuella materialen uppskattas den maximala effektutvecklingen och tillväxthastigheten. Genom att summera de olika materialens maximala effektutveckling och ta ett genomsnitt av de ingående materialens tillväxthastighet fås en kurva på effektutvecklingen. Brandens effektutvecklingskurva representeras av modellen:

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

\dot{Q}	Effekt	[kW]
α	Tillväxthastighet	[kW/s ²]
t	Tid	[s]

Förbrinntiden bortses från då den är mycket svår att uppskatta. Den beror dels på objektet i sig och dels på antändningskälla och tillvägagångssättet för antändningen. Med detta val kommer resultatet med avseende på tid till kritiska förhållanden att bli konservativt (Karlsson, Quintiere, 2000).

För att kontrollera om branden blir ventilationskontrollerad eller beror av bränslet beräknas maximal effektutveckling med avseende på luftflödet in i lokalen genom följande ekvationer:

$$\dot{m}_a = 0,5 \cdot A_0 \cdot \sqrt{H_0} \quad (\text{A.2})$$

$$\dot{m}_{O_2} = m_a \cdot 0,23 \quad (\text{A.3})$$

$$\dot{Q}_{\max} = m_{O_2} \cdot \Delta H_{c,O_2} \quad (\text{A.4})$$

\dot{m}_a	massflöde luft	[kg/s]
\dot{m}_{O_2}	massflöde syre	[kg/s]
$\Delta H_{c,O_2}$	förbränningsentalpi	[kJ/kg]
A_0	öppningsarea	[m ²]

Ekvationen är en förenkling och gäller då temperaturen i rummet är över 300°C vilket antas vara korrekt när branden är fullt utvecklad. Antagande för beräkningarna är att massprocent syre i luften är 23 procent och varje kilo syre utvecklar 13,1 MJ.

Brand i Scen

Den representerande branden är ett arrangemang av möbler och inredning på scen som börjar brinna och sprider sig till scengolvet. Antändningskällan kan vara elektriskt fel, anlagd brand eller oförsiktighet av publiken. Möblemanget består av en trähylla, en soffa, två stolar och en tygbeklädd kuliss med träpanel. Golvet består av träskivor upphöjda över mark. Horisontell flamspridning är långsam och bedömningen görs att endast golvarean som bär möbelarrangemanget antänder och brinner.

Brandens maximala effektutveckling är summan av alla ingående materialens maximala effektutveckling. Detta ska motsvara den värsta troliga branden.

Föremålen i branden har följande brandtekniska egenskaper (Abrahamsson, 1997)

- Trästolar kan antas utveckla 170 kW/m^2 . Två stolar utgör tillsammans 1 m^2 , vilket resulterar i effektutvecklingen 170 kW .
- 2 gardiner av bomull/polyester kan antas utveckla 240 kW/m^2 .
- En träpanel som vägg med höjden 240 cm kan antas utveckla 600 kW/m bredd. Kulissen är 3 meter bred vilket resulterar i effektutvecklingen 1800 kW .
- Träpanel som golv kan antas utveckla 170 kW/m^2 och arean av scengolvet som brinner är 10 m^2 , vilket resulterar i effektutvecklingen 1700 kW
- Soffan består av obehandlat skumplast och nylon och väger mindre än 34 kg . Effektutvecklingen är ungefär 1700 kW . (Karlsson, Quintiere, 2000).
- Avläsning i Figur A1 visar att hyllan maximalt utvecklar 1000 kW , vilket sker cirka 360 sekunder efter antändning. Tillväxthastigheten i hyllan approximeras grovt genom ekvation (A.1) till $\alpha = \sqrt{\dot{Q}/t^2} = 1000/360^2 = 0,008 \text{ kW/s}^2$ vilket approximeras med medium, M.

Objekt	Maximal effektutveckling, Q_{\max} [kW]	Tillväxthastighet	Mängd material	Källa
Hylla(SSä, Y3.3/14)	1000	Medium	19,1 kg $0,64 * 0,38 * 1,22 \text{ m}^3$	Särdqvist, 1993
Soffa (EFD)	1700	Fast	Mindre än 34 kg	Karlsson, Quintiere, 2000
Stol	170	Medium, Fast	2 st, 1 m^2 totalt	Abrahamsson, 1997
Gardin	240	Fast, Ultra Fast	2 st, $(2,13 * 1,25 \text{ m}^2)$	Abrahamsson, 1997
Kuliss, trä	1800	Fast	1 st, $2,4 * 6 \text{ m}^2$	Abrahamsson, 1997
Golv, trä	1700	Medium, Fast	1st, 10 m^2	Abrahamsson, 1997
Summa	6610			

Tabell A1: Data för ingående material i den representerade scenbranden.

Materialen som ingår i branden utgör tillsammans brandens maximala effektutveckling, ungefär 6600 kW . Brandens tillväxthastighet bedöms som *fast* enligt experimentdata från tabell A1. Enligt (Karlsson, Quintiere, 2000) motsvarar den hastigheten $0,047 \text{ kW/m}^2$.

Tiden till den maximala effektutvecklingen nås efter 375 sekunder enligt ekvation (A.1)

$$t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{6610}{0,047}} = 375 \text{ sekunder}$$

Detta resultat förutsätter att branden är bränslekontrollerad under hela förloppet. Eventuell övergång till ventilationskontrollerad brand kontrolleras nedan med förutsättningen att det finns 3 helt öppna dörrar med måtten $1 \times 2 \text{ m}^2$ i lokalen. Dörrarnas totala area, A_0 , är 6 m^2 och dörrhöjden, H_0 , är 2 meter.

Beräkning av luftflödet in i lokalen sker genom insättning i ekvation (A.2):

$$\dot{m}_a = 0,5 \cdot 6 \cdot \sqrt{2} = 4,24 \text{ kg/s}$$

Delen syre av luftflödet beräknas genom ekvation (A.3):

$$\dot{m}_{O_2} = \dot{m}_a \cdot 0,23 = 0,98 \text{ kg/s}$$

Resultatet blir maximala effektutvecklingen begränsad av ventilation genom tillämpning av ekvation (A.4):

$$\dot{Q}_{\max} = 0,98 \cdot 13,1 = 12,8 \text{ MW}$$

Branden är inte ventilationskontrollerad eftersom den maximala effektutvecklingen är lägre inte uppnår 12.8 MW.

Effektkurvan för scenariot följer sambandet $\dot{Q} = \alpha \cdot t^2$ upp till maximal effektutveckling 6600 kW och redovisas i Figur 11.

Brand i Försäljningsmonter

Den representerande branden är ett arrangemang av försäljningsmontrar där branden sprider sig till närliggande monter. Antändningskällan kan vara en felaktigt placerad halogenlampa, anlagd brand eller oförsiktighet av julmarknadens gäster. En monter under gammeljul består av ett bord och på bordet står det artiklar till försäljning, till exempel tomtar i ull, halmbockar, kläder med mera. För att få ut en brandbelastning antas en genomsnittlig monter bestå av ett träbord, på vilket det ligger brännbara material, samt en julgran och en papperskorg som står bredvid. Brandbelastningen på bordet antas bestå av en säck med torkade växtmaterial samt en mängd bomullstyg. Dessa redovisas i tabell A2 nedan.

Objekt	Maximal Effekt [kW]	Tillväxthastighet, alfa [kW/s ²]	Mängd material	Källa
Säck med växtmaterial.	700	0,024	4 kg	Särdqvist, 1993
Halvtorr julgran	500	0,1	7 kg	Särdqvist, 1993
Papperskorg	350	0,05	3,5	Särdqvist, 1993
Tyg, (bomullsgardin)	190	0,047	5,3 m ²	Abrahamsson, 1997
Träbord	340	0,012	2 m ²	Abrahamsson, 1997

Tabell A2: Data för ingående material i den representerade branden i julbord.

Summan av materialens maximala effektutveckling är 2 MW och medelvärdet på tillväxthastigheten är 0,047 kW/m².

Under gammeljul kommer olika montrar att vara uppställda med ett avstånd på max en meter mellan dem. Effektutvecklingen i en monter är så pass stor att branden antas sprida sig vidare till intilliggande bord. Effektkurvan för brand i julbord följer sambandet $\dot{Q} = 0,047 \cdot t^2$ och det kommer att finnas så pass mycket material att effektutvecklingskurvan kommer att fortsätta växa kvadratisk under hela utrymningsförloppet.

För att kontrollera om branden sprider sig till intilliggande bord och hur stor effektutveckling den kan utveckla innan den blir ventilationskontrollerad har följande beräkningar gjorts:

Först redovisas beräkning över vilket det största avstånd det kan vara mellan två bord för att en effektutveckling på 2 MW ska kunna antända nästa bord.

Antagande:

- Temperaturen i flamman är 1300 K
- Emissiviteten sätts till 0,7
- Strålningsintensiteten för antändning i trä med hjälp av liten flamma sätts till 13 kW/m² (Bengtsson, 1998)
- Strålning mot bordet beräknas att det sker från platta till punkt.
- Maximal effektutveckling är 2 MW

För att beräkna strålningsintensiteten från yta till punkt behövs flammans höjd och bredd. Höjden på flamman beräknas med hjälp av Heskestad flamhöjdskorrelation (Karlsson, Quintiere, 2000)

$$L = 0,235 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1,02d \quad (\text{A.5})$$

d	Branddiameter	[m]
\dot{Q}	Effektutveckling	[kW]
L	Flamhöjd	[m]

Bordet är en meter brett och två meter långt, varpå brandens diameter approximeras till $\sqrt{2}$.
Insatt i ekvation (A.5)

$$\Rightarrow L = 0,235 \cdot 2000^{2/5} - 1,02 \cdot \sqrt{2} = 3,5 \text{ m}$$

Kontroll av korrelationens giltighet för flammhöjden (Karlsson, Quintiere, 2000):

$$\dot{Q}^* = \left(\frac{L/d + 1,02}{3,7} \right)^{5/2} \quad (\text{A.6})$$

För att korrelationen ska vara giltig ska \dot{Q}^* ligga mellan 0,5 och 1000 kW (D. Gojkovic, föreläsning, 2006)

$$\dot{Q}^* = \left(\frac{3,5/\sqrt{2} + 1,02}{3,7} \right)^{5/2} = 0,87 \Rightarrow \text{korrelationen är giltig.}$$

Sedan beräknas synfaktorn ifrån centrum av flammans underkant. Detta medför att basen på flammen indelas i två lika stora delar. Den totala synfaktorn beräknas genom (Drysdale, 1998):

$$\phi_{tot} = \frac{\dot{Q}''}{\varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4} \quad (\text{A.7})$$

σ	Stefan-Boltzmanns Konstant	$[\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4]$
ϕ	Synfaktor	$[-]$
ε	emisiviteten	$[-]$
\dot{Q}''	Effektutveckling	$[\text{W}/\text{m}^2]$

Insättning av antaganden i ekvation (A.7) ger en total synfaktor på:

$$\Rightarrow \phi_{tot} = \frac{13000}{0,7 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 1300^4} = 0,11 \Rightarrow \phi = 0,057$$

För att veta hur långt ifrån ett bord kan stå för att få en strålningsintensitet på 13 kW används Tabell A3(Drysdale, 1998).

S-värdet beräknas genom:

$$S = \frac{L_1}{L_2} \quad (\text{A.8})$$

L_1	Halva flambasen	$[\text{m}]$
L_2	Flammhöjden	$[\text{m}]$

Insättning i ekvation (A.8) med bredden $\frac{\sqrt{2}}{2}$ och höjden 3,5 ger ett S -värde på

$$S = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{3,5} = 0,20$$

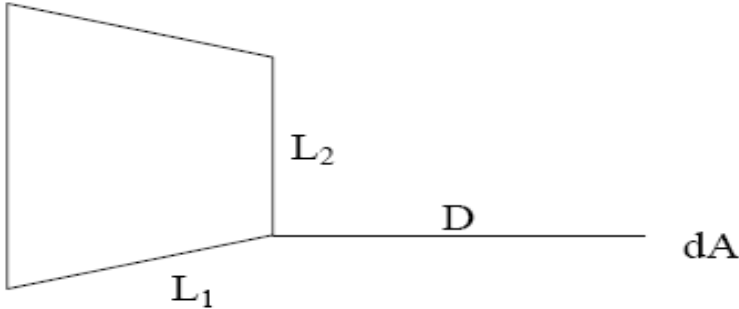
$$\phi = 0,057 \text{ och } S=0,2 \Rightarrow \alpha=0,37$$

Beräkning av synfaktor från yta till punkt

Table 2.7 Values of $\phi(\alpha, S)$ for various values of α and S^*

α	$S = 1$	$S = 0.9$	$S = 0.8$	$S = 0.7$	$S = 0.6$	$S = 0.5$	$S = 0.4$	$S = 0.3$	$S = 0.2$	$S = 0.1$
2.0	0.178	0.178	0.177	0.175	0.172	0.167	0.161	0.149	0.132	0.102
1.0	0.139	0.138	0.137	0.136	0.133	0.129	0.123	0.113	0.099	0.075
0.9	0.132	0.132	0.131	0.130	0.127	0.123	0.117	0.108	0.094	0.071
0.8	0.125	0.125	0.124	0.122	0.120	0.116	0.111	0.102	0.089	0.067
0.7	0.117	0.116	0.116	0.115	0.112	0.109	0.104	0.096	0.083	0.063
0.6	0.107	0.107	0.106	0.105	0.103	0.100	0.096	0.088	0.077	0.058
0.5	0.097	0.096	0.096	0.095	0.093	0.090	0.086	0.080	0.070	0.053
0.4	0.084	0.083	0.083	0.082	0.081	0.079	0.075	0.070	0.062	0.048
0.3	0.069	0.068	0.068	0.068	0.067	0.065	0.063	0.059	0.052	0.040
0.2	0.051	0.051	0.050	0.050	0.049	0.048	0.047	0.045	0.040	0.032
0.1	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.027	0.026	0.024	0.021
0.09	0.026	0.026	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.024	0.022	0.019
0.08	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.022	0.022	0.020	0.017
0.07	0.021	0.021	0.021	0.021	0.020	0.020	0.020	0.019	0.018	0.016
0.06	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.017	0.017	0.017	0.016	0.014
0.05	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.014	0.014	0.013
0.04	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.011	0.010
0.03	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.008
0.02	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
0.01	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003

* $S = L_1/L_2$ and $\alpha = (L_1 \times L_2)/D^2$ (see Figure 2.21). From McGuire (1953). Reproduced by permission of The Controller, HMSO. © Crown copyright.



The diagram shows a trapezoidal area on the left with a base labeled L_1 and a height labeled L_2 . A horizontal line extends from the right side of the trapezoid to a point labeled dA , with the distance between them labeled D .

Tabell A3: Beräkning av synfaktor från yta till punkt från (Drysdale, 1998)

Hur långt avståndet kan vara vid en strålningsintensitet på 13 kW fås genom

$$D = \sqrt{\frac{L_1 \cdot L_2}{\alpha}} \quad (\text{A.9})$$

D Avstånd från yta till punkt [m]

Värden insatta i ekvation (A.9) ger ett D på

$$D = \sqrt{\frac{\sqrt{2}/2 \cdot 3,5}{0,37}} = 2,6 \text{ m}$$

Borden kommer att stå maximalt en meter ifrån varandra alltså kommer flammen att sprida sig till intilliggande bord.

Nedan redovisas beräkningar om en eventuell övergång till ventilationskontrollerad brand i herreköket med förutsättningen att det finns 3 helt öppna dörrar med måtten 1*2 m² i lokalen. Dörrarnas totala area, A₀, är 6 m² och dörrhöjden, H₀, är 2 meter.

Beräkning av luftflödet in i lokalen sker genom insättning i ekvation (A.2):

$$m_a = 0,5 \cdot 6 \cdot \sqrt{2} = 4,24 \text{ kg/s}$$

Delen syre av luftflödet beräknas genom ekvation (A.3):

$$m_{O_2} = m_a \cdot 0,23 = 0,98 \text{ kg/s}$$

Resultatet blir maximala effektutvecklingen begränsad av ventilation genom tillämpning av ekvation (A.4):

$$\dot{Q}_{\max} = 0,98 \cdot 13,1 = 12,8 \text{ MW}$$

Tiden till den maximala effektutvecklingen genom att branden blir ventilationskontrollerad nås efter 522 sekunder enligt ekvation (A.1)

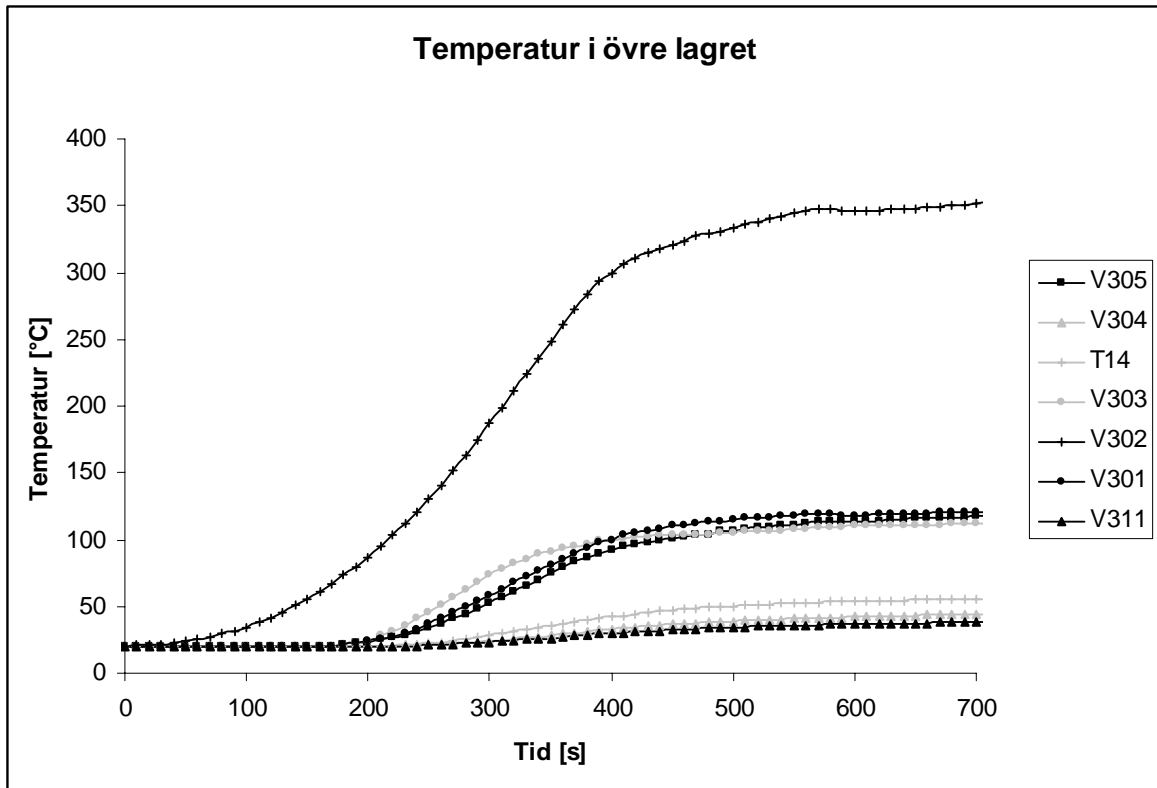
$$t = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{\alpha}} = \sqrt{\frac{12800}{0,047}} = 522 \text{ sekunder}$$

Utrymning borde vara klar före 522 sekunder alltså kommer branden inte bli ventilationskontrollerad inom den beaktade tiden.

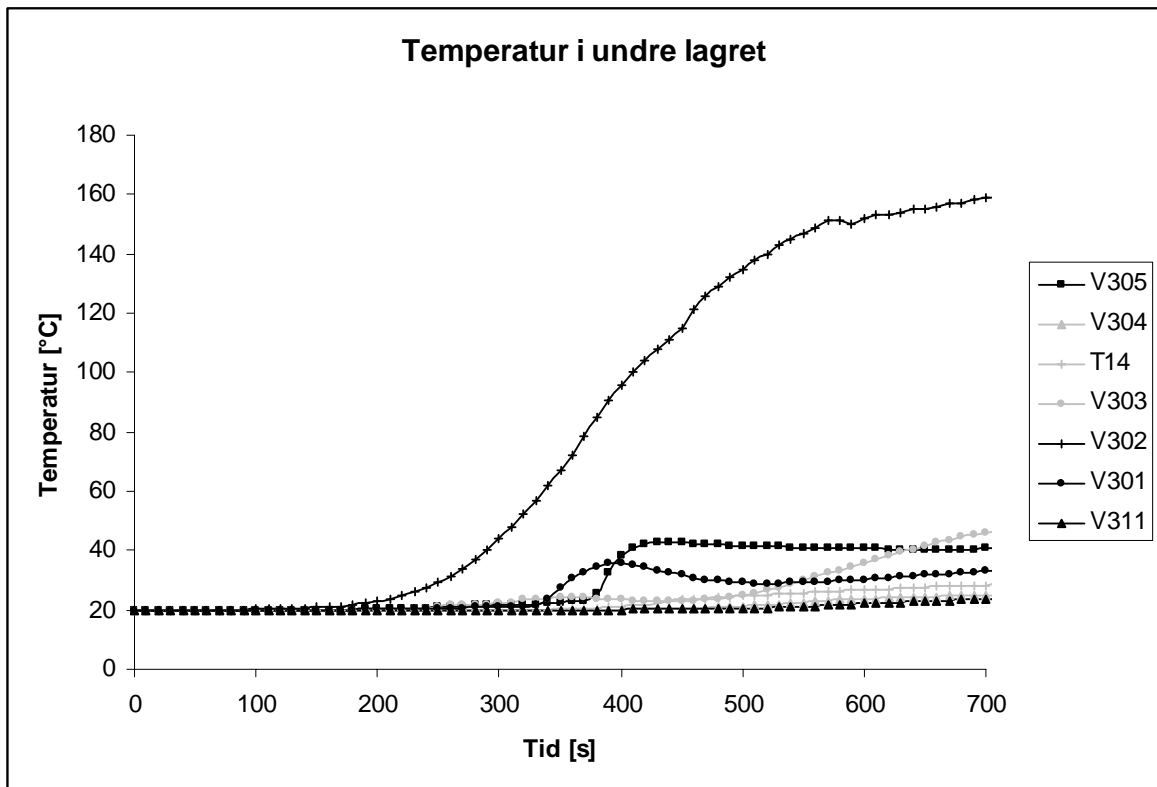
Västra Vallen volym anses vara så pass stor att branden inte kommer bli ventilationskontrollerad innan tid för utrymningen är över.

Bilaga B - Grafer

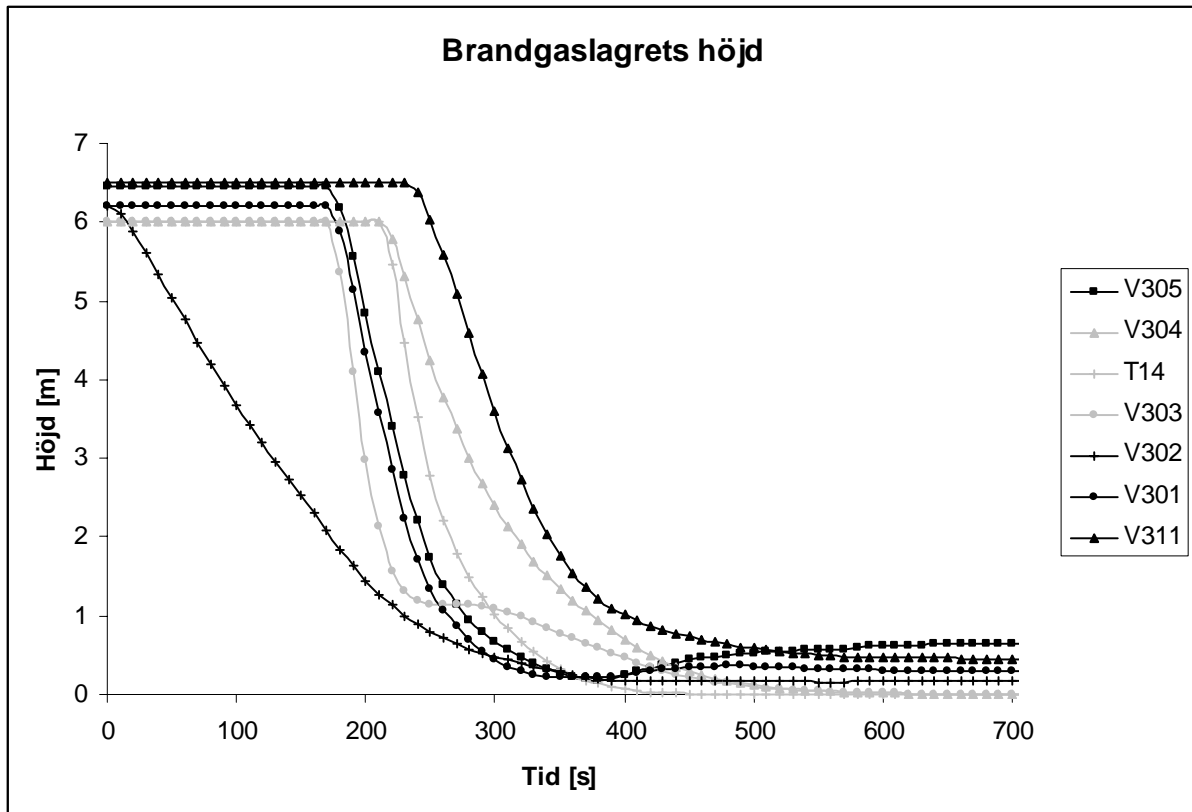
Scenario 1 - Föreställning i Bröllopsalen



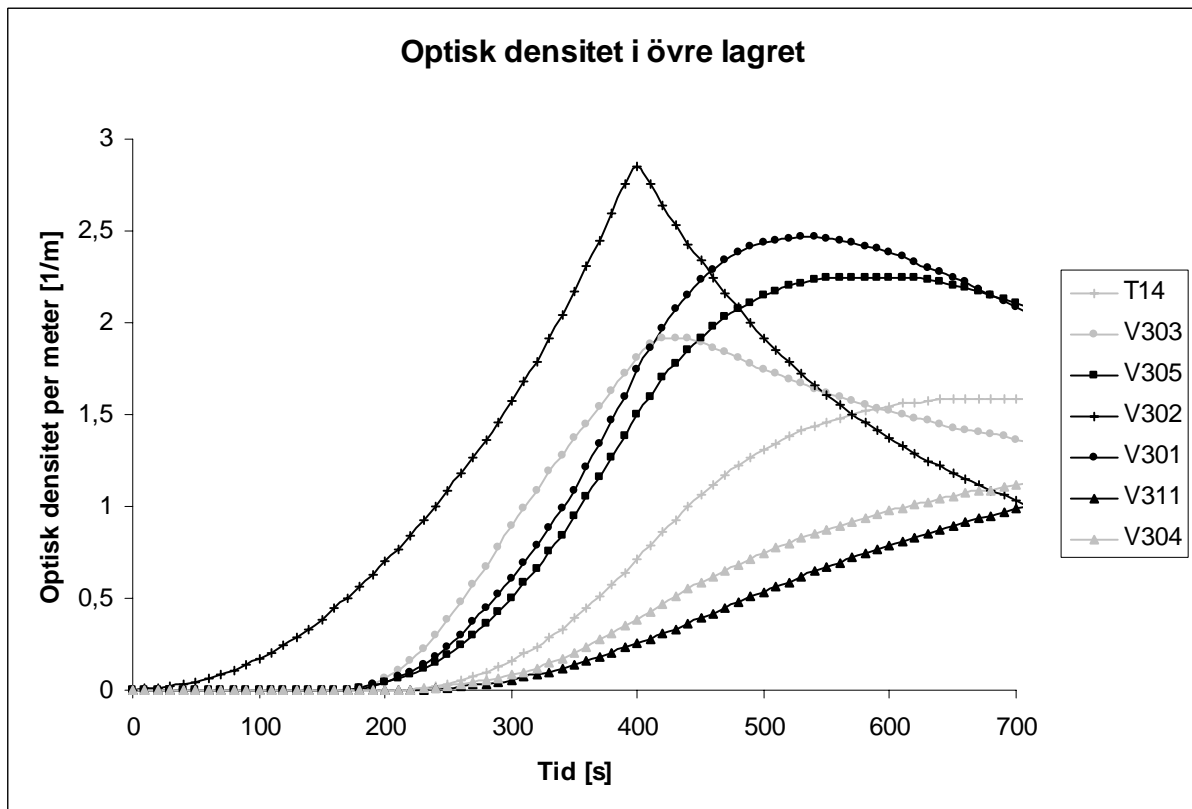
Figur B1



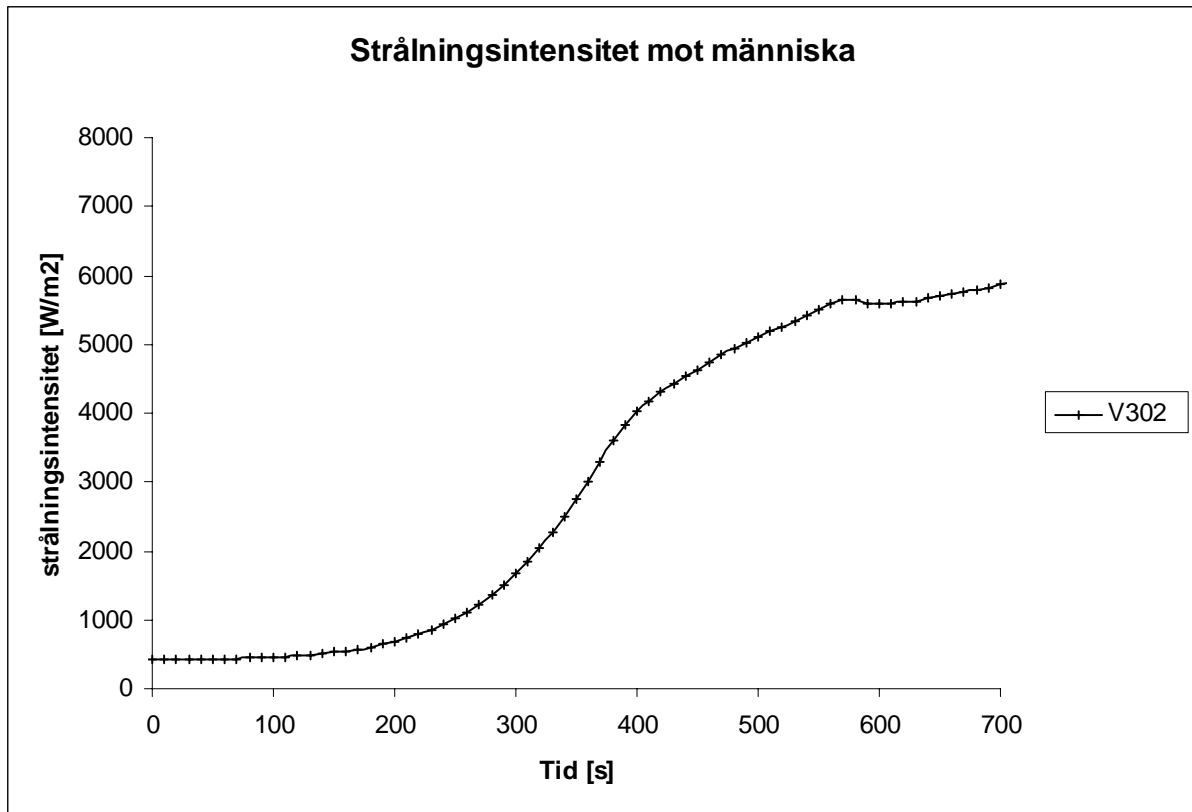
Figur B2



Figur B3



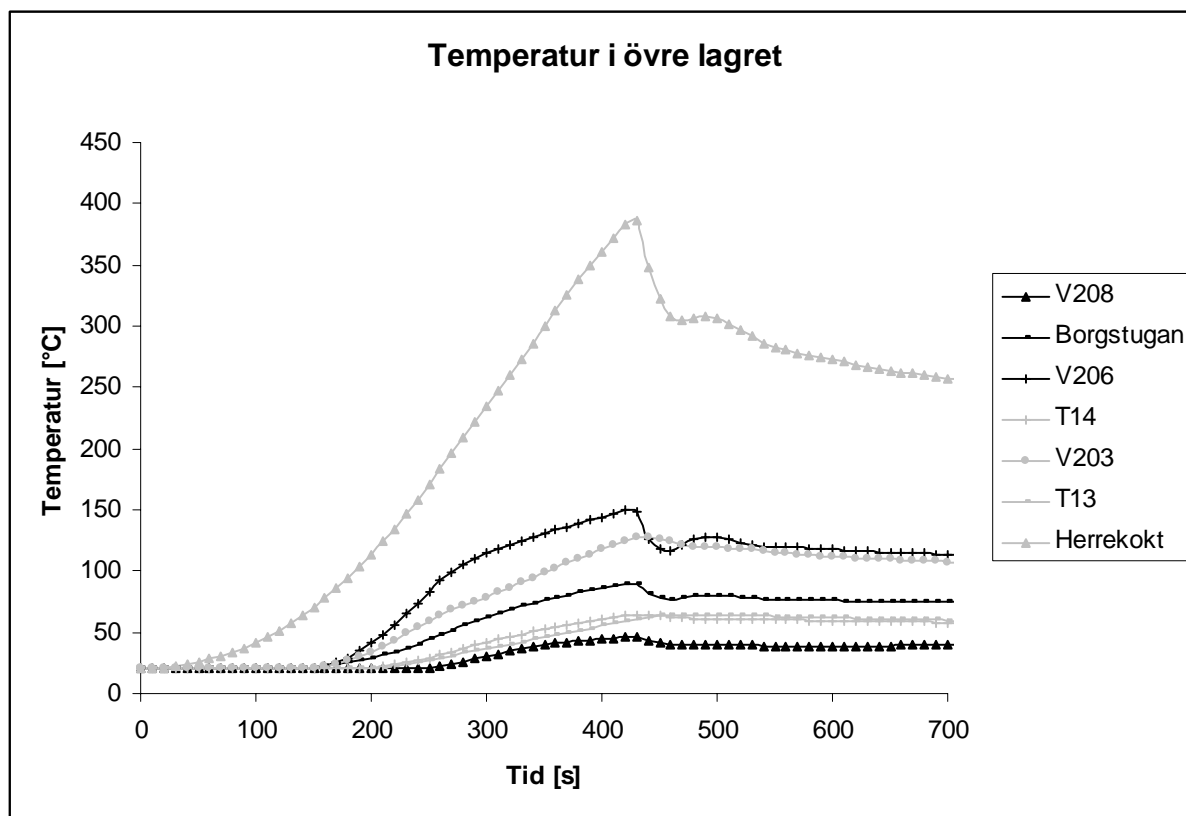
Figur B4



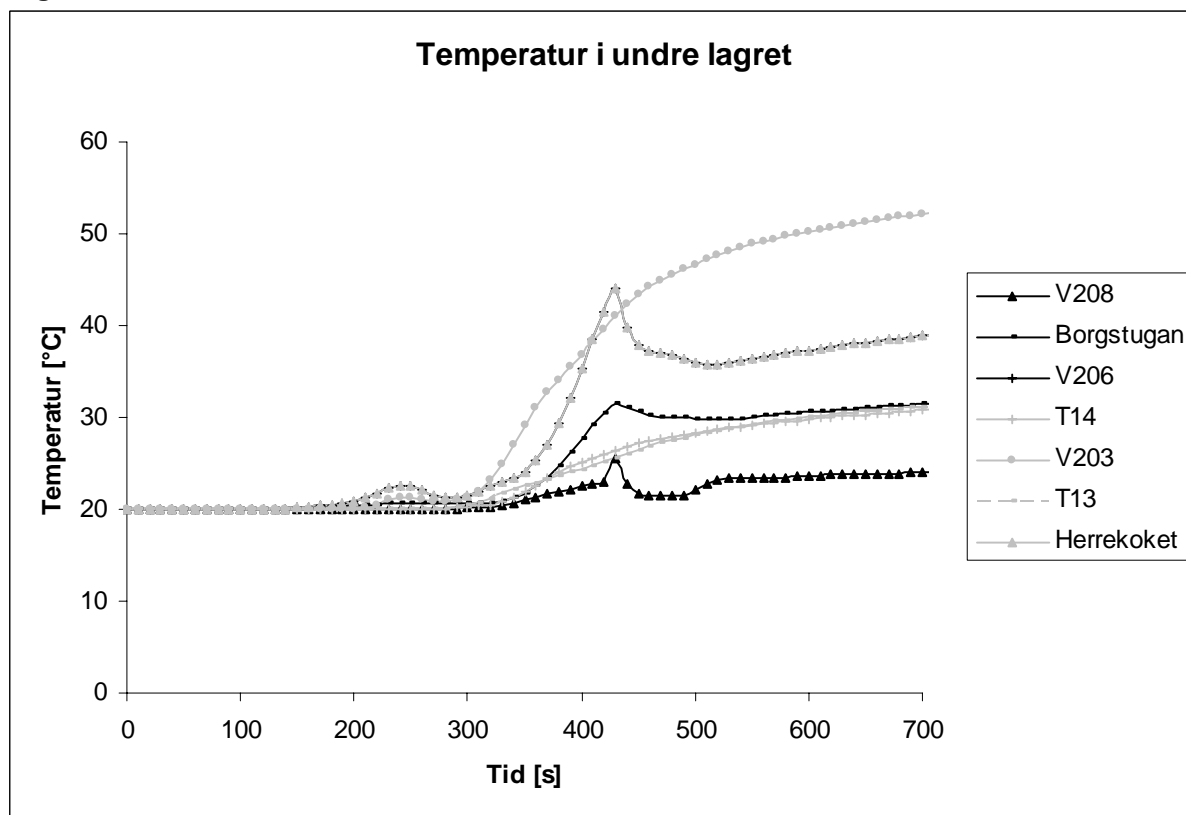
Figur B5

V302 = Brölloppssalen
V311 = Drabantsalen
V304 = Godegårdsrummet

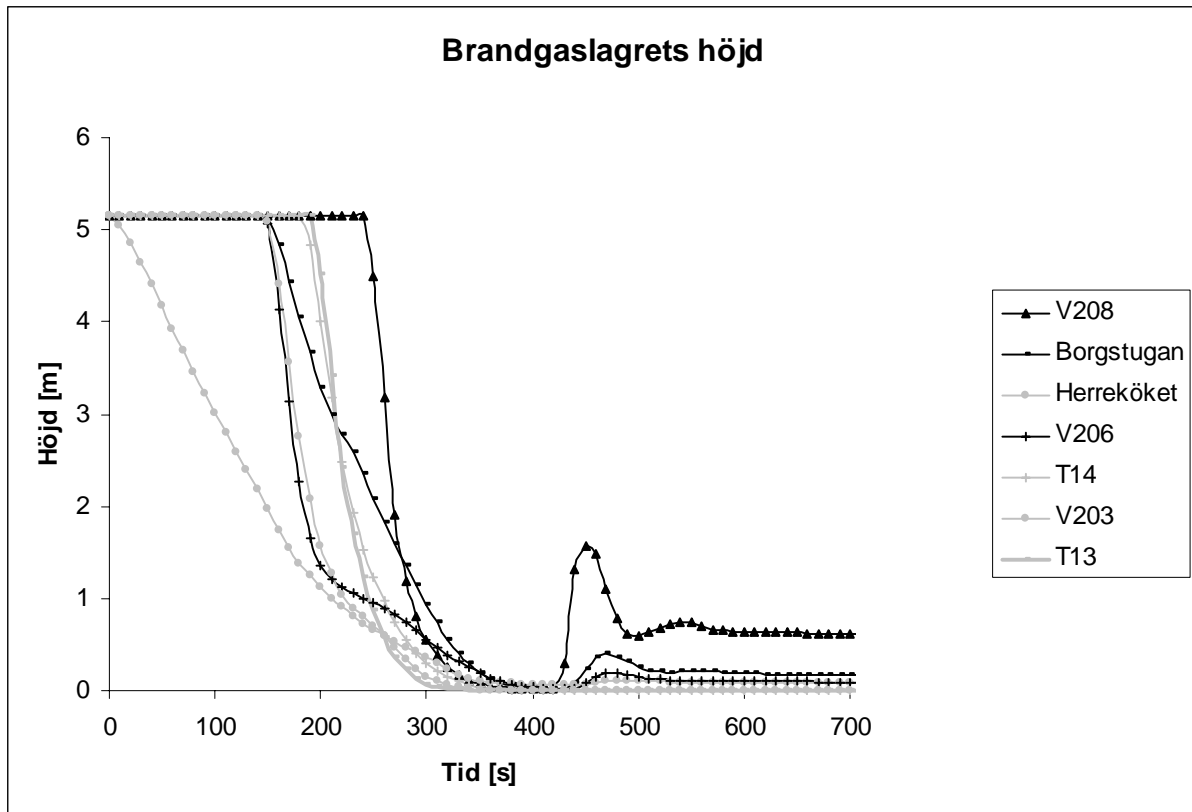
Scenario – 2 Julmarknad i Herreköket



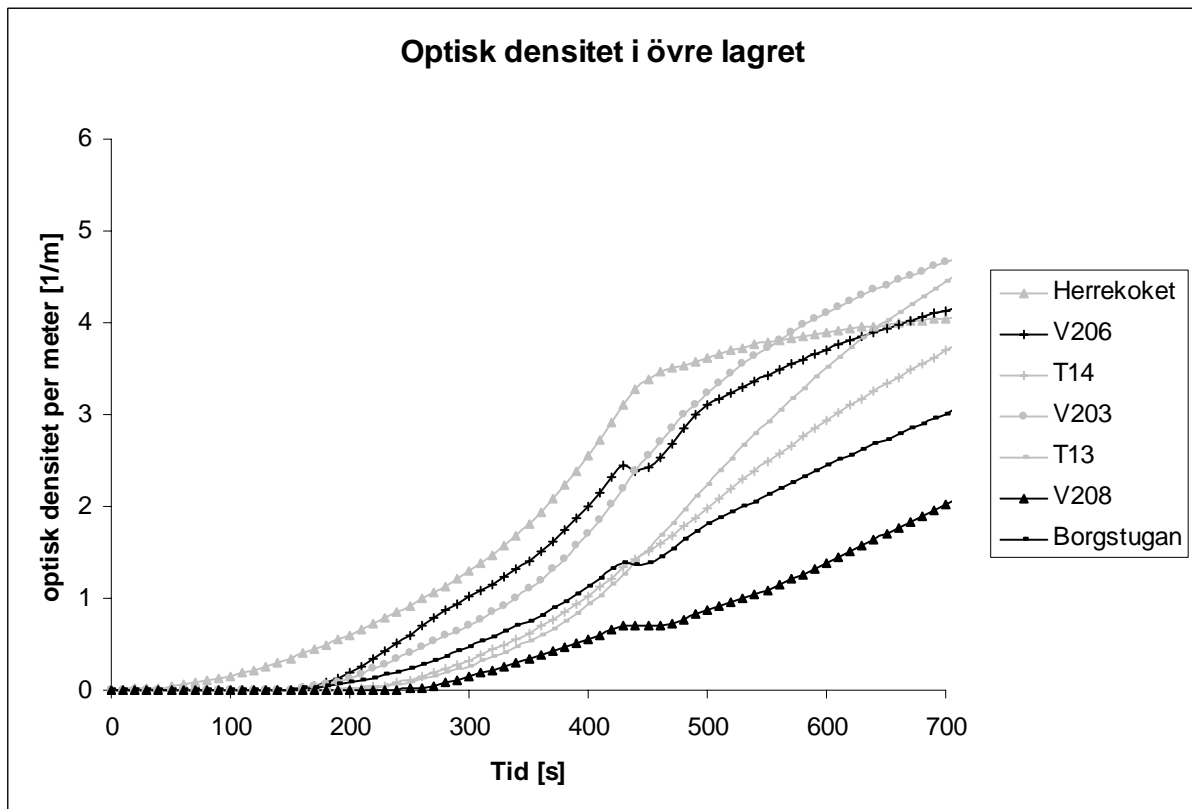
Figur B6



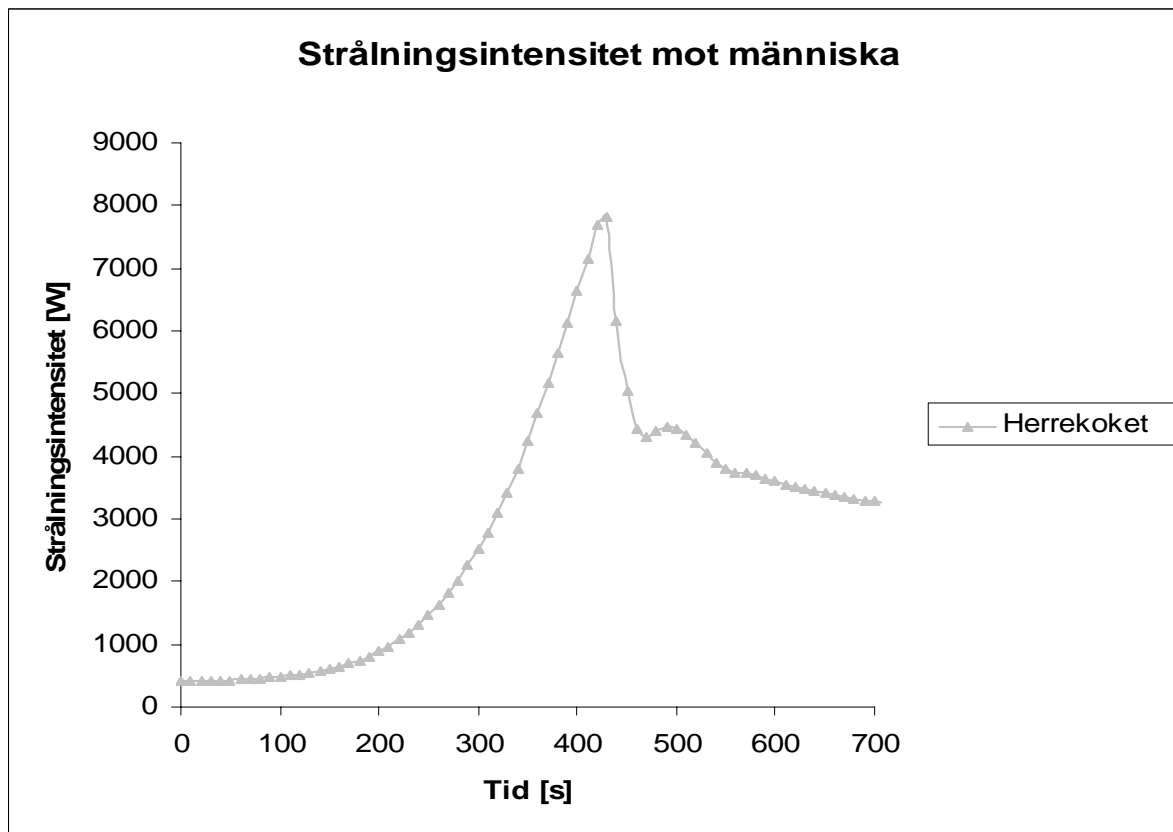
Figur B7



Figur B8

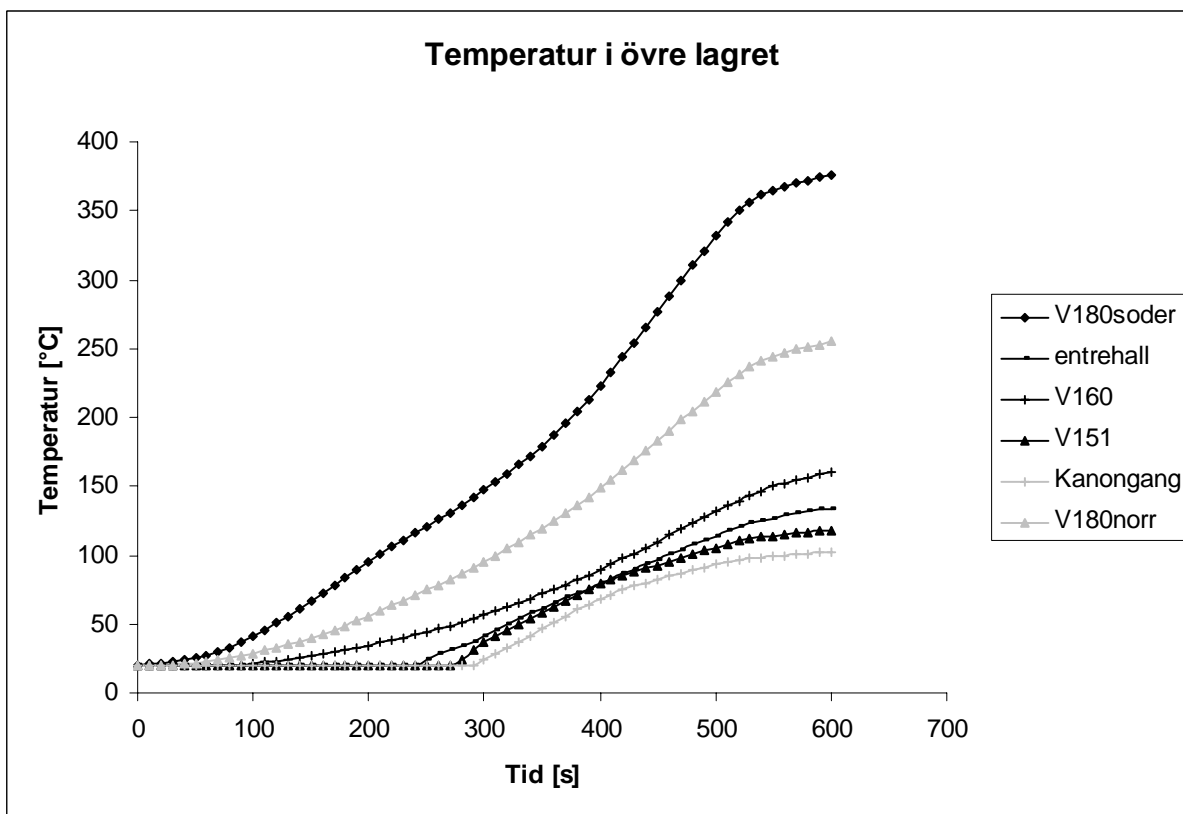


Figur B9

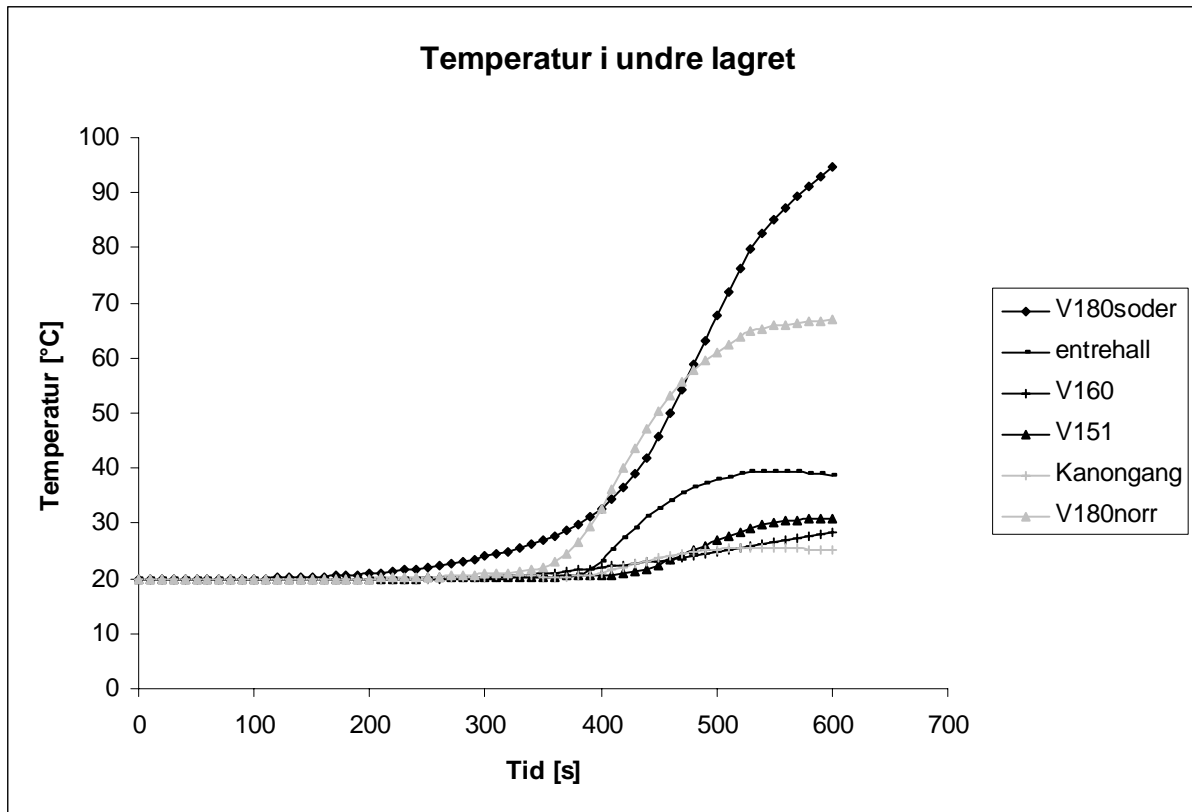


Figur B10

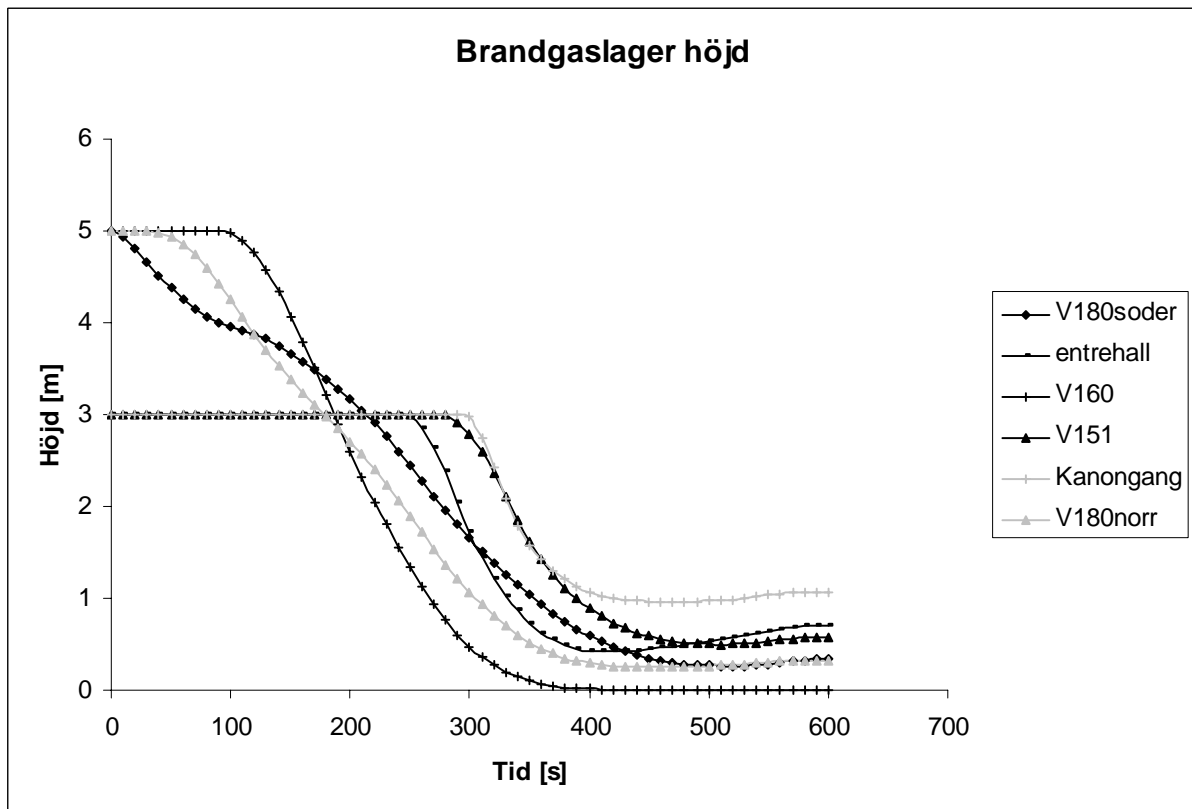
Scenario – 3 Julmarknad i Västra Vallen



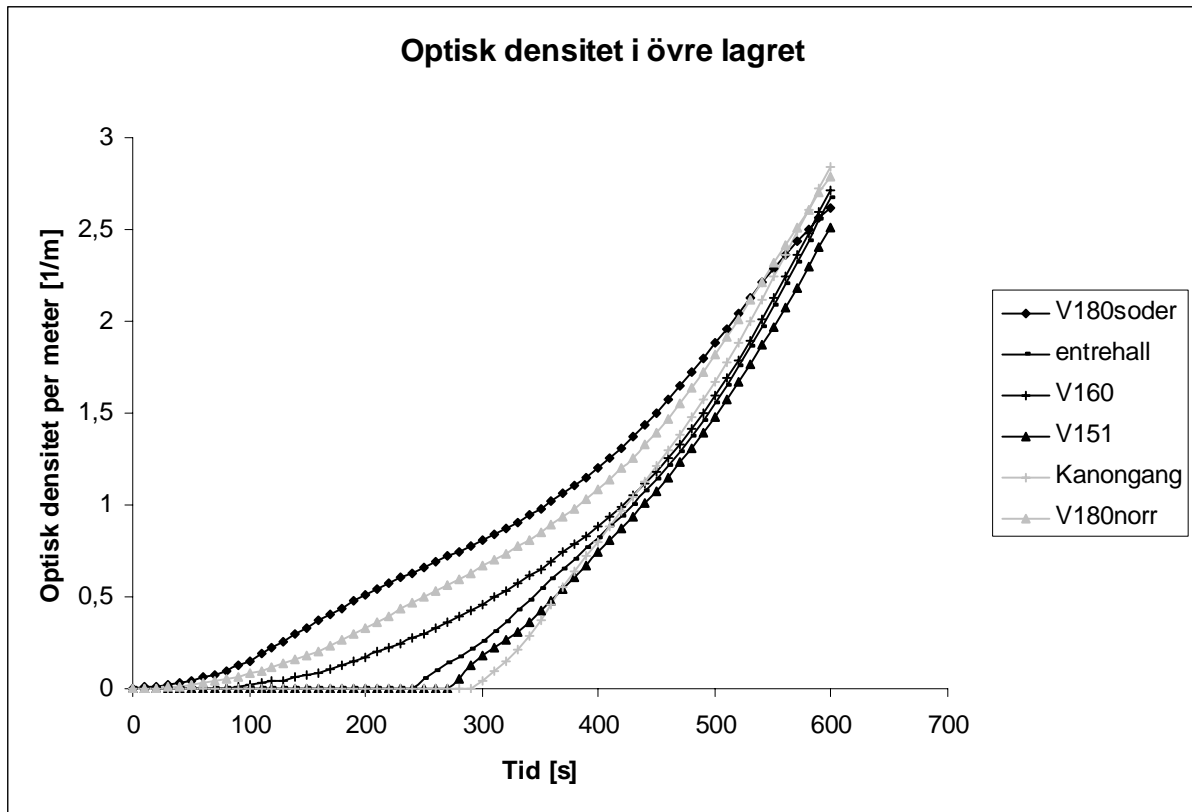
Figur B11



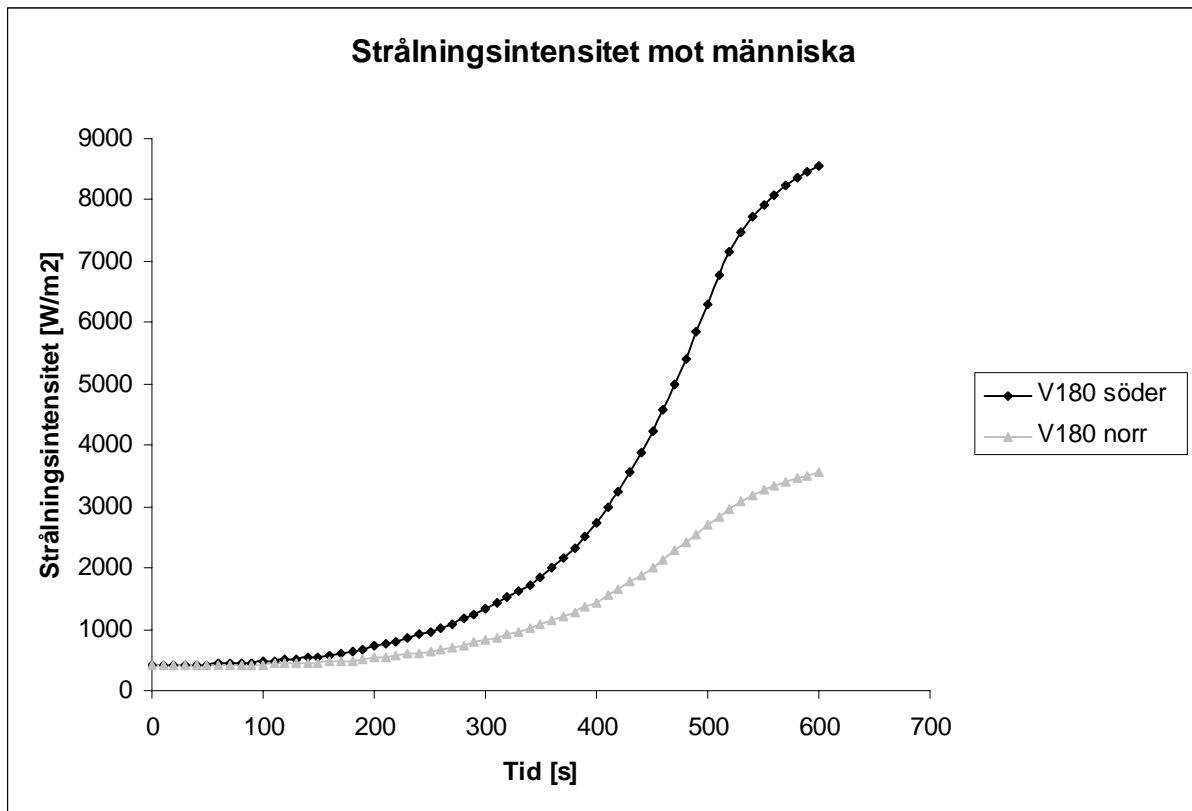
Figur B12



Figur B13

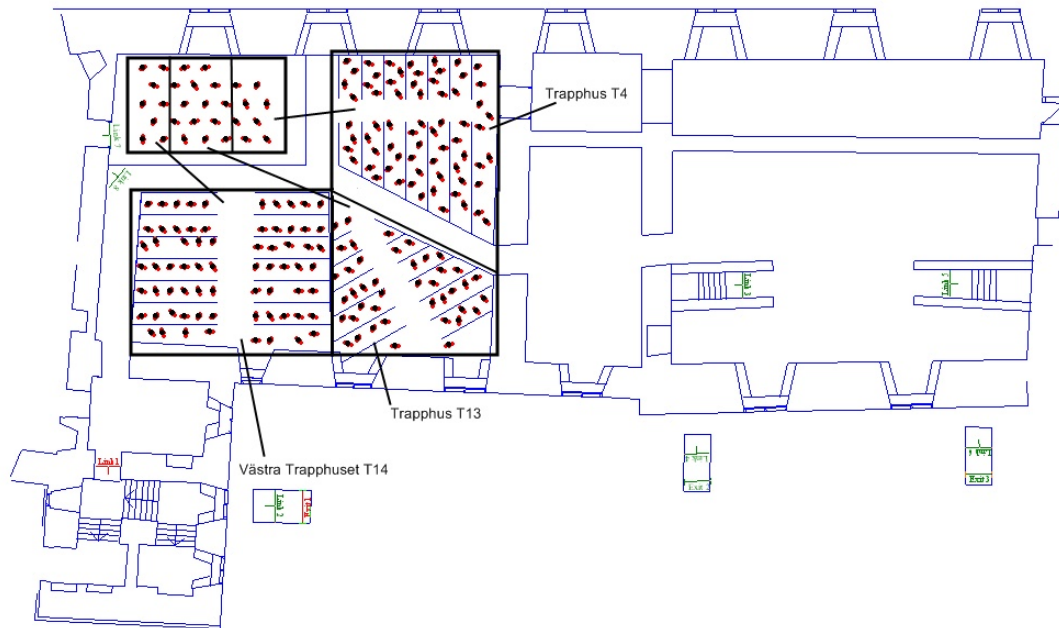


Figur B14



Figur B15

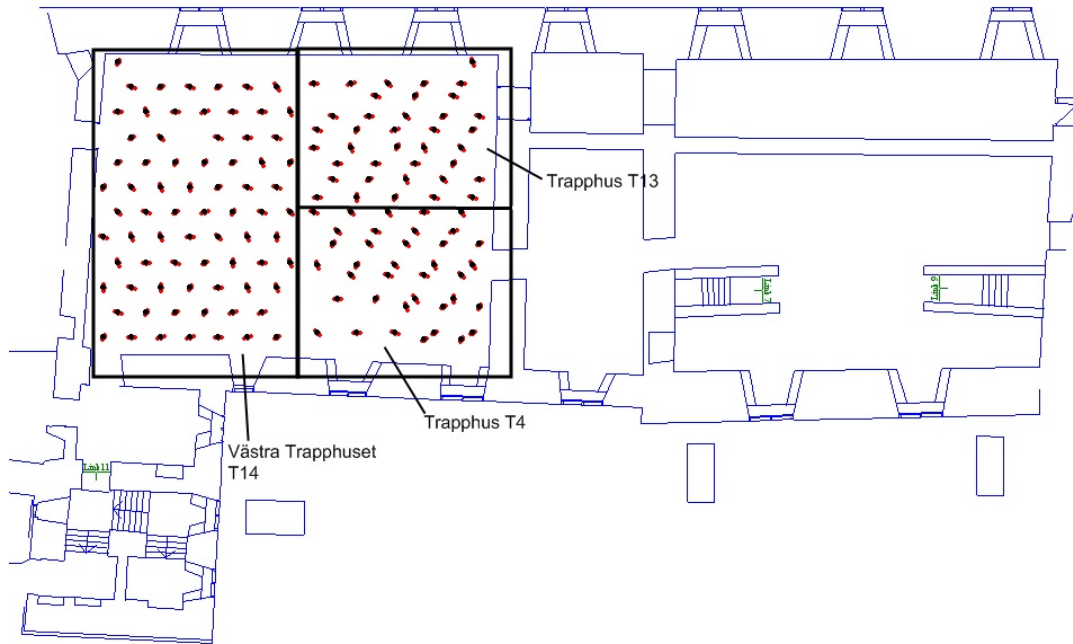
Bilaga D – Startuppställningar Simulex



Figur D1: Startuppställning för personer i Simulex under scenariot Föreställning i Bröllopsalen.



Figur D2: Startuppställning för personer i Simulex under scenariot Julmarknad i Herreköket på plan 2.



Figur D3: Startuppställning för personer i Simulex under scenariot Julmarknad i Herreköket på plan 3.



Figur D4: Startuppställning för personer i Simulex under scenariot Julmarknad i Västra Vallen.

Bilaga E – Instruktioner till Utställare

Följande instruktioner ges till vissa berörda utställare under Gammeljul.

Utställare # 31

- eftersom du har platsen närmast nödutgången så skall du se till så att det hålls rent framför dörren så att den går att få upp vid ett nödläge. Vid nödläge så är det lämpligt om du öppnar dörren så fort som möjligt eftersom den är inåtgående och ser till så att den förblir uppställd.

Vid larm

- om brandlarmet startar skall du se till så att publiken lämnar lokalen på ett säkert sätt

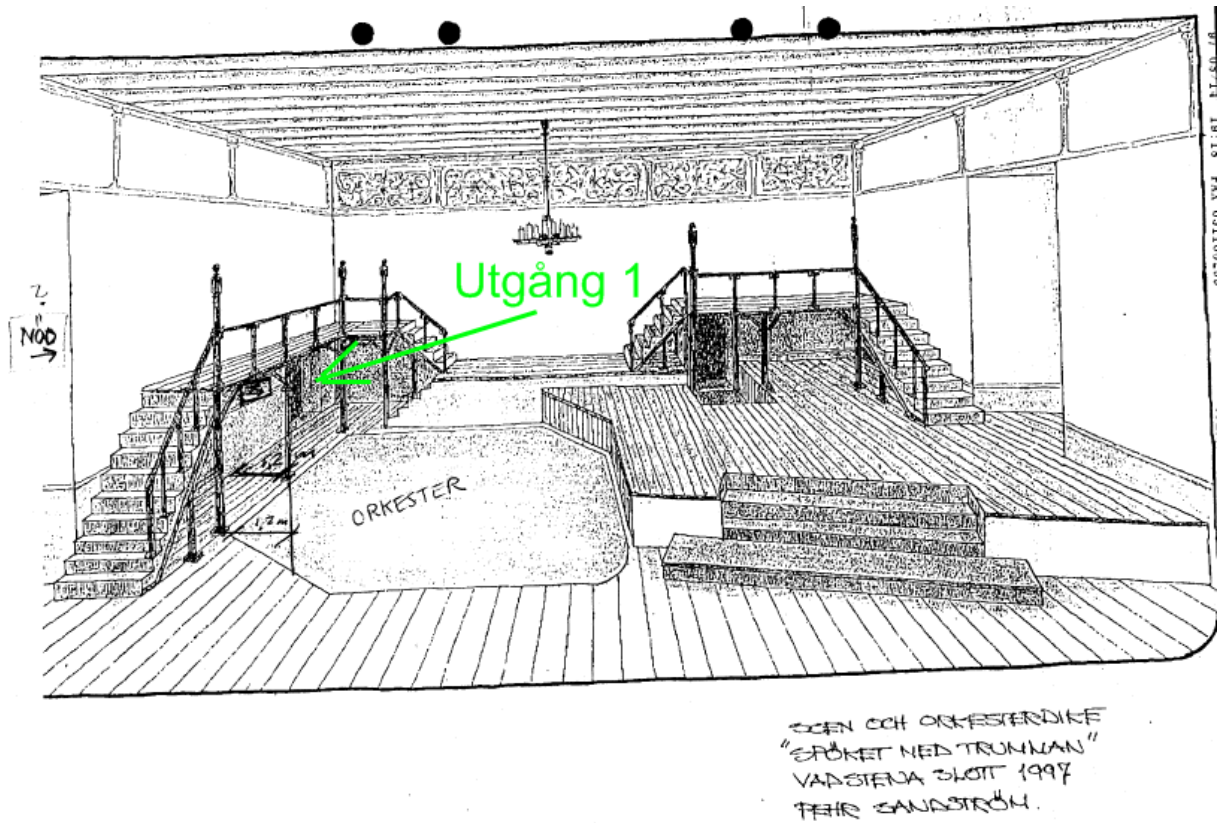
Vid brand

- se till så att publiken lämnar lokalen på ett säkert sätt
- larma genom att trycka in larmknapp eller ring till SOS
- försök att släcka branden

Innan Gammeljul öppnar för dagen

- se till så att du vet var närmaste brandsläckare finns och håll utrymningsvägar/nödutgångar fria från materiel

Bilaga F – Scenuppsättning 1997



Figur F1. Skiss över en scenuppsättning från 1997.

Bilaga G – Handberäkningar

Handberäkningar har utförts, dels på rökfyllnad i brandrummen och dels på sikten i brandrummen när brandgaslagret befinner sig på en kritisk nivå.

Rökfyllnadsberäkning

Med hjälp av handberäkningsmodellen Yamana-Tanaka har tid till kritisk höjd på brandgaslager beräknats.

Förutsättningar för att få använda modellen:

- Ingen tryckökning på grund av expansion.
- Stor byggnad i förhållande till effektutvecklingen.
- Ej för stor temperaturskillnad eftersom densiteten ej får variera med tiden.
- All energi i övre lagret.
- $T_a = 293 \text{ K}$; $c_p = 1,0 \text{ kJ/(kg K)}$; $\alpha = 0,047 \text{ kW/s}^2$; $n = 2$; $\rho_a = 1,2 \text{ kg/m}^3$.

Beräkningsgång:

1. Gissa en densitet på brandgaserna. Använd sedan ekvation G.1 för att få ut ett k-värde.
2. Använd sedan ekvation G.2 för att få ut tiden tills brandgaserna nått kritiska förhållanden.
3. Kontrollera sedan om gissningen av densiteten var korrekt med ekvation G.3. Om inte börja om från början med att gissa en ny densitet.

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

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

$$\rho_g = \rho_a \left(1 - \frac{\alpha^{n+1}}{(n+1) \cdot (H-z) \cdot S \cdot c_p \cdot 353} \right) \quad (\text{G.3})$$

k	konstant	[-]
ρ_g	densitet brandgaser	[kg/m ³]
ρ_a	densitet omgivande luft	[kg/m ³]
g	gravitetskonstanten	[m/s ²]
c_p	specifik värmekapacitet	[kJ/(kg K)]
T_a	omgivande temperatur	[K]
α	tillväxthastighet	[kW/s ²]
S	rumsvolym	[m ³]
z	höjd till brandgaslager	[m]
n	tillväxthastighet exponent	[-]
H	Höjd till taket	[m]
t	tid	[s]

Brölloppsalen: $S = 1457 \text{ m}^3$; $H = 6,2 \text{ m}$; $z = 2,2 \text{ m}$
 $\rho_g = 0,57 \text{ kg/m}^3$ insatt i ekvation G.1 $\Rightarrow k = 0,133$.
 $k = 0,133$ insatt i ekvation G.2 $\Rightarrow t = 407 \text{ s}$
 $t = 407 \text{ s}$ insatt i ekvation G.3 $\Rightarrow \rho_g = 0,58 \text{ kg/m}^3$ vilket bevisar att gissningen är rätt.

Herreköket: $S = 1023 \text{ m}^3$; $H = 5,2 \text{ m}$; $z = 2,1 \text{ m}$
 $\rho_g = 0,60 \text{ kg/m}^3$ insatt i ekvation G.1 $\Rightarrow k = 0,127$.
 $k = 0,127$ insatt i ekvation G.2 $\Rightarrow t = 318 \text{ s}$
 $t = 318 \text{ s}$ insatt i ekvation G.3 $\Rightarrow \rho_g = 0,62 \text{ kg/m}^3$ vilket bevisar att gissningen är rätt.

Västra Vallen: $S = 3120 \text{ m}^3$; $H = 5,0 \text{ m}$; $z = 2,1 \text{ m}$
 $\rho_g = 0,42 \text{ kg/m}^3$ insatt i ekvation G.1 $\Rightarrow k = 0,181$.
 $k = 0,181$ insatt i ekvation G.2 $\Rightarrow t = 504 \text{ s}$
 $t = 504 \text{ s}$ insatt i ekvation G.3 $\Rightarrow \rho_g = 0,44 \text{ kg/m}^3$ vilket bevisar att gissningen är rätt.

Slutsats: Eftersom brandgasernas densitet inte får variera med tiden är resultaten giltiga endast inom ett intervall nära kall lufts densitet på $1,2 \text{ kg/m}^3$. Om brandgaserna har en densitet på 0,6 till 0,4 är resultaten osäkra.

Siktberäkningar

Siktberäkningar görs för att jämföra resultaten mellan handberäkningar och CFAST. Sikten i brandgaslagret beräknas vid den tidpunkt när brandgaslagret befinner sig på en kritisk nivå.

Förutsättningar:

- Handberäkningsmodellen är endast giltig då brandgaserna ej börjat sprida sig till intilliggande rum.
- Endast trämaterial brinner
- $\Delta H_{c,cellulosa} = 16 \text{ kJ/g}$ (tabell 1,13; Tabellsamling Brandkemi (VBR022))
- Förbränningseffektivitet, ansätts till 0,7
- $D_o = 0,22 \text{ m}^3/\text{g}$ (tabell 11,5; Tabellsamling Brandkemi (VBR022))
- $\alpha = 0,047 \text{ kW/s}^2$

Beräkningsgång:

1. Tid till när brandgaslagret befinner sig på en kritisk nivå tas från CFAST
2. Effekten vid tidpunkten beräknas med ekvation G.4.
3. Massan avbrunnit bränsle när brandgaslagret befinner sig på en kritisk nivå beräknas med ekvation G.5.
4. D_L beräknas med ekvation G.6.
5. D_L uttryckt i [ob] översätts till D_L uttryckt i naturlig logaritm med ekvation G.7 och jämförs sedan med CFAST värde på optisk densitet per meter.

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2 \quad (\text{G.4})$$

$$m = \frac{\dot{Q} \cdot t}{\chi \cdot \Delta H_{c,cellulosa}} \quad (\text{G.5})$$

$$D_L = \frac{D_o \cdot m}{V} \quad (\text{G.6})$$

$$D_{L,naturlig} = D_{L,ob} \cdot \frac{\ln 10}{10} \quad (\text{G.7})$$

$D_{L,ob}$	optisk densitet per meter	[ob]
$D_{L,naturlig}$	optisk densitet per meter	[m ⁻¹]
D_o	rökpotential	[ob m ³ /g]
V	Volym på brandgaslagret	[m ³]
m	massa	[g]
\dot{Q}	energi	[kW]
$\Delta H_{c,cellulosa}$	förbränningsvärme	[kJ/g]
α	tillväxthastighet	[kW/s ²]
t	tiden till kritisk nivå	[s]
χ	Förbränningseffektivitet	[-]

Bröllopsalen: Kritisk höjd = 2,2 m; V= 940 m³; t=165 s
t=165 s insatt i ekvation G.4 ⇒ $\dot{Q} = 1300$ kW
 $\dot{Q} = 1300$ kW insatt i ekvation G.5 ⇒ m = 19000 g
m = 19000g insatt i ekvation G.6 ⇒ $D_{L,ob} = 4,4$ ob
 $D_{L,ob} = 4,4$ ob insatt i ekvation G.7 ⇒ $D_{L,naturlig} = 1,0$ [m⁻¹]
CFAST ⇒ $D_{L,naturlig} = 0,5$ [m⁻¹]

Herreköket: Kritisk höjd = 2,1 m; V= 607 m³; t=145 s
t=145 s insatt i ekvation G.4 ⇒ $\dot{Q} = 1000$ kW
 $\dot{Q} = 1000$ kW insatt i ekvation G.5 ⇒ m = 13000 g
m = 13000 g insatt i ekvation G.6 ⇒ $D_{L,ob} = 4,6$ ob
 $D_{L,ob} = 4,6$ ob insatt i ekvation G.7 ⇒ $D_{L,naturlig} = 1,1$ [m⁻¹]
CFAST ⇒ $D_{L,naturlig} = 0,33$ [m⁻¹]

Västra Vallen: Eftersom Västra Vallen är uppdelad i två olika zoner i CFAST och brandgasspridning till intilliggande rum sker nästan direkt vid brandstart kan ej handberäkningsmodellen användas för jämförelse med den optiska densiteten per meter i CFAST.

Slutsats: Med handberäkningsmodell blir sikten vid i brandgaslagret sämre än utdata från CFAST. Skillnaden i resultaten beror på olika tillvägagångssätt när den optiska densiteten beräknas. Det finns också olika rökpotential man kan använda och olika värden på förbränningsvärmes.

Bilaga H – Rumsdimensioner

Föreställning i Bröllopsalen

Compartment	Width	Depth	Height	Area	Volume	Ceiling	Floor
	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(m ³)	(m)	(m)
T14	5.40	5.20	6.00	28.08	168.48	6.00	0.00
V303	5.30	3.40	6.00	18.02	108.12	6.00	0.00
V305	8.60	8.50	6.45	73.10	471.50	6.45	0.00
Bröllopsalen	17.50	13.40	6.20	234.50	1453.90	6.20	0.00
V301	5.30	9.80	6.20	51.94	322.03	6.20	0.00
Drabantsalen	16.70	9.70	6.50	161.99	1052.93	6.50	0.00
Godegårdsrummet	8.60	8.30	6.00	71.38	428.28	6.00	0.00

Julmarknad i Herreköket

Compartment	Width	Depth	Height	Area	Volume	Ceiling	Floor
	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(m ³)	(m)	(m)
V208	4.40	6.25	5.15	27.50	141.63	5.15	0.00
Borgstugan N	13.00	6.25	5.15	81.25	418.44	5.15	0.00
Borgstugan SV	5.00	7.50	5.15	37.50	193.12	5.15	0.00
Borgstugan SÖ	8.00	8.50	5.15	68.00	350.20	5.15	0.00
Herreköket	17.85	11.30	5.15	201.71	1038.78	5.15	0.00
V206	5.30	3.40	5.15	18.02	92.80	5.15	0.00
T14	5.30	4.80	5.15	25.44	131.02	5.15	0.00
V203	5.70	4.00	5.15	22.80	117.42	5.15	0.00
T13	4.00	4.00	5.15	16.00	82.40	5.15	0.00

Julmarknad i Västra Vallén

Compartment	Width	Depth	Height	Area	Volume	Ceiling	Floor
	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(m ³)	(m)	(m)
V180 södra	13.00	23.00	5.00	299.00	1495.00	5.00	0.00
Entréhall	10.00	5.00	3.00	50.00	150.00	3.00	0.00
V160	12.00	5.00	5.00	60.00	300.00	5.00	0.00
V151	6.00	11.00	3.00	66.00	198.00	3.00	0.00
S167	3.00	2.00	3.00	6.00	18.00	3.00	0.00
Kanongången	17.00	2.00	3.00	34.00	102.00	3.00	0.00
V180 norra	13.00	23.00	5.00	299.00	1495.00	5.00	0.00