



Brandteknisk riskvärdering av

Skövdes Kulturhus

Evelynn Brattström
Alexander Claesson
Miranda Larsson
Lars Strömdahl

Brandteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lund



LUNDS
UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Brandteknisk riskvärdering av

Skövdes Kulturhus

Evelynn Brattström, Alexander Claesson, Miranda Larsson, Lars Strömdahl

Lund 2008

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

Avdelning 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/Report:

9340

Titel/Title:

Brandteknisk riskvärdering av Skövdes Kulturhus
Fire Safety Evaluation of Skövde Cultural Centre

Av/By:

Evelynn Brattström, Alexander Claesson, Miranda Larsson, Lars Strömdahl
Brandingenjörsprogrammet, Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2008
Fire Safety Engineering Program, Lund Institute of Technology, 2008

©Copyright Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 2008.

Omslagsfoto/cover photo:

Tindra Design AB, fotograf Julia Svärd

Abstract:

This report is written as a part of the educational programme Fire Protection Engineering at Lunds University. The purpose of the report is to evaluate the fire safety of Skövde Cultural Centre. Focus lies on evacuation and human safety and therefore structural stability and property damage have not been considered. The Cultural Centre is a large building that houses varying activities. Due to lack of time and resources delimitations have been made and only the dancehall and the theatre have been studied in this report. Three possible scenarios have been chosen and evaluated through calculations and computer simulations. The times to critical conditions have been compared with the time needed for evacuation and conclusions for the theatre and the dancehall have been drawn. With the existing conditions in the theatre today a safe evacuation can be performed. A number of suggestions on how to assure that it will stay that way have been proposed. In the dancehall though, the results show that a safe evacuation cannot be performed and suggestions of improvements and changes have been presented.

Sökord:

Skövde Kulturhus, brandteknisk riskvärdering, personsäkerhet, utrymning, kritiska förhållanden, scenarier, CFAST, Simulex.

Keywords:

Skövde Cultural Centre, fire safety evaluation, human safety, evacuation, critical conditions, scenarios, CFAST, Simulex.

Tack till

Henrik Hassel, handledare från avdelningen för Brandteknik och Riskhantering

Roger Almgren, handledare från Räddningstjänsten Skövde

Robert Zeidlitz, kontaktperson från Räddningstjänsten Skövde

Daniel Nilsson, doktorand på avdelningen för Brandteknik och Riskhantering

Per Nilsson, scenmästare på Skövdes Stadsteater

Rickard Andersson, lokalföreståndare för Valhall

Sammanfattning

Denna rapport är en del av kursen Brandteknisk riskvärdering som ges vid Lunds Tekniska Högskola. Rapporten avser att utvärdera om personsäkerheten är tillfredställande vid utrymning och undersöka lämpliga åtgärder i Skövdes Kulturhus.

Kulturhuset byggdes 1964 och innehåller bland annat en samlingslokal för 1200 gäster, teater för 503 gäster, bibliotek, konsthall, restaurang m.m. Denna rapport avgränsas till samlingslokalen, Valhall, och teatern.

I ett inledande skede av kursen gjordes ett platsbesök för att inhämta information om objektet, som sedan har legat till grund för arbetet.

För att utreda om personsäkerheten går att säkerställa i händelse av brand valdes tre scenarier som anses representativa för byggnaden. Scenariorna som valdes var: brand i garderob i Valhall, brand på scen i Valhall samt brand på scen i teatern. Effektkurvor togs fram för respektive scenario och de har använts vid simulering i CFAST. Resultaten från CFAST har sedan används för att undersöka tiden till kritiska förhållanden vid utrymning. När kritiska förhållanden nås anses utrymning inte längre kunna ske säkert. Utrymningsförloppen har simulerats med hjälp av Simulex som ger en ungefärlig tid på hur lång tid den totala utrymningen tar.

Resultaten visar att brandskyddet i sitt nuvarande utförande i Valhall ej kan anses acceptabelt. Åtgärder måste genomföras för att trygga personsäkerheten.

I teatern anses situationen acceptabel, så länge inte ridån och brandgasventilationen skulle sluta fungera samtidigt.

En känslighetsanalys gjordes för att undersöka osäkerheter och för att identifiera känsliga antaganden som påverkar branden. Resultaten från CFAST kontrollerades med handberäkningar och avslutningsvis ges förslag till förbättring.

Förslag till förbättring i Valhall: Sprinklerhuvuden *skall* bytas ut så att snabbare aktivering *skall* kunna ske; självstängande dörrar *skall* installeras i garderoberna; fler larmknappar *skall* installeras; utrymningslarmet *skall* kopplas till ljussystemet så att lokalen lysas upp vid aktivering av systemet; det *skall* hållas bredare mellan borden och fritt runt trappan till foajén vid dukning av Vallhall; utbildning av personalen *skall* ske; utrymningsvägar *skall* hållas fria från brännbart material; självstängande dörrar *bör* installeras i Freja på ett sådant sätt så att Freja avskiljs brandtekniskt från resten av lokalen. Denna åtgärd kan eventuellt ersättas med ett snabbare sprinklersystem om huvudentrén hålls fri från brännbara material.

Förslag till förbättring i teatern: Självstängande dörrar *bör* installeras mellan garderoben och salongen, dessutom *bör* självstängande dörrar installeras mellan salongen och entrén så att brandgasspridning förhindras; detektorer *bör* installeras i garderoben så att tidig detektion kan säkras; brandridån *bör* kopplas till nödström så att funktionen kan säkras även i händelse av strömavbrott; brandgasventilationen *bör* ses över och tilluft *bör* säkras. Om utrymningsvägarna från salongen och scenen förses med en självöppnande funktion som aktiverar då brandlarmet aktiveras anses säker tilluft kunna säkras.

Innehållsförteckning

KAPITEL 1 - INLEDNING	1
1.1 Syfte och mål	1
1.2 Avgränsningar	1
KAPITEL 2 - OBJEKTSBESKRIVNING	3
2.1 Historik	3
2.2 Byggnaden	3
2.3 Verksamhetsbeskrivning	5
KAPITEL 3 - BEFINTLIGT BRANDSKYDD.....	7
KAPITEL 4 - METOD.....	13
KAPITEL 5 - TEORI	15
5.1 Utrymning.....	15
5.2 Kritiska förhållanden	16
5.3 α^2 -branden	17
5.4 Tvåzonsmodellen och CFAST	18
5.5 Simulex	20
KAPITEL 6 - SCENARIER	21
6.1 Möjliga scenarier.....	21
6.2 Val av scenarier	26
Scenario 1 - Brand i garderob i Valhall:	26
Scenario 2 - Brand på scen i Valhall:	27
Scenario 3 - Brand på scen i teatern:	28
Brand i garderob i teatern	28
KAPITEL 7 - SCENARIO 1: Brand i garderob i Valhall.....	29
7.1 Val av effektkurva	29
7.2 Simulering i CFAST.....	30
7.3 Simulering i Simulex	32
7.4 Handberäkningar	34
7.5 Konsekvens	35
KAPITEL 8 – SCENARIO 2: Brand på scen i Valhall	37
8.1 Val av effektkurva	37
8.2 Simulering i CFAST.....	38
8.3 Simulering i Simulex	39
8.4 Handberäkningar	41

8.5 Konsekvens	42
KAPITEL 9 - SCENARIO 3: Brand på scen i teatern	43
9.1 Val av effektkurva	43
9.2 Simulering i CFAST.....	44
9.3 Simulering i Simulex	47
9.4 Handberäkningar	48
9.5 Konsekvens	49
KAPITEL 10 - KÄNSLIGHETSANALYS	51
10.1 Scenario 1: Brand i garderob i Valhall	51
10.2 Scenario 2: Brand på scen i Valhall.....	54
10.3 Scenario 3: Brand på scen i teatern	57
KAPITEL 11 - DISKUSSION.....	63
KAPITEL 12 - ÅTGÄRDER.....	67
12.1 Valhall.....	67
12.2 Validering av åtgärder Valhall.....	67
12.3 Teatern	75
12.4 Validering av åtgärder teatern.....	75
KAPITEL 13 - SLUTSATSER.....	77
KAPITEL 14 - REFERENSLISTA.....	79
BILAGA A - VAL AV EFFEKTKURVOR.....	81
BILAGA B - CFAST.....	95
BILAGA C - SIMULEX.....	103
BILAGA D - DETACT	107
BILAGA E - BESTÄMNING AV RTI.....	113
BILAGA F - HANDBERÄKNINGAR.....	115
BILAGA G – GARDEROBSBRAND TEATERN.....	137
BILAGA H – HANDBERÄKNINGAR PÅ FÖRFLYTTNINGSTIDER	139
BILAGA I - OBSERVATIONER VID BESÖK.....	141
BILAGA J - ENKÄTUNDERSÖKNING	143
BILAGA K – RITNINGAR FRÅN OBJEKTET	145
BILAGA L - NOMENKLATUR	149

KAPITEL 1 - INLEDNING

Denna rapport skrivs som en del i kursen Brandteknisk Riskvärdering av studenter på brandingenjörsprogrammet vid Lunds Tekniska Högskola. Objektet som behandlas i rapporten är Skövdes Kulturhus, vilket är beläget i centrala Skövde. Byggnaden består av två, numera sammanbyggda, delar och inhyser en mängd olika verksamheter.

Rapporten är uppbyggd av 12 kapitel. I de första kapitlen beskrivs objektet och dess brandskydd. I kapitel 4 beskrivs metoden och i följande kapitel har teori relevant för arbetet samlats. Därefter presenteras de scenarier som valts ut, hur de valts ut, brandförloppen i respektive scenario och hur de simulerats. Resultat för varje scenario har sammanställts i kapitel 7, 8 och 9 och känslighetsanalysen i kapitel 10. I de sista kapitlen diskuteras resultaten och förslag till åtgärder. Rapporten avslutas med bilagor, där bilaga J är en nomenklaturlista.

1.1 Syfte och mål

Syftet med denna rapport är att utvärdera brandsäkerheten i Skövdes Kulturhus, med fokus liggande på person- och utrymningssäkerhet. Om byggnaden inte uppfyller kriterierna för personsäkerhet ska förslag på åtgärder för att förbättra byggnadens brandskydd ges.

Resultaten av den brandtekniska riskvärderingen presenteras i en rapport och under arbetet med denna tränas studenterna i bland annat problemlösning, kritiskt granskande, användande av olika simuleringsmodeller och informationssökning.

1.2 Avgränsningar

Denna rapport inriktar sig främst på personsäkerhet och fokuserar därför på det tidiga brandförloppet, vilket sätts till 10 minuter från antändning. Inom denna tid bör utrymning ha skett och det är också efter cirka 10 minuter som räddningstjänsten beräknas anlända. Kulturhusets bärverk beräknas hålla betydligt längre än 10 minuter och byggnadens beständighet kommer därför i allmänhet inte att behandlas i denna rapport.

Kulturhuset är en byggnad med mångfacetterad verksamhet. Här finns teater, danslokal, biosalong, restaurang, bibliotek, konsthall, museum och café. De verksamheter som har högst persontäthet och därför innebär störst problematik vid utrymning är teatern och danslokalen (som kommer benämnas Valhall i rapporten) med tillhörande rum. Teatern är brandtekniskt avskilt från resten av byggnaden och brandgasspridning till andra lokaler anses osannolik. Från Valhall kan brandgasspridning ske genom ett trapphus till våningen över. Detta trapphus är avspärrat med ett galler vilket hindrar gäster från att röra sig mellan våningarna. Förutom danslokalen och teatern kommer andra delar av byggnaden inte att beaktas förutom i de fall då de kan ha inverkan på utrymning av dessa salar.

KAPITEL 2 - OBJEKTSBESKRIVNING

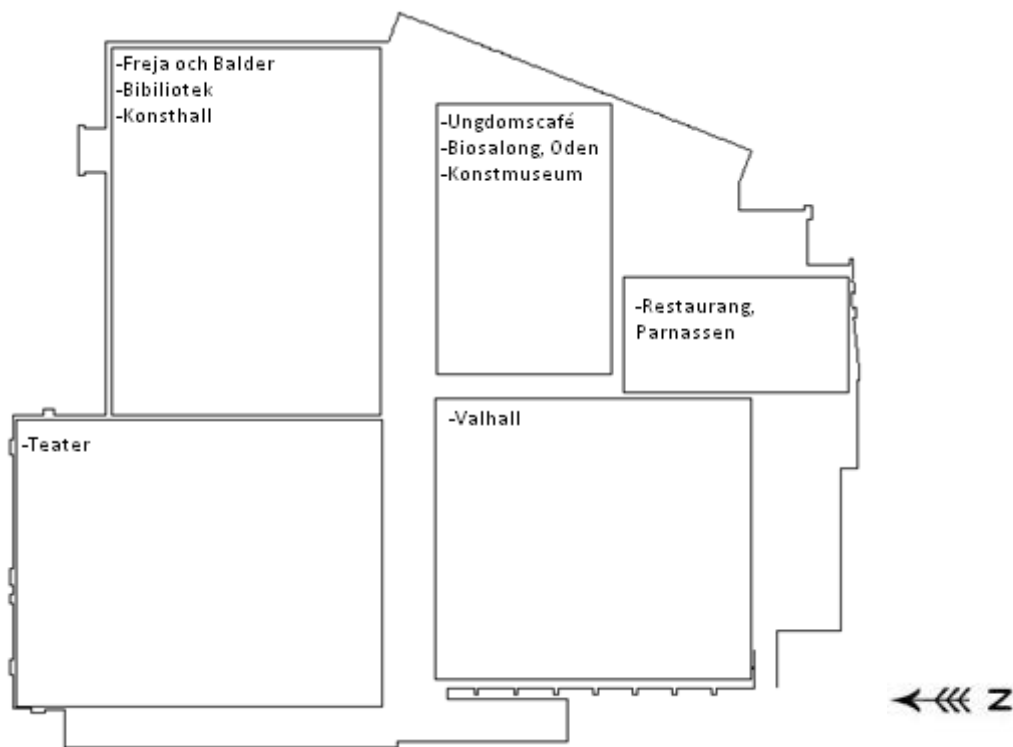
Nedan följer en beskrivning av byggnaden och verksamheterna. Först presenteras en kort historik av Skövde som stad och även av byggnaden. Därefter beskrivs hur Skövdes Kulturhus är uppbyggt.

2.1 Historik

Skövde är Sveriges 30:e största stad med 33 000 invånare. Staden är belägen i Västergötland mellan Väneren och Vättern och kan spåra sina rötter ända tillbaka till medeltiden. År 1759 ödelades staden av en stor brand och det var i ruinerna efter den som Skövde tog den form som staden har idag. Kulturhuset ligger centralt i Skövde och angränsar till centralstationen. Huset invigdes 1964 men byggdes om och rustades invändigt mellan åren 1993-95. Under denna ombyggnad övertogs delar av byggnaden som tidigare tillhört Folkets hus och ett konstmuseum inrättades i lokalerna.

2.2 Byggnaden

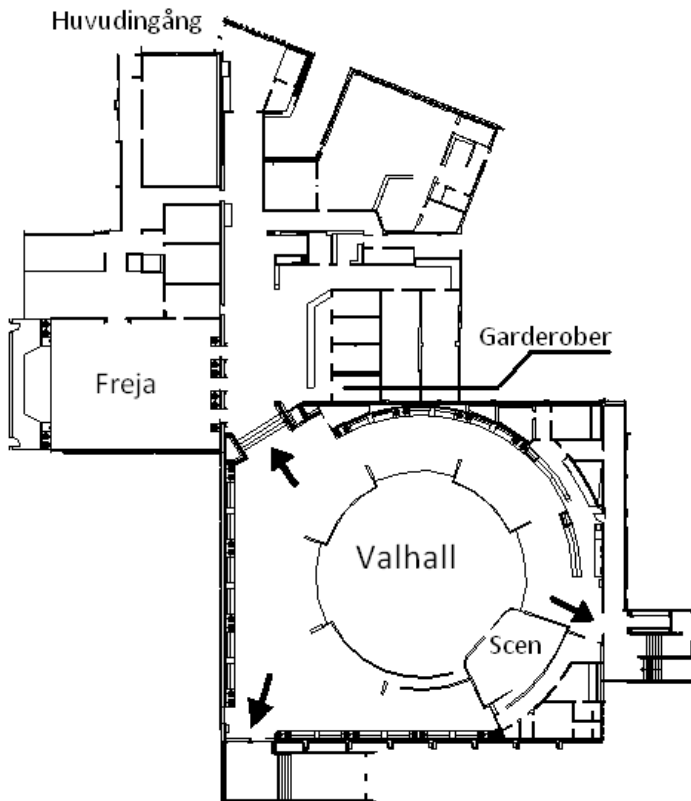
Byggnaden, som ägs av kommunen, är i sju våningsplan och varav två är källarvåningar. En översiktsbild presenteras i figur 1 där de olika verksamheterna har placerats ut. I bilaga K finns ritningar över de våningsplan som lokalerna inom avgränsningen ligger på. Nedan följer en beskrivning av byggnadens våningsplan.



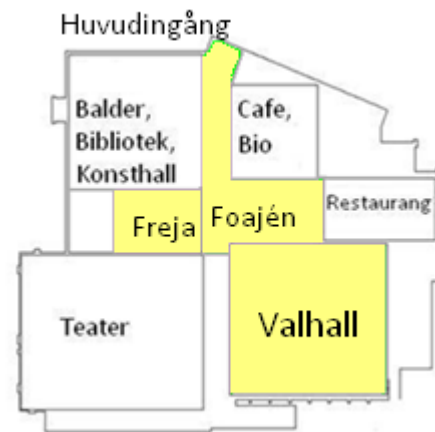
Figur 1 Översiktsbild Skövdes Kulturhus

Våningsplan 1 (källarplan)

På undre källarplanet finns husets stora danslokal, Valhall, som i dagsläget tar in maximalt 1200 stående gäster och cirka 550 sittande gäster. Denna lokal sträcker sig upp till markplanet där ett pyramidformat glastak leder in ljus i lokalen. I lokalen finns en scen, en bar och möjlighet att servera mat från husets restaurang på våningsplan 3. Valhalls placering i byggnaden visas i figur 3 och i figur 5 på nästa sida, och figur 2 är en ritning över Valhall och tillhörande lokaler på våningsplan 2.



Figur 2 Ritning över Valhall på våningsplan 1 och Freja på våningsplan 2



Figur 3 Valhalls placering i byggnaden

Våningsplan 2 (källarplan)

I anslutning till Valhall, fast en halv trappa upp, ligger Freja som är en samlingslokal med plats för 150 sittande eller stående gäster. Lokalen används antingen separat eller med dörrarna öppna in till Valhall vid större evenemang.

På detta våningsplan finns också Valhalls garderob fördelad på 4 rum med 250 hängare i varje.

Det finns ytterligare två lokaler som delvis är anslutna till Valhall på detta våningsplan. Balder är en lokal som inhyser 50 personer och Loke är ett ungdomscafé som kan ta emot 90 gäster då inte Valhall är i bruk men endast 50 om det sker samtidigt som arrangemang pågår i Valhall.

Sammanlagt tillåts i Valhall, Freja, Loke och Balder maximalt 1400 personer vid ett och samma tillfälle.

Resten av våningsplan 2 används som förråd och lager.



Figur 4 Teaterns placering i byggnaden, sett från väster



Figur 5 Valhalls placering i byggnaden, sett från söder

Våningsplan 3

Skövdes Stadsteater är placerad i husets nordvästra hörn och är utförd i två våningar. Dessa är sammanslutna i entrén där den övre våningen formar en balkong i det gemensamma atriet. I entrén finns också en trappa som leder ner till våningsplan 2 där garderoben är placerad. Teatern har plats för 503 sittande besökare och bland dem finns särskilda platser för upp till 4 handikappade gäster. Figur 4 visar teaterns placering i byggnaden och de utrymningsvägar som mynnar i det fria.

Restaurang Parnassen ligger i byggnadens sydostliga del och har plats för maximalt 150 gäster.

Biosalongen, Oden, är också belägen på detta våningsplan och har plats för 120 besökare.

Biblioteket är placerat i byggnadens nordöstra del och sträcker sig från våningsplan 3 upp till våningsplan 4. Biblioteket har en öppen planlösning och en övre våning som är utformad som en balkong i bibliotekets stora rum.

Våningsplan 4

Konstmuseet är beläget här och sträcker sig från våningsplan 4 upp på våningsplan 5.

Våningsplan 5, 6 och 7

På våningsplan 5 finns en konsthall som sedan fortsätter upp på våning 6 och 7 med tillhörande ateljéer och kontor.

2.3 Verksamhetsbeskrivning

Nedan följer en beskrivning endast över verksamheten i de lokaler som ligger inom avgränsningarna.

Valhall

Ansvariga för verksamheten i Valhall är kultur- och fritidsförvaltningen. Evenemanglokalerna Valhall, Freja och Loke hyrs ofta ut till privatpersoner och olika föreningar för bland annat fester, middagar, konserter, bröllop, konferenser och mässor. Lokalerna kan användas samtidigt till samma evenemang, då gäster fritt kan röra sig mellan dem, eller till olika, då dörrarna mellan lokalerna hålls stängda. Vid middagar och tillfällen när det serveras mat är det restaurangen, Parnassen, som sköter matlagning och servering. Utöver personalen som sköter serveringen vid dessa tillfällen finns det ingen fast anställd personal på plats vid privata evenemang.

Teatern

På Skövdes Stadsteater visas flera föreställningar i veckan. Dessa är en blandning av lokala uppsättningar och föreställningar av teatersällskap som inte är från Skövde. Även Göteborgs Operan har verksamhet här. På plats vid samtliga föreställningar finns tre fast anställda tekniker som jobbar med ljud, ljus och scen. Utöver teaterverksamheten hyrs även lokalen ut som hörsal vid föreläsningar och liknande.

KAPITEL 3 - BEFINTLIGT BRANDSKYDD

Detta avsnitt beskriver det befintliga brandskyddet, utrymningsstrategin samt de krav som ställs på personalen vid utrymning av Valhall och teatern.

3.1 Detektionssystem

I Valhall finns ett adresserbart system med detektorer utplacerade i rum och korridorer. Systemet består i huvudsak av rökdetektorer. Det finns en manuell larmknapp och den är placerad i kassan vid huvudentrén, se figur 6. Sprinklersystemet fungerar också som detektering och vid utlöst sprinklerhuvud startas utrymnings- och brandlarmet. Det finns ingen larmlagring i systemet, räddningstjänst larmas direkt vid utlöst larm och endast en detektor behöver lösa ut för att larmet skall aktiveras.



Figur 6 Biljettkassan i Valhall med enda larmknappen

Vid konserter som innefattar rökmaskiner eller pyroteknik stängs detektionssystemet av. När detta sker ställs det krav på att arrangören har minst en utbildad brandvakt i lokalen. Brandvakter utbildas av räddningstjänsten.

Detektionssystemet i teatern är också adresserbart och består utav multisensordetektorer som både känner av rök och värme. Detektorerna går på timer och känner endast av värme under dagtid mellan 8-22, på natten detekteras både värme och rök.

På källarplanet (våningsplan 2) finns detektorer i de korridorer under scenen som leder till logerna och förråden. Inne i själva teatern finns detektorer ovanför innertaket men även under innertaket längst bak i salongen. Detektorer finns i entrén både på bottenvåningen och på balkongen.

Teaterns detektionssystem har larmlagring. Systemet ger 90 sekunder för kvittering och sedan ytterligare 3 minuter för åtgärd innan larmet går vidare till räddningstjänsten.

Det finns tre manuella larmknappar i teatern, två bakom scenen och en i ljud-/ljusbåset längst bak i salongen.

Vid föreställningar som pågår efter klockan 22 kan rökdetektorerna ställas om till värmedetektorer för att undvika onödiga larm. Då detta sker finns alltid minst tre utbildade brandvakter/tekniker i lokalen. Det finns alltid en tekniker i ljud-/ljusbåset längst bak i salongen under pågående föreställning som förväntas ha god uppsikt över scenen. Avstängning av detektorerna sker med timer och rökdetektion aktiveras automatiskt igen efter en viss utsatt tid.

Ytterligare detektion finns i båda lokalernas ventilationssystem. Dessa detektorer är rökkänsliga och har som enda uppgift att stänga av ventilationen vid brand. Detektorerna i ventilationskanalerna kan stängas av på samma sätt som övriga detektorer i respektive lokal.

3.2 Utrymningslarm och brandlarm

Utrymningslarm och brandlarm aktiveras via automatisk detektion eller via manuella larmknappar. I teatern finns det larmlagring som när utrymningslarmet aktiverats dröjer larm till räddningstjänsten med 90 sekunder för kvittering och sedan ytterligare 3 minuter för åtgärd, ingen larmlagring sker vid aktivering via manuell larmknapp. Ingen larmlagring finns i Valhall. Då utrymningslarmet utlösts i Valhall stängs musiken av automatiskt.

Utrymningslarm i fastigheten är helt avskilda för de olika verksamheterna, ingen indikation ges i annan del av byggnaden än den där larmet lösts ut. Utrymningslarmet är av typen ringsignal.

3.3 Ventilationssystemet

Valhall har ett tilluftsaggregat och ett frånluftsaggregat som betjänar Valhalls danslokal och intilliggande kök. Huvudkanalen förgrenar sig mellan Valhalls danslokal och kök och frånluften är utspridd på olika ställen i de båda lokalerna. I kanalerna sitter både mekaniska brandspjäll med smältbleck och brandspjäll som är kopplade till separata brandgasdetektorer. Vid aktivering stängs aggregaten samt brandspjällen som stänger både till- och frånluftskanalerna. Förgreningen till köket är utrustade med separata brandspjäll för att omöjliggöra brandgasspridning in till Valhall. I Valhalls lanternin finns manuell brandgasventilation som öppnas av räddningstjänsten, dock finns inga rutiner för när denna skall öppnas. Den detektion som finns i ventilationssystemet är separat från övrig detektion och är inte kopplad till utrymningslarm och brandlarm. De detektorer som stänger av ventilationssystemet stängs även av vid verksamhet som kan leda till onödig aktivering.

Teatern har ett mer avancerat ventilationssystem och betjänas totalt av fyra tilluftsaggregat och frånluftsaggregat. De är fördelade med två aggregat på våningsplan två som betjänar logerna respektive garderoben samt två aggregat som betjänar våningsplan tre, salongen respektive scenen. Precis som i Valhall är ventilationskanalerna utrustade med brandgasdetektorer och brandspjäll som stänger aggregaten och kanalerna vid brand.

Ventilationssystemet kommer inte att försvåra brandgasspridningen från Valhall och teatern till andra delar av byggnaden vid en eventuell brand då de har separata aggregat vars kanaler inte bryter brandcellsgränser. Det faktum att teatern är utrustad med fyra aggregat minskar risken för brandgasspridning mellan de olika delarna via ventilationssystemet.

Aggregaten och brandspjällen kontrolleras manuellt varannan vecka respektive var fjärde vecka.

3.4 Släckutrustning

I Valhall finns brandposter med brandslang vid nödutgångarna nere i Valhall och vid handikapptoaletten nära garderoben i foajén. Dessutom finns brandposter i baren som hör till Freja, vid expeditionen, som ligger vid lokalen Balder, och vid entrén till Loke. Det finns handbrandsläckare bakom scenen inne i Valhall, bakom baren i danslokalen, vid scenen i Freja, i ett förråd i anslutning till Freja och inne i Loke. Se figur 7 för förtydligande.

I teatern finns brandposter med brandslang, en på vardera sidan om scenen. Två handbrandsläckare finns på scenen, tre i foajén, en i teknikrummet och en i ett förråd under scenen. Se figur 9 för förtydligande.

3.5 Sprinklersystem

Valhall, Freja, Loke med tillhörande korridorer har heltäckande sprinklersystem. Systemet antas uppfylla RUS 120¹. Samlingslokaler klassas där till riskklass N1. Vattentätheten skall hållas till 5 mm/min med en varaktighet på 60 min. Detta skall klaras över en verkningsyta på 72 m².

Sprinklerhuvuden är i regel placerade i ett rutnät om 3×3.5 m. Spinklerhuvudenas RTI har bestämts till 300m^{1/2}s^{1/2}².

I teatern finns inget sprinklersystem utöver en ridåsprinkler som aktiveras manuellt. Detta system testades senast vid nybyggnation av kulturhuset 1964³.

3.6 Brandcellsindelning

Valhall och Freja ligger i samma brandcell, denna cell innefattar även huvudentrén och den större av Valhalls utrymningsvägar som ligger i det nordöstra hörnet. Balder och Frejas alternativa utrymningsväg ligger i en egen brandcell. Valhalls sydvästra utrymningsväg, som är något mindre och som även används som varuintag, är brandtekniskt avskiljd. Brandcellsgränser markeras i figur 7 med tjockare svarta streck.

Teatern är en egen brandcell och har inga inre brandcellsgränser. Det finns en brandklassad hiss som går från balkongen till källarplanet. En obrännbar ridå som inte kan kallas en brandcellsgräns har till syfte att separera scenen från salongen i händelse av brand. För en mer noggrann beskrivning av ridån se nedan under teaterridå.

3.7 Utrymningsskyltar och markeringar

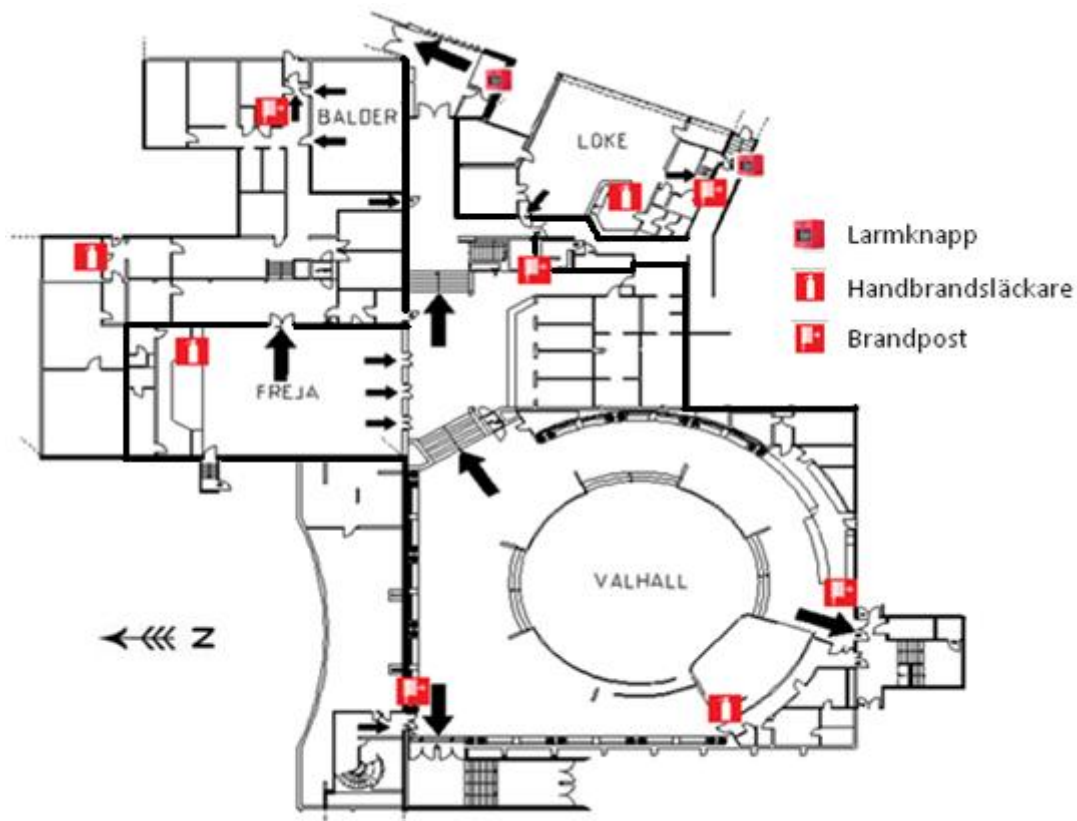
I både Valhall och teatern är utrymningsskyltarna genomlysta och utrymningsvägarna välmarkerade. Utrymningsskyltar finns vid varje utrymningsväg inne i Valhall och teatern, dessutom finns skyltar i teaterns foajé.

I Valhalls södra utrymningsväg kan på våningsplan 2 viss förvirring uppstå då markering saknas och två dörrar finns att välja på.

¹ Regler för automatisk vattensprinkler anläggning, RUS 120:4, 1993

² se bilaga E - Bestämning av RTI

³ Nilsson, Per, scenmästare vid Skövdes Stadsteater.



Figur 7 Översiktsbild för Valhall med angränsande lokaler

3.8 Ytskikt

Taket i Valhall, Loke, Freja, Balder och tillhörande korridorer är av akustikplattor. Väggarna består nästan uteslutande av målad betong.

I teatersalongen är väggarna av tegel med en träpanel som når upp i brösthöjd. I taket sitter akustikplattor. Scenen består till störst del av trä och målad betong.

3.9 Utrymningsvägar

Valhall utryms via tre oberoende utrymningsvägar: huvudentrén och två utrymningsvägar nere i danslokalen. Upp till den nordvästra utrymningsvägen ur Valhall leder en kortare trappa som gör att utrymningsvägen är förhöjd jämfört med resten av lokalen, se figur 8. I huvudentrén är den smalaste passagen 2,3 meter. Den nordvästra utrymningsvägen ur Valhall är som smalast 4 meter och den sydvästra 1,9 meter.

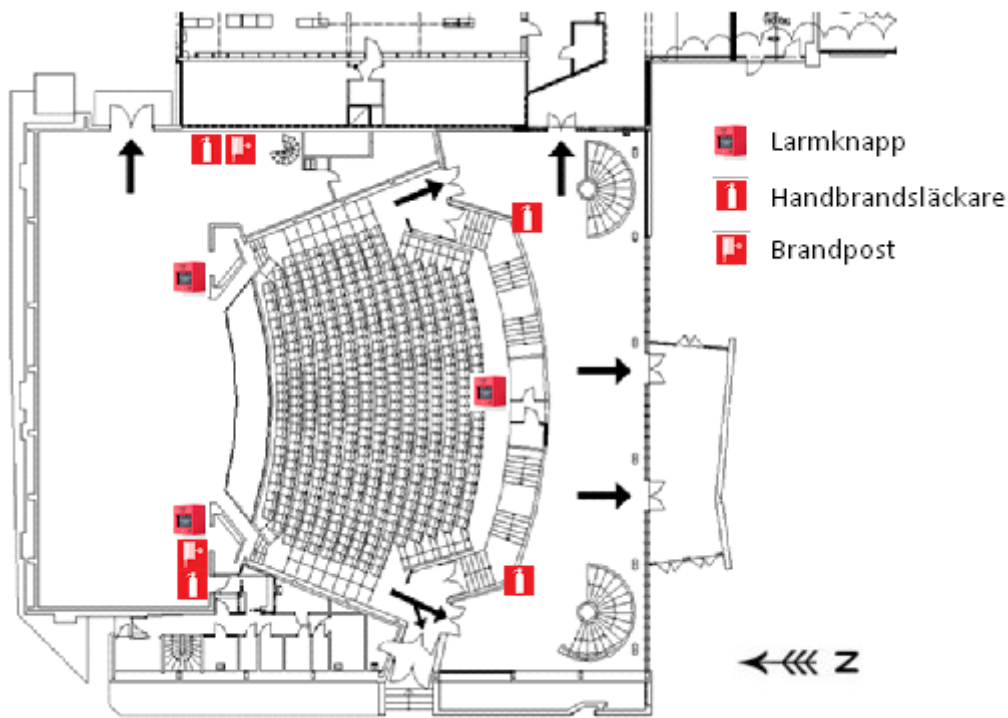
Freja och Balder utryms via huvudentrén och via separat utrymningsväg. Loke utryms via huvudentrén och via separat utrymningsväg.



Figur 8 Trappa till utrymningsväg ur Valhall

Generellt finns en problematik i utrymning av Valhall då lokalen ligger under markplan. I samtliga utrymningsvägar finns trappor av olika längder som måste forceras innan gästerna når ut i det fria.

I teatern utryms salongen via tre stycken utrymningsvägar: de två ingångarna till foajén som är 1,6 meter breda samt en renodlad utrymningsväg direkt till det fria, vilken är 1,9 meter bred. Från foajén finns sedan två utrymningsvägar, en via biljettkassan och en via en vindsluss som mynnar ut i det fria. Båda dessa är 1,6 meter breda. Från övre våningen i foajén finns en utrymningsväg som leder till biblioteket som är en i annan brandcell. På källarplanet (våningsplan två) vid garderoberna finns en utrymningsväg som mynnar i Valhall och som innebär att utrymning måste ske via annan samlingslokal. Det finns även en utrymningsväg bakom scenen för scenpersonal och tekniker som är 2,6 meter bred.



Figur 9 Översiktsbild för teatern

3.10 Utrymningsstrategi

I Valhall gäller att då detektionssystemet är avstängt skall brandvakten aktivera utrymningslarmet via den manuella larmknappen som finns i kassan.

Om brand börjar i teatern under föreställning är det brandvakternas uppgift att aktivera utrymningslarmet och informera besökarna via högtalarsystemet.

3.11 Räddningstjänstens insatsmöjligheter

Räddningstjänstens insatstid är 10 minuter. Deras första samlingspunkt vid samtliga automatlarm är vid larmcentralen som är placerad vid den larmknapp som finns i Lokes utrymningsväg.

3.12 Teaterridån

Ridån i teatern är tillverkad av en obrännbar glasfiberväv och är tillsammans med ridåsprinklersystemet tänkt att skärma av scenen från salongen i händelse av brand. Ridån är kopplad

till brandlarmet och stängs av en elektrisk motor då någon av detektorerna utlöser. Det är även möjligt att stänga ridån manuellt från scen. Detta tar dock ungefär 5 - 6 min vilket är relativt lång tid jämfört med automatisk stängning som sker på ca 30 s. Då rökdetektorerna oftast är avstängda vid föreställning är stängningen beroende av att personal manuellt larmar. Detta medför att tiden tills ridån är stängd kan variera mellan 30 s och 6 min, under förutsättningen att manuell aktivering sker. Ridån är tillverkad av ett företag som heter Il Monte som säljer brandklassade tyger. Il Monte har sytt ridån och garanterar att ridån håller sin brandklass men är inte involverade i installationen i teatern. Installationen är istället utförd av personal på teatern. Då ridån fungerar brand- och brandgasavskiljande är det av stor vikt att den i stängt läge är tät. Därför är den försedd med tyngder i botten och går omlott cirka en halvmeter i mitten. Då ridåsprinklern utlöser väter den ridån, vilket gör den tyngre och tätare. Det kommer dock alltid att bildas en liten glipa mellan de två ridådelarna då banorna i vilka ridådelarna glider har en viss distans emellan sig.

Ridåns klassas obrännbar enligt en tysk norm, DIN – 4102 – A2.

3.13 Brandgasventilation

På teaterns scen finns en naturlig brandgasventilation. Denna består av ett antal luckor med olika storlekar placerade högst upp på scenens bakre vägg och högst upp på scenens vänstra vägg⁴. Den totala arean av brandgasventilationen är ca 8,2 m². Luckorna öppnas automatiskt ca 40 cm i övre kanten vid detektion av brand.

⁴ För placering se figur B3 i bilaga B - CFAST

KAPITEL 4 - METOD

För att göra arbetsgången mer överskådlig kan den delas in i sex skeden: platsbesök, scenarioval, simulering i CFAST och validering, simulering i Simulex, känslighetsanalys, förslag och prövning av åtgärder.

Tidigt under arbetsgången gjordes ett platsbesök, då gruppen med hjälp av tilldelad handledare från LTH, Räddningstjänsten i Skövde och ansvariga personer från objektet samlade in nödvändig information. Innan dess studerades objektet noga utifrån ritningar och information som gått att få tag på i förhand. Under besöket fördes noggrann dokumentation om befintligt brandskydd och andra dimensionerande faktorer. Vid detta tillfälle delades även en enkätundersökning ut till anställda. För att undersöka objektets brandskydd används ett analytiskt tillvägagångssätt, vilket är en bra metod för att kunna frånga standardiserade regler och istället utvärdera och föreslå alternativa, anpassade lösningar.

Med den mesta informationen insamlad identifieras möjliga brandscenarion. Utifrån en kombination av sannolikhet och konsekvens väljs ett antal västa troliga scenarion. När dessa har identifierats bestäms vilken dimensionerande brand dessa scenarion skall ha, vilken kommer att vara en avgörande faktor för resultaten.

Med effektkurvan, rumsgeometrier och övrig information om branden kan förloppet simuleras i CFAST. Programmet bygger på en tvåzonsmodell, vilket är ett antagande som i slutändan kommer att påverka resultaten. Vid simulering erhålls värden på bland annat strålning, temperaturer, brandgaslagrets höjd, sikt och toxicitet. Med hjälp av dessa värden kan tid till vissa valda kritiska förhållanden bestämmas. Validering av dessa värden görs också genom handberäkningar.

I nästa steg simuleras scenarierna i Simulex. Programmet tidsbestämmer utrymningsförloppet i de aktuella lokalerna, under förutsättningen att varseblivningstid och beslut- och reaktionstid har uppskattats. Denna tid jämförs med tiden till kritiska förhållanden, och skillnaden ger en indikation på om objektets nuvarande brandskydd är tillräckligt eller ej.

För att kontrollera hur antaganden och valda ingångsvärden påverkar resultaten genomförs en känslighetsanalys. Resultaten från känslighetsanalysen används sedan i diskussionen för att utvärdera rapportens svagheter.

Slutligen ges vid behov förslag på åtgärder och förbättringar. Exempel på åtgärder kan vara rent byggnadsmässiga förändringar, organisatoriska förändringar eller förbättringar av detektion- och släcksystem. Dessa åtgärder prövas i CFAST och Simulex för att se hur de påverkar resultaten.

Viktigt att nämna är att vid tolkning av resultaten krävs även förmågan att kunna utvärdera riktigheten. Eftersom programmen som används inte är exakta verktyg och resultaten bygger på antaganden ligger stor vikt på att rapportförfattarna gör egna analyser och bedömningar av resultatens relevans och sanningsnivå.

KAPITEL 5 - TEORI

Nedan följer teoriavsnitt om relevanta metoder, modeller och praxis.

5.1 Utrymning

Nedan ges översiktlig teori om utrymningsdimensionering samt metoder för utrymningssimulering.

Utdrag från BBR, ”*skall byggnader utformas så att tillfredställande utrymning kan ske vid brand*”.

Med tillfredställande utrymning menas att alla personer inom byggnaden skall hinna utrymma eller förflyttas till säker flyktplats inom byggnaden innan kritiska förhållanden uppstår. Vid dimensionering av utrymningsvägar bör tiden för utrymning vägas emot och understiga tiden för kritiska förhållanden⁵.

Utrymningsdimensionering

Tiden tills kritiska förhållanden, $t_{kritisk}$, skall vara större än den tid det tar att utrymma byggnaden, $t_{utrymning}$. Vad som räknats som kritiska förhållanden beskrivs i tabell 1 under "kritiska förhållanden".

$$t_{kritisk} > t_{utrymning}$$

Utrymningsförloppet, $t_{utrymning}$, brukar delas upp i tre delar, varseblivningstid, tid för reaktion och beslut och tid för förflyttning⁶. Den totala tiden för utrymning beräknas på följande sätt:

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

Utrymningsmodellens slutliga uttryck blir:

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

Varseblivning

Varseblivningstiden är den tid det tar för personer i byggnaden att upptäcka en brand, t.ex. visuellt. Vid automatisk detektion är varseblivningstiden tiden från antändning till detektoraktivering. Faktorer som påverkar denna tid är byggnadens utformning, typ av detektorer och automatiska system, folks vakenhet, belysning av lokalen och av vilken typ branden är. Något som brinner med mycket lukt och sotbildning upptäcks rimligen snabbare än andra bränder. Vad gäller varseblivningstiden för detektorer är Detact är ett datorprogram som kan användas för att uppskatta denna tid, mer om detta i bilaga D.

Beslut- och reaktionstid

Beslut- och reaktionstiden är den tid det tar för personer att påbörja utrymning, efter det att branden upptäckts. Tiden här kan vara en till flera minuter. Det som kan förkorta tiden är utbildad och aktiv personal, utrymningslarm med tydliga och talande meddelande och alerta gäster i lokalen. Tänkbart är att under beslut- och reaktionstiden kan folk börja leta information om vad det är som hänt eller vänta och se vad andra människor gör. Det har visat sig att människors reaktion ofta beror på deras sociala status i gruppen och samhället.

⁵ Boverkets byggregler, BBR, avsnitt 5:3.

⁶ Nilsson, Daniel. Doktorand LTH

Förflyttningstiden

Förflyttningstiden är den tid det tar för personerna att från påbörjad utrymning ta sig ut ur byggnaden. Denna är beroende av bland annat personernas lokalkännedom, antal trappor och personers rörelseförmåga, gångavstånd till utrymningsvägar och dess antal och bredd. Förflyttningstiden kan förkortas med genomlysta och rätt placerade utrymningsskyltar som visar väg till närmaste utrymningsväg. Oftast används Simulex (eller liknande datorprogram) eller handberäkningar vid beräkning av förflyttningstiden⁷.

5.2 Kritiska förhållanden

Vid bestämning av tiden till kritiska förhållanden bör brandgaslagrets höjd, siktbarhet, värmestrålning, temperatur, giftiga gaser samt kombinationer av dessa parametrar beaktas. I tabell 1 anges gällande gränsvärden⁸.

Tabell 1 Beskrivning av kritiska förhållanden.

Siktbarhet	En brandgaslagernivå 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).
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 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ lufttemperatur
Toxicitet	Personer får under utrymning ej utsättas för skadliga doser av giftiga gaser eller låg syrehalt. Det anses räcka att beakta CO, CO ₂ och O ₂ . Följande nivåer anger en miljö där säker utrymning kan ske: CO < 2000 ppm CO ₂ < 5 % O ₂ > 15 %

Vad som definierats som kritiska förhållanden i denna rapport skiljer sig något från ovan nämnda kriterier. De presenteras nedan i tabell 2.

⁷ Nilsson, Daniel. Doktorand LTH

⁸ Boverkets byggregler, avsnitt 5:361.

Tabell 2 Beskrivning av de kombinerade kritiska förhållanden som används i rapporten

Siktbarhet	En brandgaslagernivå på lägst $1,6 + (0,1 \times H)$ meter, där H är rumshöjden, i kombination med siktsträcka på minst 10 meter och minst 5 meter i brandrummet.
Värmestrålning	En maximal strålningsintensitet på $2,5 \text{ kW/m}^2$.
Temperatur	En brandgaslagernivå på lägst $1,6 + (0,1 \times H)$ meter, där H är rumshöjden, i kombination med en temperatur i brandgaslagret på minst $80 \text{ }^\circ\text{C}$.
Toxicitet	En brandgaslagernivå på lägst $1,6 + (0,1 \times H)$ meter, där H är rumshöjden, i kombination med gaskoncentrationer som överstiger dessa: CO: 2000 ppm CO ₂ : 5 % Syrgaskoncentration som understiger denna: O ₂ : 15 %

Resonemanget angående temperatur, toxicitet och siktbarhet bygger på att dessa tre parametrar ej är farliga för människor om inte brandgaslagret sjunkit till kritisk nivå. Temperaturen, toxiciteten och sikten mäts då i just brandgaslagret och ej i omgivande luftlager⁹.

5.3 αt^2 -branden

I denna rapport antas alla dimensionerande bränders effektutveckling följa en αt^2 -kurva enligt följande form:

$$Q = \alpha t^2$$

där Q är effektutvecklingen i kW, alfa, α , är tillväxthastigheten i kW/s^2 och t är tiden i sekunder.

αt^2 -kurvan togs fram i syfte att undersöka aktiveringstiden hos rökdetektorer. Det betyder att modellen är framtagen med försök på bränder med en storlek på upp till 100 kW. Värdet på tillväxthastigheten bör väljas med ingenjörsmässiga antaganden eller med hjälp av resultat från försök.

Effektutvecklingskurvan motsvarar en konstant flamspridning och den tar inte hänsyn till eventuella förändringar i brandförloppet, t.ex. aktivering av ett släcksystem. αt^2 -kurvan är en förenklad modell av ett komplicerat problem, men den har visat sig stämma väl överrens med effektutvecklingen i den tidiga delen av ett brandförlopp. I praktiken används dock αt^2 -kurvan upp till flera MW¹⁰.

⁹ se teoridel om CFAST och tvåzonsmodellen för förklaring av "brandgaslager" och "luftlager".

¹⁰ Karlsson, B., Quintiere, J. G., 2000.

Nedan, i diagram 1, visas de fyra standardiserade värdena på tillväxthastigheten som används.

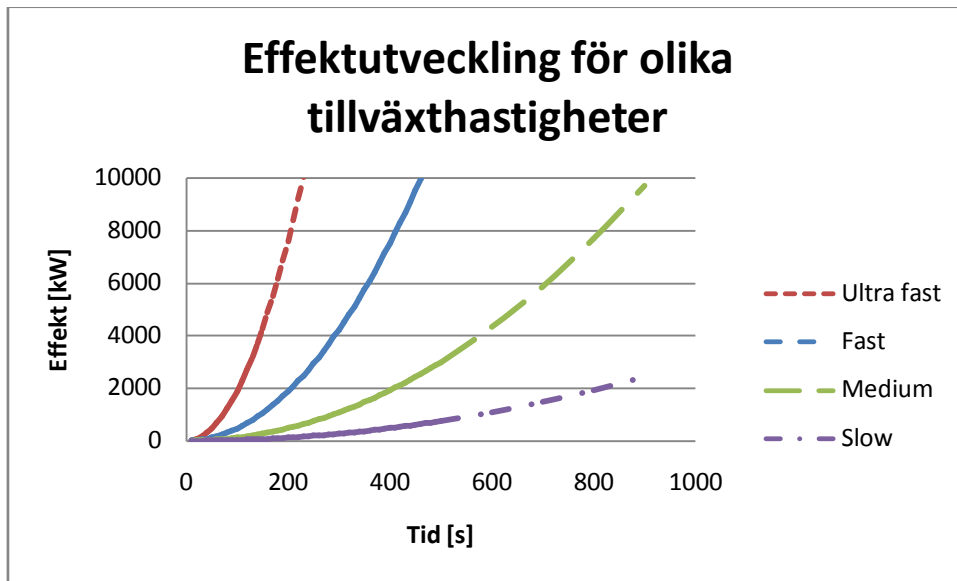


Diagram 1 Effektutveckling med olika värden på tillväxthastigheten

Ultra fast $\alpha=0,19 \text{ kW/s}^2$

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

Medium $\alpha=0,012 \text{ kW/s}^2$

Slow $\alpha=0,003 \text{ kW/s}^2$

5.4 Tvåzonsmodellen och CFAST

Nedan följer övergripande teori om simuleringsprogrammet tvåzonsmodellen och CFAST.

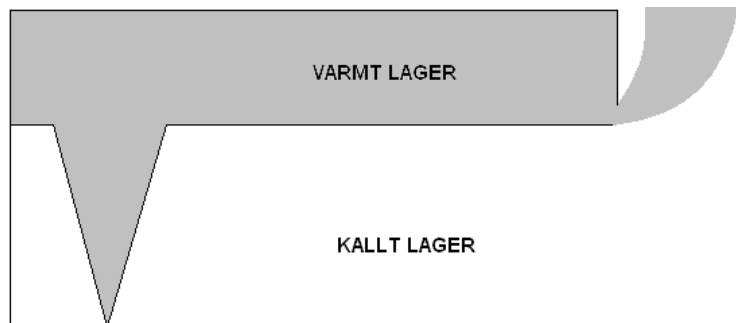
Tvåzonsmodellen

Tvåzonsmodellen är en förenkling av verkligheten och används vid simulering av bränder i avgränsade utrymmen. Utrymmet delas in i två "zoner" där det övre består av varma brandgaser och det nedre av kall luft. Dessa lager antas homogena, vilket t.ex. innebär att var man än tittar i lagret är temperaturen densamma.

Brandgaserna antas spridas

momentant i brandgaslagret och all förbränning sker i det undre lagret. Med hjälp av kontinuitetsekvationer för bevarandet av massa och energi i lagren och information om brandeffekt, rumsgeometri, omgivande tryck- och temperaturförhållanden, konstruktionsmaterial och eventuell ventilation kan följande parametrar beräknas¹¹:

- Temperaturer i båda lagren
- Brandgaslagrets höjd
- Tryckprofilen i båda lagren



Figur 10 Principen för tvåzonsmodellen

¹¹ Brandskyddshandboken. 2005.

Begränsningar

Verkligheten stämmer inte riktigt överens med de antaganden som görs i modellen. T.ex. är temperaturen inte helt homogen i lagren, då det är varmare närmare brandkällan. Antagandet att transport av massa och energi sker momentant innebär att de brandgaser som produceras vid branden i samma stund som de bildats spridit sig i det övre lagret. Detta gör att modellen inte är så lämplig att använda när rumsgeometrin medger långa transportsträckor för brandgaserna. Så är fallet i t.ex. korridorer, där förhållandena skiljer sig mycket beroende på om man tittar nära branden eller långt ifrån. Modellen ska också användas med försiktighet i andra situationer där en tydlig tvåzonsskiktning inte alltid sker, som vid en liten brand i ett stort utrymme. Dessa begränsningar ligger till grund för följande krav på rumsgeometrier och effektutveckling vid användning av modellen. De presenteras i tabell 3¹².

Tabell 3 Begränsningar för rumsgeometrier i CFAST.

Acceptabelt	Gränsvärde	Ej acceptabelt
$L/W \leq 3$	$3 < L/W \leq 5$	$L/W > 5$
$L/H \leq 3-4$	$3-4 < L/H \leq 6$	$L/H > 6$
$Q \geq 5AVH$		

L = rumslängd [m]
 W = rumsbredd [m]
 H = rumshöjd [m]
 Q = effektutveckling [kW]

CFAST

CFAST (Consolidated Fire and Smoke Transport Model) är framtaget av NIST (National Institute of Standards and Technology) och är ett program skapat för att kunna simulera brandförlopp i byggnader. Det bygger på tvåzonsmodellen och är förmodligen ett av de populäraste simuleringsprogrammen för detta ändamål. Simuleringar kan genomföras i byggnader med upp till 30 sammanhängande rum. Med hjälp av indata om den dimensionerande branden och byggnaden fås utdata som strålning, temperatur, gaskoncentrationer, optisk täthet, höjd på brandgaslager, sprinkleraktivering och andra viktiga parametrar¹³. Programmet använder McCafferys plymmodell som bygger på att 30 % av energin förloras via strålning¹⁴.

Syftet med att använda CFAST i detta arbete är att se när tiden till kritiska förhållanden inträffar.

¹² ISO/WD 13390, 1995.

¹³ Nystedt, Fredrik. Föreläsning CFAST.

¹⁴ Karlsson, B., Quintiere, J. G., 2000.

Indata

Brandens effektutveckling måste anges.

Rum med mer komplexa geometrier måste förenklas till kuber när informationen om rummens utseende matas in i programmet. För att kompensera för förändringen är det viktigt att behålla ungefär samma volym som i verkligheten. Detta för att rökfyllnad ska bli någorlunda rättvisande.

För att simulera siktförhållanden måste bränslesammansättningen anges mellan H och C, och förhållandet mellan CO och CO₂, och C och CO₂i brandgaserna.

För de material som antas medverka i brandförloppet måste förbränningsvärmets anges. Vid olika bränslen bör massandelarna av de ingående materialen viktas för att få ett rättvisande värde på förbränningsvärmets¹⁵.

5.5 Simulex

Simulex är en partikelmodell för simulering av utrymning. Att Simulex är en partikelmodell kännetecknas av att utrymmande personer har en x- och y-koordinat och en riktningsvinkel, som bestämmer deras position i byggnaden. Programmet arbetar med importerade tvådimensionella CAD-ritningar vari man definierar utgångar och sammanlänkar våningsplan med trappor och länkar. Även hinder som begränsar utrymningsvägarna är lätta att simulera genom att modifiera CAD-ritningarna innan import. Programmet genererar en avståndskarta för hela byggnaden som beskriver den kortaste vägen till en utgång för varje punkt i byggnaden. När avståndskartorna är beräknade kan personer placeras ut i byggnaden enskilt eller i grupp. Hur snabbt dessa människor rör sig, vilken personkategori de tillhör och vilken reaktionstid de har kommer att påverka utrymningstiden. Gånghastigheten kommer att slumpmässigt väljas mellan 0,8 till 1,7 m/s men kommer även att styras av hur snabbt framförvarande person rör sig. Vilken personkategori man väljer kommer medföra en viss yta som personerna kommer att uppta. De kategorier som finns tillgängliga är man, kvinna eller medelperson som är ett medelvärde mellan man och kvinna. Det är möjligt att definiera personkategori för en enskild person eller grupper av personer. I Simulex går det för en grupp att definiera ett antal förbestämda fördelningar av personkategorier. Den vanligast är kontorspersonal, vilket innebär att fördelningen i gruppen blir 30 % medelpersoner, 30 % kvinnor och 40 % män. Vid simulering beräknar programmet kontinuerligt för varje person den optimala vägen till en utgång utifrån dess x- och y-koordinater och riktningsvinkel. Personernas gånghastighet anpassas hela tiden med hänsyn till avståndet till framförvarande personer. Finns det utrymme kan även personer passera andra personer med en långsammare gånghastighet.

Simulex ger en uppskattning av förflyttningstiden och om var utrymningsproblematik som köbildning uppstår. Programmets begränsningar ligger dock i hur personerna väljer utrymningsväg. Det är möjligt att i förväg bestämma vilken utrymningsväg enskilda personer eller grupper av personer ska gå ut igenom. I verkligheten tenderar dock personer att byta utrymningsväg vid köbildning, välja utrymningsväg utifrån sociala band oavsett om det är närmaste vägen ut. Detta är en problematik som inte går att simulera i Simulex.

¹⁵ Nystedt, Fredrik. Föreläsning CFAST

KAPITEL 6 - SCENARIER

I detta kapitel presenteras möjliga scenarier, hur de värderats och slutligen vilka som valts för vidare undersökning.

6.1 Möjliga scenarier

Vid värdering av scenarierna har händelsernas sannolikhet och konsekvens betänkts och graderats till antingen *hög*, *medel* eller *låg*.

Sannolikhet- syftar till hur troligt det är att branden uppstår. För att bedöma detta har, i de fall där det finns, statistik använts. I övriga fall har persontäthet och tillgång till möjliga antändningskällor vägts in. Då det är svårt att avgöra sannolikheten för varje scenario har de endast jämförts med varandra. I sannolikheten bedöms även hur troligt det är att branden blir fullt utvecklad om väl antändning har skett.

Konsekvens- I bedömningen av scenariernas konsekvenser, med avseende på personskador, har sex parametrar varit avgörande.

-Persontäthet	-Utrymningsvägar	-Branden (brandbelastning,
-Personers tillstånd (ålder,	(blockerad eller ej)	spridning, tillväxt)
fysiska rörelsehinder,	-Rökspridning	-Tid till detektion (larmning)
berusningsgrad)		

Dessa har tillsammans vägts in för att bestämma hur allvarlig konsekvensen för varje scenario blir.

Som grund till de scenarier som utvärderats finns viss statistik gällande antändningskällor. I allmänna samlingslokaler är 26,3% av alla bränder anlagda, eller misstänkt anlagda. Bortser man från okända tändkällor är "eldistribution" den näst vanligaste tändkällan, 13,2 % av alla bränder.¹⁶ Statistiken är amerikansk, därför bör den användas med försiktighet. Dock ger den en fingervisning om möjliga tändkällor. Vad gäller specifikt teatern har det rapporterats incidenter då det luktat bränt från scenen. Det har då handlat om en strålkastare som stått för nära dekoren¹⁷.

Väljer man att titta på tidigare incidenter i resten av byggnaden skedde det 1998 en brand i källaren under restaurangen. Antändningsorsaken var då ett elfel i en vitvara¹⁸.

Valhall

Nedan redovisas möjliga scenarier i Valhall, personantal och öppna dörrar varierar.

Brand i garderob

Garderoben ligger i foajén som angränsar till Valhall och består av fyra utrymmen med plats för 250 klädhängare i varje. Tre möjliga scenarier med olika personantal har betänkts. Det första med 1200 stående gäster som befinner sig i Valhall, det andra med 1400 stående gäster fördelat på Valhall, Freja och Loke och det tredje med 550 sittande gäster i Valhall. Branden i garderoben skulle blockera den största utrymningsvägen i alla tre fall och konsekvensen har därför bedömts som *hög*. Sannolikheten varierar dock i de tre fallen. I det första fallet, med 1200 stående gäster, bedöms den som *medel*, andra fallet som *medel/låg*, då det väldigt sällan befinner sig 1400 gäster i de tre

¹⁶ Abrahamsson, M., 1997.

¹⁷ Nilson, Per. Scenmästare vid Skövdes Stadsteater.

¹⁸ Almgren, Roger. Brandingenjör, Räddningstjänsten Skövde.

lokalerna. I det sista fallet med sittande gäster bedöms sannolikheten som *låg*, då det är mindre troligt att någon anlägger en brand, vilket anses vara en trolig tändkälla, på ett evenemang man är bjuden till (t.ex. bröllop, middag, företagsevent).

Brand i soffa/bord

Det hålls många middagar och fester i Valhall för upp till 550 personer, och vid dessa tillfällen kan brandbelastningen i lokalen anses hög. På borden finns levande ljus som enkelt skulle kunna vältras på bord eller i soffa. Men då det finns mycket serveringspersonal i lokalen och många gäster vid borden bedöms sannolikheten att en sådan brand skulle ta sig till relativt låg. Sammanlagt antas sannolikheten vara *medel*. Skulle branden ändå få utvecklas bör tiden till detektion och larmning vara kort, men med all inredning som kommit till i lokalen och försvårar utrymning får konsekvensen ändå anses vara *medel*.

Brand på scen

Scenen är belägen mitt i Valhall, där sker allt från enklare framträdanden med en person till större framträdanden med flera personer t.ex. vid en konsert. Två tänkbara brandscenarier har valts, det första är brand på scen med 1200 stående gäster i Valhall. Det andra scenariot är med 1400 stående gäster som är fördelade på Valhall, Loke och Freja. Möjliga antändningskällor är elfel eller värme från halgenlampor som i sin tur antänder något annat. Vid stora konserter skulle det även kunna förekomma pyroteknik som vid felaktigt användande är en stor brandfara. Persontätheten kommer vara hög i båda scenarierna och det finns även en möjlighet att rökdetektorerna är avstängda, vilket är fallet när rökmaskiner används. En brand på scenen kommer däremot inte att direkt blockera någon av de tre utrymningsvägarna. Utifrån denna diskussion bedöms konsekvenserna till *medel*. Vad gäller sannolikheten att branden får utvecklas bedöms den som något mindre än normalt då personerna som uppträder på scen och även gästerna, vars uppmärksamhet är riktad mot scenen, troligen kommer att detektera branden relativt snabbt. Då det finns flera troliga antändningskällor blir sannolikheten *medel*.

Brand på scen, sittande gäster

När det sker framträdanden på scen med sittande gäster i Valhall ser situationen något annorlunda ut än när gästerna är stående. Det handlar till exempel oftast om privata fester eller bröllop och folk kommer antingen att befinna sig sittande till bords eller på dansgolvet. En brand på scenen kommer inte att direkt blockera någon av de tre utrymningsvägarna och det finns ingen risk för att rökdetektorerna skulle vara avstängda. Däremot kommer det finnas mycket lös inredning i salen som försvårar utrymning och konsekvensen bedöms därför vara *medel*. Sannolikheten bedöms precis som i scenariot "brand på scen med stående gäster" vara *medel*.

Brand i utrymningsväg

Utrymningsvägen som är belägen mellan scenen och baren i Valhall leder direkt ut i det fria. Vid platsbesöket var den belamrad med en stapel träpallar lastade till takhöjd och tre tomma återvinningsbehållare för glas. Då en brand uppstår i utrymningsvägen kommer den att vara oanvändbar för utrymning. Två tänkta scenarier är 1200 stående gäster i Valhall respektive 550 sittande gäster i Valhall. Då utrymningsvägen är en egen brandcell kommer brandgasspridningen att vara liten och då ingen uppenbar antändningskälla finns antas sannolikheten som *låg*. Trots att en utrymningsväg elimineras antas konsekvensen vara *låg* då detta inte är det mest troliga valet av utrymningsväg och den dessutom ligger långt från de andra utrymningsvägarna.

Brand i baren

Baren i Valhall används vid bröllop, konserter och övriga tillställningar för både dryckesservering och enklare maträtter. Detta utrymme har två kylar och en ismaskin som är permanenta och vid användning tillkommer alkohol, glas och andra typiska tillbehör. Tre möjliga scenarier har betänkts. Det första är 1200 stående gäster som befinner sig i Valhall, det andra är 1400 stående gäster som är fördelat på Valhall, Freja och Loke och det tredje är 550 sittande i Valhall. Då de tre utrymningsvägarna är fria, detektion sker relativt snabbt men persontätheten är hög, antas konsekvenserna för de tre scenariona vara *medel*. Om en brand utbryter i baren kommer brandbelastningen att vara liten och upptäckas av personal i ett tidigt skede. Sannolikheten bedöms vara *medel* då något fel i någon komponent eller elfel är den enda antändningskällan.

Teatern

Nedan redovisas möjliga scenarier i teatern. Samtliga utspelar sig under föreställning med en publik på ca 500 personer.

Brand ovan innertaket i teatern

Innertaket består utav en trästruktur täckt med akustikplattor som hålls uppe utav oskyddade armeringsjärn med 10 mm i diameter. Utrymmet som skapas ovan innertaket har cirka två meter i takhöjd och sträcker sig från salongens bakre del fram till scenen där en vägg med klass EI30 avgränsar utrymmet från scenbyggnaden. Det finns ingenting förvarat ovan innertaket och inget elektriskt förutom en mängd elkablar. Den enda tänkbara brandorsaken är elfel och sannolikheten för det klassas som låg. Det finns tolv branddetektorer i utrymmet som kan ställas om för att endast detektera värme under föreställningar. Det finns låg risk för att en brand ovan innertaket skall sprida sig eller skapa kritiska förhållanden i salongen, men om armeringsjärnen som håller uppe innertaket tappar sin hållfasthet innan utrymning av salongen skett kan konsekvensen bli stor. Då armeringsjärnen förväntas hålla fram till dess att utrymning skett blir konsekvensen *låg*.

Brand på scen

Brand på scenen kan starta både i dekoren och i den elcentral som är placerad i anslutning till scenen. Det finns en brandklassad ridå som går igen när utrymningslarmet går, men den är elektriskt driven och problem med stängningen skulle kunna uppstå. Det finns rapporterade incidenter då dekoren har kommit för nära strålkastare och blivit bränd¹⁹, sannolikheten för brand i dekor klassas därför till *hög*. På scen finns stora mängder elektronik, då elfel är en vanlig brandorsak klassas sannolikheten för detta till *medel*. En brand på scen kan ge upphov till en snabb brandspridning eftersom scenen rymmer stora mängder lättantändlig materiel, det är dock troligt att branden upptäcks snabbt och att utrymning kan påbörjas tidigt. Brandgasventilation finns ovanför scenen och eftersom teatern dessutom har högt till tak förväntas inte brandgaserna orsaka problem under det tidiga brandförloppet. Konsekvensen av brand på scen klassas till *medel*.

Brand i förråd under scen

Under scenen finns ett förråd där strålkastare, dekor, bord och stolar förvaras. Detta utrymme har inga detektorer och för att ta upp materiel till scenen används en lucka som öppnas på scengolvet. Vid ett tillfälle de senaste fem åren har denna lucka varit öppen under ett framträdande²⁰. Den enda troliga tändkällan i detta förråd är ett elfel. Sannolikheten för att en brand startar i förrådet då luckan

¹⁹ Nilsson, Per, scenmästare vid Skövdes Stadsteater.

²⁰ Ibid

till scenen är öppen bedöms vara *låg*. Om antändning sker så kommer branden antagligen att hinna ta fäste innan den detekteras eftersom det inte finns några detektorer i förrådet. Risken att branden sprider sig till scenen anses dock vara begränsad och därför klassas konsekvensen till *låg*.

Brand i orkesterdike

Orkesterdiket ligger nedsänkt framför scenen och ingång sker från våningen under. Utrymmet är trångt men görs större beroende på hur stor orkestern är. En möjlig antändningskälla skulle kunna vara ett elfel i utrustningen som hör till instrumenten, men då det inte finns mycket sådan utrustning bedöms sannolikheten vara *låg*. Konsekvensen likställs med brand på scen, *medel*, då branden efter ett tag förmodligen skulle sprida sig till dekoren på scenen.

Brand i ljud- och ljusanläggning i salongen under föreställning

Teaterns ljud- och ljusanläggning är placerad högst upp i bakre delen av salongen. Den är under föreställning alltid bemannad med två personer. Då det finns mycket elektronik bedöms risken för brand på grund av ett elfel till *medel*. Skulle ändå brand uppstå bedöms konsekvensen bli *låg* då detektion kommer ske snabbt, ljud- och ljusteknikerna är del av den fasta personal som agerar brandvakter under föreställningar och utrymmet är utrustat med en larmknapp.

Brand i loger eller förråd under teatern

Under scenen finns ett antal loger sammanlänkade med en korridor. I logerna finns gott om brännbart material. Tänkbar tändkälla skulle kunna vara ett glömt strykjärn, sannolikheten bedöms därför till *medel*. Då endast korridoren utanför logerna är försedd med rökdetektorer skulle det kunna medföra lång varseblivningstid. Men eftersom endast ett begränsat antal personer med god lokalkännedom vistas i dessa lokaler bedöms utrymningssvårigheten vara *låg* och därmed också konsekvensen *låg*.

Under salongen finns ett utrymme som är uppdelat i tre rum, två som fungerar som förråd vari det förvaras diverse material och ett som fungerar som verkstad. Endast ett av förrådsrummen är försedd med detektor. I verkstadsdelen finns det elektriska maskiner och gott om brännbart material. Varma maskiner eller elfel skulle eventuellt kunna antända träspån i utrymmet, sannolikheten bedöms därför till *medel*. Då inte alla delar av utrymmet är försett med detektorer skulle branden kunna utvecklas och bli ganska kraftig. Detektion i intilliggande korridor eller i den del av förrådet som är försedd med detektorer bör ske innan branden kan sprida sig genom taket till salongen, därför bedöms konsekvensen till *låg*.

Brand i garderoben

I teaterns källarplan finns en garderob som ansluter till salongen via två stora dörrar och är öppen uppåt mot entrén. Då övriga antändningskällor knappt förekommer och de flesta anlagda bränder sker i bostadshus och skolor²¹ bedöms sannolikheten för en anlagd brand i teaterns garderob till *låg*. Dessutom antas de flesta teaterbesökarna ta med sina ytterkläder in i salongen hellre än att lämna dem i den obevakade garderoben. Konsekvensen av en brand i garderoben skulle dock bli *hög* då branden skulle växa snabbt och brandgaser skulle kunna blockera utrymningsvägar och dessutom läcka in i salongen då dörrarna dit in inte är brandklassade.

²¹ Räddningsverket, *Anlagd brand faktafördjupning*.

I tabellerna 4 och 5 nedan redovisas en sammanfattning över samtliga scenarier i både Valhall och teatern och hur de bedömts.

Tabell 4 Översikt av möjliga scenarier i Valhall.

Brandscenarier Valhall	Sannolikhet	Konsekvens
Brand i garderob, stående gäster, 1200 pers i Valhall	MEDEL	HÖG
Brand i garderob, stående gäster, 1400 pers i Freja, Loke och Valhall	LÅG/MEDEL	HÖG
Brand i garderob, sittande gäster, 550 pers i Valhall	LÅG	HÖG
Brand i soffa/bord, sittande gäster, 550 pers i Valhall	MEDEL	MEDEL
Brand på scen, stående gäster, 1200 pers i Valhall	MEDEL	MEDEL
Brand på scen, stående gäster, 1400 pers i Valhall, Freja och Loke	MEDEL	MEDEL
Brand på scen, sittande gäster, 550 pers i Valhall	MEDEL	MEDEL
Brand i lastpallar i utrymningsväg bakom baren, stående gäster, 1200 pers i Valhall	LÅG	LÅG
Brand i lastpallar i utrymningsväg bakom baren, sittande gäster, 550 pers i Valhall	LÅG	LÅG
Brand i baren, stående gäster, 1200 pers i Valhall	MEDEL	MEDEL
Brand i baren, stående gäster, 1400 pers i Valhall, Freja och Loke	MEDEL	MEDEL
Brand i baren, sittande gäster, 550 pers i Valhall	MEDEL	MEDEL

Tabell 5 Översikt över möjliga scenarier i teatern.

Brandscenarier Teater	Sannolikhet	Konsekvens
Brand ovan innertak	LÅG	LÅG/HÖG
Brand i dekor på scen	HÖG	MEDEL
Brand i förråd under scen, lucka öppen	LÅG	MEDEL
Brand i orkesterdike	LÅG	MEDEL
Brand i ljud- och ljusanläggning i salong	MEDEL	LÅG
Brand i loge	MEDEL	LÅG
Brand i elcentralen på scen	MEDEL	MEDEL
Brand i förråd under salongen	LÅG	LÅG
Brand i garderob	LÅG	HÖG

6.2 Val av scenarier

I de flesta byggnader finns det ett stort antal tänkbara brandscenarier, för att kunna begränsa sig väljer man "det värsta troliga scenariot". Har ett scenario bedömts ha både konsekvens och en sannolikhet som är *hög* eller *medel* är det av större intresse att undersöka.

En annan metod för att välja scenarier är att jämföra flera olika med varandra. Finns det flera brandscenarier som leder till liknande utrymningsmöjligheter, eller där bränderna betar sig likadant, kan dessa paras ihop och utredas som ett ensamt, så kallat, representativt scenario. På så sätt kan man täcka av ett bredare händelseutfall.

Med hänsyn till dessa två aspekter har tre scenarion valts för vidare undersökning. Dessutom har ett extra scenario utretts i bilaga G - Garderobsbrand teatern.

Scenario 1 - Brand i garderob i Valhall:

Brand i garderoben i Valhall, då endast Valhall är öppet och gästantalet är 1200. Rökdetektorerna antas vara avstängda, vilket kan ske vid vissa tillfällen²². Brand i huvudingången anses ha den högsta konsekvensen jämfört med brand i någon annan del av lokalen. Därför täcks samtliga övriga scenarion med stående gäster upp av det valda scenariot. I figur 11 visas en del av garderoben.

²² Andersson, Rickard. Lokalföreståndare Valhall.



Figur 11 Del av garderoben i Valhall

Scenario 2 - Brand på scen i Valhall:

Brand på scen vid en tillställning med sittande gäster. Tillställningen ser annorlunda ut än i scenario ett och rökdetektorerna antas vara i funktion. Brand på scen täcker in övriga scenarion med sittande gäster då scenen förväntas ha en något värre effektutveckling än övriga bränder inne i Valhall. Brandgasspridningen skulle dessutom kunna betraktas som något värre i detta scenario än vid brand i garderob. Detta för att ventilation av brandgaserna förmodligen kommer att ske ute i foajén genom trapphuset som ligger i nära anslutning till garderoben, vilket kommer hindra brandgasspridning in till Valhall.

I figur 12 syns Valhall med scenen i mitten och den mindre utrymningsvägen till vänster.



Figur 12 Scenen i Valhall

Scenario 3 - Brand på scen i teatern:

Brand på teaterscenen under en föreställning. Vid detta tillfälle är rökdetektorerna avstängda, men inte värmedetektorerna. Båda händelseutfallen, när brandridån är öppen och när brandridån stängs, kommer att studeras. I figur 13 och 14 visas teaterscenen med och utan ridå. Det finns en viss risk att brandgasventilationen kan fungera mindre bra på grund av vind eller mekaniska problem. I scenariot förutsätts dock att den fungerar felfritt.



Figur 13 Teatersalongen och ridån



Figur 14 Teatersalongen och scenen

Det finns ett flertal scenarion med olika antändningskällor som alla förväntas ha liknande utgång: brand som startar i dekor på scen, brand som startar i elcentral på scen, brand som startar i förråd under scen med öppen lucka och sedan sprider sig till scen och brand i orkesterdike. Utrymningssituationen kommer se likadan ut i samtliga fall. Brand som startar i dekoren antas ha högst sannolikhet och kommer därför utredas vidare.

Brand i garderob i teatern

Detta scenario utreds separat i en bilaga. Anledningen är att scenariot inte bedömts som särskilt troligt, men då konsekvensen bedömts som hög och relativt lätta åtgärder anses finnas så har en förenklad utredning gjorts. Denna går att finna i bilaga G.

KAPITEL 7 - SCENARIO 1: Brand i garderob i Valhall

I detta kapitel presenteras val av effektkurva, resultat från handberäkningar och CFAST- och Simulex-simuleringar för detta scenario.

7.1 Val av effektkurva

Vid simulering av bränder är valet av effektutvecklingskurvan en avgörande parameter. Nedan beskrivs hur effektutvecklingen för en brand i kläder väljs utifrån experimentella data. En mer utförlig beskrivning finns i bilaga A - Val av effektkurvor.

Vid brand i garderoben antas bränslet bestå uteslutande av kläder. Effektutvecklingen har valts utifrån tre fullskalförsök gjorda i olika konstellationer och rum. Dessa försök har sedan vägts emot varandra med hänsyn till försökens relevans i det valda scenariot. Tillväxtfasen av effektkurvan valdes att liknas vid en αt^2 -kurva och α -värdet sattes till $0,3 \text{ kW/s}^2$.

Handberäkningar har gjorts för att veta när branden blir ventilationskontrollerad. Då beräkningsmodellen som använts bara tar hänsyn till luft som strömmar in i rummet och ej till den luft som finns i rummet sedan innan har ytterligare undersökningar gjorts med hjälp av CFAST och Detact.

Först matades effektutvecklingskurvan, utan någon maximal effektutveckling, in i CFAST.

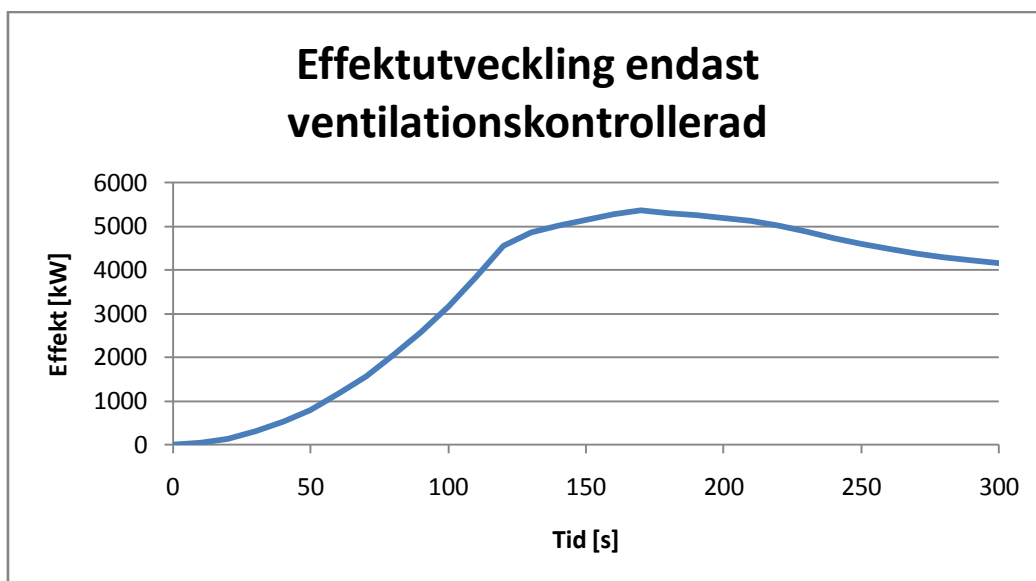


Diagram 2 Av CFAST ventilationskontrollerad effektutveckling

Programmet räknar på hur branden ventilationskontrolleras, och den kurvan användes sedan i Detact för att få en tid till sprinkleraktivering. Den av CFAST ventilationskontrollerade effektutvecklingen redovisas i diagram 2. Handberäkningar visar på att branden bör ha en maxeffekt på cirka 3 MW^{23} då den blivit ventilationskontrollerad. Maxvärdet i diagram 2 skiljer sig från det handberäknade men efter 300 s verkar effektutvecklingen i diagram 2 stabiliseras runt 4 MW vilket ändå antyder en viss likhet med handberäkningarna. Med ett RTI från försök gjorda i vindtunnel²⁴ på ett sprinklerhuvud från objektet gavs tiden 120 sekunder. Det finns en viss sannolikhet att sprinklersystemet skulle

²³ se Bilaga A - Val av effektkurvor

²⁴ se Bilaga E - Bestämning av RTI

aktivera tidigare på grund av den kraftiga effektutvecklingen, detta utreds i känslighetsanalysen. Med antagandet att sprinkleraktivering begränsar branden så motsvarar denna tid en maximal effektutveckling på 4,6 MW. Effektkurvan presenteras nedan i diagram 3. Observera att denna kurva inte är ventilationskontrollerad och endast den kurva som används som indata till CFAST.

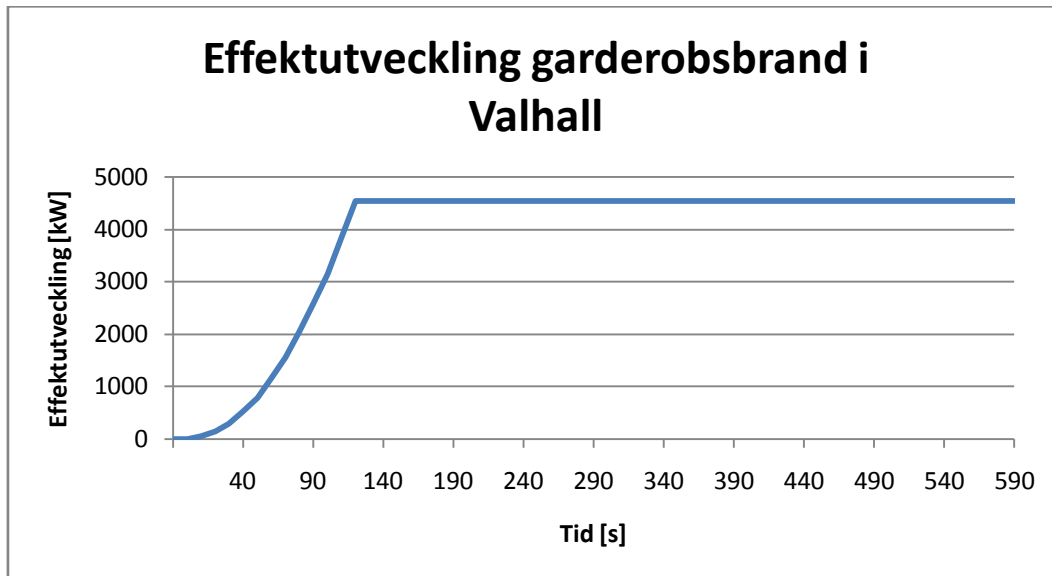


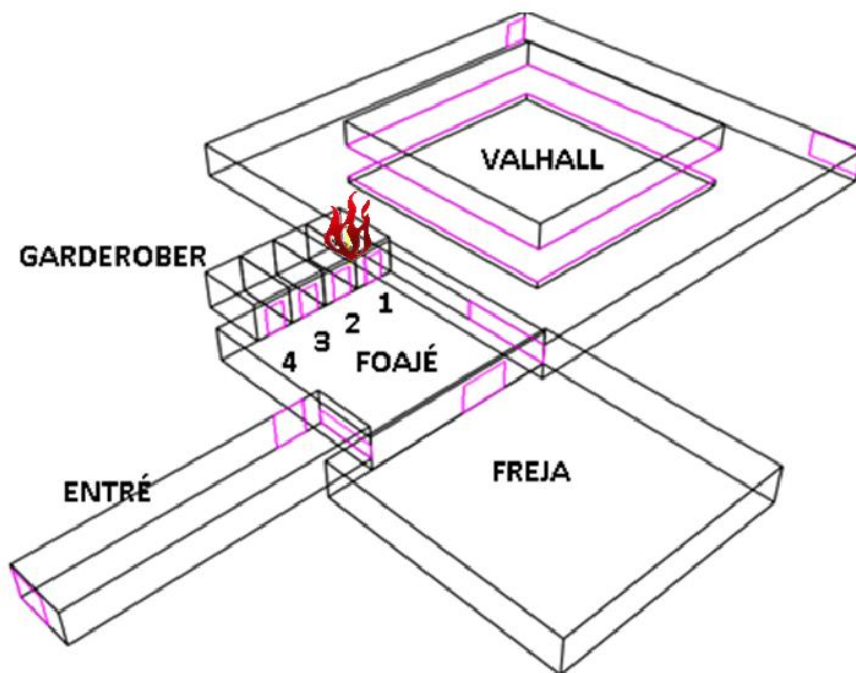
Diagram 3 Vald effektkurva för simulering av scenario 1.

Bränslet förväntas räcka för att branden skall kunna fortgå i ungefär 10 minuter från tidpunkten då antändning sker om ingen hänsyn tas till avsvalningsfasen²⁵.

7.2 Simulering i CFAST

Vid simulering i CFAST har på grund av programmets begränsningar vissa geometriska förenklingar av byggnadens gjorts. Den förenklade modellen bygger på att volymen har bevarats och utifrån detta har längder och bredder anpassats. I dessa simuleringar är framförallt rökfyllnad av intresse och då volymen bevarats bör dessa förenklingar ge relativt rättvisande resultat. Höjden har också en betydande effekt för plymen och har därför hållits rättvisande. För en byggnad som Valhall är det liten risk för stora tryckuppbyggnader då det med största sannolikhet finns otätheter i konstruktionen. CFAST - modellen räknar dock inte med att konstruktionen är otät. Därför måste vissa öppningar definieras som öppna emot det fria för att inte få missvisande resultat. För en mer detaljerad beskrivning av CFAST - modellen, se bilaga B - CFAST.

²⁵ se bilaga A – Val av effektkurvor



Figur 15 Modell över Valhall i CFAST.

Brandens placering i modellen är markerad i figur 15 vilket motsvarar garderobens placering i byggnaden.

För att CFAST ska kunna beräkna sikt och toxicitet i byggnaden har förhållandet mellan CO_2/CO i brandgaserna och förhållandet H/C i bränslet definierats²⁶. Dessa värden bygger på ett antagande om att bränslet till största del består av polyester, vilket kan anses konservativt.

Resultat från simuleringar

Nedan redovisas resultaten i tabell 6 från simuleringarna i CFAST. Ett streck betyder att kritiska förhållanden ej uppnåtts inom 600 sekunder.

Tabell 6 Tider till kritiska förhållanden, resultat från CFAST.

Rum	Temperatur	Brandgas-lagrets höjd	Sikt <10 m	Sikt väl omblandat <10m	Toxicitet (CO, CO ₂ , O ₂)	Tid till kritiska förhållanden
Valhall	-	110 s	100 s	130 s	-	130 s
Foajén	60 s	50 s	20 s		120 s	50 s
Entrén	120 s	80 s	60 s		-	80 s

I tabellen ovan är strålningen utesluten då kritiska nivåer aldrig uppnås.

Temperaturen i Valhall når aldrig kritiska förhållanden. Efter 300 s är temperaturen 32°C, men troligen är den egentligen ännu lägre då sprinklersystemet har aktiverat vid 120 sekunder²⁷ och kylt brandgaserna sedan dess.

²⁶ se bilaga B - CFAST

Eftersom brandgaslagrets temperatur i Valhall är låg under hela scenariot skulle ett antagande om väl omblandade förhållanden vara mer riktigt i denna lokal. Tiden till kritiska siktförhållanden beräknas därför med handberäkningar genom att vikta resultaten från CFAST för sikten i det övre lagret mot hela lokalens volym²⁸. Resultat från dessa beräkningar redovisas i diagram 4 nedan. Sikten sjunker mycket fort och är under 1 m efter 200 s.

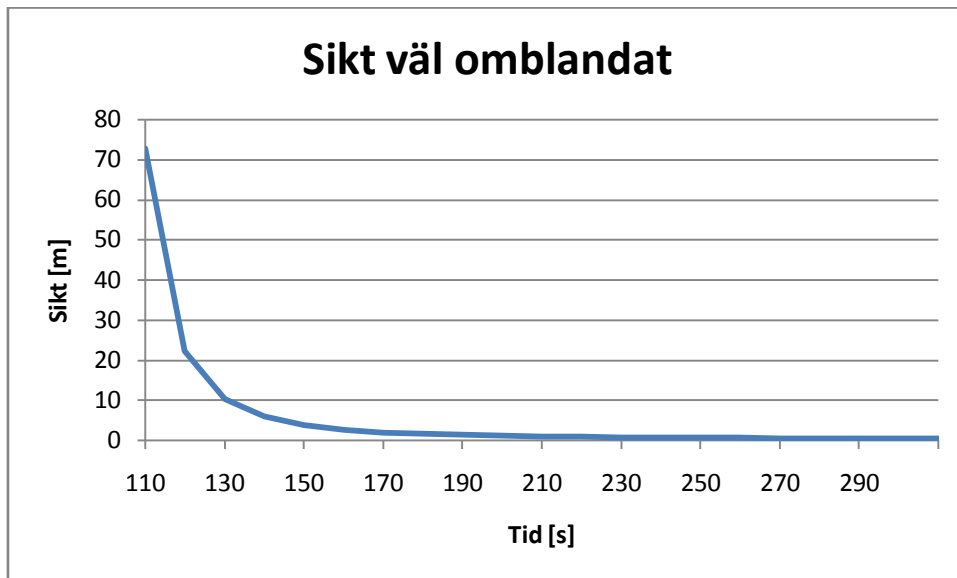


Diagram 4 Sikt i Valhall vid väl omblandade förhållanden

Resultaten från simuleringarna i Valhall bör analyseras med stor försiktighet eftersom antagandet om en tvåzonsskiktning ligger till grund för hela programmet. Detta gäller bara för Valhall då det antas bli tvåzonsskiktning i foajén och entrén.

7.3 Simulering i Simulex

Som ingångsvärde i Simulex angavs populationen till att vara "office staff". Denna grupp representerar ett snitt av persontyper som är rimligt för detta scenario²⁹, och genom att välja en grupp som inte innehåller barn blir resultatet konservativt då de upptar mindre plats.

Vid utrymningssimulering av brand i garderob i Valhall har avsteg gjorts från det normala tankesättet med varseblivning- och reaktionstid. Enligt litteraturen hade varseblivningstid och beslut- och reaktionstid blivit totalt 6 minuter. En mer detaljerad beskrivning finns nedan. Men då kritiska förhållanden uppnås innan denna tid fördes resonemanget att gästerna reagerar snabbare än vanligt. Som riktmärke har brandgaslagrets höjd använts, när det når tillräckligt långt ner kommer gästerna att reagera, oavsett hur lång tid det har gått. I denna tankegång redovisas inte varseblivningstiden. Tiden det tar för gästerna att reagera är inte beroende av en visuell detektion av branden utan beror helt på brandgaslagrets höjd.

Då huvudingången är blockerad av branden i garderoben fördelas samtliga gäster på de två utrymningsvägarna som finns inne i Valhall. Detta antagande görs eftersom kritiska förhållanden i foajén uppkommer tidigt och det därför anses osannolikt att personer väljer att utrymma denna väg.

²⁷ se bilaga D - Detact

²⁸ se bilaga F - Handberäkningar, Väl omblandade förhållanden

²⁹ se bilaga C - Simulex

Båda dessa vägar är väl synliga och markerade med genomlysta skyltar, därför fördelas utrymmande personer mellan utgångarna på ett optimalt sätt. Detta val ger inte konservativa resultat, men då utrymningstiden ändå överstiger tiden till kritiska förhållanden ger detta val ytterligare stöd för slutsatsen att utrymningssäkerheten är oacceptabel.

Nedan redovisas valda tider till varseblivning, beslut och reaktion samt förflyttning i Valhall.

Varseblivningstid

I den totala utrymningstiden har varseblivningstiden ej räknats med enligt resonemanget ovan. Tankegången som resulterade i en total varseblivning- och reaktionstid på 6 minuter redovisas ändå nedan.

Varseblivningstiden bestämdes till 1 minut. Gästerna i lokalen befinner sig inne i Valhall och kan inte direkt se branden, men troligen finns det personal i nära anslutning till garderoben, som snabbt kan detektera branden. Den dimensionerande tidsfaktorn kommer då att bli hur lång tid det tar innan personalen trycker på larmknappen. Som tidigare nämnts i kapitlet befintligt brandskydd finns det endast en larmknapp som är gömd inne i kassan närmst utgången i foajén. Det snabba brandförloppet uppmanar till en snabb detektion men då den är manuell är osäkerheterna stora. Tiden till detektion beror rimligtvis till stor del på vem som detekterar branden och kan mycket väl bli längre än 1 minut.

Beslut- och reaktionstid

För att redovisa tankegången beskrivs här hur beslut- och reaktionstiden allra först valdes till 5 minuter. Därefter beskrivs den tankegång som resulterade i de tider som använts vid simulering.

Tillställningen i detta scenario har jämförts med en nattklubb. Gästerna ser inte brand eller rök från början, miljön är högljudd, konströk kan förekomma och dessutom kan besökarna vara påverkade av alkohol. Utrymningslarmet är av typ manuell ringklocka, och beslut- och reaktionstiden bestäms till 5 min för gäster³⁰.

Vid simulering har dock den valda tiden 5 minuter inte använts. Kritiska förhållanden i Valhall nås tidigt och hänsyn borde tas till brandens effektutveckling när händelseförloppet är så pass snabbt som det är. Det anses rimligt att folk bör reagera när brandgaslagret kommer i huvudhöjd³¹. Brandgaslagret i Valhall har sjunkit till 2 meter ovan golvet efter 120 sekunder, 1,7 m efter 140 s och 1,5 m efter 160 s. Resonemanget har förts att gästerna påbörjar utrymning vid dessa tre tider: 25 % av gästerna reagerar när brandgaslagret ligger ovanför huvudet, alltså efter 120 sekunder, 50 % av gästerna reagerar när brandgaslagret når ansiktshöjd, alltså efter 140 sekunder, och resterande 25 % av gästerna reagerar när brandgaslagret sjunkit under huvudet, alltså efter 160 sekunder. Denna fördelning är en grov uppskattning, men den förväntas inte ha någon större inverkan på resultatet eftersom skillnaden mellan tiden till kritiska förhållanden och tiden till utrymning ändå är stor.

Antagandet att det finns en skiktning av brandgaslagret i Valhall vid garderobsbranden (vilket görs ovan) stämmer inte. Men beslut- och reaktionstiden bygger egentligen inte på brandgaslagrets höjd utan mer på när en förnimmelse av brandgaserna kan ske, vilket involverar både sikt och doft. Besluts- och reaktionstider blir grova uppskattningar men att väl omblandade förhållanden

³⁰ Frantzich, H., 2001.

³¹ Frantzich, Håkan, universitetslektor.

uppkommer antas inte förändra situationen. Vid väl omblandade förhållanden blir sikten under 10 m efter ungefär 130 s vilket är ungefär samtidigt som de första gästerna antas reagera. Det är främst doft som ligger till grund för de antagna tiderna då det antas vara mörkt och nedsläckt i lokalen. I slutändan har dock valet av beslut- och reaktionstid mindre inverkan på resultatet då förflyttningstiden ensam kraftigt överstiger tiden till kritiska förhållanden.

Förflyttningstid

Vid simulering i Simulex användes även beslut- och reaktionstiden för att få med den variation som finns i en population. Variationen sattes till ± 2 s, vilket är en liten variation, men med valet av de tre olika tiderna för reaktion enligt resonemanget ovan är spridningen redan stor. Resultatet av simuleringen blev en reaktions- och förflyttningstid på totalt 600 s.

Total utrymningstid

Tiden från antändning till att samtliga i Valhall har utrymt Valhall och angränsande rum blir totalt 600 s.

I tabell 7 nedan finns en sammanfattning av tiderna.

Tabell 7 Resultat från Simulex.

	Varse- blivningstid	Beslut- och reaktionstid	Beslut-, reaktions- och förflyttningstid Simulex	Total utrymningstid
Utrymning av Valhall vid brand i garderob	-	120 - 160 s	600 s	600 s

7.4 Handberäkningar

Handberäkningar har använts för att validera CFAST resultaten och för att ge en uppfattning om när kritiska förhållanden uppstår i lokalen. I detta scenario har sikt och toxicitet validerats med handberäkningar. Beräkningarna bygger på många grova antaganden då modellerna är relativt enkla. För antaganden och beräkningsgång se bilaga F - Handberäkningar .

Toxicitet

För att göra en uppskattning av tiden tills kritiska toxiska nivåer för koldioxid och kolmonoxid nås i lokalen har det antagits att det inte sker något läckage från byggnaden, att rökfyllnad sker momentant och att ett väl omblandat scenario uppstår. Handberäkningarna visar att kritiska kolmonoxidhalter uppstår efter ca 6 min och efter ca 7 min är också koldioxidhalterna kritiska. Då antagandena för dessa beräkningar är starkt konservativa kan man utifrån dessa endast säga att kritiska toxiska nivåer skulle kunna inträffa inom tiden för utrymning, vilket delvis stämmer överens med CFAST-simuleringarna som visar på toxiska förhållanden i foajén efter 120 s.

Sikt

I siktberäkningarna har samma antaganden gjorts som vid toxicitetsberäkningarna, inga brandgaser försvinner från byggnaden, momentan rökspridning och väl omblandade förhållanden. I Valhall understiger sikten 10 m efter ca 45 s. Antagandena i dessa beräkningar är starkt konservativa vilket innebär att vi kan förvänta oss att det tar lite längre tid till kritiska förhållanden. Beräkningarna är

inte mer exakta än att det ger en grov uppfattning om när kritiska siktförhållanden uppstår. Beräkningarna stärker CFASTs resultat att kritiska siktförhållanden uppstår tidigt.

7.5 Konsekvens

Kritiska förhållanden uppkommer innan säker utrymning hinner ske. När det inträffar har inga gäster ens hunnit lämna lokalen. Notera gärna också att sprinklersystemet inte ännu hunnit utlösas då kritisk sikt uppnås i Valhall.

Det bör beaktas att det kritiska förhållandet som uppkommer är dålig sikt. Farliga koncentrationer av O₂, CO₂ och CO uppnås inte i Valhall under de första 10 minuterna efter brandstart. Sikten blir dock mycket snabbt dålig och dessutom nås kritiska förhållanden redan efter 60 sekunder i foajén med avseende på temperatur. Det kan då hända att personer som befunnit sig i Valhall som inte ens börjat utrymma då sikten blir kritisk förvillar sig och rör sig mot delar där kritiska förhållanden redan uppkommit. Att sikten är 10 meter i Valhall innan utrymning påbörjas är inte acceptabelt eftersom Valhall är en stor lokal med längre än 10 meter till närmsta utrymningsväg från lokalens mitt. Att kritiska förhållanden nås snabbt i foajén är inte acceptabelt eftersom det finns toaletter i anslutning till entrén som måste utrymmas genom lokalen, vilket inte kommer att kunna göras om det inte sker inom 60 sekunder efter brandstart.

Branden förväntas självslockna inom 10 minuter men inom denna tid kommer, enligt resonemanget ovan, stor skada att hinna uppkomma.

KAPITEL 8 – SCENARIO 2: Brand på scen i Valhall

I detta kapitel presenteras val av effektkurva, resultat från handberäkningar och CFAST- och Simulex-simuleringar för detta scenario.

8.1 Val av effektkurva

Vid simulering av bränder är valet av effektutvecklingskurvan en avgörande parameter. Nedan beskrivs hur effektutvecklingen för en brand i material på scen väljs utifrån experimentella data. En mer utförlig beskrivning finns i bilaga A - Val av effektkurvor.

Vid brand på scen i Valhall är det till störst del trämaterial som brinner. Brandbelastningen består i huvudsak av förstärkare och högtalare, vilka i regel är byggda som trälådor. Det brännbara materialet likställs därför med spånskivor. Förutom trämaterialiet på scenen antas också de ridåer som hänger på scenen fatta eld.

Effektutveckling har valts att följa en α^2 -kurva och α har viktats utifrån tre olika källor. Ett viktat värde på tillväxthastigheten, med hänsyn till att trämaterialiet utgör en större mängd än tygmaterialet, blir 0,047 kW/s².

Med handberäkningar kontrolleras när branden blir ventilationskontrollerad, men med hjälp av beräkningar från Detact konstateras att sprinklersystemet utlöser innan dess. Även CFAST har använts för att konstatera när branden blir ventilationskontrollerad och slutsatsen är att det är sprinklersystemet som kommer att begränsa effektutvecklingen. RTI för ett sprinklerhuvud från objektet fastställdes vid försök i vindtunnel³² och med detta värde matades effektkurvan in i Detact. Resultatet blev en maximal effektutveckling på 3,2 MW. Effektkurvan presenteras nedan i diagram 5.

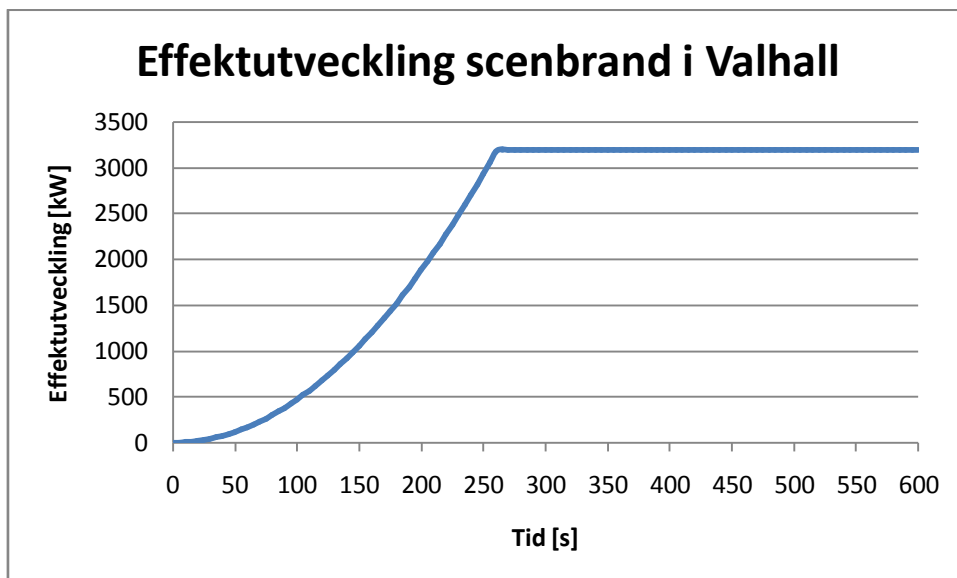


Diagram 5 Vald effektkurva för simulering av scenario 2.

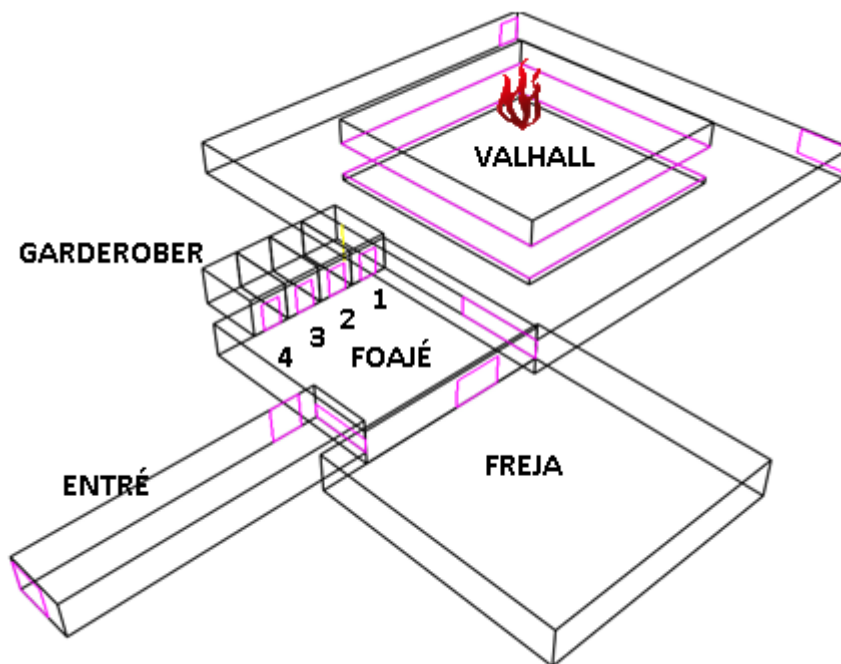
Enligt handberäkningar räcker bränslet för att effektutvecklingen ska kunna hållas konstant i tio minuter från antändning³³.

³² se bilaga E - Bestämning av RTI

³³ se bilaga A – Val av effektkurvor

8.2 Simulering i CFAST

Vid simulering i CFAST har på grund av programmets begränsningar vissa geometriska förenklingar av byggnadens gjorts. Den förenklade modellen bygger på att volymen har bevarats och utifrån detta har höjder, längder och bredder anpassats. I dessa simuleringar är framförallt rökfyllnad av intresse och då volymen bevarats bör dessa förenklingar ge relativt rättvisande resultat. Höjden har också en betydande effekt eftersom den styr plymen och höjden har därför hållits rättvisande. För en byggnad som Valhall är det liten risk för stora tryckuppbyggnader då det med största sannolikhet finns otätheter i konstruktionen. CFAST - modellen räknar dock inte med att konstruktionen är otät. Därför måste vissa öppningar definieras som öppna emot det fria för att inte få missvisande resultat. För en mer detaljerad beskrivning av CFAST - modellen, se bilaga B - CFAST.



Figur 16 Modell över Valhall i CFAST.

Brandens placering i modellen är markerad i figur 16, vilket motsvarar scenens placering i byggnaden.

För att CFAST ska kunna beräkna sikt och toxicitet i byggnaden har förhållandet mellan CO_2/CO i brandgaserna och förhållandet H/C i bränslet definierats³⁴. Dessa värden bygger på ett antagande om att bränslet till största del består av träbaserade material.

Resultat från simuleringar

Nedan redovisas resultaten i tabell 8 från simuleringarna i CFAST. Ett streck betyder att kritiska förhållanden ej uppnåtts inom 600 sekunder.

³⁴ se bilaga B - CFAST

Tabell 8 Resultat från CFAST.

Rum	Temperatur	Brandgaslagrets höjd	Sikt < 10 m i brandgaslagret	Sikt < 5 m i brandgaslagret	Tid då två kritiska förhållanden uppfylls
Valhall	240 s	30 s	150 s	200 s	200 s
Fojén	400 s	90 s	210 s	260 s	210 s
Entrén	-	130 s	250 s	300 s	250 s

I tabellen ovan är strålningen och toxiciteten uteslutna då kritiska nivåer aldrig uppnås. Då temperaturerna i brandgaslagret blir mer än 10°C varmare än omgivningen i ett tidigt skede så antas tvåzonsskiktning i Valhall i detta scenario. I diagram 6 redovisas hur sikten sjunker i Valhall. Sikten fortsätter sjunka efter att kritiska nivåer har nåtts.

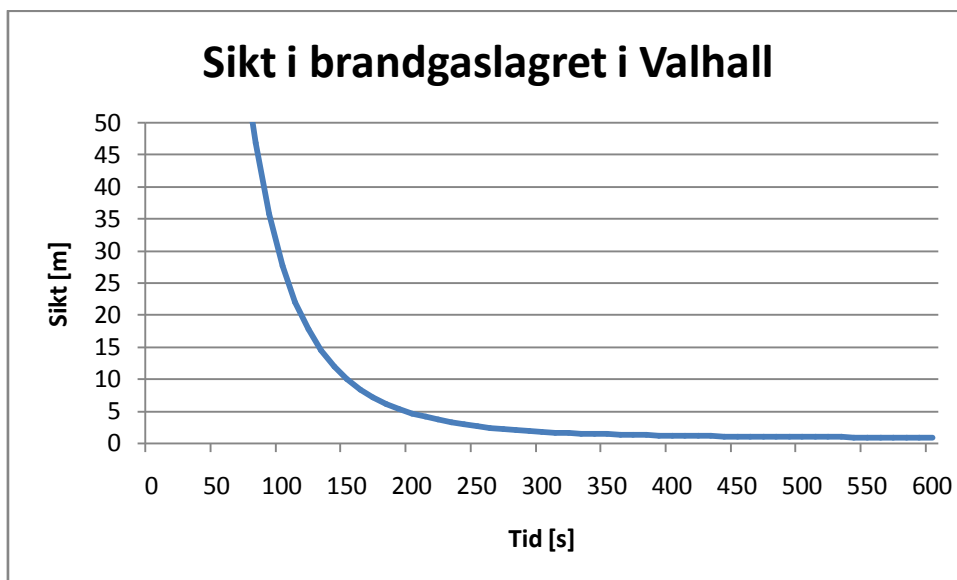


Diagram 6 Sikt i brandgaslagret i Valhall

Efter 260 sekunder aktiverar sprinklersystemet³⁵, vilket skulle innebära en avkylning och omblandning av brandgaserna, men då kritiska förhållanden redan inträffat så är det inte relevant i sammanhanget.

8.3 Simulering i Simulex

Som ingångsvärde i Simulex angavs populationen till att vara "office staff". Denna grupp representerar ett snitt av persontyper som är rimligt för detta scenario³⁶, och genom att välja en grupp som inte innehåller barn så blir resultatet konservativt.

Vid utrymningssimulering av brand på scen i Valhall har liknande avsteg som i scenario 1 gjorts. Enligt litteraturen³⁷ hade varseblivningstid och beslut- och reaktionstid blivit 3 min och 30 sekunder. En mer detaljerad beskrivning finns nedan. Men då kritiska förhållanden uppnås redan innan denna tid så fördes resonemanget att gästerna reagerar snabbare än vanligt. Som riktmärke har brandgaslagrets

³⁵ se bilaga D - Detact

³⁶ se bilaga C - Simulex

³⁷ Frantzich, H., 2001.

höjd använts när det når tillräckligt långt ner kommer gästerna att reagera, oavsett hur lång tid det har gått. I denna tankegång redovisas inte varseblivningstiden. Tiden det tar för gästerna att reagera är ej beroende av en detektion av branden utan beror helt på brandgaslagret.

Vad gäller val av utrymningsvägar antas 75 %³⁸ av gästerna använda den utgången de kom in genom, vilket är Valhalls huvudingång. Resterande 25 % fördelas på de två utrymningsvägarna i Valhall. 15 % antas välja den något större utrymningsvägen och 10 % antas välja den något mindre.

Nedan redovisas valda tider till varseblivning, beslut och reaktion samt förflyttning i Valhall.

Varseblivningstid

I den totala utrymningstiden har varseblivningstiden ej räknats med enligt resonemanget ovan. Tankegången som resulterade i en total varseblivnings- och reaktionstid på 3 minuter och 30 sekunder redovisas ändå nedan.

Varseblivningstiden bestämdes till 30 s, vilket är en relativt kort varseblivningstid. Detta för att bandet på scenen kommer uppmärksamma branden förhållandevis snabbt. Det är också rimligt att gäster i ett tidigt skede uppmärksammar branden visuellt. Aktivering av rökdetektorer och därmed utrymningslarmet, sker efter 125 s, vilket inte blir intressant i detta fall.

Beslut- och reaktionstid

För att redovisa tankegången beskrivs här hur beslut- och reaktionstiden allra först valdes till 3 minuter. Därefter beskrivs den tankegång som resulterade i de tider som använts vid simulering.

Tillställningen i detta scenario har jämförts med en nattklubb. En del gäster, men inte alla, antas se flammor eller rök från branden. Sannolikt kommer bandet på scenen att på något sätt uppmärksamma gästerna om vad som händer. Beslut- och reaktionstiden för gäster i nattklubb vid DJ:s meddelande är 3 min³⁹. Något som talar för en längre beslut- och reaktionstid är att bandet förmodligen inte har en lika tydlig roll som en DJ kanske har. Vad som däremot talar för en kortare beslut- och reaktionstid är dels att lokalen förmodligen inte kommer vara lika nedsläckt som en nattklubb och dels att alkoholpåverkan kanske inte kommer att vara riktigt lika stor. Beslut- och reaktionstiden valdes till 3 minuter.

Vid simulering har dock den valda tiden 3 minuter inte använts. Kritiska förhållanden i Valhall nås tidigt och hänsyn borde tas till brandens effektutveckling när händelseförloppet är så pass snabbt som det är. Det anses rimligt att folk bör reagera när brandgaslagret kommer i huvudhöjd⁴⁰. Brandgaslagret i Valhall har sjunkit till 2 m ovan golvet efter 50 sekunder, 1,7 m efter 70 sekunder och 1,5 m efter 100 sekunder. Resonemanget har förts att gästerna påbörjar utrymning vid dessa tre tider: 25 % av gästerna reagerar när brandgaslagret ligger ovanför huvudet, alltså efter 50 sekunder, 50 % av gästerna reagerar när brandgaslagret når ansiktshöjd, alltså efter 70 sekunder, och resterande 25 % av gästerna reagerar när brandgaslagret sjunkit under huvudet, alltså efter 100 sekunder. Resonemanget bygger främst på förnimmelsen av brandgaser, inte den specifika höjden. Denna fördelning är en grov uppskattning, men förväntas inte ha någon större inverkan på resultatet

³⁸ Frantzich, Håkan, universitetslektor.

³⁹ Frantzich, H., 2001.

⁴⁰ Frantzich, Håkan, universitetslektor.

eftersom skillnaden mellan tiden till kritiska förhållanden och tiden till fullständig utrymning är stor. Noterbart är att sikten efter 100 sekunder fortfarande är god.

Förflyttningstid

Vid simulering i Simulex användes även beslut- och reaktionstiden för att få med den variation som finns i en population. Variationen sattes till ± 2 s, vilket är en liten variation, men med valet av de tre olika tiderna för reaktion enligt resonemanget ovan är spridningen redan stor. Resultatet av simuleringen blev en reaktions- och förflyttningstid på totalt 340 s.

Total utrymningstid

Tiden från antändning till att samtliga i Valhall har utrymt Valhall och angränsande rum blir totalt 340 s. Tiden från antändning till att samtliga i Valhall har utrymt bara själva Valhall blir totalt 305 s.

I tabell 9 nedan finns en sammanfattning av tiderna.

Tabell 9 Resultat från Simulex.

	Varse- blivningstid	Beslut- och reaktionstid	Beslut-, reaktions- och förflyttningstid Simulex	Total utrymningstid
Utrymning av Valhall vid brand på scen	-	50 - 100 s	340 s	340 s
Endast lokalen Valhall	-	50 - 100 s	305 s	305 s

8.4 Handberäkningar

Handberäkningar har använts för att validera resultaten från CFAST och för att ge en uppfattning om när kritiska förhållanden uppstår i lokalen. I detta scenario har sikt, toxicitet och rökfyllnad validerats med handberäkningar. Handberäkningarna bygger på många grova antaganden då modellerna är relativt enkla. För antaganden och beräkninggång se bilaga F - Handberäkningar.

Toxicitet

För att göra en uppskattning av tiden tills kritiska toxiska nivåer för koldioxid och kolmonoxid nås i lokalen har det antagits att det inte sker något läckage från byggnaden, att rökfyllnad sker momentant och att ett väl omblandat scenario uppstår. Sammanvägt antas antagandena konservativa, ändå visar beräkningarna att vi inte når kritiska toxiska förhållanden inom tiden för utrymning. Dessa beräkningar stärker CFASTs resultat och antyder att kritisk toxicitet aldrig uppkommer.

Sikt

I siktberäkningarna har samma antaganden gjorts som vid toxicitetsberäkningarna; inga brandgaser försvinner från byggnaden, momentan rökspridning och väl omblandade förhållanden. Väl omblandade förhållanden antas inte uppstå förrän sprinkleraktivering skett. Dessa beräkningar används främst för att bekräfta att sikten understiger 5 meter då sprinklern kylt och blandat ut brandgaslagret.

Sikten understiger 5 meter efter ca 150 sekunder och sprinklern aktiverar efter 260 sekunder. Alltså finns det tillräckligt med rökgaspartiklar för att nå kritiska siktnivåer då sprinklern aktiverar. Då antagandena för dessa beräkningar är grova kan resultaten endast betraktas som riktvärden. Beräkningarna stärker resultaten från CFAST, sikten kommer att bli kritisk innan utrymning skett.

Rökfyllnad

För rökfyllnadsberäkningarna har handberäkningsmodellen Yamana- Tanaka använts. Detta då Valhall är en stor byggnad med många stora öppningar och modellen ger möjlighet till en transient effektutveckling. Som utgångspunkt för geometriska antaganden har CFAST - modellen använts. Då rökfyllnad är av intresse har volymen behållits konstant och utifrån detta har längd och bredd utformats. Höjden har också hållits rättvisande för att massflödet i plymen skall bli relevant. Tiden till kritiska förhållanden blev enligt Yamana- Tanaka ca 3 minuter. Vid denna tidpunkt hade brandgaserna en densitet under $0,7 \text{ kg/m}^3$ vilket gör att modellen ligger utanför sitt bästa giltighetsområde. Tiden stämmer dåligt överens med CFAST men bekräftar att vi når kritiska förhållanden under utrymningsförloppet.

Brandgasernas transporttider

Då CFAST räknar på momentan brandgasspridning är det av intresse att räkna på transporttiderna. För att få en uppfattning om dessa tider har beräkningar för en takstråle från mitten på scenen till den västa utrymningsvägen gjorts. Två metoder har använts för att ge en transporttid, båda med Alperts Ceiling Jet korrelation som utgångspunkt. I Valhall gav båda metoderna en entydig transporttid på 90 s. Tider för brandgaslagrets höjd från simuleringar i CFAST antas därför vara lite väl konservativa i tidiga skeden av brandförloppet.

För beräkningarna har relativt grova antaganden gjorts, vilket ger viss osäkerhet till resultaten. Då transporttiderna från dessa beräkningar endast antas vara riktvärden accepteras denna osäkerhet. För beräkningsgång och antaganden se bilaga F – Handberäkningar.

8.5 Konsekvens

Kritiska förhållanden uppkommer innan säker utrymning hinner ske. Samtliga i lokalen står vid en utrymningsväg och köar när kritiska förhållanden inträffar, men då både sikten blir dålig och kritisk temperatur nås innan alla utrymt så är detta inte acceptabelt. Resonemanget gäller för såväl Valhall som foajén och entrén.

Kritiska strålningsnivåer och farliga gaskoncentrationer uppkommer aldrig, men brandgaslagret sjunker snabbt och sprinklersystemet aktiverar inte förrän efter 260 sekunder. Vid denna tid har både kritiska temperaturer och dålig sikt uppnåtts.

KAPITEL 9 - SCENARIO 3: Brand på scen i teatern

I detta kapitel presenteras val av effektkurva, resultat från handberäkningar och CFAST- och Simulex-simuleringar för detta scenario.

9.1 Val av effektkurva

Vid simulering av bränder är valet av effektutvecklingskurvan en avgörande parameter. Nedan beskrivs hur effektutvecklingen för en brand i material på scen väljs utifrån experimentella data. En mer utförlig beskrivning finns i bilaga A - Val av effektkurvor.

Vid brand på scen i teatern varierar materialet som finns på scen beroende på olika teatersällskap. Brandbelastningen består i huvudsak av olika rekvisita, vilket i regel är trä, papper och plast. Tillväxthastigheten har valts att följa en α^2 -kurva och utifrån tre olika källor har α valts till = 0,047 kW/s². Med hjälp av värden på olika tillväxthastigheter för bränder i lösa möbler som skulle kunna förekomma på en teaterscen stärks resonemanget.

Då mängden brännbart material är svår att uppskatta har den totala brandbelastningen per kvadratmeter viktats fram mellan ett värde för bostad och kontor och ett för en teater. Detta värde har sedan multiplicerats med brandens uppskattade maximala storlek på 30 m², vilket ger en total brandbelastning på 12000 MJ. Den maximala effektutvecklingen blir 11,25 MW och är framtagen på samma sätt som för brandbelastningen ovan.

För att kontrollera att brandens maximala effektutveckling inte definieras av tillgången av syre har handberäkningar på ventilationskontroll gjorts. Dessa beräkningar ger en maximal effektutveckling på 10,8 MW, då brandgasventilationen är stängd. Vid öppen brandgasventilation kan högre värden på massflödet syre och högre effektutveckling förväntas. Men på grund av utredningen ovan och eftersom utrymning har skett innan effektutvecklingen når 11 MW antas 11 MW vara rättvisande och utreds inte djupare. Resultat från CFAST stärker resonemanget och visar inte på någon ventilationskontroll.

Effektkurvan presenteras nedan i diagram 7.

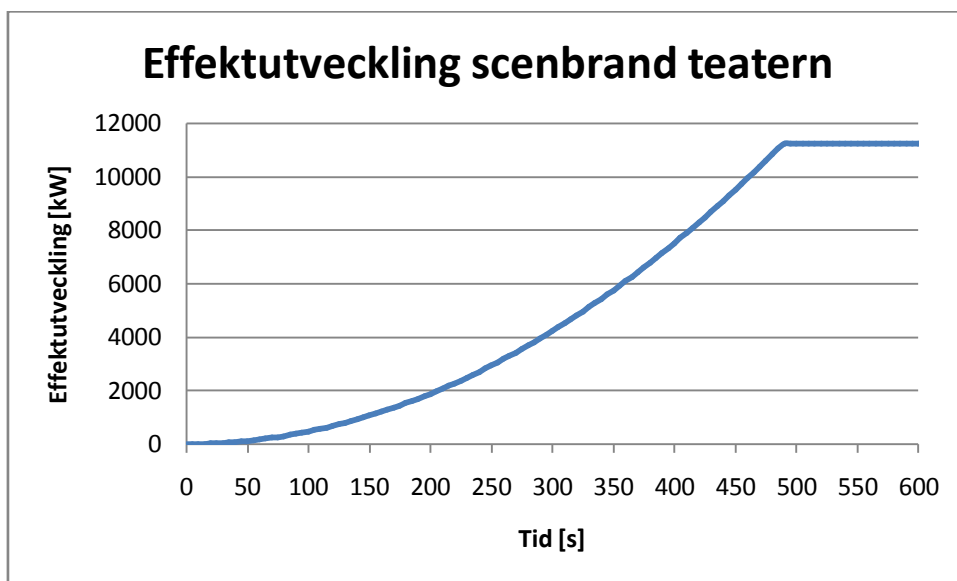


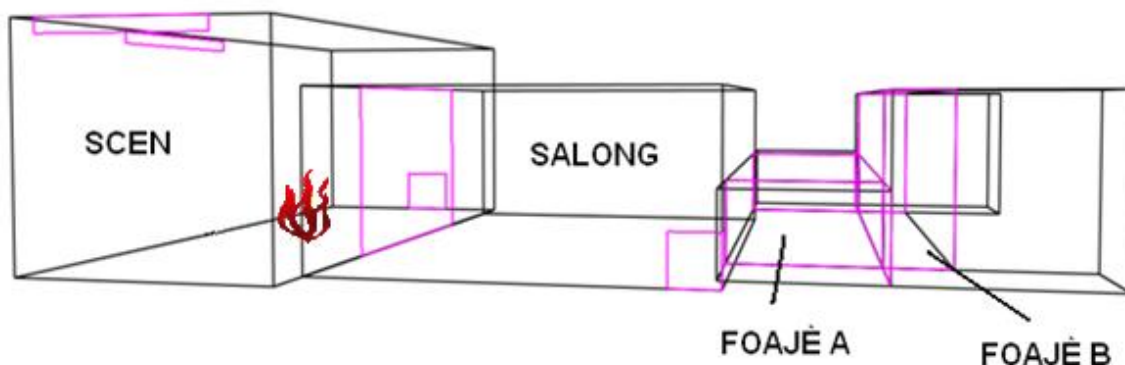
Diagram 7 Vald effektkurva för scenario 3.

9.2 Simulering i CFAST

Vid simulering i CFAST har på grund av programmets begränsningar vissa geometriska förenklingar av byggnadens gjorts. Scenens storlek i verkligheten stämmer väl överens med den som använts i CFAST, men i salongen har det däremot gjorts några förenklingar. Salongens bredd och längd stämmer väl överens, men skillnader finns mellan den verkliga takhöjden och den som valts i CFAST. I verkligheten sluttar såväl taket som golvet men i CFAST har lokalen approximerats till en låda med samma takhöjd som längst fram i salongen. Det är endast längst bak i salongen som detta antagande inte stämmer bra, eftersom takhöjden är betydligt lägre där. Detta har dock tagits i åtanke vid bestämning av tid till kritiska förhållanden. Då den största skillnaden ligger i utformandet av golvet så borde antagandet om konstant takhöjd inte heller påverka rökfyllnaden av lokalen ner till kritisk höjd.

Foajén består av en del med lägre takhöjd och en med högre. I rapporten benämns delen med lägre takhöjd som **foajé a** och delen med högre takhöjd som **foajé b**, se figur 17.

För en byggnad som teatern är det liten risk för stora tryckuppbyggnader då det med största sannolikhet finns otätheter i konstruktionen. CFAST - modellen räknar dock inte med att konstruktionen är otät. Därför måste vissa öppningar definieras som öppna emot det fria för att inte få missvisande resultat. För en mer detaljerad beskrivning av CFAST - modellen, se bilaga B - CFAST.



Figur 17 Modell av teatern CFAST.

Brandens placering i modellen är markerad i figur 17 .

För att CFAST ska kunna beräkna sikt och toxicitet i byggnaden har förhållandet mellan CO_2/CO i brandgaserna och förhållandet H/C i bränslet definierats, se bilaga B - CFAST. Dessa värden bygger på ett antagande om att bränslet består av en blandning av trä och plast. Bedömningen har gjorts att den största andelen av brännbart material på scenen är cellulosebaserat, men för att få viss konservativitet har fördelningen uppskattats till 80 % trä och 20 % plast. För samtliga indata används viktade värden mellan trä och plast.

Plymmodellen som används av programmet är starkt beroende av takhöjden eller tjockleken på brandgaslagret. Ett konservativt antagande innebär därför att branden placeras så lågt som möjligt och i detta fall på scenens golv, vilket också har gjorts.

Vid simulering med ridå som stängs har antagandet gjorts att ridån går igen efter 116 sekunder. Detta värde är en summa av varseblivningstiden, beslut- och reaktionstiden⁴¹, och tiden det tar för ridån att gå igen. Efter att den stängs har öppningsarean mellan scenen och salongen satts till 10 %. Detta antagande bygger på att det finns små läckage mellan ridå och vägg, tak och golv. Även i mitten, där ridån möts antas ett litet läckage finnas. Antagandet anses konservativt men utreds djupare i känslighetsanalysen.

Resultat från simuleringar

Nedan i tabell 10 och 11 redovisas resultaten från simuleringarna i CFAST. Två fall har studerats, ett där ridån inte går igen och ett där ridån stängs. Ett streck betyder att kritiska förhållanden ej uppnåtts inom 600 sekunder. I tabell 10 redovisas ej toxicitet och strålning då kritiska nivåer aldrig nås. I tabell 11 redovisas ej strålning då kritiska nivåer aldrig nås. Det har endast noterats för själva brandrummet när sikten sjunker under 5 meter, vilket i detta scenario innebär att även salongen medräknats eftersom den sitter ihop med scenen.

Strålningen är mätt i två punkter, T1 och T2, som är speciellt utplacerade för att kompensera för den valda geometrin i CFAST. T1, Target 1, är strålningen som påverkar gästerna vid utrymning genom dörren ut ur salongen till foajén och T2, Target 2, är den strålningen som påverkar gästerna längst bak i salongen. Som nämnt ovan presenteras detta ej i tabellen då kritiska nivåer aldrig nås. I diagram 8 och 9 redovisas de viktigaste parametrarna för tid till kritiska förhållanden.

Tabell 10 Resultat från CFAST med ridå öppen.

Rum, ridå öppen	Temperatur	Brandgaslagrets höjd	Sikt < 10 m i brandgaslagret	Sikt < 5 m i brandgaslagret	Tid till kritiska förhållanden
Scen	270s	-	110 s	150 s	-
Salong	390 s	180 s	140 s	200 s	200 s
Foajé a och b	-	-	-		-

⁴¹ se nedan "Simulering i Simulex"

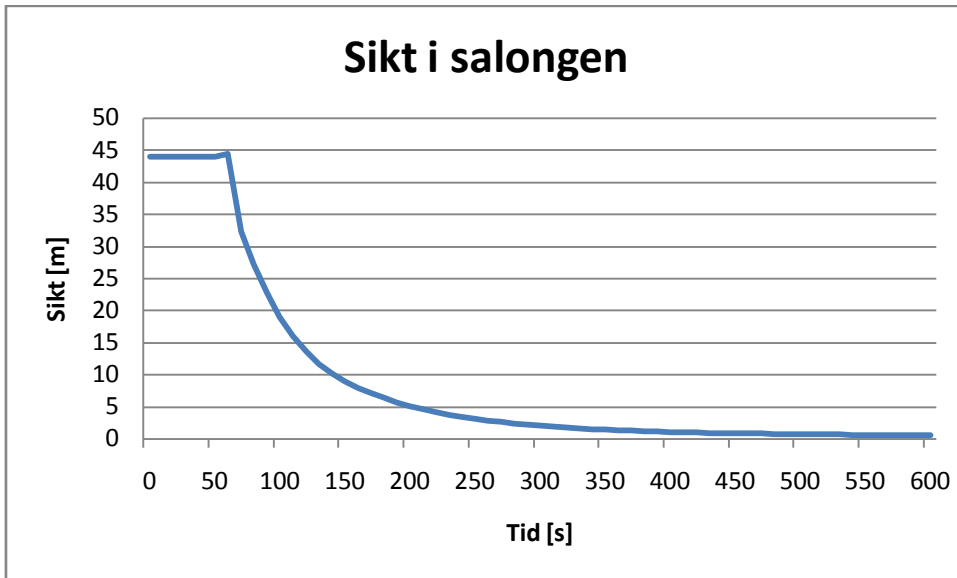


Diagram 8 Sikt i salongen då ridån är öppen

Tabell 11 Resultat från CFAST när ridå stängs.

Rum, ridå stängs	Temperatur	Brandgaslagrets höjd	Sikt < 10 m i brandgaslagret	Sikt < 5 m i brandgaslagret	Toxicitet (CO, CO ₂ , O ₂)	Tid till kritiska förhållanden
Scen	250 s	-	110 s	150 s	440 s	-
Salong	-	360 s	190	270 s	-	360 s
Foajé a och b	-	-	-	-	-	-

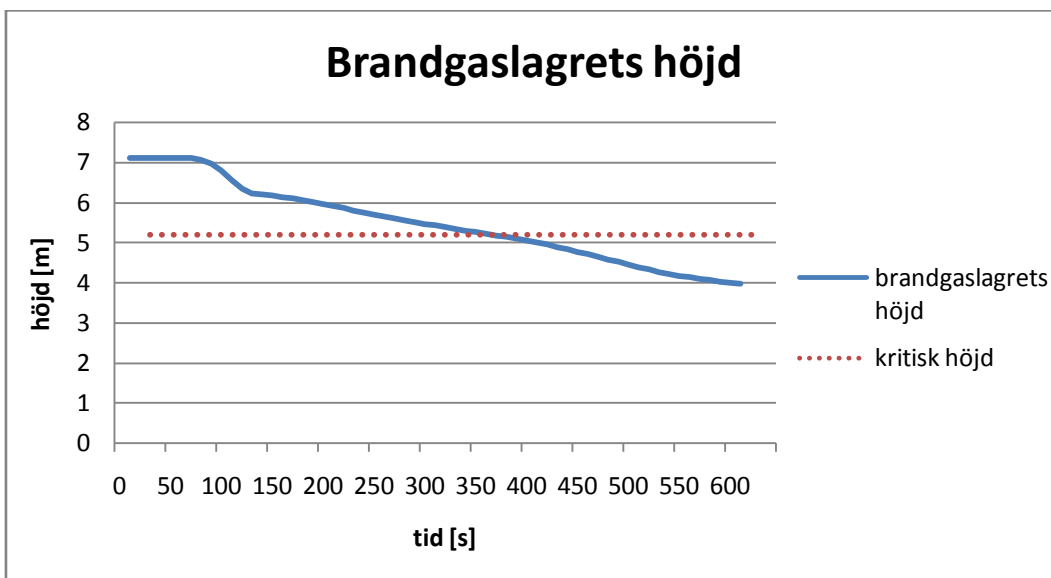


Diagram 9 Brandgaslagrets höjd i teatern då ridån stängs

9.3 Simulering i Simulex

Som ingångsvärde i Simulex angavs populationen till att vara "office staff". Denna grupp representerar ett snitt av persontyper som är rimligt för detta scenario. Gruppen innehåller inte barn, som tar mindre plats i Simulex, vilket gör antagandet konservativt.

Vid utrymning antas 65 % av gästerna utrymma samma väg som de gick in. Detta är en lägre siffra än vad som vanligtvis används, vilket är 75 %⁴². Anledningen till varför siffran är lägre är att den näst största utrymningsvägen ligger i salongen och leder direkt ut i det fria. När den första personen väl har öppnat den dörren antas därför fler än vanligt att använda utgången, även om de kanske inte känner igen den från innan. 25 % antas använda den utgången. Resterande 10 % antas utrymma genom dörren från foajén via biljettkassan till annan lokal i kulturhuset, som ligger i en annan brandcell.

Nedan redovisas valda tider till varseblivning, beslut och reaktion och förflyttning i teatern.

Varseblivningstid

Varseblivningstiden bestämdes till 30 s, vilket är en relativt kort varseblivningstid. Detta för att det alltid finns fast anställd personal på plats som är utbildade brandvakter. De antas ha bra uppsikt över scenen då minst en sitter i teknikutrymmet i salongen och minst en på scenen.

Beslut- och reaktionstid

Miljön antas inte vara helt obekant för teatergästerna, men det är inga lokaler de vistas i dagligen. Gästerna är alerta och kan bedöma att rök och flammor inte passar in i situationen. Med dessa förutsättningar bestämdes beslut- och reaktionstiden till 60 s⁴³.

Förflyttningstid

Vid simulering i Simulex användes även beslut- och reaktionstiden för att få med den variation som finns i en population. Variationen sattes till ± 5 s, vilket är en relativt liten variation, men vid försök i en biograf gjorda av Bayer och Rejnö⁴⁴ visar det sig att när en person väl rest sig följer många snabbt efter. Resultatet av simuleringen blev en beslut-, reaktions- och förflyttningstid på totalt 230 s.

Total utrymningstid

Tiden från antändning till att samtliga i teatern har utrymt blir totalt 260 s. I tabell 12 nedan finns en sammanfattning av tiderna.

Tabell 12 Resultat från Simulex.

	Varseblivningstid	Beslut- och reaktionstid	Beslut-, reaktions- och förflyttningstid Simulex	Total utrymningstid
Teatern	30 s	60 s	230 s	260 s

⁴² Frantzich, Håkan, universitetslektor.

⁴³ Frantzich, H., 2001.

⁴⁴ Ibid

9.4 Handberäkningar

Handberäkningar har använts för att validera resultaten från CFAST och för att ge en uppfattning om när kritiska förhållanden uppstår i lokalen om ridån är öppen. I detta scenario har sikt, toxicitet och rökfyllnad validerats med handberäkningar. Handberäkningarna bygger på många grova antaganden då modellerna är relativt enkla. För antaganden och beräkningsgång se bilaga F - Handberäkningar.

Toxicitet

För att göra en uppskattning av tiden tills kritiska toxiska nivåer för koldioxid och kolmonoxid nås i lokalen har man antagit att det inte sker något läckage från byggnaden, att rökfyllnad sker momentant och en tvåzonsskiktning vid kritisk höjd i salongen. Dessa antaganden är konservativa ändå visar beräkningarna att vi inte når kritiska toxiska förhållanden inom tiden för utrymning. Dessa beräkningar stärker CFASTs resultat som antyder att toxiska nivåer inte nås inom tiden för utrymning.

Sikt

I siktberäkningarna utgår man från att en tvåzonsskiktning uppstår. Beräkningarna har gjorts vid två tillfällen, då brandgaserna ligger vid den kritiska höjden och när de ligger 1 m under den kritiska höjden. Detta har gjorts för att fånga in de spannen då sikten börjar påverka människorna. Då brandgaserna låg vid den kritiska höjden tog de 1 min 25 s och 1 min 47 s till 10 m sikt respektive 5 m sikt. Då brandgaserna låg 1 m under kritisk nivå tog det 1 min 34 s och 1 min 58 s till 10 m respektive 5 m. Resultaten skiljer sig lite och slutsatsen kan dras att personerna som sitter längst bak i salongen kommer efter ungefär 1 min 30 s ha en nedsatt sikt till 10 m och endast 30 s senare till 5 m. Antagandena för dessa beräkningar är grova och tiderna kan endast fungera som riktvärden. Dock kan de sägas bekräfta CFASTs resultat om korta tider till kritisk sikt i lokalen.

Rökfyllnad

För rökfyllnadsberäkningarna har handberäkningsmodellen Yamana - Tanaka använts. Detta då teatern är en stor byggnad med många stora öppningar och modellen ger möjlighet till en transient effektutveckling. Som utgångspunkt för geometriska antaganden har CFAST - modellen använts. Då rökfyllnad är av intresse har volymen behållits konstant och utifrån detta har längder och bredder utformats. Höjden har i det längsta hållits rättvisande. Tiden till kritiska förhållanden blev enligt Yamana - Tanaka ca 2,5 min. Vid denna tidpunkt hade brandgaserna en densitet på ca 1,1 kg/m³ vilket gör att modellen har god giltighet. Jämför man dessa beräkningar med CFAST - simuleringarna då ridån är öppen stämmer tiderna bra överens, vilket stärker resultaten.

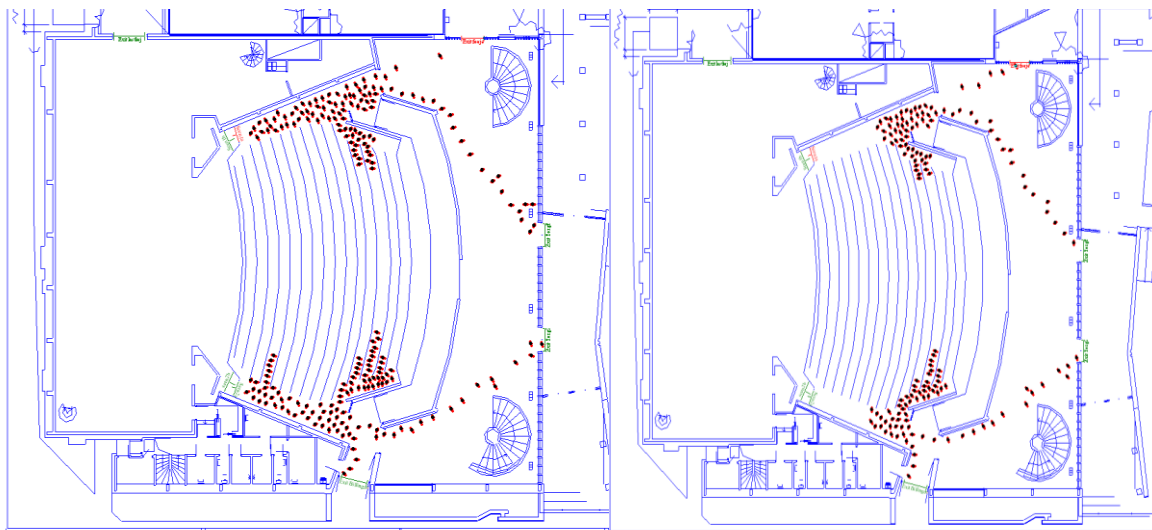
Brandgasernas transporttider

För att få en uppfattning om brandgasernas transporttider i lokalen har beräkningar för en takstråle från mitten på scenen till bakre delen av salongen gjorts. Två metoder har använts för att ge en transporttid, båda med Alperts Ceiling Jet korrelation som utgångspunkt. I teatern gav båda metoderna en entydig transporttid på 80 s. Tider för brandgaslagrets höjd från simuleringar i CFAST antas därför vara lite väl konservativa i tidiga skeden av brandförloppet och ridåns effektivitet kan mycket väl underskattas i simuleringarna.

För beräkningarna har relativt grova antaganden gjorts, vilket ger viss osäkerhet till resultaten. Då transporttiderna från dessa beräkningar endast antas vara riktvärden accepteras denna osäkerhet.

9.5 Konsekvens

Det är stor skillnad på resultaten när ridån stängs och när den inte stängs. Säker utrymning kan ske med god marginal när ridån stängs. Först efter 6 minuter sjunker brandgaslagret under kritisk nivå och sikten understiger i och med det 5 meter för de utrymmande. Vid detta tillfälle har samtliga gäster utrymt salongen för knappt två minuter sedan. I foajén inträffar aldrig kritiska förhållanden.



Figur 18 Utrymning efter 3 minuter, den tid då två kritiska förhållanden inträffar med sikten 10 meter.

Figur 19 Utrymning efter 3 min 20 s, tiden då två kritiska förhållanden uppkommer med sikten 5 meter

När ridån är öppen under hela brandförloppet blir situationen mycket värre. Kritiska förhållanden inträffar efter 200 sekunder i salongen, vilket är då sikten i brandgaslagret understiger 5 meter. Andra kriterier uppfylls däremot inte inom 260 sekunder. Det kan diskuteras huruvida situationen är acceptabel eller ej. Redan när sikten sjunker under 10 meter står gästerna och köar vid utgångarna, vilket visas i figur 18, och när sikten sjunkit under 5 meter i salongen står teatergästerna ännu närmare utgångarna så som visas i figur 19. Sannolikheten att någon förrirrar sig i detta läge är antagligen liten och gästerna utsätts för varken hög temperatur, strålning eller toxiska gaser. Dessutom är utrymningsskyltarna genomlysta vilket bör underlätta för gästerna att hitta ut.

KAPITEL 10 - KÄNSLIGHETSANALYS

I följande kapitel presenteras känslighetsanalys av de tre scenarierna.

10.1 Scenario 1: Brand i garderob i Valhall

Syftet med känslighetsanalysen är att undersöka till vilken grad valda variabler och antaganden påverkar slutresultaten. Ett urval av de viktigaste antagandena och variablerna har gjorts vilka presenteras nedan.

Tillväxthastigheten

I tabell 13 visas över vilket intervall tiden till kritiska förhållanden varierar då tillväxthastigheten ändras från 0,4 kW/s² till 0,3 kW/s² och till 0,19 kW/s² (0,3 kW/s² är samma resultat som presenterats tidigare).

Kritiska nivåer av strålning uppkommer aldrig och presenteras därför ej i tabellen.

Tabell 13 Känslighetsanalys på tillväxthastigheten. Effektutveckling varierar mellan 0,4 kW/s², 0,3 kW/s² och 0,19 kW/s².

Rum	Temperatur	Brandgaslagrets höjd	Sikt <10 m i brandgaslagret	Sikt väl omblandat <10 m	Toxicitet (CO, CO ₂ , O ₂)	Tid till kritiska förhållanden
Valhall	-	100-110-120 s	80-100-120 s	120-130-140 s	-	120-130-140 s
Fojén	60-60-70 s	50-50-60 s	10-20-50 s		110-120-150 s	50-50-60 s
Entrén	110-120-150 s	80-80-90 s	60-60-90 s		-	80-80-90 s

Överlag skiljer sig tiden till kritiska förhållanden med ungefär 10 sekunder när tillväxthastigheten varierar. Den största skillnaden finns i Valhall där tiden förlängs med 20 sekunder när α -värdet går från 0,4 kW/s² till 0,19 kW/s². Denna skillnad är marginell i sammanhanget och slutsatsen blir att mindre variationer av tillväxthastigheten inte påverkar resultatet nämnvärt.

Förbränning i brandgaslagret

I scenariot sker en aktivering av sprinklersystemet efter drygt 2 minuter. Detta ledde till antagandet att ingen förbränning av brandgaserna borde kunna ske i brandgaslagret. I CFAST åstadkoms detta genom att sätta temperaturen för vilken förbränning i brandgaslagret kan ske till 2000°C, vilket gör att förbränning i brandgaslagret aldrig sker. För att testa denna tes gjordes en simulering med valet att det ska kunna ske om förhållandena är de rätta enligt CFASTs originalinställningar. Resultaten blev inte annorlunda från originalsimuleringarna, vilket visar att det inte har någon påverkan.

Öppningar

I originalsimuleringarna i CFAST finns två stora öppningar mot det fria. För att kontrollera om det har påverkat resultaten har tre simuleringar gjorts med varierande öppningsarea. I den första stängdes öppningen i entrén. Resultaten skilde sig då inte alls och tiden till kritiska förhållanden blev densamma. I den andra stängdes öppningen i den större utrymningsvägen inne i själva Valhall. Tiden till kritiska förhållanden minskade som mest 10 sekunder i någon del. Det blev även samma resultat vid simulering med båda dessa öppningar stängda. 10 sekunder är en liten skillnad i sammanhanget och variationen kan därför bortses ifrån.

Rökproduktion

Vid simulering av garderobsbranden i CFAST användes värden för polyester som påverkar rökproduktionen. Eftersom polyester ger en större rökproduktion än många andra bränslen antas värdena i simuleringen vara konservativa, men simuleringar med andra värden har ändå gjorts för att testa resultatens variation.

Bomull består till 90 % av cellulosa och kan därför antas ha samma värden⁴⁵. Som input i CFAST har värden viktade mellan polyester och cellulosa (trä) använts. Antagandet har gjorts att det, istället för en övervägande mängd polyester, är 60 % polyester och 40 % bomull som brinner.

$$\Delta H_c = 0,4 \times 19,5 + 0,6 \times 23,8 = 22,1$$

$$H/C = 0,4 \times 0,14 + 0,6 \times 0,1175 = 0,1265$$

$$C/CO_2 = 0,4 \times 0,012 + 0,6 \times 0,08 = 0,0528$$

$$CO/CO_2 = 0,4 \times 0,00376 + 0,6 \times 0,0467$$

Övriga antaganden är desamma som i tidigare simuleringar av garderobsbranden i Valhall⁴⁶.

Resultaten från simulering i CFAST presenteras nedan i tabell 14.

Kritiska nivåer av strålning uppkommer aldrig och presenteras därför ej i tabellen.

Tabell 14 Resultat från CFAST, andra värden på rökpotential

Rum	Temperatur	Brandgaslagrets höjd	Sikt <10 m i brandgaslagret	Sikt väl omblandat <10 m	Toxicitet (CO, CO ₂ , O ₂)	Tid till kritiska förhållanden
Valhall	-	110 s	100 s	130 s	-	130 s
Foajén	60 s	60 s	20 s		130 s	60 s
Entrén	120 s	80 s	60 s		-	80 s

Jämförs dessa resultat med resultaten från simuleringarna där endast polyester antogs brinna märks ingen större skillnad. Med andra ord påverkar inte värdena på rökpotential och yeilds resultatet nämnvärt.

Antaganden om sprinkleraktivering

Korrelationen som används vid beräkning av sprinkleraktivering med Detact gör antagandet att inget brandgaslager har bildats och att taket är platt utan hinder. Om ett brandgaslager bildas kan resonemanget föras att uppvärmningen som det varma brandgaslagret bidrar med delvis vägs upp av den minskade konvektiva överföringen i och med att takstrålen inbromsas. I fallet med brand i garderoben utvecklas en stor effekt i ett litet rum vilket gör att flammorna bör nå taket men även att brandgaserna bör nå en mycket hög temperatur. Genom antagandet som Detact gör beräknas sprinkleraktivering ske efter det att övertändning av rummet inträffat. Detta kan vara lite väl konservativt och därför har simuleringar gjorts med sprinkleraktivering vid den tidpunkt då rummet

⁴⁵ Tewarson, A., 2002.

⁴⁶ se bilaga B - CFAST, Valhall

övertänds, dvs. då temperaturen i brandgaslagret når 500-600 °C⁴⁷. Vid en effektutveckling som följer ett αt^2 samband med ett α på 0,3 kW/s² aktiverar med detta antagande sprinklersystemet efter 100 s. Detta minskar värdet på den maximala effektutvecklingen och simuleringar i CFAST ger resultat enligt tabell 15.

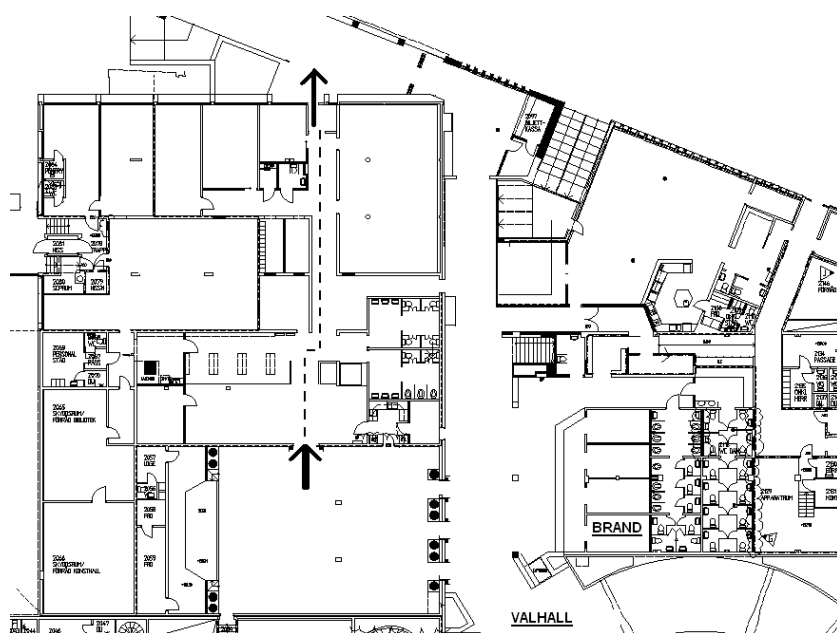
Tabell 15 Resultat om sprinklersystemet antas aktivera i samband med att garderoben övertänds

Rum	Temperatur	Brandgaslagrets höjd	Sikt <10 m i brandgaslagret	Sikt väl omblandat <10 m	Toxicitet (CO, CO ₂ , O ₂)	Tid till kritiska förhållanden
Valhall	-	110	100 s	130 s	-	130 s
Foajén	60 s	60 s	20 s		120 s	60 s
Entrén	130 s	80 s	60 s		-	80 s

Om sker vid övertändning efter 100 s istället för efter 120 s som antagits, förändras tiden till kritiska förhållanden marginellt. Tiderna förändras inte alls i Valhall och som mest med 10 sekunder för något enskilt kriterium.

Utrymning av Freja

Vid vissa tillfällen och evenemang står dörrarna öppna till salen Freja som ligger i direkt anslutning till foajén. Gästerna i denna lokal skulle även de påverkas av en brand i garderoben och därför har utrymningssimuleringar gjorts i Simulex för 150 gäster i Freja.



Figur 20 Beskrivning av utrymning av Freja med en utrymningsväg blockerad.

Antagandet har gjorts att inga gäster utrymmer genom foajén eller entrén till Freja, då dessa snabbt rökfyls. Utrymningsvägen visas i figur 20.

Resonemanget angående varseblivning- och reaktionstid följer det som använts tidigare: 25 % av gästerna reagerar när brandgaslagret är på 2 meters höjd, 50 % av gästerna reagerar när

⁴⁷ Karlsson, B., Quintiere, J. G., 2000.

brandgaslagret är på 1,7 meters höjd och resterande 25 % reagerar när brandgaslagret sjunkit till 1,5 m. Detta ger tiderna 120 sekunder, 145 sekunder och 165 sekunder. Resultatet presenteras i tabell 16. Tiderna inkluderar varseblivningstid, beslut- och reaktionstid och utrymningstid.

Tabell 16 Tid till utrymning av Freja med en utrymningsväg blockerad, resultat från Simulex.

	Samtliga ute ur lokalen Freja	Samtliga ute i det fria
Tid till utrymning	200 s	260 s

Vid simulering i CFAST nåddes tiden till kritiska förhållanden enligt tabell 17.

Tabell 17 Freja om dörrar står öppna till Valhall, resultat från CFAST.

	Temperatur	Brandgaslagrets höjd	Strålning	Sikt < 10 meter i brandgaslagret	Toxicitet (CO, CO ₂ , O ₂)	Tid då två kritiska förhållanden uppfylls
Freja	130 s	130 s	-	40 s	230 s	130 s

Jämförs tiden till kritiska förhållanden med tiden till utrymning så blir resultatet att gäster i Freja utsätts för höga temperaturer och dålig sikt i minst 70 sekunder. Slutsatsen blir att om dörrarna står öppna till Freja och det finns 150 gäster där så är situationen ej acceptabel.

Sammanfattning

Inga av de undersökta variablerna, vilka är brandens tillväxthastighet, förbränning i brandgaslagret eller ej, olika öppningar stängda och värden på rökpotential och yields, har någon större inverkan på resultaten.

Vid simulering konstateras att situationen inte är hållbar om 150 personer ska utrymma Freja och en brand blockerar huvudingången till Valhall.

10.2 Scenario 2: Brand på scen i Valhall

Syftet med känslighetsanalysen är att undersöka till vilken grad valda variabler och antaganden påverkar slutresultaten. Ett urval av de viktigaste antagandena och variablerna har gjorts vilka presenteras nedan.

Tillväxthastigheten

I tabell 18 visas över vilket intervall tiden till kritiska förhållanden varierar då tillväxthastigheten ändras från 0,19 kW/s² till 0,047 kW/s² till 0,012 kW/s² (0,047 kW/s² är samma resultat som presenterats tidigare).

Tabell 18 Känslighetsanalys på tillväxthastigheten, ridå stängs ej. Effekttutveckling varieras mellan ultrafast, fast och medium. Resultat från CFAST.

Rum	Höjd	Sikt i brandgaslagret		Toxicitet	Temperatur	Sikt väl omblandat		Tid till kritiska förhållanden
		10 m	5 m			10 m	5 m	
Valhall	30-30-40 s	100-150-240 s	120-200-320 s	360-(-)-(-) s	150-240-410 s	100-160-250 s	130-200-320 s	120-200-320 s
Foajé	70-90-110 s	140-210-330 s	140-250-410 s	-	-	-	-	140-210-330 s
Entré	95-130-170 s	170-210-390 s	170-250-460 s	-	-	-	-	170-250-390 s

Kritiska förhållanden med avseende på strålning uppkommer inte under scenariot och redovisas därför ej i tabellen.

Då tillväxthastigheten ökar minskar tiden till kritiska förhållanden.

Freja

Vid simulering i CFAST med öppna dörrar in till Freja uppkommer kritiska förhållanden efter cirka 6 minuter i Freja. Tiden kritiska förhållanden i övriga rum påverkas inte nämnbart när Freja tillkommer i detta scenario. Eftersom Freja utryms på mindre än 6 minuter⁴⁸ genom enskild utrymningsväg så anses situationen i just Freja acceptabel.

Val av utrymningsvägar

Vid utrymning av Valhall blir det köbildning i utrymningsvägarna. Särskilt blir det trångt vid huvudingången vilken 75 % av gästerna har antagits utrymma genom. För att undersöka hur detta antagande påverkar resultatet valdes en ny fördelning av utrymmande gäster på 60 % genom huvudingången, 25 % genom den något större utrymningsvägen och 15 % genom den något mindre utrymningsvägen. Med denna förändring minskades den totala utrymningstiden med ungefär 50 sekunder. Tiden blev cirka 5 minuter till dess att samtliga utrymt, vilket ändå fortfarande inte är i närheten av tiden till kritiska förhållanden.

Rökproduktion

Vid simulering av scenbranden i CFAST användes värden för trä som påverkar rökproduktionen. Eftersom trä ger en mindre rökproduktion än många andra bränslen är antagandet inte vidare konservativt. Genom att ändra från att bara trä brinner på scenen till en blandning av 80 % trä och 20 % plast så förändras rökproduktionen. I CFAST simuleras detta genom att ändra rökpoteentialen för olika indata⁴⁹. Den parametern som påverkas är sikten. I tabell 19 visas resultaten.

Kritiska nivåer av toxicitet inträffar aldrig och presenteras därför ej i tabellen.

⁴⁸ Kapitel 8 - Scenario 2, Brand på scen i valhall

⁴⁹ beräkningarna för dessa värden går att finna i bilaga B - CFAST för teatern, där samma viktning mellan trä och plast gjorts.

Tabell 19 Om rökproduktionen vid scenbrand förändras. Resultat från CFAST.

	Brandgaslagrets höjd	Sikt i brandgaslagret		Temperatur	Tid till kritiska förhållanden
		10 m	5 m		
Rum					
Valhall	30 s	110 s	150 s	240 s	150 s
Entré	130 s	220 s	250 s	-	220 s
Foajé	90 s	170 s	210 s	-	170 s

Jämförs dessa resultat med resultaten från originalsimuleringarna så visar det sig att rökpotentialen är en viktig faktor. Tiden till kritiska förhållanden minskar med drygt 1 minut, vilket motsvarar en fjärdedel av ursprunglig tid.

Öppningar

I originalsimuleringarna i CFAST finns två stora öppningar mot det fria. För att kontrollera om det har påverkat resultaten har två simuleringar gjorts med varierande öppningsarea.

I tabell 20 presenteras resultaten då utrymningsvägen direkt från Valhall är stängd.

Tabell 20 Utrymningsvägar nere i Valhall stängda. Resultat från CFAST

	Höjd	Sikt i brandgaslagret		Toxicitet	Temperatur	Tid till kritiska förhållanden
		10 m	5 m			
Rum						
Valhall	30 s	110 s	150 s	580 s	240 s	150 s
Foajé	90 s	210 s	260 s	-	400 s	210 s
Entré	130 s	240 s	290 s	-	-	240 s

I tabell 21 presenteras resultaten då utrymningsvägen genom entrén är stängd.

Tabell 21 Huvudentrén stängd. Resultat från CFAST

	Höjd	Sikt i brandgaslagret		Toxicitet	Temperatur	Tid till kritiska förhållanden
		10 m	5 m			
Rum						
Valhall	30 s	150 s	200 s	-	240 s	200 s
Entré	140 s	220 s	250 s	-	-	220 s
Foajé	90 s	210 s	270 s	-	410 s	210 s

Tiden till kritiska förhållanden i rummet Valhall förkortas med knappt en minut om dörren nere i Valhall stängs. Om dörren i entrén stängs så förbättras förvånansvärt nog tiden till kritiska förhållanden något i entrén medan tiderna blir oförändrade i Valhall och foajén i jämförelse med originalsimuleringarna. Detta resultat läggs inte så stor vikt vid då entrén ligger långt bort från branden och modellen som CFAST bygger på fungerar sämre på stora avstånd från brandkällan.

Stående gäster

Vid val av scenarier antogs att det var mer sannolikt med sittande gäster då brand uppkommer på scenen. Om stående gäster befinner sig i Valhall vid brand på scenen så fås andra utrymningstider.

Fördelningen mellan utrymningsvägarna förväntas bli mer jämn med stående gäster eftersom fler personer befinner sig i lokalen och ökad köbildning antagligen leder till att fler söker sig till

alternativa utrymningsvägar. Fördelningen mellan utrymningsvägarna har satts till 55 % genom huvudingången, 35 % genom den stora utrymningsvägen och 10 % genom den lilla utrymningsvägen som är placerad i anslutning till scenen och därför väljs bort av majoriteten av besökarna.

Simulex ger en tid till fullständig utrymning på 6 min och 50 s, vilket inte är under tiden till kritiska förhållanden.

Sammanfattning

Total tid för utrymning förändras från det sämsta fallet på 6 min 50 s till det bästa fallet på 5 min. Det är främst fördelningen mellan utrymningsvägarna som i huvudscenariot ger upphov till skillnader, men med stående gäster sker den längsta utrymningstiden. Tid till kritiska förhållanden i Valhall förändras från sämsta fallet på 2 min till det bästa på 5 min 30 s. Det är brandens tillväxthastighet som ger upphov till de största skillnaderna. Överlag kan konstateras att gäster i Valhall vid scenbrand inte hinner utrymma innan kritiska förhållanden inträffar.

10.3 Scenario 3: Brand på scen i teatern

Syftet med känslighetsanalysen är att undersöka till vilken grad valda variabler och antaganden påverkar slutresultaten. Ett urval av de viktigaste antagandena och variablerna har gjorts vilka presenteras nedan.

I den första analysen av värdet på tillväxthastigheten konstateras att kritiska förhållanden aldrig nås i foajén, inte ens då ridån står öppen. Detta sker inte heller i något annat fall och därför presenteras inte resultaten för foajén i tabellerna i detta kapitel.

Tillväxthastighet ridå öppen

I tabell 22 visas över vilket intervall tiden till kritiska förhållanden varierar då tillväxthastigheten ändras från 0,19 kW/s² till 0,047 kW/s² till 0,012 kW/s² (där 0,047 kW/s² är samma resultat som presenterats tidigare). Toxicitet och strålning presenteras ej då kritiska nivåer aldrig nås.

Tabell 22 Känslighetsanalys på tillväxthastigheten, ridå stängs ej. Effektutveckling varierar mellan ultrafast, fast och medium. Resultat från CFAST.

Rum, ridå öppen	Temperatur	Brandgaslagrets höjd	Sikt < 10 m i brandgaslagret	Sikt < 5 m i brandgaslagret	Tid till kritiska förhållanden
Scen	150-270-500 s	-	60-110-170 s	90-150-250 s	-
Salong	230-390(-) s	130-180-230 s	80-140-240 s	120-200-340 s	130-200-340 s
Foajé a	-	-	-	-	-
Foajé b	-	-	-	-	-

I salongen påverkas tiderna till dess två kritiska förhållanden utav effektutvecklingen så att ett spann på en minut uppkommer.

Tillväxthastighet ridå stängd

Då ridån stängs uppnås inte kritiska förhållanden innan dess samtliga har utrymt med tillväxthastighet fast. Därför har känslighetsanalys gjorts med endast ultrafast för detta fall.

I tabell 23 visas över vilket intervall tiden till kritiska förhållanden varierar då tillväxthastigheten ändras från 0,19 kW/s² till 0,047 kW/s² (där 0,047 kW/s² är samma resultat som presenterats tidigare).

Tabell 23 Känslighetsanalys på tillväxthastigheten, ridå stängs. Resultat från CFAST.

Rum, ridå stängs	Temperatur	Brandgaslagrets höjd	Sikt < 10 m i brandgaslagret	Sikt < 5 m i brandgaslagret	Toxicitet (CO, CO ₂ , O ₂)	Tid till kritiska förhållanden
Scen	150-250 s	-	60-110 s	90-150 s	430-440 s	-
Salong	560(-) s	170-360 s	80-190 s	120-270 s	-	170-360 s
Foajé a	-	-	-	-	-	-
Foajé b	-	-	-	-	-	-

Tid till kritiska förhållanden påverkas starkt utav förändring av tillväxthastigheten. Skillnaden beror på att ridån stängs efter knappt 2 minuter och rökfyllnad före denna tidpunkt blir därför av stor betydelse. Två kritiska förhållanden inträffar 50 sekunder efter det att ridån stängs med en tillväxthastighet på 0,19 kW/s². Skillnaden mellan en tillväxthastighet på 0,19 kW/s² och 0,047 kW/s² är drygt 3 minuter, vilket gör det valda scenariots känsligt för snabbare tillväxthastigheter. Om hänsyn till transporttider tas ökar ridåns inverkan i det tidiga brandförloppet, vilket skulle kunna medföra längre tider till kritiska förhållanden. Speciellt i de fall där effektutvecklingen tillväxer snabbt.

Öppningar

Det finns alltid luftläckage i alla byggnader och för att ta hänsyn till dessa så har vissa dörrar valts till att stå öppna under simuleringarna. Detta är ett konservativt antagande som gör att branden inte blir ventilationskontrollerad. Brandgasventilationen behöver däremot tilluft och öppningar till det fria. Det är med avseende på brandgasventilation inte konservativt att ha dörrar som står öppna från antändning och därför har simuleringar behövts för att se hur resultaten påverkas då dörrarna stängs. I originalsimuleringarna i CFAST finns två stora öppningar mot det fria från teatern, (undantaget brandgasventilationen), en dörr från scenen till det fria och en dörr från salongen till det fria.

Vid den första simuleringen är utrymningsvägen till det fria från salongen stängd. Resultaten presenteras nedan i tabell 24. Toxicitet och strålning presenteras ej då kritiska nivåer aldrig nås.

Tabell 24 Stängd utrymningsväg från salongen till det fria. Resultat från CFAST.

Rum	Temperatur	Brandgas-lagrets höjd	Sikt <10 m i brandgas-lagret	Sikt <5 m i brandgas-lagret	Tid till kritiska förhållanden
Scen	250 s	-	110 s	-	-
Salong	580 s	270 s	180 s	250 s	270 s

I den andra simuleringen är dörren till det fria från scenen stängd. Resultaten presenteras nedan i tabell 25. Toxicitet och strålning presenteras ej då kritiska nivåer aldrig nås.

Tabell 25 Stängd utrymningsvägen från scenen till det fria. Resultat från CFAST.

Rum	Temperatur	Brandgas-lagrets höjd	Sikt <10 m i brandgas-lagret	Sikt <5 m i brandgas-lagret	Tid till kritiska förhållanden
Scen	270 s	560 s	110 s	150 s	560 s
Salong	580 s	330 s	200 s	270 s	330 s

Att dörrar stängs leder till att tillgänglig tid för utrymning minskas och i fallet då utrymningsvägen från salongen stängs så sker detta med så mycket som 1 minut och 30 sekunder. Undertryck och lufthastigheter i öppningar har inte uppskattats och hur undertryck påverkar ridåns funktion har heller inte utretts.

Maxeffekt

Maxeffekten nås efter det att utrymning skett av teatersalongen. Betydelsen av värdet på denna är därför mindre viktigt för utrymningsfasen av teatern.

Brandgasventilation

Av flera anledningar kan brandgasventilationens funktion försämrats, till exempel vindpåverkan, mekaniskt fel eller otillräcklig tilluft. Då brandgasventilationen är avgörande för rökfylldheten har simuleringar gjorts utan en fungerande brandgasventilation. Dessa har inte gjorts med öppen ridå eftersom utrymning knappt klaras med öppen ridå ens om brandgasventilationen fungerar. Simulering är gjord med en tillväxthastighet som motsvarar fast ($0,047 \text{ kW/s}^2$). Resultaten från simuleringarna i CFAST presenteras i tabell 26. Toxicitet och strålning presenteras ej då kritiska nivåer aldrig nås.

Tabell 26 Icke fungerande brandgasventilation, resultat från CFAST.

Rum	Temperatur	Brandgas-lagrets höjd	Sikt <10 m i brandgas-lagret	Sikt <5 m i brandgas-lagret	Tid till kritiska förhållanden
Scen	250 s	250 s	110 s	150 s	-
Salong	420 s	190 s	180 s	240 s	240 s

Detta är att jämföra med då brandgasventilationen fungerar då tillgänglig tid till för utrymning av salongen i simuleringarna blev 360 sekunder. Brandgasventilationen ger alltså 2 minuter i sin nuvarande utformning.

Bränslegeometrier

Vid brand på scenen finns det mycket material av varierande storlek som kan brinna. Därför svårt att avgöra vilka mått bränslet kan tänkas ha. Simuleringar har därför gjorts i CFAST med olika bränslegeometrier. Bränslets bottenarea och dess höjd har varierats utan att resultaten av simuleringarna påverkades. Notera dock att bränslets bas alltid satts till samma höjd som scengolvet.

Brandens area

För att undersöka om valet av brandens storlek har någon påverkan har det beräknats hur stor yta som brinner när utrymning skett. Utrymning har skett vid 260 sekunder och branden har då en effekt på 3,2 MW. Det viktade värdet på effekt per kvadratmeter⁵⁰, 375 kW/m², ger då en yta på motsvarande 8,5 m². Storleken på denna yta understiger markant storleken på den valda ytan på 30 m² vilket visar att antagandet är av mindre vikt.

Ridån

När ridån stängs har dess läckage i originalsimuleringarna satts till 10 %. Vid närmare granskning betyder det att ridån skall ha ett läckage motsvarande en öppning på 8,5 m². Detta läckage är stort och bör därför anses konservativt för denna ridå. Simuleringar har gjorts med 5 % läckage, vilket motsvarar en läckande area på 4,25 m². Ridån har en höjd på 7,1 meter och en bredd på 12 meter. För mer specifik information se kapitel 3 - Befintligt brandskydd. Resultaten från simuleringen presenteras nedan i tabell 27. Toxicitet och strålning presenteras ej då kritiska nivåer aldrig nås.

Tabell 27 Tätare ridå, resultat från CFAST.

Rum	Temperatur	Brandgaslagrets höjd	Sikt <10 m i brandgaslagret	Sikt <5 m i brandgaslagret	Tid till kritiska förhållanden
Scen	260 s	-	110 s	150 s	-
Salong	-	560 s	230 s	320 s	560 s

Ridåns täthet påverkar resultaten markant. Om ridån kan hållas tätare än läckage på 10 % så skulle det kunna leda till en mer säker och stabil situation i teatern.

Rökproduktion

För att simulera sikten vid brand i teatern har fördelningen 80 % trä och 20 % plast antagits. Hade plasten fått utgöra en större del av bränslet hade röken förmodligen blivit mörkare. Då sikten når kritiska nivåer innan brandgaslagrets höjd påverkar antagandet om fördelningen inte resultaten och ingen känslighetsanalys av denna parameter har gjorts.

Sammanfattning

Brandgasventilationen visar sig i denna analys vara viktig. Att stänga till tilluftsöppningar eller begränsa brandgasventilationens area gör att marginalerna minskar eller försvinner vid utrymning.

⁵⁰ Valet av detta redovisas i bilaga A – Val av effektkurvor

Om brandgasventilationen helt förhindras så förloras 2 minuter för utrymning. Ridåns täthet är också av vikt och en tätare ridå skulle kunna göra situationen betydligt tryggare. Effektutvecklingen gör också stor skillnad på resultaten. Om en tillväxthastighet på ultra fast antas för branden så halveras tiden som finns tillgänglig för utrymning av salongen.

KAPITEL 11 - DISKUSSION

I detta kapitel diskuteras resultatens trovärdighet och antaganden som gjorts. Detta följs av en diskussion av resultaten för varje scenario och övergripande för varje byggnadsdel.

Överlag har resultat från CFAST antagits som mer trovärdiga än resultat från handberäkningar. Detta för att handberäkningsmodellerna bygger på grövre antaganden och förenklingar. Alltså är det tider till kritiska förhållanden som genererats av CFAST som främst jämförs med tider till utrymning. Undantaget är brandgasernas transporttider där resultat från handberäkningarna väger något tyngre. Då CFAST bygger på antagandet att brandgaser sprids momentant så kommer just dessa resultat att jämföras med resultat från handberäkningarna.

Då lokalerna i samtliga scenarion är relativt stora så anses tider till kritiska förhållanden som mer korrekta närmare brandrummet, på grund av begränsningar i CFAST⁵¹. Vid scenbränderna, i både Valhall och teatern, ligger entrén respektive foajén längst bort från branden, vilket gör att tiderna till kritiska förhållanden i dessa anses som mindre exakta.

Om utrymningstiderna från Simulex är konservativa eller ej är svårt att bedöma. Vad som talar för att resultaten är konservativa är att personerna i programmet endast förflyttar sig mot en i förväg utvald utrymningsväg. I verkligheten borde utrymmande personer vara mer flexibla då de kan ta beslut utifrån situationen, t.ex. om en person ser köbildning vid en utrymningsväg så kan den välja en annan. Detta, i kombination med antagandet att folk tenderar att välja den utgång som de kom in genom, vilket görs i scenario 2 och 3, gör att resultaten på utrymningstiderna från Simulex i dessa två fall anses vara konservativa. Handberäkningar på förflyttningstider har gjorts i bilaga H och resultaten från dessa stärker i viss mån resultaten från Simulex. Mer diskussion angående detta förs i bilagan.

11.1 Scenario 1 – Brand i garderob i Valhall

Vid garderobsbranden inträffar kritiska förhållanden väldigt snabbt. Detta beror på brandens höga tillväxthastighet, bränslets rökproduktion och den låga takhöjden i Valhall. Utrymning har knappt påbörjats när sikten understiger 10 meter.

Antagandet att det aldrig sker någon skiktning i Valhall är inte konservativt. Tiden till dålig sikt blir längre då rökgaserna fördelas på hela Valhalls volym. Detta påverkar dock inte resultatet då skillnaden mellan tiderna till utrymning och kritiska förhållanden är mycket stor.

Vid känslighetsanalys dras slutsatsen att resultaten är relativt okänsliga med avseende på de undersökta variablerna. Framförallt förändras inte situationen som den är, tiden för utrymning överstiger tiden till kritiska förhållanden kraftigt.

Även vid utrymning av Freja överstiger tiden för utrymning tiden till kritiska förhållanden. När det är stora evenemang i Valhall kan dörrarna stå öppna till Freja och vid dessa typer av evenemang har utrymningssituationen visat sig vara ohållbar.

11.2 Scenario 2 – Brand på scen i Valhall

Vid scenbranden uppnås höga temperaturer och dålig sikt innan samtliga utrymt Valhall. Att branden startar i samma rum som folk befinner sig i och utrymmer från gör att gästerna påverkas snabbare av brandgaslagret och varma temperaturer. Dessutom är den större utrymningsvägen som leder direkt

⁵¹ se kapitel 5 – Teori, CFAST

till det fria ur Valhall upphöjd i förhållande till Valhalls golvnivå. I kombination med den låga takhöjden betyder det att brandgaslagret når en kritisk höjd väldigt snabbt, enligt CFAST. Det är dock mindre troligt att det faktiskt skulle gå så snabbt i det tidiga brandförloppet som CFAST visar, på grund av programmets begränsningar. Det är den momentana rökspridningen som bidrar till de orimligt korta tiderna. Teorin stärks av beräkningar som gjorts på brandgasernas hastighet i takstrålen. Resultaten från dessa visar att tiden det skulle ta för brandgaserna att nå väggen är längre än tiden som ges av CFAST till kritisk höjd på brandgaslagret.

Även om resultatet på tiden till kritiska förhållanden är konservativt så borde inte situationen förändras, då skillnaden mellan tiden till utrymning och kritiska förhållanden är stor.

Vid känslighetsanalys konstaterades en relativt stor skillnad i tider för utrymning och kritiska förhållanden då variablerna förändrades.

Den största skillnaden uppkommer då tillväxthastigheten ändras. Det är främst temperaturen och sikten i brandgaslagret som når kritiska förhållanden betydligt snabbare med en tillväxthastighet på ultrafast än med fast eller medium. Tiden som skiljer är anmärkningsvärd men eftersom alla gäster inte hunnit utrymma i något av fallen innan kritiska förhållanden nås så anses ändå resultatet vara okänsligt med avseende på tillväxthastigheten.

Det har visat sig vid simuleringar att det tar längre tid att utrymma 1200 stående gäster än det tar att utrymma 550 sittande i detta scenario. Det anses dock att utrymningssituationen är mer besvärlig då bord och stolar finns i lokalen. Då dessa är rörliga och i ett verkligt scenario kan de hamna i vägen för utrymmande personer medans de i simuleringarna är fasta hinder speciellt då sikten är dålig. Därför anses utrymningssituationen vara mer kritisk för sittande gäster.

Vid en ändring av rökpotentialen och val av utrymningsvägar nås kritiska förhållanden snabbare men skillnaden som uppkommer är inte betydande.

11.3 Slutsatser Valhall

Vid händelse av de typer av bränder som utretts i scenarierna i Valhall är situationen ej acceptabel. Tiderna till kritiska förhållanden överskrids kraftigt av tiderna som behövs för utrymning. Omfattande åtgärder krävs för att uppnå säker utrymning.

Utrymning har i simuleringar visat sig ske långsamt, speciellt då huvudingången inte kunnat användas. Dessutom har lokalen en låg takhöjd som gör att kritiska nivåer på brandgaslagrets höjd nås mycket snabbt. Under dessa förhållanden är det viktigt att systemen som skall säkra utrymning är snabba och att potentiella brandkällor begränsas. I lokalen tillåts att detektionssystemet stängs av vid evenemang och sprinklersystemet som då är lokalens huvudsakliga aktiva system har visat sig vara ineffektivt och aktiverar i båda utredda scenarier för sent för att ge någon egentlig effekt. Antaganden när det gäller sprinklersystemet har genomgående varit konservativa och speciellt aktiverar sprinklersystemet i simuleringarna av garderobsbranden efter det att övertändning skett i detta rum, vilket inte är troligt. Dessutom släcker ett väl utformat sprinklersystem ofta bränder. Konservativa antaganden väger alltså upp en del av den mörka bild som målas upp i scenarierna, men det betyder inte att slutsatsen om personsäkerheten i Valhall påverkas. Känslighetsanalysen visar att resultaten inte är särskilt känsliga med hänsyn till de parametrar som valts eller antagits och om inte sprinklersystemet släcker branden så kan inte personsäkerheten garanteras.

Tid för utrymning har i känslighetsanalysen visat sig vara relativt likvärdig för sittande som stående gäster om samtliga utrymningsvägar används och i samtliga fall överskrids tiderna till kritiska förhållanden. Då huvudentrén är blockerad uppkommer de längsta utrymningstiderna vilket gör att bränder i denna del anses som mer kritiska och uppkomst bör i det längsta förhindras. Garderobsbrand är bara ett scenario som kan tänkas blockera huvudingången och bör ses som ett värsta fall vid brand i denna del.

11.4 Scenario 3 – Brand på scen i teatern

När ridån stängs mellan scenen, där branden sker, och salongen inträffar inga kritiska förhållanden inom tiden det tar för gästerna att utrymma. Brandgaslagrets höjd blir inte kritisk under utrymningsförloppet så trots att sikten i brandgaslagret blir kritisk tidigare så utgör detta inte någon fara för gästerna. Förutsättningen för detta är visserligen att brandgasventilationen fungerar optimalt.

När ridån är öppen under hela brandförloppet är det enda kritiska förhållandet som inträffar dålig sikt i kombination med kritisk höjd på brandgaslagret. Utrymning har inte hunnit fullbordas då sikten blir sämre än 5 meter, men inom den totala tiden för utrymning når dock varken temperaturer, strålning eller toxicitet kritiska nivåer. Om gästerna inte utsätts för något annat än försämrade sikt borde utrymning ändå kunna ske säkert utan några personskador. Men eftersom sikten blir dålig borde rimligtvis förflyttningstiden öka då personer rör sig långsammare under dessa förhållanden⁵². Slutsatsen blir att så länge utrymningen sker innan nästa kritiska förhållande uppfylls, vilket är temperatur, så är situationen acceptabel. Om detta är möjligt eller ej är svårt att avgöra och därför anses personsäkerheten inte kunna garanteras.

Något som pekar på att resultaten från CFAST är konservativa är de handberäkningar som gjorts på brandgasernas hastighet i takstrålen. Då salongen och scenen tillsammans är ett stort rum så är tiden till kritisk höjd på brandgaslagret längre än den som CFAST anger eftersom CFAST inte räknar med brandgasernas transporttid. I slutändan betyder det att tiden till kritiska förhållanden förlängs en aning, kanske tillräckligt för att gästerna i teatern ska hinna utrymma i tid.

Vid känslighetsanalys konstateras att genom att ändra variabler som brandgasventilationens funktion, brandens tillväxthastighet och vilka dörrar som är öppna, ändras och i vissa fall försvinner, marginalerna för utrymning. Eftersom resultaten för öppen ridå ger tider till kritiska förhållanden som överstiger tid för utrymning har förändringar som förvärrar situationen ytterligare inte utretts. Ridåns täthet ökades i simuleringarna vilket markant ökade tiden till kritiska förhållanden. Det är väldigt svårt att anta hur stor area av läckage ridån skulle kunna ha, men resultaten visar på vikten av att ridån fungerar bra och sluter tätt.

Brandgasventilationen i teatern har antagits fungera i huvudanalysen men detta antagande är ganska osäkert och inte på den konservativa sidan. Brandgasventilationen är på sidan av byggnaden och stark vind från fel håll kan tänkas förhindra eller helt reversera effekten av detta system. Dessutom bygger systemet på att tilluft finns att tillgå vilket kommer sig av att vissa dörrar förutsätts stå öppna. Det finns alltså en viss risk att brandgasventilationen tappar sin funktion. Men som känslighetsanalysen visar så sjunker då sikten under 5 meter vid 4 minuter, vilket är 20 sekunder kortare än den tid som behövs för utrymning enligt Simulex. Nästa kritiska förhållande som nås är

⁵² Nilsson, Daniel, föreläsning Bränder och människors beteende

temperaturen vid 7 minuter. Det anses vara rimligt att genomföra utrymning, med 5 meter sikt, då gästerna står och köar vid utrymningsväg. Brandgasventilationen har en viktig positiv effekt men även om den inte fungerar skulle utrymning kunna ske hjälpligt utan fara för liv så länge ridån fungerar problemfritt.

11.5 Slutsatser teatern

Vid händelse av en scenbrand i teatern ligger förhållandena på gränsen för vad som kan räknas som en acceptabel situation. Fungerar de system som finns i teatern, brandgasventilationen och brandridån, kan säker utrymning ske utan problem, men skulle något gå fel är detta inte säkert. Därför är det av stor vikt att funktionen av ridån och brandgasventilationen säkerställs. Ridån måste under alla omständigheter fungera och dessutom stänga relativt tätt. Vad gäller brandgasventilationen betyder detta både att ventilationsluckorna öppnar ordentligt, och att en tillräcklig tilluftsarea säkerställs. Vad som kan göras för att trygga funktionen av dessa två system utreds i kapitlet Åtgärder.

Scenariot med scenbranden som utreds i teatern antas täcka en stor del av de tänkbara scenarierna i teatern men brand i garderob, som i inledande fas av arbetet inte valdes som ett huvudscenario, har översiktligt utretts separat i bilaga G, på grund dess potentiella konsekvens. Att en brand skulle starta i garderoben anses inte sannolikt men lätta lösningar kan vidtas för att undvika de allvarliga konsekvenser som skulle kunna uppstå.

KAPITEL 12 - ÅTGÄRDER

I detta kapitel presenteras en lista på åtgärder varav vissa *skall* utföras, där ordet *skall* understryker deras vikt för personsäkerheten i byggnaden. Andra åtgärder *bör* utföras och *skall* ses som rekommendationer för att stärka brandskyddet.

12.1 Valhall

Personsäkerheten i Valhall kan inte säkerställas i nuvarande läge i händelse utav brand. Med hänsyn till detta har ett antal förslag på åtgärder tagits fram för att förändra det nuvarande läget och göra säkerhetsläget acceptabelt. Åtgärderna har utretts var för sig men också i relation till varandra. Dessa åtgärder föreslås nedan:

- Ett sprinklersystem med lägre RTI *skall* installeras. Sprinklerhuvudena *skall* bytas ut mot sprinklerhuvuden som aktiverar snabbare, förslagsvis med RTI på 30 och en aktiveringstemperatur på 57°C.
- Manuella larmknappar *skall* installeras där personal befinner sig och vid utrymningsvägarna. Även vid scenen och garderoben där mycket brännbart material finns *skall* manuella larmknappar placeras. I samband med aktivering av utrymningslarmet *skall* ljuset i lokalerna tändas.
- Självstängande dörrar *skall* installeras i garderoberna. Dessa *skall* aktiveras med enskilda differentialvärmedetektorer som placeras centralt i taket inne i garderoben. Detektion *skall* ske på en temperaturstegring om 4°C/min.
- När dukning med bord sker inne i Valhall *skall* avståndet mellan borden som finns i närheten av huvudingången breddas till 2 meter. Dessutom *skall* utrymmet runt huvudingången hållas helt fritt. I övrigt kan det för närvarande avståndet på 1,5 meter i gångarna användas i lokalen.
- Kontinuerlig utbildning av personal *skall* ske. Detta baseras på den enkätundersökning som gjordes vid platsbesöket och redovisas i bilaga J – Enkätundersökning.
- Entré och utrymningsvägar *skall* hållas fria från brännbart material.
- Självstängande dörrar mellan Freja och foajén som aktiveras av det allmänna detektionssystemet *bör* installeras.

12.2 Validering av åtgärder Valhall

Utredning och diskussion av de föreslagna åtgärderna görs här. Möjliga åtgärder som valts bort granskas också men inte i samma detalj som de åtgärder som har föreslagits.

Sprinklersystem med lägre RTI och aktiveringstemperatur

Scenbrand

Vid brand på scen så löser det snabbare sprinklersystemet ut efter 150 sekunder, vilket medför en maxeffekt på 1,1 MW⁵³. I tabell 28 presenteras resultaten från simuleringarna med lägre maxeffekt i CFAST.

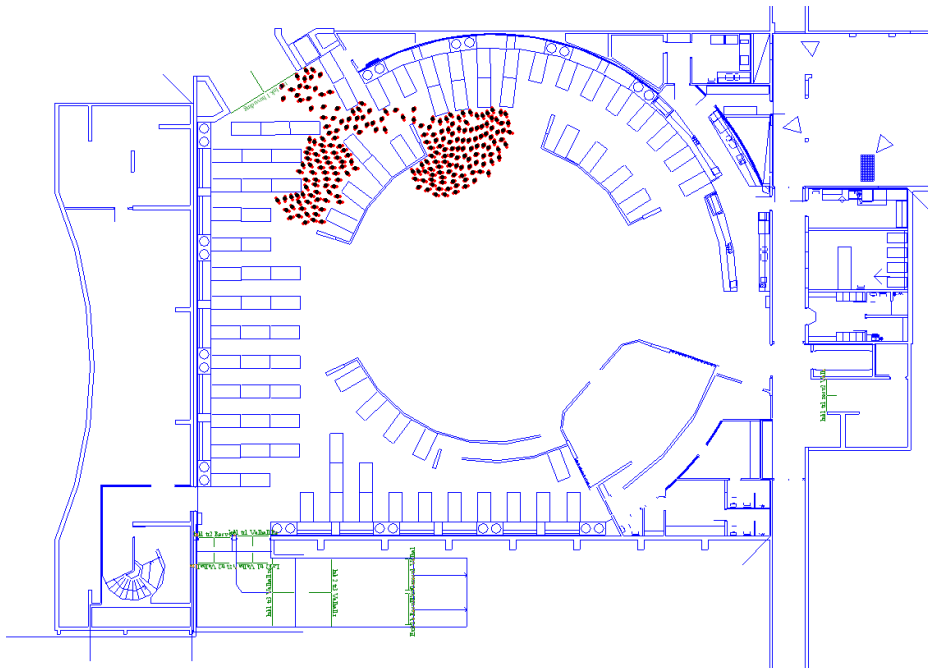
Varken strålning, temperaturer eller toxicitet når några kritiska nivåer och presenteras därför ej i tabellen.

⁵³ se bilaga D - Detact

Tabell 28 Sprinkler med lägre RTI-värde. Resultat från CFAST.

Rum	Brandgaslagrets höjd	Sikt i brandgaslagret		Sikt väl omblandade förhållanden		Tid till kritiska förhållanden
		5 m	10 m	5 m	10 m	
Valhall	40 s	220 s	170 s	230 s	160 s	230 s
Foajé	90 s	-	230 s	-	-	230 s
Entré	130 s	-	300 s	-	-	300 s

Inga kritiska förhållanden förutom dålig sikt uppkommer i Valhall under de första 10 minuterna. Antagandet har gjorts att när sprinklersystemet aktiveras så uppstår väl omblandade förhållanden, vilket sker innan sikten blir dålig i alla rum. Efter dess att sprinklersystemet aktiverats förväntas sikten försämrats, men branden kommer då också begränsas och förhoppningsvis dämpas. Då sprinklersystemet aktiveras vid 150 sekunder så har samtliga personer i lokalen börjat utrymma och köar vid utrymningsvägarna enligt figur 21.



Figur 21 Utrymning av Valhall efter 150 s med 550 sittande gäster. Resultat från Simulex.

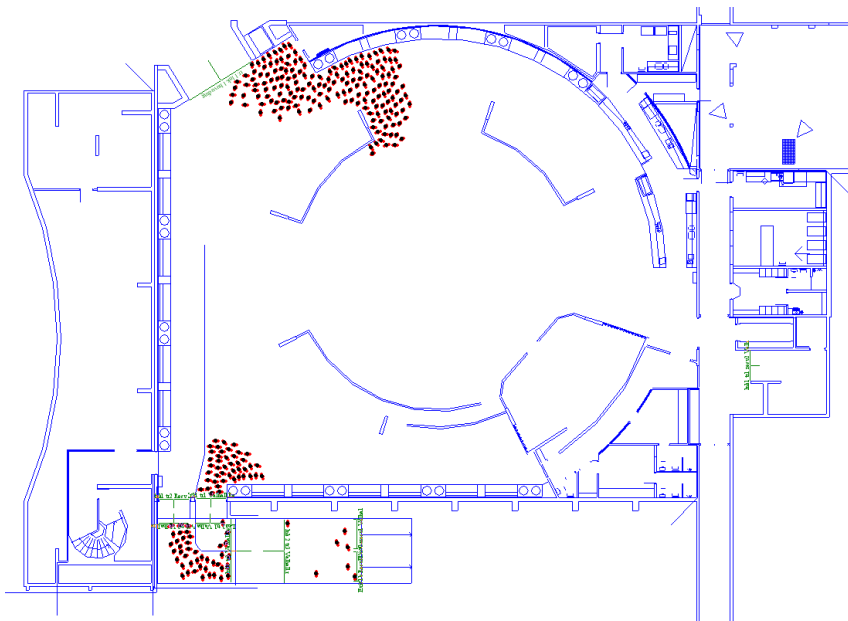
Att sikten blir dålig vid det tillfälle då samtliga personer i lokalen befinner sig nära varandra och på väg ut ur lokalen kan kanske accepteras i och med att inga andra kritiska förhållanden uppkommer och branden antas vara kontrollerad. Det är viktigt att poängtera att antagandet om att branden kontrolleras utav sprinklersystemet är konservativt och att sprinklersystemet antagligen kommer att ha en bättre verkan på de flesta bränder⁵⁴. Risk finns att sprinklersystemet inte fungerar men då denna är mycket liten bortses den ifrån⁵⁵.

⁵⁴ se sprinklers inverkan på brandförloppet i bilaga F - Handberäkningar

⁵⁵ Malm, D., Pettersson, A-I., 2008.

Sikten i foajén och entrén blir dålig efter 230 respektive 300 sekunder och utrymning har då inte skett i dessa delar. Eftersom sprinklersystemet aktiverar vid 150 sekunder, vilket kyler av brandgaserna, kan det ifrågasättas hur relevanta dessa tider är och om brandgaserna kommer att ha stignkraft nog att lämna brandrummet. Samma resonemang kan föras här som tidigare, sikten behöver inte nödvändigtvis påverka en säker utrymning, så länge inga andra kritiska förhållanden uppkommer.

Vad gäller de tillfällen då det finns 1200 stående gäster i Valhall och brand inte sker i någon utrymningsväg går det att applicera samma resonemang som ovan. Vid 230 sekunder, när sikten understiger 5 meter i Valhall, står gäster och köar vid utgångarna vilket kanske kan accepteras då inga andra kritiska nivåer nås. I figur 22 nedan från Simulex syns att folk befinner sig nära varandra och är på väg ut ur lokalen.



Figur 22 Utrymning av Valhall efter 150 s med 1200 stående gäster. Resultat från Simulex.

Garderobsbrand

Vid brand i garderob så kommer ett snabbare sprinklersystem att aktivera efter 70 sekunder och branden når då en maxeffekt på 1,3 MW⁵⁶. I tabell 29 presenteras resultaten från simuleringarna med lägre maxeffekt i CFAST.

Varken strålning eller toxicitet når några kritiska nivåer och presenteras därför ej i tabellen.

Tabell 29 Sprinkler med ett lägre RTI värde. Resultat från CFAST.

Brand i garderob	Brandgaslagrets höjd	Sikt i brandgaslagret	Sikt väl omblandade förhållanden	Temperatur	Tid till kritiska förhållanden
Valhall	120 s	90 s	140 s	-	140 s
Foajé	60 s	20 s	-	60 s	60 s
Entré	80 s	60 s	-	-	80 s

⁵⁶ se bilaga D - Detact

Branden dämpas nu rejält men kritiska förhållanden kommer i alla fall att uppkomma ungefär samtidigt som med det befintliga sprinklersystemet i alla lokaler. Det är dock med ett snabbare sprinklersystem mer sannolikt att branden släcks eftersom systemet kan angripa branden innan den hinner växa sig stark. Kritiska temperaturer nås inte längre i entrén och kritiska förhållanden med avseende på toxicitet undviks i foajén.

Denna åtgärd väntas också vara verksam på andra brandscenarier än de som specifikt har utretts i denna rapport. Även andra bränder i entrén och foajén än just garderobsbranden antas begränsas eller bekämpas av åtgärden. Ett snabbt sprinklersystem är en heltäckande åtgärd som väntas ha en positiv effekt för den allmänna utrymnings säkerheten oavsett var branden uppkommer.

Manuella tryckknappar och ljusständning av lokalerna

Det finns i nuläget endast en manuell tryckknapp placerad i entrén vilket inte är tillräckligt om utrymningslarmet skall kunna aktiveras då rökdetektionssystemet är avstängt. I dagsläget är det en ensam brandvakts jobb att aktivera utrymningslarmet då rökdetektorerna är avstängda. För att uppgiften ska ha någon verkan krävs att både detektion och lokalisering av larmknappen sker snabbt. Befinner sig brandvakten då långt från entrén och om branden dessutom blockerar entrén eller foajén kommer det att medföra att utrymning av gästerna fördröjs mer än nödvändigt.

Att larmet aktiveras kommer att ha en positiv inverkan och leda till att beslut- och reaktionstid förkortas något. Dessutom kan utrymningslarmet kopplas till belysningen vilket också borde minska besluts- och reaktionstiderna och möjliggöra att brandgaserna lättare observeras om lokalen annars har en dämpad belysning. Åtgärden väntas klargöra för personer i lokalerna att röken inte är en del av något arrangemang då till exempel rökmaskiner används vid konserter. Det kommer också bli lättare för folk att kunna orientera sig i lokalen. Beslut- och reaktions tider baseras i utredda scenarier på då brandgaser kan förnimmas i lokalen och är inte beroende av utrymningslarmet. Att utrymningslarmet aktiveras kan anses vara en bredare lösning och täcka in andra tänkbara scenarier, till exempel då personer befinner sig i utrymmen som inte direkt påverkas av brandgaser. Varseblivningstider och besluts- och reaktionstider som är viktiga vid utrymning anses också kunna reduceras. Larmknappar bör placeras i samband med utrymningsvägarna, där personal befinner sig och där mycket brännbart material kan förväntas, förslagsvis vid baren, garderoben, scenen och de tre utrymningsvägarna.

Självstängande dörrar till garderoberna

Denna åtgärd bygger på att syretillförseln till branden begränsas och branden tillåts självslockna. Dörrarna ska vara magnetuppställda på ett sådant sätt att de inte är i vägen. Eftersom rökmaskiner används i Valhall och det fasta detektionssystemet då stängs av bör detta system inte förlita sig på varken det fasta systemet eller rökdetektorer. En värmedetektor som placeras inne i garderoben och stänger dörrarna vid aktivering är en stabil och bra lösning. Detta skulle kunna ske efter cirka 30 sekunder⁵⁷ vid brand i garderoben vilket skulle räcka för att förhindra kritiska förhållanden även i foajén. Viktigt är dock att systemet underhålls, kontrolleras regelbundet och inrättas på ett sätt så att det inte är i vägen vid dagligt bruk av lokalen, förslagsvis används skjutdörrar i detta fall som kan vara tvådelade och utformas efter behov. Dörrarna bör vara brandklassade men behöver inte uppfylla någon högre klassning eftersom deras främsta uppgift är att hindra lufttillförsel in i garderoberna. Det kommer antagligen att vara varmt då dörrstängningen aktiverar men tillsammans med

⁵⁷ se bilaga D - Detact

sprinklersystemet väntas brand här kunna tryckas ner. Dörrar av klass EI 15 kommer att räcka och kanske skulle till och med en sämre klassning vara tillräcklig.

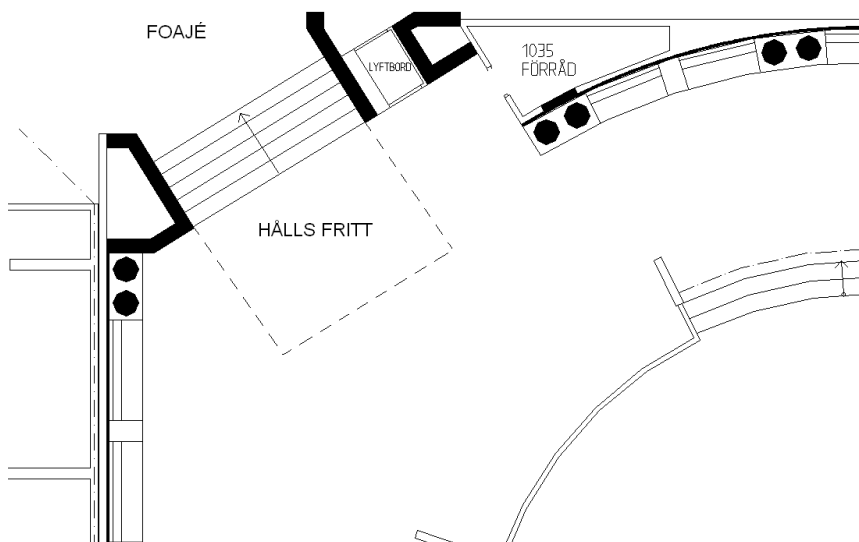
Självstängande jalousier kan också användas om de aktiveras på samma sätt som de självstängande dörrarna och klarar av att stängas inom 130 sekunder, (den tid då kritiska siktförhållanden uppkommer i Valhall).

Dörrar som ska stängas manuellt rekommenderas ej. Detta för att en brand i garderoben skulle utvecklas fort och det kan inte alltid förväntas finnas personal närvarande som vet vad de ska göra.

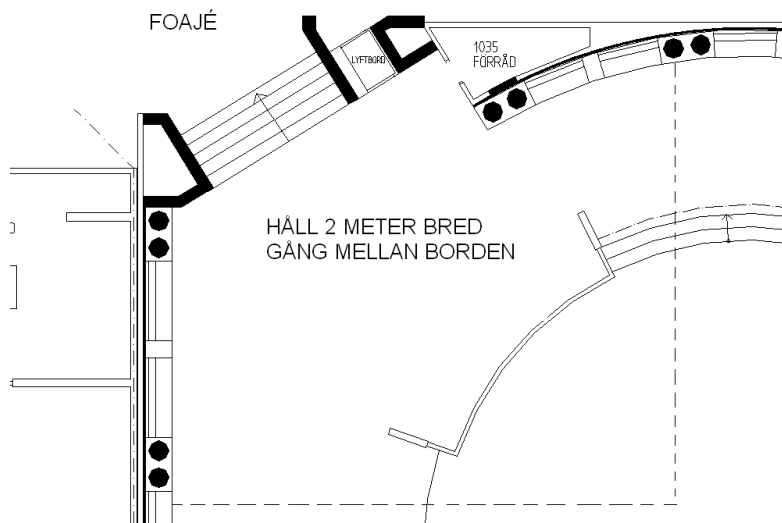
Nackdelen med denna åtgärd är att den endast löser ett möjligt brandscenario. I entrén och foajén är garderoben den plats som innehåller överlägset störst mängd brännbart material och i övrigt finns få möjliga brandkällor. Därför förväntas åtgärden lösa det mest allvarliga, och antagligen det enda riktigt allvarliga, brandscenariot i anslutning till huvudingången.

Bredare mellan borden

Även om ett snabbt sprinklersystem är installerat i lokalen kan bord och stolar leda till en mer kritisk utrymningssituation. Genom att bredda avstånden mellan borden i gångarna till 2 meter runt trappan som leder från Valhall upp till foajén och även hålla helt fritt precis framför trappan, som i figur 23 och 24, minskas utrymningstiden för 550 gäster med ungefär en minut. Då sprinkleraktivering sker med snabbt sprinklersystem efter 150 sekunder så har de flesta utrymt Valhall och efter 230 sekunder, då sikten enligt simuleringar når 10 meter i foajén, har samtliga lämnat detta utrymme. Bredden i gångarna kan i övrigt hållas kvar vid 1,5 meter precis som förut utan att det påverkar utrymningstider.

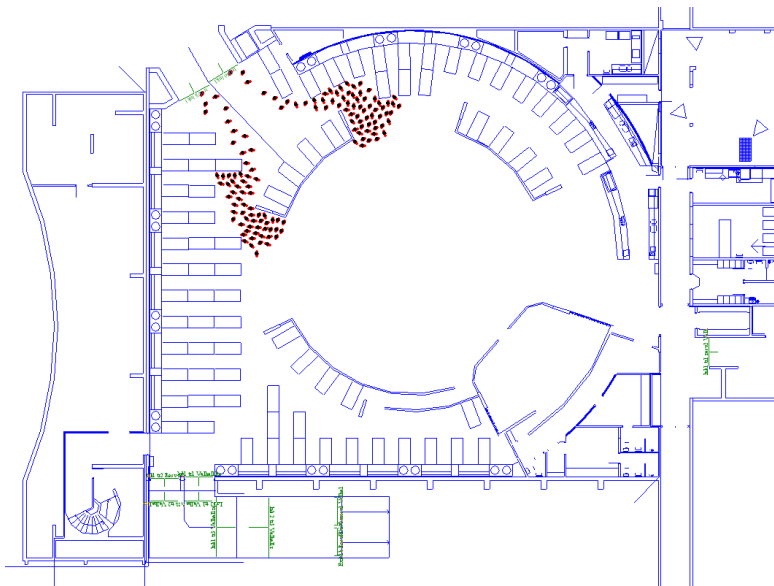


Figur 23 Utrymme kring trappan ner i Valhall som skall hållas fritt.

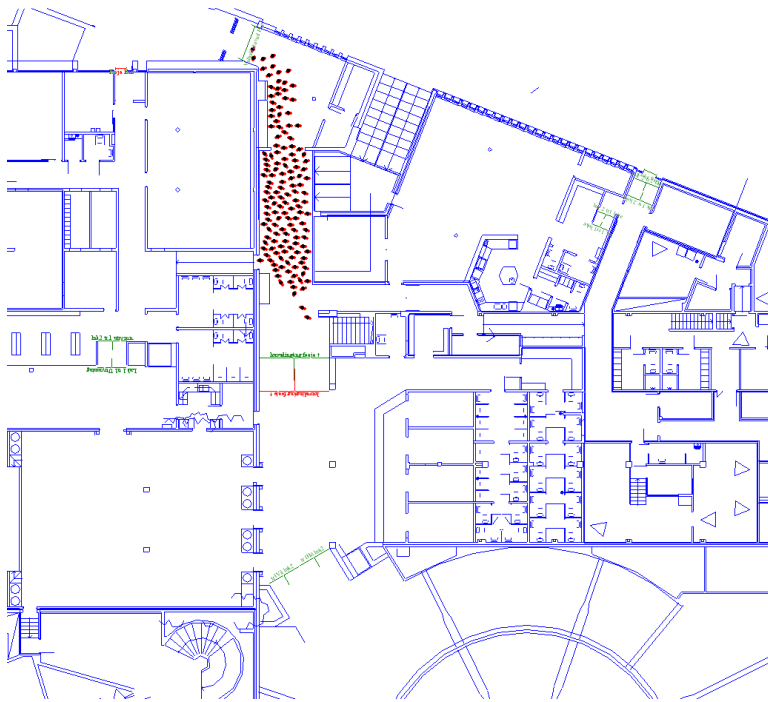


Figur 24 Utrymme kring trappan ner i Valhall där bredden i gångarna inte skall understiga 2 m.

Då denna åtgärd är gjord utryms lokalen snabbare och med 550 sittande gäster i lokalen har efter 150 sekunder utrymmande radat upp sig så som figur 25 visar.



Figur 25 Utrymning av Valhall efter 150 s med 550 sittande gäster. Resultat från Simulex.



Figur 26 Utrymning av Valhall efter 230 s med 550 sittande gäster. Resultat från Simulex.

Efter 230 sekunder har samtliga personer utrymt foajén och befinner sig i entrén, se figur 26. Fullständig utrymning har skett efter ca 300 sekunder vilket är samma tid det tar tills 10 meters sikt understigs i entrén enligt simuleringarna i CFAST. I detta måste vägas in att branden är kontrollerad av sprinklersystemet och att inga andra kritiska förhållanden än dålig sikt uppkommer i entrén. Att sikten blir sämre än 10 meter vid den tidpunkt då de sista lämnar entrén kan kanske accepteras i och med att de då står mycket nära varandra och faktiskt inte behöver 10 meters sikt för att hitta utgången.

Utbildning

Då enkätundersökningen⁵⁸ visade på bristfällig utbildning av personalen och lokalen inte klassas som säker skall utbildning prioriteras.

Brännbart material i entré och utrymningsvägar

Då en brand i entrén har visat sig vara mycket kritisk skall denna hållas fri från allt brännbart material. Åtgärden ligger utanför de valda scenarierna och validerig sker genom resultaten för scenario 1. Dessutom gjordes vid objektsbesöket ett par observationer gällande brännbart material i utrymningsvägar, se bilaga I – Observationer vid besök.

Självstängande dörrar till Freja

När Valhall och Freja används samtidigt och dörrarna står öppna nås kritiska förhållanden i Freja innan utrymning skett vid brand i garderob. Detta skulle hindra brandgasspridning in till Freja och trygga säker utrymning för gäster i denna lokal. Dessutom skulle självstängande dörrar kunna begränsa brandgasspridning till foajén vid brand inne i Freja. Då huvudingången är den största utrymningsvägen ur Valhall är det viktigt att dess funktion i så stor utsträckning som möjligt säkerställs.

⁵⁸ se bilaga J - Enkätundersökning

Brandgasventilation

Naturlig

En brandgasventilation med naturlig drivkraft kan installeras i Valhall för att förlänga tid till kritiska förhållanden. Detta har dock inte föreslagits som någon åtgärd på grund av resonemanget nedan.

Problem som uppstår är att denna lösning antagligen kommer att ha en begränsad effekt vid väl omblandade förhållanden, vilket kan antas inträffa vid låga temperaturer i brandgaslagret och efter att sprinklersystemet har aktiverats. Systemet kan endast väntas ge effekt under de första 260 sekunderna vid brand på scen med det befintliga sprinklersystemet. Då sprinklersystemet är utbytt till ett som aktiverar tidigare så sker detta efter 150 sekunder. Då systemet detekterar branden efter 125⁵⁹ sekunder och sedan tar en stund på sig att öppna upp luckorna så sker sprinkleraktivering ungefär samtidigt som då brandgasventilationen börjar göra verkan. Risken finns då att brandgasventilationen blir verkningslös. Detta har ändå undersökts i CFAST för att fastställa brandgasventilationens effekt.

Brandgasventilationens funktion beror mycket på dess storlek, storleken på inluftsintag i lokalen och brandgasernas temperatur. Som tumregel säges normalt att arean av inluftsintagen ska vara dubbelt så stora som arean av brandgasventilationen. Uppskattningsvis kan det vara rimligt att installera brandgasventilation med en effektiv area på 2 m² i taket av Valhall. Utrymningsvägar med en sammanlagd area på minst 4 m² måste då öppnas automatiskt till det fria då utrymningslarmet aktiverar. Viktigt att notera är att dessa öppningar måste befinna sig under brandgaslagret. Vid simuleringar antas brandgasventilationen från aktivering ta cirka 20 sekunder på sig att öppna upp fullt.

Resultat från simuleringar med naturlig brandgasventilation vid brand på scen i Valhall och befintligt sprinklersystem som aktiverar efter 240 sekunder presenteras i tabell 30.

Varken strålning, temperaturer eller toxicitet når några kritiska nivåer och presenteras därför ej i tabellen.

Tabell 30 Naturlig brandgasventilation. Resultat från CFAST.

Rum	Brandgaslagrets höjd	Sikt i brandgaslagret		Sikt väl omblandade förhållanden		Tid till kritiska förhållanden
		5 m	10 m	5 m	10 m	
Valhall	30	200	150	210	160	200 s
Fojé	90	-	230	-	-	230 s
Entré	130	-		-	-	-

Åtgärden har mycket begränsad effekt. Kritiska siktförhållanden inträffar innan sprinklerna aktiverar, vilket innebär att det är dimensionerande, ej sikt i väl omblandade förhållanden.

En större brandgasventilation skulle kunna ge bättre resultat men eftersom aktivering av systemet sker så sent i förloppet och effekten sedan begränsas när sprinklersystemet aktiveras så kommer antagligen inte denna åtgärd att leda till några dramatiska förbättringar av situationen.

⁵⁹ se bilaga D - Detact

Mekanisk

Mekanisk brandgasventilation skulle kunna installeras i lokalen och fungera även då brandgaserna inte är varma och har dålig stigningskraft. Inluft måste säkras även i detta fall och systemet måste aktiveras på det befintliga detektionssystemet vilket gör att det vid scenbrand aktiveras efter 125 sekunder. Problem med detta system är att om branden uppkommer utanför Valhall så finns det en chans att systemet suger in rök i Valhall och inte gör någon nytta för utrymning. Det är även svårt att installera en brandgasventilation eftersom lokalen är befintlig och befinner sig i en källare vars tak används som ett torg ovanför. Ombyggnaden skulle antagligen bli mycket dyr och innefatta förändringar av byggnaden och omgivningen. Åtgärden anses inte vara realistiskt genomförbar för denna byggnad. Då övriga åtgärder sammantaget skapar en rimlig säkerhetsnivå anses heller inte mekanisk brandgasventilation nödvändig.

12.3 Teatern

Personsäkerheten i teatern är i dagsläget tillräcklig vid brand på scen men utan större marginaler. Åtgärder nedan syftar till att säkra och förbättra det befintliga skyddet. Vid brand i garderob bör brandgasspridning förhindras och tidig detektion säkras. Dessa åtgärder föreslås:

- Brandridå *bör* kopplas till nödström vilket säkrar brandavskiljning vid strömavbrott. Ridån är en viktig del av teaterns brandskydd och funktionen måste säkras även vid strömavbrott.
- Självstängande branddörrar *bör* installeras mellan teatern och foajén.
- Rökdetektorer *bör* installeras i garderoben så att utrymning snabbt kan inledas vid brand i denna del.
- Ridåsprinklern *bör* testas om den skall kunna användas vid brand. Stora bränder skulle kunna påverka ridån och det är då viktigt att ridåns integritet säkras.
- Brandgasventilationen har visat sig vara en viktig del av brandskyddet och tilluft till detta system *bör* säkras. Detta görs lättast genom att dörren från scenen till det fria och utrymningsvägen från salongen till det fria installeras med självöppnare som aktiveras då utrymningslarmet aktiveras. Effekten bör också bli att fler väljer denna utrymningsväg vilket leder till snabbare utrymning.

12.4 Validering av åtgärder teatern**Självstängande dörrar mellan entrén och salongen.**

Vid brand i garderoben så kan ett mycket snabbt förlopp väntas vilket kan härledas ur bilaga A - Val av effektkurvor. För att hindra brandgasspridning till salongen och se till så att utrymning kan ske säkert bör därför EI 15 dörrar med självstängande mekanism installeras mellan dessa utrymnen. Eftersom ventilationen är helt separat för entrén och salongen⁶⁰ så bör dessa dörrar skapa en tillräcklig barriär för brandgaserna. Liknande lösning kan tänkas mellan salongen och foajén om ytterligare säkerhet önskas även om det verkar osannolikt att brandgasspridning denna väg kommer ske.

⁶⁰ se ventilation under kapitel 3 - Befintligt brandskydd

Rökdetektorer i garderoben

Eftersom en brand i garderoben kommer att tillväxa snabbt⁶¹ är tidig detektion viktig. I nuläget finns inga detektorer i garderoben vilket gör att brandgaserna måste spridas genom trappan för att aktivera rökdetektorer i foajén på våningsplan 3. Rökdetektorer bör därför installeras i garderoben.

Självöppnande dörrar i salong och på scen

Brandgasventilationen har visat sig vara en viktig del av brandskyddet och tilluft till systemet bör säkras. Simuleringar där brandgasventilationen och tilluftsytorna var stängda gjordes i kapitel 10 - Känslighetsanalys och förhållandena försämrades betydligt i dessa fall.

Att säkra tilluftsytorna görs lättast genom att dörren från scenen till det fria och utrymningsvägen från salongen till det fria installeras med självöppnare som aktiveras då utrymningslarmet aktiveras. Effekten bör också bli att fler väljer denna utrymningsväg vilket leder till snabbare utrymning. Det kan tänkas att denna funktion stängs av då byggnaden larmas nattetid.

Säkra öppning av brandgasventilationen

Vid besök på objektet upptäcktes brister i mekanismerna för brandgasventilationen. En av luckorna hade svällt och öppnade inte. Detta bör åtgärdas och även om utvärdering gjorts utan denna lucka så kan kanske samma problem uppkomma för någon av de övriga luckorna, vilket skulle förhindra ventilering.

⁶¹ se bilaga G – Garderobsbrand i teatern

KAPITEL 13 - SLUTSATSER

Personsäkerheten i Skövdes kulturhus kan i dagsläget inte garanteras i händelse av brand. Inom rapportens avgränsningar har brister funnits främst i danslokalen Valhall. Åtgärder för att förbättra brandskyddet har föreslagits och om *skall* kraven i dessa förslag följs kan brandskyddet anses vara acceptabelt.

KAPITEL 14 - REFERENSLISTA

Litteratur

Abrahamsson, M., 1997. *Scenariotänkande vid brandsyn i samlingslokaler*, Rapport 5007. Lund: Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik.

Bengtsson, L-G., 1998. *Övertändning, backdraft och brandgasexplosion sett ur räddningstjänstens perspektiv*. Karlstad: Räddningsverket.

Boverkets byggregler (BFS 1993:57) BBR 94, 2002, avsnitt 5:361, Karlskrona: Boverket.

Boverket., 2006b. *Utrymningsdimensionering*. Karlskrona: Boverket.

Brandskyddshandboken. 2005. Rapport 3134. Lund: Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik.

CFAST- Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport. Technical Reference Guide. NIST Special Publication 1026, Fire Research Division, 2005.

Drysdale, D., 1998. *An Introduction to Fire Dynamics* (2nd edition). Chichester: John Wiley & Sons.

Drysdale, D., 2002. *Thermochemistry*, section 1, chapter 5, Handbook of Fire Protection Engineering 3rd edition, Society of Protection and Engineering.

Eurocode 1: Action on structures- Part 1-2: General actions- Actions on structures exposed to fire, Tabell E-4 och Tabell E-5.

Flemming, 2002. *Automatic sprinkler System Calculations*, section 4, chapter 3, Handbook of Fire Protection Engineering 3rd edition, Society of Protection and Engineering.

Fm Approvals. 1983. *Approval Standard for Residential Automatic Sprinklers, Class Number 2030*. FM Approvals LLC.

Frantzich, H., 2001. *Tid för utrymning*. Lund: Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik.

Hultquist, H., 2000. *Simulating visibility in HAZARD I / CFAST*, Rapport 7010, Lund: Lunds tekniska högskola, Brandteknik.

ISO/WD 13390, 1995. International Organization for Standardization.

Karlsson, B., Quintiere, J. G., 2000. *Enclosure Fire Dynamics*. Boca Raton: CRC Press.

Malm, D., Pettersson, A.I., 2008. *Tillförlitlighet för automatiska sprinkleranläggningar*, Rapport 5270. Stockholm: Lunds tekniska högskola, Brandteknik.

Mawhinney, JR., Back, GG., 2002. *Water mist suppression systems*, section 4, chapter 14, Handbook of Fire Protection Engineering 3rd edition, Society of Protection and Engineering.

Mulholland, G., 2002. *Smoke production and properties*, section 2, chapter 13, Handbook of Fire Protection Engineering 3rd edition, Society of Protection and Engineering.

Mulholland, G.W., Croarkin, C., 2000. *Specific Extinction Coefficient of Flame Generated Smoke, Fire and Materials* 24, 227-230 pp.

Nelson, HE., Mowrer, FW., 2002. *Emergency movement*, section 3, chapter 10, Handbook of Fire Protection Engineering 3rd edition, Society of Protection och Engineering.

Nilsson, D. Holmstedt, G., 2008. *Kompendium i Aktiva system – Detektion*. Lund: Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik.

Regler för automatisk vattensprinkler anläggning, RUS 120:4, 1993, Stockholm: Sveriges Försäkringsförbund.

Räddningsverket. 2007. *Räddningstjänst i siffror: Fakta om räddningstjänstens insatser 1996-2006: NCO 2007:4*. Karlstad: Räddningsverket.

Särdqvist, S., 1993. *Initial Fires: RHR, Smoke Production and CO Generation from Single Items and Room Fire Tests*. Lund: Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik.

Tewarson, A., 2002. *Generation of heat and chemical compounds in fires*, section 3, chapter 4, Handbook of Fire Protection Engineering 3rd edition, Society of Protection and Engineering.

Elektroniska källor

Building Research Establishment Ltd., 2002, *Design Fire Database*, <http://projects.bre.co.uk/frsdiv/designfires/>

Räddningsverket, *Anlagd brand faktafördjupning*, publicerad på <http://www.srv.se>. [hämtad 2008-09-22].

Scenrum, <http://www.scenrum.nu>. [hämtad 2008-10-09].

Muntliga källor

Almgren, Roger. Brandingenjör, Räddningstjänsten Skövde, flertal tillfällen hösten 2008.

Andersson, Rickard. Lokalföreståndare Valhall, Skövde, flertal tillfällen hösten 2008.

Frantzich, Håkan. Universitetslektor, Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik, flertal tillfällen hösten 2008.

Nilsson, Daniel. Doktorand, Lund. Föreläsning, Bränder och människors beteende, Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik, 2008-09-30.

Nilsson, Per. Scenmästare på stadsteatern, Skövde, flertal tillfällen hösten 2008.

Nystedt, Fredrik. Föreläsning CFAST, Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik, 2008-09-24.

BILAGA A - VAL AV EFFEKTKURVOR

Scenario 1: Brand i garderob i Valhall

Effektkurvan antas tillväxa enligt förenklingen

$$\dot{Q} = \alpha t^2$$

Där

\dot{Q}	är effekten från branden	[kW]
t	är tiden från antändning	[s]
α	är en tillväxts konstant som beror av materialet	[kW/s ²]

Denna modell beskrivs med sina begränsningar i avsnittet om αt^2 kurvor.

Val av α -värde

Den garderob där brand skall simuleras i Valhall har 250 hängare och är utförd i två våningar mot bakre väggen, enkla stänger på vardera sidan av garderoben och en stående hängare i mitten. Cirka 50 jackor kan förväntas hänga på vardera hängstång. Se foto av garderoben i figur A1.



Figur A 1 Garderob i Valhalls foajé

Försök har gjorts på bränder i kläder med olika uppställningar utav Building Research Establishment UK⁶² och Johansson⁶³.

⁶² Building Research Establishment Ltd., 2002

Försök gjorda utav BRE

Två identiska försök gjordes med 363 jackor/klädesplagg i tre plan och dessa var i anslutning till varandra i sidled så som bilden visar. Rummet var öppet i två riktningar och endast avgränsat med lösa väggar för insamling av brandgaser. Antändning skedde i det understa jackplanet.



Figur A 2 Försöksuppställning vid BREs försök

Försöken ledde till α -värden för effektutvecklingar i brandens tidiga skede upp till 1 MW på:

Test 1 0,308 kW/s²

Test 2 1.094 kW/s²

Dessa värden är beräknade från det att branden börjat tillta och inkubationstiden är inte inräknad. Att α -värdena mäts på detta sätt innebär att de blir konservativa.

⁶³ Johansson, B., 2004.

Försök gjorda utav Johansson, 2004

I försöket användes 105 jackor i två led som stod nära varandra i sidled så som visas nedan i figur A3.



Figur A 3 Försöksuppställning vid Johanssons försök

Resultat

Efter beräkningar gjorda utav Johansson redovisar han denna effektkurva, se diagram A1.

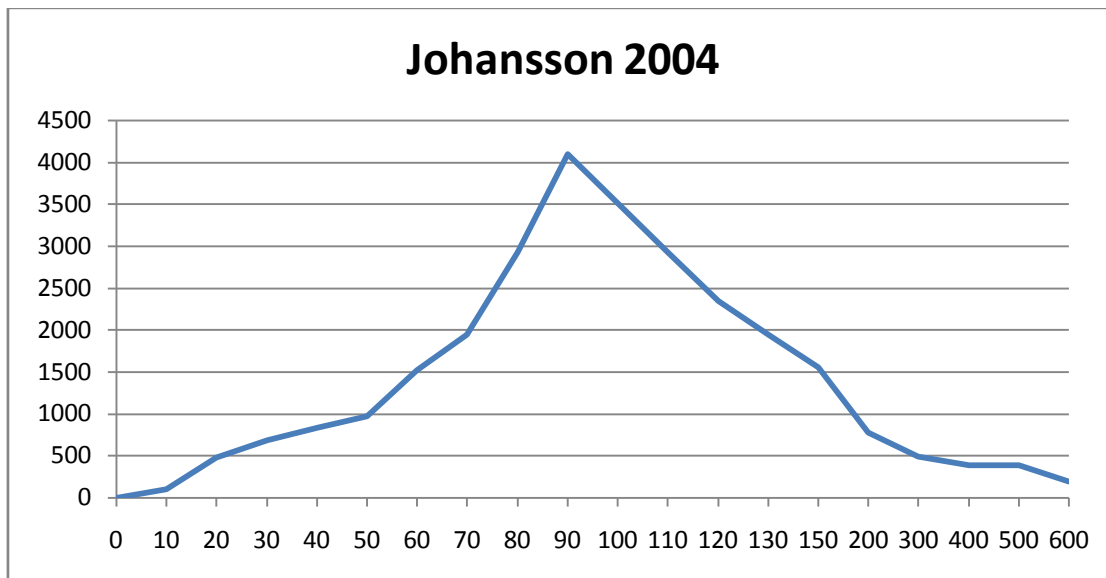


Diagram A1 Effektvveckling från Johanssons försök

Vid mätning i diagram A1 fås ett α -värde på 0.35 kW/s^2 för tiden fram till maxeffekten på 4 MW vilket sker efter ungefär 100 sekunder.

Sammanställning

I diagram A2 redovisas en sammanställning av de olika försöken.

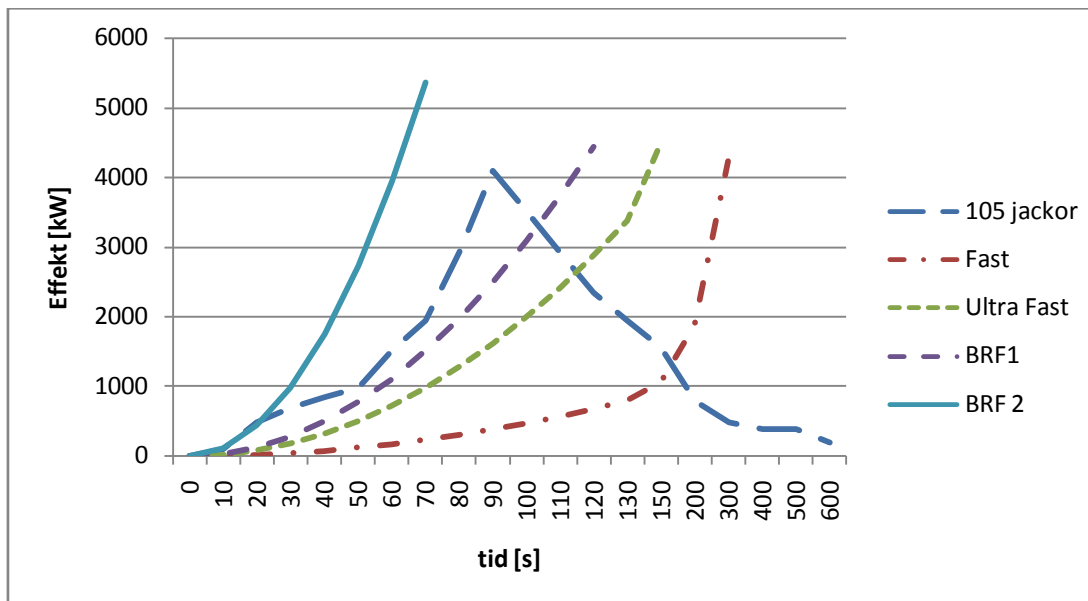


Diagram A 2 Sammanställning av de tre försöken och jämförelse med Ultra Fast kurva

Inget av de försök som redovisas ovan har haft en tillväxt som understiger ultra fast ($\alpha = 0,19 \text{ kW/s}^2$). Viss hänsyn bör dock tas till de olika försöksuppställningarna och hur de påverkat resultaten.

Johanssons försök gjordes i en liten container och mängden återstrålning blir därför stor. Hängarna i försöket är placerade nära varandra vilket underlättar brandspridningen men de är endast i ett plan.

BRE gjorde sina försök i ett betydligt större rum än Johansson och återstrålningen blir inte så stark, speciellt inte eftersom α -värdet är taget från brandens tidiga fas då brandgaslagret ännu inte hunnit tjockna. Försöket gjordes med tre plan av kläder vilket bidrar till en snabb brandspridning.

Garderoben i Valhall har hängare i två plan men är större än containern som användes utav Johansson. Effektutvecklingen bör inte bli lika häftig som de snabbaste förloppen men att den skulle kunna bli i klass med de långsammare effektutvecklingarna anses rimligt.

α -värdet väljs därför till 0.3 kW/s^2 .

Maximal effektutveckling

Maximal effektutveckling för de 250 jackorna i den aktuella garderoben antas nå ett viktat värde ungefär 2,4 gånger så stort som det i Johanssons test med 105 jackor. Detta värde hamnar då på cirka 9 MW. CFAST kommer att räkna på om branden blir ventilationskontrollerad men för att uppskatta den maximala effektutvecklingen vid ventilationskontrollerad brand används följande ekvationer:

$$\dot{m}_a = 0,5 \times A \times \sqrt{H_0} \quad [\text{B1}]$$

$$\dot{m}_{O_2} = \dot{m}_a \times \%_{mass,O_2} \quad [\text{B2}]$$

$$\dot{Q}_{Max} = \dot{m}_{O_2} \times \Delta H_{c,O_2} \quad [\text{B3}]$$

Där:

\dot{m}_a	är massflödet luft	[kg/s]
A	är arean på öppningen	[m ²]
H_o	är höjden på öppningen	[m]
\dot{m}_{O_2}	är massflödet syre	[kg/s]
\dot{Q}_{Max}	är den maximala effektutvecklingen	[kW]
$\Delta H_{c,O_2}$	är förbränningsentalpin för syre	[MJ/kg]
$\%_{mass,O_2}$	är massconcentrationen syre i luften	[-]

Beräkningsgången gör generella antaganden för luftens egenskaper. Detta gör att ekvationen endast är giltig då temperaturen är jämnt fördelad i brandrummet och över 300°C, vilket framförallt är fallet för fullt utvecklade rumsbränder⁶⁴. Luften innehåller 23 massprocent syre och CFAST räknar med att förbränning sker ner till 10 massprocent. Detta anses konservativt då brand i de flesta kolväten vanligtvis släcker vi 13%⁶⁵. Öppningen ut från garderoben till korridoren är 1,2 × 2,0 m² (b×h).

Insättning i ekvation [B1] ger:

$$0,5 \times 2,0 \times 1,2 \times \sqrt{2} = 3,25 \text{ kg/s luftflöde genom öppningen}$$

Insättning i ekvation [B2] ger:

$$3,25 \times (0,23 - 0,10) = 0,22 \text{ kg/s syreflöde genom öppningen}$$

Insättning i ekvation [B3] ger:

$$0,22 \times 13,2 = 2,9 \text{ MW i maxeffekt då branden blivit ventilationskontrollerad.}$$

Resultaten innebär att effektutvecklingen vid brand i garderoben bör stabilisera sig på ungefär 3 MW efter det att allt ursprungligt syre har förbrukats och branden blivit ventilationskontrollerad vid öppningen till garderoben. Denna effekt är inte maxeffekten och CFAST klarar av att beräkna effektutvecklingen för en ventilationskontrollerad brand. Beräkningen ovan har främst gjorts för att kunna se rimligheten i CFASTs beräknade effektutveckling. Enligt CFAST nås en maxeffekt på cirka 5 MW som sedan minskar något och stabiliseras vid 4 MW då branden blir ventilationskontrollerad.

För att ta reda på hur sprinklersystemet kontrollerar branden så används programmet Detact QS/T². Av programmets beräkningar framgår att sprinklersystemet aktiverar efter ca 120 s, det antas här att branden kontrolleras utav sprinklersystemet utan att bekämpas. Detta leder till en effektutveckling som har maxvärde på 4600 kW. Resultatet antas med viss skepsis eftersom temperauren i gardroben når 500°C innan sprinklersystemet utlöser. För mer information om beräkningsgången för sprinkleraktivering se bilaga D – Detact.

Effektutvecklingskurvan som presenteras i diagram A3 är den som matades in i CFAST.

⁶⁴ Karlsson, B., Quintiere, J. G., 2000.

⁶⁵ Mawhinney, JR., Back, GG., 2002.

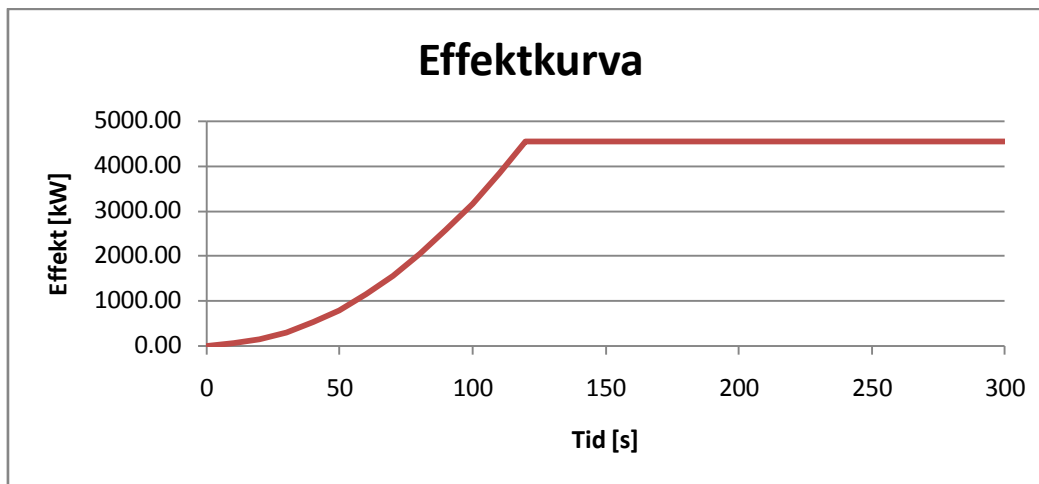


Diagram A 3 Vald effektkurva för simulering av scenario 1

Total frigiven energi

Massan för en Jacka i försöken utförda utav Johansson viktas till ca 0,75 kg. Utav BRE viktas snittmassan per jacka till ca 0,4 kg. Ett överslag gör att varje jacka antas väga ca 0,6 kg. Jackor antas bestå till största delen av nylon, polyester och bomull.

	Polyester	Nylon	Bomull ⁶⁶
ΔH_c ⁶⁷	23,8 kJ/g	29,58 kJ/g	20,5 kJ/g

Johansson har mätt värden för ΔH_c i kalorimeter och redovisar ett värde på 21 kJ/g. Denna förbränningsentalpi är den effektiva och hänsyn till att förbränning inte sker idealt har därför inte tagits. Att jämföra värdet värdena ovan kan alltså bli missvisande eftersom Johanssons försök gjorts i ett litet utrymme.

Det har ansetts rimligt att använda förbränningsentalpin för Polyester som ligger mellan Nylon och Bomull. Värdet anses rimligt då de tre värdena möts ungefär vid värdet för polyester om hänsyn tas till att mängden bomull rimligen bör överskrida mängden polyester i jackornas sammansättning. Värdena är tagna för välventilerade bränder och variationer kommer antagligen att uppstå vid brand med sämre syretillförsel. Den valda förbränningsentalpin anses därför vara konservativt vald.

Frigiven energi för 250 jackor

För att få en uppfattning av om hur länge bränslet kommer räcka så har beräkningar gjorts. Vid beräkningarna har följande ekvationer används:

$$Q_{tot} = m_{tot} \times X \times \Delta H_c \quad [B4]$$

$$\int \alpha t^2 = \frac{\alpha t^3}{3} = Q_{tillväxt} \quad [B5]$$

$$Q_{max} \times t + Q_{tillväxt} = Q_{tot} \quad [B6]$$

Förbränningseffektiviteten har antagits vara 0,7. En jackas massa har antagits genom resonemanget ovan under total frigiven energi och förbränningsvärmets har tagits för polyester enligt samma

⁶⁶ Här antaget ha samma egenskaper som ylle

⁶⁷ värden tagna från Drysdale, D., 2002.

resonemang. Maxeffekten för branden i garderoben är enligt CFAST cirka 5 MW. Denna effekt avtar något med tiden då branden närmar sig ett ventilationskontrollerat stadium. Då branden blir ventilationskontrollerad bör förbränningseffektiviteten minska men eftersom effektutvecklingen också minskar så antas en maxeffekt på 5 MW ge ett rimligt resultat.

Insättning i ekvation [B4] ger:

$$0,6 \text{ kg} \times 250 \times 0,7 \times 23,8 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 2500 \text{ MJ}$$

Avgiven energi i en αt^2 effektutveckling med $\alpha = 0,3 \text{ kW/s}^2$ och en maximal effektutveckling på 5 MW blir enligt ekvation [B5]:

$$\frac{0,3 \times 130^3}{3} = 220 \text{ MW}$$

För att sedan se hur länge branden kan fortsätta räknas enligt ekvation [B6]

$$5 \text{ MW} \times t + 220 \text{ MW} = 2500 \text{ MJ} \Rightarrow t = 456 \text{ s}$$

$$t_{tot,250 \text{ jackor}} = 456 + 130 = 590 \text{ s} = 9 \text{ min } 50 \text{ s}$$

Detta är räknat utan avsvlningsfas vilken brukar antas börja då cirka 80 % av bränslet är förbränt.

Total tid för att förbränna 250 jackor blir alltså cirka 10 min. Observera att detta gjorts utan hänsyn till avsvlningsfasen som brukar inledas då 80 % av bränslet är förbränt. Tid till dess avsvlning inleds är enligt samma beräkninggång som ovan 486 s eller efter cirka 8 minuter.

Scenario 2: Brand på scen i Valhall

Vid brand på scen i Valhall är det till störst del trämaterial som brinner. Brandbelastningen består i huvudsak av förstärkare och högtalare, vilka i regel är byggda som lådor av spånskivor med elektronik i. Elektroniken i lådan utgör en sådan liten del av det brännbara materialet att det försummas. Ett resonemang kring mängden brännbart material på scenen förs sist i detta kapitel. Det brännbara materialets egenskaper likställs med egenskaperna hos spånskivor.

Abrahamsson redovisar ett α -värde på *medium/fast* för träinredning. I Enclosure Fire Dynamics finns ett α -värde på *fast* för en garderob byggd av spånskivor och i Initial Fires finns ett test gjort med 1,6 mm tjocka spånskivor som väggbeklädnad där α -värdet blir 0,051 kW/s².

Förutom trämaterialiet på scenen antas också de ridåer som hänger på scenen fatta eld. Abrahamsson ger ett α -värde på *fast/ultrafast* för tyginredning och ridåer. En sammanställning av tillväxthastigheterna presenteras i diagram A4.

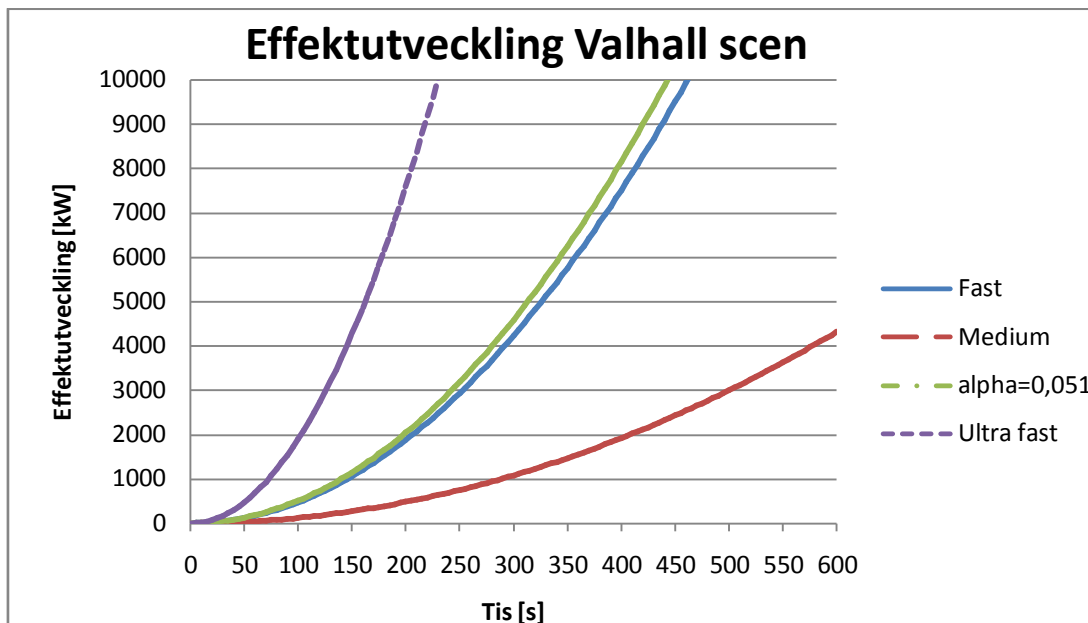


Diagram A 4 Sammanställning av tillväxthastigheter

Ett viktat värde på tillväxthastigheten, med hänsyn till att trämaterialiet utgör en större mängd än tygmaterialet, blir 0,047 kW/s².

Maximal effektutveckling

En uppskattning av om branden kommer att bli ventilationskontrollerad inom 10 minuter eller ej kan göras med hjälp av följande beräkningsgång för massflöde luft in i lokalen:

$$\dot{m}_a = 0,5 \times A \times \sqrt{H_0} \quad [B1]$$

$$\dot{m}_{O_2} = \dot{m}_a \times \%_{mass,O_2} \quad [B2]$$

$$\dot{Q}_{Max} = \dot{m}_{O_2} \times \Delta H_{c,O_2} \quad [B3]$$

Där:

\dot{m}_a	är massflödet luft	[kg/s]
A	är arean på öppningen	[m ²]
H_O	är höjden på öppningen	[m]
\dot{m}_{O_2}	är massflödet syre	[kg/s]
\dot{Q}_{Max}	är den maximala effektutvecklingen	[kW]
$\Delta H_{c,O_2}$	är förbränningsentalpin för syre	[MJ/kg]
$\%_{mass,O_2}$	är massconcentrationen syre i luften	[-]

Beräkningsgången gör generella antaganden för luftens egenskaper. Detta gör att ekvationen endast är giltig då temperaturen är jämnt fördelad i brandrummet och över 300°C,⁶⁸. Temperaturen antas inte uppgå till 300°C men då massflödet ökar med roten ur densiteten på brandgaserna är antagandet endast svagt konservativt⁶⁹. Luften innehåller 23 massprocent syre och CFAST räknar med att förbränning sker ner till 10 massprocent. Detta anses konservativt då brand i de flesta kolväten vanligtvis släcker vi 13%⁷⁰. Öppningarna från Valhall till det fria är $3,8 \times 2,0 \text{ m}^2 + 5,7 \times 1,45$ (b×h).

Insättning i ekvation [B1] ger:

$$0,5 \times (7,6\sqrt{2} + 8,3\sqrt{1,45}) = 10,4 \frac{kg}{s} \text{ luftflöde in i lokalen}$$

Insättning i ekvation [B2] ger:

$$10,4 \times (0,23 - 0,10) = 1,35 \text{ kg/s syreflöde in i lokalen}$$

Insättning i ekvation [B3] ger:

$$1,35 \times 13,2 = 17,8 \text{ MW i maxeffekt då branden blivit ventilationskontrollerad.}$$

Detta värde är dock inte av något större intresse då beräkningar i Detact visar att sprinklersystemet utlöser redan då branden nått 3,2 MW. Effektkurvan blir enligt diagram A5.

⁶⁸ Karlsson, B., Quintiere, J. G., 2000.

⁶⁹ Ibid

⁷⁰ Mawhinney, JR., Back, GG., 2002.

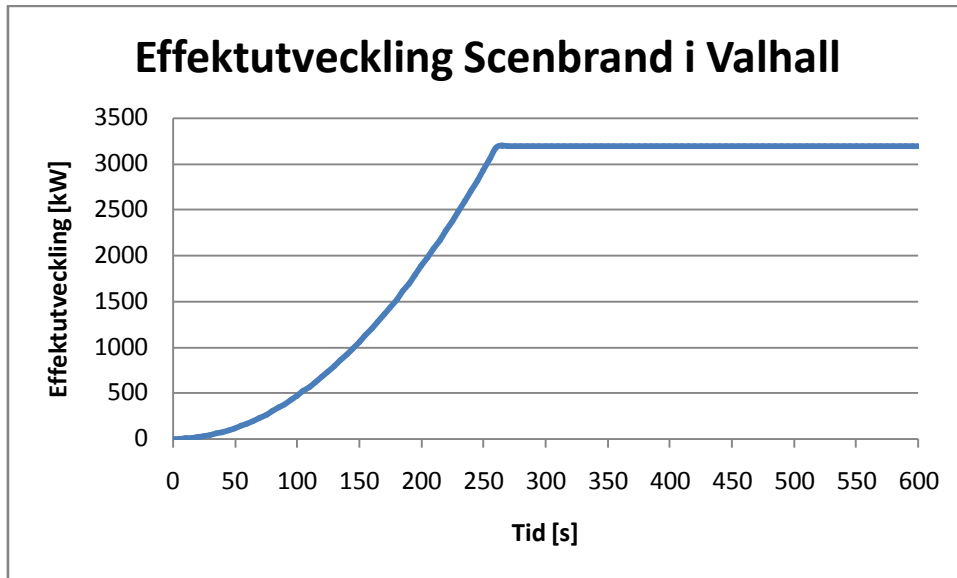


Diagram A 5 Vald effektkurva för simulering av scenario 2

För att kontrollera att det finns nog med material på scenen för att branden skall kunna fortgå under 10 minuter görs beräkning enligt följande.

$$Q_{tot} = m\Delta H_c\chi \quad [B7]$$

där Q_{tot} är energi

[kJ]

m är massa

[g]

ΔH_c är förbränningsentalpi

[kJ/g]

χ är förbränningseffektiviteten, antas här till 0,7

[-]

Q är även arean under effektutvecklingskurvan ($\dot{Q} * t$). Arean under tillväxtfasen av effektutvecklingskurvan beräknas genom integrering av $\dot{Q} = \alpha t^2$ över intervallet $t=0$ och $t=260$ s. Denna area blir 278,3 MJ. Den totala arean under effektutvecklingskurvan blir då

$$Q_{tot} = Q_{tillväxtfas} + \dot{Q}_{max}t$$

där $Q_{tillväxtfas}$ är 278,3 MJ och \dot{Q}_{max} är 3,2 MW. Genom insättning in ekvation [B7] fås

$$Q_{tillväxtfas} + \dot{Q}_{max}t = m\Delta H_c\chi$$

Massan rent trä på scenen uppskattas till 450 kg (se resonemang nedan) och ΔH_c för trä är 19,5 kJ/g. Tiden går då att lösa ut till 1833 s, vilket blir ungefär 30 minuter. Det finns alltså nog med material för branden att ligga på en konstant effektutveckling under minst 10 min.

Vad gäller massan av det brännbara materialet på scen så har en uppskattning gjorts av vad ett mindre band har på scenen under en spelning⁷¹.

- 1 trumset i trä, ca 50 kg
- 2 gitarrer med tillhörande förstärkare, ca 200 kg
- 1 bas med tillhörande förstärkare, ca 100 kg
- 1 klaviatur med tillhörande förstärkare, ca 100 kg
- 5 st monitorhögtalare, ca 75 kg
- lösa podium och övrigt, ca 100 kg

Total vikt 625 kg. Uppskattningsvis bör 25 % av vikten räknas bort, då järnet i högtalare och förstärkare väger mycket. Massa brännbart material i trä blir då ca 450 kg.

⁷¹ Bexius Lars, musiker.

Scenario 3: Brand på scen i teatern

Brandbelastningen i form av dekor och rekvisita varierar stort med olika teatersällskap. Uppskattning av brandbelastningen och effektutveckling har gjorts per kvadratmeter. Vid stora uppsättningar kan det finnas stora mängder brännbart material vilket medför att under en längre tidsaspekt kommer branden med största sannolikhet att bli ventilationskontrollerad.

$$\dot{m}_a = 0,5 \times A \times \sqrt{H_O} \quad [B1]$$

$$\dot{m}_{O_2} = \dot{m}_a \times \%_{mass,O_2} \quad [B2]$$

$$\dot{Q}_{Max} = \dot{m}_{O_2} \times \Delta H_{c,O_2} \quad [B3]$$

Där:

\dot{m}_a	är massflödet luft	[kg/s]
A	är arean på öppningen	[m ²]
H_O	är höjden på öppningen	[m]
\dot{m}_{O_2}	är massflödet syre	[kg/s]
\dot{Q}_{Max}	är den maximala effektutvecklingen	[kW]
$\Delta H_{c,O_2}$	är förbränningsentalpin för syre	[MJ/kg]
$\%_{mass,O_2}$	är masskoncentrationen syre i luften	[-]

Beräkningsgången gör generella antaganden för luftens egenskaper. Detta gör att ekvationen endast är giltig då temperaturen är jämnt fördelad i brandrummet och över 300°C⁷². Temperaturen antas inte uppgå till 300°C men då massflödet ökar med roten ur densiteten på brandgaserna är antagandet endast svagt konservativt⁷³. Luften innehåller 23 massprocent syre och CFAST räknar med att förbränning sker ner till 10 massprocent. Detta anses konservativt då brand i de flesta kolväten vanligtvis släcker vi 13%⁷⁴. Öppningarna från scenen och teatern till det fria är dörren från scenen till fria och dörren från salongen till det fria. Insättning i ekvation [B1] ger:

$$0,5 \times (5\sqrt{2,1} + 3,8\sqrt{2,0}) = 6,3 \text{ kg/s luftflöde in i lokalen}$$

Insättning i ekvation [B2] ger:

$$6,3 \times (0,23 - 0,10) = 0,82 \text{ kg/s syreflöde in i lokalen}$$

Insättning i ekvation [B3] ger:

$$0,82 \times 13,2 = 10,8 \text{ MW i maxeffekt då branden blivit ventilationskontrollerad.}$$

Den maximala effekt som uppstår i rummet då brandgasventilationen är stängd är 10,8 MW. Dock finns det mycket mer syre i lokalen på grund av den stora volym luft som finns i teatern. Dessutom kan större massflöden förväntas om brandgasventilationen är öppen.

Brandbelastningen på scenen har valts till 350MJ/m². Värdet baseras på ett medelvärde av brandbelastningen i en teater(biograf), 365MJ/m² och ett viktat värde på brandbelastningen mellan

⁷² Karlsson, B., Quintiere, J. G., 2000.

⁷³ Ibid

⁷⁴ Mawhinney, JR., Back, GG., 2002.

en bostad och ett kontor, 330 MJ/m^2 .⁷⁵ Då scenens area är känd kan man utifrån detta värde bedöma om det finns tillräckligt med bränsle för att branden ska kunna fortgå under 10 minuter.

Scenens area är 275 m^2

Total brandbelastning:

$$275 \text{ m}^2 \times \frac{350 \text{ MJ}}{\text{m}^2} = 96250 \text{ MJ}$$

Om effektutvecklingen får stiga obehindrat är tiden, t , tills bränslet är slut:

$$t = \sqrt{\frac{96250000 \times 3}{0,047}} = 1830 \text{ s} = 30 \text{ min } 30 \text{ s}$$

Denna beräkning visar att bränslet räcker ca 30 min vid obegränsad effektutveckling. Då effektutvecklingen antas avta vid 11MW, enligt resonemang nedan. Antas bränslet inte ta slut inom den intressanta tiden.

Även maximal effektutvecklingen per kvadratmeter, 375 kW/m^2 har viktats mellan en teater, 500 kW/m^2 , och en bostad/kontor, 250 kW/m^2 .⁷⁶

Bakgrunden till dessa viktade värden är variationen i mängd material på scen vid olika uppsättningar. Värdena på brandbelastningen och effektutvecklingen är inte helt representativa för materialet på scenen då dessa värden även inkluderar salongen. Därför har värdet viktats mot bostad/kontor, vilket kan anses innehålla liknande material och möblemang som på en scen.

För att beräkna brandbelastning och maximal effektutveckling multipliceras de ovan nämnda värdena med den yta, 30 m^2 , som innehåller dekor och kan tänkas brinna samtidigt under det första skedet av brandförloppet. Ytan som antagits har visat sig vara en okänslig parameter då den utretts i känslighetsanalysen. Detta beror av att branden fortfarande förväntas tillväxa då fullständig utrymning har skett, vid denna tidpunkt brinner endast $8,5 \text{ m}^2$ av scenens area.

Total brandbelastning blir $350 \text{ MJ/m}^2 * 30 \text{ m}^2 = 12000 \text{ MJ}$

Total effektutveckling blir $375 \text{ kW/m}^2 * 30 \text{ m}^2 = 11,25 \text{ MW}$

Enligt Abrahamsson⁷⁷ brinner scendekor med en tillväxthastighet på *ultrafast* medans Eurocode anger *medium* för bostad/kontor och *fast* för teater/biograf. Den största andelen av material på scen brinner med en fastkurva, se tabell A1. Tillväxthastigheten antas därför följa en α^2 -kurva med alfavärdet $0,047 \text{ kW/s}^2$ (vilket motsvarar en fastkurva). Med hjälp av värden på olika tillväxthastigheter för bränder i lösa möbler som skulle kunna förekomma på en teaterscen stärks resonemanget. Värdena presenteras i tabell A1.

⁷⁵ Eurocode 1

⁷⁶ Ibid

⁷⁷ Abrahamsson, M., 1997.

Tabell A 1 Effekttutvecklingar från litteraturen

Material	Tillväxthastighet	Alfa, kW/m ²	Källa
Sängar	Medium	0,017	Särdqvist, S.,1993, Y0/10
Stol	Medium/Fast	0,03	Särdqvist, S.,1993, Y5.5/10
Plywood	Fast	0,043	Särdqvist, S.,1993, 03/20
Postsäck	Fast	0,047	Karlsson, B., Quintiere, J. G., 2000
Tyginredning	Fast	0,047	Abrahamsson, M., 1997
Träpallar	UltraFast	0,16	Karlsson, B., Quintiere, J. G., 2000

Utrymning förväntas ske innan åtta minuter vilket för en fastkurva motsvarar en brand på 10,8 MW. Detta stämmer bra överens med beräkningen på totaleffekten per kvadratmeter. Därför har 11 MW valts som maxeffekt och effekttutvecklingen efter åtta minuter antas vara konstant.

Effekttutvecklingskurvan presenteras i diagram A6.

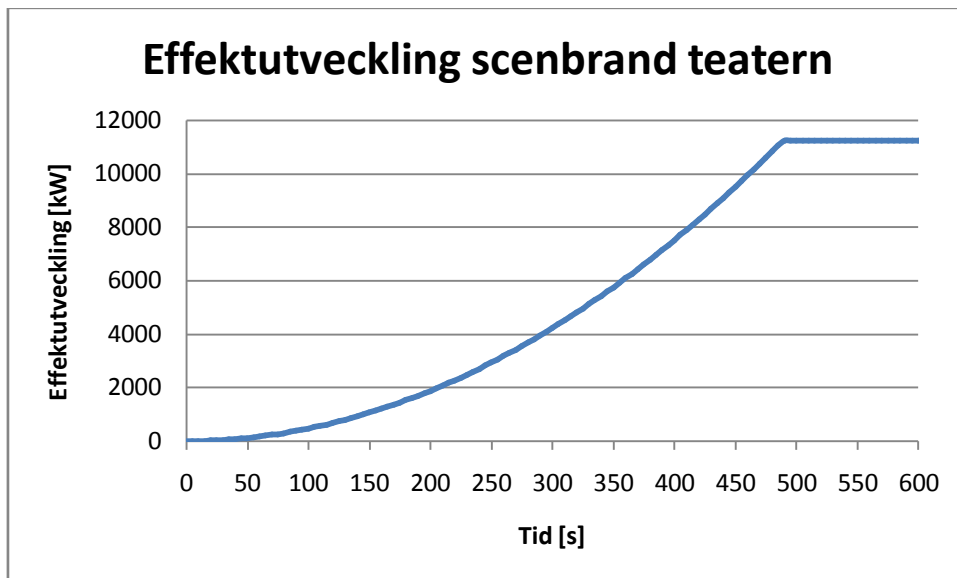


Diagram A 6 Vald effektkurva för simulering av scenario 3

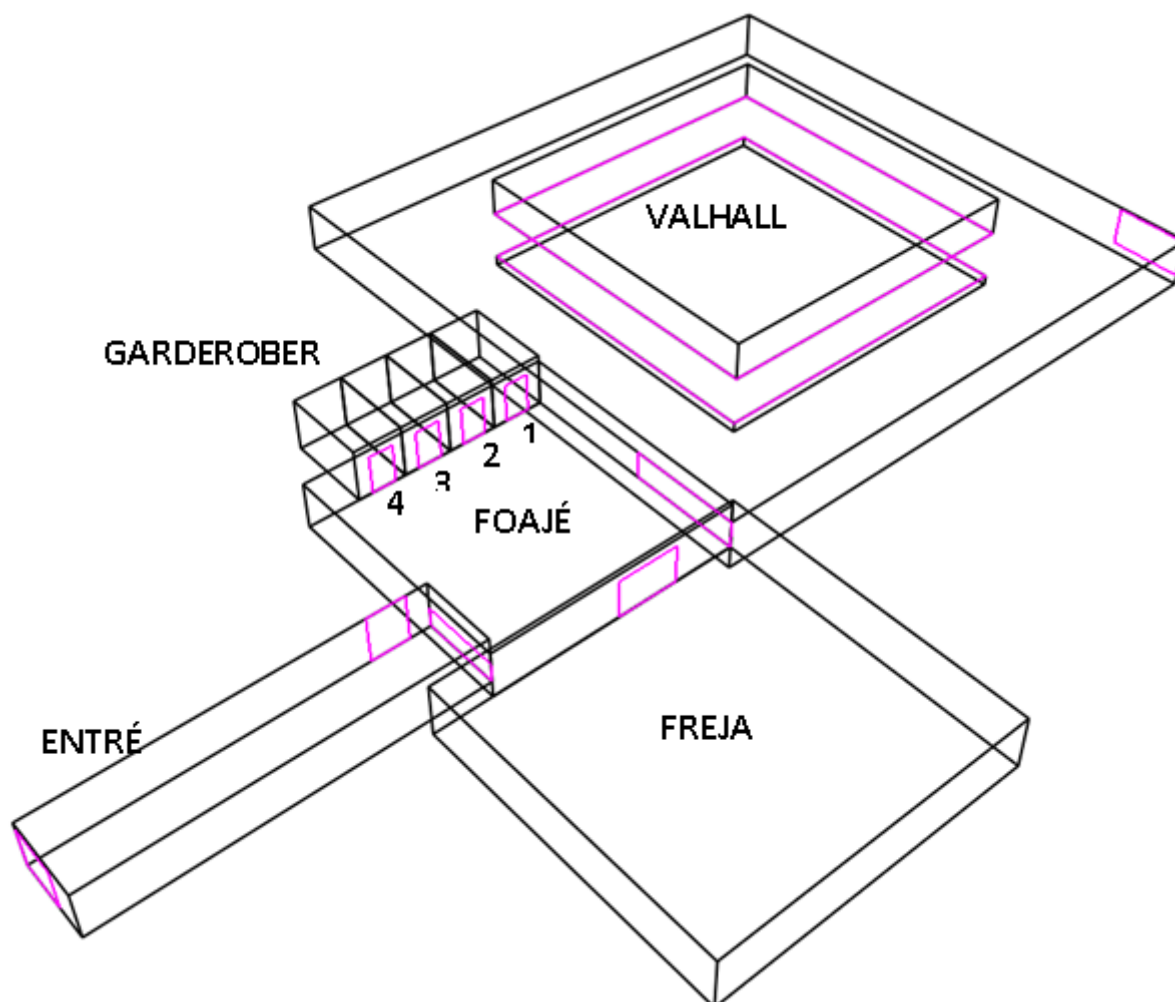
BILAGA B - CFAST

Nedan presenteras indata till CFAST för både teatern och Valhall.

Valhall

Valhall har inte ett platt tak och därför har antaganden behövts göras för att anpassa detta till programmets räta geometrier. Höjden i övre Valhall är därför inte den samma som i verkligheten, höjden har anpassats och ansatts till ett rättvisande värde för takets medelhöjd. Antagandet bör inte leda till några större skillnader i resultaten eftersom volymen hålls konstant och det framförallt är rökfyllnad som är av intresse. Att höjden hållits rättvisande kommer göra att plymmodellen i programmet ger rimliga massflöden.

Modellen tar inte hänsyn till den tid det tar att transportera brandgaser utmed taket i ett rum och därför bör antaganden som ändrar ett rums bredd och längd inte påverka resultaten med avseende på rökfyllnad. Nedan i figur B1 visas vald geometri i CFAST.



Figur B1 Ritning över Valhall i CFAST

Vid bestämning av tid till kritisk brandgashöjd har ett värde använts som tar hänsyn till att den största utrymningsvägen direkt ur Valhall ligger något förhöjd jämfört med golvet i Valhall (syns längst ut till höger i figur B1).

I tabell B1 nedan resovisas längder och höjder för de olika zonerna som använts vid simuleringar i Valhall.

Tabell B 1 Utformning av Valhall för simulering i CFAST

	Bredd [m]	Längd [m]	Höjd [m]
Valhall undre	17,3	17,3	0,51
Valhall mitten	30,4	30,4	2,6
Valhall övre	17,3	17,3	2,0
Foajé	12,3	12,3	2,65
Garderob 1	2,6	4,4	2,7
Garderob 2,3 & 4	2,4	4,4	2,7
Entré	17	3,6	2,35
Freja	15,1	15,1	2,65

Alla tak har valts till acoustic tiles i alla rum förutom i mitten av Valhall där det har valts till plate glass för att representera den glasanternin som finns i taket. Väggar har uteslutande valts till medium concrete. Det finns många olika material att välja på i programmet men de som valts har ansetts stämma bäst överens med verkligheten.

Öppningarna mellan Freja och Foajén är sammanslagna till en öppning med de sammanlagda öppningarnas bredd. Mellan Valhall och foajén är den valda öppningen egentligen en trappa med ståhöjd men denna har förenklats till ett vinkelrätt snitt som motsvarar öppningen ur ett horisontellt perspektiv. I övrigt har öppningarna hållits storleksmässigt korrekta.

Den största utrymningsvägen i Valhall har valts som en öppning direkt till det fria. Detta trots att den inte leder direkt till det fria utan till ett trapphus i två våningar som mynnar i det fria. Den andra utrymningsvägen från Valhall går genom en egen brandcell och har därför satts som stängd. Delvis får den öppna utrymningsvägen väga in den stängda när det gäller rimlig tilluft. Dessa dörrar kommer givetvis inte att vara öppna vid alla tillfällen men ett antagande har här gjorts som bygger på att de kommer att öppnas då utrymning sker genom dem.

Öppningen som leder från entrén upp till huvudentrén i Kulturhuset har valts att vara öppen till det fria. Detta har gjorts eftersom det finns tillgång till stor volym i detta utrymme som antagligen inte kommer att rökfyllas inom tiden för utrymning.

Indata brand i garderoben

Materialet antas vara polyester vilket är konservativt eftersom polyester har större rökpotential än både bomull och nylon.

Använda indata⁷⁸;

$\Delta H_{c,polyester}$	23,8	[kJ/g]
H/C	0,1175	[g/g]
C/CO ₂	0,08	[g/g]
CO/CO ₂	0,0467	[g/g]

⁷⁸ Hultquist, H., 2000 och Tewarson, A., 2002 och Drysdale, D., 2002.

Indata brand på scenen

På scenen antas materialen nästan uteslutande bestå utav plywood. Här görs antagandet att plywood och trä, (pine), brinner med samma egenskaper.

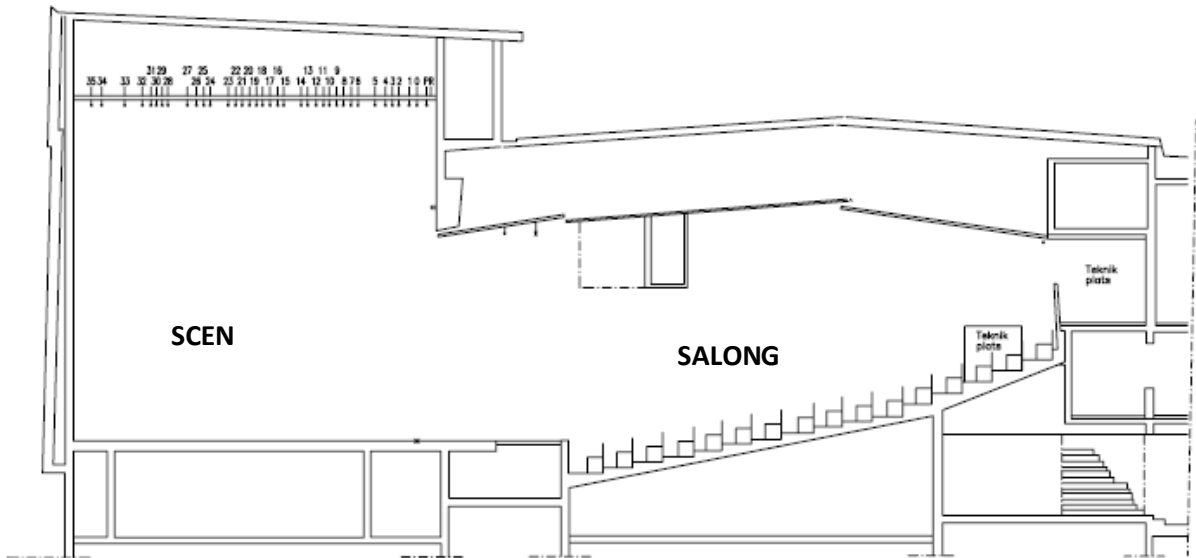
Använd indata⁷⁹;

$\Delta H_{c,trä}$	19,5	[kJ/g]
H/C	0,14	[g/g]
C/CO ₂	0,012	[g/g]
CO/CO ₂	0,00376	[g/g]

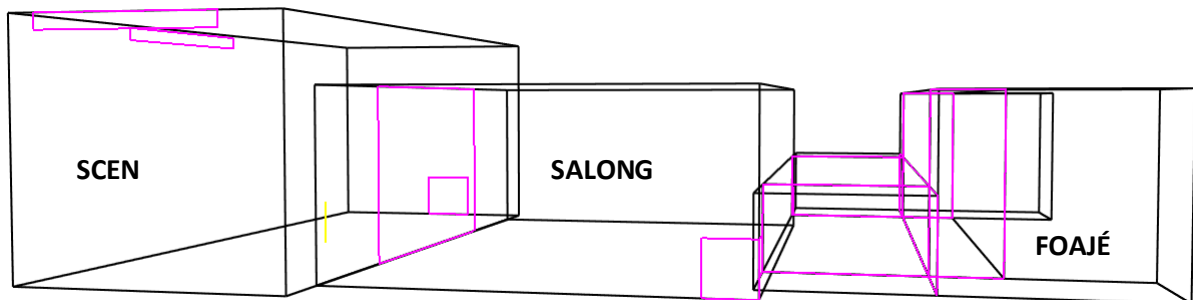
⁷⁹ Hultquist, H., 2000 och Tewarson, A., 2002.

Teatern

Scenens storlek i verkligheten stämmer väl överens med den som använts i CFAST, men i salongen har det däremot gjorts några förenklingar. I verkligheten sluttar såväl taket som golvet men i CFAST har lokalen approximerats till en låda med samma takhöjd som längst fram i salongen. Det är endast längst bak i salongen som detta antagande inte stämmer särskilt bra, eftersom takhöjden är betydligt lägre där. Vid bestämning av tid till kritiska förhållanden har detta därför tagits i beaktande. I övrigt förväntas inte approximationen påverka rökfyllnadsresultat då det i huvudsak är vid golvet det lagts till volym. Salongens bredd och längd stämmer väl överens med verkligheten. Jämför figur B2 och B3.



Figur B2 Sektionsritning över scen och salong (ej foajén)⁸⁰



Figur B3 Modell av teatern i CFAST

⁸⁰ Ritning tagen från webbsida scenrum.nu

I tabell B2 redovisas rummens geometrier och storleken på brandgasventilationen i teatern så som de utformats i CFAST.

Tabell B2 Utformning av teatern för simulering i CFAST.

	Bredd [m]	Längd [m]	Höjd [m]
Scen	10,38	27,7	9,6
Salong	15,6	23,2	7,1
Foajé 1a	5,5	3,85	3
Foajé 2 a	5,5	20	3
Foajé 3 a	5,5	3,85	3
Foajé 1b	7,1	3,85	6,2
Foajé 2 b	2,4	20	6,2
Foajé 3 b	7,1	3,85	6,2
Brandgasvent 1	-	7	0,6
Brandgasvent 2	-	8	0,5

Foajén till teatern har delats upp i sex zoner för att få med den varierande takhöjden.

Vindfånget har tagits bort, dels för att det ligger så långt bort från branden att det inte förväntas påverka brandgasspridningen, och dels för att det inte heller är med i simuleringarna som görs i Simulex. Detta för att flaskhalsen inte är i vindfånget, dörrbredden in till vindfånget är betydligt mindre än den från vindfånget ut till det fria.

Den övre våningen i foajén har tagits bort. Detta för att ingen av teatergästerna förväntas befinna sig där i det specifika scenariot. Antagandet gör dessutom modellen konservativ, då volymen av entrén blir mindre än i verkligheten. Brandgasluckorna på scenen har förenklats till två avlånga öppningar på samma höjd som de verkliga, och med samma totalarea.

Indata

På scenen antas en blandning av trä och plast att brinna. Fördelningen uppskattas till 80 % trä och 20 % plast, och för samtliga indata används viktade värden mellan trä och plast. Uppskattningen baseras på antagande om vad som finns på en teaterscen under ett vanligt framträdande.

Använda indata⁸¹;

$\Delta H_{c, trä och plast}$	20,4	[kJ/g]
H/C	0,135	[g/g]
C/CO ₂	0,0256	[g/g]
CO/CO ₂	0,0123	[g/g]

⁸¹ Hultquist, H., 2000 och Tewarson, A., 2002.

Validering av modellen

Här valideras rumsgeometrierna som används i CFAST utifrån de kriterier som satts upp för tvåzonsmodellen i teoriavsnittet.

Kriterier

Dessa kriterier diskuteras mer ingående i kapitel 5 – Teori.

Tabell B 3 Begränsningar för rumsgeometri i CFAST

Acceptabelt	Gränsvärde	Ej acceptabelt
$L/W \leq 3$	$3 < L/W \leq 5$	$L/W > 5$
$L/H \leq 3-4$	$3-4 < L/H \leq 6$	$L/H > 6$
$Q \geq 5AvH$		

L = rumslängd	[m]
W = rumsbredd	[m]
H = rumshöjd	[m]
Q = effektutveckling	[kW]

Valhall

Tabell B 4 Giltighetsanalys av teaterns zoner map. tvåzonsmodellen.

	L/W	L/H	$Q \geq 5AvH$	Giltighet endast med avseende på geometrin (ej Q) ⁸²
Valhall undre	1	34	200 kW	Ej acceptabelt
Valhall mitten	1	12	7500 kW	Ej acceptabelt
Valhall övre	1	8,7	2000 kW	Ej acceptabelt
Foajé	1	4,5	1300 kW	Gränsvärde
Garderob 1	1,7	1,6	100 kW	Acceptabelt
Garderob 2,3 & 4	1,8	1,6	100 kW	Acceptabelt
Entré	4,7	7,2	500 kW	Ej acceptabelt
Freja	1	5,7	2000 kW	Gränsvärde

Zonerna, så som de är utformade i CFAST, är alltså i huvudsak egentligen inte giltiga för en tvåzonsmodell. Det finns vissa frågetecken när det gäller Valhall som är sammansatt av fler än en zon och hur detta kan påverka dessa kriterier. I scenarierna har bränder simulerats i garderob 1 och Valhall mitten. Garderoben har då varit giltig med avseende på effektkriteriet medan Valhall mitten behöver en effektutveckling på 7,5 MW för att bli giltig med avseende på detta kriterium. Hur andra zoners giltighet varit är svårt att bedöma. Kanske kan brandens effekt spridas på flera rum som är öppna mot varandra men försiktighet bör ändå vidtas vid analys av resultaten i zoner långt från brandrummet.

⁸² se kapitel 5 - Teori, Tvåzonsmodellen & CFAST

Teatern

Tabell B 5 Giltighetsanalys av Teaterns Zoner map tvåzonsmodellen.

	L/W	L/H	Q ≥ 5AVH	Giltighet endast med avseende på geometrin (ej Q) ⁸³
Scen	2,7	2,9	4500 kW	Acceptabelt
Salong	1,5	3,3	5000 kW	Acceptabelt
Fojé 1a	1,4	1,3	200 kW	Acceptabelt
Fojé 2 a	3,6	6,7	1000 kW	Ej acceptabelt
Fojé 3 a	1,4	1,3	1000 kW	Acceptabelt
Fojé 1b	1,8	1,2	350 kW	Acceptabelt
Fojé 2 b	8,3	3,2	600 kW	Ej Acceptabelt
Fojé 3 b	1,8	1,2	350 kW	Acceptabelt

Zonerna, så som de är utformade i CFAST, är i huvudsak giltiga enligt de kriterier som diskuteras i teoridelen. Viss hänsyn bör tas till effektutvecklingens giltighetskriterium vid utvärdering av resultaten i de enskilda zonerna. Att salongen och scenen i huvudsak är öppna mot varandra är en faktor som kanske kan göra att effektutvecklingen vid brand på scen bör slås ut på båda dessa volymer och därför ge ett kriterium för branden på 9,5 MW. Branden måste växa sig relativt stor innan en tvåzonsmodell blir giltig vid brand på scen.

Val av kritiskt OD i CFAST

Att tyda vilken optisk densitet som fås utav CFAST är inte så enkelt. I CFASTs tekniska manual kan följande utläsas:

”The visibility calculation depends solely on the soot concentration for soot, the input for C/CO₂ is used to calculate a “soot” yield from the fire (assuming all the excess carbon goes to soot). This soot generation is then transported as a species to yield a soot mass concentration to use in the optical density calculation based originally on the work of Seader and Einhorn [59]. The most recent work is by Mulholland and Croarkin [60]. Based on their experimental measurements, the soot mass density is multiplied by 3,817 m⁻¹/kg/m³. (formerly 3,500) to obtain an optical density per meter which is the value reported by the model.”

Ovanstående resonemang antyder att ett POD-värde på 3817 m⁻¹/kg/m³ används för att ta fram den optiska densiteten per meter i programmet. Enligt Mulholland och Croarkin (2000)⁸⁴ så är POD-värdet ca 8,7 m²/g, vilket blir 8700 m³/kg/m⁻¹. Mulholland och Croarkin använder följande uttryck för den optiska densiteten per meter:

$$\frac{I}{I_0} = \exp(-\alpha_s M_s L) \Rightarrow \alpha_s M_s = -\frac{1}{L} \ln\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Där L (m) är avståndet mellan sändare och mottagare, I ljusintensiteten och I₀ den ursprungliga ljusintensiteten. $\alpha_s M_s$ är då den optiska densiteten per meter uttryckt med den naturliga logaritmen.

⁸³ se kapitel 5 - Teori, Tvåzonsmodellen & CFAST

⁸⁴ Mulholland, G.W., Croarkin, C., 2000.

Mellan värdena givna av den tekniska manualen och Mulholland och Croakin skiljer det en faktor 2,28 dvs 8700/3817. Denna skillnad går också att härleda ur logaritmlagarna enligt:

$$\ln x = \ln 10^{\log x} = \log x \times \ln 10 = \log x \times 2,30 \Rightarrow \frac{\ln x}{\log x} = 2,30$$

Faktorn i uttrycket är mycket nära kvoten 8700/3817 ovan och därför dras slutsatsen att CFAST använder ett uttryck som baseras på 10-logaritmen vilket också är rimligt för ett program med amerikanskt ursprung. Den optiska densiteten uttrycks alltså enligt den tekniska manualen på formen:

$$OD = -\frac{1}{L} \log \frac{I}{I_0}$$

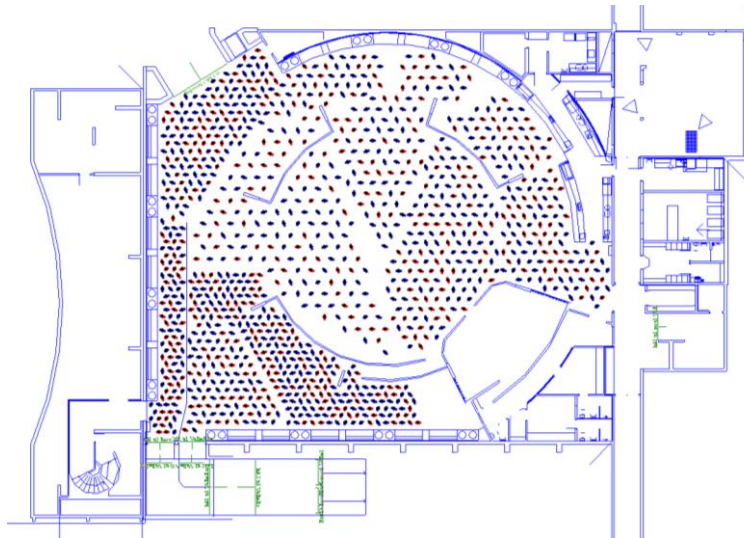
BILAGA C - SIMULEX

I samtliga simuleringar har persontypen "office staff" använts. Denna grupp består av 40 % män, 30 % kvinnor och 30 % medelpersoner, där medelpersoner har en kroppstorlek mellan en man och en kvinna.

I denna bilaga visas bilder från utrymningssimuleringarna som gjorts i Simulex. För varje scenario finns en bild på startuppställningen och en bild tagen för att visa på var köbildning uppstår.

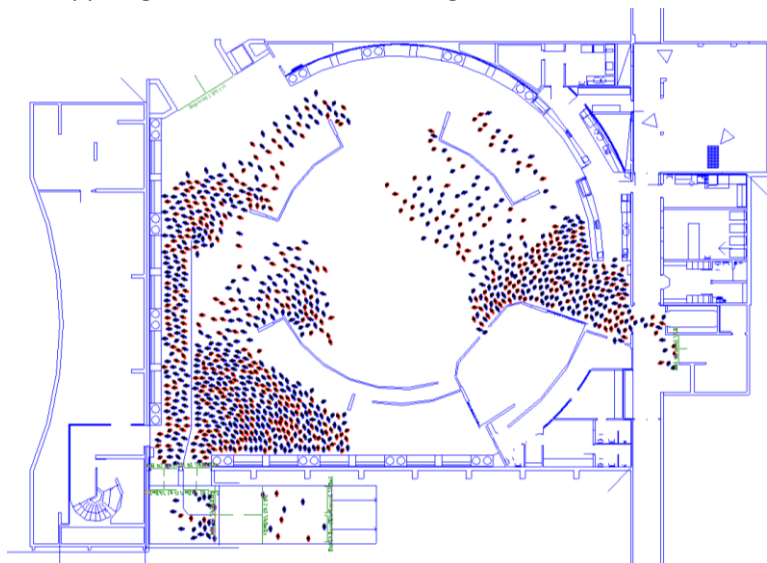
Scenario 1: Brand i garderoben i Valhall

I figur C1 nedan syns startuppställningen vid brand i garderob i Valhall i Simulex då 1200 personer befinner sig i lokalen. Hindret som lagts till i mitten av utgången i nedre vänstra hörnet är till för att få personerna i programmet att utnyttja bredden på utrymningsvägen bättre.



Figur C 1 Startuppställning vid utrymning

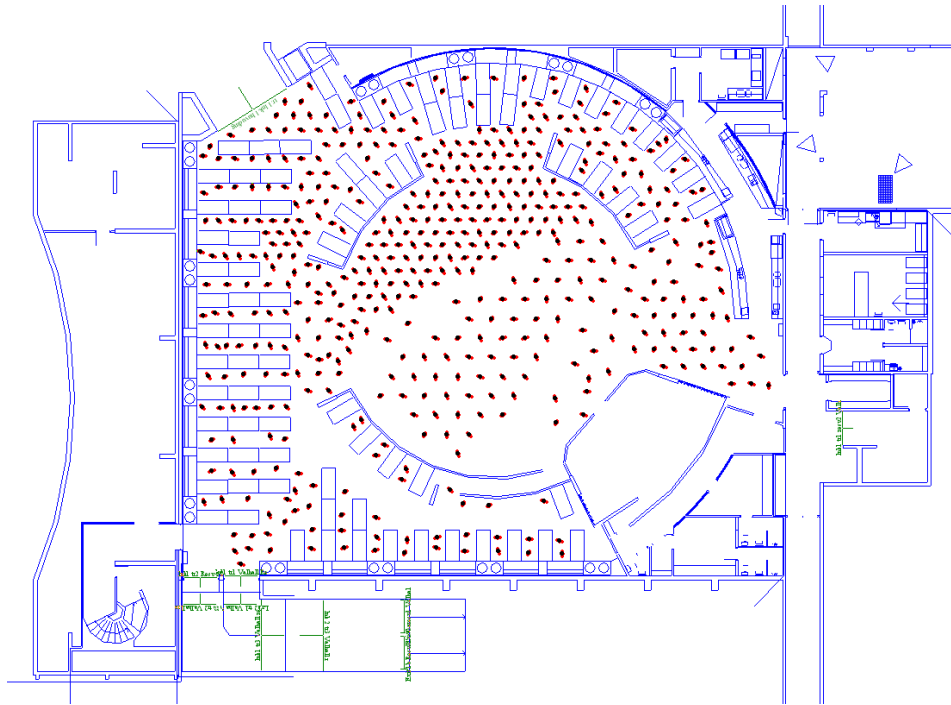
I figur C2 nedan syns att köbildning sker vid dörröppningarna till utrymningsvägarna. Framst är det dörröppningarnas bredder som är begränsande.



Figur C 2 Utrymningsförloppet en tid in i utrymning. Köbildningen sker vid dörrarna.

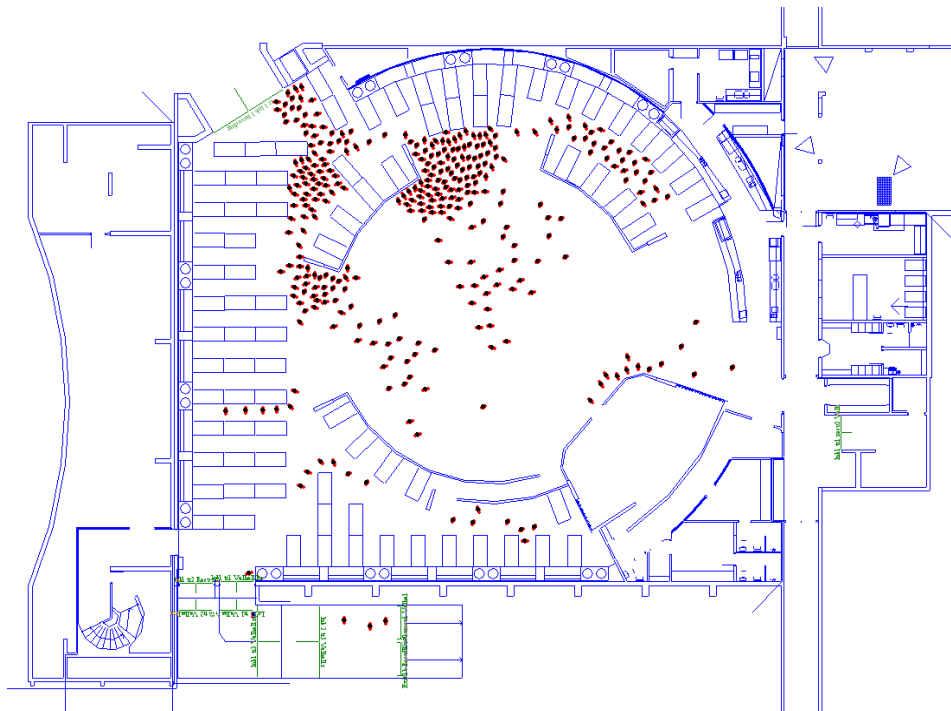
Scenario 2 - Brand på scen i Valhall

I figur C3 nedan syns startuppställningen vid brand på scen i Valhall i Simulex då 550 personer befinner sig i lokalen (varav 20 i foajén).



Figur C 3 Startuppställning vid utrymning

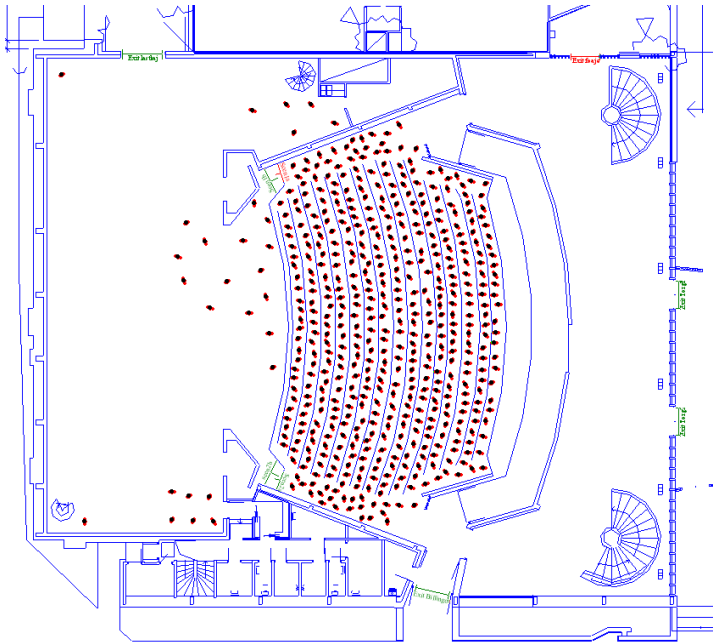
I figur C4 nedan syns att flaskhalsarna skapas i de trånga gångarna mellan borden. Det sker ingen stockning som påverkar utrymningstiden vid dörrar eller trappor.



Figur C 4 Utrymningsförloppet en bit in i utrymning. Köbildning sker vid borden

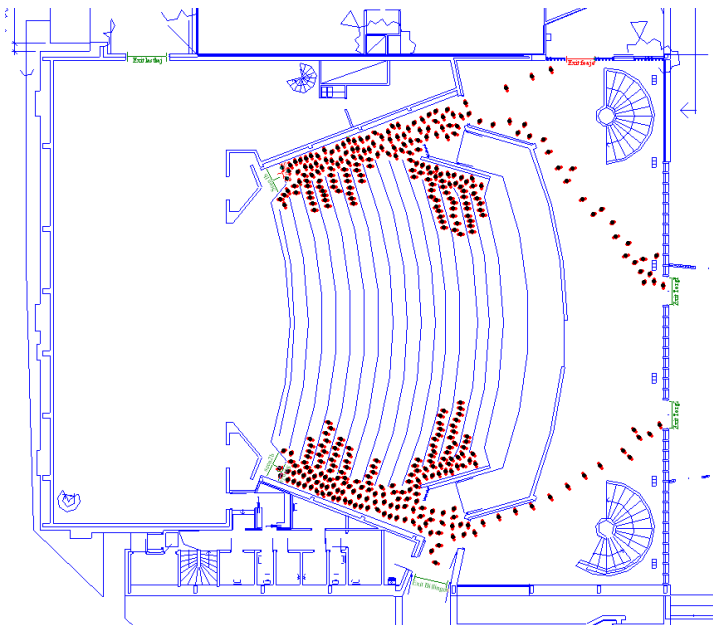
Scenario 3: Brand på scen i teater

Nedan i figur C5 syns startuppställningen vid brand på scen i teater i Simulex då 503 gäster finns i salongen och 28 på scenen.



Figur C 5 Startuppställning vid utrymning

I figur C6 nedan syns att flaskhalsarna är vid utgångarna från salongen till foajén. Detta för att dörrbredden är som smalast här i jämförelse med den totala dörrbredden hos de fyra utrymningsvägar som finns från foajén.



Figur C 6 Utrymningsförloppet en bit in i utrymning. Köbildning sker inne i salongen

Personalen som befinner sig på scenen har i tidigt skede lyckats ta sig ut genom utrymningsvägen som finns på scenen.

BILAGA D - DETACT

Detact är ett program för beräkning av aktiveringstider för i första hand värme detektorer och sprinkler. För att beräkna rökdetektorers aktivering måste detektorernas egenskaper liknas vid värmedetektorers, dvs. att ett RTI och en aktiveringstemperatur måste ansättas. Två versioner finns av programmet Detact T² och Detact QS.

T²

Denna version antar att branden tillväxer enligt αt^2 -modellen och använder ekvationer framtagna utav Beyler⁸⁵. Dessa ekvationer är utvecklade för:

$$3 < \alpha < 43$$

$$1,5 < H < 8,6$$

$$0,4 < \frac{H}{r} < 8$$

r	är avståndet mellan branden och detektorn	[m]
H	är takhöjden	[m]
α	är brandens tillväxthatighet enligt αt^2 -modellen	[W/s ²]

Modellen antar också ett platt tak utan hinder eller brandgaslager.

QS - Quasi Steady

Denna version använder sig utav ett kvasistatiskt antagande för de tidsintervall och effektutvecklingar som användaren matar in. Beylers samband ersätts utav Alperts korrelationer⁸⁶ och uttryck härledda ur dessa. Alperts modeller är framtagna för brandgasernas maximala temperaturer och hastigheter och bygger på försök med konstanta effektutvecklingar där:

$$0,5 < \dot{Q} < 100$$

$$4,6 < H < 15,5$$

\dot{Q}	är effekten	[MW]
H	är höjden	[m]

Modellerna antar också platta tak utan hinder eller brandgaslager.

För att använda Detact behövs information om:

Takhöjden	[m]
Avståndet mellan detektorer (T ²)	[m]
Radiella avståndet till detektor (QS)	[m]
Effektutvecklingen	[kW/s ² eller kW med tillhörande s]
RTI för detektorn	[m ^{1/2} s ^{1/2}]
Temperaturen i rummet vid brandstart	[°C]
Detektorns aktiveringstemperatur	[°C]

Distans mellan detektorer är det diagonala avstånden mellan två detektorer i ett tänkt rutnät. Avståndet motsvaras i garderoben av avståndet från den sämsta punkten i rummet till närmsta detektor multiplicerat med två. Radiella avståndet till detektor är det horisontella avståndet mellan branden och närmaste detektor.

⁸⁵ Nilsson, D. Holmstedt, G., 2008.

⁸⁶ Ibid

Garderobsbrand i Valhall

För att ta reda på aktiveringstid vid garderobsbrand i Valhall så matades först den valda effektkurvan⁸⁷ in i CFAST utan hänsyn till sprinklersystemet. Detta gjordes för att se hur effekten påverkas utav syretillgången. Diagram D1 visar den kurva som CFAST producerade.

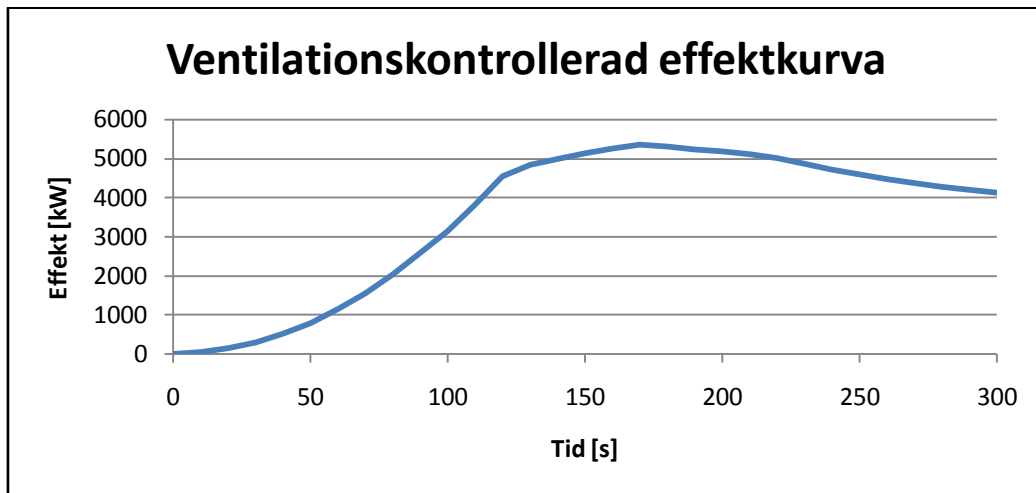


Diagram D1 Ventilationskontrollerad effektkurva av CFAST

Sedan matades denna effektkurva in i Detact QS med:

Aktiveringstemperatur	68 °C
RTI	300 m ^{1/2} s ^{1/2} (se bilaga E - Bestämning av RTI)
Radiella avståndet till detektor	2 m
Takhöjd	2,7 m
Omgivande temperatur	20 °C
α	0,3 kW/s ² (se bilaga A - Val av effektkurvor)

Reslutat

Tid till aktivering	100 s
---------------------	-------

Samma procedur upprepades sedan med en effektkurva som tillväxer med α -värdet på 0,4 och 0,19 kW/s² (Ultra fast).

Tid till aktivering vid $\alpha = 0,19$ kW/s ²	120 s
Tid till aktivering vid $\alpha = 0,4$ kW/s ²	90 s

Detact QS tar inte hänsyn till transporttider och därför användes även Detact T² för att se om längre tider till aktivering är möjliga. Samma ingångsvärden som ovan användes med undantaget för att det radiella avståndet böts ut mot distans mellan detektorer, (4 m).

⁸⁷ se bilaga A - Val av effektkurvor

Resultat från Detact t²

Tid till aktivering	120 s
---------------------	-------

Samma procedur upprepades sedan med en effektkurva som tillväxer med α -värden på 0,4 och 0,19 kW/s² (Ultra fast).

Tid till aktivering vid $\alpha = 0,19$ kW/s ²	140 s
Tid till aktivering vid $\alpha = 0,4$ kW/s ²	110 s

Tider till aktivering blir längre med Detact T² även om detta program inte tar hänsyn till att effekten dämpas av den begränsade syrebristen. Det är rimligare att använda dessa resultat speciellt då de även medför konservativ säkerhet.

Garderoben är liten och ett brandgaslager kommer att hinna formas innan aktivering sker. Tiden till aktivering beror av brandgasernas hastighet och temperatur. Att ett brandgaslager har hunnit formas gör att takstrålen stannas upp men även att temperaturen runt sprinklern höjs. Det är svårt att förutse hur modellerna kommer att påverkas men eftersom det finns antydning till att de både skulle underskatta och överskatta aktiveringstiden så antas resultaten bli rimliga. Vid senare simulering i CFAST visade det sig att tiden till aktivering översteg tid till 500 °C och möjlig övertändning i garderoben. Sprinkleraktivering borde då ha skett och tiden till aktivering får en konservativ dimension.

Med RTI 35

Sprinklern kommer nu aktivera innan dess att branden blir dämpad av syretillförseln. Detact t² kan användas i detta fall

Samma ingångsvärden som för i grundutförandet används förutom RTI värdet som byts till 35 m^{1/2}s^{1/2}. Aktiveringstemperaturen har också sänkts, från 68 till 57°C.

Reslutat

Tid till aktivering	70 s	(1,3 MW)
---------------------	------	----------

Samma procedur upprepades sedan med en effekt kurva som tillväxer med α -värden på 0,4 och 0,19 kW/s² (Ultra fast).

Tid till aktivering vid $\alpha = 0,19$ kW/s ²	90 s	(1,1 MW)
Tid till aktivering vid $\alpha = 0,4$ kW/s ²	60 s	(1,5 MW)

Värmedetektor

En typisk maximalvärmedetektor aktiverar vid en temperatur på 20-35°C över den högsta normala temperaturen i rummet. En differential värmedetektor aktiverar på en temperaturstegring mellan 3 och 10°C⁸⁸. I garderoberna bör den maximala normala temperaturen inte överstiga 25°C vilket gör att detektorn kan aktivera vid en lägsta temperatur på 45°C, en differentialvärme detektor väljs här till en som aktiverar vid en värmestegring på 4°C vilket är rimligt enligt ovanstående resonemang.

Använda värden:

Aktiveringstemperatur	50 °C
-----------------------	-------

⁸⁸ Nilsson, D. Holmstedt, G. 2008.

RTI	1 m ^{1/2} s ^{1/2} (se bilaga)
Distans mellan detektorer	5,1 m (mitt i rummet)
Takhöjd	2,7 m
Omgivande temperatur	20 °C
α	0,3 kW/s ² (se Bilaga)

Resultat

Maximalvärmedetektor	47 s
Differentialvärmedetektor	27 s

Brand på scen i Valhall

Scenbranden i Valhall blir inte ventilationskontrollerad och Detact T² kan därför användas direkt på den dimensionerande effektutvecklingen.

Sprinkler

För sprinkler blir detta

Aktiveringstemperatur	68 °C
RTI	300 m ^{1/2} s ^{1/2} (se bilaga E - Bestämning av RTI)
Distans mellan detektorer	4.6 m
Takhöjd	4,2 m
Omgivande temperatur	20 °C
α	0,047 kW/s ²

Resultat

Tid till aktivering	260 s
---------------------	-------

Samma procedur upprepades sedan med en effekt kurva som tillväxer med α -värden på 0,1876 (Fast) och 0,012 kW/s² (medium).

Tid till aktivering vid $\alpha = 0,19$ kW/s ²	170 s
---	-------

Tid till aktivering vid $\alpha = 0,012$ kW/s ²	410 s
--	-------

Med RTI 35 blir detta

Samma ingångsvärden som för i grundutförandet används förutom RTI värdet som byts till 35 m^{1/2}s^{1/2}. Aktiveringstemperaturen har också sänkts, från 68 till 57°C.

Resultat

Tid till aktivering	150 s	(1,05 MW)
---------------------	-------	-----------

Samma procedur upprepades sedan med en effektkurva som tillväxer med α -värden på 0,19 (Fast) och 0,012 kW/s² (medium).

Tid till aktivering vid $\alpha = 0,19$ kW/s ²	95 s	(1,67 MW)
Tid till aktivering vid $\alpha = 0,012$ kW/s ²	250 s	(0,713 kW)

Rökdetektion

För att få en rättvisande aktiveringstid för en rökdetektor så bör RTI-värdet sättas lågt till exempel till $0,5 \text{ (ms)}^{1/2}$.⁸⁹ Detta görs därför att en detektor egentligen har en försumbar massa vilket medför försumbart RTI. Dessutom måste en temperaturstigning antas för detektorn. Den mest använda temperaturskillnaden är 13°C men det finns också antydning på en lägre temperatur skulle vara mer rättvisande för nyare rökdetektorer.⁹⁰

Använda värden:

Distans mellan detektorer	10 meter (scenens diameter)
Aktiveringstemperatur	33°C
Takhöjd	4,2 m
Omgivande temperatur	20°C
α	$0,047 \text{ kW/s}^2$
Resultat	

Tid till aktivering	125 s
---------------------	-------

Samma procedur upprepades sedan med en effekt kurva som tillväxer med α -värden på 0,1876 (Fast) och $0,012 \text{ kW/s}^2$ (medium).

Tid till aktivering vid $\alpha = 0,1876 \text{ kW/s}^2$	80 s
--	------

Tid till aktivering vid $\alpha = 0,012 \text{ kW/s}^2$	210 s
---	-------

Detact räknar inte med transporttiden för plymen att nå taket vilket inte är konservativt för lokaler med högt i tak. Programmet räknar heller inte på överföring via strålning och tar inte hänsyn till möjligt bildande av varmt brandgaslager. Detta gör att modellen kan bli konservativ i små utrymmen med stora effektutvecklingar och då flammen kan tänkas nå taket. Om brandgaslager bildas så sänks hastigheten på brandgaserna vilket kan ge en något långsammare aktivering och om flammor inte når taket och temperaturen inte blir extremt hög så blir det därför svårt att förutsäga hur ett brandgaslager påverkar aktivering.

⁸⁹ Nilsson, D. Holmstedt, G., 2008.

⁹⁰ Ibid

BILAGA E - BESTÄMNING AV RTI

Under arbetsgången genomfördes en laboration för att utvärdera sprinklersystemets aktiveringstid.

Syfte

Försöket gjordes för att få en uppfattning om hur snabbt det nuvarande sprinklersystemet i Valhall kommer att kunna aktivera vid en eventuell brand.

Material

Reservsprinkler från sprinklercentralen i Kulturhuset som mottogs vid platsbesöket med aktiveringstemperatur 68°C.

En sprinkler med utbytbar bulb, aktiveringstemperatur 68°C.

Metod

Nedan i figur E1 visas försöksupställningen.



Figur E1 Försöksupställning

I vindtunnel gjordes först test på en reservsprinkler som tagits från sprinklercentralen i Kulturhuset. Två försök gjordes sedan på ett annat sprinklerhuvud för att se hur sprinkleraxlarnas riktning i förhållande till brandgaserna påverkar RTI värdet. Testen utfördes enligt FM-globals standard för residentialsprinklers⁹¹ och vindtunneln ställdes därför in med:

Temperatur i vindtunneln	197 °C
Lufthastighet i vindtunneln	2.56 m/s

Utförande

Vindtunneln ställdes in på de ovan nämnda värdena. Sprinklern som skulle testas skruvades fast i ett rör som fylldes med vatten, placerades sedan i vindtunneln och klocka startades. Vid aktivering lästes tiden av och sedan upprepades försöket med nästa sprinklerhuvud.

Försök 1 gjordes med reservsprinklern från Kulturhuset när axlarna var vinkelräta mot luftflödet.

⁹¹ Fm Approvals. 1983.

Försök 2 och 3 gjordes med sprinklerhuvud som kunde återanvändas. De vinklar som testades var då sprinkleraxlarna var vinkelräta mot luftflödet och då de var utan vinkel mot luftflödet.

Resultat

RTI för reserv sprinklern i sitt optimala läge blev $256 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$.

RTI för annan sprinkler i sitt optimala läge blev $127 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$.

RTI för annan sprinkler i sitt sämsta läge blev $162 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$.

Den faktor med vilken RTI värdet ändrats vid försök två och tre antas skala tillräckligt väl till sprinklern från kulturhuset och används nu för att ta fram värsta tänkbara RTI för denna sprinkler.

$$\frac{162}{127} \times 256 = 327$$

RTI värdet för sprinklersystemet i Valhall bör då uppskattningsvis ligga mellan 256 och $327 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$.

Det är därför rimligt att RTI ligger på ungefär $300 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$.

Om ett RTI på till exempel $30 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$ anges av tillverkaren bör detta också multipliceras med samma faktor (162/127). Försök gjorda på sprinklerbulber görs med sprinklern i sitt optimala läge och bör därför inte ses som ett konservativt värde. Enligt samma beräkning som ovan blir ett rimligt RTI ca $35 \text{ m}^{1/2}\text{s}^{1/2}$. Detta värde har använts vid förslag på åtgärder på ett snabbare sprinklersystem.

BILAGA F - HANDBERÄKNINGAR

I denna bilaga presenteras ekvationer för beräkningar av sikt, toxicitet, rökfyllnadstid och brandgasernas transporttider och dess antagande samt beräknade resultat.

Beräkning av väl omblandade förhållanden

För beräkningar av den optiska densiteten i Valhall vid väl omblandade förhållanden antas antalet partiklar i brandgaslagret spridas jämnt över hela rummets volym. Den optiska densiteten för brandgaslagret tas från resultat från CFAST. Nedanstående beräkningar visar hur den optiska densiteten viktas mot hela rummets volym. Följande ekvation har använts:

$$\frac{OD \times V_B}{V_T} = OD_{VOF} \quad [F1]$$

Där:

V_B	Brandgaslagrets volym	$[m^3]$
V_T	Total volym Valhall	$[m^3]$
OD	Optisk densitet i brandgaslagret	$[m^{-1}]$
OD_{VOF}	Optisk densitet vid väl omblandade förhållanden	$[m^{-1}]$

Då CFAST's resultat för optisk densitet anges i amerikanska värden⁹² medför det att:

$$OD_{VOF} = 0,1 \text{ m}^{-1} \text{ motsvarar en sikt på } 10 \text{ m}$$

$$OD_{VOF} = 0,2 \text{ m}^{-1} \text{ motsvarar en sikt på } 5 \text{ m}$$

Rökfyllnadsberäkningar

Med handberäkningsmodellen Yamana-Tanaka har tiden till kritiska förhållanden itererats fram. Modellen kan anses korrelera bra med experiment efter två minuter in brandförloppet⁹³.

$$k = \frac{0,21 \left(\frac{\rho_a^2 g}{\rho_g c_p T_a} \right)^{1/3}}{\rho_g} \quad [F2]$$

$$z = \left(k \frac{\alpha^{1/3} 2t^{1+n/3}}{s} + \frac{1}{H^{2/3}} \right)^{-3/2} \quad [F3]$$

$$\rho_g = \rho_a \left(1 - \frac{\alpha t^{n+1}}{(n+1)(H-z) s c_p 353} \right) \quad [F4]$$

Där:

k	är en konstant	$[-]$
ρ_g	är densiteten i brandgaserna	$[kg/m^3]$
ρ_a	är densiteten i omgivande luft	$[kg/m^3]$
g	är gravitationskonstanten	$[m/s^2]$
c_p	är den specifika värmekapaciteten	$[kJ/(kgK)]$
T_a	är omgivande temperatur	$[K]$

⁹² se bilaga B - CFAST

⁹³ Karlsson, B., Quintiere, J. G., 2000.

α	är tillväxthastigheten	[kW/s ²]
S	är rumsvolymen	[m ³]
z	är höjd till brandgaslagret	[m]
n	är tillväxthastighetens exponent	[-]
H	är höjd till taket	[m]
T	är tiden	[s]

Kriterier för att modellen ska gälla:

- Inga tryckökningar 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.
- $T_a = 293\text{K}$; $c_p = 1,0\text{Kj/kgK}$; $\alpha = 0,047\text{kW/s}^2$; $n = 2$; $\rho = 1,2\text{Kg/m}^3$
- Modellen bygger på en svag plymmodell och är inte giltig då flammorna når taket.

Beräkningsgång:

1. Gissa en densitet på brandgaserna. Använd sedan ekvation [F1] för att få ut ett k-värde.
2. Använd sedan ekvation [F2] för att få ut tiden tills brandgaserna nått kritiska förhållanden.
3. Kontrollera sedan om gissningen av densiteten var korrekt med ekvation [F3]. Om inte, börja om från början med att gissa en ny densitet.

Valhall brand på scen

$$S = 925 \text{ m}^2; H = 3,2\text{m}; z = 2,3$$

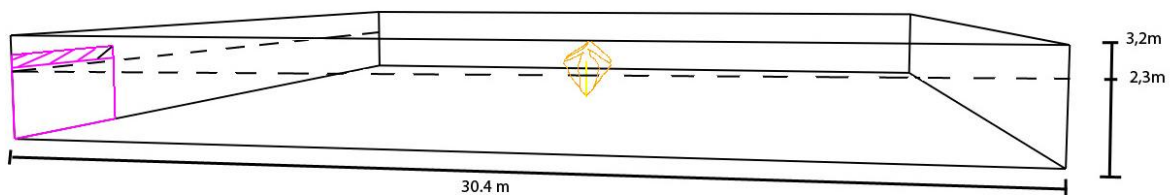
$$\rho_g = 0,62 \text{ kg/m}^3 \text{ insatt i ekvation F1} \Rightarrow k = 0,124$$

$$k = 0,124 \text{ insatt i ekvation F2} \Rightarrow t = 182\text{s}$$

$$t = 182\text{s} \text{ insatt i ekvation F3} \Rightarrow \rho_g = 0,62 \text{ kg/m}^3$$

Iterationen stämmer och ger en tid till kritiska förhållanden på ca 3min .

Rumsgeometrier och antaganden:



Figur F1 Vald rumsgeometri vid beräkning

För rökfyllnadsberäkningarna har rumsdimensionerna förenklats ytterligare i jämförelse med geometrierna som valdes i CFAST. Då takhöjden varierar stort i lokalen har utifrån den totala volymen en ny takhöjd beräknats. Plymmodellen beror av höjden vilket gör att massflödet i plymen underskattas då höjden nu minskas. Geometrin skulle kunna anpassas efter den högsta höjden men då den kritiska höjden inte förändras leder detta till att en större volym måste rökfyllas vilket inte är konservativt. I det aktuella fallet är arean stor och taket sluttar brant vilket gör att antagandet om låg

höjd sammantaget ger konservativa resultat. Innan kritiska förhållanden uppstår finns det endast en öppning dit brandgaser kan flöda ut, öppningen ut mot garderoberna. Denna öppning är innan kritiska förhållanden endast 1,5 m² och har därför försumrats.

Då flammorna når taket, eller då $\dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{H^{5/2}} \times \frac{1}{\rho_a c_p T_a \sqrt{g}} < 0,05$ ⁹⁴ antas modellen inte längre vara giltig. Den antagna höjden 3,2 meter tillåter en maximal effektutveckling på 1 MW för att plymen skall ha giltighet. Hänsyn bör dock tas till att rummet i verkligheten är cirka 4,6 meter högt ovan brandkällan och med denna höjd fås en maximal effektutveckling på 2,4 MW. Branden som används i detta scenario tillväxer enligt en fast-kurva som når 1 MW efter cirka 2 min 30 s och 2,4 MW efter ungefär 3 min 45 s vilket skulle göra modellen någorlunda rimlig i det tidiga brandstadiet.

Slutsats

Beräkningsmodellen Yamana-Tanaka bygger på ett grovt antagande om att densiteten är konstant i brandgaslagret och har sitt bästa giltighetsområde när ρ är i ett område nära 1 kg/m³. Ett värde på brandgasernas densitet under 0,7 kg/m³ gör resultaten relativt osäkra. Vidare skulle man utifrån antagandet om att inga brandgaser flödar ut genom öppningen mot garderoben kunna säga att det i verkligheten borde ta längre tid innan brandgaserna når kritiska förhållanden. Detta stämmer inte överens med CFAST simuleringarna. Rökfyllnadsberäkningarnas resultat anses därför i sin helhet vara relativt osäkra men ändå värdefulla då de visar att kritiska förhållanden uppstår innan utrymning skett.

Teatern brand på scen; Ridå öppen

$S = 288 \text{ m}^2$; $H = 12 \text{ m}$; $z = 5,2 \text{ m}$

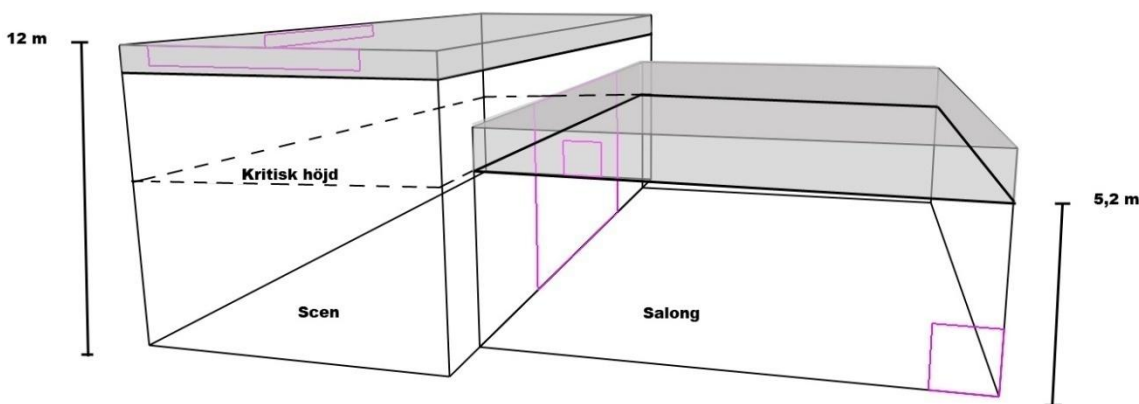
$\rho_g = 1,076 \text{ kg/m}^3$ insatt i ekvation F1 => $k = 0,071$

$k = 0,071$ insatt i ekvation F2 => $t = 145 \text{ s}$

$t = 145 \text{ s}$ insatt i ekvation F3 => $\rho_g = 1,076 \text{ kg/m}^3$

Iterationen stämmer och ger en tid till kritiska förhållanden på ca 2,5 min .

Rumsgeometrier och antaganden:



Figur F2 Geometrisk modell

⁹⁴ Karlsson, B., Quintiere, J. G., 2000.

Rökfyllnadsberäkningarna i teatern beräknats med geometrin som valdes i CFAST. För att kunna göra handberäkningar har dock ytterligare förenklingar gjorts utifrån verkligheten och modellen. Beräkningarna för salongen har gjorts med hjälp av scenens geometri. Detta då salongen och scenens geometri tillsammans är för komplex för dessa beräkningar. Den volym ovan 5,2 m i salongen som rökfylls tills kritisk nivå uppstår har flyttats in i scenhuset. Vikt har lagts på att behålla samma volym. Den kritiska höjden har satts till 5,2 meter som är den höjden som en gäst befinner sig på längst bak i salongen. Vid beräkningarna är brandgasventilationen stängd.

Slutsats

I salongen uppstår kritiska förhållanden efter ca 2,5 min vilket är betydligt långsammare än resultaten CFAST ger. Geometrierna på teatern gör det svårt att göra handberäkningar och många osäkerheter ligger i de förenklingar som gjorts. Att densiteten är i närheten av 1 kg/m^3 gör dock att **Figur F2 Vald rumsgeometri vid beräkning. De grå volymerna är lika stora**

resultaten ligger inom giltighetsområdet för handberäkningsmodellen. Mycket talar för att tiden till kritiska förhållanden borde vara längre då brandgasventilationen i detta scenario är stängd. Detta antagande gör modellen mycket konservativ men kan anses som en säkerhetsmarginal för de faktum att när brandgaserna strömmar in i salongen kommer de att kylas ner och kan i värsta fall ge ett väl omblandat scenario. Precis som i beräkningarna för Valhall anses ändå resultaten ge värdefull information om rökfyllnadsprocessen då de visar att vi har kritiska förhållanden innan utrymning skett.

Ventilationskontrollerad effektutveckling vid brand i garderob

Antaganden⁹⁵ och använda värden

C_d	0,7
ρ_a	$1,2 \text{ kg/m}^3$
A_o	$2,4 \text{ m}^2$
H_o	2 m

Temperaturen skall överstiga 573 K.

Luften har en massprocent syre på 23 % och förbränning sker ner till 10 %

Ekvationer⁹⁶

$$m_a = 0,5 \times A_o \times \sqrt{H_o} \quad [F5]$$

$$m_{O_2} = m_a \times (0,23 - 0,10) \quad [F6]$$

Där 23 är massprocent syre i luft som förbränns ner till 10 massprocent⁹⁷. Detta anses konservativt då brand i de flesta kolväten vanligtvis släcker vi 13%⁹⁸

$$\dot{Q}_v = m_{O_2} \times \Delta H_{O_2} \quad [F7]$$

⁹⁵ Karlsson, B., Quintiere, J. G., 2000.

⁹⁶ Ibid

⁹⁷ enligt de värden som CFAST räknar med

⁹⁸ Mawhinney, JR., Back, GG., 2002.

Beräkningar

$$m_a = 0,5 \times 2,4 \times \sqrt{2} = 1,7 \text{ kg/s} \quad [\text{insättning i F5}]$$

$$m_{O_2} = 1,7 \times (0,23 - 0,10) = 0,22 \text{ kg/s} \quad [\text{insättning i F6}]$$

$$\dot{Q}_v = 0,22 \times 13,2 = 3 \text{ MW} \quad [\text{insättning i F7}]$$

Resultat

Branden kan väntas bli ventilationskontrollerad då effekten stabiliserar sig på cirka 3 MW.

Toxicitetskontroll vid brand i garderobsbrand**Använda värden⁹⁹**

$\gamma_{CO, polyester}$	0,08 g/g
$\gamma_{CO_2, polyester}$	1,65 g/g
$\gamma_{CO, Valhall}$	0,08 g/g
$\gamma_{CO_2, Valhall}$	1,65 g/g
X_i	0,7 ¹⁰⁰
M_{CO}	28 g/Mol
M_{CO_2}	44 g/Mol
$CO_{kritisk}$	2000 ppm
$CO_2_{kritisk}$	5 %
R	8,31 Jmol ⁻¹ K ⁻¹
P	1 atm = 101,3 kPa
T	400 K maximal temperatur i salongen under utrymning
α	0,3 KW/s ²
$\Delta H_{c, teater}$	23,80 kJ/g

Tid till maximal effektutveckling på 11 MW för en Fast kurva: 485 s

Total volym 3660 m (inräknat foajé och entré)

Antaganden

- På scenen i Valhall antas till största delen träbaserade material brinna.
- Gaser antas uppträda som ideala gaser.
- Trycket antas till atmosfärstryck, oförändrat under brandförloppet. Detta bör vara rimligt eftersom lokalen har läckor.
- Väl omblandade förhållanden antas.
- Temperatur i brandrummet antas ligga på 400 K. Detta antagande är konservativt eftersom medeltemperaturen i teatern inte kommer nå så högt innan dess att utrymning skett.
- Inga läckage antas till andra rum eller till det fria.

⁹⁹ Tewarson, A., 2002 och Drysdale, D., 2002

¹⁰⁰ Antas för sotande flammor

Ekvationer

$$C_{\text{kritisk}} \times V_T = V_{C, \text{kritisk}} \quad [\text{F8}]$$

Ger volym kolmonoxid respektive koldioxid som behövs för att kritiska förhållanden skall uppkomma.
 C_{kritisk} är den kritiska koncentrationen [%]

$$\frac{P \times V \times M}{R \times T} = m_g \quad [\text{F9}]$$

Ger massan av ett ämne i en specifik volym då ideala gaser antagits.

$$\frac{m_g}{y} = m_b \quad [\text{F10}]$$

Ger massa bränsle som måste förbrännas för att kritiska förhållanden skall uppkomma

$$Q_{\text{kritisk}} = \Delta H_{c, \text{teater}} \times X_i \times m_b \quad [\text{F11}]^{101}$$

Avgiven energi för den kritiska massan

$$\frac{\alpha t^3}{3} = Q \quad [\text{F12}]$$

Avgiven energi för en αt^2 -kurva

$$\frac{Q}{\dot{Q}} = t \quad [\text{F13}]$$

Ger tid till dess att en viss energi avgivits för en konstant effektutveckling

$$\alpha t^2 = \dot{Q} \quad [\text{F14}]^{102}$$

$$\sqrt[3]{\frac{(Q_{\text{kritisk, CO}} - Q_{\text{tillväxt}}) \times 3}{\alpha}} = t \quad [\text{F15}]$$

Resultat

$$V_{\text{CO, kritisk}} = 0,002 \times 3660 = 7,3 \text{ m}^3 \quad [\text{insättning i F8}]$$

$$V_{\text{CO}_2, \text{kritisk}} = 0,05 \times 3660 = 183 \text{ m}^3 \quad [\text{insättning i F8}]$$

$$m_{g, \text{CO}} = \frac{101300 \times 7,3 \times 28}{8,31 \times 400} = 6,2 \text{ kg} \quad [\text{insättning i F9}]$$

$$m_{g, \text{CO}_2} = \frac{101300 \times 183 \times 44}{8,31 \times 400} = 254,4 \text{ kg} \quad [\text{insättning i F9}]$$

$$m_b = \frac{6,2}{0,08} = 77,5 \text{ kg} \quad [\text{insättning i F10}]$$

¹⁰¹ Karlsson, B., Quintiere, J. G., 2000.

¹⁰² Ibid

$$m_b = \frac{254,4}{1,65} = 154,2 \text{ kg} \quad [\text{insättning i F10}]$$

$$Q_{\text{kritisk,CO}} = 23800 \times 0,7 \times 77,5 = 1291 \text{ MJ} \quad [\text{Insättning i F11}]$$

$$Q_{\text{kritisk,CO}_2} = 23800 \times 0,7 \times 154,4 = 2572 \text{ MJ} \quad [\text{Insättning i F11}]$$

Branden förväntas stabilisera efter 130 sekunder,

$$Q_{\text{tillväxt}} = \frac{0,3 \times 130^3}{3} = 219,7 \text{ MJ} \quad [\text{Insättning i F12}]$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{(1291 - 219,7) \times 10^3 \times 3}{0,3}} = 220 \text{ s} \quad [\text{Insättning i F15}]$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{(2572 - 219,7) \times 10^3 \times 3}{0,3}} = 286 \text{ s} \quad [\text{Insättning i F15}]$$

$$130 \text{ s} + 220 \text{ s} = 350 \text{ s}$$

Slutsats

Dessa beräkningar visar för att om ett väl omblandat scenario uppstår i valhall och alla brandgaser samlas i valhall, alltså inga läckage ut ur byggnaden, skulle toxiska nivåer i brandgaserna uppstå efter ca 6 min. Antagandet om inga läckage gör dessa beräkningar extremt konservativa men visar att kritiska nivåer på grund av toxiska gaser skulle kunna uppstå i garderobsbranden.

Toxicitetskontroll vid brand på scen i Valhall

Använda värden¹⁰³

$y_{CO,trä}$	0,005 g/g
$y_{CO_2,trä}$	1,33 g/g
$y_{CO,Valhall}$	0,005 g/g
$y_{CO_2,Valhall}$	1,33 g/g
X_i	$0,7^{104}$
M_{CO}	28 g/Mol
M_{CO_2}	44 g/Mol
CO_{kritisk}	2000 ppm
$CO_{2 \text{ kritisk}}$	5 %
R	$8,31 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$
P	1 atm = 101,3 kPa
T	400 K maximal temperatur i salongen under utrymning
α	Fast (0,047 kW/s ²)
$\Delta H_{c,teater}$	19,50 kJ/g
Tid till 3,2 MW för en Fast kurva	260 s
Total volym	3150 m (inräknat bara Valhall)

¹⁰³ Tewarson, A., 2002 och Drysdale, D., 2002.

¹⁰⁴ Antages, samma som CFAST använder

Antaganden

- På scenen i Valhall antas till största delen träbaserade material brinna.
- Gaser antas uppträna som ideala gaser.
- Trycket antas till atmosfärstryck oförändrat under brandförloppet, vilket bör vara rimligt eftersom lokalen har läckor.
- Väl omblandade förhållanden antas.
- Temperatur i brandrummet antas ligga på 400 K. Detta antagande är konservativt eftersom medeltemperaturen i teatern inte kommer nå så högt innan dess att utrymning skett.
- Inga läckage antas till andra rum eller till det fria.

Reslutat

$$V_{CO, \text{ kritisk}} = 0,002 \times 3150 = 6,3 \text{ m}^3 \quad [\text{insättning i F8}]$$

$$V_{CO_2, \text{ kritisk}} = 0,05 \times 3150 = 157,5 \text{ m}^3 \quad [\text{Insättning i F8}]$$

$$m_{g,CO} = \frac{101300 \times 6,3 \times 28}{8,31 \times 400} = 5,4 \text{ kg} \quad [\text{insättning i F9}]$$

$$m_{g,CO_2} = \frac{101300 \times 157,5 \times 44}{8,31 \times 400} = 211 \text{ kg} \quad [\text{insättning i F9}]$$

$$m_b = \frac{5,4}{0,005} = 1080 \text{ kg} \quad [\text{insättning i F10}]$$

$$m_b = \frac{211}{1,33} = 158,6 \text{ kg} \quad [\text{insättning i F10}]$$

$$Q_{\text{kritisk},CO} = 19500 \times 0,7 \times 1080 = 14740 \text{ MJ} \quad [\text{insättning i F11}]$$

$$Q_{\text{kritisk},CO_2} = 19500 \times 0,7 \times 158,6 = 2165 \text{ MJ} \quad [\text{insättning i F11}]$$

Branden förväntas stabiliseras efter 260 sekunder

$$Q_{\text{tillväxt}} = \frac{0,047 \times 260^3}{3} = 275 \text{ MJ} \quad [\text{insättning i F12}]$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{(14740 - 275) \times 10^3 \times 3}{0,047}} = 974 \text{ s} \quad [\text{insättning i F15}]$$

$$485 \text{ s} + 760 \text{ s} = 1245 \text{ s} = 21 \text{ min}$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{(2165 - 275) \times 10^3 \times 3}{0,047}} = 495 \text{ s} \quad [\text{insättning i F15}]$$

Den totala tiden blir: 495s + 260s = 755s = 12,5 min

Slutsats

Kritiska koncentrationer utav CO eller CO₂ kommer inte uppstå i Valhall i ett tidigt skede av branden om väl omblandade förhållanden antas. Tid till kritiska koncentrationer uppkommer först för koldioxid och detta sker efter cirka 12,5 minuter.

Toxicitetskontroll vid brand på scen i teatern

Använda värden¹⁰⁵

$\gamma_{CO,trä}$	0,005 g/g
$\gamma_{CO_2,trä}$	1,33 g/g
$\gamma_{CO,polyester}$	0,08 g/g
$\gamma_{CO_2,polyester}$	65 g/g
$\gamma_{CO,teater}$	0,02 g/g
$\gamma_{CO_2,teater}$	1,394 g/g
X_i	0,7 ¹⁰⁶
M_{CO}	28 g/Mol
M_{CO_2}	44 g/Mol
CO _{kritisk}	2000 ppm
CO ₂ kritisk	5 %
R	8,31 Jmol ⁻¹ K ⁻¹
P	1 atm = 101,3 kPa
T	400 K maximal temperatur i salongen under utrymning
α ¹⁰⁷	Fast (0,047 KW/s ²)
$\Delta H_{c,teater}$ ¹⁰⁸	20,4 kJ/g
V _{brandgaslager}	1950 m ³ , se antaganden.

Antaganden

- På scenen i Valhall antas till största delen träbaserade material brinna.
- Gaser antas uppträda som ideala gaser.
- Trycket antas till atmosfärstryck oförändrat under brandförloppet, vilket bör vara rimligt eftersom lokalen har läckor.
- Temperatur i brandrummet antas ligga på 400 K. Detta antagande är mycket konservativt eftersom medeltemperaturen i teatern inte kommer nå så högt innan dess att utrymning skett och högre temperatur leder till högre koncentrationer.
- Inga läckage antas till andra rum eller till det fria.
- Brandgaslagrets volym antas vara teaterns volym ner till kritisk höjd vilket är 5,2 m från lägsta nivån i teatern. Brandgaslagrets volym blir därför 1950 m³.

Reslutat

$$V_{CO, kritisk} = 0,002 \times 1950 = 3,9 \text{ m}^3 \quad [\text{insättning i F8}]$$

$$V_{CO_2, kritisk} = 0,05 \times 1950 = 97,5 \text{ m}^2 \quad [\text{insättning i F8}]$$

$$m_{g,CO} = \frac{101300 \times 3,9 \times 28}{8,31 \times 400} = 3,3 \text{ kg} \quad [\text{insättning i F9}]$$

$$m_{g,CO_2} = \frac{101300 \times 97,5 \times 44}{8,31 \times 400} = 130 \text{ kg} \quad [\text{insättning i F9}]$$

¹⁰⁵ Tewarson, A., 2002 och Drysdale, D., 2002.

¹⁰⁶ Antas för sotande flammor

¹⁰⁷ se Bilaga A – Val av effektkurvor

¹⁰⁸ se Bilaga B – CFAST

$$m_{b,co} = \frac{3,3}{0,02} = 165kg \quad [\text{insättning i F10}]$$

$$m_{b,co_2} = \frac{130}{1,394} = 95kg \quad [\text{insättning i F10}]$$

$$Q_{kritisk,CO} = 20360 \times 0,7 \times 165 = 2350 MJ \quad [\text{insättning i F11}]$$

$$Q_{kritisk,CO_2} = 20360 \times 0,7 \times 95 = 1350 MJ \quad [\text{insättning i F11}]$$

Branden förväntas stabilisera efter 485 sekunder vid en effektutveckling på 11 MW.

$$Q_{tillväxt} = \frac{0,047 \times 485^3}{3} = 1800 MJ \quad [\text{insättning i F12}]$$

Den energi som behöver avges för att kritiska nivåer skall uppnås med avseende på kolmonoxid har inte uppnåtts vid denna tid och utreds inte längre. Tid till kritiska koncentrationer av CO₂ beräknas efter viss omstrukturering av F12 till:

$$t = \left(\frac{Q_{kritisk,CO_2} \times 3}{\alpha} \right)^{1/3} = \left(\frac{1350 \times 10^3 \times 3}{0,047} \right)^{1/3} = 440 s \quad [\text{Insättning i F15}]$$

Slutsats

Kritiska koncentrationer utav CO eller CO₂ kommer ej att uppstå i det tidiga brandförloppet. Kritiska koncentrationer uppkommer först för koldioxid och detta sker efter cirka 7 minuter. Antagandena som har gjorts är starkt konservativa och kritiska förhållanden bör inte uppnås under tiden för utrymning.

Siktberäkningar

För att få en uppfattning om vilka tider som kan väntas för kritiska siktförhållanden så görs handberäkningar under antagandet om väl omblandade förhållanden. Handberäkningarna använder samma värden som har använts vid simuleringarna i CFAST och resultaten kan därför jämföras med resultaten från simuleringar.

Garderobsbrand i valhall

Använda värden

$D_{m, polyester}$	0,75 m ² /g ¹⁰⁹
Total Volym, V_T	3785 m ³ (inräknat Valhall, Foajé, Entré och garderober)
α ¹¹⁰	0,300 KW/s ²
ΔH_c	23,80 kJ/g ¹¹¹

Ekvationer

$$\Delta M = \frac{D_L \times V}{D_m} \quad [S1]^{112}$$

¹⁰⁹ Mulholland, G., 2002.

¹¹⁰ se bilaga A – Val av effektkurvor

¹¹¹ Drysdale, D., 2002.

¹¹² Mulholland, G., 2002.

$$D_L = \frac{1}{\text{sikt i meter}} \quad [S2]^{113}$$

$$Q_{\text{kritisk}} = \Delta H_{c,\text{teater}} \times X_i \times m_b \quad [S3]$$

$$\frac{\alpha t^3}{3} = Q \quad [S4]$$

$$\alpha t^2 = Q \quad [S5]$$

$$\sqrt[3]{\frac{3Q}{\alpha}} = t \quad [S6]$$

Total avgiven energi för en effektutveckling som följer ett αt^2 samband.

$$\frac{Q}{\dot{Q}} = t \quad [S7]$$

Tid till dess en viss energi avgivits med en konstant effektutveckling

Antaganden

- Till största delen polyesterbaserade material förväntas brinna
- Gaser antas uppträna som ideala gaser.
- Trycket antas till atmosfärstryck och oförändrat under brandförloppet, vilket bör vara rimligt eftersom lokalen har läckor.
- Väl omblandade förhållanden antas.
- Inga läckage antas till andra rum eller till det fria.

Resultat för kritisk sikt vid väl omblandade förhållanden

Sikt = 5 meter ger enligt ekvation S2 en optisk densitet per meter på $0,2 \text{ m}^{-1}$

Sikt = 10 meter ger enligt ekvation S2 en optisk densitet per meter på $0,1 \text{ m}^{-1}$

$$\Delta M = \frac{0,2 \times 3785}{0,75} = 1009 \text{ g} \quad [\text{insättning i S1}]$$

$$\Delta M = \frac{0,1 \times 3785}{0,75} = 505 \text{ g} \quad [\text{insättning i S1}]$$

$$Q_{\text{kritisk},5\text{m}} = 23,80 \times 0,7 \times 1009 = 16,8 \text{ MJ} \quad [\text{insättning i S3}]$$

$$Q_{\text{kritisk},10\text{m}} = 23,80 \times 0,7 \times 505 = 8,4 \text{ MJ} \quad [\text{insättning i S3}]$$

$$\sqrt[3]{\frac{3 \times 16800}{0,300}} = 55 \text{ s för 5 meters sikt} \quad [\text{insättning i S6}]$$

$$\sqrt[3]{\frac{3 \times 8400}{0,300}} = 43 \text{ s för 10 meters sikt} \quad [\text{insättning i S6}]$$

¹¹³ Mulholland, G., 2002.

$$0,300 \times 55^2 = 908 \text{ kW för 5 meters sikt} \quad [\text{insättning i S5}]$$

$$0,300 \times 43^2 = 555 \text{ kW för 10 meters sikt} \quad [\text{insättning i S5}]$$

Slutsats

Tiden till kritiska siktförhållanden vid välomblandade förhållanden är enligt ovan 43 s för 10m sikt och 55 s för 5 m sikt.

Scenbrand i valhall

Använda värden

$D_{m, \text{trä}}$	$0,17 \text{ m}^2/\text{g}^{114}$
Total Volym, V_T	3785 m^3 (inräknat Valhall, Foajé, Entré och garderober)
α	Fast ($0,047 \text{ KW/s}^2$) ¹¹⁵
ΔH_c	$19,50 \text{ kJ/g}^{116}$

Antaganden

- Till största delen träbaserade material förväntas brinna
- Gaser antas uppträna som ideala gaser.
- Trycket antas till atmosfärstryck och oförändrat under brandförloppet, vilket bör vara rimligt eftersom lokalen har läckor.
- Väl omblandade förhållanden antas.
- Inga läckage antas till andra rum eller till det fria.

Resultat för kritisk sikt väl omblandade förhållanden

Sikt = 5 meter ger enligt ekvation S2 en optisk densitet per meter på $0,2 \text{ m}^{-1}$.

Sikt = 10 meter ger enligt ekvation S2 en optisk densitet per meter på $0,1 \text{ m}^{-1}$.

$$\Delta M = \frac{0,2 \times 3785}{0,17} = 4453 \text{ g} \quad [\text{insättning i S1}]$$

$$\Delta M = \frac{0,1 \times 3785}{0,17} = 2226 \text{ g} \quad [\text{insättning i S1}]$$

$$Q_{\text{kritisk},5m} = 19,50 \times 0,7 \times 4453 = 60,8 \text{ MJ} \quad [\text{insättning i S3}]$$

$$Q_{\text{kritisk},10m} = 19,50 \times 0,7 \times 2226 = 30,4 \text{ MJ} \quad [\text{insättning i S3}]$$

$$\sqrt[3]{\frac{3 \times 60800}{0,047}} = 157 \text{ s} = 2 \text{ min } 37 \text{ s för 5 meters sikt} \quad [\text{insättning i S6}]$$

$$\sqrt[3]{\frac{3 \times 30800}{0,047}} = 125 \text{ s} = 2 \text{ min } 5 \text{ s för 10 meters sikt} \quad [\text{insättning i S6}]$$

¹¹⁴ Mulholland, G., 2002.

¹¹⁵ se Bilaga A – Val av effektkurvor

¹¹⁶ Drysdale, D., 2002.

Vad är effekten då kritiska förhållanden inträffar

$$0,047 \times 157^2 = 1158 \text{ kW för 5 meters sikt} \quad [\text{insättning i S5}]$$

$$0,047 \times 125^2 = 734 \text{ kW för 10 meters sikt} \quad [\text{insättning i S5}]$$

Slutsats

Tiden till kritiska siktförhållanden vid välomblandade förhållanden är enligt ovan 2 min 5 s för 10m sikt och 2 min 37 s för 5 m sikt.

Teatern**Använda värden¹¹⁷**

D_m , trä	0,17 m ² /g
D_m , polyester	0,75 m ² /g
Viktat 20 % polyester och 80 % trä	0,286 m ² /g
Total Volym vid kritiska höjd	1950 m ³
Total volym 1m under kritisk höjd	2600m ³
α ¹¹⁸	Fast (0,047 KW/s ²)
$\Delta H_{c,teater}$ ¹¹⁹	20,36 kJ/g

Tiden till kritisk sikt, 10 och 5m, då brandgaserna ligger vid den kritiska höjden

$$\Delta M = \frac{0,1 \times 1950}{0,286} = 681g \quad [\text{insättning i S1}]$$

$$\Delta M = \frac{0,2 \times 1950}{0,286} = 1360g \quad [\text{insättning i S1}]$$

$$Q_{kritisk} = 20,36 \times 0,7 \times 681 = 9,7 \text{ MJ} \quad [\text{insättning i S2}]$$

$$Q_{kritisk} = 20,36 \times 0,7 \times 1361 = 19,4 \text{ MJ} \quad [\text{insättning i S2}]$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{9700 \text{ kJ} \times 3}{0,047}} = 85 \text{ s} = 1 \text{ min } 25 \text{ s} \quad [\text{insättning i S6}]$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{19400 \text{ kJ} \times 3}{0,047}} = 107 \text{ s} = 1 \text{ min } 47 \text{ s} \quad [\text{insättning i S6}]$$

Tiden till kritisk sikt, 10 och 5m, då brandgaserna ligger 1 m under kritiska höjden

$$\Delta M = \frac{0,1 \times 2600}{0,286} = 909g \quad [\text{insättning i S1}]$$

$$\Delta M = \frac{0,2 \times 2600}{0,286} = 1818g \quad [\text{insättning i S1}]$$

$$Q_{kritisk} = 20,36 \times 0,7 \times 1818 = 25,8 \text{ MJ} \quad [\text{insättning i S2}]$$

¹¹⁷ Mulholland, G., 2002.

¹¹⁸ se Bilaga A – Val av effektkurvor

¹¹⁹ se Bilaga B – CFAST

$$Q_{kritisk} = 20,36 \times 0,7 \times 1818 = 25,91 \text{ MJ} \quad [\text{insättning i S2}]$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{12960 \text{ kJ} \times 3}{0,047}} = 94 \text{ s} = 1 \text{ min } 34 \text{ s} \quad [\text{insättning i S6}]$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{19400 \text{ kJ} \times 3}{0,047}} = 118 \text{ s} = 1 \text{ min } 58 \text{ s} \quad [\text{insättning i S6}]$$

Slutsats

Om brandgaslagret anses ligga vid den kritiska höjden understiger sikten 10 m efter 1 min och 25 s och 5 m efter 1 min och 47 s. Då brandgaslagret ligger en meter under den kritiska höjden tar det 1 min 34 s till sikten understiger 10 m och 1 min 58 s tills sikten understiger 5 m. Dessa tider ligger inom ett intervall mellan 1 min 30 s och 2 min. Utifrån detta kan man säga att personerna längst bak i salongen kommer att utsättas för kritiska siktförhållanden, 10 m efter ca 1 min 30 s och 30 s senare för sikt understigande 5 m.

Sprinklers inverkan på brandförloppet

För att ta reda på hur det sprinklersystem som föreslagits kan tänkas påverka de sprinklerkontrollerade bränderna så har följande ekvation använts:

$$\dot{Q}(t - t_{act}) = \dot{Q}(t_{act}) \exp\left[\frac{-(t - t_{act})}{3,0(\dot{w}'')^{-1,85}}\right] \quad [\text{F16}]^{120}$$

Där

\dot{Q}	är effektutvecklingen	[kW]
t	är någon tid efter t_{act} för sprinklersystemet	[s]
\dot{w}''	är sprinklerflödet	[mm/s]

Formeln är framtagen för fullt utvecklade bränder i träkistor och tar egentligen inte hänsyn till om branden kan tänkas utvecklas efter att aktivering skett. En del i antagandet som formeln bygger på är alltså att sprinklersystemet begränsar brandens spridning vid aktivering. Formeln är validerad för bränslen som inte är skyddade av något annat objekt och för sprinklerflöden på minst 4,2 mm/min. Modellen är bekräftad för träkistor med en höjd mellan 305 och 610 mm och dessa bör anses svårsläckta i relation till många andra bränslen eftersom brand i träkistor sätter sig på djupet. Vid redovisning av formeln anges också av upphovsmännen att försök gjorts på brand i mer utspridd inredning och att sprinklersystemet då gett snabbare bekämpning av branden.

Scenario 1 – Brand i Garderob i Valhall

Vid brand i garderob har två effektutvecklingar utvärderats, dels en som är kontrollerad med det befintliga sprinklersystemet och dels med det sprinklersystem som föreslagits som en åtgärd. I båda fallen består branden av kläder och det stora plastinnehållet skulle kunna ge upphov till någon form av pölbrand eller en djupt förankrad brand då kläder faller till golvet. I båda fallen har effektutvecklingen antagits enligt αt^2 -modellen med ett α på 0,3 kW/s² och hänsyn har tagits till att effektutvecklingen blir ventilationskontrollerad om detta sker före aktivering¹²¹.

¹²⁰ Flemming, 2002.

¹²¹ se bilaga D - Detact för hur detta har beräknats.

Befintligt sprinklersystem

Sprinkleraktivering sker i detta fall efter det att övertändning skett och bränslet kan antas vara fullt involverad i detta skede. Aktivering antas ske efter 120 s och effektutvecklingen är då cirka 4,6 MW⁶. Resultaten av beräkningarna visas nedan i diagram F1.

Använda värden:

- \dot{Q} sätts till 4600 kW i ursprungsfallet vilket är effekten då sprinklersystemet antas aktivera.
- t sätts att öka kontinuerligt med 10 s intervall för att få önskad noggrannhet i resultaten.
- \dot{w}'' sätts till $\frac{5}{60}$ mm/s vilket är det lägsta kravet för något sprinklerhuvud i en sprinkleranläggning i en byggnad med den antagna riskklassen N1¹²².

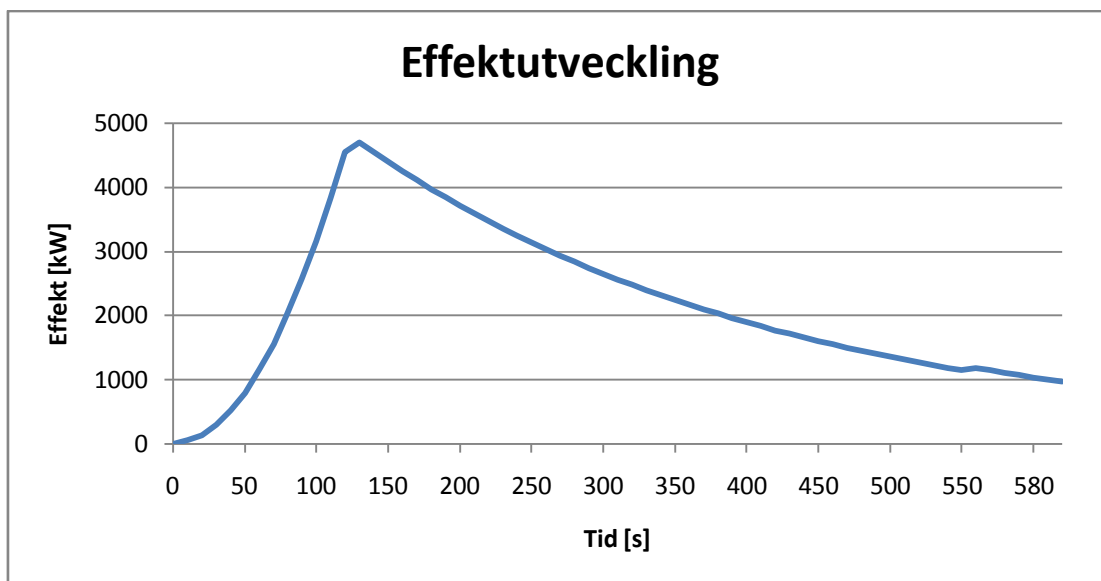


Diagram F1 Beräknad sprinklerpåverkan med befintligt sprinklersystem

Med sprinklersystem så som det föreslagits i kapitlet åtgärder

Sprinklersystemet aktiverar med detta system innan branden blivit ventilationskontrollerad. Aktivering sker efter ungefär 70 s och vid en effektutveckling på cirka 1,3 MW⁶. Resultaten av beräkningarna visas nedan i diagram F2.

Använda värden:

- $\dot{Q}(t - t_{act})$ sätts till 1300 kW vilket är den effekt branden har då sprinklersystemet antas aktivera.
- t sätts att öka kontinuerligt med 10 s intervall för att få önskad noggrannhet i resultaten.
- \dot{w}'' sätts till $\frac{5}{60}$ mm/s vilket är det lägsta kravet för något sprinklerhuvud i en sprinkleranläggning i en byggnad med den antagna riskklassen N1¹²³.

¹²² se kapitel 3 - Befintligt brandskydd

¹²³ Ibid

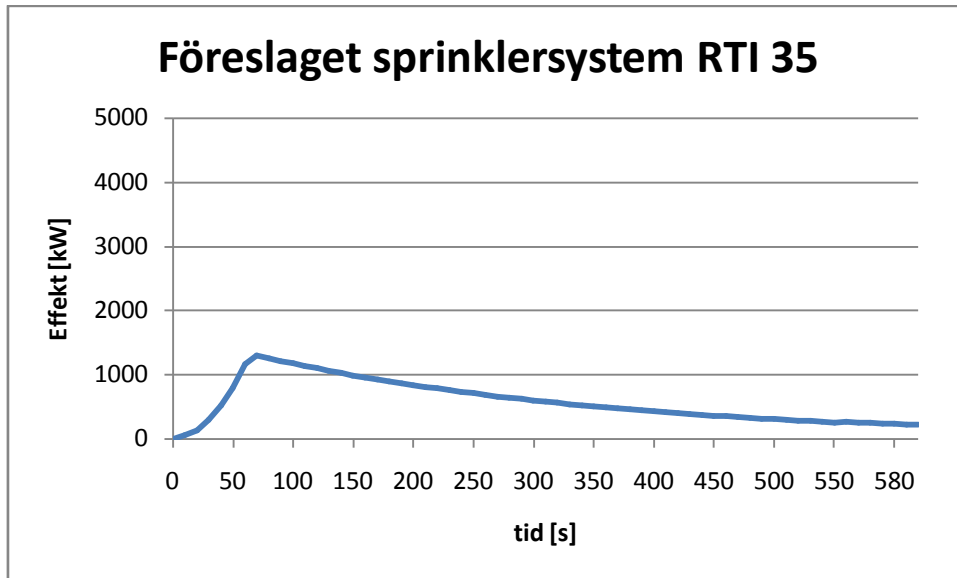


Diagram F2 Beräknad effektutveckling med sprinklersystem föreslaget som åtgärd

Diskussion

Det som talar mot resultaten är att modellen inte är framtagen eller validerad för plastbränder eller för bränder som kan tillväxa efter sprinkleraktivering vilket den aktuella branden skulle kunna göra. Dessutom finns viss risk att brand i syntetiska material och plaster ger upphov till någon form av pölbrand vilket skulle kunna göra sprinklersystemet delvis ineffektivt. Det som å andra sidan ger resultaten rättfärdigande är att sprinklersystemet kommer väta icke antänt brännbart material i rummet och ha en påverkan som begränsar spridning av branden. I fallet med det befintliga sprinklersystemet skall det också nämnas att sprinklersystemet aktiveras efter att rummet blivit övertänt, vilket medför att bränslet är fullt involverat vid sprinkleraktivering precis som vid framtagandet av modellen.

Slutsats

Enligt beräkningarna sker en betydlig reduktion av brandens effekt efter att sprinklersystemet aktiverats. Viss försiktighet bör dock vidtas vid analys av resultatet eftersom modellen inte är direkt tillämpbar i det aktuella fallet. Resultaten anses ändå relevanta och bör ge en fingervisning till vad man kan förvänta sig av sprinklersystemet.

Scenario 2 – Brand på scen i Valhall

Vid brand på scen har två effektutvecklingar utvärderats, dels en som är kontrollerad med det befintliga sprinklersystemet och dels med det sprinklersystem som föreslagits som en åtgärd. Bränslet på scenen består i båda fall mestadels av trä och i båda fallen har effektutvecklingen antagits enligt αt^2 -modellen med ett α på 0,047 kW/s².

Befintligt sprinklersystem

Sprinklersystemet antas aktiveras efter 260 sekunder vid en maxeffekt på cirka 3,2 MW⁶. Resultaten av beräkningarna visas nedan i diagram F3.

Använda värden:

$\dot{Q}(t - t_{act})$ sätts till 3200 kW vilket är den effekt branden har då sprinklersystemet antas aktivera.
 t sätts att öka kontinuerligt med 10 s intervall för att få önskad noggrannhet i resultaten.

\dot{w}'' sätts till $\frac{5}{60}$ mm/s vilket är det lägsta kravet för något sprinklerhuvud i en sprinkleranläggning i en byggnad med den antagna riskklassen N1¹²⁴.

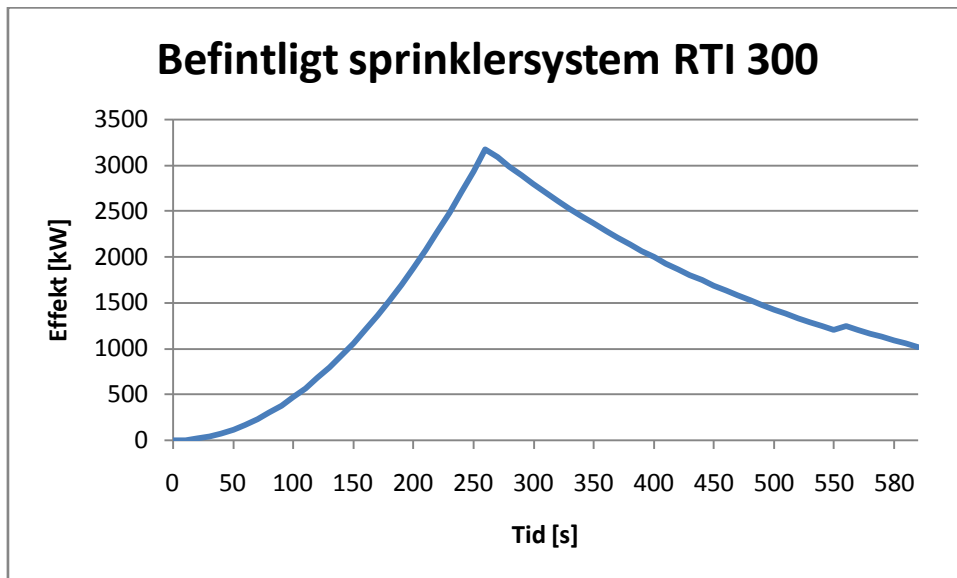


Diagram F3 Beräknad effektutveckling med befintligt sprinklersystem

Med sprinklersystem så som det föreslagits i kapitlet åtgärder

Sprinklersystemet antas aktivera efter 150 s vid en maxeffekt på 1,05 MW¹²⁵. Resultaten av beräkningarna visas nedan i diagram F4.

Använda värden:

$\dot{Q}(t - t_{act})$ sätts till 1050 kW vilket är den effekt branden har då sprinklersystemet antas aktivera.
 t sätts att öka kontinuerligt med 10 s intervall för att få önskad noggrannhet i resultaten.

\dot{w}'' sätts till $\frac{5}{60}$ mm/s vilket är det lägsta kravet för något sprinklerhuvud i en sprinkleranläggning i en byggnad med den antagna riskklassen N1¹²⁶.

¹²⁴ se kapitel 3 - Befintligt brandskydd

¹²⁵ se bilaga D - Detact

¹²⁶ se kapitel 3 - Befintligt brandskydd

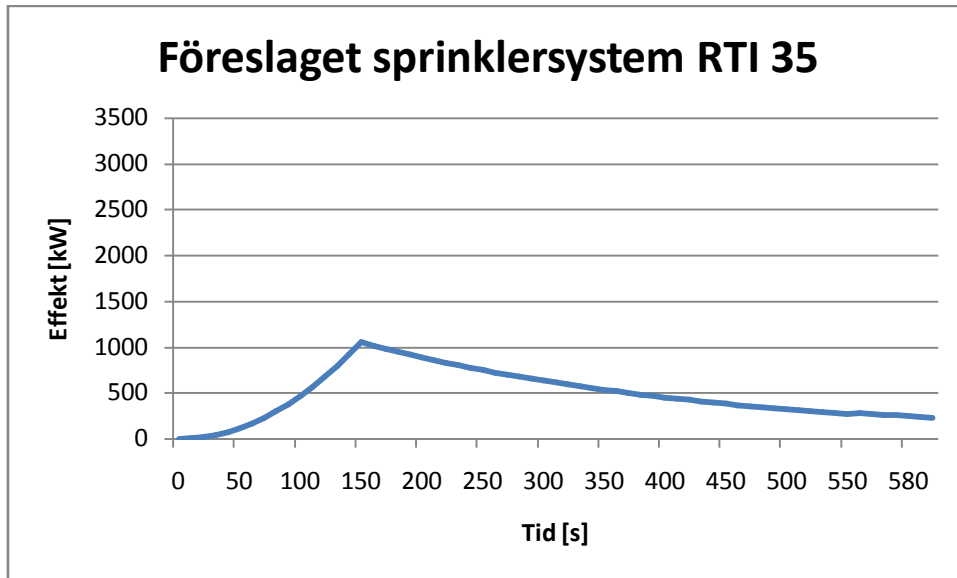


Diagram F4 Beräknad effektutveckling med sprinklersystem föreslaget som åtgärd

Diskussion

Modellen är framtagen för just brand i trä vilket gör att resultaten antagligen är ganska rimliga för detta scenario. Det som talar emot modellen är att den inte är validerad för de uppställningar som kan tänkas finnas på en scen och heller inte för bränder som kan tänkas tillväxa efter att sprinklersystemet aktiverats. Sprinklersystemet kommer antagligen väta ytor vid aktivering och hindra spridning även om det kan finnas uppställningar på scenen som förhindrar vattnet från att nå brandkällan.

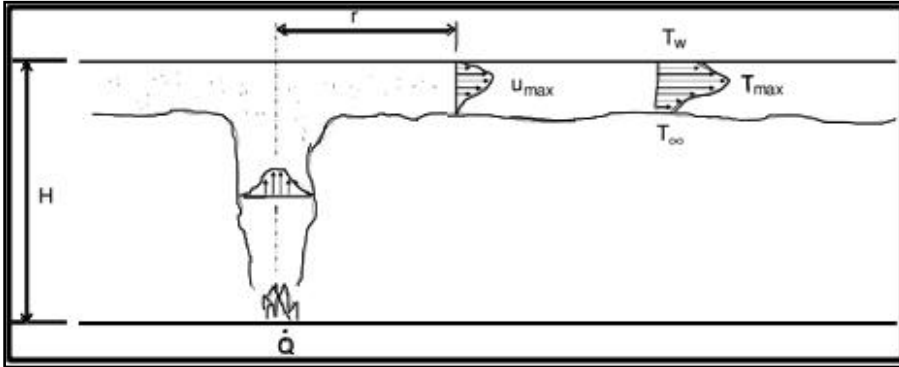
Slutsats

Resultaten visar på att sprinklersystemet kraftigt reducerar brandens effekt efter aktivering. Modellen är relevant för scenariot och förutsättningarna stämmer ganska väl överrens med det aktuella fallet. Beräkningarna anses inte exakta men resultaten bör ändå ses som en tydlig fingervisning för systemets möjliga inverkan.

Ceiling Jet beräkningar

Då både Valhall och Teatern är stora byggnader är det av intresse att kunna uppskatta brandgasernas transporttider i byggnaderna. För dessa uppskattningar används Alperets Ceiling Jet korrelation.

Alperets Ceiling Jet korrelation



Figur F3 Beskrivande bild över korrelationens storheter

Korrelationen bygger på att det inte finns några hinder i taket och att brandgaserna breder ut sig radiellt i rummet. Hastigheten är nära branden helt oberoende av r . Längre ifrån brandkällan kommer hastigheten vara proportionell mot $r^{-5/6}$, detta gäller då $r/H > 0,15$. För Valhall och teatern inträffar detta för en radie större än 0,5 m respektive 1m.

Hastigheten beräknas enl. F1 då $r/H > 0,15$

$$u_{max} = \frac{0,195 \dot{Q}^{1/3} H^{1/2}}{r^{5/6}} \quad [F16]^{127}$$

u_{max}	Max hastigheten i takstrålen [m/s]
\dot{Q}	Effektutveckling [kW/s]
H	Höjden till taket [m]
r	Utbredningsradie [m]

Denna korrelation är endast giltig för en konstant effektutveckling och då brandförloppet inget brandgaslager har bildats. För att få en uppfattning om hur lång tid det tar för brandgaserna att transporteras till utkanterna av rummen har formeln vidareutvecklats. \dot{Q} antas vara tidsberoende och u_{max} kunna ersättas med $\frac{dr}{dt}$.

$$\dot{Q} = \alpha t^2$$

$$u_{max} = \frac{dr}{dt}$$

$$\frac{dr}{dt} = \frac{0,195 \times \alpha^{1/3} \times t^{2/3} \times \sqrt{H}}{r^{5/6}}$$

$$r^{5/6} dr = 0,195 \times \alpha^{1/3} \times \sqrt{H} \times t^2 dt$$

¹²⁷ Karlsson, B., Quintiere, J. G., 2000.

$$\int_{r_0}^r r^{5/6} dr = 0,195 \times \alpha^{1/3} \times \sqrt{H} \int_0^t t^{2/3}$$

$$\frac{6}{5} r^{11/6} - \frac{6}{5} r_0^{11/6} = 0,195 \times \alpha^{1/3} \times \sqrt{H} \times \frac{3}{5} t^{5/3}$$

$$t = \left(\frac{\left(\frac{6}{5} r^{11/6} - \frac{6}{5} r_0^{11/6} \right)}{0,195 \times \alpha^{1/3} \times \sqrt{H} \times \frac{3}{5}} \right)^{3/5} \quad [\text{F17}]$$

t = Tiden till en viss radie är nådd [s]

r_0 = Ursprungsradien då hastigheten börjar bli beroende av radien [m]

Analytisk lösning av Alperets Ceiling Jet korrelation för en transient effektutveckling

I Excel har effekten plottats för varje sekund, därefter har för varje sekund hastigheten beräknats över ett tvåmeters intervall ut till ytterpunkterna av lokalen. En medelhastighet för varje sekund har sedan beräknats. Med vetskap om brandgaserna hastighet för varje sekund har vi beräkna sträckan de rör sig varje sekund. På detta sätt har sedan tiden till brandgaserna når ytterkanterna av rummet beräknats. Antaganden för dessa beräkningar är desamma som för beräkningar med F17.

Teater

Då det är stora avstånd mellan scenen och bakre delen av salongen är det intressant hur lång tid det kan tänkas ta för brandgaserna att nå bakre delen av salongen. Tiden har beräknats med hjälp av F17 och sedan jämförs med den analytiska lösningen i Excel.

Antaganden:

- Taket i scenen och salongen är lika höga
- Platt tak utan hinder
- Radiell utbredning
- Ändring av Q påverkar inte U_{\max}

Ingångsvärden

Takhöjd 7,1 m

r 26,9 m

α 0,047 kW/s²

$r_0 = H \times 0,15 = 7,1 \times 0,15 = 1,1 \text{ m}$

Total sträcka som brandgaserna ska transporteras är 28 m
Geometrisk antaganden är gjorda utifrån CFAST – modellen

$$t = \left(\frac{\left(\frac{6}{5} 27^{11/6} - \frac{6}{5} 1,1^{11/6} \right)}{0,195 \times 0,047^{1/3} \times \sqrt{7,1} \times \frac{3}{5}} \right)^{3/5} = 84 \text{ s} \quad [\text{Insättning i F17}]$$

Analytisk lösning i Excel

Den analytiska lösningen ger en tid på 82s tills brandgaserna transporterats 28m.

Slutsats

Dessa värden stämmer bra överens och man kan dra slutsatsen att brandgaserna når bakre delen av salongen efter ca 80s. Antagandet om ett platt tak stämmer inte i verkligheten, men antagandet måste göras för beräkningarna. Detta antagande kommer att vara konservativ då en takstråle färdas snabbare i ett utrymme med platt tak än spridningen då brandgaserna når övre kanten på öppningen till salongen. I teatern antas fri radiell utbredning av brandgaserna men detta stämmer inte då sträckan till andra väggar än bakre delen av salongen är mycket kortare. Detta skulle ge en snabbare tid till spridning ut i salongen än beräkningarna visar men detta fångas upp av antagandet om platt tak. Hur en transient effektutveckling påverkar hastigheten är svårt att kontrollera men då dessa tider endast används som riktvärden görs detta antagande.

Valhall Scenbrand

I detta scenario är avståndet från scenen till den västliga utrymningsvägen intressant då dess höjd är avgörande för kritiska förhållanden.

Antaganden:

- Taket i scenen och salongen är lika höga
- Platt tak utan hinder
- Radiell utbredning
- Ändring av Q påverkar inte U_{\max}

Ingångsvärden

Takhöjd 3,2 m

r 23 m

α 0,047 kW/s²

$r_0 = H \times 0,15 = 7,1 \times 0,15 = 1,1 \text{ m}$

Total sträcka som brandgaserna ska transporteras är 28 m

Geometriska antaganden är gjorda utifrån CFAST – modellerna. För att få ett plant tak har höjden beräknats utifrån konstant volym.

$$t = \left(\frac{\left(\frac{6}{5} 23^{11/6} - \frac{6}{5} 0,48^{11/6} \right)}{0,195 \times 0,047^{1/3} \times \sqrt{3,2} \times \frac{5}{3}} \right)^{3/5} = 90 \text{ s} \quad [\text{Insättning i F17}]$$

Analytisk lösning i Excel

I den analytiska lösningen ger en tid på 87 s tills brandgaserna transporterats 23m

Slutsats

Dessa värden stämmer bra överens och man kan dra slutsatsen att brandgaserna når den västra utrymningsvägen efter ca 90 s. Antagandet om ett platt tak stämmer inte i verkligheten, men antagandet måste göras för beräkningarna. Detta antagande kommer att vara konservativ då taket i valhall inte är helt platt. Från scenen antas fri radiell utbredning av brandgaserna men detta stämmer inte då scenen endast är öppen i en halvcirkel ut mot valhall. Detta skulle ge en snabbare tid till spridning ut i lokalen än beräkningarna visar men detta fångas delvis upp av antagandet om platt tak. Hur en transient effektutveckling påverkar hastigheten är svårt att kontrollera men då dessa tider endast används som riktvärden görs detta antagande.

BILAGA G – GARDEROBSBRAND TEATERN

En eventuell brand i garderoben på våningsplan 2 i teatern har inte valts att utredas i rapporten. I det tidiga skedet av rapportskrivningen antogs sannolikheten för en brand här som låg då det inte finns några konkreta/direkta antändningskällor. Dock skulle en brand i garderoben kunna eskalera snabbt och nå en hög effektutveckling vilket kan resultera i allvarliga konsekvenser.¹²⁸ För helhetens skull har det valts att diskutera detta scenario i denna bilaga.

Garderoben har plats för 500 jackor som kan hängas upp längs väggen. Garderoben hänger ihop med foajén via två trappor som finns i vardera änden av utrymmet och foajén är i sin tur är sammanhängande med balkongvåningen. Det finns dessutom ett flertal toaletter och två gåingar som leder in till teatern. Se figur G1 nedan.



Figur G 1 Översiktsbild av garderoben på våning 2

I utrymmet finns inga detektorer vilket gör att en brand i kläderna kan eskalera snabbt utan att någon upptäcker den i ett tidigt skede. Brandgaser skulle kunna spridas via trapporna upp i salongen och foajén vilket skulle försvåra utrymning. Dessutom antas ytterkläder ha en hög rökpotential vilket försämrar sikten¹²⁹. Skulle dörrarna i trapporna från garderoben till salongen stå stängda skulle brandgasspridningen begränsas till foajén. I detta läge kan utrymning av teatersalongen ske dels genom utrymningsvägen från salongen mot Billingen, dels från scenen till lastkajen.

Förutom jackorna är det inte mycket brännbart material som skulle kunna delta i en brand. Golvet, taket och väggarna är av stenmaterial. Däremot är trapporna som leder in till teatern täckta av heltäckningsmattor vilka skulle kunna bidra med kraftig rökutveckling om de börjar att pyrolyseras. Detektorerna som bör aktivera är de som finns i foajén och på balkongvåningen. Avståndet mellan dessa och garderoben är stort och delar av väggen i foajén är av glas, vilket skulle kunna kyla av brandgaserna och försämma stikraften. På grund av detta förväntas detektion ske sent i brandförloppet.

¹²⁸ se bilaga A - Val av effektkurvor, garderobsbrand

¹²⁹ Ibid

För att trygga utrymning av teatern är det viktigt att dörrarna som leder till salongen från trapporna till garderoben inte står uppställda på något vis. Dessutom bör detektion kunna ske snabbare än vad den skulle göra i dagsläget.

Figur G2 visar hängarna i en del av garderoben.



Figur G2 Foto från garderoben i teatern

BILAGA H – HANDBERÄKNINGAR PÅ FÖRFLYTTNINGSTIDER

I denna bilaga beräknas utrymningstider i Valhall. Detta har gjorts då Valhall är en komplex lokal och det är svårt att veta om resultaten från Simulex är sanningsenliga eller ej. Beräkningarna har gjorts utifrån den plats i lokalen där det är troligast att en flaskhals uppstår. Personfördelningen mellan utrymningsvägarna är desamma som i de som antagits tidigare i rapporten¹³⁰. Även varseblivningstid, beslutstid och reaktionstid är desamma som tidigare.

Scenario 1 - Brand i garderob i Valhall

I detta scenario är det trappor och dörröppningar som kommer utgöra störst hinder för utrymning. I beräkningarna antas 1,3 personer per meter och sekund kunna passera genom en dörr och 1 person per meter och sekund kunna passera en trappa¹³¹. Istället för att titta på hur gästerna fördelas över olika utgångar har en sammanslagning av dörrbredder och längder på trappor gjorts. Värdena som använts är:

Antal gäster	1200 pers
Utrymningsvägarnas sammanlagda bredd	5,9 m
Trappornas sammanlagda bredd	6,0 m
Dimensionerande flöde dörrar	1,3 pers/m/s
Dimensionerande flöde trappor	1,0 pers/m/s

Total dörrbredd är 5,9 meter vilket innebär att 7,7 personer kan ta sig igenom per sekund. För 1200 personer blir den totala tiden 156 sekunder. Då utrymning inleds efter 120 sekunder¹³² medför det en total tid på ungefär 4,5 minuter.

Om det istället för dörrbredderna är trappornas bredd som används blir tiden för att samtliga ska ta sig förbi ungefär densamma. Då trappornas sammanlagda bredd är 6 meter kan 6 personer per sekund ta sig förbi. För 1200 personer blir den totala tiden 200 sekunder. Då utrymning inleds efter 120 sekunder¹³³ medför det en total tid på ungefär 5 minuter.

Dessa tider stämmer inte så väl överens med resultaten från simuleringarna i Simulex. Men då hänsyn ej tagits till förflyttningstider för raka sträckor eller för den komplexitet som finns i Valhalls utrymningsvägar i dessa beräkningar så är de svåra att jämföra med tiderna från Simulex. Dessutom har det inte tagits hänsyn till att utrymningsvägarna är ganska långa då lokalen ligger under markplan. Tiderna från dessa beräkningar överstiger i vilket fall tiden till kritiska förhållanden, vilket stärker slutsatsen att utrymning inte går att genomföra innan kritiska förhållanden nås.

¹³⁰ se Simulering i Simulex under respektive scenarios kapitel

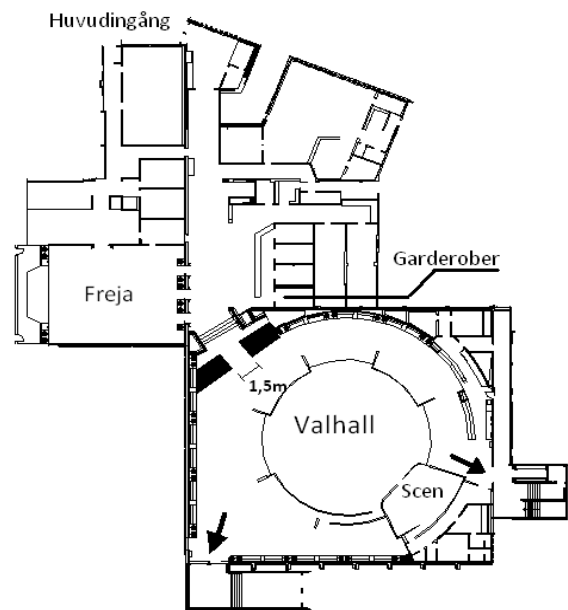
¹³¹ Nelson, HE., Mowrer, FW., 2002.

¹³² se avsnitt 7.3 för scenario 1

¹³³ Ibid

Scenario 2 - Brand på scen i Valhall

I detta scenario är lokalen dukad och en brand uppstår på scenen. Det är troligt att det kommer bli mest trångt vid borden som placerats tätt precis vid uppgången mot foajén och huvudingången. I figur H1 visas hur utgången kan vara blockerad av bord med 1,5 meters bredd mellan. Blockeringen behöver inte se ut precis som i figuren men då detta är den värsta troliga blockeringen används denna uppställning för dessa beräkningar. I beräkningarna antas 1,3 personer per meter och sekund kunna passera¹³⁴. Då en majoritet, 75 %, av personerna i lokalen utrymmer genom huvudingången görs endast beräkningar för dessa. Detta då utrymningstiderna för de övriga med marginal kommer att understiga tiden för de



Figur H 1 Exempel på hur bord kan utgöra hinder i Valhall

som utrymmer genom huvudingången. Totalt kommer 412 personer att utrymma genom huvudingången, av dessa kommer 25 % att påbörja utrymning efter 50 s, 50 % efter 70 s och 25 % efter 100 s.¹³⁵ Beräkningar är gjorda i Excel, och antagandet har gjorts att när personerna påbörjar utrymning ställer de sig i kö för att komma förbi hindret. Då öppningen mellan hindren är 1,5 m bred kommer ungefär 2 personer per sekund att kunna passera. I tabell H1 nedan redovisas viktiga delar av beräkningarna.

Tabell H1 Personer som passerat hindret vid olika tidpunkter

Tid [s]	Personer som passerat hinder	Personer som köar
50	0	103
70	40	269
100	100	312
257 (4,3 min)	412	0

Detta betyder att alla personer har passerat hindret efter drygt 4 min, detta är dock inte hela utrymningstiden. Personerna måste gå hela vägen genom foajén och entrén och ut genom huvudingången för att fullständig utrymning ska vara genomförd. Detta medför att utrymningstiden är 1 - 2 min längre än denna tid och den totala utrymningstiden blir då 5 - 6 minuter. Beräkningarna stärker resultaten från simuleringarna i Simulex och kan antas vara konservativa då utrymningens bredd är kraftigt minskad.

¹³⁴ Nelson, HE., Mowrer, FW., 2002.

¹³⁵ se avsnitt 8.3 för scenario 2

BILAGA I - OBSERVATIONER VID BESÖK

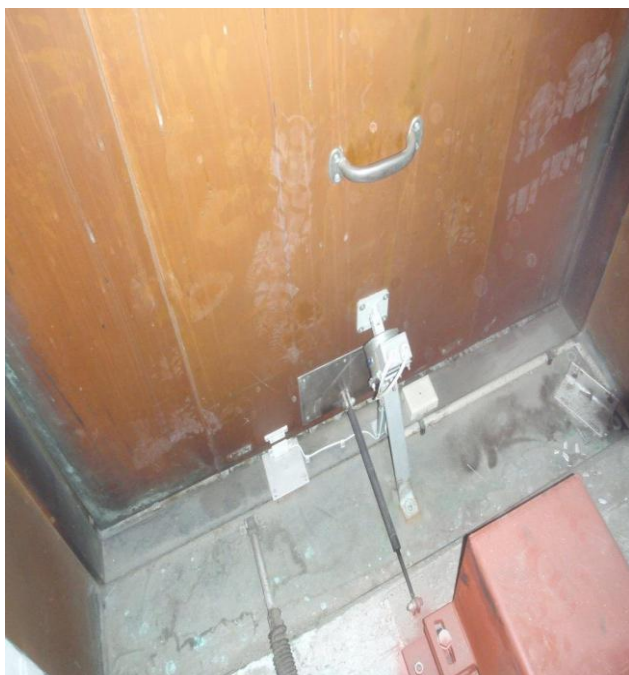
Under besöket på Skövdes Kulturhus gjordes en del observationer angående det befintliga brandskyddet. Vissa utrymningsvägar belamras med materiel och används som förråd eller soprum.



Figur I1 Utrymningsväg från teatern till Valhall



Figur I2 Den mindre utrymningsvägen ur Valhall



Figur I3 Icke fungerande brandgasventilation i teatern

BILAGA J - ENKÄTUNDERSÖKNING

Enkäten var riktad till personal som jobbar vid olika event i Valhall, Skövdes Kulturhus. Syftet med enkäten var att undersöka hur väl personalen är införstådda med säkerhetsrutinerna i byggnaden. Främst ligger vikten vid utrymnings säkerhet då det är vid utrymning som personalen kan göra en avgörande insats. Personalen framstår informerade om hur och var de själva och gäster ska utrymma, även att utrymningsvägar ska hållas fria. Dock verkar det finnas osäkerheter i vilka uppgifter var och en har vid en eventuell brand. Ändå känner sig personalen trygga med lokalen och upplever att situationen vid evenemang känns säker. Då inga brandövningar eller utbildning sker skulle denna trygghet kunna grunda sig i okunskap, detta är dock ingen slutsats man med stor säkerhet kan dra. Däremot visar enkäten att kunskaper om hur funktionshindrade utrymmer är bristfällig. Det påpekas även av personal att utrymnings säkerheten känns osäker för funktionshindrade. De viktigaste slutsatserna från denna undersökning är att personalen borde utbildas, att de får delta i brandövningar och att utrymnings situationen för funktionshindrade måste förbättras.

Enkätundersökningen är utförd i inledningsskedet av rapporten, många frågor saknas och den är inte heltäckande. Några säkra slutsatser går inte att dra men den ger en uppfattning om personalens kunskaper och åsikter om brandsäkerheten.

Sammanställning av enkätundersökningen

Totalt 7 svar:

	Ja	Nej
Vet du var du ska utrymma lokalen i händelse av brand?	7	0
Vet du var gästerna kan utrymma i händelse av brand?	6	1
Brukar alla utrymningsvägar hållas fria?	7	0
Stängs musiken av då brandlarmet aktiveras (Valhall)?	7	0
Har du deltagit i någon brandövning?	0	7
Vet du vilken din uppgift är vid brand?	3	4
Vet du var brandsläckarna finns placerade?	5	2
Vet du hur funktionshindrade utrymmer lokalen?	1	6
Finns det någon som har till uppgift att hjälpa funktionshindrade?	1	6

Upplever du situationen säker vid event/föreställning? (7 olika svar)

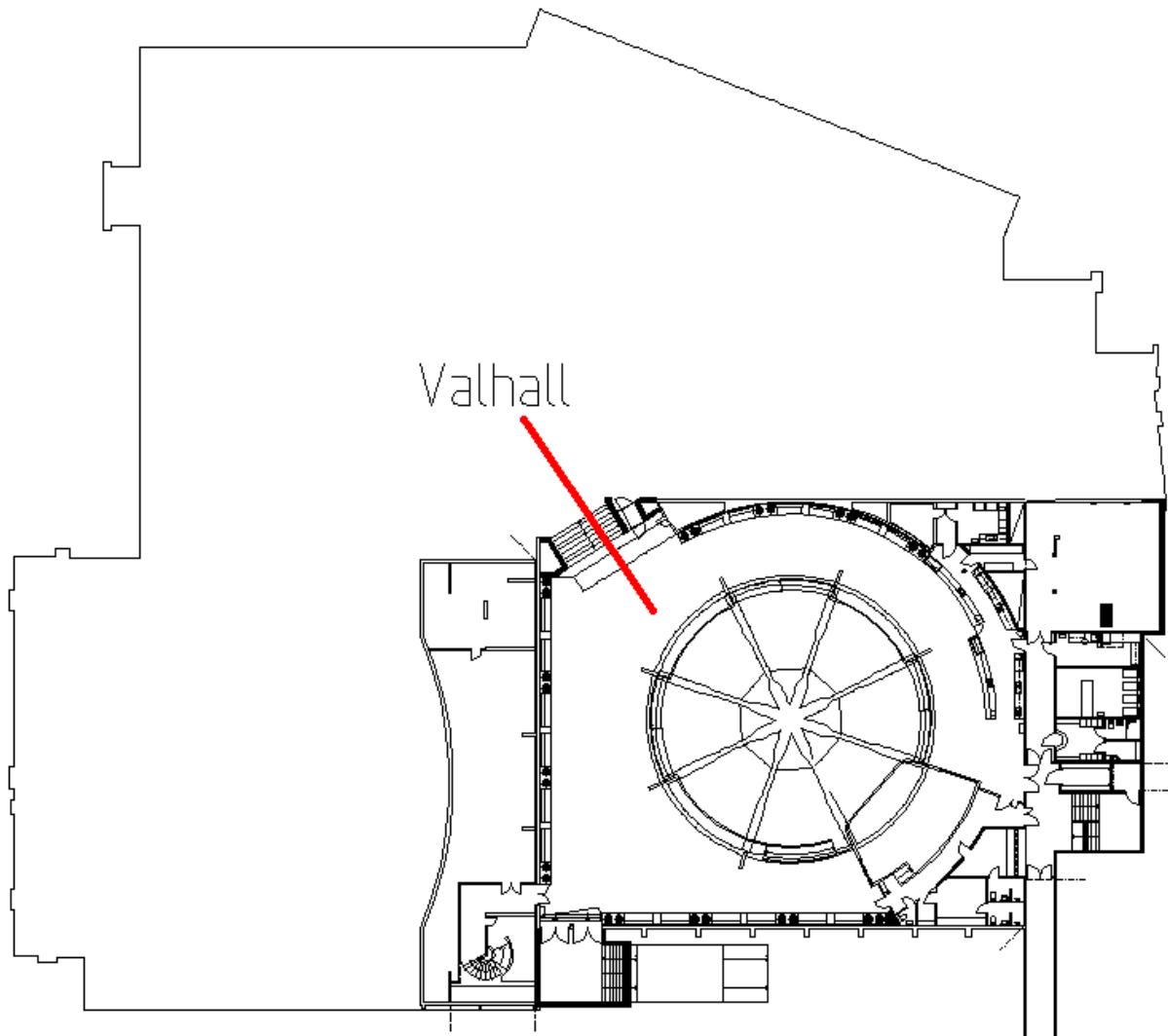
1. Ja för alla utom funktionshindrade
2. Jajamän
3. Ja det gör de
4. (svar saknas)
5. (svar saknas)
6. Säker
7. Den är säker

BILAGA K – RITNINGAR FRÅN OBJKTET

I denna bilaga visas tre ritningar över våningsplan 1, 2 och 3, på vilka lokalerna inom avgränsningarna ligger.

Våningsplan 1

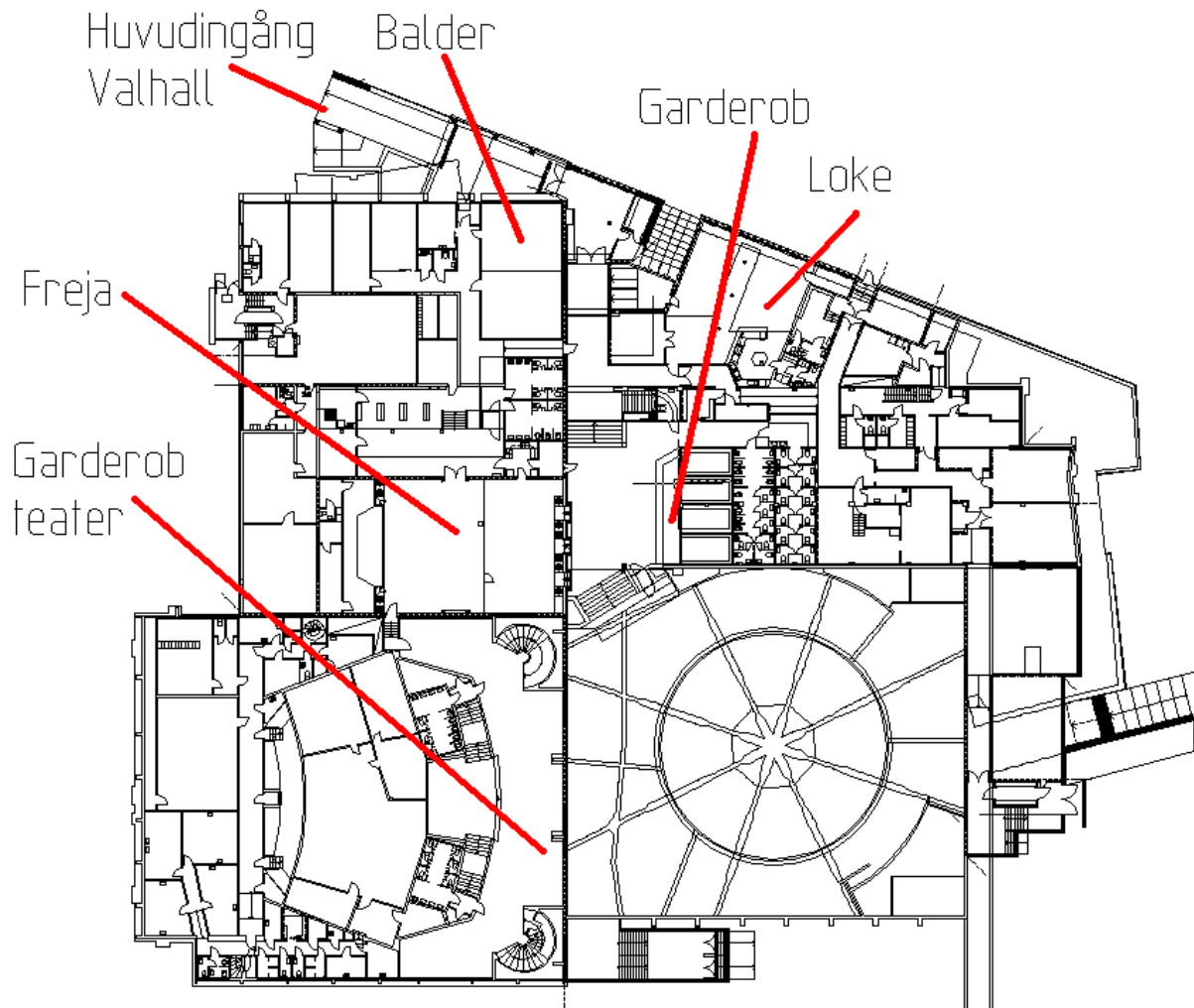
Våningsplan 1 ligger två våningar under markplan och inrymmer endast danslokalen Valhall. Från detta våningsplan leder en trappa upp till våningsplan 2, se figur K1.



Figur K1 Våningsplan 1

Våningsplan 2

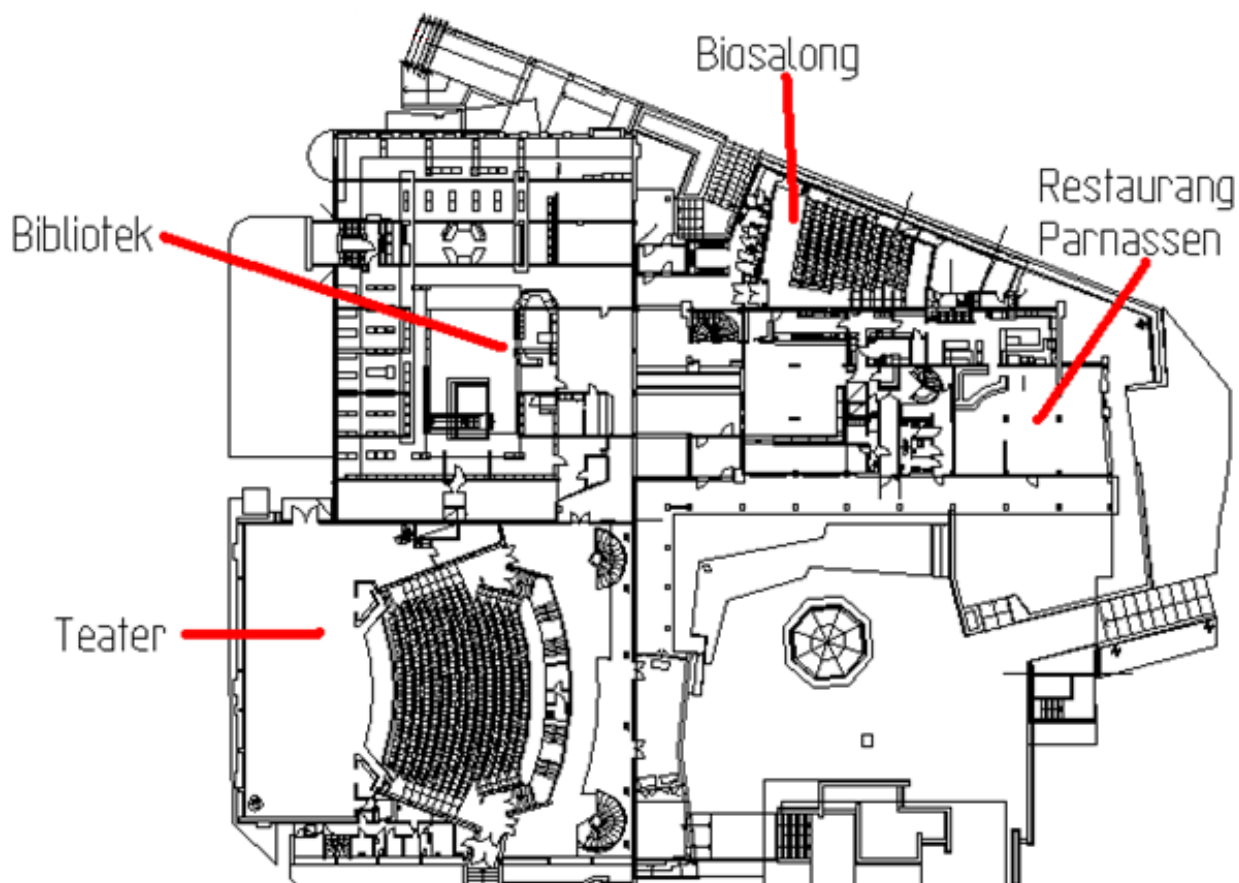
Våningsplan 2 ligger en våning under markplan, se figur K2. Bland annat finns Freja och Balder på detta våningsplan och även Loke som är ett ungdomscafé. Huvudingången till Valhall ligger på detta våningsplan och denna leder via en entré till garderoben. Teaterns garderob ligger även på detta våningsplan.



Figur K2 Våningsplan 2

Våningsplan 3

Våningsplan 3 är beläget på markplan och inrymmer många olika verksamheter, se figur K3. På detta våningsplan finns restaurang Parnassen, ett bibliotek och en biosalong. Även teatern är belägen på detta våningsplan och sträcker sig upp till våningsplan 4 i takhöjd.



Figur K3 Våningsplan 3

BILAGA L - NOMENKLATUR

ΔH_c	Förbränningsentalpi	[kJ/g]
$\Delta H_{c,teater}$	Viktat förbränningsvärme	[kJ/g]
$\Delta H_{c,valhall}$	Viktat förbränningsvärme	[kJ/g]
H_o	Öppningens höjd	[m]
$\Delta H_{c,O_2}$	Förbränningsvärmets för syre 13.2 MJ/kg ¹³⁶	[MJ/kg]
\dot{Q}	Effekten från branden	[kW]
\dot{Q}_{Max}	Maximala effektutvecklingen	[kW]
Q	Energi	[kJ]
\dot{Q}_v	Ventilationskontrollerad effekt	[kW]
t	Tid	[s eller min]
α	Tillväxthastigheten, materialberoende	[kW/s ²]
m	Massa	[g]
\dot{m}_a	Massflödet luft	[kg/s]
\dot{m}_{O_2}	Massflödet syre	[kg/s]
m_g	Massa gas	[g]
m_b	Massa bränsle	[g]
A, A_o	Area på öppning	[m ²]
H_o	Höjd på öppning	[m]
χ	Förbränningseffektivitet	[-]
OD	Optisk densitet i brandgaslagret	[m ⁻¹]
R	Allmänna gaskonstanten, 8,31	[Jmol ⁻¹ K ⁻¹]
P	Tryck	[kPa]
y	Avgiven massa toxisk gas per massenhet förbränt bränsle	[g/g]
M	Molmassa	[g/mol]
ΔM	Massa avbrunnet bränsle	[g]
D_L	Optisk densitet per meter	[m ⁻¹]
V	Volym	[m ³]
V_B	Brandgaslagrets volym	[m ³]
D_m	Rökpotential	[m ² /g]
ρ_a	Densitet på inströmmande luft	[kg/m ³]
ρ_g	Densitet brandgaser	[kg/m ³]
C_d	Flödeskoefficient	[-]
g	Gravitetskonstant, 9,81	[m/s ²]
c_p	Specifik värmekapacitet	[KJ/(kgK)]
T	Temperatur	[K eller °C]
T_a	Omgivande temperatur	[K]
r	Avståndet mellan brand och detektor	[m]
z	Höjd till brandgaslagret	[m]
n	Tillväxthastighet exponent	[-]
k	Konstant	[-]
L	Rumslängd	[m]
W	Rumsbredd	[m]
V	Volym brandgaser	[m ³]
ρ_a	Densiteten på inströmmande luft	[kg/m ³]
C_d	Flödeskoefficient	[-]

¹³⁶ Karlsson, B., Quintiere, J. G., 2000.