

Brandgasfyllnad i smala vertikala utrymmen

- En undersökning av metoder för att uppskatta brandgasfyllnad

Fredrik Stervik & Daniel Svensson

Department of Fire Safety Engineering
Lund University, Sweden

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet

Report 5389, Lund 2014

Brandgasfyllnad i smala, vertikala utrymmen

- En undersökning av metoder för uppskattning av brandgasfyllnad

Fredrik Stervik & Daniel Svensson

Lund, 2014

Titel/Title

Brandgasfyllnad i smala, vertikala utrymmen/Smoke filling in high enclosures with small areas

Av/By

Fredrik Stervik, Daniel Svensson

Rapport/Report 5389

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5389--SE

Number of pages: 90

Keywords

CFD, FDS, simulations, smoke filling, small areas, high enclosures, methods for smoke filling, SPSS, statistical analysis, linear regression, residual analysis

Sökord

CFD, FDS, simuleringar, brandgasfyllnad, liten area, höga utrymmen, metoder för brandgasfyllnad, SPSS, statistisk analys, linjär regression, residualanalys

Abstract

This report contains an evaluation of three different methods for determining smoke filling in high enclosures with small areas. The methods are here called: temperature difference method, first indication of smoke method, and visibility of ten meters method. Through numerical experiments in FDS and analysis in SPSS the three methods are analyzed and compared to see which one is most promising for producing a correlation of smoke filling in high enclosures with small floor areas. The report concludes that the temperature difference method is most promising; however does this method tend to be un-conservative. More research is needed before a correlation that is reliable can be produced.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2014.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60
Telefax: 046 - 222 46 12

Department of Fire Safety Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60
Fax: +46 46 222 46 12

Förord

Denna rapport är en del av kursen Examensarbete – Riskhantering (VBR920) som ges vid avdelningen för Brandteknik vid Lunds Tekniska Högskola (LTH). Kursen omfattar 30 högskolepoäng vilket motsvarar 20 veckors heltidsstudier.

Författarna vill rikta ett speciellt tack till:

- Nils Johansson, doktorand vid Brandteknik LTH samt handledare för examensarbetet.
- Robert Jönsson, före detta avdelningschef för Brandteknik LTH.
- Patrick Van Hees, Professor vid Brandteknik LTH samt examinator för examensarbetet.

Tack för all hjälp under arbetets gång!

Fredrik S, Daniel S

Göteborg, februari 2014

Sammanfattning

Denna rapport syftar till att genom simuleringar i datorprogrammet FDS undersöka vilken metod för bestämning av brandgaslager som är mest tillförlitlig för att ta fram en korrelation för brandgasfyllnad av smala, höga utrymmen. Tre metoder för att bestämma brandgaslagrets höjd studeras; de tre metoderna är baserade på temperaturdifferens, första indikation på brandgaser samt tio meters siktbarhet i utrymmet.

Undersökningen grundar sig enbart på CFD-simuleringar i FDS5, och således genomförs inga experiment. Analysen utfördes för ett fullständigt rökfyllnadsförlopp i ett utrymme. Cirka 120 stycken simuleringar genomfördes där fyra parametrar varierades. De fyra variablerna var brandens effektutveckling, utrymmets area, utrymmets höjd samt brandens placering i utrymmet. I tabellen nedan presenteras variablernas intervall.

Sammanfattning av de variabler som varierats i simuleringarna med angivna intervall inom vilka värden har slumpats fram för respektive simulering.

Variabel	Min	Max
Utrymmets höjd [m]	5	23
Utrymmets längd/bredd [m]	1,4	6
Brandens effektutveckling [kW]	50	500
Brandens placering	1: Centrerat i utrymmet	
	2: Intill en vägg	
	3: I ett hörn	

Inom intervallen slumpades värdena fram med hjälp av en slumpvalsgenerator. Övriga parametrar hölls konstanta för samtliga simuleringar. För att bestämma brandgaslagret med hjälp av temperaturdifferens användes en inbyggd funktion i programmet FDS5. För de övriga två metoderna användes ett tilläggsprogram där utdata hämtas manuellt. Då nödvändiga utdata inhämtats från simuleringarna användes statistikprogrammet SPSS för att analysera denna.

En multipel linjär regressionsanalys genomfördes i SPSS. Utdata från FDS logaritmerades för att få en så bra passning till en rät linje som möjligt. Därefter analyserades hur bra respektive modell passade till den erhållna räta linjen.

Analysen gav att modellen för bestämning av brandgaslagrets höjd med hjälp av temperaturdifferens gav bäst resultat i avseendet att finna en korrelation, dock inte såpass bra resultat att metoden anses tillförlitlig, utan vidare undersökning och analys är nödvändig. Metoden riskerar att vara icke konservativ för denna typ av utrymmen då det kan uppstå fall där temperaturdifferensen är såpass låg att inget brandgaslager indikeras, samtidigt som utrymmet är fyllt av avsvalnade brandgaser. De övriga två metoderna gav generellt sämre resultat med hänsyn till anpassning av kurvan samt residualanalys. Dock är dessa två metoder mer konservativa jämfört med metoden baserad på temperaturdifferens, samt att det är lättare att undersöka resultatets rimlighet.

I denna rapport visade det sig att en av metoderna, metoden baserad på temperaturdifferens, gav relativt goda resultat, men inte tillräckligt goda för att här kunna presentera en korrelation. Genom att begränsa variablernas intervall skulle antagligen tillförlitligheten kunna förbättras. Dock fanns det, på grund av tid och rapportens omfattning, inga möjligheter att genomföra en sådan begränsning. Begränsningar av sådan art innebär att korrelationens användningsområde begränsas, men en högre tillförlitlighet anses ändå motivera en sådan begränsning.

Vidare undersökningar, analyser och experiment skulle behöva genomföras innan man med tillräckligt god tillförlitlighet kan ta fram en korrelation med i rapporten presenterade metoder. Dock anses metoden, att genom CFD-simuleringar ta fram data, så kallade numeriska experiment, för att skapa en lättanvänd korrelation för brandgasfyllnad, tillräckligt lovande för att undersöka vidare.

Summary

This report aims to through numerical experiments in the computer program FDS examine which method for determination of smoke layer height is most reliable to develop a correlation for smoke filling of narrow, high enclosures. Three methods for determining the smoke layer height are studied. The three methods are: first indication of smoke, ten meters visibility and temperature difference.

The study is solely based on CFD simulations in FDS5, thus no experiments are conducted. Approximately 120 simulations were performed, in which four parameters were varied. The four variables are: heat release rate, enclosure floor area, enclosure height, and fire position in enclosure. The table below presents the range of the variables.

Summary of the parameters that were varied in the simulations with given ranges in which the values were randomized for each simulation.

Parameter	Min	Max
Enclosure height [m]	5	23
Enclosure length/width [m]	1,4	6
Fire heat release rate [kW]	50	500
Fire position in enclosure	1: Centered	
	2: Next to a wall	
	3: Next to a corner	

Within the intervals, values were randomly generated using a random number generator. The other parameters were kept constant. To determine the smoke layer height using the temperature difference method, a built-in feature in FDS5 was used. For the other two methods, a supplementary program was used where the output is retrieved manually. When the necessary output is obtained from the simulations, the program SPSS is used to analyze the output.

In SPSS, output is adapted to a straight line using a multiple linear regression model. The output was converted to logarithmic to get as good fit to a straight line as possible. Then it was analyzed how well each model fit to the resulting straight line.

The analysis showed that the temperature difference method gave the best results in the matter of finding a correlation, but not a so good result that the method is deemed reliable, but further investigation and analysis is necessary. The method could be un-conservative for this type of enclosures where there may be cases where the temperature difference is so low that no smoke layer is indicated, while the space is filled with cooled smoke. The other two methods generally gave poor results with regard to the adjustment of the curve and residual analysis. However, these two methods are more conservative, and it is also easier to examine the reasonableness in the result.

In this report it was found that one of the methods gave relatively good results, but not good enough to be able to here present a correlation. By restricting the range of variables, the reliability could most likely be improved. There was however, because of the time and scope of the report, no ability to make such a limitation. Limitations of such nature means that the application of the correlation is limited, but a higher reliability is considered to justify such a restriction.

Further studies, analyzes and experiments would need to be conducted before one, with sufficient reliability, could produce a correlation through methods that are presented in this report. However, it's considered that the method to produce a correlation for smoke filling by CFD simulations is sufficiently promising to investigate further.

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och mål	2
1.3 Problemformulering	2
1.4 Målgrupp	2
1.5 Avgränsningar	3
1.6 Begränsningar	3
2. Metod	5
2.1 Litteraturstudie	5
2.2 CFD-simuleringar	5
2.3 Sammanställning av data	6
2.4 Analys och slutsatser	8
3. Teori	9
3.1 Litteraturstudie	9
3.2 Datorprogram	13
3.3 Kriterier vid uppskattning av brandgaslagrets höjd	15
3.4 Statistiska modeller	16
3.5 Validering av FDS	18
3.6 Verifiering av FDS	22
4. Val av variabler	23
4.1 Ingående variabler	23
4.2 Antal simuleringar	24
4.3 Intervall för varians	24
4.4 Variablernas spridning	25
5. CFD-simuleringar	29
5.1 Utrymmets egenskaper	29
5.2 Brandens egenskaper	30
5.3 Sammanfattning av variablernas intervall	31
5.4 Meshar och cellstorlek	32
5.5 Simuleringstid	32
5.6 Mätningar	33

6. Analys av enskilda oberoende variablers inverkan på brandgaslagrets höjd	35
6.1 Golvareans inverkan på brandgaslagrets höjd	35
6.2 Rumshöjdens inverkan på brandgaslagrets höjd	38
6.3 Effektutvecklingens inverkan på brandgaslagrets höjd	40
6.4 Brandplaceringens inverkan på brandgaslagrets höjd	42
7. Analys av kriterier för brandgaslagrets höjd	45
7.1 Jämförelse mellan de tre olika metoderna	45
7.2 Tillämpbarhet av metoder.....	49
8. Statistisk analys	53
8.1 Första indikation på brandgaser	53
8.2 Siktbarhet på tio meter	59
8.3 Temperaturdifferens	64
8.4 Sammanfattning statistisk analys.....	70
9. Diskussion.....	71
9.1 Indata i FDS.....	71
9.3. Okulär jämförelse mellan simuleringar	73
9.2 Indata i SPSS	73
10. Slutsats	75
11. Vidare forskning	77
Referenser	79
Bilaga A – Jämförelse mellan tre olika metoder.....	81
Bilaga B – Statistik för brandplacering 1 & 3.....	93
Bilaga C – Exempel på indatafil för simulering i FDS5	117

1. Inledning

Detta examensarbetet är den avslutande delen av utbildningen på Civilingenjörsprogrammet i Riskhantering vid Lunds Tekniska Högskola. Arbetet omfattar 30 högskolepoäng.

1.1 Bakgrund

Vid en brand kan, innan övertändning, tre olika zoner urskiljas med avseende på brandgasernas utbredning: brandplymen, brandgaslagret vid taket och den kalla zonen vid golvet. Då brandplymen når taket sprids brandgaserna ut och formar ett lager av varma brandgaser, som efterhand fylls på allt mer och sänker sig mot golvet. Vid brand är zonen med brandgaser ofta distinkt avskild från den kalla zonen, beroende på temperaturdifferensen hos de olika zonerna. Ju högre temperaturdifferens, desto tydligare definierat brandgaslager (Capote et al, 2009).

Brandgaslagrets höjd beror på en mängd olika variabler, bland annat utrymmets golvarea och höjd, lufttemperaturen samt brandens effektutveckling och placering. De traditionella metoderna för beräkning av brandgasfyllnad är begränsade och dåligt lämpade för smala, vertikala utrymmen. De korrelationer som vanligen används är framtagna framförallt för beräkning av brandgasfyllnad i utrymmen där golvarean och höjden ligger inom specifika intervall, där smala utrymmet med hög höjd hamnar utanför, samt för större utrymmen såsom atrium. Analytiska metoder tenderar att missa aspekter som kan vara av stor vikt i smala höga utrymmen, till exempel transporttid av brandgaserna. Några av dessa problem presenteras nedan.

En metod som finns att tillstå är baserad på experiment av Heskestad, Delichatsios, Nowler, Mulholland, Cooper och Hägglund (Heskestad & Delichatsios, 1977). Begränsningarna med denna korrelation är dock att två samband, dels mellan brandgaslagrets höjd och höjden i utrymmet och dels mellan utrymmets area och höjd, måste befinna sig mellan specifikt avgränsade värden (Capote et al, 2009). Ligger sambanden utanför dessa intervall bör metoden användas med försiktighet. Metoden beräknar vid vilken höjd man har en första indikation på brandgaser, och är ur det perspektivet konservativ.

Yamana-Tanakas metod för brandgasfyllnad lämpar sig bäst för stora utrymmen med låg effekt på branden, då metoden förutsätter att inget värmeutbyte sker mellan brandgaslagret och dess omslutning. Brandgaslagrets temperatur tenderar därför att överskattas, en överskattning som sedan ökar med tiden. Ju längre in i brandförloppet, desto mer överskattas brandgaslagrets temperatur och därigenom dess utbredning (Tanaka & Yamana, 1985). Metodens procedur innefattar även en iterationsmetod vilket innebär att den kan ses som omständlig.

Zukoskis metod för att beräkna höjd på brandgaslagret är begränsad såtillvida att den inte tar hänsyn till transporttid för brandgaserna utan antar att brandgaserna transporteras och sprider ut sig omedelbart i brandgaslagret. För höga byggnader är detta speciellt olyckligt då transporttiden kan vara väsentlig. Vidare är metoden begränsad av ett diagram med tre värdekurvor som i metoden skall läsas av för värden. Scenarier med låg effektutveckling och hög höjd på brandutrymmet kan hamna relativt långt ifrån de i tre beräknade värdekurvorna, och svårigheter kan därmed uppstå. Det faktum att metoden förutsätter tryckstadie A anses inte begränsa användningen inom detta område då det inte bedöms vara aktuellt med något annat tryckstadie (Karlsson & Quintiere, 2000).

De vanligen använda, nu existerande metodernas tillkortakommanden vad gäller beräkning av brandgasfyllnad i smala, höga utrymmen visar att en metod som på ett bra sätt hanterar sådana utrymmen är att önska.

1.2 Syfte och mål

Syftet med detta arbete är att undersöka möjligheterna att ta fram en korrelation som enkelt kan användas vid beräkning av brandgasfyllnad i smala vertikala utrymmen, då de metoder som i dagsläget finns inte klarar av att effektivt och korrekt beräkna detta.

Målet med examensarbetet är att med hjälp av simuleringar i programmet FDS5 undersöka vilken metod att beskriva brandgaslagrets höjd som är bäst lämpad för att ta fram en korrelation. Om resultaten tillåter kommer även en korrelation presenteras för beräkning av brandgasfyllnad i smala, vertikala utrymmen som hisschakt och trapphus. För att åstadkomma detta kommer olika variabler att varieras i simuleringar med datorprogrammet FDS5. Dessa variabler är brandens effektutveckling, dimensioner på rummet och placering av branden. Korrelationen ska kunna ge en snabb uppskattning av brandgaslagrets höjd vid en given tidpunkt med hjälp av ingående parametrar. Utifrån resultat ska sedan en uppskattning kunna göras kring behovet av ytterligare utredning genom simuleringar, exempelvis vid bedömning av lämpligheten i en byggnadsteknisk lösning.

1.3 Problemformulering

De huvudsakliga frågeställningarna som kommer försöka besvaras i rapporten är följande:

- Hur påverkas brandgasfyllnaden som funktion av tiden av brandens placering, brandens effektutveckling och utrymmets dimensioner? Vilken av dessa parametrar har störst inverkan på resultatet?
- Är det möjligt att med hjälp av FDS5 simulera fram data för att ta fram en tillförlitlig korrelation för beräkning av brandgasfyllnad i smala, vertikala utrymmen?
- Vilka metoder/kriteriet finns det att tillämpa vid bedömning av brandgaslagrets höjd?
- Vilken/vilka av dessa är mest tillförlitliga under vilka specifika förhållanden?

Förhoppningen är att arbetet besvarar samtliga av dessa frågor genom den metod som beskrivs i efterföljande avsnitt.

1.4 Målgrupp

Arbetets målgrupp är personer med bakgrundskunskap inom ämnet brandskydd och riskhantering samt är förtrogna med datorprogrammet FDS5 samt Smokeview och besitter de grundläggande kunskaper som krävs för att använda programmen.

1.5 Avgränsningar

Rapporten avgränsas till att generellt beröra smala, vertikala utrymmen som trapphus, hisschakt och passande atrium. Ingen hänsyn tas därför till inredning, trappor eller dylikt. Denna avgränsning bedöms bredda dess användningsområde, då fler detaljer begränsar korrelationens flexibilitet.

I rapporten är det enbart fyra variabler som varieras i simuleringarna, medan till exempel omslutande ytors material är konstant. De fyra variablerna tillåts variera inom bestämda intervall. Intervallen bestäms med hänsyn till rimlighet och korrelationens avsedda användningsområde. Vidare är effektutvecklingen konstant vid varje enskild simulering.

Det är endast ett fullständigt rökfyllnadsförlopp som studeras. Möjligheten att det finns samband att finna för kortare perioder av förloppet, t.ex. för perioden från att brandgasfyllnaden påbörjas tills dess att brandgaser når överkanten på utrymmets öppning utreds ej.

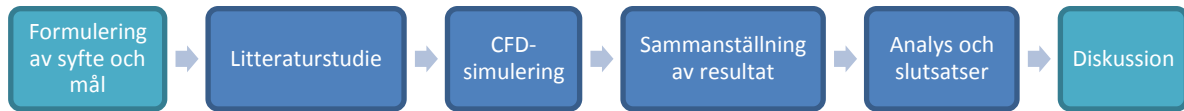
1.6 Begränsningar

Rapporten begränsar sig till att enbart genomföra simuleringar för att få fram data på vilka korrelationen baseras, således genomförs inga experiment för att validera resultaten från simuleringarna. Detta steg genomförs istället med en teoretisk validering genom litteraturstudie.

Rapporten är också begränsad till att endast omfatta fyra variabler, övriga ingående värden hålls konstanta i simuleringsuppställningen. Detta på grund av arbetets omfattning då ytterligare variabler innebär ökad arbetsomfattning samt att införande av fler variabler innebär större osäkerheter. De variabler som väljs ut är de som, baserat på litteraturstudie, bedöms som mest relevanta för arbetets syfte. Flera av de variabler som ej valts med i korrelationen är också svåra eller omöjliga att variera, och en variation av dessa variabler inte skulle fylla något syfte för analysen. Representativa värden har valts för de parametrar som hålls konstanta. Vidare begränsar sig rapporten till att simulera 120 fall med varierade parametrar.

2. Metod

Arbetsmetoden delas in i fyra faser: litteraturstudie, simuleringar i datorprogrammet FDS5, sammanställning av data, samt analys och slutsatser. Utöver dessa delar tillkommer även formulering av syfte och mål, vilket genomförs innan projektet inleds, samt en avslutande diskussion som bland annat berör arbetets genomförande, de resultat som genererats och de slutsatser som dragits. Flödesschemat i figur 2.1 visualiserar den arbetsgång som följts.



Figur 2.1. Flödesschema som visualiserar projektets arbetsgång med de olika ingående faserna.

Nedan presenteras projektets faser mer ingående.

2.1 Litteraturstudie

I en inledande litteraturstudie kommer befintlig litteratur inom ämnet att studeras, för att identifiera och granska de befintliga ekvationer och korrelationer som används vid beräkning av brandgasfyllnad. Litteraturstudien innefattar studier av jämförelser mellan resultat från handberäkningar av brandgasfyllnad med dessa ekvationer, från datorsimuleringar samt från genomförda experiment. Syftet är att erhålla en bild av och få en ökad förståelse för befintliga metoder samt dess styrkor och begränsningar. Det är också av intresse att studera vilka olika kriterier för brandgasfyllnad som kan användas vid uppskattning av brandgaslagrets höjd.

Den fortsatta litteraturstudien innefattar mer grundliga studier och en sammanställning av befintliga metoder för beräkning av brandgasfyllnad. Syftet är här att erhålla en teoretisk grund för att underlätta och motivera valet av parametrar som ska studeras. Även litteratur inom närliggande ämnen såsom brandgasfyllnad i stora utrymmen kommer att studeras. Litteraturstudien innefattar även teori bakom datorprogrammet FDS5, med fokus på validering och verifiering av programmet.

2.2 CFD-simuleringar

I denna fas kommer indatafilerna till simuleringarna i FDS5 version 5.5.3 (McGrattan, K., Hostikka, S., Floyd, J. & McDermott, R., 2010b) att skrivas, vilket bland annat innefattar att definiera utrymmets geometri, cellstorlek och brandens egenskaper. Innan själva arbetet med detta inleds, måste det avgöras hur många simuleringar som ska genomföras, vilka variabler som ska varieras samt vilka intervall variablerna ska begränsas till.

2.2.1 Val av variabler

Valet av de ingående variablerna grundas på litteraturstudien. De variabler som anses ha störst inverkan på brandgaslagrets höjd väljs ut, och intervallen de kan variera inom väljs ut med avseende på vilka intervall som är rimliga för utrymmet. Även valen av intervall grundar sig i litteraturstudien. För varje simulering kommer de valda variablerna få ett värde som slumpas inom intervallet av en slumpgenerator.

2.2.2 Genomförande

För att skriva indatafilen används programmet Pyrosim Version 2011.1.1219 (Thunderhead Engineering, 2010). I indatafilen kommer sedan utvalda variabler att varieras för varje simulering. Antalet simuleringar kommer att motsvara det förväntade antal som krävs för att kunna erhålla ett tillförlitligt samband. Simuleringarna renderar en stor mängd utdata som sedan skall sammanställas.

2.3 Sammanställning av data

Sammanställning av data kommer att ske parallellt med genomförandet av simuleringar, allt eftersom simuleringarna blir färdiga. Innan utdatan från FDS5 kan analyseras statistiskt genomförs ett antal justeringar och förenklingar vilket ska underlätta analysen och generera bättre resultat. I denna fas studeras de resultat som simuleringarna genererat och utdatan sammanställs på lämpligt sätt inför den statistiska analysen som ska genomföras. Nedan redogörs för de förenklingar och justeringar som görs med utdatan från FDS5.

2.3.1 Trendbestämning med glidande medelvärden

Inledningsvis studeras de mätningar av brandgaslagrets höjd som programmet FDS5 genomför baserat på temperaturdifferensen mellan utrymmets varma och kalla zon. Resultaten från simuleringarna påvisar stora fluktuationer för mätningarna av brandgaslagrets höjd som funktion av tiden. Detta beror till stor del på förhållandet mellan brandens effektutveckling och utrymmets geometri. En brand med hög effektutveckling i ett högt, smalt utrymme skapar stor turbulens vilket gör att mätningarna kraftigt fluktuerar. Om effektutvecklingen istället är låg och utrymmets geometri stor, blir temperaturdifferensen liten och programmet har svårt att urskilja en distinkt gräns mellan den varma och kalla zonen, vilket skapar stora fluktuationer. För att trots detta få en uppskattning om förloppet kan en metod med glidande medelvärden användas.

Principen med metoden är att skapa medelvärden av i tiden närliggande observationer. Medelvärdet har en mindre variation än enskilda observationer, vilket gör det lättare att utläsa trender. I utdatan från simuleringarna appliceras ett glidande medelvärde över 20 sekunder på brandgaslagrets höjd. Detta innebär att exempelvis observationen vid 10 sekunder justeras till ett medelvärde för samtliga observationer under de första 20 sekunderna i simuleringen, 10 sekunder före samt 10 sekunder efter den aktuella observationen.

För de första respektive sista 20 sekunderna i simuleringarna måste denna metod justeras något, eftersom det vid tidpunkten 0 inte finns några tidigare observationer att generera medelvärde över. Observationen vid tidpunkten 0 justeras istället till ett medelvärde över de första 10 sekunderna i simuleringen, vid tidpunkten 1 för de första 11 sekunderna osv. En korrigerig gör dock för tidpunkten 0; eftersom det vid denna tidpunkt orimligen kan finnas ett brandgaslager sätts här brandgaslagrets höjd till takhöjden.

2.3.2 Minskning av antal observationer

Trots att metoden med glidande medelvärde tillämpas fluktuerar observationerna för brandgaslagrets höjd. Då FDS5 genererar oerhört många mätningar med täta tidsintervall, sker en gallring bland dessa manuellt. Vid en okulär granskning i Smokeview av brandgaslagrets höjd som funktion av tiden observeras att det går mycket snabbt för utrymmet att fyllas av brandgaser, i många simuleringar redan inom en minut medan det i andra tar uppemot 2 till 3 minuter för brandgaslagret att stabiliseras. Under de första 200 sekunderna används därför observationerna vid tidpunkten 0, 5 samt 10 sekunder och därefter var tionde sekund. Utöver det används även utdatan vid tiden 250, 300, 400, 500 samt 600 sekunder. Detta innebär att utdata vid 27 tidpunkter i varje simulering används, och med 40 simuleringar för respektive brandplacering medför detta att totalt 1080 observationer används i den statistiska analysen för varje brandplacering.

2.3.3 Extrahera data från utdatafiler

De data som programmet Smokeview använder för att visuellt åskådliggöra sikten i utrymmet, kan extraheras från utdatafilerna. För att undvika stora fluktuationer på grund av brandplymens inverkan, väljs en mätpunkt som ej befinner sig direkt i branden, närmare bestämt i utrymmets inre högra hörn. Den slicefile som datan extraheras från sträcker sig i x-led två decimeter från den inre väggen. Denna begränsas ytterligare till att bara sträcka sig från den högra väggen och fem decimeter/celler ut. På detta sätt begränsas utdatan som sedan ska studeras, men ger ändå fem vertikala mätpelare vilket gör det lättare att upptäcka stora lokala variationer eller mätfel i enskilda celler. Sikten i denna slicefile studeras vid 20 tidpunkter, under de första 100 sekunderna var tionde sekund, mellan 100 och 200 sekunder var tjugonde sekund, samt efter 250, 300, 400, 500 och 600 sekunder. För att undvika stora tillfälliga fluktuationer på grund av turbulens tas ett medelvärde över 20 sekunder vid varje observation, inkluderande tio sekunder före observationen och tio sekunder efter observationen. I den extraherade datan kan sedan höjden för första indikation av rök samt höjden för kritisk sikt, vid de 20 tidpunkterna, avläsas. Avläsning väljs att göras vid den höjd då majoriteten av mätpunkterna, tre av de fem, visar indikation på brandgaser. Vid kritisk sikt ska antingen tre av de fem mätpunkterna visa sikt under tio meter, eller så ska två av mätpunkterna visa sikt under tio meter varav den ena har underskridit nio meter sikt.

2.3.4 Visualisering av rökfyllnadsförloppet

Innan genomförandet av den statistiska analysen är det intressant att åskådliggöra en sammanställning av rökfyllnadsförloppet i samtliga simuleringar i en graf. Eftersom utrymmet i de olika simuleringarna har olika takhöjd, är det svårt att okulärt jämföra resultaten för brandgaslagrets höjd över tiden i en och samma graf. För att kunna göra detta normeras samtliga simuleringar genom att dividera brandgaslagrets höjd Z med höjden H . På detta sätt kan avvikande simuleringar urskiljas från mängden vilket underlättar den kommande analysen.

2.3.5 Rimlighet i resultat

I denna fas granskas även rimligheten i data från simuleringarna, för att fastställa att inget oförutsett har inträffat. Exempel på detta är att undersöka att brandens effektutveckling hållit sig konstant under hela förloppet, så att inte branden blivit ventilationskontrollerad på grund av för lite syre i utrymmet.

2.4 Analys och slutsatser

Analysen delas in i två delar, en tidig förenklad analys och en statistisk analys. Nedan redogörs för vad respektive analysdel innefattar, samt vilka typer av slutsatser som det eftersträvas att leda till.

2.4.1 Förenklad analys

Innan den statistiska analysen genomförs en något förenklad analys, som bland annat innefattar att studera enskilda utvalda simuleringar, för att kvalitativt undersöka de oberoende variabelernas påverkan på brandgasfyllnaden. Här studeras även likheter och skillnader mellan resultat från olika metoder/kriterier som tillämpats och slutsatser dras kring metodernas användbarhet och tillförlitlighet.

2.4.2 Statistisk analys

För att jämföra de olika metoderna för bestämning av brandgaslager studeras ett antal olika variabelers samspel samt inverkan på brandgasfyllnaden. Denna multipla regressionsanalys är komplicerad att genomföra med handberäkningar, vilket gör att datorprogrammet IBM SPSS Statistics (IBM, 2011) används för detta. Programmet behandlar utdata från samtliga simuleringar och söker efter samband mellan den beroende variabeln (brandgaslagrets höjd) och de oberoende variabelerna (effektutveckling, utrymmets höjd respektive area samt brandens placering). Resultatets tillförlitlighet bedöms bland annat genom att undersöka dess korrelationskoefficient, granskning av avvikelser och spridning av resultat samt jämförelser mellan simuleringsresultat och resultat predikterade av korrelationen.

2.4.3 Slutsatser/diskussion

De tre metoderna som studeras styr på olika sätt värdet på den beroende variabeln, brandgaslagrets höjd. Slutligen dras därför slutsatser kring vilken metod som lämpar sig bäst vid eventuell framtagning av en korrelation. I diskussionen berörs osäkerheter som kan påverka resultatet och de slutsatser som dragits, och här ges även förslag på ämnen inom området som bör studeras och utredas ytterligare i framtiden.

3. Teori

En litteraturstudie har genomförts för att öka förståelsen och insikten inom det berörda ämnet. I denna har kunskap inhämtats för att ge en bild av hur redan etablerade korrelationen fungerar för att beräkna brandgasfyllnad av smala, vertikala utrymmen samt ge ökad förståelse för de datorprogram som används. Nedan beskrivs de olika delarna av den genomförda litteraturstudien.

3.1 Litteraturstudie

För att bedöma behovet av en korrelation för beräkning av smala, vertikala utrymmen har lämpligheten av de korrelationer som vanligtvis används vid beräkning av brandgasfyllnad undersökts för sådana utrymmen. För att hitta relevant litteratur som behandlar ämnet har en litteratursökning genomförts. Sökord som bland andra använts är "rökfyllnad", "CFD", "FDS", "brandgasfyllnad" och "korrelation för brandgasfyllnad". Sökning har skett på både engelska och svenska. De metoder som bedöms vara de som används flitigast är Heskestads (Heskestad & Delichatsios, 1977), Yamana-Tanakas (Tanaka & Yamana, 1985) samt Zukoskis (Zukoski, 1978) metoder för brandgasfyllnad. Nedan beskrivs vilka styrkor och svagheter dessa metoder besitter samt hur de lämpar sig för beräkning av brandgasfyllnad i smala, vertikala utrymmet. I avsnittet beskrivs även resultat från Kaye & Hunts (2007) rapport som är av intresse vid brandgasfyllnad i smala, vertikala utrymmen.

3.1.1 Heskestad

Denna metod är baserad på experiment av Heskestad och Delichatsios, Nowler, Mulholland, Cooper och Hägglund. Begränsningarna med denna korrelation är att två samband, dels mellan brandgaslagrets höjd och höjden i utrymmet och dels mellan utrymmets area och höjd, måste finnas mellan specifikt avgränsade värden (Heskestad & Delichatsios, 1977)(Heskestad & Delichatsios, 1978). Ligger sambanden utanför dessa intervall innebär det att de ej omfattas av experimentet vilket gör att korrelationen ej är applicerbar under dessa förhållanden.

Metoden beräknar vid vilken höjd man har en första indikation på brandgaser, och är ur det perspektivet konservativ. Utrymmen med en liten area och hög höjd ligger dock utanför det gällande sambandet, vilket ofta är fallet för atrium, och metoden är således sämre lämpad för beräkningar i sådana utrymmen. Korrelationen ser ut som följande:

$$\frac{z}{H} = 1,11 - 0,28 \ln\left(\frac{t \dot{Q}^{\frac{1}{3}} H^{\frac{4}{3}}}{A}\right) \quad (3.1)$$

Begränsningar:

$$0,2 \leq \frac{z}{H} \leq 1,0 \quad 0,9 \leq \frac{A}{H^2} \leq 14$$

där

z = brandgaslagrets höjd [m]

H = utrymmets höjd [m]

A = golvarea [m^2]

\dot{Q} = effektutveckling [kW/m^2]

t = tid [s]

3.1.2 Yamana-Tanaka

Yamana-Tanakas metod för brandgasfyllnad lämpar sig bäst för stora utrymmen med låg effekt på branden, då metoden förutsätter att inget värmeutbyte sker mellan brandgaslagret och dess omslutning samt att ingen tryckuppbyggnad sker i lokalen. Brandgaslagrets temperatur tenderar därför att överskattas, en överskattning som sedan ökar med tiden. Ju längre in i brandförloppet, desto mer överskattas brandgaslagrets temperatur och därigenom dess utbredning (Tanaka & Yamana, 1985). Metodens procedur innefattar även en iterationsmetod vilket innebär att den kan ses som omständlig. Då metoden lämpar sig bäst för stora volymer bedöms den inte vara direkt lämpad för utrymmen med liten area och hög höjd.

Korrelationen ser ut som följande:

$$z = \left(k \frac{\alpha^{\frac{1}{3}}}{S} \frac{2t^{\left(1+\frac{n}{3}\right)}}{n+3} + \frac{1}{H^{\frac{2}{3}}} \right)^{-3/2} \quad (3.2)$$

där

z = brandgaslagrets höjd [m]

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

$$\alpha = \frac{\dot{Q}}{t^n} [\text{kW/s}^2]$$

H = utrymmets höjd [m]

S = golvarea [m^2]

t = tid [s]

n = exponent [-]

3.1.3 Zukoski

Zukoskis metod för att beräkna höjd på brandgaslagret är begränsad så tillvida att den inte tar hänsyn till transporttid för brandgaserna utan antar att brandgaserna transporteras och sprider ut sig omedelbart i brandgaslagret, samt förutsätter att en tryckuppbyggnad sker i lokalen (Zukoski, 1978). För höga byggnader är detta speciellt olyckligt då transporttiden kan vara väsentlig. För den horisontella utbredningen i brandgaslagret bedöms inte avsaknaden av transporttid påverka nämnvärt på grund av att utrymmet har en liten area. Vidare är metoden begränsad av ett diagram med tre värdekurvor som i metoden skall läsas av för värden. Scenarier med låg effektutveckling och hög höjd på brandutrymmet kan hamna relativt långt ifrån de i tre beräknade värdekurvorna, och svårigheter kan därmed uppstå. Även det faktum att metoden förutsätter tryckstadie A anses begränsa användningen inom detta område då det även torde vara aktuellt med andra tryckstadier vid rökfyllnadsberäkningar (Zukoski, 1978).

Beräkningsgången sker enligt följande steg:

$$\dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_a c_p T_a \sqrt{g} H^{5/2}} \quad (3.3)$$

$$y = \frac{z}{H} \quad (3.4)$$

där

\dot{Q} = effektutveckling [kW/m²]

ρ_a = omgivande densitet [kg/m³]

c_p = specifik värmekapacitet [J/(kg·K)]

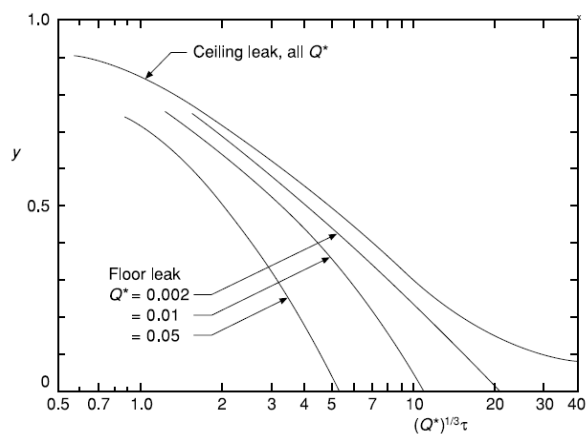
T_a = omgivande temperatur [K]

z = brandgaslagrets höjd [m]

H = utrymmets höjd [m]

g = gravitationskonstanten, 9,81 m/s²

Avläsning i figur 3.1 ger värdet på $(\dot{Q}^*)^{1/3} \tau$, varur τ löses.



Figur 3.1. Beroendet mellan brandgaslagrets höjd med tiden och effektutvecklingen, ett steg i Zukoski's metod för rökfyllnadsberäkning (återskapat efter Zukoski, 1978).

Tiden t kan sedan lösas ur ekvation 3.5:

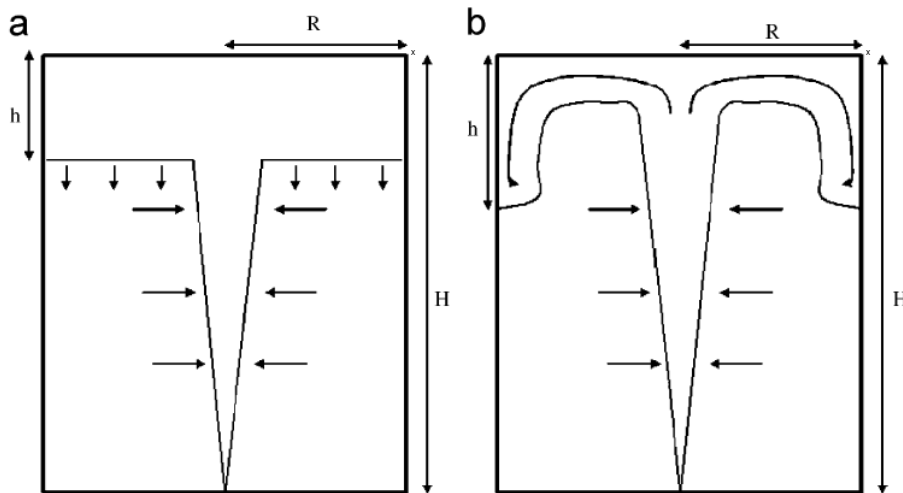
$$\tau = t \sqrt{\frac{g}{H} \frac{H^2}{S}} \quad (3.5)$$

där

S = golvarea [m²]

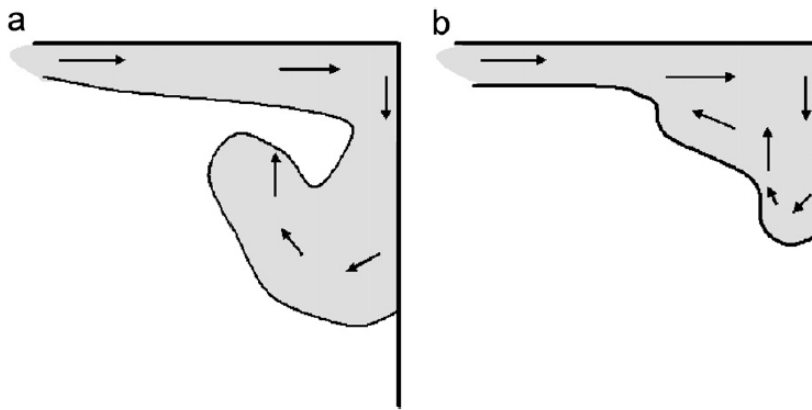
3.1.4 Kaye och Hunt

I Kaye & Hunt's (2007) artikel *Smokefilling time for a room due to a small fire: The effect of ceiling height to floor width aspect ratio* undersöks hur ration mellan golvarean och höjden på utrymmen påverkar tiden för brandgasfyllnad vid en brand med låg effekt. Experimenten i rapporten visar att utrymmen med en liten area och hög höjd fylls på snabbare än vad man tidigare räknat med. Detta på grund av att då de "ceiling jets" som bildas vid taket träffar de omslutande väggarna viker de ner för att sedan vändas upp igen, vilket visas i figur 3.2b. Då detta sker uppslukas omslutande luft i rörelserna och brandgaslagret utvidgas snabbare än vad som antas i den ideala brandgasfyllnadsmodellen, se figur 3.2a (Kaye & Hunt, 2007).



Figur 3.2. a visar hur den ideala rökfyllnadslådan fylls på medan **b** visar det mer realistiska rörelsemönstret för brandgaser i ett mindre utrymme. (återskapat efter Kaye & Hunt, 2007)

Vad rapporten pekar på är att den ideala brandgasfyllnadsmodellen inte räknar med den turbulenta inblandning av luft som sker i gränsskiktet mellan brandgaslagret och den kalla zonen, och inte heller inblandningen som sker då "ceiling jets" träffar de omslutande väggarna. Rapporten visar även på olikheter vid nedvikningen av "ceiling jets" för olika ratio mellan golvarea och höjd, vilket visas i figur 3.3 nedan. För smalare rum sker den så kallade rullningen i hörnen (Figur 3.2a) vilket leder till en kraftig inblandning, medan brandgaserna i större utrymmen sjunker ner för att sedan stiga (Figur 3.3b) igen med en mindre inblandning av frisk luft som följd (Kaye & Hunt, 2007).



Figur 3.3. Figur a visar hur brandgaserna beter sig i smala rum medan figur b visar hur det ser ut i större rum. (återskapat efter Kaye & Hunt, 2007)

Rapporten pekar också på att i utrymmen med ett ratio för $R/H < 0.25$, där R är utrymmets radie och H är utrymmets höjd vilket illustreras i figur 3.1, kan väggarna i utrymmet hindra frisk luft från att blandas in i plymen. För mycket smala rum med hög höjd kan plymen helt brytas upp av skjuvspänningar och aldrig nå toppen av utrymmet (Kaye & Hunt, 2007).

3.2 Datorprogram

För att generera data till regressionsanalysen samt att sammanställa dessa används utvalda datorprogram. Nedan följer en beskrivning av dessa samt styrkor, svagheter och eventuella begränsningar.

3.2.1 FDS5

Datorprogrammet FDS5 (Fire Dynamics Simulator, version 5.5.3) är ett program för Computational Fluid Dynamics (CFD). (McGrattan et al., 2010b) Programmet är utvecklat av NIST (National Institute of Standards and Technology) och är ett av de mest använda programmen för beräkning av spridning av brandgaser i byggnader.

Simuleringarna görs genom att lokalens geometri delas in i olika mesher. Respektive mesh delas sedan in i en stor mängd små kuber (celler) med en bestämd storlek som programmet utför beräkningar över. För varje cell beräknas sedan flödena som passerar cellgränserna för varje tidssteg. Beräkningarna görs med Navier Stokes-ekvationer som beräknar förändringar i bl.a. massa, energi och hastighet för respektive cell och tidssteg. För de turbulenta flödena används Large Eddy Simulations (LES). De turbulenta flödena som är mindre än cellerna beräknas med Smagorinskys modell, en så kallad sub grid-modell. Till programmet skrivs en indatafil där rummets geometri, meshgränser, brandens egenskaper, mätinstrument med mera definieras. (McGrattan et al., 2010b)

I programmet görs en rad förenklingar samt antaganden som gör att programmet bör användas med försiktighet och eftertanke. Redogörelse av dessa förenklingar och antaganden finnas att hitta i litteratur som berör FDS. Bland annat är simuleringsobjektets geometri bunden till vald gridstorlek. Det går inte att simulera eller skapa objekt mindre än en gridstorlek. Värmetransport genom omslutande ytor sker också förenklat. Vanligtvis väljs omslutande ytor att simuleras som antingen adiabatiska eller interta, men det finns möjlighet att mer i detalj beskriva omslutande ytors egenskaper. Validering och verifiering av programmet FDS5 beskrivs i kapitel 3.5 *Validering av FDS* och 3.6 *Verifiering av FDS*.

3.2.2 Smokeview

Smokeview (Forney, 2007) är ett program som gör det möjligt att visualisera numeriska beräkningar som genererats av brandmodeller som t.ex. FDS. Programmet kan visualisera rök, eld samt visa flödesriktning och storlek på diverse parameterar som bland annat temperatur, sikt, tryck och lufthastighet. I Smokeview kan man därmed bland annat se hur brandgaslagret utvecklas samt hur temperaturen i rummet förändras genom brandförloppet. I programmet finns möjlighet att plocka ut bildfiler över de tidpunkter som är intressanta, då Smokeview kan visa konturer och vektorer av statistisk data när som helst under brandförloppet, inom den definierade volymen. I denna studie används version 5.6 av programmet.

3.2.3 Pyrosim

Pyrosim Version 2011.1.1219 (Thunderhead Engineering, 2010) är ett grafiskt användargränssnitt till FDS. Pyrosim förenklar skapandet av indatafilen till FDS5 då programmet visuellt åskådliggör modelluppbyggnaden, både i 2D och 3D, under hela skapandeprocessen. På detta sätt blir det enklare att upptäcka fel jämfört med att enbart skriva indatafilen i ett textdokument och Pyrosim ser till att samtliga funktioner och kommandon ges i rätt format för att fungera i FDS. När modellen väl är uppbyggd kan den kontrolleras i Smokeview, och Pyrosim genererar sedan textfil med indatan till FDS.

3.2.4 SPSS

IBM SPSS Statistics (IBM, 2011) är ett program som används vid omfattande hantering och analysering av data. SPSS kan ta uppgifter från många olika typer av filer och använda dem för att generera tabeller och diagram för bland annat fördelningar, trender, samt komplexa statistiska analyser. I denna studie har programmet använts för att genomföra en linjär multipel regressionsanalys, mer om detta i kap. 3.4 *Statistiska modeller*.

Litteratur som berör den statistiska analys som genomförs påpekar att de datorprogram som används i analysen kan vara mycket vilseledande i resultaten som de genererar. Datorprogram som används vid statistiska analyser måste därför användas med stor försiktighet och med en medvetenhet om dess begränsningar. Programmet kan t.ex. inte ta hänsyn till variabler som av någon anledning utelämnats från analysen, trots att de kan påverka resultatet. Det är därför viktigt att utnyttja de förklarande funktioner som programmet erbjuder i form av t.ex. diagram (Andersson, Jorner & Ågren, 2007).

3.2.5 FDS2ASCII

Det kan ibland vara önskvärt att presentera resultatet av beräkningarna i FDS på andra sätt än de som Smokeview erbjuder. Det finns i detta fall ett Fortran-program som heter `fds2ascii`. Programmet ges ett antal kommandon för t.ex. vilken storhet som önskas mätas, inom vilken definierad volym dessa ska göras samt under vilket tidsspänn. Programmet genererar sedan en utdatafil innehållande ett med ett tidsgenomsnittligt värde på den önskade storheten inom den definierade volymen. (McGrattan et al., 2010b)

3.3 Kriterier vid uppskattning av brandgaslagrets höjd

Det finns flera olika sätt att definiera brandgaslagrets höjd. Ofta används så kallade tvåzons-modeller som delar upp utrymmet i en övre het zon och en undre kall zon. I CFD-simuleringar sker dock ingen distinkt uppdelning i två zoner utan det sker en beräkning i varje enskild beräkningscell, vilket gör att andra metoder måste användas för att uppskatta brandgaslagrets höjd. Givetvis kan olika definitioner och beräkningsmetoder ge olika svar på en och samma situation. Skillnader kan till exempel bero på vilken egenskap hos brandgaserna som studeras. Det kan vara en temperaturdifferens mellan den övre och undre zonen som definierar när ett brandgaslager bildas och på vilken höjd det befinner sig. Det kan också handla om sikten i utrymmet, att första indikationen på rök definierar ett brandgaslager alternativt att det är när sikten är lägre än tio meter, vilket enligt BBR definieras som gränsen för kritisk sikt (Boverket, 2011). Skillnader kan även bero på vilket mått som studeras, om det är den lägsta enskilda mätpunkten där brandgaser noterats som utgör undre gränsen, eller om en horisontell sträckas medelvärde används.

I denna studie har tre olika kriterier för brandgaslagrets höjd använts. Nedan redogörs för dessa metoder. Längre fram i rapporten presenteras en jämförelse mellan resultat som de olika metoderna genererar för ett antal simuleringar med olika geometriska och brandtekniska egenskaper.

3.3.1 Första indikation på rök

De data som programmet Smokeview använder för att visuellt åskådliggöra sikten i utrymmet, kan extraheras från utdatafilerna med programmet fds2ascii. För att genomföra detta placeras en Slicefile som visar sikten i en genomskärning av utrymmet. Där ingen rök förekommer är sikten 30 meter och vid första indikation på rök, då sikten underskrider 30 meter, noteras höjden för observationen. Mätningar hämtas på varje decimeter i höjddled från 5 celler i linje med varandra i bakre delen av utrymmet från öppningen sett. För att i viss mån ta hänsyn till turbulens i utrymmet väljs att notera den höjd där majoriteten av cellerna, tre av de fem, indikerar rök.

3.3.2 Kritisk sikt enligt BBR

Enligt Boverkets Byggregler (Boverket, 2011) är ett av kriterierna för att bedöma när kritiska förhållanden råder i en byggnad att undersöka sikten i utrymmet. Kritisk siktbarhet definieras som "En brandgasnivå på lägst $1,6 + (0,1 \times H)$ meter, där H är rumshöjden, eller en siktsträcka på minst 10 meter i okänd miljö och minst 5 meter i känd miljö (bostäder och kontor)." (Boverket, 2011, s. 40) En siktsträcka på tio meter kan därmed utgöra ett kriterium för när ett brandgaslager har bildats och således avgöra på vilken höjd ett väldefinierat brandgaslager befinner sig. Proceduren för att uppskatta den höjd utifrån utdata från en simulering är identisk med den ovan nämnda för första indikation på brandgaser, bortsett från att den höjd som nu noteras är där sikten underskrider tio meter.

3.3.3 Temperaturdifferens

I FDS finns en funktion som med hjälp av temperaturdifferensen i utrymmet kan uppskatta brandgaslagrets höjd. Trots att det inte sker en uppdelning i två distinkta zoner finns det en kontinuerlig temperaturprofil. Det finns då metoder som uppskattar brandgaslagrets höjd och medeltemperatur utifrån en kontinuerlig vertikal temperaturprofil. (McGrattan et al., 2010b)

3.4 Statistiska modeller

För att analysera utdatan som FDS genererar kommer ett antal statistiska metoder, modeller och termer användas. Därför har en del av litteraturstudien ägnats åt detta område vilket redovisas nedan.

3.4.1 Linjär multipel regressionsanalys

För hitta samband för en beroende variabel och flera oberoende variabler genomförs linjär multipel regressionsanalys. Analysen genomförs med en beroende variabel, brandgaslagrets höjd, som förklaras av ett antal oberoende variabler. Analysen som genereras visar bland annat signifikansen för var och en av de oberoende variablerna. Signifikansnivån anger sannolikheten för variabelns estimerade värde skall bli noll, vilket innebär att den förklarande variabeln i själva verket inte förklarar den beroende variabeln (Körner & Wahlgren, 2006). Ett kriterium för att en variabel ska få ingå i sambandet är att dess signifikans är lägre än 5 %, vilket innebär att resultat med minst 95 % sannolikhet förklaras av variabeln. Jämfört med en enkel regressionsanalys, där endast en variabels inverkan kan studeras, är det i en multipel regressionsanalys möjligt att studera flera variabels inverkan på resultatet samtidigt (Andersson, Jorner & Ågren, 2007).

Antalet förklarande variabler som skall ingå i analysen beror givetvis på en mängd olika faktorer. Av delvis praktiska skäl är det bra att inte få med allt för många förklarande variabler. Många förklarande variabler kan göra modellen mer osäker och även svårare att tolka, samtidigt som den blir svårare att tolka på grund av det komplexa samspelet mellan alla variabler. Det viktigaste är att alla väsentliga förklarande variabler tas med, med så hög determinationskoefficient som möjligt och där det redan initialt är starkt motiverbart varför variabeln skall vara med (Andersson, Jorner & Ågren, 2007).

För att lista ut vilka dessa är krävs en utförlig analys av den litteratur som finns i ämnet samt studier av tidigare experiment som genomförts under liknande förutsättningar. Mer om valet av variabler beskrivs i kap. 4 *Val av variabler*.

För att göra en linjär regressionsanalys krävs att det finns ett linjärt samband. Det måste därför undersökas om variablerna beter sig linjärt, till exempel genom att studera data i en graf. Om det inte finns något linjärt samband är det möjligt att via logaritmering eller transformation till polynom påvisa ett linjärt samband (Körner & Wahlgren, 2006).

3.4.2 Determinationskoefficient

Determinationskoefficienten, R^2 , visar hur mycket av variationen i korrelationen som förklaras av de ingående variablerna, ett mått på förklaringsgraden. Värdet varierar mellan 0 och 1. En determinationskoefficient på 1 visar en perfekt överensstämmelse med en rät linje, och ett värde på 0 visar att inget samband finns med en rät linje. Man kan tolka koefficienten som ett procentvärde. Ett värde på 0,90 ger att 90 % av variationerna kan förklaras av de ingående variablerna. Resterande 10 % är oförklarade av sambandet och finns troligtvis att finna i variabler som inte är inkluderade i regressionsanalysen. Värdet påverkas starkt av antalet observationer, så ett högt värde innebär inte automatiskt att det är ett bra resultat och vice versa. (StatSoft Inc., 2011).

3.4.3 Residualanalys

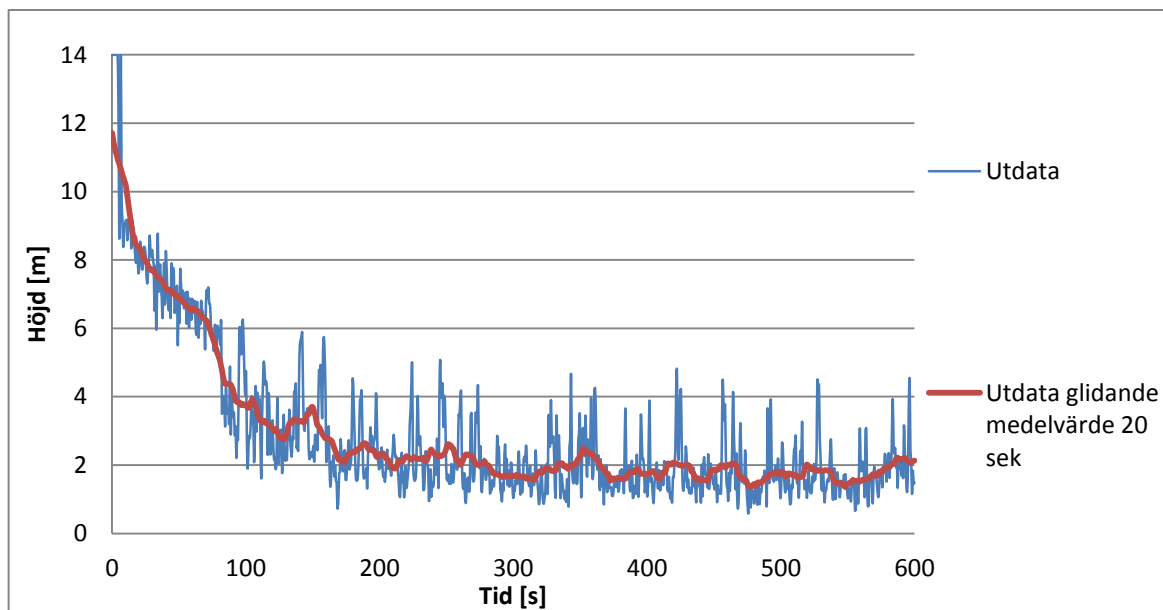
En residual är skillnaden mellan det observerade värdet och värdet beräknat med den framtagna korrelationen. För att kunna genomföra en bra regressionsanalys krävs att residualerna är oberoende av nivå på variabeln, att det råder ett oberoende mellan residualerna samt att residualerna är normalfördelade. Residualerna är viktiga för att kunna utläsa om vissa enskilda observationer avviker kraftigt. Om så är fallet är det viktigt att undersöka varför de avviker och om möjlighet finns att begränsa korrelationen med avseende på variablerna för att undvika dessa extrempunkter (Körner & Wahlgren, 2006). Det kan i vissa fall röra sig om rena mätfel som programmet gjort, men det kan i andra fall finnas andra betydelsefulla orsaker som ligger bakom residualerna.

Vid bedömning av den framtagna regressionsmodellen är det därför viktigt att analysera variationen kring regressionslinjen för att se om någon eller några enskilda simuleringar har större påverkan på modellen än övriga simuleringar. Det bör i sådana fall övervägas att utesluta de simuleringarna för att höja giltigheten för modellen. I detta fall är det viktigt att analysera vad det är som gör att den enskilda simuleringen avviker från de övriga, för att sedan kunna begränsa modellen till att inte tillämpas under dessa specifika förutsättningar (Andersson, Jorner & Ågren, 2007).

Ett sätt att undersöka den inverkan som respektive simulering har på modellen, är att tillämpa Cook's distansmått. Värdet mäter effekten av att utesluta en specifik observation. Om värdet för en observation är större än ett så bör simuleringen undersökas vidare och eventuellt uteslutas från modellen. Ett annat mått för att mäta inverkan är *leverage* (inflytande). Det genomsnittliga *leverage*-värdet är ett värde mellan 0 och 1 som definieras som $(k+1)/n$, där k är antalet förklarande variabler i modellen och n är antalet observationer. Ett värde på 0 innebär att observationen inte har någon påverkan alls medan värdet 1 innebär att observationen har fullständig påverkan på modellen. I litteratur rekommenderas att värden större än två gånger genomsnittet, alternativt tre gånger genomsnittet undersöks (Fields, 2009).

3.4.4 Glidande medelvärde

Principen med metoden glidande medelvärde är att skapa medelvärden av i tiden närliggande observationer. Medelvärdet har mindre variation än de enskilda observationerna, vilket gör det enklare att finna trender. Om glidande medelvärde på 20 sekunder väljs innebär det att observationer från 10 sekunder innan aktuell tidpunkt och 10 sekunder efter används för att skapa medelvärdet (Andersson, Jorner & Ågren, 2007).



Figur 3.4. Exempelgraf där oredigerad utdata samt utdata med glidande medelvärde på 20 sek plottas.

I Figur 3.4 ovan visas med en exempelgraf hur en fluktuerande kurva kan se ut då glidande medelvärde istället används. Trenden i utdatan bevaras, men de extrema fluktuationer som kan uppstå försvinner.

3.5 Validering av FDS

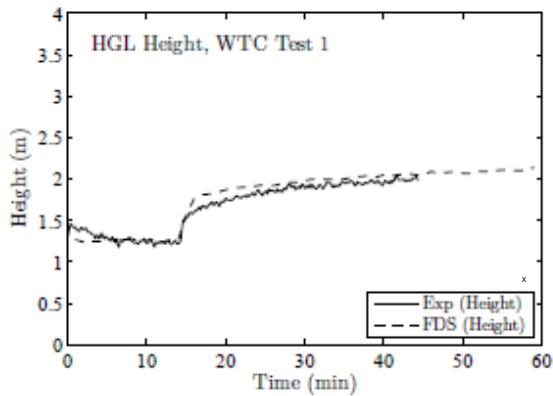
Data över den beroende variabeln, brandgaslagrets höjd, är framtagen genom numeriska experiment i datorprogrammet FDS. För att undersöka om resultat från FDS är att betrakta som tillförlitliga utan uppbackning av experiment krävs insikt i hur väl validerade utdata från programmet är. För att undersöka detta genomförs en litteraturstudie inom ämnet.

3.5.1 Litteraturstudie angående validering av FDS

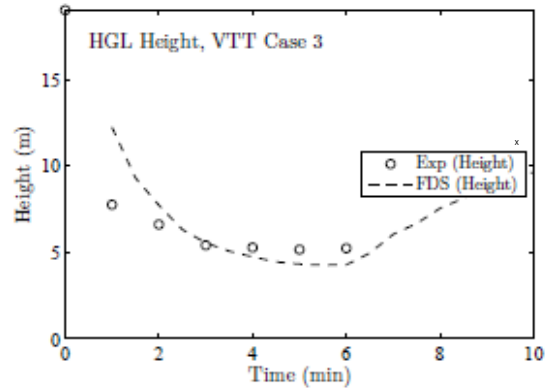
Genom att söka litteratur via libHub, Google samt i FDS egen *Technical Reference Guide* kunde ett antal rapporter av intresse väljas ut. Det är uppenbart att mycket forskning och energi har lagts inom området validering av FDS. Det rådande tillvägagångssättet att validera är att genomföra experiment och samla in data, för att sedan modellera samma experiment i FDS och jämföra resultaten. Det som främst är av intresse för rapporten är hur väl brandgaslagrets höjd i simuleringar stämmer överens med experiment, men även andra utdata såsom temperatur och flöde är av intresse för att visa att FDS på ett tillräckligt bra sätt representerar verkligheten.

I *FDS Technical Reference Guide, Volyme 3: Validation* (McGrattan et al., 2010a) beskrivs validering av programmet FDS. Validering beskrivs som en process i tre steg; att jämföra experimentets mätningar med simuleringens uppskattningar, att kvantifiera skillnader i osäkerhet mellan de två samt att dra slutsatser och bedöma om modellen ger en tillräckligt bra uppskattning av verkligheten (McGrattan et al., 2010a). I guiden genomförs enbart de två första stegen av valideringen och steg tre, att bedöma om modellen är tillräckligt bra, lämnas åt läsaren. De två första stegen resulterar bland annat i ett antal grafer där jämförelser kan göras mellan resultat från experiment samt simuleringar. För att erhålla dessa grafer har ett antal redan genomförda experiment valts ut, till exempel VTT Large Hall Tests, NIST/NRC Test Series, Steckler Compartment Experiments.

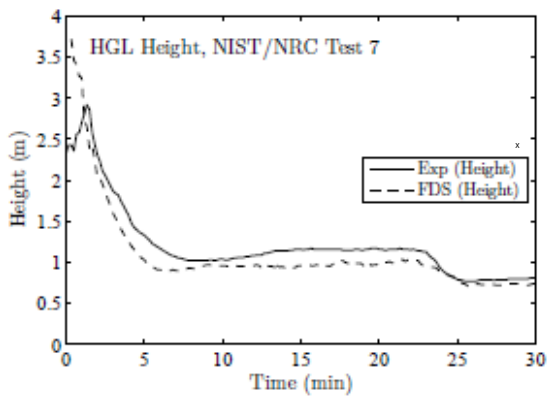
Resultaten från dessa experiment har jämförts med utdata från simuleringar där experimentens uppställningar har fått stå mall. Ett urval av grafer från guiden visas nedan i figur 3.5-3.9. För utförlig beskrivning av försöksuppställningar och övriga förutsättningar i de olika experimenten hänvisas till *FDS Technical Reference Guide, Volume 3: Validation* (McGrattan et al., 2010a).



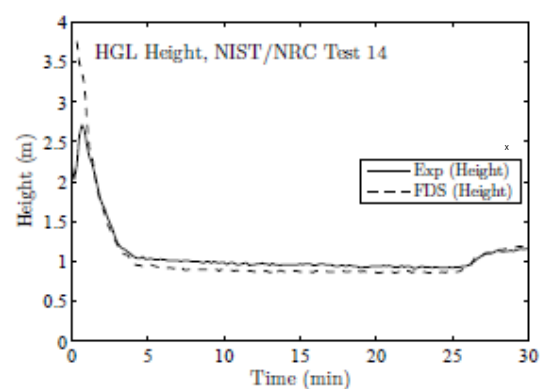
Figur 3.5. Graf som visar hur de experimentella resultaten förhåller sig till resultaten från simuleringarna för experimentet WTC Test 1 (återskapat efter McGrattan et al., 2010a).



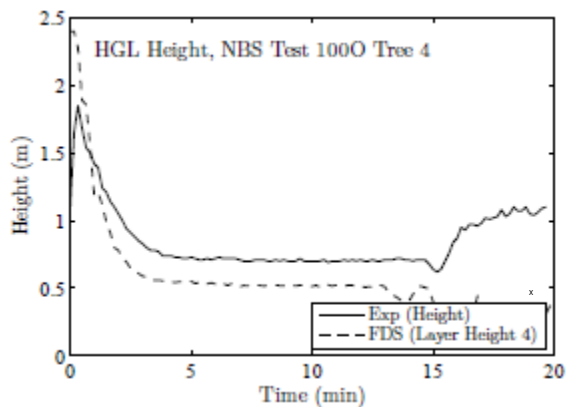
Figur 3.6. Graf som visar hur de experimentella värdena förhåller sig till de simulerade för experimentet VTT Case 3 (återskapat efter McGrattan et al., 2010a)



Figur 3.7. Graf som visar hur de experimentella värdena förhåller sig till de simulerade för experimentet NIST/NRC Test 7 (återskapat efter McGrattan et al., 2010a)

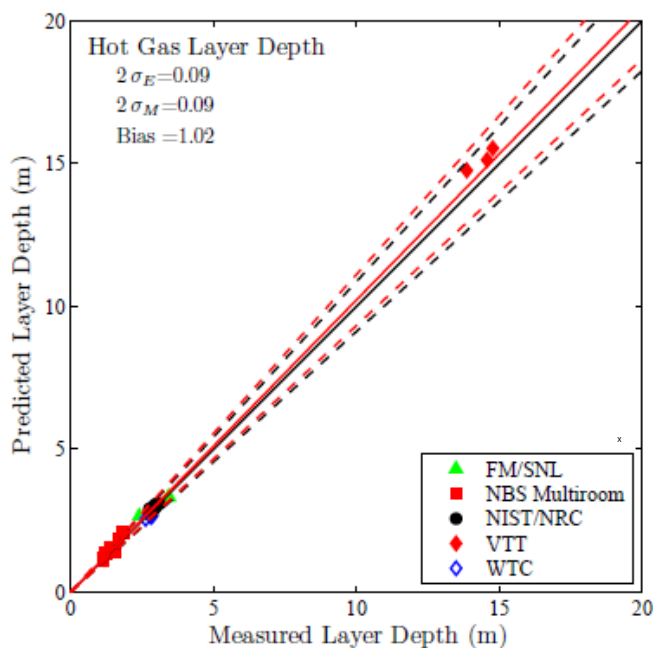


Figur 3.8. Graf som visar hur de experimentella värdena förhåller sig till de simulerade för experimentet NIST/NRC Test 14 (återskapat efter McGrattan et al., 2010a)



Figur 3.9. Graf som visar hur de experimentella värdena förhåller sig till de simulerade för experimentet NBS Test 100 (återskapat efter McGrattan et al., 2010a)

Graferna visar att mätvärdena för brandgaslagrets höjd från simuleringarna generellt har god överensstämmelse med de från experimenten. Figur 3.10 nedan visar hur resultaten från experimenten och simuleringarna förhåller sig till den experimentella osäkerheten. Grafen visar att för de experiment som undersökts i *FDS Technical Reference Guide* genererar FDS värden som ligger inom eller mycket nära den experimentella osäkerheten, och värdena är därmed jämförbara med experiment m.m.



Figur 3.10. Grafen jämför resultaten från experimenten och simuleringarna och visar hur dessa förhåller sig till den experimentella osäkerheten (återskapat efter McGrattan et al., 2010a)

I rapporten *Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications Volume 7* (US.NRC, 2007) genomförs en likartad jämförelse mellan utvalda experiment och simuleringar. I rapporten undersöks om skillnaderna mellan de experimentella och modellerade värdena ligger inom den experimentella osäkerheten. Slutsatsen som dras i rapporten är att FDS är lämplig att använda för att uppskatta temperatur samt utbredning av brandgaslagret utan förbehåll. Rapporten grundar slutsatsen på att de modellerade värdena, med få undantag, befinner sig inom den experimentella osäkerheten (US.NRC, 2007). Figur 3.11 nedan visar hur de jämförda värdena förhåller sig till den experimentella osäkerheten. Som figuren visar är det endast ett mätvärde för brandgaslagrets höjd som ligger utanför intervallet. Rapporten förklarar denna avvikelse, en överskattning med 26 %, med att det är cirka 25 % osäkerhet i den experimentella mätningen då det endast fanns fem mätpunkter som alla befinner sig nära taket i det aktuella experimentet.

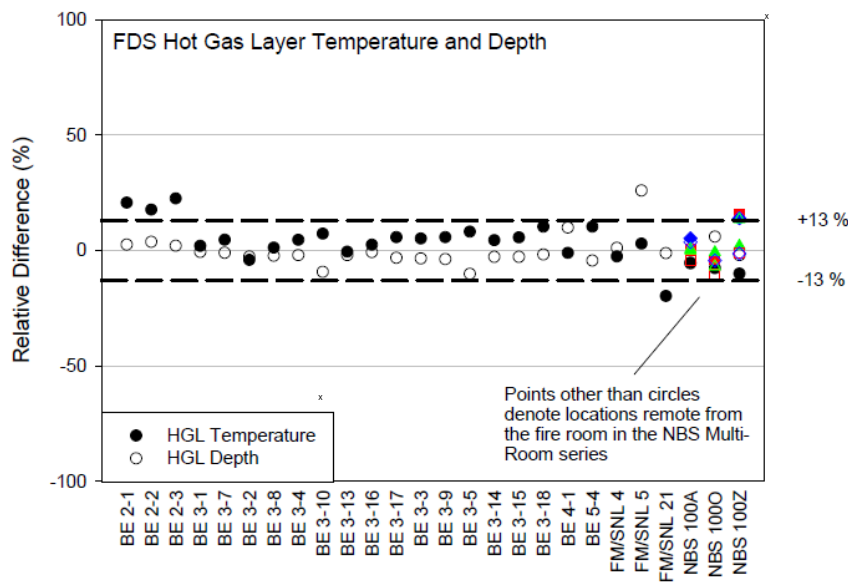


Figure 6-1: Summary of FDS Predictions of HGL Temperature and Depth

Figur 3.11. Den relativa skillnaden mellan experimentella och simulerade mätvärden (återskapat efter US.NRC, 2007).

3.6 Verifiering av FDS

FDS är ett simuleringsprogram som använder matematiska modeller för att beskriva fenomen som till exempel turbulens och värmetransport. Att verifiera programmet innebär att kontrollera att matematiken samt programmeringen i datorprogrammet stämmer.

I *FDS Technical Reference Guide* (McDermott et al., 2010) beskrivs hur verifieringen av programmet har genomförts och genomförs. Även skriften *Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications Volume 7* (US.NRC, 2007) beskriver verifieringsarbetet bakom FDS. Att i detalj beskriva hur varje del av matematiken samt programmeringen verifierats är alltför omfattande för arbetets syfte, utan en kort sammanfattning av verifieringen som genomförts av bland andra skaparna bakom FDS presenteras. Arbetet kan delas in i tre delar; det består av analytiska tester, kontroll av datakoden samt numeriska tester.

De analytiska testerna kan till exempel bestå av att kontrollera beräkningen av en sub-modell med analytisk lösning, för att säkerställa att matematiken i kodningen är korrekt. Sådana analytiska beräkningar genomförs för ett antal sub-modeller inför varje ny version av FDS för att säkerställa att inga buggar finns i den nya koden (US. NRC, 2007).

Kontrollen av datakoden tillgår bland annat genom att programmet körs på en mängd olika datormärken med olika operativsystem, för att säkerställa säker drift vid olika kombinationer av varumärken samt operativsystem. Vidare släpps källkoden offentligt vilket gör att tredje person kan kontrollera och lämna förslag på förbättringar eller rapportera felaktigheter (US.NRC, 2007).

Ett exempel på ett numeriskt test som genomförs är att kontrollera diskretiseringsfelet vid användandet av sub-grid modeller genom att minska grid-storleken tills utdatan förblir oförändrad vid ytterligare minskning av grid-storleken. Storleken på griden är extremt viktig för resultatet. Då resultatet inte förändras med en förminskad gridstorlek är simuleringen att anse som en direkt numerisk lösning (DNS) för de styrande ekvationerna (McDermott et al., 2010). I FDS finns möjligheten att simulera med DNS, utan användandet av sub-grid modeller för turbulens då griden är 1 mm^3 eller mindre. Genom att simulera småskaliga flöden med sådan grid och jämföra resultatet med experiment för detsamma har visats att programmets "grundläggande hydrodynamiska beräkningar är robusta och utan allvarliga fel" (US.NRC, 2007, s. 4-3). Att använda DNS till praktiska simuleringar för brandgasfyllnad skulle kräva alltför mycket processorkapacitet alternativt tid, och är således inte praktiskt möjligt i dagens läge.

4. Val av variabler

Valet av oberoende variabler, de variabler som varieras i simuleringarna, är avgörande för utformandet av korrelation för uppskattning av brandförloppets brandgasfyllnad. Det är dessa variabler som kommer att ingå i korrelationen och det är därför av oerhört stor vikt att samtliga variabler som på något vis kan påverka brandgasfyllnaden tas i beaktande. Det är först efter genomförandet av den statistiska analysen som en variabel kan förkastas, om den visar sig ha låg signifikans för resultat. I detta kapitel presenteras och motiveras de ingående variablerna, samt de intervall som väljs för dess varians.

4.1 Ingående variabler

Valet av ingående variabler grundar sig i den litteraturstudie som genomförts.

I litteraturen finns en mängd korrelationer framtagna för syftet att kunna uppskatta brandgasfyllnaden i ett utrymme, och det har konstaterats att det finns skillnader mellan korrelationerna avseende ingående variabler samt det resultat de genererar vid beräkningar. I samtliga av Heskestads, Yamana-Tanakas samt Zukoskis korrelationer för beräkningar av brandgasfyllnad ingår följande variabler:

- Utrymmets höjd
- Utrymmets golvarea
- Brandens effektutveckling
- Tid

Följaktligen bedöms att dessa variabler bör ingå denna studie. Utöver detta bedöms att brandens placering kan påverka brandgasfyllnaden. Anledningen till det är att placeringen påverkar inträngningen av luft i brandgasplymen och därmed brandförloppet och rimligtvis även brandgasfyllnaden i utrymmet. Därav inkluderas även denna variabel i studien. För utrymmets golvarea fokuseras endast på kvadratiska golvareor eftersom skillnad i längd och bredd skulle tillföra beräkningarna ytterligare en oberoende variabel, vilket i sin tur skulle leda till mer omfattande analys och större osäkerheter i resultat.

Andra variabler som ingår i de studerade korrelationerna är exempelvis den omgivande luftens egenskaper som temperatur, densitet och specifik värmekapacitet, typ av bränsle som brinner, värmeförluster till väggar och tak, strålningsförluster osv. Vissa av dessa variabler ingår i korrelationerna och är då möjliga att variera, medan andra hålls konstanta eller bortses helt ifrån. Dessa variabler och fler därtill kan ha viss inverkan på brandgasfyllnaden i ett utrymme, men ett val görs att initialt bortse från dessa på grund av hålla omfattningen av studien på en rimlig nivå sett till den pressade tidplanen. Att ta hänsyn till fler variabler än de ovan nämnda skulle dels öka arbetets omfattning markant och dels öka osäkerheten i den framtagna korrelationen.

En annan orsak till valet att utesluta ovanstående variabler från korrelationen är att de bedöms vara för komplexa att ta hänsyn till, vilket skulle göra korrelationen svårare använd och därmed försvinner ett av dess huvudsyften. Baserat på litteraturstudien görs därför en bedömning att utrymmets höjd och golvarea samt brandens effektutveckling och placering bör vara de variabler som har störst inverkan på brandgasfyllnaden i ett utrymme, vilket motiverar att dessa ska ingå i studien.

4.2 Antal simuleringar

Valet av antal simuleringar som genomförs kommer att styra hur tillförlitlig korrelationen i slutändan blir. Ju fler simuleringar som genomförs desto fler resultat genereras vilket gör den statistiska analysen bättre. Samtidigt finns det en tidsgräns för projektet som måste följas vilket gör att denna fas måste begränsas. I litteratur rekommenderas att antalet observationer per variabel i en multipel regressionsanalys bör vara 10 till 20 gånger så många som antalet oberoende variabler, vilket i detta fallet med 4 oberoende variabler innebär 40 till 80 simuleringar (StatSoft Inc, 2011). Valet av att genomföra 120 simuleringar, 40 för respektive brandplacering, bör därför generera en stabil regressionslinje och ett resultat som är möjligt att återskapa.

4.3 Intervall för varians

Nedan anges de intervall inom vilka variablerna har varierats i studien, samt anledningen till att dessa gränser valts. Mer om indatan till simuleringarna och dess genomförande beskrivs i kapitel 5 *CFD-simuleringar*.

4.3.1 Brandens effektutveckling

Brandens effektutveckling varierar mellan 50 och 500 kW. Det härleds från en bedömd trolig brandbelastning i ett trapphus, vilket vid 50 kW motsvarar en papperskorg (Särdqvist, 1993) och vid 500 kW rimligen motsvarar en eller två barnvagnar.

4.3.2 Utrymmets höjd

Höjden på utrymmet varierar från ett lägsta värde på 8 meter vilket ungefär motsvarar 3 våningsplan i en byggnad, till ett högsta värde på 23 meter vilket ungefär motsvarar 8 våningsplan. Den undre gränsen väljs med hänsyn till arbetets syfte att utreda höga, vertikala utrymmen och därför studeras ej höjder som är lägre än 8 meter. Den övre gränsen väljs med hänsyn till att 97 % av flerbostadshusen i Sverige är 8 våningar eller lägre (Boverket, 2010). Det är även normal amerikansk praxis att bygga trapphus i sektioner av åtta våningar, vilket ytterligare motiverar till att begränsa den övre höjden till 23 meter (Jensen, 2005).

4.3.3 Utrymmets golvarea

Det lägsta värdet på längd och bredd som väljs är 1,4 meter, vilket kan jämföras med ett mindre hisschakt. Det övre värdet som väljs är 6 meter, vilket bör kan jämföras med längd och bredd i ett större trapphus. Endast kvadratiska utrymmen används i simuleringarna, då detta bedöms vara tillräckligt för studiens syfte. Samtidigt skulle skillnad i längd och bredd tillföra ytterligare en oberoende variabel i beräkningarna vilket skulle öka omfattningen av samt osäkerheten i resultaten.

4.3.4 Sammanfattning intervall för varians

I tabellen nedan sammanfattas de oberoende variabler som varierats i simuleringarna med angivna intervall inom vilka värden har slumpats fram för respektive simulering.

För samtliga variabler; utrymmets höjd, längd/bredd samt brandens effektutveckling, genererades ett slumpat värde inom ovan angivna intervall med funktionen *randbetween (bottom;top)* i Microsoft Excel. Funktionen slumpar följaktligen ett värde inom ett givet intervall för samtliga simuleringar, vilket skapar 120 stycken simuleringar med unika förutsättningar. Givetvis kan teoretiskt sett två eller flera simuleringar få samma slumpade värden för samtliga variabler, men det var inget som aktivt arbetades bort utan slumpen fick styra dessa förutsättningar.

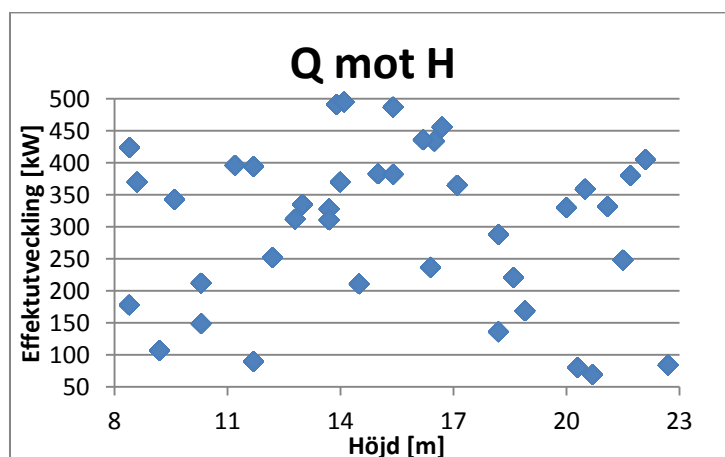
Variabel	Min	Max
Utrymmets höjd [m]	5	23
Utrymmets längd/bredd [m]	1,4	6
Brandens effektutveckling [kW]	50	500
Brandens placering	1: Centrerat i utrymmet	
	2: Intill en vägg	
	3: I ett hörn	

4.4 Variablernas spridning

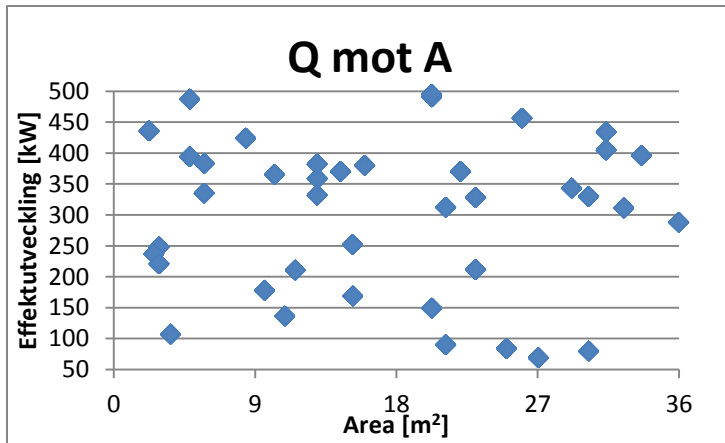
Om de oberoende variablerna är korrelerade skulle det kunna påverka det statistiska resultatet. Eftersom samtliga indata till simuleringarna för de oberoende variablerna är slumpmässigt framtagna ur avgränsade intervall torde så ej vara fallet, men för att undersöka det så plottas variablerna grafiskt mot varandra. På detta sätt kan det urskiljas om variablerna i ett stort antal simuleringar är allt för likartade, vilket i så fall kan styra resultatet på ett oönskat vis, och även om det "saknas" simuleringar med variabler inom någon eller några delar av intervallet. Det senare fallet skulle kunna föranleda att ytterligare simuleringar genomförs, där variablerna styrs åt önskade håll för att komplettera de delar av intervallen som ej fångats upp tidigare.

4.4.1 Brandplacering 1

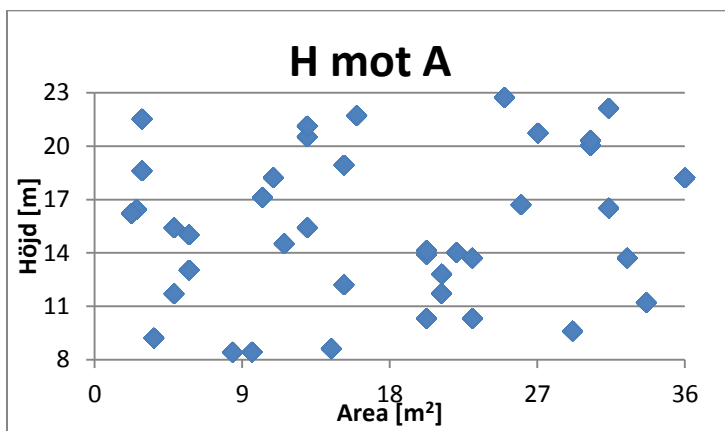
Nedan återfinns de oberoende variablerna; effektutveckling (Q), utrymmets höjd (H) samt utrymmets golvarea (A), plottade mot varandra för brandplacering 1.



Figur 4.1 Brandens effektutveckling plottad mot utrymmets höjd, för simuleringar på brandplacering 1.



Figur 4.2 Brandens effektutveckling plottad mot utrymmets golvarea, för simuleringar på brandplacering 1.

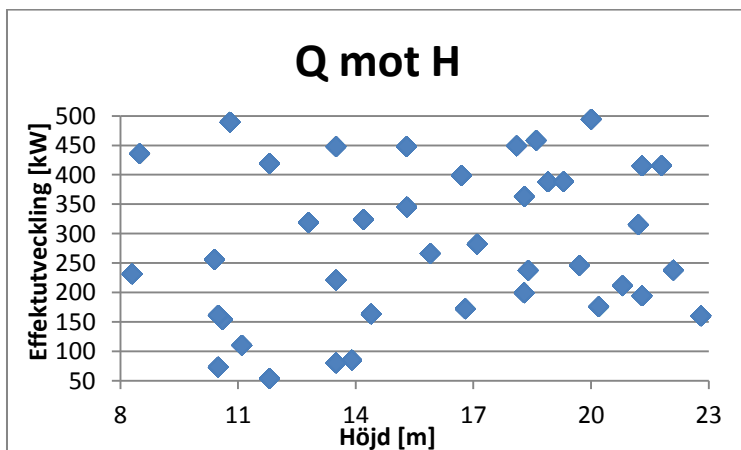


Figur 4.3 Utrymmets höjd plottad mot golvarean, för simuleringar på brandplacering 1.

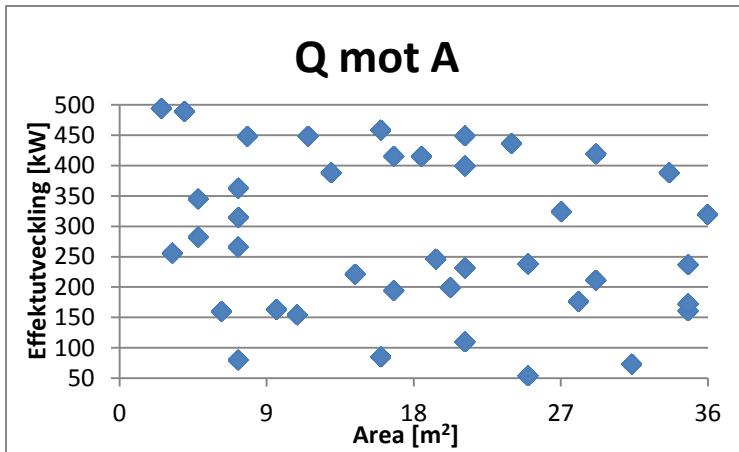
Det framgår tydligt av figur 4.1-4.3 ovan att variablerna inte korrelerar och har en god spridning inom intervallen för brandplacering 1. En bedömning görs att spridningen på variablerna är tillfredställande och att ytterligare simuleringar därmed ej är nödvändiga.

4.4.2 Brandplacering 2

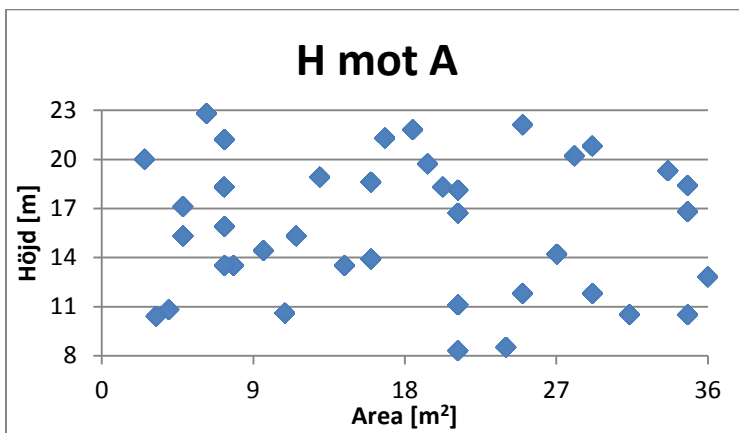
Nedan återfinns de oberoende variablerna; effektutveckling (Q), utrymmets höjd (H) samt utrymmets golvarea (A), plottade mot varandra för brandplacering 2.



Figur 4.4 Brandens effektutveckling plottad mot utrymmets höjd, för simuleringar på brandplacering 2.



Figur 4.5 Brandens effektutveckling plottad mot utrymmets golvarea, för simuleringar på brandplacering 2.

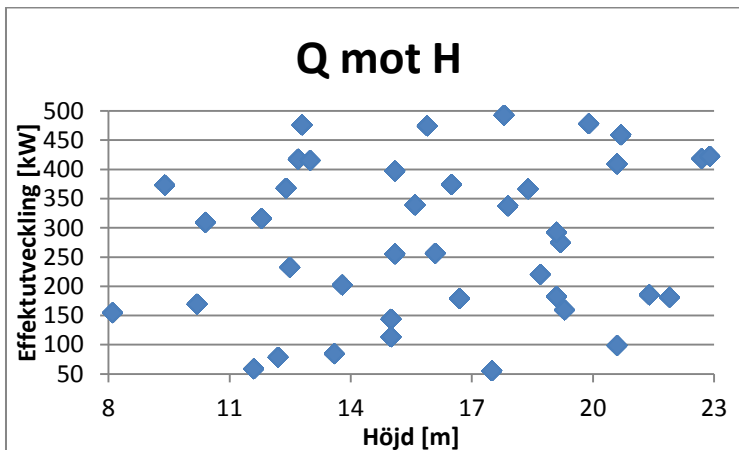


Figur 4.6 Utrymmets höjd plottade mot golvarean, för simuleringar på brandplacering 2.

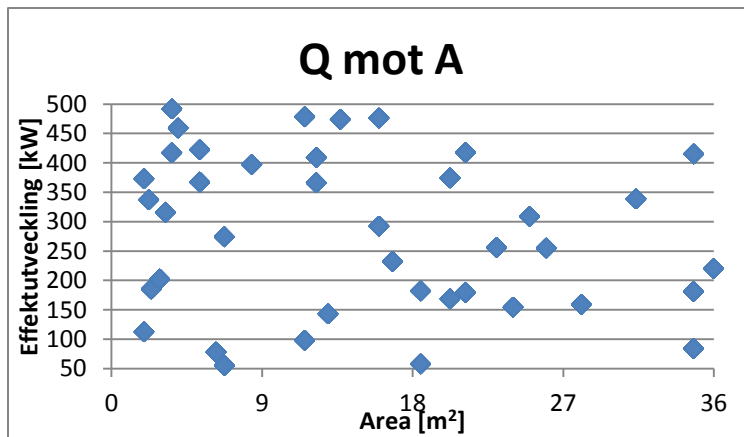
Även för brandplacering 2 framgår tydligt av figur 4.4-4.6 ovan att variablerna inte korrelerar och har en god spridning inom intervallen. En bedömning görs att spridningen på variablerna är tillfredställande och att ytterligare simuleringar därmed ej är nödvändiga.

4.4.3 Brandplacering 3

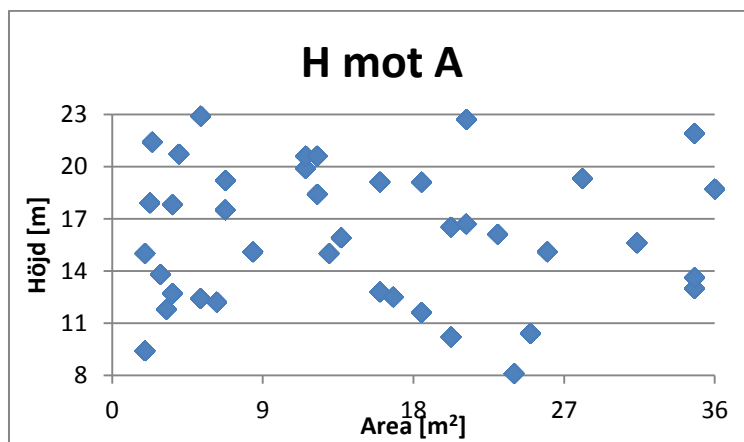
Nedan återfinns de oberoende variablerna; effektutveckling (Q), utrymmets höjd (H) samt utrymmets golvarea (A), plottade mot varandra för brandplacering 3.



Figur 4.7 Brandens effektutveckling plottad mot utrymmets höjd, för simuleringar på brandplacering 3.



Figur 4.8 Brandens effektutveckling plottad mot utrymmets golvarea, för simuleringar på brandplacering 3.



Figur 4.9 Utrymmets höjd plottad mot golvarean, för simuleringar på brandplacering 3.

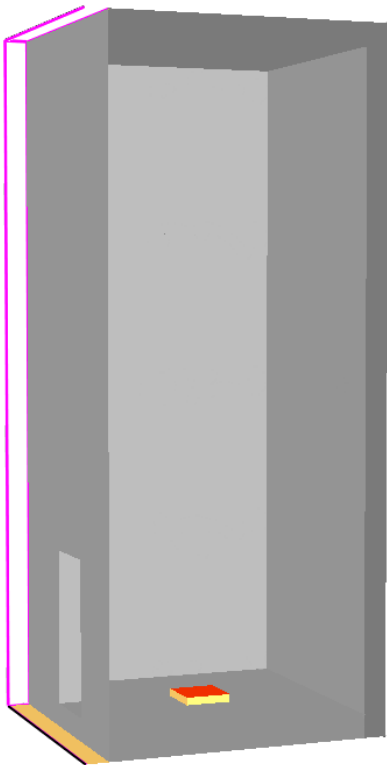
Slutligen konstateras att för brandplacering 3 framgår tydligt av figur 4.7-4.9 ovan att variablerna inte korrelerar och har en god spridning inom intervallen. En bedömning görs att spridningen på variablerna är tillfredställande och att ytterligare simuleringar därmed ej är nödvändiga.

5. CFD-simuleringar

CFD-simuleringar genomförs i datorprogrammet FDS5 (se beskrivning i avsnitt 3.2). Inledningsvis genomförs 120 simuleringar, vars utdata kommer att ligga till grund för framtagandet av korrelationen för brandgasfyllnad. Ett antal parametrar kommer att varieras mellan de olika simuleringarna, vilket redogörs för nedan.

5.1 Utrymmets egenskaper

Utrymmets geometri baseras på egenskaper hos trapphus och andra smala vertikala utrymmen som schakt. Nedan beskrivs de olika berörda parametrarna samt motivering till valet av dessa värden. En modell av utrymmet, hämtad från Smokeview, kan ses i figur 5.1.



Figur 5.1. Modellen av utrymmet från en simulering med branden placerad i mitten, figur hämtad från Smokeview.

5.1.1 Höjd

Höjden på utrymmet varieras från ett lägsta värde på 8 meter vilket ungefär motsvarar 3 våningsplan i en byggnad, till ett högsta värde på 23 meter vilket ungefär motsvarar 8 våningsplan. Se även avsnitt 4.3.

5.1.2 Bredd och längd

Utrymmets bredd och längd varieras i simuleringarna mellan 1,4 och 6 meter. Längden och bredden ges samma värde i respektive simulering, vilket gör att samtliga golvytor är kvadratiska. Om längd och bredd skulle varieras var för sig innebär det att ytterligare en parameter adderas till korrelationen, vilket ökar arbetets omfattning samt osäkerheten med korrelationen. Se även avsnitt 4.3.

5.1.3 Material

Material som väljs i golv, tak och väggar är betong, vilket bedöms vara ett mycket vanligt val av material i ett flerbostadshus. Valet av betong som material medför följande materialegenskaper (McGrattan, K., Hostikka, S., Floyd, J. & McDermott, R., 2010b):

- Densitet 2280 kg/m³
- Specifik värmekapacitet 1,04 kJ/(kg×K)
- Konduktivitet 1,8 W/(m×K)
- Emissivitet 0,9
- Absorptionskoefficient 5×10⁴ m⁻¹

5.1.4 Tilluftsöppning

Storleken på tilluftsöppning väljs konstant med höjden 2 meter och bredden 0,9 meter, vilket motsvarar normala dimensioner på en dörr. Öppningen placeras på markplan, centrerat på väggen i horisontalled, och hålls öppen ut till det fria under hela brandförloppet. Storleken på öppningen är tillräcklig för att branden i samtliga simuleringar ska kunna hållas vid en konstant effektutveckling och ej bli ventilationskontrollerad. Detta antagande verifieras genom att en provsimulering genomförs, med förutsättningarna minsta volym på i utrymmet i kombination med högsta effektutvecklingen på branden, där effektutvecklingen mycket riktigt visar sig förbli konstant.

5.2 Brandens egenskaper

Nedan beskrivs de parametrar som berör brandens egenskaper.

5.2.1 Effektutveckling

Brandens effektutveckling varierar mellan 50 och 500 kW. I respektive simulering hålls effektutvecklingen konstant under hela brandförloppet. Eftersom brandens effektutveckling skiljer sig mycket mellan den övre och den undre gränsen i intervallet, måste antingen brandens area eller effektutveckling varieras relativt mycket mellan simuleringarna. Brandens effektutveckling per areaenhet hålls relativt konstant på cirka 500 kW/m² i samtliga simuleringar, vilket är ett vanligt värde för denna typ av brand i organiska material. Detta innebär att brandens area ändras då effektutvecklingen varieras, en högre effektutveckling innebär således en större area på branden. Brandens area anpassas till ett jämnt antal celler, vilket medför att effektutvecklingen per areaenhet dock kan variera något kring utgångsvärdet 500 kW/m².

5.2.2 Brandens placering

Branden placeras i samtliga simuleringar på markplan. Brandens placering i horisontalled varierar mellan tre positioner; centrerat i utrymmet, intill en vägg samt intill ett hörn. På varje brandplacering genomförs 40 simuleringar.

5.2.3 Bränsle

Heptan används som bränsle i simuleringarna. Vid jämförelser med troliga material som kan brinna i denna typ av utrymme, exempelvis trä och plast, har heptan relativt likartade egenskaper avseende exempelvis sotbildning. Just sotbildning är en variabel som kan variera relativt mycket beroende på material som brinner, men de val av inställningar som görs bedöms generellt vara representativa för de scenarier som avses att behandlas. Vid valet av bränslet heptan genereras förinställda värden för bränslet via en exempelfil i FDS. Dessa har i stor utsträckning använts i simuleringarna, dock har justeringar gjorts för ett antal parametrar efter rekommendationer i litteratur (Tewarson, 2002). Nedan anges indata för branden som använts i simuleringarna.

- Soot Yield: 0,037 (förinställt värde i FDS: 0,015)
- CO Yield: 0,010 (förinställt i FDS: 0,006)
- Energy release per unit mass oxygen: 13100 kJ/kg
- Oxygen mass fraction: 0,23
- Mass fraction of fuel in burner: 1,0
- Limiting oxygen index: 0,15
- Critical flame temperature: 1427°C
- Radiative fraction: 0,35.

5.2 Sammanfattning av variablernas intervall

I tabell 5.1 nedan visas samtliga intervall för de ingående variablerna inom vilka värden har slumpats fram till respektive simulering.

Tabell 5.1. En sammanfattning av de variabler som varierats i simuleringarna med angivna intervall inom vilka värden har slumpats fram för respektive simulering.

Variabel	Min	Max
Utrymmets höjd [m]	5	23
Utrymmets längd/bredd [m]	1,4	6
Brandens effektutveckling [kW]	50	500
Brandens placering [1,2,3]	1: Centrerat i utrymmet	
	2: Intill en vägg	
	3: I ett hörn	

Initialt fördelas de 120 simuleringarna så att 40 simuleringar genomförs på respektive brandplacering. För de ingående parametrarna slumpas sedan värden enligt avsnitt 4.

5.3 Mesher och cellstorlek

Valet av cellstorlek har stor påverkan på resultatet och hur lång simuleringstiden blir. Samtidigt kan osäkerheten öka vid jämförelser mellan simuleringar, om olika cellstorlek använts i olika simuleringar. Å andra sidan kommer den dimensionslösa branddiametern i förhållande till gridstorleken att variera om gridstorleken hålls konstant i alla simuleringar.

Gridstorleken nära branden bör enligt rekommendation ansättas så att kvoten $D^*/\delta x$, dvs. Den dimensionslösa branddiametern D^* i förhållande till gridstorleken δx , bör vara mellan 5-10 (Nystedt, F. & Frantzich, H., 2011). Den dimensionslösa diametern beräknas enligt ekvation 5.1 nedan (McGrattan, K., Hostikka, S., Floyd, J. & McDermott, R., 2010b):

$$D^* = \left(\frac{Q}{\rho_{\infty} c_{\infty} T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{2/5} \quad (5.1)$$

där

Q är brandeffekt (som lägst 50 kW)

ρ_{∞} är luftdensitet (1,2 kg/m³)

c_{∞} är värmekapacitet (1,0 kJ/kg/K)

T_{∞} är lufttemperatur (293 K)

g är gravitationskonstanten (9,81 m/s²).

Detta innebär att ju lägre effektutveckling simulerad brand har desto finare meshstorlek behövs för att simulera branden.

Cellstorleken i simuleringarna är 10×10×10 cm stora i hela utrymmet. Vald gridstorlek ger vid en effektutveckling på 50 kW en kvot på ca 2,9 vilket understiger det rekommenderade värdet något. Vid en effektutveckling på 195 kW överstiger kvoten 5, och under 195 kW understiger kvoten 5. Vid den maximala effektutvecklingen på 500 kW ligger kvoten på 7,3. På grund av begränsade simuleringsresurser samt arbetets omfattning har dessa förutsättningar bedömts vara tillräckliga, utifrån syftet med analysen.

Programmet tillåter att utrymmet delas in i olika likformiga mesher, med ett valfritt antal celler i respektive mesh. Genom att utnyttja detta kan simuleringstiden avsevärt förkortas, då olika mesher kan bearbetas av olika processorer. I dessa simuleringar har dock endast en mesh använts, vilket medför längre simuleringstider men också en rad fördelar. Då gaser strömmar över meshgränser genomför programmet interpolering mellan de angränsande cellerna, vilket undviks i dessa simuleringar. Funktionen som mäter brandgaslagrets höjd, vilken används som beroende variabel i ett fall, rekommenderas ej att användas över meshgränser vilket följaktligen också undviks i dessa simuleringar.

5.4 Simuleringstid

Syftet med simuleringarna är att studera brandgaslagrets höjd som funktion av tiden, vilket gör att tiden som simuleringarna tillåts pågå är intressant. Målet är låta samtliga simuleringar pågå tills dess att brandgaslagret har stabiliserats höjdmässigt, det vill säga att det efter den tidpunkten inte avviker nämnvärt från den höjd det då befinner sig på. Det är svårt att på förhand förutspå hur lång tid det tar innan denna stabilisering sker i respektive simulering, men en bedömning görs att det rimligtvis sker inom tio minuter i samtliga fall, vilket därför ansätts som simuleringstid i samtliga simuleringar.

5.5 Mätningar

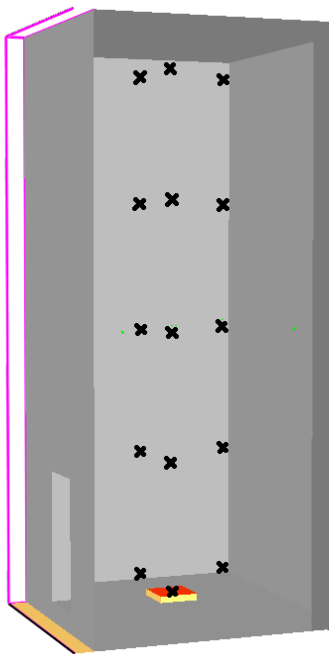
Nedan redogörs för de mätningar som kommer att genomföras i simuleringarna. Detta avgör vilken utdata som erhålls och därmed vilka slutsatser som kan dras.

5.5.1 Temperatur

Temperaturen i brandrummet mäts på ett flertal punkter. Tre träd med mätpunkter har placerats ut från golv till tak, enligt figur 5.2. I samtliga simuleringar placeras träden minst 0,4 meter från väggarna, för att i största möjliga mån undvika konstruktionens inverkan på brandgasflödet i form av turbulens, och därigenom även potentiell påverkan på temperaturen.

Utöver dessa mätningar placeras även ett flertal så kallade Slicefiles som visar temperaturen i utrymmet. Slicefile är en genomskärning som sträcker sig från golv till tak och som åskådliggör vald parameter för en genomskärning av rummet, i programmet Smokeview. Tre stycken Slicefiles i x-led samt tre i y-led placeras ut, dels mitt genom utrymmet samt 0,5 meter in från väggarna.

Resultaten från mätningarna av temperaturen i utrymmet sammanställs ej och presenteras därmed ej i rapporten, då dessa enbart genomförs för att studera rimligheten i simuleringarna.



Figur 5.2. En modell av utrymmet med markeringar för temperaturmätpunkter i en av simuleringarna, figur hämtad från Smokeview.

5.5.2 Brandgaslagrets höjd

Brandgaslagrets höjd utgör den beroende variabeln i analysen. Det finns flera olika sätt att definiera var nivån på brandgaserna befinner sig, och också flera olika sätt att mäta nivån i FDS. Följande tre metoder används i detta arbete.

I FDS5 finns en funktion som mäter brandgaslagrets höjd genom att i en vertikal pelare från golv till tak studera en kontinuerlig funktion baserad på temperaturen i utrymmets övre varma zon och den

undre kalla zonen. Som funktion av tiden erhålls sedan en uppskattning av brandgaslagrets höjd i vald x/y-koordinat i rummet. Denna funktion för brandgaslagrets höjd används på sex punkter i utrymmet: mitt i utrymmet, i varje hörn samt diagonalt genom utrymmet.

Utöver dessa mätningar placeras även ett flertal Slicefiles som visar sikten i utrymmet, och utifrån detta kan brandgaslagrets höjd uppskattas visuellt. Slicefile är en smal skiva som sträcker sig från golv till tak och som visuellt åskådliggör vald parameter för en genomskärning av rummet, i programmet Smokeview.

Den data som Smokeview använder för att visuellt åskådliggöra sikten, baserat på röktätheten, kan erhållas genom att extrahera tal från utdatafilerna. Denna data kan användas för att erhålla den höjden där brandgaslagret slutar samt sikten på valfri höjd, för valfritt tidsintervall. Detta möjliggör därmed att höjden för första indikation på rök samt höjden för när sikten är 10 meter, kan studeras under brandförloppet. Se även avsnitt 2.3.3. Avseende kriterium kritik sikt 10 meter är det ett mått på röktätheten snarare än faktisk siktlängd. Därav kan kriteriet tillämpas trots att utrymmets storlek underskrider 10 meter.

5.5.3 Flöde, tryck och hastighet

Flödet av luft, trycket samt luftens hastighet genom dörröppningen på markplan mäts. Dessa mätningar genomförs för att säkerställa rimligheten i simuleringarna, att luft och brandgaser uppför sig som de förutsätts göra. Dessa resultat redovisas ej vidare i rapporten.

6. Analys av enskilda oberoende variabelers inverkan på brandgaslagrets höjd

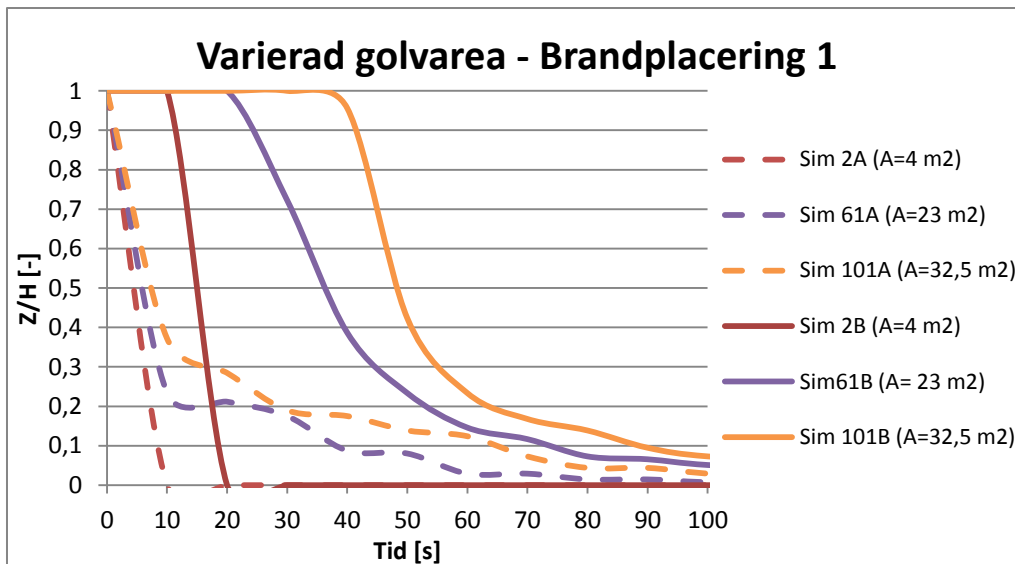
Då resultaten från multipla regressionsanalyser kan vara svåra att tolka och visuellt åskådliggöra genomförs här en förenklad analys genom att jämföra ett fåtal simuleringar med varandra. I denna del av analysen genomförs en förenklad kvalitativ analys av de resultat som simuleringarna har genererat.

För att kunna undersöka enskilda variabelers inverkan på brandgaslagrets höjd krävs att simuleringarna i analysen har liknande värden för övriga variabler, samtidigt som det finns en signifikant skillnad mellan värdena för variabeln som analyseras. Eftersom samtliga variabler slumpas för respektive simulering, kommer det att finnas vissa skillnader mellan samtliga variabler vid jämförelse mellan två simuleringar. Vid en optimal jämförelse mellan två simuleringar skulle givetvis de variabler som inte jämförs ha exakt samma värde. Om oväntade resultat uppstår vid jämförelse mellan två simuleringar diskuteras detta vidare. Nedan följer resultat från en analys vars syfte är att visuellt åskådliggöra de oberoende variabelernas inverkan på brandgaslagrets höjd.

För de olika simuleringarna innebär siffror 1-120 nummer på simuleringen. Index A innebär kriterium första indikation på brandgaser medan index B innebär kritisk sikt 10 meter. För att minska ned omfattningen av denna analys väljs den tredje metoden bort i detta avsnitt. Detta för att lättare åskådliggöra resultatet i grafer, vilka annars skulle bli allt för röriga med ytterligare tre kurvor, samt för att syftet här är att studera de oberoende variabelerna och inte göra en jämförelse mellan de tre metoderna. Sådan jämförelse är dock att finna senare i rapporten.

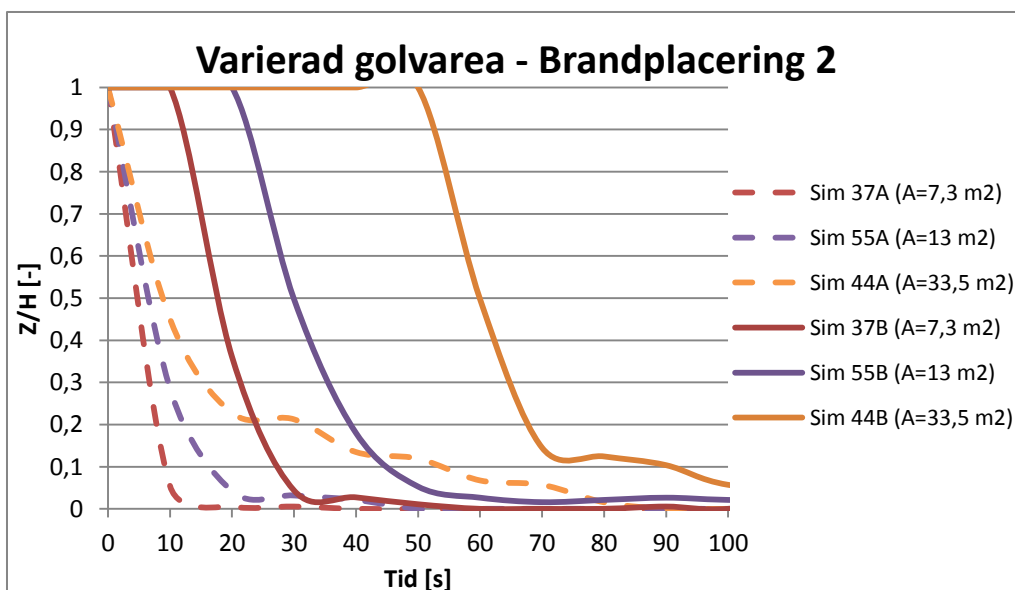
6.1 Golvareans inverkan på brandgaslagrets höjd

Storleken på utrymmets golvarean har stor inverkan på utrymmets totala volym. En större golvarean medför därför en större volym som måste rökfyllas innan brandgaserna börjar sjunka mot golvet. Vid en jämförelse mellan ytterligheterna avseende golvarean, som minst 1,4×1,4 m och som störst 6×6 m, innebär detta att utrymmets totala volym som mest kan variera mellan 45 m³ och 828 m³. Den största golvarean medför alltså en 18 gånger så stor rumsvolym som den minsta golvarean, i båda fallen i kombination med den högsta takhöjden, vilket naturligtvis har stor inverkan på rökfyllnadsförloppet. I figur 6.1-6.3 visas en jämförelse mellan simuleringar med olika golvareor, med relativt lika värden på övriga variabler i respektive figur. Vid denna jämförelse vore det givetvis ultimatum om alla övriga variabler hade identiska värden mellan simuleringarna, men i och med slumpandet av indata är detta ej möjligt. Istället väljs simuleringar med, bortsett från den studerade variabeln, så lika indata som möjligt. Utifrån resultatet av jämförelsen diskuteras sedan potentiell inverkan av skillnader i övriga variabler.



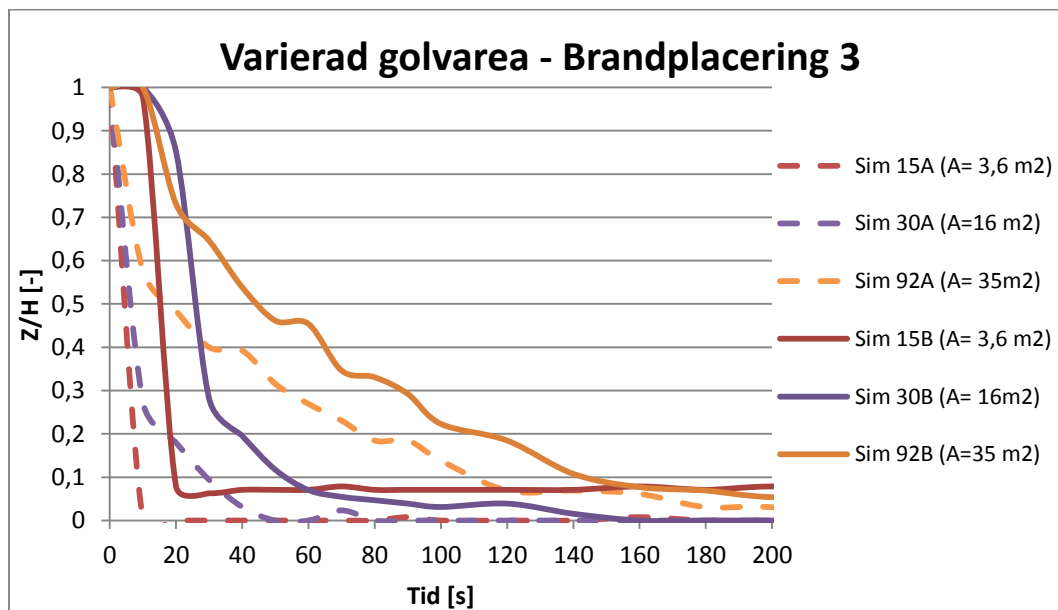
Figur 6.1. En jämförelse mellan tre simuleringar med olika golvareor, branden placerad i mitten av utrymmet. Värden på övriga variabler är (medelvärden då viss variation förekommer): effektutveckling 325 kW och takhöjd 13,5 m. Index A innebär observation vid första indikation av rök medan index B är vid kritisk sikt 10 meter.

Figur 6.1 visar tre simuleringar från brandplacering 1, med golvareor på 4, 23 samt 32.5 m². Båda avläsningarna, vid första indikation på rök samt vid kritisk sikt, visar samma förhållande mellan de tre simuleringarna. I simulering 2 med minst golvarea sjunker brandgaslagret snabbast medan det i simulering 101 sjunker långsammast. Då golvarean i simulering 2 är mycket liten i förhållande till de övriga två simuleringarna, avviker detta resultat från de övriga två kurvorna och redan efter 20 sekunder har brandgaslagret nått golvet med en sikt under 10 meter. I simulering 61 och 101 tar det betydligt längre tid för brandgaslagret att nå ned till golvet.



Figur 6.2. En jämförelse mellan tre simuleringar med olika golvareor, branden placerad intill väggen. Värden på övriga variabler är (medelvärden då viss variation förekommer): effektutveckling 380 kW och takhöjd 18,8 m. Index A innebär observation vid första indikation av rök medan index B är vid kritisk sikt 10 meter.

Figur 6.2 visar tre simuleringar från brandplacering 2, med golvareor på 7,3, 13 samt 33,5 m². Båda avläsningarna, vid första indikation på rök samt vid kritisk sikt, visar samma förhållande mellan de tre simuleringarna. I simulering 37 med minst golvarea sjunker brandgaslagret snabbast medan det i simulering 44 sjunker långsammast.

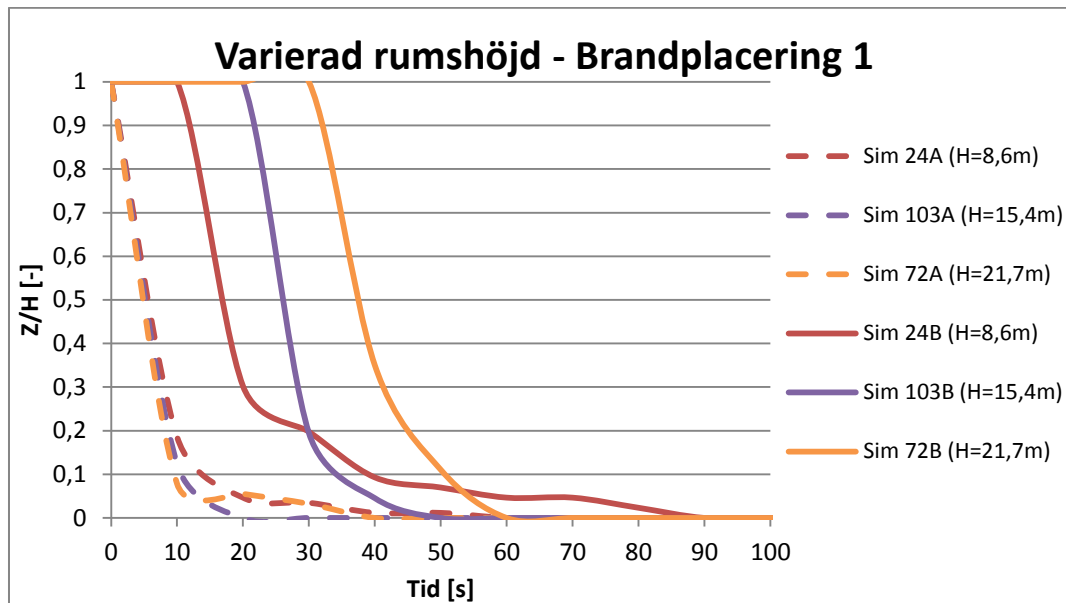


Figur 6.3. En jämförelse mellan tre simuleringar med olika golvareor, branden placerad i hörnet. Värden på övriga variabler är (medelvärden då viss variation förekommer): effektutveckling 436 kW och takhöjd 12,8 m. Index A innebär observation vid första indikation av rök medan index B är vid kritisk sikt 10 meter.

Figur 6.3 visar tre simuleringar från brandplacering 3, med golvareor på 3,6, 16 samt 35 m². Under större delen av brandförloppet visar båda avläsningarna samma förhållande mellan simuleringarna, att brandgaslagret i simulering 15 med minst golvarea sjunker snabbast medan det i simulering 92 sjunker långsammast. Dock förekommer ett antal observationer där förhållandet är annorlunda, framför allt efter 60 sekunder då kurvan för simulering 15B korsar kurvan för simulering 30B och stabiliserar sig på en högre höjd. Detta skulle kunna bero på skillnaden i effektutveckling, då simulering 30 har en något högre effektutveckling (476 kW jämfört med 417 kW). En annan förklaring kan vara att branden i simulering 15, på grund av den lilla golvarean, hamnar närmare dörröppningen (1 meter i simulering 15 jämfört med 3 meter i simulering 30) och att brandgaser därmed lättare suges ut ur utrymmet.

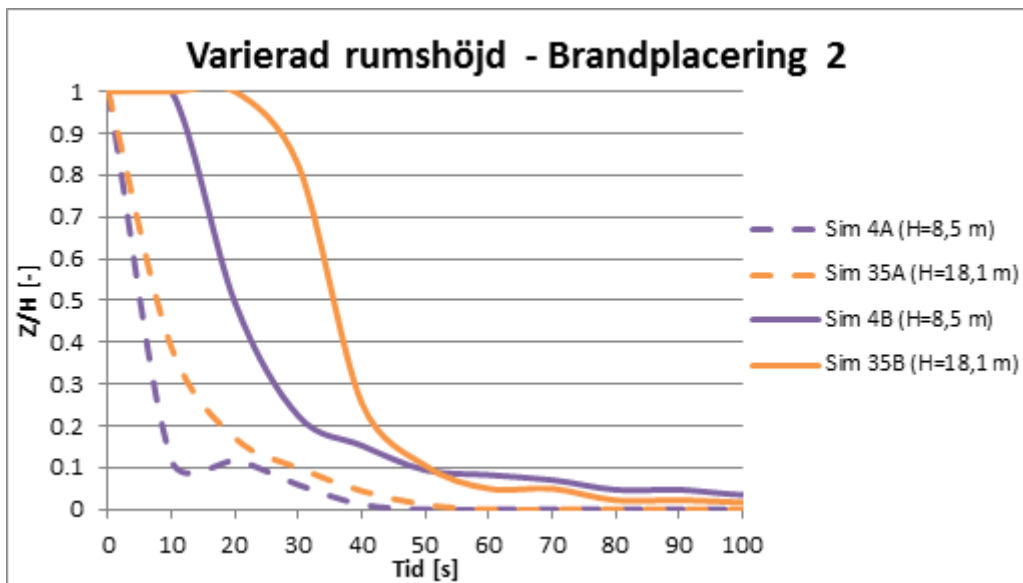
6.2 Rumshöjdens inverkan på brandgaslagrets höjd

Utrymmets höjd bestämmer hur högt brandgaserna måste stiga innan de kan ansamlas och sjunka mot golvet, vilket givetvis har stor inverkan på brandgaslagrets höjd som funktion av tiden. En jämförelse mellan den lägsta och högsta rumshöjden, 8 respektive 23 meter, i kombination med den största golvarean 36 m^2 , visar att utrymmets totala volym kan variera mellan 288 och 828 m^3 . Den högsta höjden medför alltså en knappt tre gånger så stor volym som den lägsta höjden. I figur 6.4-6.6 visas en jämförelse mellan simuleringar med olika rumshöjder, med relativt lika värden på övriga variabler i respektive figur.



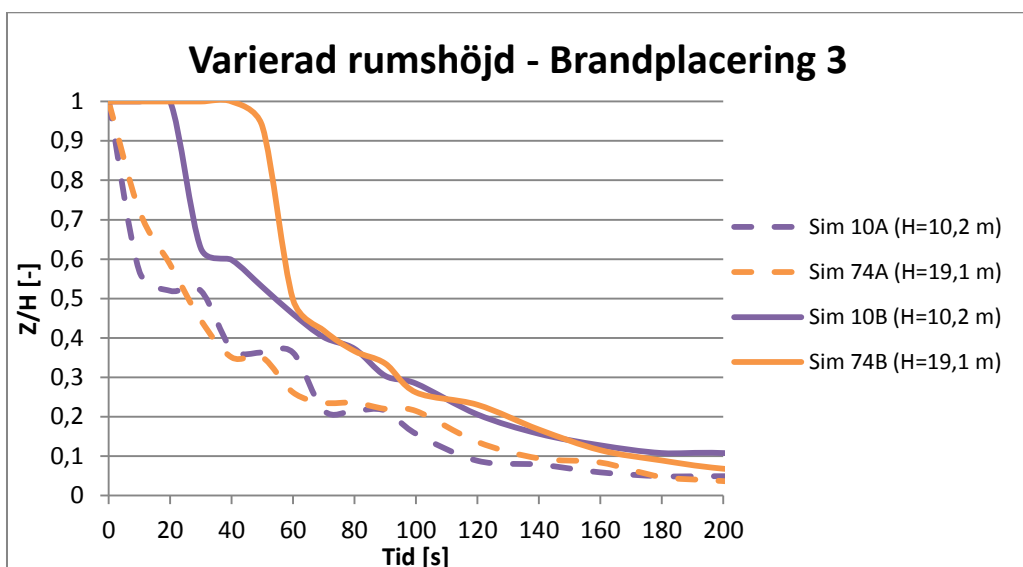
Figur 6.4. En jämförelse mellan tre simuleringar med olika rumshöjder, branden placerad i mitten av utrymmet. Värden på övriga variabler är (medelvärden då viss variation förekommer): effektutveckling 377 kW och golvarea $14,5 \text{ m}^2$. Index A innebär observation vid första indikation av rök medan index B är vid kritisk sikt 10 meter.

Figur 6.4 visar tre simuleringar från brandplacering 1, med höjder på 8,6, 15,4 samt 21,7 meter. Avläsning B, observationerna vid kritisk sikt, visar inledningsvis ett väntat förhållande mellan de tre simuleringarna. I simulering 24 med lägst rumshöjd sjunker brandgaslagret snabbast medan det i simulering 72 sjunker långsammast. Vid observationen 30 sekunder sker dock en korsning mellan kurva 24B och 103B och brandgaslagret i 24B håller sig ned på en högre normerad höjd än i 103B. Efter cirka 55 sekunder är kurvan 24B även högre än 72B. För kurvorna för avläsning A, observationerna vid första indikation på rök, finns inget tydligt förhållanden mellan de tre simuleringarna. Resultaten antyder att rumshöjden har stor inverkan på brandgaslagrets normerade höjd i början av brandförloppet i dessa simuleringar, innan brandgaserna har nått taket. Men när brandgaserna väl börjar sänka sig mot golvet verkar det inte finnas något tydligt samband mellan rumshöjden och brandgaslagrets normerade höjd.



Figur 6.5. En jämförelse mellan två simuleringar med olika rumshöjder, branden placerad intill väggen. Värden på övriga variabler är (medelvärden då viss variation förekommer): effektutveckling 443 kW och golvarea 22,5 m². Index A innebär observation vid första indikation av rök medan index B är vid kritisk sikt 10 meter.

Figur 6.5 visar två simuleringar från brandplacering 2, med höjder på 8.5 och 18.1 meter. Både avläsning A och B visar samma förhållande mellan simuleringarna, att brandgaslagrets sänker sig snabbast i simulering 4 med den lägsta rumshöjden. Efter drygt 50 sekunder sker dock en korsning mellan kurva 4B och 35B, men denna skillnad bedöms kunna bero på naturlig variation. En förklaring kan också vara att dörrhöjden i förhållande till utrymmets höjd är annorlunda i simuleringarna.

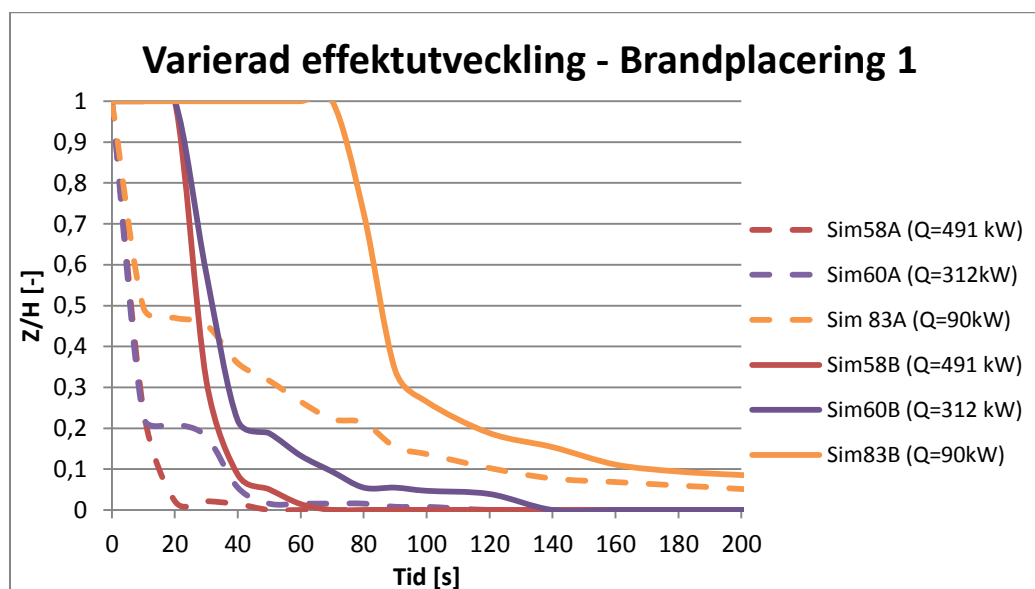


Figur 6.6. En jämförelse mellan två simuleringar med olika rumshöjder, branden placerad i hörnet. Värden på övriga variabler är (medelvärden då viss variation förekommer): effektutveckling 176 kW och golvarea 19,5 m². Index A innebär observation vid första indikation av rök medan index B är vid kritisk sikt 10 meter.

Figur 6.6 visar två simuleringar från brandplacering 3, med höjder på 10.2 och 19.1 meter. För kurvorna för avläsning A, observationerna vid första indikation på rök, finns inget tydligt förhållandena mellan de två simuleringarna. För kurva 74B tar det längre tid för brandgaserna att nå taket och börja forma ett brandgaslager, vilket beror på den högre takhöjden. Efter 60 sekunder har kurva 74B och 10B nått samma normerade höjd och följs sedan åt under resten av brandförloppet. Resultaten antyder att rumshöjden har stor inverkan på brandgaslagrets normerade höjd i början av brandförloppet i dessa simuleringar, innan brandgaserna har nått taket. Men när brandgaserna väl börjar sänka sig mot golvet verkar det inte finnas något tydligt samband mellan rumshöjden och brandgaslagrets normerade höjd, samma slutsats som drogs för brandplacering 1. Detta konstaterande är väntat då både utrymmets area och brandens effektutveckling är i princip lika.

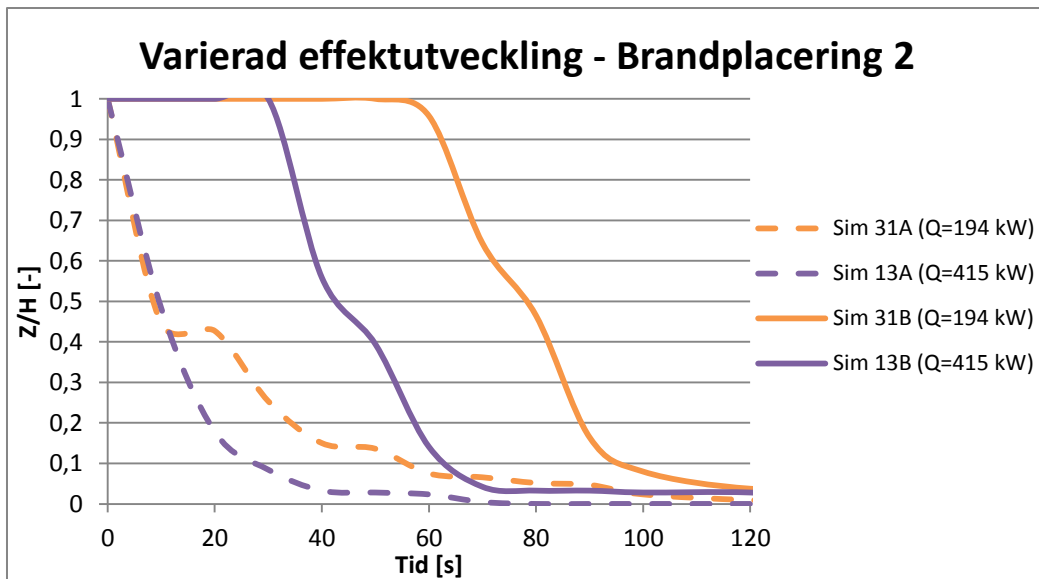
6.3 Effektutvecklingens inverkan på brandgaslagrets höjd

Brandens effektutveckling styr brandens samtliga egenskaper, allt från flamhöjd till sotproduktion, och påverkar därmed brandgaslagrets höjd som funktion av tiden. Skillnaden mellan den lägsta och högsta effektutvecklingen, 50 respektive 500 kW, innebär att en simulering kan ha en brand med tio gånger så hög effektutveckling som en annan simulering. I figur 6.7-6.9 visas en jämförelse mellan simuleringar med olika effektutvecklingar, med relativt lika värden på övriga variabler i respektive figur.



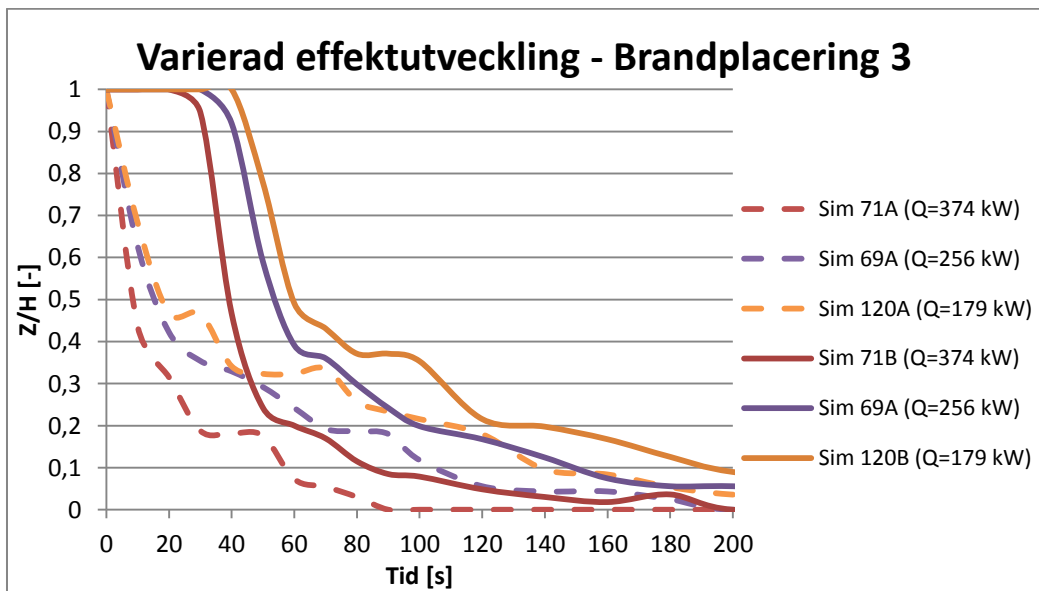
Figur 6.7. En jämförelse mellan tre simuleringar med olika effektutvecklingar, branden placerad i mitten av utrymmet. Värden på övriga variabler är (medelvärden då viss variation förekommer): rumshöjd 12,8 m och golvarea 21 m². Index A innebär observation vid första indikation av rök medan index B är vid kritisk sikt 10 meter.

Figur 6.7 visar tre simuleringar från brandplacering 1, med effektutvecklingar på 90, 312 samt 491 kW. Båda avläsningarna, vid första indikation på rök samt vid kritisk sikt, visar samma förhållande mellan de tre simuleringarna. I simulering 58 med högst effektutveckling sjunker brandgaslagret snabbast medan det i simulering 83 sjunker långsammast. Då effektutvecklingen i simulering 83 är mycket låg i förhållande till de övriga två simuleringarna, avviker detta resultat starkt från de övriga två kurvorna.



Figur 6.8. En jämförelse mellan två simuleringar med olika effektutvecklingar, branden placerad intill väggen. Värden på övriga variabler är (medelvärden då viss variation förekommer): rumshöjd 21,3 m och golvarea 4,1 m². Index A innebär observation vid första indikation av rök medan index B är vid kritisk sikt 10 meter.

Figur 6.8 visar två simuleringar från brandplacering 2, med effektutvecklingar på 194 samt 415 kW. Båda avläsningarna, vid första indikation på rök samt vid kritisk sikt, visar samma förhållande mellan simuleringarna. I simulering 13 med högst effektutveckling sjunker brandgaslagret snabbast medan det i simulering 31 sjunker långsammare.

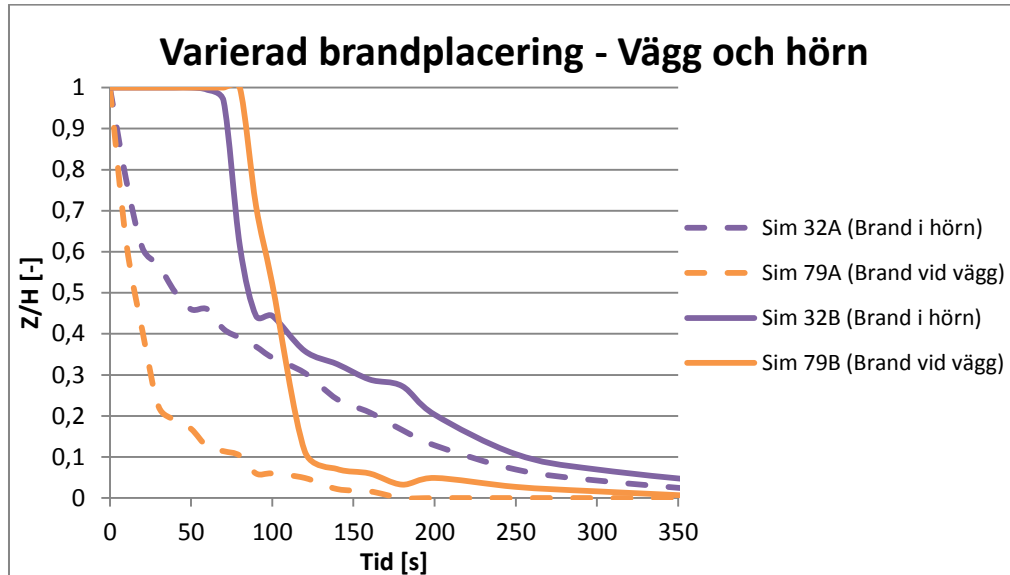


Figur 6.9. En jämförelse mellan tre simuleringar med olika effektutvecklingar, branden placerad i hörnet. Värden på övriga variabler är (medelvärden då viss variation förekommer): rumshöjd 16,4 m och golvarea 21,5 m². Index A innebär observation vid första indikation av rök medan index B är vid kritisk sikt 10 meter.

Figur 6.9 visar tre simuleringar från brandplacering 3, med effektutvecklingar på 179, 256 samt 374 kW. Båda avläsningarna, vid första indikation på rök samt vid kritisk sikt, visar samma förhållande mellan de tre simuleringarna. I simulering 71 med högst effektutveckling sjunker brandgaslagret snabbast medan det i simulering 120 sjunker långsammast.

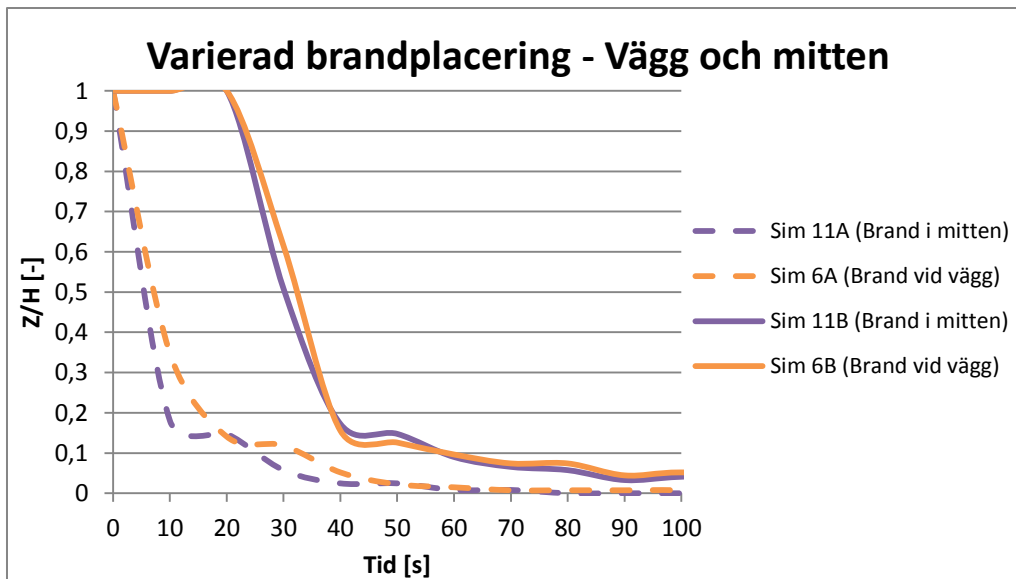
6.4 Brandplaceringens inverkan på brandgaslagrets höjd

Brandens placering är den oberoende variabel som innan analysen antogs ha minst inverkan på brandgaslagrets höjd. En viss påverkan på brandförloppet har dock placeringen, på grund av att olika mängd luft blandas in i brandplymen beroende på var branden är placerad. I en brand i mitten av rummet kan luft trängas in i plymen från alla håll, medan detta begränsas då branden är placerad vid väggen och i hörnet. Brandplaceringen påverkar även avståndet till dörröppningen, vilket kan ha viss påverkan på brandgaslagrets höjd.



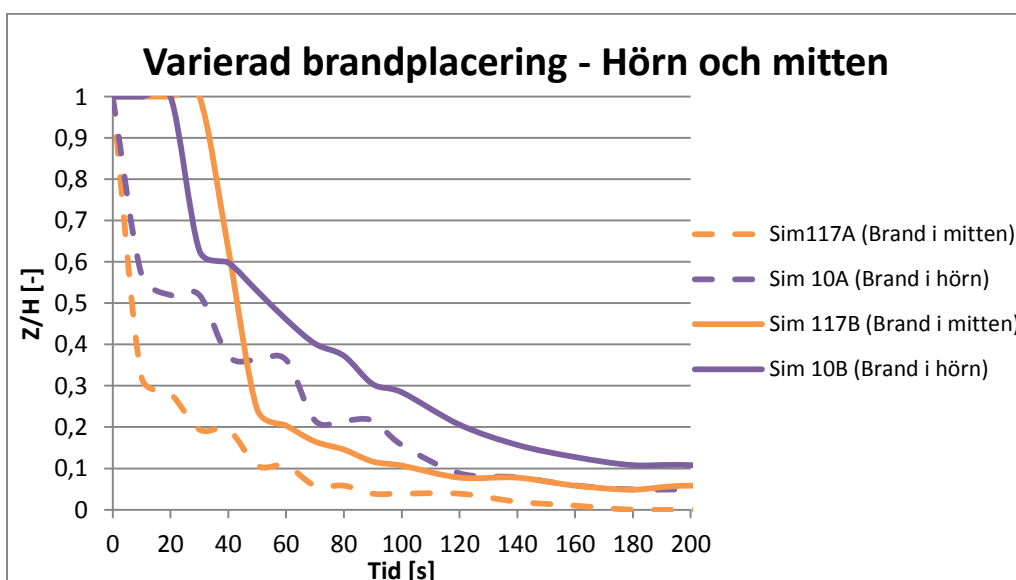
Figur 6.10. En jämförelse mellan två simuleringar med olika brandplacering, brand intill vägg och i hörn. Värden på övriga variabler är (medelvärden då viss variation förekommer): rumshöjd 18,6 m, golvarea 35,4 m² och effektutveckling 229 kW. Index A innebär observation vid första indikation av rök medan index B är vid kritisk sikt 10 meter.

Figur 6.10 visar två simuleringar med branden vid väggen respektive i hörnet. Båda kurvorna för simulering 79 har en brantare lutning än motsvarande kurva för simulering 32, bortsett från i inledningen av rökfyllnaden då kurvorna har relativt lika lutning, varefter kurvorna för 32A och 32B planar ut. Detta skulle kunna förklaras av att branden vid väggen har tre sidor där luft kan tränga in i brandplymen, medan branden i hörnet bara har två "fria" sidor. Den större mängden inträngd luft blandas in i brandgaserna och skapar en större rökvolym, vilket påskyndar rökfyllnadsförloppet.



Figur 6.11. En jämförelse mellan två simuleringar med olika brandplacering, brand intill vägg och i mitten av utrymmet. Värden på övriga variabler är (medelvärden då viss variation förekommer): rumshöjd 12,9 m, golvarea 14,8 m² och effektutveckling 237 kW. Index A innebär observation vid första indikation av rök medan index B är vid kritisk sikt 10 meter.

Figur 6.11 visar två simuleringar med branden vid väggen respektive i mitten av utrymmet. Det finns inga direkta skillnader mellan de olika simuleringarnas kurvor utan de två kurvparen följs åt under hela brandförloppet. Möjligtvis sjunker kurva 11A något snabbare än 6A, vilket skulle kunna förklaras av en något högre effektutveckling och antas ej bero på skillnaden i brandplacering. Det är dock inte uteslutet att andra variabler som en annorlunda golvarea eller effektutveckling hade gett skillnad mellan brandplaceringarna, men ett antagande görs att så ej är fallet baserat på ovanstående jämförelse.



Figur 6.12. En jämförelse mellan två simuleringar med olika brandplacering, brand i hörn och i mitten av utrymmet. Värden på övriga variabler är (medelvärden då viss variation förekommer): rumshöjd 10,25 m, golvarea 20,25 m² och effektutveckling 159 kW. Index A innebär observation vid första indikation av rök medan index B är vid kritisk sikt 10 meter.

Figur 6.12 visar ytterligare två simuleringar med branden i mitten av utrymmet respektive i hörnet. Trenden för båda avläsningarna A och B är att brandgaslagret i simulering 117 sjunker snabbare än i simulering 10. Initialt är kurva 10B lägre än 117B, men efter 40 sekunder korsas de och efter det är sikten i simulering 117 klart sämre än i 10, detta trots att branden i simulering 10 har en något högre effektutveckling. Orsaken till denna trend kan vara det som den tidigare analysen av brandplaceringens inverkan på brandgaslagret pekat på, att mer luft kan blandas in i en brand i mitten. Detta gör att brandgasernas volym ökar och att utrymmet snabbare rökfylls. Turbulens i utrymmet kan vara en orsak till att kurvorna med index A har ett sådant hackigt utseende.

7. Analys av metoder för att uppskatta brandgaslagrets höjd

De tre metoder som tillämpats för att uppskatta brandgaslagrets höjd har visat sig kunna generera resultat som i vissa fall skiljer sig mycket åt. Det är därför av intresse att undersöka under vilka förhållanden som stora skillnader uppstår, hur stora skillnaderna i resultat kan bli och om några slutsatser kan dras kring varför skillnaderna uppstår.

7.1 Jämförelse mellan de tre olika metoderna

För att avgöra styrkor och svagheter hos de olika metoderna för att uppskatta brandgaslagrets höjd, jämförs här de resultat metoderna genererar för ett antal utvalda simuleringar. Urvalet av simuleringar har gjorts för att undersöka simuleringar med så olika geometriska och brandtekniska egenskaper som möjligt. Det innebär att de tre oberoende parametrarna; effektutveckling, rumshöjd och golvarea, innehar de ytterligheter av värden de kan anta kombinerat med varandra.

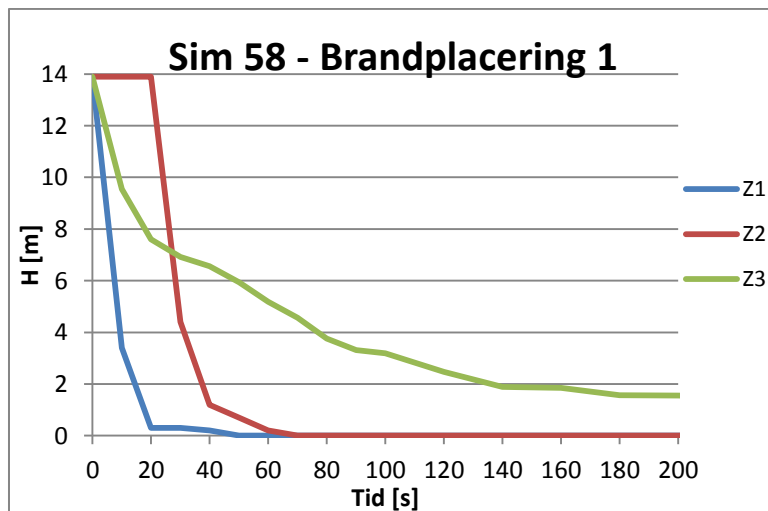
Det är även av intresse att undersöka brandplaceringens inverkan på resultat. Därför genomförs även varje studie för respektive brandplacering. Då analysen genererar en stor mängd grafer hänvisas i valda delar till appendix

I de kommande graferna innebär beteckningarna följande:

- Z1 = första indikation på brandgaser
- Z2 = 10 meters sikt
- Z3 = temperaturdifferens

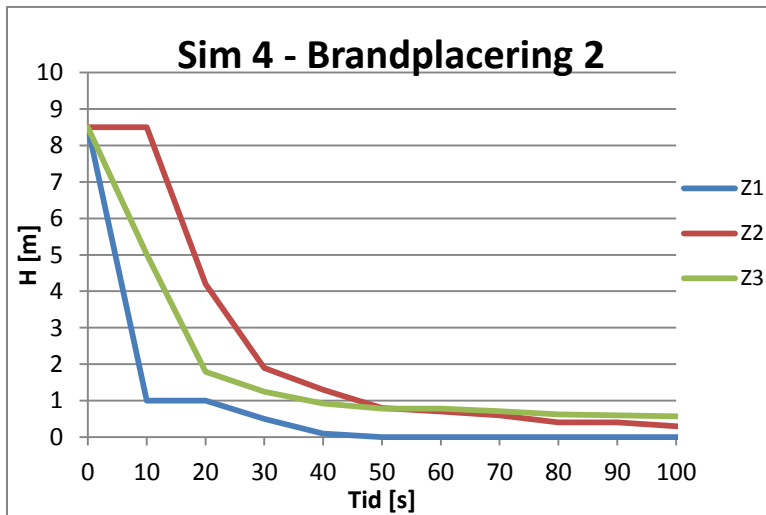
7.1.1 Hög effektutveckling, låg rumshöjd och stor golvarea

Nedan visas jämförelser mellan de olika metoderna för att bedöma ett brandgaslager för simuleringar med hög effektutveckling, låg rumshöjd och stor golvarea.

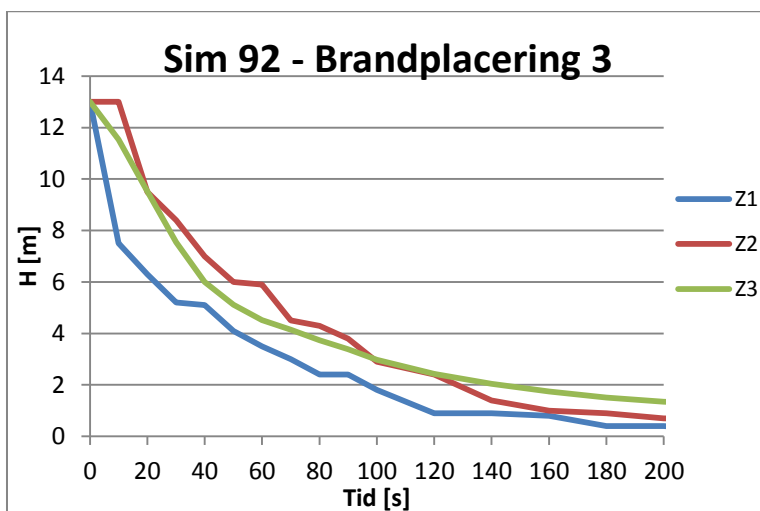


Figur 7.1. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 58 på brandplacering 1. De oberoende variablernas egenskaper är: hög effektutveckling, låg rumshöjd och stor golvarea.

Figur 7.1 visar att fram till 30 sekunder in i brandförloppet är Z3 lägre än Z2, men efter att de korsats visar Z3 att brandgaslagret är högre under resten av brandförloppet. Z3 sjunker betydligt långsammare än de andra kurvorna och stabiliserar sig sedan på en höjd av två meter, vilket sker efter ca tre minuter, med de andra två visar att utrymmet är brandgasfyllt redan efter 20 respektive 60 sekunder. Att Z3 skiljer sig från de övriga kurvorna kan bero på att rökfyllnadsförloppet går snabbt, vilket Z1 och Z2 visar, medan det tar längre tid för temperaturen i det nedre skiktet av de sjunkande brandgaserna att nå den temperaturgräns då FDS5 bedömer att brandgaslager existerar. Den stora golvarean kan leda till att brandgaserna kyls ner då de breder ut sig över takarean och temperaturdifferensen blir därför mindre gentemot den opåverkade luften.



Figur 7.2. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering på brandplacering 2. De oberoende variabelernas egenskaper är: hög effektutveckling, låg rumshöjd och stor golvarean.

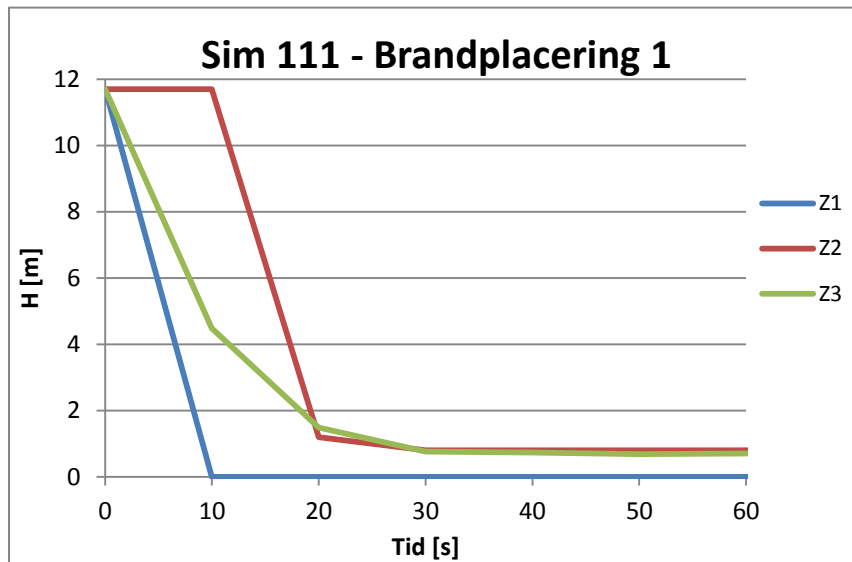


Figur 7.3. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 92 på brandplacering 3. De oberoende variabelernas egenskaper är: hög effektutveckling, låg rumshöjd och stor golvarean.

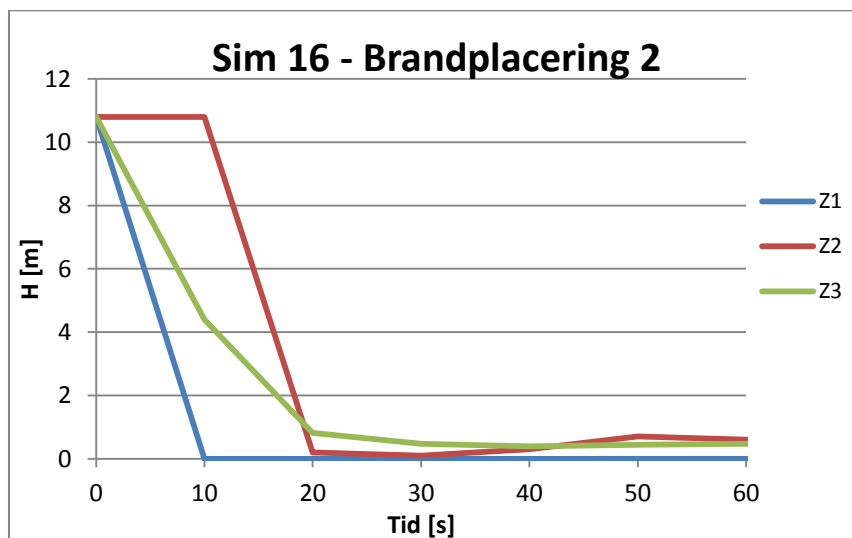
Simuleringarna på brandplacering 2 och 3 visar likartade resultat, vilket ses i figur 7.2-7.3. Z1 är lägst, Z2 är högst och Z3 håller sig mitt emellan de andra två kurvorna. Dock stabiliserar sig Z3 senare i brandförloppet på en något högre än de övriga två, men detta sker först efter att samtliga kurvor underskridit två meter.

7.1.2 Hög effektutveckling, låg rumshöjd och liten golvarea

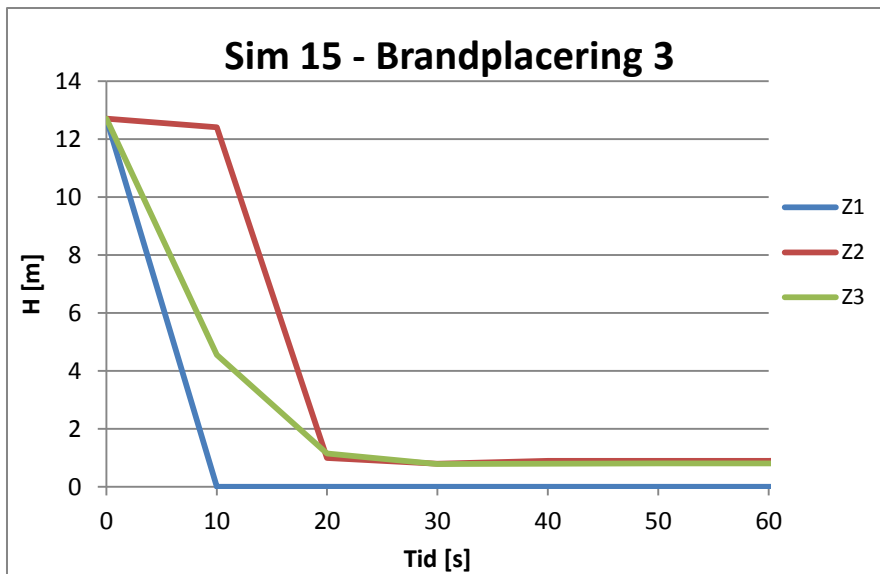
Nedan i figur 7.4-7.6 visas jämförelser mellan de olika metoderna för att bedöma ett brandgaslager för simuleringar med hög effektutveckling, låg rumshöjd och liten golvarea.



Figur 7.4. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 111 på brandplacering 1. De oberoende variabelnas egenskaper är: hög effektutveckling, låg rumshöjd och liten golvarea.



Figur 7.5. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 16 på brandplacering 2. De oberoende variabelnas egenskaper är: hög effektutveckling, låg rumshöjd och liten golvarea.



Figur 7.6. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 15 på brandplacering 3. De oberoende variabelernas egenskaper är: hög effektutveckling, låg rumshöjd och liten golvarea.

Graferna för de tre olika brandplaceringarna visar i princip identiska resultat avseende förhållandet mellan de olika kurvorna. Enligt Z1 är det rökfyllt ned till golvet redan efter tio sekunder, och enligt Z2 är sikten vid golvnivå efter 20 sekunder sämre än tio meter. Z3 håller sig emellan de två andra kurvorna och visar att brandgaslagret underskridit en meter efter 20 sekunder.

7.1.3 Hög effektutveckling, hög rumshöjd och stor golvarea

Resultat från denna jämförelse återfinns i Bilaga A, avsnitt A.1. Noterbart är att kurvan Z3 flukturerar mycket under hela brandförloppet, vilket skulle kunna förklaras av att det inte finns någon väldefinierad undre kall zon i utrymmet och att temperaturdifferensen mellan golv och brandgaserna lite högre upp blir liten och fluktuerar på grund av turbulensen i utrymmet.

7.1.4 Hög effektutveckling, hög rumshöjd och liten golvarea

Resultat från denna jämförelse återfinns i Bilaga A, avsnitt A.2. Noterbart är att vid avläsningen av Z1 och Z2 observeras mycket underliga resultat då ett "lock" med brandgaser bildas strax ovanför dörröppningen. Det är redan efter tio sekunder rökfyllt från toppen av dörröppningen ned till golvet, men ovanför detta område är det fritt från brandgaser. Z3 visar dock en flackare kurva och först efter en minut är brandgaserna nere på två meters höjd, varefter de stabiliseras på en meters höjd. Resultaten antyder att programmet FDS möjligen inte är lämpligt för simuleringar med denna typ av modelluppbyggnad i kombination med användandet av denna metod.

7.1.5 Låg effektutveckling, låg rumshöjd och stor golvarea

Resultat från denna jämförelse återfinns i Bilaga A, avsnitt A.3. Noterbart är att Z3 visar mycket avvikande resultat från de övriga två, då den initialt snabbt sjunker till 5 meters höjd. Kurvan stabiliseras där under de första tre minuterna men sjunker sedan till tre meters höjd och stabiliseras där under resten av brandförloppet. Orsaken till kurva Z3 avvikande utseende kan vara att effektutvecklingen är så låg att det aldrig blir någon större temperaturdifferens mellan utrymmets övre och undre zon.

7.1.6 Låg effektutveckling, låg rumshöjd och liten golvarea

Resultat från denna jämförelse återfinns i Bilaga A, avsnitt A.4.

7.1.7 Låg effektutveckling, hög rumshöjd och stor golvarea

Resultat från denna jämförelse återfinns i Bilaga A, avsnitt A.5. Noterbart är att Z3 visar på stora fluktuationer under hela brandförloppet, framför allt under första minuten. Anledningen kan vara den låga effektutvecklingen kombinerat med den stora rumsgeometrin. Skillnaden i temperatur mellan den undre och övre zonen blir därför inte så stora, vilket gör att kurvan fluktuerar, och att brandgaserna i den nedre delen av brandgaslagret aldrig blir så varma att ett brandgaslager är definierat under sju meters höjd.

7.1.8 Låg effektutveckling, hög rumshöjd och liten golvarea

Resultat från denna jämförelse återfinns i Bilaga A, avsnitt A.6. Noterbart är att resultaten återigen påvisar ett märkligt fenomen att ett "lock" av brandgaser ansamlas strax ovanför dörröppningen, likt vid fallet med hög effektutveckling, hög rumshöjd och liten golvarea. Resultaten antyder att programmet FDS möjligen inte är lämpligt för simuleringar med denna typ av modelluppbyggnad i kombination med användandet av denna metod. Det noteras också att brandplacering 1 skiljer sig åt mot brandplacering 2 och 3. Detta antas bero på att effektutvecklingen i simulering 105 (på brandplacering 1) är högre än i de övriga två simuleringarna.

7.2 Tillämpbarhet av metoder

Vid analysen av de tre tillämpade metoderna för att uppskatta brandgaslagrets höjd, för ett urval av simuleringarna, visade sig metoderna under vissa förhållanden ge mycket olika resultat. Det är därför av intresse att analysera om användbarheten och tillförlitligheten är större under vissa förhållanden och mindre under andra förhållanden. Nedan redogörs för de resultat som analysen gav samt vilka slutsatser som kan dras kring detta.

7.2.1 Grundläggande skillnader

Det finns ett antal grundläggande skillnader mellan metoderna som avgör i vilka fall som en metod är mer tillämpbar än en annan. Det beror till mångt och mycket på vad avsikten med analysen är och vilka kriterier som är gällande i den specifika situationen.

Den mest konservativa metoden torde vara att använda första indikationen på brandgaser som kriterium för när ett brandgaslager har bildats och på vilken höjd det befinner sig på. Resultaten visar då minsta indikation på rök men ger ingen information om hur sikten i utrymmet är eller hur varma brandgaserna är, vilket gör att det i många fall säkerligen är fullt möjligt att utrymma trots brandgaserna.

Om metoden att studera kritisk sikt tillämpas innebär det att när kriteriet överskridits, sikten i utrymmet är sämre än tio meter, är det inte bara rökfyllt utan brandgaserna är också mycket täta. I och med att de utrymmen som här studeras maximalt är 6×6 meter, är det ju teoretiskt fortfarande möjligt att se från ena sidan av utrymmet till den andra sidan, även när sikten är under 10 meter. Det är dock ett vedertaget mått på kritisk sikt som bedöms kunna tillämpas teoretiskt även för smala utrymmen likt i denna studie. Det är vid denna tidpunkt i brandförloppet ej rekommenderat att utrymma då det enligt BBR uppstått kritiska förhållanden i utrymmet. Metoden är betydligt mindre konservativ än att studera första indikation på brandgaser men kan ändå vara ett tillämpligt mått i många situationer, exempelvis vid en utrymningsdimensionering.

Vid användandet av den i FDS5 inbyggda funktion för att studera brandgaslagrets höjd baseras uppskattningen på temperaturdifferensen mellan utrymmets övre varma och undre kalla zon i en kontinuerlig temperaturprofil. Denna metod torde fungera väl då det finns en tydlig uppdelning av utrymmet i två zoner med distinkta temperaturskillnader, men sämre då det exempelvis förekommer mycket turbulens eller då branden är liten i förhållande till utrymmets storlek så att temperaturskillnaden mellan den kalla luften och brandgaserna är liten.

7.2.2 Brandplaceringens inverkan

Vid en övergripande granskning av resultaten uppmärksammas att de tre metoderna uppvisar störst skillnader i resultat för simuleringar med brandplacering 1. För sex av de åtta simuleringarna med brandplacering 1, som studerats i avsnitt 7.1, har någon av kurvorna ett utseende som antingen avviker från de övriga två kurvorna och/eller uppvisar ett resultat som bedöms som orimligt. Vid en jämförelse mellan simuleringar med olika brandplacering, och i övrigt likartade värden på övriga variabler, uppmärksammas att simuleringar på brandplacering 1 vid flera tillfällen visar avvikande resultat jämfört med simuleringar på brandplacering 2 och 3.

Det skulle delvis kunna härledas till att simuleringarna på de olika brandplaceringarna inte varit fullt jämförbara på grund av skillnader i variabler som borde varit konstanta. En annan anledning kan vara att branden får ett annat inflöde av luft då den är fristående, medan brand vid vägg och i hörn begränsas i tillflödet av luft på grund av väggar, vilket i sin tur till förväntan av en något högre temperatur. Möjliga förklaringar diskuteras vidare i rapportens slutsatser.

7.2.3 Generella slutsatser

Flertalet av de simuleringar som studerats i avsnitt 7.1, 14 av 24, visar liknande förhållande mellan de tre kurvorna som metoderna genererar. I dessa simuleringar är det första indikation på rök, här metod 1, som först antyder att ett brandgaslager bildats och det är också den kurva som oftast visar lägst nivå på brandgaslagret fram tills att samtliga kurvor sammanfaller senare i brandförloppet. Metod 2, som visar när kritisk sikt har uppstått, är i dessa simuleringar den kurva som sist visar indikation på att ett brandgaslager har bildats och visar högst nivå på brandgaslagret fram tills att samtliga kurvor sammanfaller. Metod 3, funktionen baserad på temperaturdifferensen i utrymmet, hamnar mitt emellan de andra kurvorna med vissa mindre undantag då den visar ett något lägre brandgaslager än vad metod 1 gör.

I två av simuleringarna, sim 118 samt sim 89 visar initialt metod 1 och 3 samma resultat för brandgaslagrets höjd, men senare i brandförloppet sjunker kurvan för metod 3 ytterligare och visar sedan lägst höjd på brandgaslaget fram tills att samtliga kurvor sammanfaller. Detta beror troligtvis på att FDS med denna funktion approximerar ett brandgaslager baserat på temperaturdifferenser över höjden. Med stora temperaturdifferenser kan detta innebära att funktionen indikerar ett brandgaslager där metod Z1 ännu inte indikerar brandgaser.

Ett antal simuleringar, 6 av 24, visar initialt samma förhållande mellan kurvorna som beskrivit ovan med metod 1 lägst följt av metod 3 och 2. Dock korsas kurvorna för metod 2 och 3 lite senare i brandförloppet och metod 3 visar efter det ett högre brandgaslager än de andra två metoderna fram till att samtliga kurvor sammanfaller. Även här är det förmodligen den temperaturapproximation som Z3 innebär som påverkar. Om brandgaserna i rummet är svala i nederdelen av utrymmet på grund av inblandning av friskluft och höga i övre delen kan funktionen indikera att brandgaslaget ligger högre än vad metoderna med att mäta brandgaser indikerar. Sikten kan alltså vara mycket dålig på grund av brandgaser, men metod Z3 indikerar ändå inget brandgaslager.

Två av simuleringarna, sim 115 samt sim 105, visar mycket underliga resultat, då det enligt metod 1 och 2 bildas ett lock av brandgaser på en höjd något ovanför dörröppningen. Under detta lock blir det snabbt rökfyllt ned till golvet medan det högre upp i utrymmet är betydligt mindre eller inga brandgaser alls. Detta fenomen uppstår i simuleringar med hög rumshöjd och liten golvarea, för både låg och hög effektutveckling. Metod 3 ger inga indikationer på detta fenomen utan visar istället ett brandgaslager som stadigt sjunker för att slutligen stabiliseras på 1 – 2 meters höjd. Båda simuleringarna har branden placerad i mitten av utrymmet. Resultaten från denna typ av kombination på variablerna är därför inte tillförlitliga för ändamålet.

8. Statistisk analys

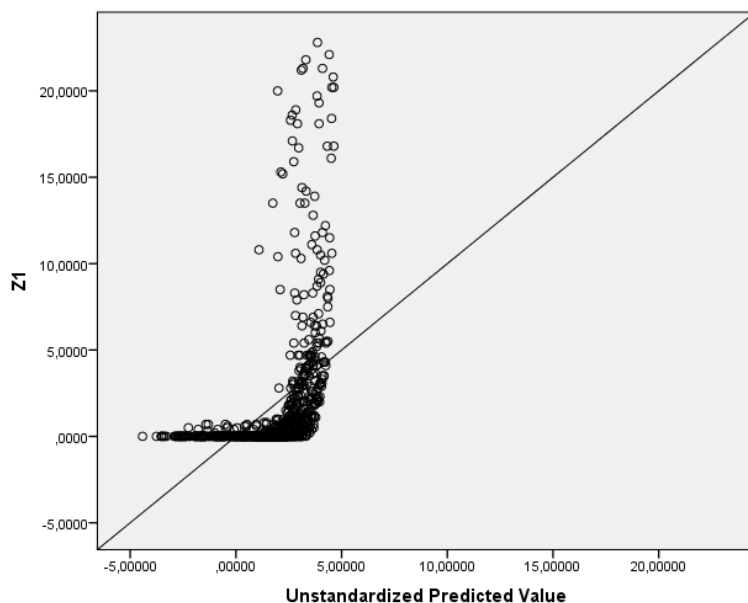
I denna del av analysen studeras brandgaslagrets höjd baserat på de tre olika metoder som använts. Den första och andra metoden är första indikation på rök respektive tio meter sikt i utrymmet, vilka baseras på data som extraherats från Slicefiles, se kap 3.3.1 och 3.3.2. Därefter följer metoden baserad på utdata från FDS5 som genererats av den inbyggda funktionen utifrån temperaturdifferens, se kap 3.3.3. En linjär multipel regressionsanalys genomförs för att undersöka om det finns ett linjärt samband mellan de oberoende variablerna och brandgaslagrets höjd. I den statistiska analysen undersöks bland annat om det finns några enskilda avvikande simuleringar och vad det i så fall beror på, om utdatan i helhet visar en god överensstämmelse med den korrelation som tas fram samt om modellen som används är tillräckligt god (Körner & Wahlgren, 2006). Se även kap 3.4 för en mer ingående beskrivning av multipel regressionsanalys. Analysen delas upp för de tre olika metoderna att bestämma brandgaslagrets höjd. På grund av arbetets omfattning väljs endast en brandplacering ut och redovisas i denna rapport. Inga jämförelser görs således mellan brandens olika placeringar. Metoden för att analysera de två andra brandplaceringarna är precis likadan, och grafer samt tabeller för detta återfinns i Bilaga B. Den brandplacering som redovisas här är brandplacering 2.

8.1 Första indikation på brandgaser

Nedan beskrivs analysen av data för bestämning av brandgaslager baserat på första indikation på brandgaser. För mer information se kap 3.3.1.

8.1.1 Kontroll av linjärt samband

För att undersöka om simuleringarna följer ett linjärt samband så plottas den beroende variabeln Z1, första indikation på brandgaser, mot det förväntade värdet baserat på den framtagna korrelationen.

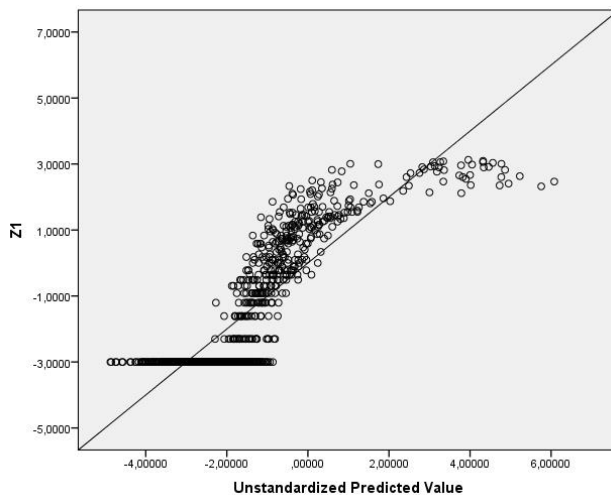


Figur 8.1. Första indikation på brandgaser plottat mot det förväntade värdet enligt den framtagna korrelationen för brandplacering 2.

I grafen hamnar värden som underskattas av korrelationens förväntade värde över linjen $y=x$, och värden som överskattas hamnar under linjen. Figur 8.1 ovan visar att då de observerade värdena är över ca 3 meter tenderar korrelationen att underskatta det förväntade värdet, och de flesta punkter hamnar då ovanför linjen $y=x$. För observerade värden mellan 1-3 meter överskattas värdena av korrelationen och för observerade värden under ca 1 meter ger korrelationen värden på båda sidor om linjen $y=x$. Korrelationen ger även värden som hamnar under 0 meter, vilket är orimligt. Inte under några höjdintervall påvisar utdata linjära samband, och för brandplacering 2 kan slutsatsen dras att inget linjärt samband finns.

Vid granskning av grafen konstateras att sambandet ej är linjärt utan grafen har snarare formen av en exponentialfunktion.

För att undersöka om det finns ett exponentiellt samband logaritmeras värden på samtliga variabler med den naturliga logaritmen som bas och en ny analys görs i SPSS. Resultatet plottas på nytt, se figur 8.2, och visar nu ett något mer linjärt samband. Utfallet -3, vilket innebär ett brandgaslager på höjden 0, är dock mycket överrepresenterat. Detta då brandgaslagret i de flesta simuleringar mycket snabbt sjunker hela vägen till golvet, och antalet mätpunkter med utfallet 0 blir mycket högt. Detta antyder att det troligen vore lämpligt att ha stoppat simuleringarna när $z =$ dörröppningens höjd.



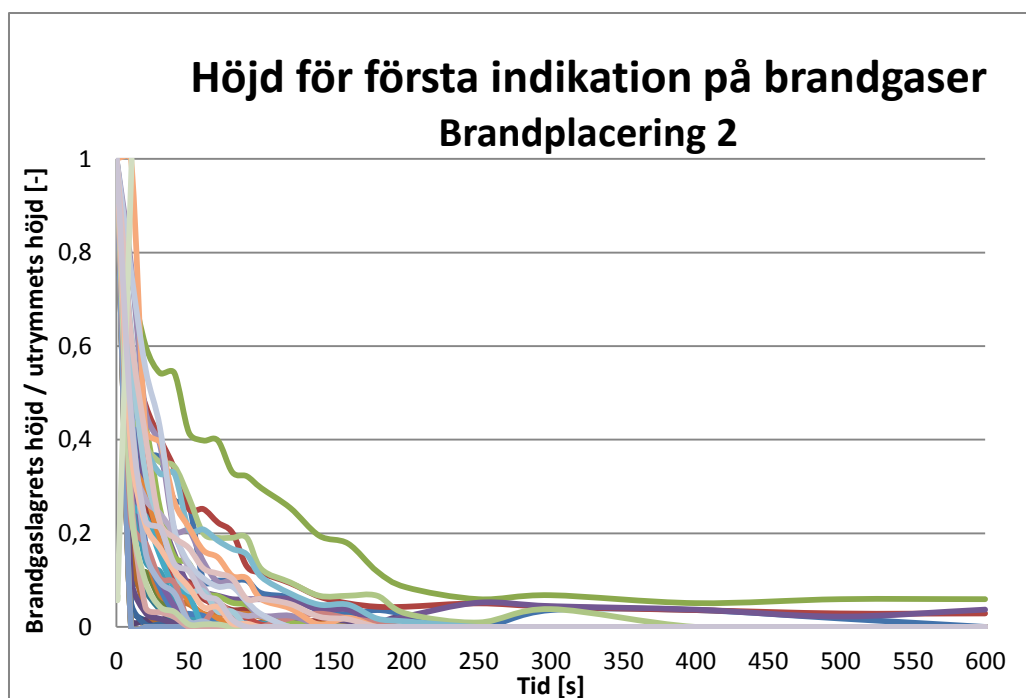
Figur 8.2. Första indikation på brandgaser plottade mot predikterade värdet på brandgaslagret för de logaritmerade värdena vid brandplacering 2.

Av detta kan slutsatsen dras att brandgaslagrets höjd är exponentiellt beroende av de utvalda variablerna och det är därför de logaritmerade värdena som används vid analysen i SPSS.

8.1.2 Analys av enskilda simuleringar

Nedan undersöks om det förekommer en betydande mängd avvikande simuleringar.

För brandplacering 2 förekommer en simulering som skiljer sig från de andra, vilket kan ses i figur 8.3 nedan. Den utmärkande simuleringen har en mycket lågeffektutveckling, 54 kW, samt en relativt stor area vilket är den troliga förklaringen till den långsamma sänkningen av brandgaslagret i det fallet. Då den långsamma sänkningen i den enskilda simuleringen har en trolig förklaring behöver den inte uteslutas från urvalet.



Figur 8.3. Brandgaslagrets sänkning i förhållande till tiden för brandplacering 2.

8.1.3 Residualanalys

Nedan följer en analys av residualavstånd. Här presenteras residualstatistik från SPSS, histogram över residualfördelningen samt graf över residualvärdenas fördelning i förhållande till det förväntade värdet.

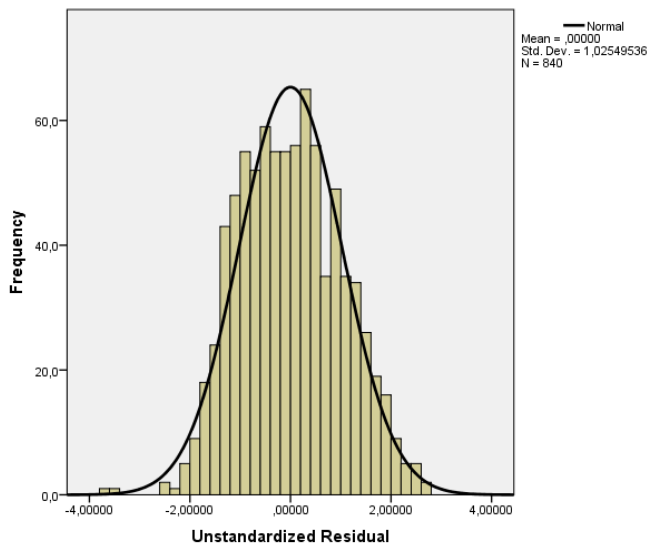
Tabell 8.1 nedan visar statistik för de logaritmerade värdena från SPSS för brandplacering 2. Tabellen visar att både maximala och minimala residualvärdena är stora, medan medelresidualen är väldigt nära noll. Även här hade det varit önskvärt att minska maximala samt minimala residualvärdet för att på så sätt minska standardavvikelsen. Extrempunkterna för residualvärden är relativt stora.

Tabell 8.1. Residualstatistik för brandplacering 2, första indikation på brandgaser.

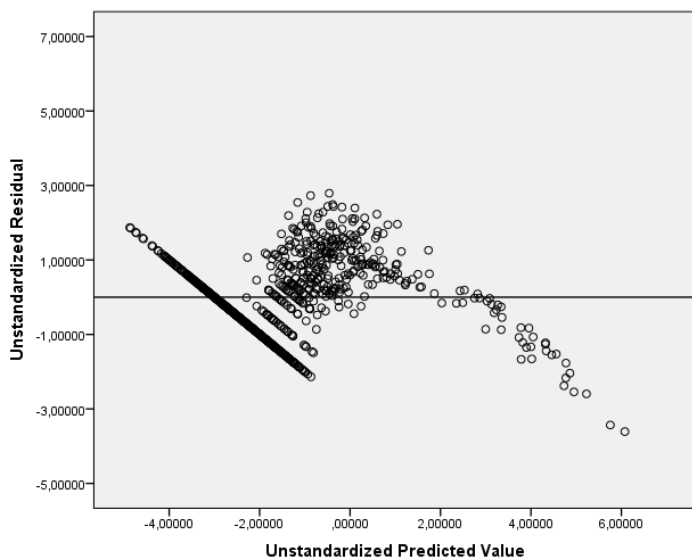
Residuals Statistics ^a					
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	-4,87	6,08	-1,39	1,67	840
Residual	-3,61	2,79	0,00	1,03	840
Std. Predicted Value	-2,08	4,46	0,00	1,00	840
Std. Residual	-3,51	2,72	0,00	1,00	840

a. Dependent Variable: Z1

I figur 8.4 nedan visas residualavståndens fördelning. Histogrammet visar en normalfördelning, vilket innebär att kravet för normalfördelade residualer är uppfyllt för brandplacering 2.



Figur 8.4. Histogram över residualavstånden för brandplacering 2.



Figur 8.5. Fördelning mellan residualvärdena och förväntade värden för brandplacering 2.

Figur 8.5 ovan visar hur residualavstånden förhåller sig till de förväntade värdena. Grafen uppvisar vissa tendenser till mönster, vilket innebär att residualerna inte är oberoende av varandra och att det därmed kan finnas autokorrelation mellan residualerna. Detta är klart negativt då ett av antagandena för slumpvariabeln är att residualerna är okorrelerade. Att residualen är negativ för höga z-värden innebär att korrelationen överskattar z. För låga z-värden är residualen istället positiv och således underskattar korrelationen z.

8.1.4 Determinationskoefficient

Nedan presenteras tabell med determinationskoefficient, för mer information om determinationskoefficient se kap 3.4.2.

Tabell 8.2 nedan visar att determinationskoefficienten ligger på 73 %, vilket innebär att de ingående variablerna förklarar ca 73 % av variationerna i sambandet. Detta betyder att 27 % av variationerna beror på variabler eller faktorer som inte ingår i korrelationen.

Tabell 8.2. Modellsummering för brandplacering 2, första indikation på brandgaser.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0,85 ^a	0,73	0,73	1,03

a. Predictors: (Constant), A, T, H, Q

b. Dependent Variable: Z1

8.1.5 ANOVA (Analysis of variance)

Nedan redovisas ANOVA-tabellen för Brandplacering 2 för metoden första indikation på brandgaser.

ANOVA-tabellen i tabell 8.3 nedan visar att resultatet är signifikant. Residualvariansen är relativt hög, och det är även ett relativt lågt antal frihetsgrader.

Tabell 8.3. ANOVA-tabell för brandplacering 2, första indikation på brandgaser.

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2349,01	4	587,25	555,75	0,00 ^b
	Residual	882,33	835	1,06		
	Total	3231,33	839			

a. Dependent Variable: Z1

b. Predictors: (Constant), A, T, H, Q

8.1.6 Koefficienter i korrelationen

I tabell 8.4 nedan redovisas de koefficienter som bildar korrelationen för sambandet. I tabellen går att utläsa att med ökande effektutveckling och tid minskar z, vilket är rimligt. Med ökande area och höjd ökar z, vilket också är rimligt. Koefficienternas medelfel är relativt små, och signifikansen för varje enskild koefficient är god.

Tabell 8.4. Koefficienterna för brandplacering 2, första indikation på rök.

Coefficients ^a					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	6,16	0,50		12,46	0,000
t	-0,70	0,02	-0,69	-38,18	0,000
1 Q	-1,39	0,07	-0,40	-20,78	0,000
H	0,48	0,13	0,07	3,61	0,000
A	0,67	0,05	0,25	13,22	0,000

a. Dependent Variable: Z1

Detta ger en formel enligt:

$$Z = 746,95 \times t^{-0,70} \times Q^{-1,39} \times H^{0,48} \times A^{0,67}$$

8.1.7. Sammanfattning metoden första indikation på brandgaser

Denna metod uppvisar inga lovande resultat. Den har relativt låg determinationskoefficient samt höga extrempunkter för residualvärdena. Dessutom riskerar sambandet att ha autokorrelation mellan residualerna. Detta undersöks inte vidare, utan det konstateras att det finns en risk att residualerna kan vara autokorrelerade. Då metoden på samtliga punkter visar dåliga resultat är det av mindre vikt huruvida det finns autokorrelation eller ej då metoden ej uppvisar några tecken på att kunna användas vidare.

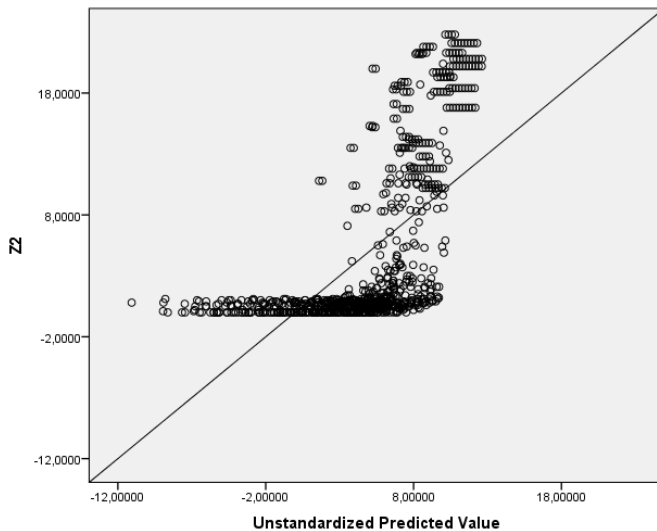
För att validera rimligheten i de värden som korrelationen predikterar, genomförs en granskning av samtliga observationer för samtliga simuleringar i jämförelse med predikterade värden. Av 40 simuleringar bedöms 35 % ha god eller mycket god överensstämmelse mellan korrelation och observationer. 30 % av simuleringarna visar något avvikande resultat. 35 % av simuleringarna visar avvikande eller orimliga resultat. Inte heller detta är något positivt resultat, då i stort sett lika många kurvor har god överensstämmelse som mycket dålig. Detta innebär att korrelationen inte är att lita på.

8.2 Siktbarhet på tio meter

Nedan beskrivs analysen av data för bestämning av brandgaslager med metoden siktbarhet på 10 meter. För mer information om siktbarhet på 10 meter, se kap 3.3.2.

8.2.1 Kontroll av linjärt samband

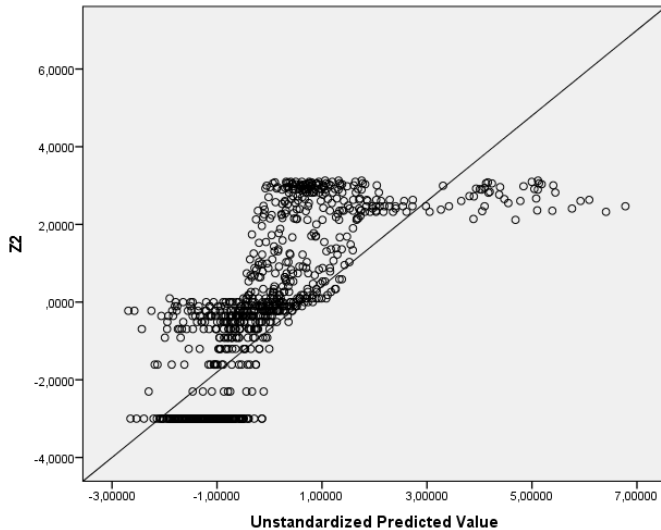
För att undersöka om simuleringarna följer ett linjärt samband så plottas den beroende variabeln Z2, siktbarhet på 10 meter, mot det förväntade värdet baserat på den framtagna korrelationen.



Figur 8.6. Siktbarhet på 10 meter plottat mot förväntade värdet på brandgaslagret på Brandplacering 2.

I grafen hamnar värden som underskattas av korrelationens förväntade värde över linjen $y=x$, och värden som överskattas hamnar under linjen. Figur 8.6 ovan visar att då de observerade värdena är över ca 8 meter tenderar korrelationen att underskatta det förväntade värdet, och de flesta punkter hamnar då ovanför linjen $y=x$. För observerade värden mellan 1-8 meter överskattas värdena av korrelationen och för observerade värden under ca 1 meter ger korrelationen värden på båda sidor om linjen $y=x$. Korrelationen ger även värden som hamnar under 0 meter, vilket är orimligt. Inte under några höjdivervall påvisar utdatan linjära samband, och för brandplacering 2 kan slutsatsen dras att inget linjärt samband finns.

Vid granskning av grafen konstateras återigen att sambandet ej är linjärt utan grafen har snarare formen av en exponentialfunktion. För att undersöka om det finns ett exponentiellt samband logaritmeras indatan till SPSS för samtliga variabler.



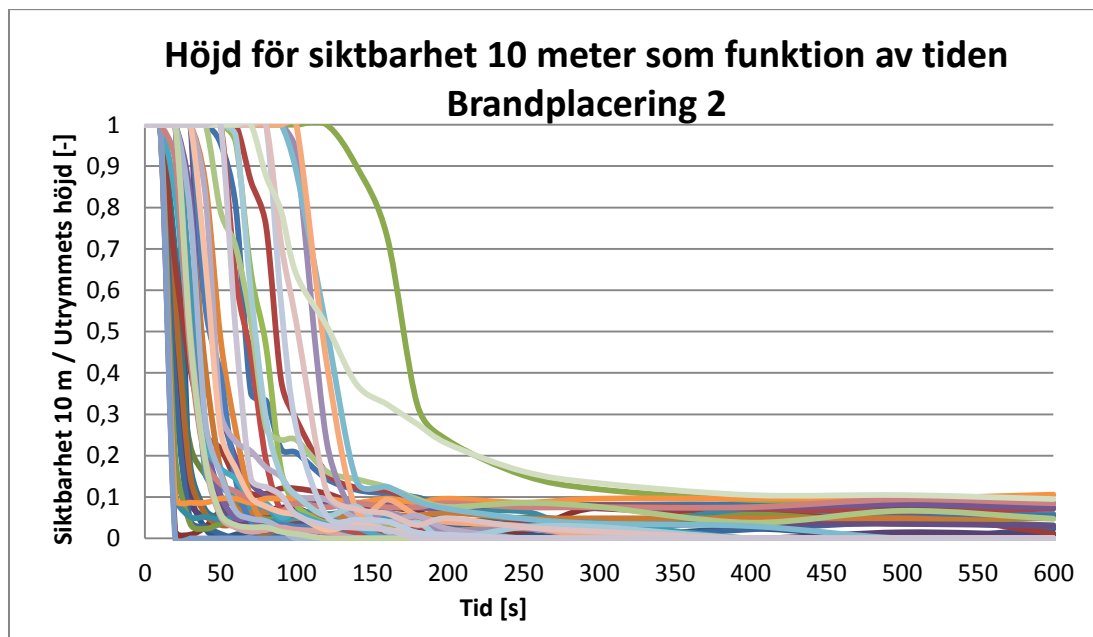
Figur 8.7. Siktbarhet på 10 meter för de logaritmerade värdena vid Brandplacering 2.

Resultatet plottas på nytt, se figur 8.7. Utfallet -3, vilket innebär ett brandgaslager på höjden 0, är mycket överrepresenterat. Detta då brandgaslagret i de flesta simuleringar mycket snabbt sjunker hela vägen till golvet, och antalet mätpunkter med utfallet 0 blir mycket högt. De logaritmerade värdena påvisar inget starkt linjärt samband, men sambandet uppfattas tillräckligt linjärt för att undersökas vidare.

8.2.2 Analys av enskilda simuleringar

Nedan undersöks om det förekommer en betydande mängd avvikande simuleringar.

För brandplacering 2 är det två simuleringar som skiljer sig från de övriga, men för samtliga simuleringar är det en större spridning än i den tidigare metoden, som figur 8.8 nedan visar. De två avvikande simuleringarna har en låg effektutveckling under 100 kW samt en stor area vilket förklarar den långsamma sänkningen av brandgaslagret.



Figur 8.8. Brandgaslagrets sänkning i förhållande till tiden för brandplacering 2.

8.2.3 Residualanalys

Nedan följer en analys av residualavstånd. För brandplacering 2 presenteras residualstatistik från SPSS, histogram över residualfördelningen samt graf över residualvärdenas fördelning i förhållande till det förväntade värdet.

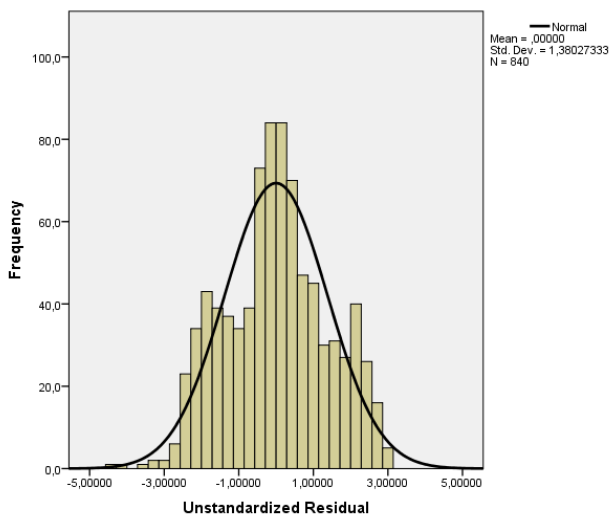
Tabell 8.5 nedan visar statistik för de logaritmerade värdena från SPSS för brandplacering 2. Tabellen visar att det är relativt högt maximalt samt minimalt residualvärde, högre i den föregående metoden. Det skulle vara önskvärt att bli av med dessa extrempunkter för att minska standardavvikelsen för residualerna.

Tabell 8.5. Residualstatistik för brandplacering 2, tio meters siktbarhet.

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	-2,69	6,78	0,05	1,46	840
Residual	-4,31	3,05	0,00	1,38	840
Std. Predicted Value	-1,87	4,59	0,00	1,00	840
Std. Residual	-3,12	2,21	0,00	1,00	840

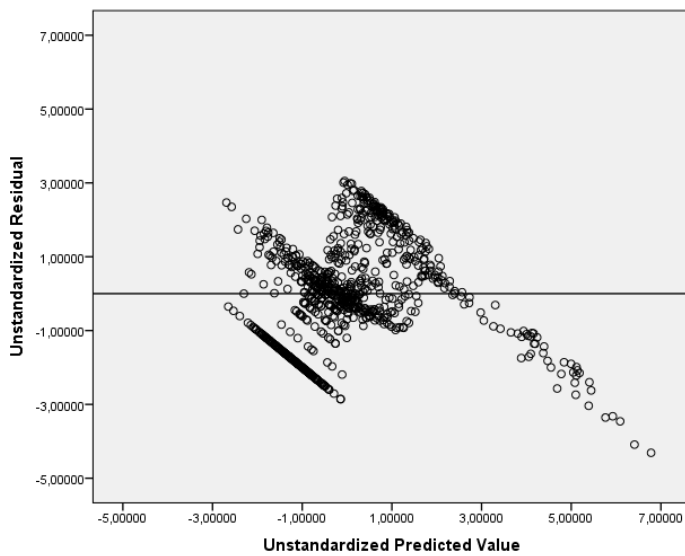
a. Dependent Variable: Z2

I figur 8.9 nedan visas residualavståndens fördelning. Histogrammet visar en tydlig normalfördelning, vilket innebär att kravet för normalfördelade residualer är uppfyllt för brandplacering 2.



Figur 8.9. Histogram över residualavstånden för brandplacering 2.

I figur 8.10 nedan visas residualavstånden i förhållande till de förväntade värdena. Grafen visar ingen jämn spridning kring linjen $e=0$, utan vissa mönster går att se. Till exempel har alla förväntade värden över ca 2,5 en negativ residual, vilket innebär att korrelationen överskattar z.



Figur 8.10. Residualavstånden i förhållande till de förväntade värdena.

8.2.4 Determinationskoefficient

För siktbarhet på 10 meter konstaterades att de logaritmerade värdena inte uppvisade något starkt linjärt samband. Determinationskoefficienten för denna metod förstärker detta konstaterande.

Determinationskoefficienten avslöjar att enbart drygt 50 % av variationerna i sambandet kan förklaras av de ingående variablerna, se tabell 8.6 nedan vilket är ett klart sämre resultat än föregående metod.

Tabell 8.6. Modellsummering för brandplacering 2, siktbarhet på tio meter.

Model Summary ^b				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0,73 ^a	0,53	0,53	1,38

a. Predictors: (Constant), A, T, H, Q

b. Dependent Variable: Z2

8.2.5 ANOVA (Analysis of variance)

Nedan redovisas ANOVA-tabellen för brandplacering 2 för metoden siktbarhet på tio meter.

I tabell 8.7 nedan visas att resultatet är signifikant. Residualvariansen är högre än för den tidigare metoden, och antalet frihetsgrader är lägre.

Tabell 8.7. ANOVA-tabell för brandplacering 2, siktbarhet på 10 meter.

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	1800,40	4	450,10	235,13	0,00 ^b
Residual	1598,43	835	1,91		
Total	3398,83	839			

a. Dependent Variable: Z2

b. Predictors: (Constant), A, T, H, Q

8.2.6 Koefficienter i korrelationen

I tabell 8.8 nedan går att utläsa att med ökande effektutveckling och tid minskar z, vilket är rimligt. Med ökande area och höjd ökar z, vilket också är rimligt. Koefficienternas medelfel och signifikans är god, förutom för höjden där den avviker. Faktum är att variabeln höjd har en signifikansnivå under 95% vilket gör att den inte är statistiskt säkerställd att vara av vikt för korrelationen. Detta är mycket märkligt då brandgaslagrets höjd givetvis påverkas av utrymmets höjd.

Tabell 8.8. Korrelationskoefficienter för brandplacering 2, siktbarhet på 10 meter.

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	8,47	0,67		12,72	0,00
t	-0,63	0,03	-0,61	-25,57	0,00
1 Q	-1,33	0,09	-0,37	-14,84	0,00
H	0,31	0,18	0,04	1,72	0,09
A	0,30	0,07	0,11	4,42	0,00

a. Dependent Variable: Z2

Detta ger en formel enligt:

$$Z = 4769,52 \times t^{-0,63} \times Q^{-1,33} \times H^{0,31} \times A^{0,30}$$

8.2.7. Sammanfattning metoden siktbarhet på 10 meter

Denna metod uppvisar avsevärt sämre resultat än den tidigare metoden. Dess determinationskoefficient ligger på drygt 50 %, vilket inte är ett bra resultat och den har också högre standardavvikelse. Dessutom är det inte säkerställt att alla ingående variabler är av vikt för korrelationen, vilket var sant för den tidigare metoden. Att modellen visar att det inte är statistiskt säkerställt att utrymmets höjd är av vikt för korrelationen kan ses som fingervisning för metodens lämplighet.

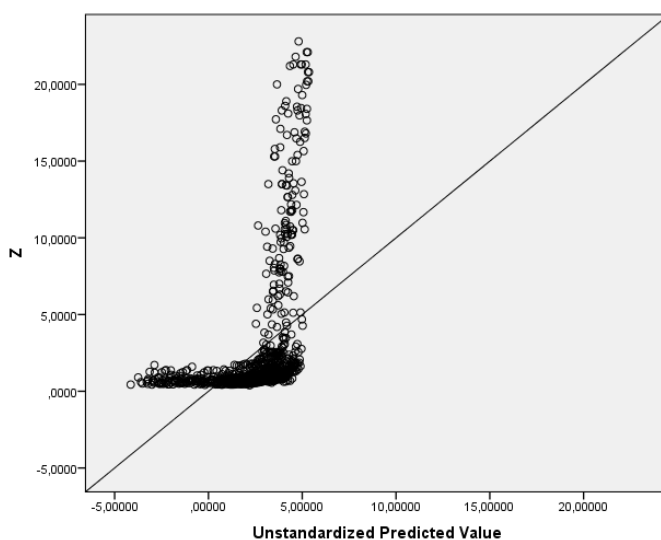
För att validera rimligheten i de värden som korrelationen predikterar, genomförs en granskning av samtliga observationer för samtliga simuleringar i jämförelse med predikterade värden. Av 40 simuleringar bedöms 15 % ha god eller mycket god överensstämmelse mellan korrelation och observationer. 33 % av simuleringarna visar något avvikande resultat. 52 % av simuleringarna visar avvikande eller orimliga resultat. Även här utmärker sig metoden som klart sämre än tidigare metod. Den har en stor övervikt av kurvor som har avvikande eller orimliga resultat, något som gör att korrelationen inte stämmer bra överens med simuleringarna.

8.3 Temperaturdifferens

Nedan beskrivs analysen av data för bestämning av brandgaslagrets höjd baserat på temperaturdifferens. För mer information om metoden baserad på temperaturdifferens, se kap 3.3.3.

8.3.1 Statistisk kontroll av linjärt samband

Det som eftersträvas är att resultatet från den multipla regressionsanalysen samt resultaten från simuleringarna för brandgasfyllnad ska följa ett linjärt samband. Ett linjärt samband innebär här att det värde som den framtagna korrelationen föreslår överensstämmer väl med det observerade värdet från simuleringen. För att undersöka detta så plottas den beroende variabeln z, brandgaslagrets höjd, mot det förväntade värdet baserat på den framtagna korrelationen.

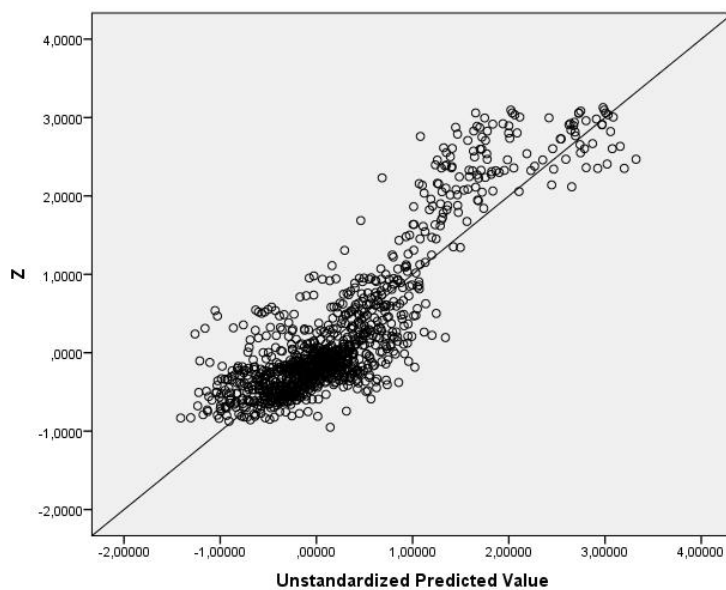


Figur 8.11. Den beroende variabeln mot det predikterade värdet utifrån den multipla regressionsanalysen för brandplacering 2.

I grafen hamnar värden som underskattas av korrelationens förväntade värde över linjen $y=x$, och värden som överskattas hamnar under linjen. Figur 8.11 ovan visar att då de observerade värdena är över ca 3 meter tenderar korrelationen att underskatta det förväntade värdet, och de flesta punkter

hamnar då ovanför linjen $y=x$. För observerade värden under ca 3 meter ger korrelationen värden på båda sidor om linjen $y=x$. Korrelationen ger även värden som hamnar under 0 meter, vilket är orimligt. Inte under några höjdivervall påvisar utdatan linjära samband, och för brandplacering 2 kan slutsatsen dras att inget linjärt samband finns. Om simuleringstiden hade varit kortare och simuleringen hade stoppats när brandgaserna nått ned till dörröppningen, hade troligen grafen fått ett annat utseende utan den horisontella delen av kurvan.

Vid granskning av grafen konstateras att sambandet ej är linjärt. Grafen har, likt för båda de föregående metoderna, snarare formen av en exponentialfunktion vilket motiverar att analysera vidare för att undersöka om så är fallet. För att undersöka om det finns ett exponentiellt samband genomförs en variabeltransformation genom att logaritmera indatan till SPSS, med den naturliga logaritmen som bas, för samtliga variabler.



Figur 8.12. Den beroende variabeln mot det predikterade värdet utifrån den multipla regressionsanalysen efter logaritmering, för brandplacering 2.

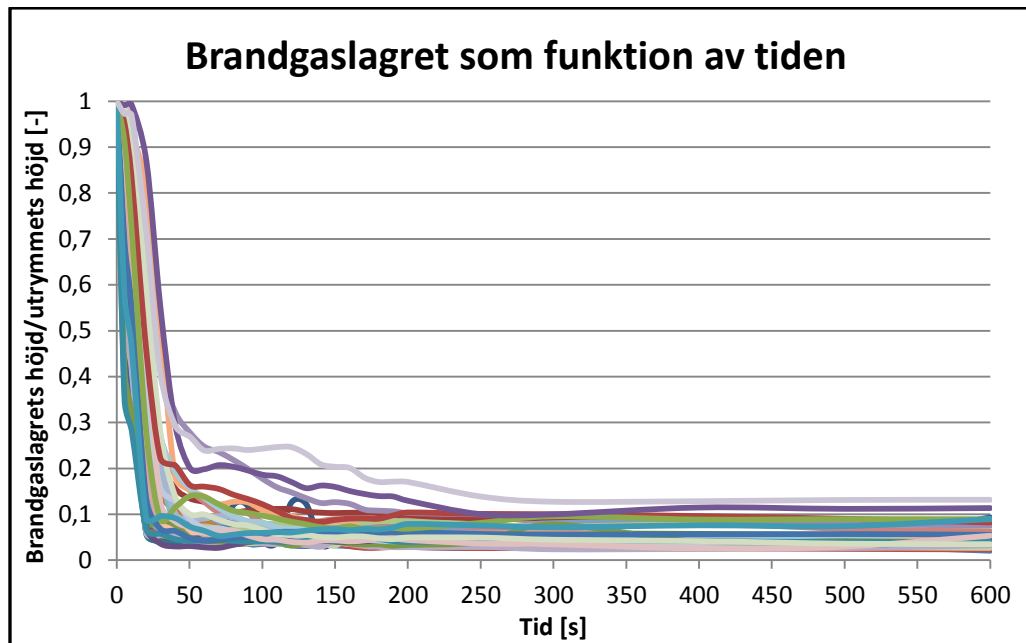
Figur 8.12 ovan påvisar ett mer linjärt samband än de ologitmerade värdena. Värdena visar likartad spridning på båda sidor om linjen $x=y$, förutom i intervallet $z=1,5-2,5$ där värdena underskattas av korrelationen. Märk väl att även z och de förväntade värdena är logaritmerade.

Av detta kan slutsatsen dras att brandgaslagrets höjd sannolikt är exponentiellt beroende av de utvalda variablerna och det är därför de logaritmerade värdena som används i den fortsatta analysen i SPSS. Detta samband förutsätts gälla oavsett brandplacering.

8.3.2 Analys av enskilda simuleringar

Enskilda avvikande observationer är något som kan ha stor inverkan på resultatet i en multipel regressionsanalys. För att undersöka om det finns en betydande närvaro av simuleringar med avvikande resultat plottas brandgaslagrets höjd för samtliga simuleringar mot tiden.

För brandplaceringen finns inga simuleringar som avviker stort från övriga simuleringar, utan brandgaslagrets höjd i förhållande till tiden följs åt för samtliga simuleringar, vilket ses i figur 8.13.



Figur 8.13. Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden för samtliga simuleringar med brandplacering 2.

Då inga stora avvikelser finns krävs ingen vidare analys för av dessa.

8.3.3 Residualanalys

Nedan följer en analys av residualavstånd, se kap 3.4.3 för mer information om residualanalys. För brandplacering 2 presenteras residualstatistik från SPSS, histogram över residualfördelningen samt graf över residualvärdenas fördelning i förhållande till det förväntade värdet. För sambandet är det viktigt att residualerna är normalfördelade, att de inte uppvisar några mönster då de plottas mot förväntade värdet samt att de inte väger över starkt på någon sida av linjen $e=0$.

Tabell 8.9 nedan visar statistik för de logaritmerade värdena från SPSS.

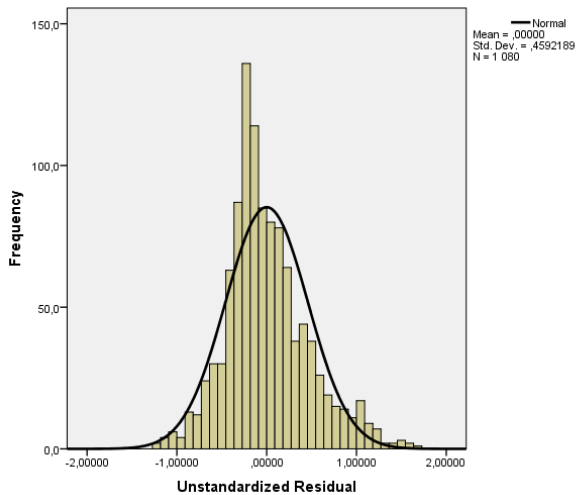
Tabell 8.9. Residualstatistik för brandplacering 2, metod temperaturdifferens.

Residuals Statistics ^a					
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	-1,41	3,32	,24	,83	1080
Residual	-1,23	1,68	,00	,46	1080
Std. Predicted Value	-1,98	3,71	,00	1,00	1080
Std. Residual	-2,68	3,65	,00	1,00	1080

a. Dependent Variable: Z

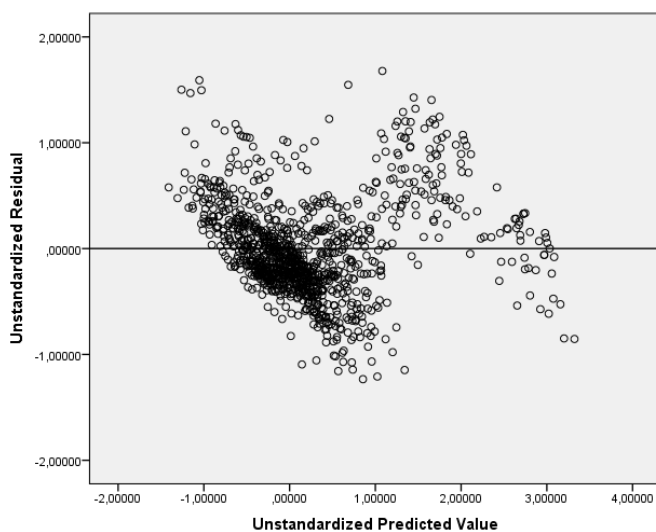
Siffrorna i tabell 8.9 ovan visar att det är en ganska stor spridning av residualerna kring väntevärdet, dock med ett lågt residualmedelvärde mycket nära noll. Denna relativt stora spridning kan ha stor inverkan på standardavvikelsen, och det hade varit önskvärt att minska det maximala och minimala residualavståndet. För att göra det krävs att så kallade "outliers" försvinner från urvalet genom begränsning av de ingående variablerna. Antalet observationer i denna metod är något högre än i de två andra metoderna. Detta beror på att antalet tidssteg i denna metod är något högre än i de två andra metoderna. För samtliga metoder är dock antalet observationer tillräckligt stort.

I Figur 8.14 nedan visas residualavståndens fördelning. Histogrammet visar en normalfördelning, vilket innebär att kravet för normalfördelade residualer är uppfyllt för brandplacering 2.



Figur 8.14. Histogram över residualavstånden för brandplacering 2.

Figur 8.15 nedan visar fördelningen det förväntade värdena och residualerna. Summan av residualerna i diagrammet ska vara noll, spridningen för residualerna skall vara jämt fördelade oberoende av placering på x-axeln och inga mönster skall uppvisas av residualerna. Återigen är det i intervallet $z=1,5-2,5$ som värdena avviker. I detta intervall är inte residualerna jämt fördelade kring $e=0$ utan de flesta punkter ligger ovanför denna linje, vilket innebär att de beräknade värdena i detta intervall underskattas. Inga tydliga mönster kan skönjas.



Figur 8.15. Residualavstånden i förhållande till det förväntade värdet på z.

8.3.4 Determinationskoefficient

Nedan presenteras tabell med determinationskoefficient, för mer information om determinationskoefficient se kap 3.4.2.

I tabell 8.10 nedan presenteras determinationskoefficienten, R^2 , för brandplacering 2. Värdet 0,77 innebär att 77% av variationerna i sambandet kan förklaras av de ingående variablerna. De övriga 23,4% av variationerna står att finna i variabler som inte ingår i regressionsanalysen. Att ca 80% av variationerna förklaras av modellen anses vara ett bra resultat, och är det bästa av de tre metoderna.

Tabell 8.10. Modellsummering för brandplacering 2.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0,88 ^a	0,77	0,77	0,46

a. Predictors: (Constant), A, T, H, Q

b. Dependent Variable: Z

8.3.5 ANOVA (Analysis of variance)

Nedan presenteras ANOVA-tabellen för brandplacering 2.

Signifikansnivån i tabell 8.11 nedan visar att resultatet är signifikant. F-värdet är väldigt högt, vilket beror på att residualvariansen är mycket låg till följd av de många frihetsgraderna.

Tabell 8.11. ANOVA-tabellen för brandplacering 2.

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	746,27	4	186,57	881,42	0,00 ^b
	Residual	227,54	1075	0,21		
	Total	973,81	1079			

a. Dependent Variable: Z

b. Predictors: (Constant), A, T, H, Q

8.3.6 Koefficienter i korrelationen

I tabell 8.12 nedan redovisas de koefficienter som bildar korrelationen för sambandet. I tabellen går att utläsa att med ökande effektutveckling och tid minskar z, vilket är rimligt. Med ökande area och höjd ökar z, vilket också är rimligt. Koefficienternas medelfel är relativt små, och signifikansen för varje enskild koefficient är god.

Tabell 8.12 Koefficienterna för brandplacering 2, metod temperaturdifferens.

Coefficients ^a					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	3,57	0,20		18,01	0,00
t	-0,58	0,01	-0,84	-56,94	0,00
1 Q	-0,37	0,03	-0,22	-13,86	0,00
H	0,34	0,05	0,10	6,42	0,00
A	0,12	0,02	0,09	6,00	0,00

a. Dependent Variable: Z

Detta ger en formel enligt:

$$Z = 35,52 \times t^{-0,58} \times Q^{-0,37} \times H^{0,34} \times A^{0,12}$$

8.3.7. Sammanfattning metoden temperaturdifferens

Denna metod uppvisar relativt goda resultat, bäst av de tre metoderna. Den har en relativt hög determinationskoefficient och visar inga direkta tecken på att vara felaktig. Det som oroar är värdena mellan z=1,5-2,5 där de uppmätta värdena underskattas jämfört med de predikterade. Detta kan bero på att den verkliga kurvan inte är helt logaritmisk, vilket är det som beräknats för. Det är också ett orosmoment att det enbart är temperaturdifferens som uppmätts, då det i okulära besiktningar av simuleringarna visat sig att utrymmet kan vara rökfyllt utan att temperaturdifferensen indikerar ett brandgaslager. Det skulle därmed kunna vara möjligt att kritiska förhållanden med avseende på sikt råder i utrymmet, utan att temperaturdifferensen visar på ett väldefinierat brandgaslager.

För att validera rimligheten i de värden som korrelationen predikterar, genomförs en granskning av samtliga observationer för samtliga simuleringar i jämförelse med predikterade värden. En kvalitativ bedömning görs sedan av hur bra de olika kurvorna överensstämmer, baserat på om stora avvikelser under flera tidssteg förekommer eller om kurvornas utseende generellt följer varandra väl. Hänsyn tas ej till eventuella enstaka avvikelser som skulle kunna bero på mätfel i simuleringen. Bedömningen god/mycket god överensstämmelse är följaktligen en kombination av kurvornas utseende är lika, med liten skillnad generellt, samt att stora avvikelser ej förekommer.

Av 40 simuleringar bedöms 28 % ha god eller mycket god överensstämmelse mellan korrelation och observationer. 62 % av simuleringarna visar något avvikande resultat. 10 % av simuleringarna visar avvikande eller orimliga resultat. Dessa siffror indikerar att korrelationen inte klarar av att på ett bra sätt uppskatta brandgaslagrets höjd i jämförelse med resultaten från simuleringarna.

8.4 Sammanfattning statistisk analys

Den statistiska analysen resulterade i tre korrelationer, en för vardera metod. De tre olika korrelationerna presenteras nedan.

- Första indikation på brandgaser:

$$Z = 746,95 \times t^{-0,70} \times Q^{-1,39} \times H^{0,48} \times A^{0,67}$$

- Siktbarhet på 10 meter:

$$Z = 4769,52 \times t^{-0,63} \times Q^{-1,33} \times H^{0,31} \times A^{0,30}$$

- Temperaturdifferens:

$$Z = 35,52 \times t^{-0,58} \times Q^{-0,37} \times H^{0,34} \times A^{0,12}$$

För samtliga metoder gäller att för ökande tid och effektutveckling minskar Z, vilket är rimligt. För samtliga gäller även att för ökande höjd och area på utrymmet så ökar Z, vilket också är rimligt.

Koefficienterna uppvisar stora skillnader. Att metoden med siktbarhet på 10 meter har den högsta konstanten ses som rimligt. Det bör ta längre tid att få en siktbarhet under 10 meter än att få en första indikation på brandgaser. Däremot är koefficienten för metoden med temperaturdifferens väldigt låg, vilket innebär att metoden snabbt visar på ett lågt brandgaslager.

Variablernas exponenter är för de två första metoderna relativt likartade. Temperaturdifferensen avviker återigen och uppvisar relativt stora skillnader mot de övriga två, framförallt gällande variabeln Q, brandens effektutveckling. För denna metod innebär det att en ökad effektutveckling inte ger lika stor påverkan för resultatet som för de andra två.

För att påvisa skillnaderna ges nedan ett exempel på resultat från de olika metoderna med godtyckligt utvalda värden på variablerna inom gränserna för variablernas intervall.

Tabell 8.13 Jämförande resultat med godtyckligt valda värden på variabler

Indata		Första indikation på brandgaser	Siktbarhet 10 meter	Temperaturdifferens
		Z:	Z:	Z:
t	120 s	0,74 meter	2,36 meter	0,013 meter
Q	100 kW			
H	15 m			
A	10 m ²			

Tabell 8.13 visar att det är stor skillnad mellan de olika metoderna. Till exempel visar metod 3 att brandgaslagrets höjd är 1,3 centimeter över golvet efter 2 minuter, vilket bedöms vara ett otroligt resultat, medan metod 2 ger ett brandgaslager på ca 2,4 meter. Sammantaget visar beräkningarna att ingen av metoderna uppvisar resultat som ger bra överrensstämmelse med simuleringarna.

9. Diskussion

Nedan följer en diskussion utifrån de resultat och delresultat som rapporten resulterat i, samt tänkbara felkällor som kan ha påverkat resultaten och slutsatserna.

9.1 Indata i FDS

Samtliga val avseende inställningar som görs i simuleringarna innebär mer eller mindre att modellen på något sätt begränsas och att osäkerheter tillförs resultatet.

Till simuleringarna valdes fyra variabler ut som ansågs ha störst påverkan på brandgaslagrets höjd. Detta är dock inte de enda variabler som påverkar resultatet, utan även andra variabler påverkar brandgaslagrets höjd. Då dessa inte ingick är deras påverkan inte med i förklaringen av höjden, och detta kan påverka resultatet.

9.1.1 Bränsle

I samtliga simuleringar användes heptan som bränsle. Detta då det är relativt likartat vad gäller sotproduktion med trä och plast som är material som förväntas finnas i en trappuppgång. Detta påverkar givetvis resultaten, och ett annat bränsle hade gett ett annorlunda förlopp av brandgasfyllnaden, framförallt vad gäller siktberäkningar. Då samtliga simuleringar genomfördes med samma bränsle påverkar inte detta jämförelse av simuleringarna sinsemellan, men det påverkar korrelationens slutliga utseende. För ett mindre sotande bränsle hade brandgaslagret sjunkit långsammare och korrelationen hade då sett annorlunda ut. Därav bör troligen bränslet alternativt dess soot yield ingå som en oberoende variabel i en korrelation för brandgasfyllnadsförloppet.

9.1.2 Effektutveckling per areaenhet

Effektutvecklingen per areaenhet ansattes till ca 500 kW/m^2 i samtliga simuleringar. För att skapa jämförbara simuleringar valdes att ha så nära samma effektutveckling per areaenhet som möjligt, istället för att variera den mellan simuleringarna. Då värdet 500 kW/m^2 bedömdes vara ett rimligt värde för material som antas förekomma i denna typ av utrymme (trapphus och liknande), valdes att hålla värdet konstant och istället variera brandens area. Pyrolyshastigheten är därför likartad i samtliga simuleringar, men plymens omkrets varierar vilket leder till att ytan som utsätts för inblandning av kall luft varierar. Det är sannolikt att en större omkrets leder till en högre effektutveckling och högre temperatur i brandplymen, och att brandgaslagrets höjd därför sjunker något snabbare. Ett annat värde på effektutvecklingen per areaenhet hade således kunnat ge andra resultat, men att undersöka detta vidare är ej något som rymdes inom ramarna för denna studie.

9.1.3 Gridstorlek

För samtliga simuleringar har mesh-storleken varit densamma. Med finare mesh genereras i regel mer verklighetstroga resultat, men detta förlänger samtidigt simuleringstiden avsevärt. Bedömningen har gjorts att mesh-storleken är tillfredsställande för denna rapporters intentioner att jämföra metoder, trots att förhållandet mellan den dimensionslösa brandarean och gridstorleken hamnade något under det lägsta värde som rekommenderas i litteraturen. Vid framtagande av en korrelation bör det dock undersökas om en finare mesh skulle generera bättre och mer tillförlitliga värden. Att förändra gridstorleken utifrån brandarean kunde ha gett andra resultat. Med en finare grid förfinas detaljerna i simuleringen vilket till exempel skulle gjort att programmet på ett bättre sätt hade kunnat modellera turbulensen i utrymmet.

Av erfarenhet kan en finare mesh ge något högre temperaturer i brandrummet, men samtidigt något mindre sotbildning. En grövre mesh ger således något lägre temperaturer men mer sot och därmed sämre sikt i brandrummet, vilket är konservativt med avseende på avsikten med denna studie. Det ska påpekas att syftet med framtagandet av en korrelation är att ge en första grov indikation på rökfyllnadsförloppet, därav blir detaljer i simuleringarna av mindre betydelse.

9.1.5 Tilluftsöppningen

Ytterligare en faktor vars inverkan på resultatet ej studerats är storleken på utrymmets tilluftsöppning. I samtliga simuleringar har tilluft tillförts utrymmet genom en dörr centralt placerad i marknivå. Att variera mängden tilluft, genom att exempelvis hålla dörren stängd under delar av brandförloppet, eller att placera öppningen i ett hörn eller en våning upp i utrymmet, är faktorer som rimligtvis kan påverka brandgasfyllnaden. I denna studie bedöms det dock fullgott att placera en dörr centralt på markplan, då detta anses motsvara normala förhållanden i ett trapphus med en uppställd entrédörr. Eftersom dörren hållits öppen under hela brandförloppet i samtliga simuleringar, har brandens effektutveckling hållits konstant och fallet med en ventilationskontrollerad brand har undvikits. Med en stängd dörr hade förhållandet med en hög effektutveckling i ett litet utrymme kunnat leda till en ventilationskontrollerad brand, vilket skulle försvåra jämförandet mellan resultat från olika simuleringar. En underventilerad brand skulle även gett andra problem som till exempel pålitligheten i resultaten sett till begränsningarna i FDS.

9.1.6 Brandplaceringen

Det noterades att resultaten från simuleringar med brandplacering 1 i vissa fall skiljer sig åt mot simuleringar med brandplacering 2 och 3. Det kan i vissa fall bero på att indatan i simuleringarna skiljt sig åt allt för mycket, vilket därmed omöjliggjort en fullgod jämförelse mellan simuleringarna. Den eventuella inverkan som brandplaceringen förväntas ha på brandförloppet är att brand placerad i mitten av utrymmet får en högre luftinblandning, eftersom branden där är exponerad från alla håll. När branden istället placeras vid en vägg eller i ett hörn blockeras en respektive två sidor av branden av konstruktionen vilket skapar en begränsad tillförsel av kall luft.

Vid användandet av metod 3 i simuleringar där effektutvecklingen varit låg, har ett visst mönster kunnat anas då brandplaceringen haft inverkan på resultatet. Brandplacering 1 avviker från brandplacering 2 och 3 på så vis brandgasfyllnaden som funktion av tiden flukturerar mycket mer och visar även på att brandgaslagret stannar på en relativt hög höjd, både jämfört med de två andra brandplaceringarna och jämfört med de två andra metoderna. Avvikelsen mot de andra två metoderna är mer väntad. Detta eftersom metod 3 är baserad på temperaturskillnad mellan den varma och kalla zonen, och i och med att effektutvecklingen är låg blir temperaturskillnaden inte så stor att metoden kan definiera ett stabilt rökfyllnadsförlopp. Skillnaden mellan brandplaceringarna är däremot svårare att förklara. Givetvis hade det förväntats bli en stor skillnad om konstruktionen varit brännbar, men så är inte fallet i denna studie efter utrymmet är uppbyggt av betong.

Om brandplaceringen har någon inverkan på rökfyllnadsförloppet har det sammanfattningsvis inte kunnat fastställas vilken eller hur stor inverkan den har i simuleringarna.

9.1.4 Mätpunkternas orientering

I metoderna för första indikation på brandgaser och siktbarhet på tio meter hämtas mätvärden i bakre delen av utrymmet från dörren sett. Detta medför att ingen eller ytterst lite kall luft når cellerna där värdena hämtas, vilket visas tydligt av att brandgaslagret når golvet trots öppningen i utrymmet. Hade istället värdena hämtats från främre delen av utrymmet hade antagligen siktbarheten varit bättre. Tillvägagångssättet som används i rapporten anses vara konservativt.

9.2 Okulär jämförelse mellan simuleringar

I avsnitt 6 genomfördes en form av förenklad kvalitativ analys genom okulär jämförelse mellan simuleringar. I analysen avsågs att i tur och ordning studera en av de olika variabelernas inverkan på brandfyllnaden i utrymmet. För att erhålla ett bra resultat från analysen erfordrades att jämförbara simuleringar fanns, där den valda variabeln varierade så mycket som möjligt, samtidigt som övriga variabler var så lika som möjligt. Till följd av att de oberoende variablerna slumpades fram för varje simulering, förekom inte sådana ultimata jämförbara simuleringar. Detta ledde i sin tur till att jämförelserna inte alltid gav de resultat som önskats och väntats. Analysen bedöms ändå fylla ett syfte då den, i de fall att det fanns jämförbara simuleringar, visade på väntade och rimliga resultat. När oväntade och möjligen ologiska resultat uppvisades fanns ofta en förklaring till det, till exempel att de beroende variabler som skulle varit samma i simuleringarna tyvärr skilde sig åt allt för mycket.

9.3 Indata i SPSS

För samtliga tre metoder som studerats i analysen gäller att genom begränsningar av intervallen för variablerna kan resultaten förbättras. Genom att bli av med så kallade "outliers" och simuleringar som ligger långt ifrån de övriga på grund av att de har extremvärden på variablerna kan resultaten trimmas. Då denna rapport framförallt riktar in sig på att jämföra de olika metoderna, genomförs ingen sådan begränsning. En sådan undersökning skulle kunna förändra den inbördes ordning som presenteras i denna rapport, och därmed är det av intresse att genomföra en sådan innan några slutsatser dras om vilken metod som lämpar sig bäst överlag. Det som kan konstateras med denna rapport är att för de valda intervallen på variablerna är ordningen som presenterad.

De resultat som levereras från SPSS jämförs med resultaten från FDS. Resultaten från FDS är på intet sätt att likställas med "verkligheten", då dessa är baserade på en uppskattning utifrån en modell av verkligheten. Även om programmet är mycket väl validerat och verifierat i vissa avseenden, finns funktioner och förutsättningar där kunskapen om programmet är begränsad. Av de metoder som analyserats i denna studie är mätfunktionen baserad på temperaturdifferens i utrymmet den funktion som är mest validerad. Avseende funktionen som uppskattar siktsträckan i utrymmet, vilken de övriga två metoderna baseras på, är kunskapen kring dess resultat mer begränsad sett till den ringa validering och verifiering som åtfördes i litteraturen. Detta är mycket viktigt att ha i åtanke då resultaten tolkas. För att på ett bättre sätt säkerställa resultaten från FDS kan experiment utföras med samma försöksupställning som i simuleringarna, men detta ligger utanför rapporten. Resultaten från SPSS jämförs, granskas och bedöms på hur de förhåller sig till resultaten i FDS, men man bör som sagt ha i åtanke att programmet skapar en modell av verkligheten. För just den typ av utrymme som studerats i denna rapport, primärt höga och smala utrymmen, finns i dagsläget tyvärr för lite validering av resultaten som programmet genererar.

10. Slutsats

Resultaten visar att metoden att via temperaturdifferens i FDS uppskatta brandgaslagrets höjd som funktion av tiden är den metod som verkar mest lovande för att ta fram en korrelation. Metoden med temperaturdifferens visar bättre resultat än de övriga metoderna på samtliga punkter, men därmed inte sagt att det är en fullgod metod att bygga sin korrelation på. Bedömning av hur praktiskt användbar en sådan korrelation skulle vara beror givetvis på hur väl metoden i FDS stämmer med verkligheten. För denna typ av utrymmen finns tyvärr för få experimentella studier genomförda för att validera resultaten från FDS. För det specifika utrymme med hög höjd som studerats i denna rapport, i kombination med brand med låg effektutveckling, har temperaturskillnad visat sig vara ett vanskligt mått att basera korrelationen på. Vid vissa simuleringar har, vid okulär granskning av simuleringen, brandgaser strömmat ut ur öppningen utan att någon temperaturdifferens uppfattas av programmet. Då uppstår situationen att inget brandgaslager indikeras av programmet, trots att utrymmet uppenbart är fyllt av brandgaser. Detta ter sig icke konservativt med tanke på att kritiska nivåer för brandgaslager kan uppstå innan metoden indikerar sådana nivåer. Oavsett hur bra värden i SPSS som metoden uppvisar är detta ett problem som inte kan bortses.

Metoden för bestämning av brandgaslagret via första indikation på brandgaser gav sämre resultat i SPSS. För de specifika förutsättningar som simulerades i FDS levererade denna metod sämre värden överlag än metoden för temperaturdifferens. Dock är metoden med första indikation på brandgaser mycket konservativ. Därmed är det en avvägning om det är värdena från SPSS som avgör eller vetenskapen om att det är konservativa värden som ligger till grund för de något sämre resultaten i SPSS.

Metoden för siktbarhet på tio meter gav så pass dåliga värden överlag i SPSS att metoden inte kan anses vara tillförlitlig eller lovande för de specifika förutsättningar som presenteras i denna rapport. Därav konstateras också att resultaten i FDS, med denna typ av modelluppbyggnad i kombination med användandet av denna metod, ej kan betraktas som tillförlitliga.

11. Vidare forskning

Som nämnts tidigare har resultaten visat att metoden att via temperaturdifferens i FDS ta fram en korrelation för att uppskatta brandgaslagrets höjd är den metod som verkar mest lovande. Dock har ingen korrelation för detta presenterats inom ramarna för denna studie. Behovet av en sådan korrelation bedöms finnas, då de metoder som i dagsläget finns inte klarar av att effektivt och korrekt uppskatta brandgaslagrets höjd i höga, smala utrymmen.

Att genom simuleringar ta fram data, s.k. numeriska experiment, som kan användas för att skapa en enkel korrelation för brandgasfyllnad anses vara ett tillvägagångssätt som är lovande. Dock krävs mer forskning, undersökningar och experiment för att säkerställa tillförlitligheten. I denna rapport visade det sig att två av metoderna gav relativt goda resultat, men inte tillräckligt goda för att här kunna presentera en korrelation. Genom att begränsa variabelernas intervall, t.ex. genom att bara studera den beroende variabeln från det att brandgaslagret sjunker till dess att det når dörröppningen, skulle antagligen tillförlitligheten kunna förbättras. Dock fanns det, på grund av tid och rapportens omfattning, inga möjligheter att genomföra en sådan begränsning. Begränsningar av sådan art innebär att korrelationens användningsområde begränsas, men en högre tillförlitlighet anses ändå motivera en sådan begränsning.

Avseende tillförlitligheten hos resultaten från FDS genomförs ständigt löpande uppdateringar av programmet för att öka tillförlitligheten. Genom att fler felaktigheter åtgärdas och fler validerande experiment genomförs minskar följaktligen skillnaden mellan simuleringsresultat och verkligheten. Sett till denna rapports syfte, att finna en metod vars resultat är bra nog att grunda en korrelation på, är det av särskilt intresse att framtida studier genomförs kring funktionen i FDS för att uppskatta siktsträcka. Då litteraturen kring funktionens validering och verifiering är högst begränsad bedöms detta område vara ett aktuellt forskningsområde i framtiden.

Det bedöms även vara intressant att studera andra variabelers inverkan på brandgaslagrets höjd, än de som analyserats i denna studie. Lämpligen bör faktorer som exempelvis brandens effektutveckling per areaenhet, sotproduktion, utrymmets tilluftsöppning, värmeförluster till väggar samt gridstorlek studeras innan valet görs om de bör ingå i den fortsatta analysen eller ej.

Vidare undersökningar, analyser och experiment skulle följaktligen behöva genomföras innan man med tillräckligt god tillförlitlighet kan ta fram en korrelation med i rapporten presenterade metoder. Dock anses metoden att genom data från CFD-simuleringar ta fram en korrelation för brandgasfyllnad tillräckligt lovande för att undersöka vidare.

Referenser

- Andersson, G., Jorner, U. & Ågren, A. (2007). *Regressions- och tidsserieanalys*. 3., [utök. och uppdaterade] uppl. Lund: Studentlitteratur.
- Boverket (2010). *Teknisk status i den svenska bebyggelsen*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket (2011). *Regelsamling för byggande, BBR 2012*. 1. uppl. Karlskrona: Boverket.
- Capote, J.A., Alvear, D., Abreu, O.V., Lázaro, M. & Espina, P. (2009). Scale Tests of Smoke Filling in Large Atria. *Fire Technology*, vol. 45, No. 2, pp. 201-220.
- Field, Andy (2009). *Discovering statistics using SPSS: (and sex and drugs and rock 'n' roll)*. 3. ed. Los Angeles: SAGE.
- Forney, G. P. (2007). *User's Guide for Smokeview Version 5 – A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data*. Washington: NIST Special Publication 1017-1.
- Heskestad, G. & Delichatsios, M.A. (1977) "Environments of fire detectors" – phase I: effect of fire size, ceiling height and materials. Volumes I and II – measurements (NBS-GCR-77-86; NBS-GCR-77-95). National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD.
- Heskestad, G. & Delichatsios, M.A. (1978) "The Initial Convective Flow in Fire," *17th International Symposium on Combustion*, Combustion Institute, Pittsburgh, PA.
- IBM (2011). *IBM SPSS Statistics 20 Core System User's Guide*.
- Jensen, L. (2005). *Täthet och tryckfall i trapphus – Fullskaleförsök*. Lund: Lunds Universitet, Avdelningen för installationsteknik.
- Karlsson, B. & Quintiere, J. G. (2000). *Enclosure fire dynamics*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Kaye, N.B. & Hunt, G.R. (2007). Smoke filling time for a room due to a small fire: The effect of ceiling height to floor width aspect ratio. *Fire Safety Journal*, No. 42, pp. 329-339.
- Körner, S. & Wahlgren, L. (2006). *Statistisk dataanalys*. 4., [omarb.] uppl. Lund: Studentlitteratur.
- McDermott, R., McGrattan, K., Hostikka, S. & Floyd, J. (2010) *Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide, Volyme 2: Verification*. Maryland : NIST Special Publication 1018-5.
- McGrattan, K., McDermott, R., Hostikka, S. & Floyd, J. (2010a) *Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide, Volyme 3: Validation*. Maryland : NIST Special Publication 1018-5.
- McGrattan, K., Hostikka, S., Floyd, J., McDermott, R. & (2010b) *Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide*. Maryland : NIST Special Publication 1019-5, NIST Building and Fire Research Laboratory.
- Nystedt, F. & Frantzich, H. (2011) *Kvalitetsmanual för brandtekniska analyser vid svenska kärntekniska anläggningar*. Lund: Lunds Universitet, Avdelningen för brandteknik och riskhantering.
- StatSoft Inc. (2011). *Electronic Statistics Textbook*. Tulsa, OK: StatSoft. Tillgänglig: <http://www.statsoft.com/textbook/> [2012-02-15].

Särdqvist, Stefan (1993). *Initial fires: RHR, smoke production and CO generation from single items and room fire tests*. Lund: Dept. of Fire Safety Engineering.

Tanaka, T. & Yamana, T. (1985). Smoke Control in Large Scale Spaces, Part 1: Analytic Theories for Simple Smoke Control Problems. *Fire Science and Technology*, Vol. 5, No. 1, pp. 31-40.

Tewarson, A. (2002) *Generation of Heat and Chemical Compounds in Fire*. I DiNenno, Philip J. (red.) (2002). *SFPE handbook of fire protection engineering*. 3. ed. Quincy, Mass.: National Fire Protection Association, s. 3-111.

Thunderhead Engineering (2010). *Pyrosim User Manual, 2010.2*. Manhattan: Thunderhead Engineering. Tillgänglig: www.thunderheadeng.com [2012-03-22].

Zukoski, E.E., Development of a Stratified Ceiling Layer in the Early Stages of a Closed Room Fire. *Fire and Materials*, Vol. 2, No. 2, 1978.

US.NRC (2007). *Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications, Volume 7: Fire Dynamics Simulator (FDS)*. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research (RES), Rockville, MD, 2007, and Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, CA, NUREG-1824 and EPRI 1011999.

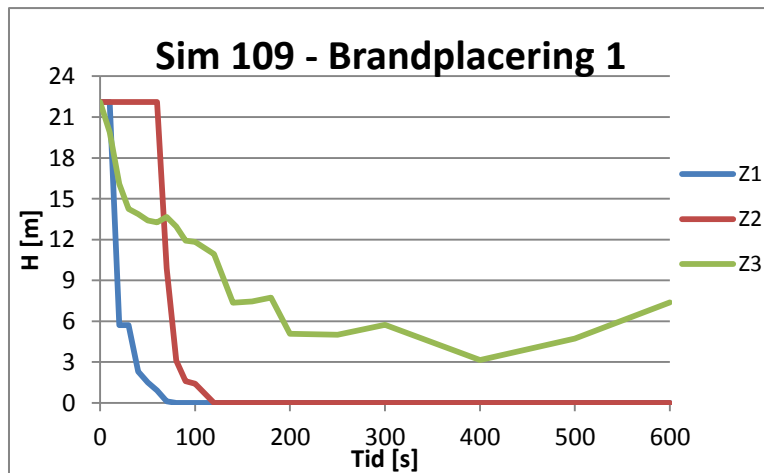
Tillgänglig: <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1824/>

Bilaga A – Jämförelse mellan tre olika metoder

I detta avsnitt presenteras kompletterande grafer till avsnitt 7.1, jämförelse mellan tre olika metoder.

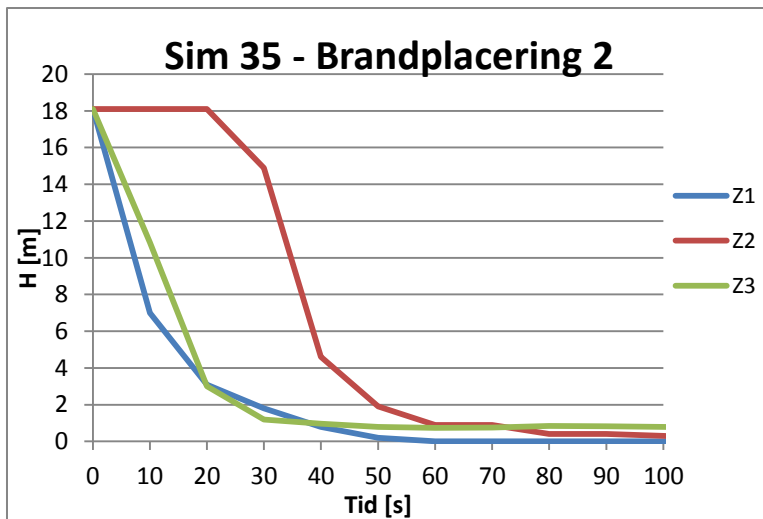
A.1 Hög effektutveckling, hög rumshöjd och stor golvarea

Nedan visas jämförelser mellan de olika metoderna för att bedöma ett brandgaslager för simuleringar med hög effektutveckling, hög rumshöjd och stor golvarea.

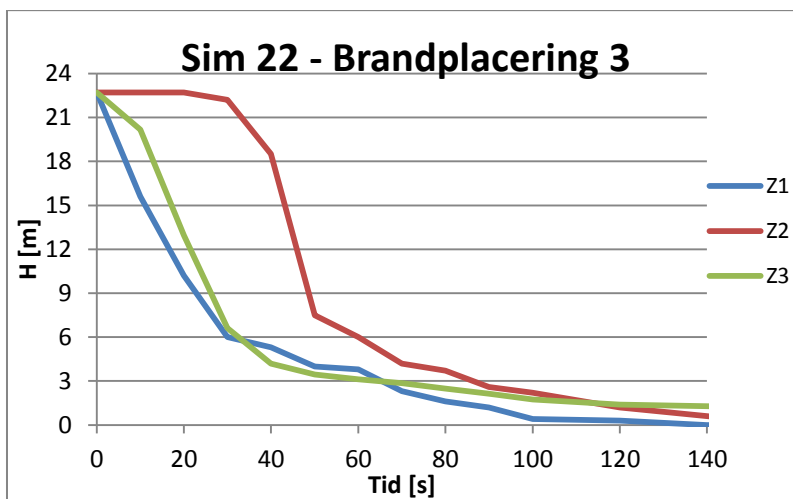


Figur A.1. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 109 på brandplacering 1. De oberoende variabelernas egenskaper är: hög effektutveckling, hög rumshöjd och stor golvarea.

I figur A.1 urskiljer sig Z3 starkt från de övriga kurvorna. Z1 visar att utrymmet är helt rökfyllt efter en minut och Z2 visar att sikten vid golvnivå är under tio meter efter ca två minuter. Z3 fluktuerar mycket under hela brandförloppet och underskrider aldrig tre meter. Kurvan visar att brandgaslaget stiger mot slutet av brandförloppet och efter tio minuter befinner sig på en höjd av drygt sju meter. Detta är ett något underligt utseende eftersom utrymmets geometri är stor och branden har en hög effektutveckling, vilket torde skapa en jämn och väldefinierad temperaturskiktning. Istället visar kurvan att brandgaslagrets höjd fluktuerar mycket. En förklaring kan vara att det inte finns någon väldefinierad undre kall zon i utrymmet och att temperaturdifferensen mellan golv och brandgaserna lite högre upp blir mycket liten och fluktuerar på grund av turbulensen i utrymmet.



Figur A.2. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 35 på brandplacering 2. De oberoende variabelernas egenskaper är: hög effektutveckling, hög rumshöjd och stor golvarea.

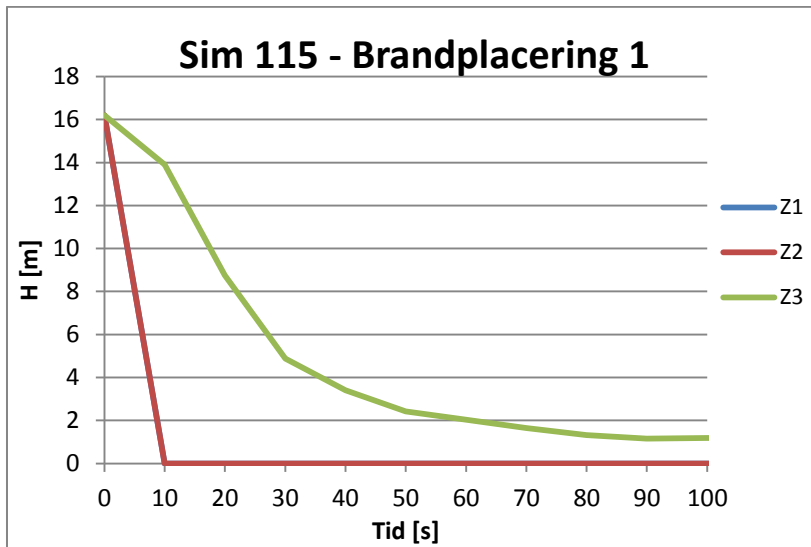


Figur A.3. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 22 på brandplacering 3. De oberoende variabelernas egenskaper är: hög effektutveckling, hög rumshöjd och stor golvarea.

Figur A.2 och A.3 för brandplacering 2 respektive 3 visar samma förhållande mellan de tre kurvorna. Z1 och Z3 följs åt under hela brandförloppet. Z2 sjunker något långsammare än de andra två, vilket visar att sikten i utrymmet inledningsvis inte är sämre än tio meter, ett väntat resultat.

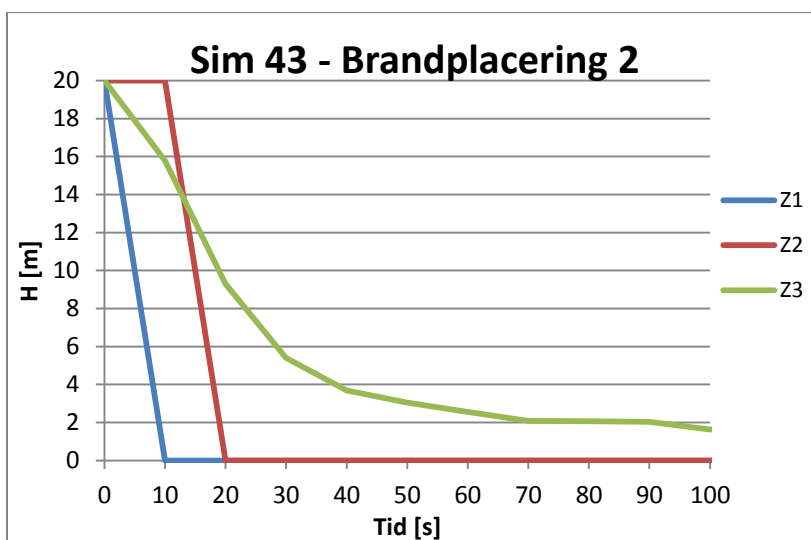
A.2 Hög effektutveckling, hög rumshöjd och liten golvarea

Nedan visas jämförelser mellan de olika metoderna för att bedöma ett brandgaslager för simuleringar med hög effektutveckling, hög rumshöjd och liten golvarea.



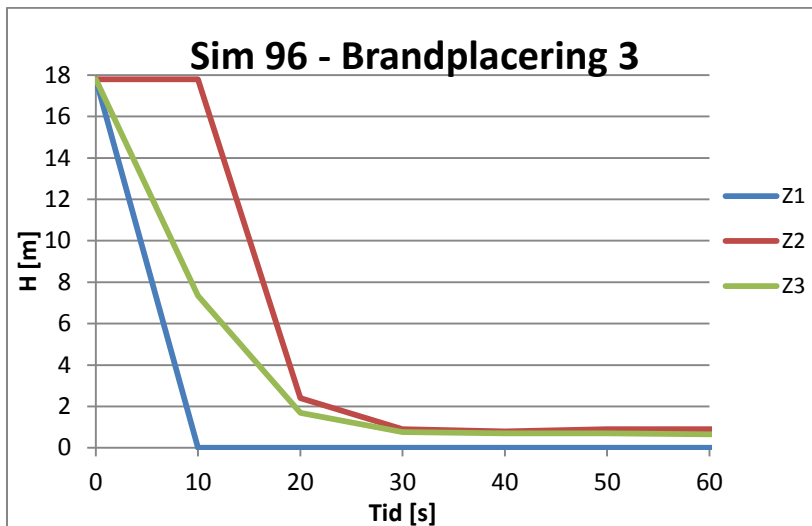
Figur A.4. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 115 på brandplacering 1. De oberoende variabelernas egenskaper är: hög effektutveckling, hög rumshöjd och liten golvarea.

I figur A.4 avviker Z3 starkt från de övriga kurvorna. Vid avläsningen av Z1 och Z2 observeras mycket underliga resultat då ett "lock" med brandgaser bildas strax ovanför dörröppningen. Det är redan efter tio sekunder rökfyllt ned till golvet, men ovanför detta område är det fritt från brandgaser. Z3 visar dock en flackare kurva och först efter en minut är brandgaserna nere på två meters höjd, varefter de stabiliseras på en meters höjd. Resultaten antyder att FDS möjligen inte är lämpligt för simuleringar med denna typ av modelluppbyggnad i kombination med användandet av denna metod.



Figur A.5. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 43 på brandplacering 2. De oberoende variabelernas egenskaper är: hög effektutveckling, hög rumshöjd och liten golvarea.

Z1 och Z2 visar liknande resultat, vilket ses i figur A.5, dock med en förskjutning på tio sekunder. Z1 visar att brandgaserna nått golvet efter tio sekunder medan Z2 visar att sikten vid golvnivå är under tio meter efter 20 sekunder. Z3 har en betydligt flackare kurva och når två meter först efter 70 sekunder, en höjd där brandgaserna stabiliseras för resten av brandförloppet. Grafens utseende indikerar att utrymmet snabbt blir rökfyllt men att det tar längre tid för brandgaserna i den undre delen av brandgaslagret att bli så varma att FDS5 bedömer att ett brandgaslagret är definierat.

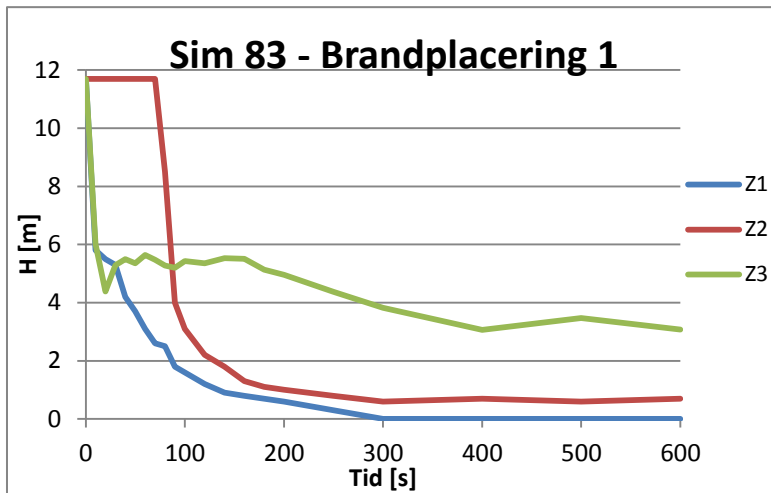


Figur A.6. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 96 på brandplacering 3. De oberoende variablernas egenskaper är: hög effektutveckling, hög rumshöjd och liten golvarea.

För figur A.6 visar samtliga kurvor liknande resultat och utrymmet blir snabbt rökfyllt. Efter tio sekunder visar Z1 att brandgaserna är nere vid golvet och efter 20 sekunder är sikten där under tio meter. Z3 håller sig mellan de andra kurvorna och når en meters höjd efter drygt 20 sekunder, samtidigt som Z2.

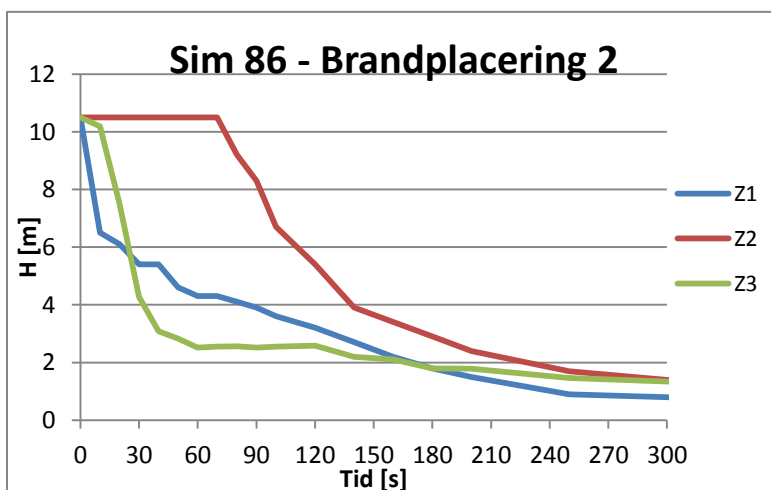
A.3 Låg effektutveckling, låg rumshöjd och stor golvarea

Nedan visas jämförelser mellan de olika metoderna för att bedöma ett brandgaslager för simuleringar med låg effektutveckling, låg rumshöjd och stor golvarea.

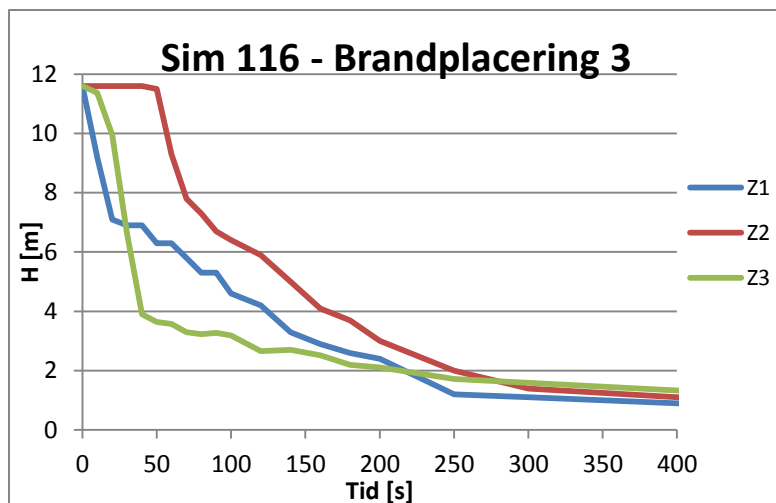


Figur A.7. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 83 på brandplacering 1. De oberoende variabelernas egenskaper är: låg effektutveckling, låg rumshöjd och stor golvarea.

De olika kurvorna har relativt stora skillnader i utseende, vilket ses i figur A.7. Z1 visar att brandgaslagret är nere vid två meters höjd efter 1,5 minuter och vid golvnivå efter cirka 4 minuter. Z2 visar att sikten på två meters höjd är under tio meter efter två minuter och stabiliserar sig sedan på en höjd av 0,5 – 1 meter under resten av brandförloppet. Z3 visar mycket avvikande resultat från de övriga två, då den initialt snabbt sjunker till 5 meters höjd. Kurvan stabiliseras där under de första tre minuterna men sjunker sedan till tre meters höjd och stabiliseras där under resten av brandförloppet. Orsaken till kurva Z3 avvikande utseende kan vara att effektutvecklingen är så låg att det aldrig blir någon större temperaturdifferens mellan utrymmets övre och undre zon.



Figur A.8. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 86 på brandplacering 2. De oberoende variabelernas egenskaper är: låg effektutveckling, låg rumshöjd och stor golvarea.

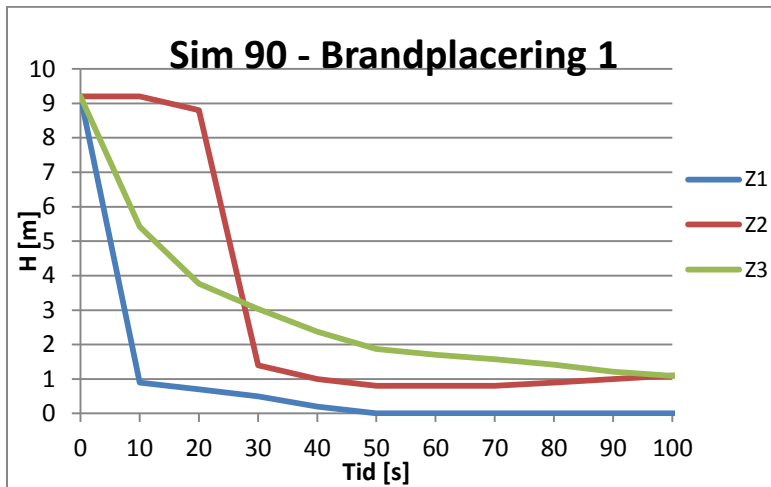


Figur A.9. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 116 på brandplacering 3. De oberoende variabelnas egenskaper är: låg effektutveckling, låg rumshöjd och stor golvarea.

Graferna för brandplacering 2 och 3, se figur A.8 och A.9, visar på mycket lika resultat avseende förhållandet mellan de tre kurvorna. Z1 sjunker inledningsvis snabbast men efter cirka 30 sekunder visar Z3 lägst resultat för brandgaslagrets höjd. Detta innebär att FDS beräknar ett temperaturdifferens, men den hämtade utdatan i programmet visar inga brandgaser. Detta kan bero på att FDS beräknar en kontinuerlig medeltemperatur över höjden och approximerar ett brandgaslager. Detta kan då innebära att approximationen hamnar där utdatan ej ännu indikerar brandgaser. Ett par minuter in i brandförloppet möts åter kurvorna Z1 och Z3 och stabiliseras på ungefär samma höjd, cirka en meter, för resten av brandförloppet. Det tar längre tid för kurva Z2 att visa indikation, vilket innebär att sikten i utrymmet initialt är god. Z2 stabiliseras efter drygt fyra minuter på samma höjd som de två andra kurvorna.

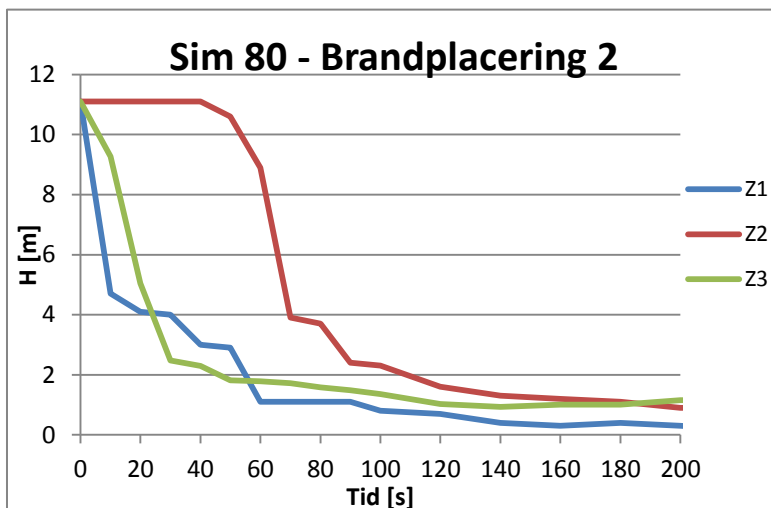
A.4 Låg effektutveckling, låg rumshöjd och liten golvarea

Nedan visas jämförelser mellan de olika metoderna för att bedöma ett brandgaslager för simuleringar med låg effektutveckling, låg rumshöjd och liten golvarea.



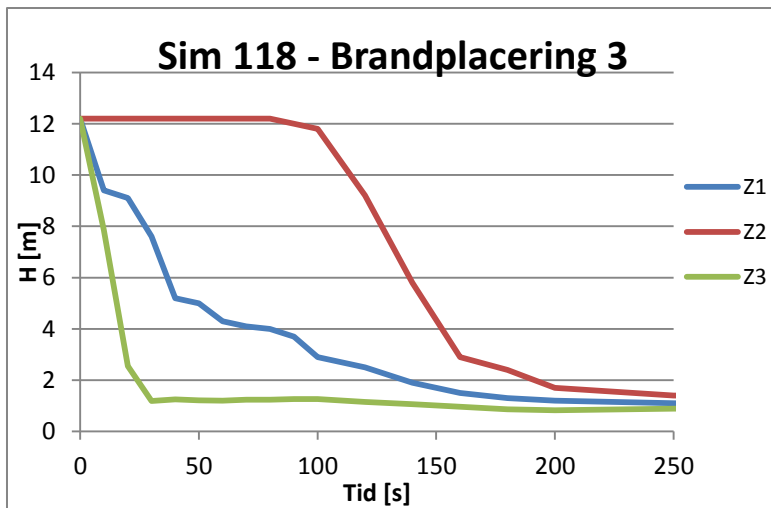
Figur A.10. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 90 på bp. 1. De oberoende variabelernas egenskaper är: låg effektutveckling, låg rumshöjd och liten golvarea.

I figur A.10 ses att enligt Z1 är brandgaserna redan efter tio sekunder nere på under en meters höjd, medan Z2 visar att sikten på en meters höjd är sämre än tio meter efter cirka 30 sekunder. Z3 visar istället en något långsammare och betydligt jämnare rökfyllnadsprocess under de första 100 sekunderna, varefter kurvan stabiliserar sig på en meters höjd.



Figur A.11. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 80 på bp. 2. De oberoende variabelernas egenskaper är: låg effektutveckling, låg rumshöjd och liten golvarea.

I figur A.11 ses att Z1 och Z3 visar snarlika resultat och sjunker till två meters höjd efter cirka en minut. Z3 stabiliserar sig sedan på en meters höjd medan Z1 sjunker ännu något lägre. Z2 indikerar att sikten i utrymmet börjar underskrida tio meter efter knappt en minut och efter knappt två minuter har kurvan sjunkit till två meters höjd, varefter den stabiliseras på cirka en meters höjd under resten av brandförloppet.

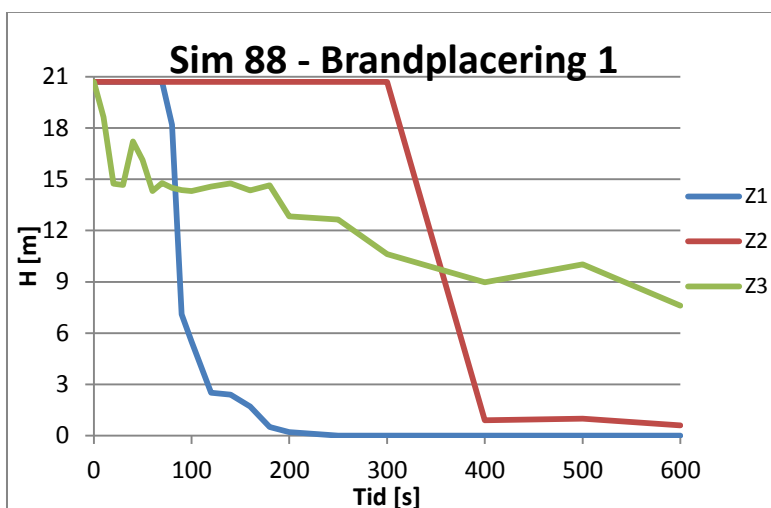


Figur A.12. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 118 på brandplacering 3. De oberoende variabelernas egenskaper är: låg effektutveckling, låg rumshöjd och liten golvarea.

Figur A.12 visar ett något annorlunda förhållande mellan kurvorna jämfört med tidigare analyser. Z3 är den kurva som visar lägst nivå på brandgaslaget under hela brandförloppet, vilket återigen kan bero på att FDS med denna funktion approximerar ett brandgaslager baserat på temperaturdifferenser över höjden. Enligt Z3 är brandgaslaget nere på två meters höjd redan efter 20 sekunder, medan Z1 indikerar att det tar över två minuter för brandgaserna att nå ned till den nivån. Enligt Z2 är sikten i brandgaserna på två meters höjd under tio meter efter cirka tre minuter.

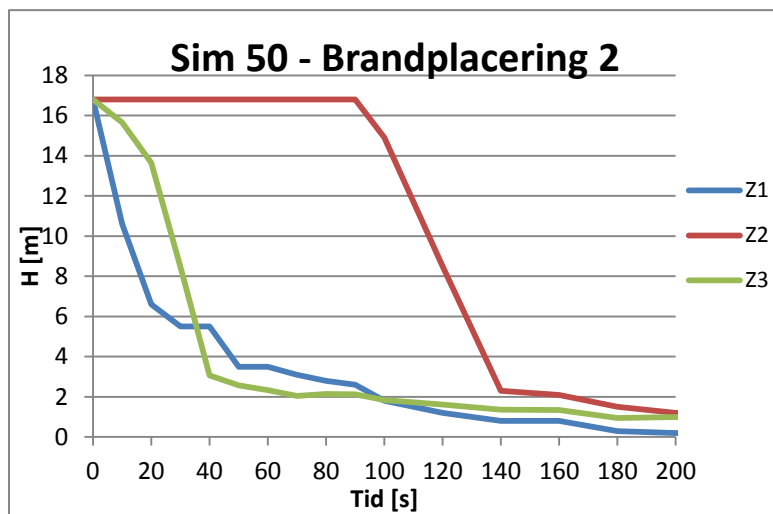
A.5 Låg effektutveckling, hög rumshöjd och stor golvarea

Nedan visas jämförelser mellan de olika metoderna för att bedöma ett brandgaslager för simuleringar med låg effektutveckling, hög rumshöjd och stor golvarea.



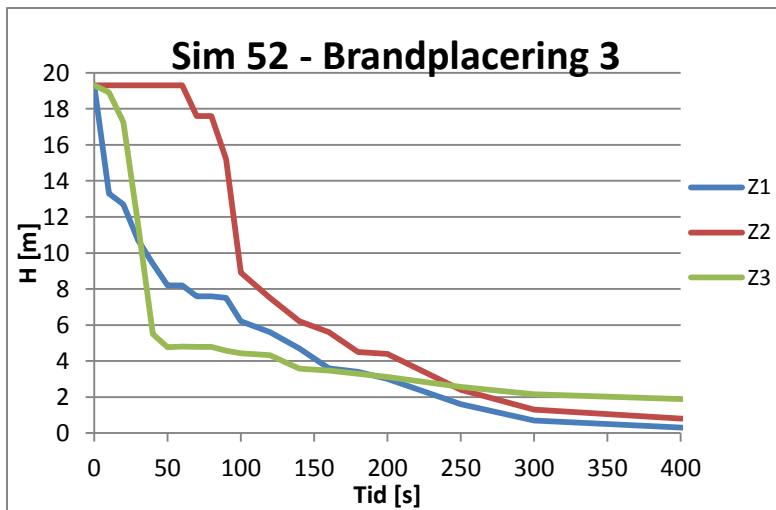
Figur A.13. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 88 på brandplacering 1. De oberoende variabelernas egenskaper är: låg effektutveckling, hög rumshöjd och stor golvarea.

De tre kurvorna har mycket olika utseende i grafen, vilket ses i figur A.13. Enligt Z1 tar det drygt två minuter för brandgaserna att nå ned till två meters höjd. Z2 indikerar att det tar fem minuter innan sikten i utrymmet börjar underskrida tio meter, men sjunker därefter snabbt och efter 6,5 minuter är sikten på två meters höjd under tio meter. Z3 visar på stora fluktuationer under hela brandförloppet, framför allt under första minuten. Efter tio minuter sjunker fortfarande brandgaslagret men har bara nått ned till mellan sju och åtta meters höjd. Anledningen till att Z3 fluktuerar och att visar att brandgaserna stannar på en så pass hög höjd beror troligtvis på den låga effektutvecklingen kombinerat med den stora rumsgeometrin. Skillnaden i temperatur mellan den undre och övre zonen blir därför inte så stora, vilket gör att kurvan fluktuerar, och att brandgaserna i den nedre delen av brandgaslagret aldrig blir så varma att ett brandgaslager är definierat under sju meters höjd.



Figur A.14. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 50 på brandplacering 2. De oberoende variablernas egenskaper är: låg effektutveckling, hög rumshöjd och stor golvarea.

I figur A.14 ses att Z1 sjunker initialt snabbast men korsas efter 40 sekunder av Z3 som stabiliserar sig på cirka två meters höjd. Z1 når ned till två meter efter 100 sekunder och fortsätter efter det att sjunka, för att nå golvet efter cirka tre minuter. Z2 ger en första indikation på att sikten i utrymmet underskrider tio meter efter 1,5 minuter, men kurvan sjunker sedan snabbt för att nå två meters höjd efter 2,5 minuter.

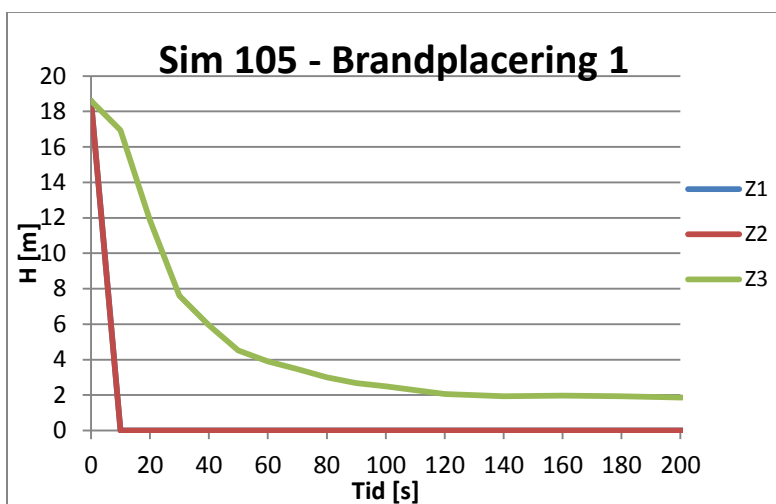


Figur A.15. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 52 på brandplacering 3. De oberoende variabelernas egenskaper är: låg effektutveckling, hög rumshöjd och stor golvarea.

Figur A.15 har liknande utseende som grafen för brandplacering 2. Z1 sjunker initialt snabbast men korsas efter 40 sekunder av Z3 som sedan snabbt sänker sig till fyra meter, för att sedan långsamt sjunka och slutligen stabilisera sig på cirka två meters höjd. Z1 når ned till två meter efter fyra minuter och fortsätter efter det att sjunka, för att nå golvet efter cirka tre minuter. Z2 ger en första indikation på att sikten i utrymmet underskrider tio meter efter en minut. Kurvan sjunker sedan snabbt till åtta meter, för att sedan plana ut och når två meters höjd efter 4,5 minuter.

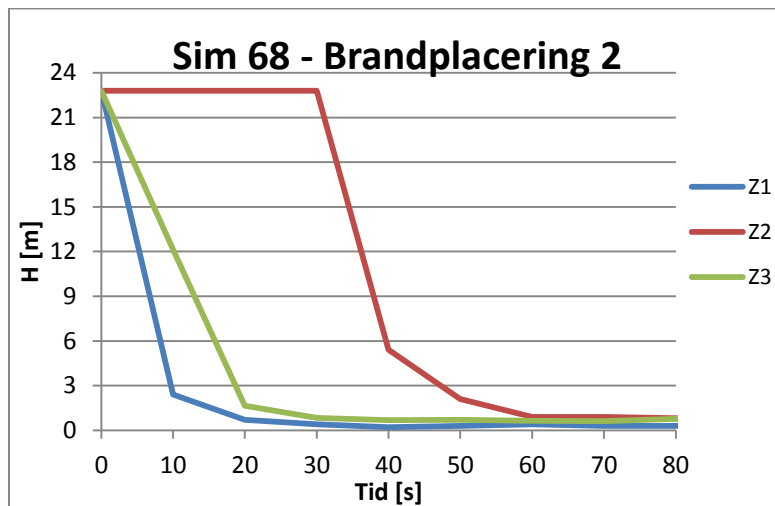
A.6 Låg effektutveckling, hög rumshöjd och liten golvarea

Nedan visas jämförelser mellan de olika metoderna för att bedöma ett brandgaslager för simuleringar med låg effektutveckling, hög rumshöjd och liten golvarea.



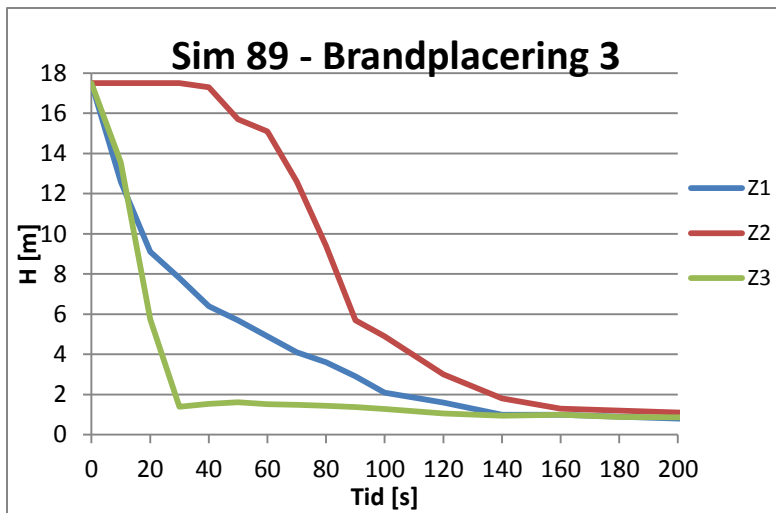
Figur A.16. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 105 på brandplacering 1. De oberoende variabelernas egenskaper är: låg effektutveckling, hög rumshöjd och liten golvarea.

I figur A.16 ses att än en gång avviker Z3 starkt från de resultat som Z1 och Z2 visar. Z1 och Z2 påvisar att utrymmet är totalt rökfyllt och att sikten vid golvnivå är sämre än tio meter, redan efter tio sekunder. Dock påvisas återigen ett märkligt fenomen att ett "lock" av brandgaser ansamlas strax ovanför dörröppningen, likt vid fallet med hög effektutveckling, hög rumshöjd och liten golvyta, se figur A.4. Resultaten visar således att det är rökfyllt från en nivå ovanför dörröppningen och ned till golvet, medan det högre upp i utrymmet är betydligt mindre eller inga brandgaser alls. Z3 visar istället en betydligt flackare kurva där brandgaserna når ned och stabiliserar sig på en höjd av två meter efter cirka två minuter. Resultaten antyder att programmet FDS möjligen inte är lämpligt för simuleringar med denna typ av modelluppbyggnad i kombination med användandet av denna metod.



Figur A.17. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 68 på brandplacering 2. De oberoende variabelernas egenskaper är: låg effektutveckling, hög rumshöjd och liten golvyta.

Z1 och Z3 visar snarlika resultat, se figur A.17, då det enligt Z1 är rökfyllt ned till strax under två meter efter tio till femton sekunder, medan det för Z3 dröjer till 20 sekunder in i brandförloppet. Z3 visar indikation på att sikten i utrymmet blir sämre än tio meter först efter 30 sekunder, men sjunker efter det snabbt och stabiliserar sig på samma höjd som de andra kurvorna efter en minut.



Figur A.18. Jämförelse mellan tre metoder för att mäta brandgaslagrets höjd, för simulering 89 på brandplacering 3. De oberoende variabelernas egenskaper är: låg effektutveckling, hög rumshöjd och liten golvarea.

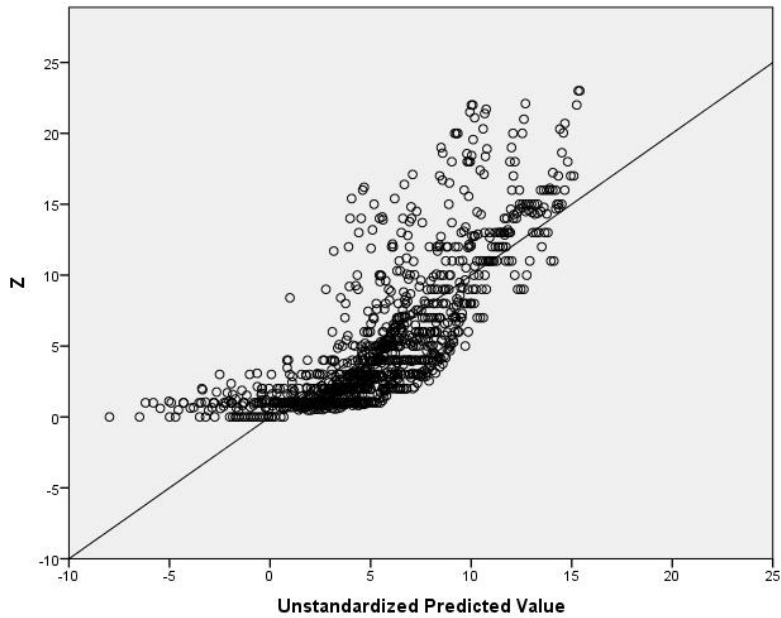
I figur A.18 ses att Z1 och Z3 visar samma resultat under de första 20 sekunderna, varefter Z1 planar ut något och når två meters höjd efter 100 sekunder medan Z3 sjunker snabbare och når två meter redan efter 20 till 30 sekunder in i brandförloppet. Z3 visar indikation på att sikten i utrymmet blir sämre än tio meter först efter 50 sekunder, men sjunker efter det relativt snabbt och stabiliserar sig efter tre minuter på samma höjd som de andra kurvorna.

Det noteras att brandplacering 1 skiljer sig åt mot brandplacering 2 och 3. Detta antas bero på att effektutvecklingen i simulering 105 (på brandplacering 1) är högre än i de övriga två simuleringarna.

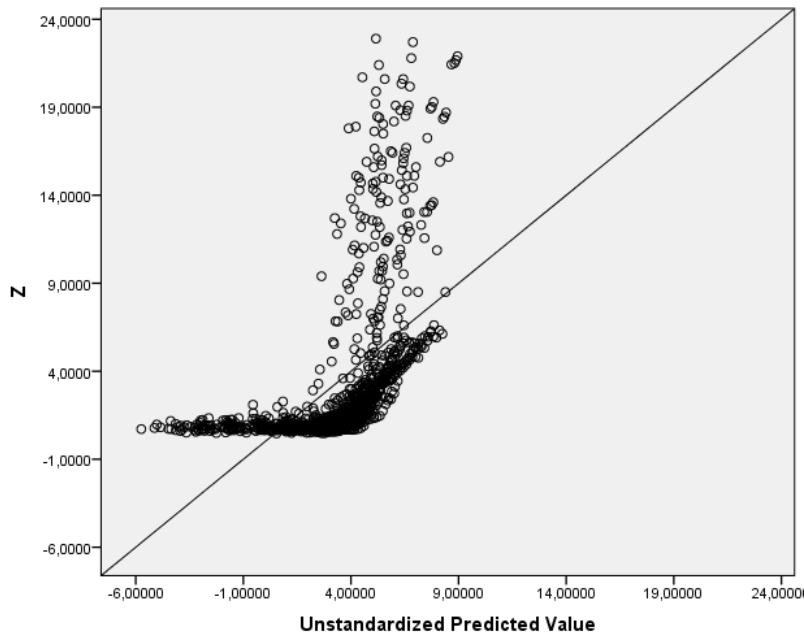
Bilaga B – Statistik för brandplacering 1 & 3

Nedan presenteras statistiken från SPSS för brandplacering 1 och 3. För tolkning av resultaten hänvisas till respektive avsnitt i rapporten där resultaten från simuleringarna på brandplacering 2 presenteras.

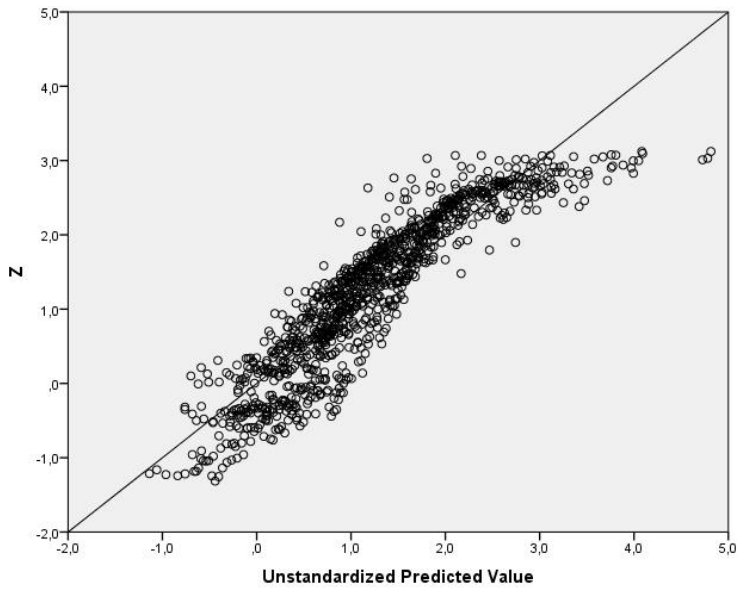
B.1 Temperaturdifferens



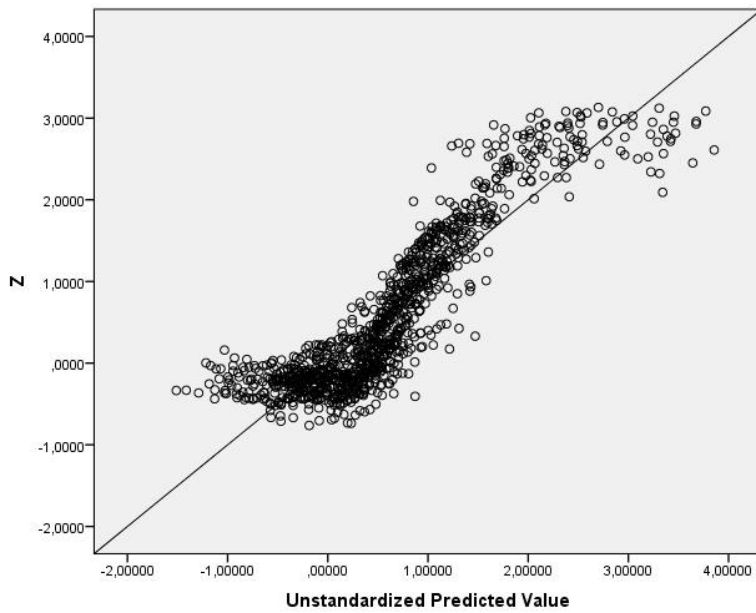
Figur B1. Den beroende variabeln mot det predikterade värdet utifrån den multipla regressionsanalysen för brandplacering 1.



Figur B2. Den beroende variabeln mot det predikterade värdet utifrån den multipla regressionsanalysen för brandplacering 3.

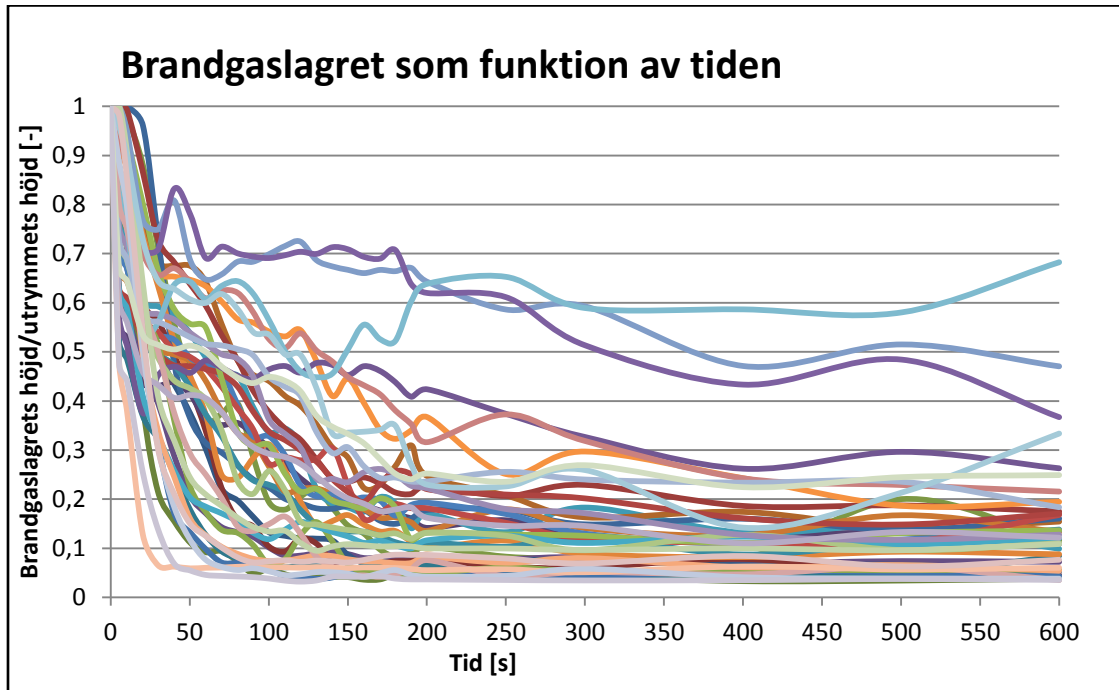


Figur B3. Den beroende variabeln mot det predikterade värdet utifrån den multipla regressionsanalysen efter logaritmering, för brandplacering 1 .

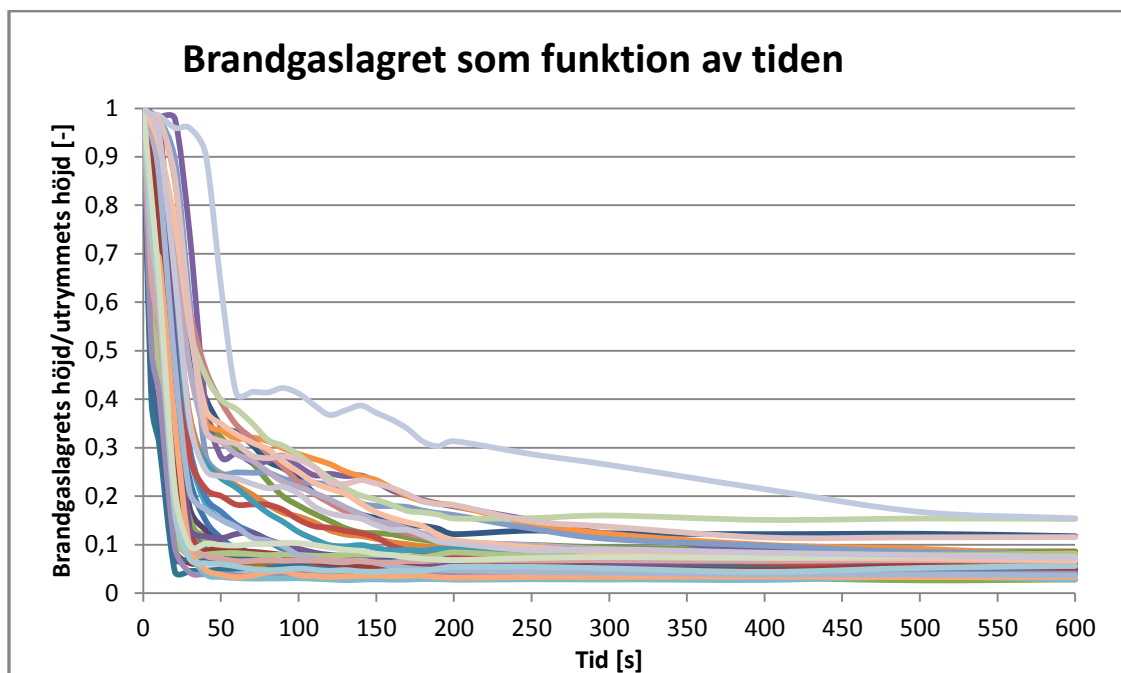


Figur B4. Den beroende variabeln mot det predikterade värdet utifrån den multipla regressionsanalysen efter logaritmering, för brandplacering 3.

B.1.2 Analys av enskilda simuleringar



Figur B5. Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden för samtliga simuleringar med Brandplacering 1.



Figur B6. Brandgaslagrets höjd som funktion av tiden för samtliga simuleringar med Brandplacering 3.

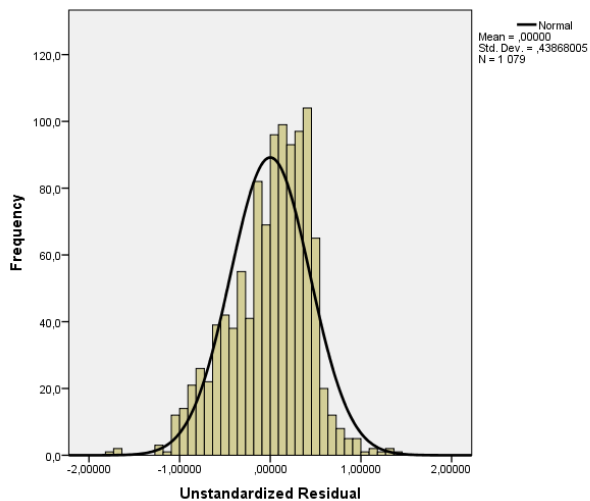
B.1.3 Residualanalys

Brandplacering 1

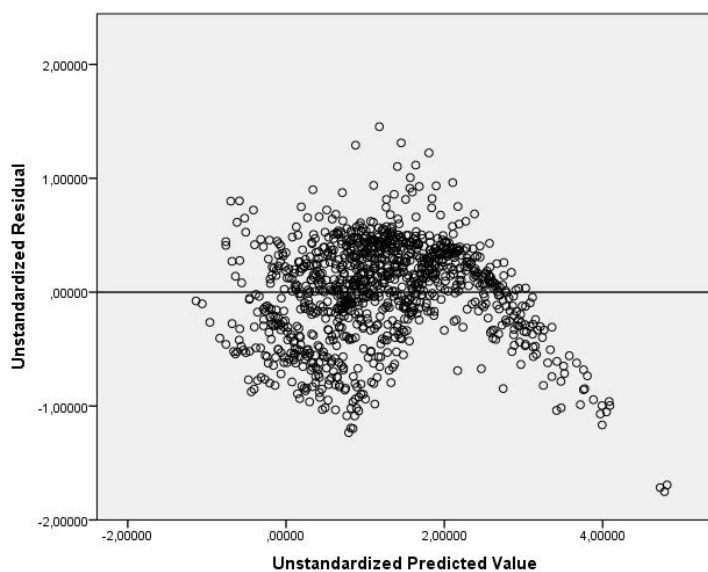
Tabell B1.

Residuals Statistics ^a					
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	-1,138242	4,814744	1,207843	,9655906	1079
Std. Predicted Value	-2,430	3,735	,000	1,000	1079
Standard Error of Predicted Value	,015	,060	,029	,008	1079
Adjusted Predicted Value	-1,137710	4,843435	1,207835	,9664180	1079
Residual	-1,7511481	1,4526689	0E-7	,4386801	1079
Std. Residual	-3,984	3,305	,000	,998	1079
Stud. Residual	-4,020	3,319	,000	1,001	1079
Deleted Residual	-1,7825394	1,4651363	,0000080	,4410837	1079
Stud. Deleted Residual	-4,049	3,335	,000	1,002	1079
Mahal. Distance	,251	19,265	3,996	2,934	1079
Cook's Distance	,000	,058	,001	,003	1079
Centered Leverage Value	,000	,018	,004	,003	1079

a. Dependent Variable: Z



Figur B7. Histogram över residualavstånden för brandplacering 1.



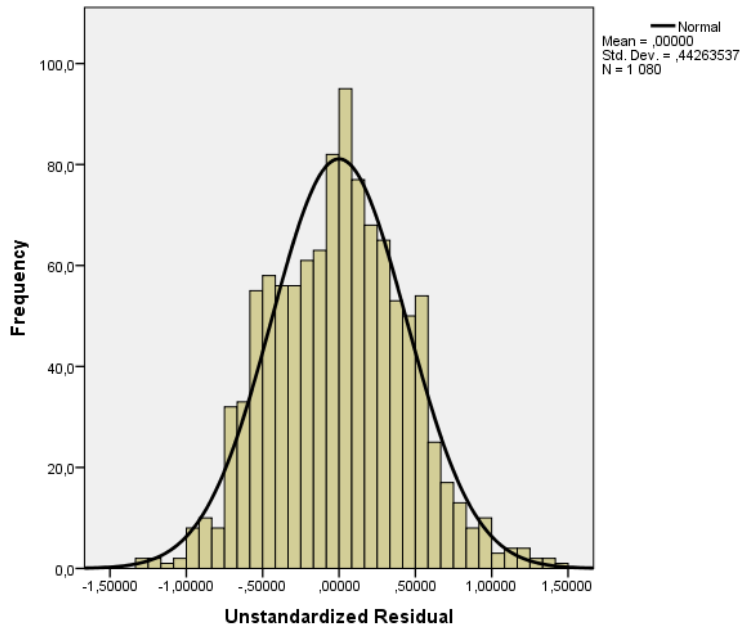
Figur B8. Residualavstånden plottade mot förväntade värden för Brandplacering 1.

Brandplacering 3

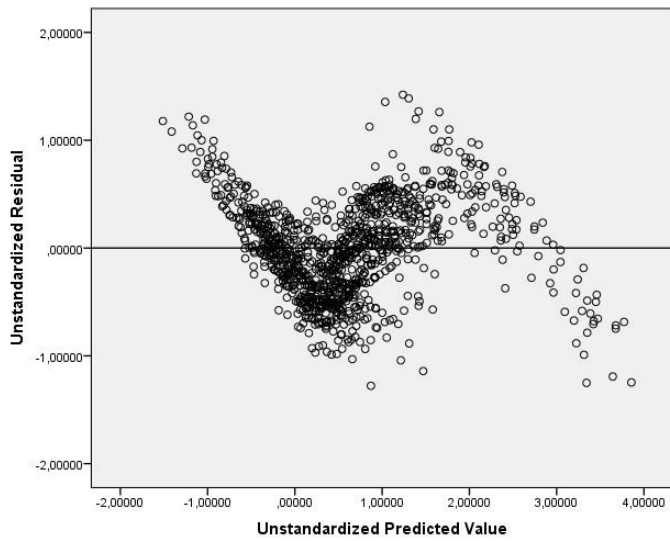
Tabell B2.

Residuals Statistics ^a					
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	-1,512756	3,856415	,612117	,8911515	1080
Std. Predicted Value	-2,384	3,641	,000	1,000	1080
Standard Error of Predicted Value	,018	,060	,029	,008	1080
Adjusted Predicted Value	-1,525166	3,874750	,612016	,8916547	1080
Residual	-1,2776088	1,4223216	0E-7	,4426354	1080
Std. Residual	-2,881	3,207	,000	,998	1080
Stud. Residual	-2,892	3,217	,000	1,001	1080
Deleted Residual	-1,2871639	1,4308511	,0001009	,4449941	1080
Stud. Deleted Residual	-2,902	3,231	,000	1,002	1080
Mahal. Distance	,747	18,541	3,996	2,838	1080
Cook's Distance	,000	,029	,001	,002	1080
Centered Leverage Value	,001	,017	,004	,003	1080

a. Dependent Variable: Z



Figur B9. Histogram över residualavstånden för brandplacering 3.



Figur B10. Residualavstånden plottade mot förväntade värden för Brandplacering 3.

B.1.4 Determinationskoefficient

Brandplacering 1

Tabell B3.

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,910 ^a	,829	,828	,4394962

a. Predictors: (Constant), A, T, H, Q

b. Dependent Variable: Z

Brandplacering 3

Tabell B4.

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,896 ^a	,802	,801	,4434581

a. Predictors: (Constant), A, T, H, Q

b. Dependent Variable: Z

B.1.5 ANOVA (Analysis of variance)

Brandplacering 1

Tabell B5.

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1005,090	4	251,272	1300,872	,000 ^b
	Residual	207,451	1074	,193		
	Total	1212,540	1078			

a. Dependent Variable: Z

b. Predictors: (Constant), A, T, H, Q

Brandplacering 3

Tabell B6.

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	856,889	4	214,222	1089,330	,000 ^b
Residual	211,404	1075	,197		
Total	1068,293	1079			

a. Dependent Variable: Z

b. Predictors: (Constant), A, T, H, Q

B.1.6 Koefficienter i korrelationen

Brandplacering 1

Tabell B7.

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	-,318	,206		-1,545	,123
1 T	-,434	,010	-,566	-44,868	,000
Q	-,499	,025	-,254	-20,007	,000
H	1,845	,047	,502	39,616	,000
A	,492	,017	,370	29,221	,000

a. Dependent Variable: Z

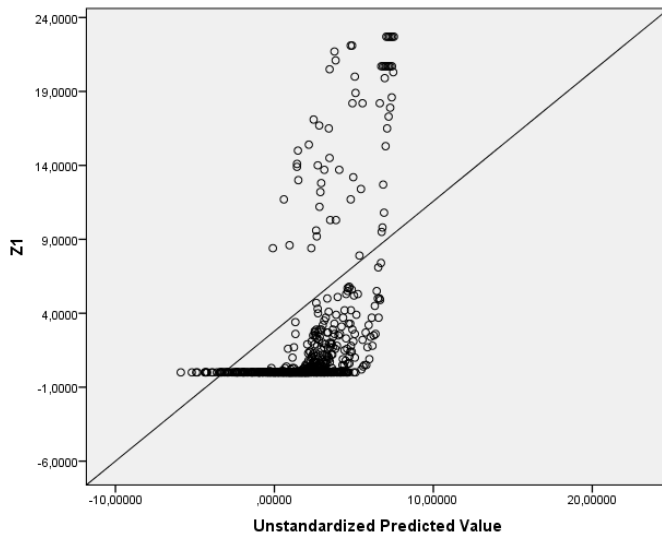
Brandplacering 3

Tabell B8.

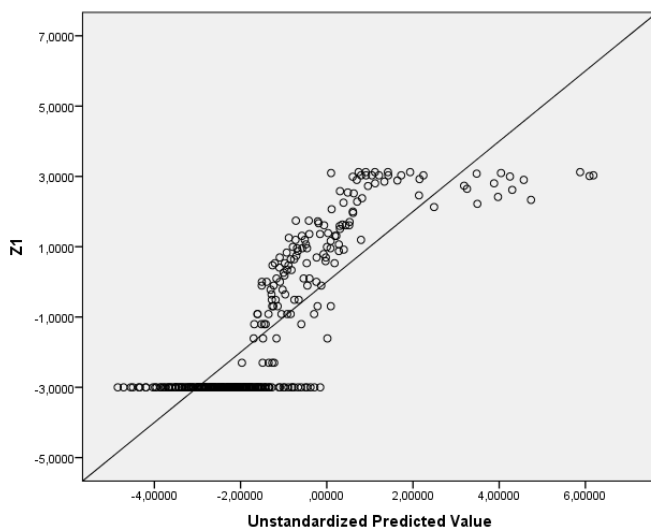
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	2,836	,190		14,946	,000
1 T	-,552	,010	-,770	-56,732	,000
Q	-,308	,023	-,185	-13,386	,000
H	,318	,054	,082	5,938	,000
A	,438	,015	,395	28,857	,000

a. Dependent Variable: Z

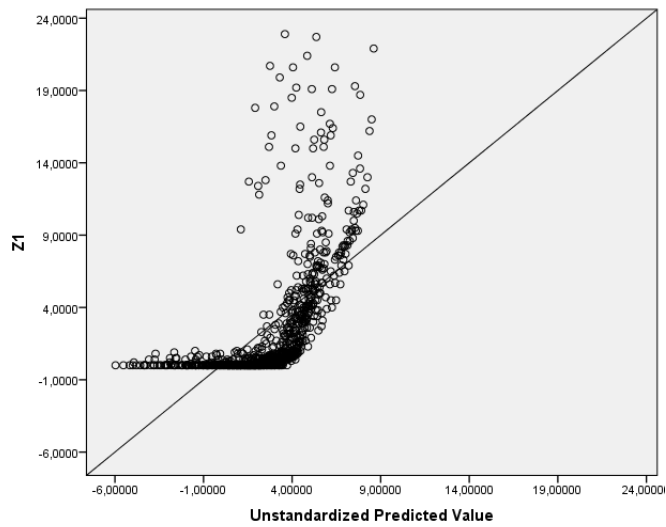
B.2 Första indikation på brandgaser



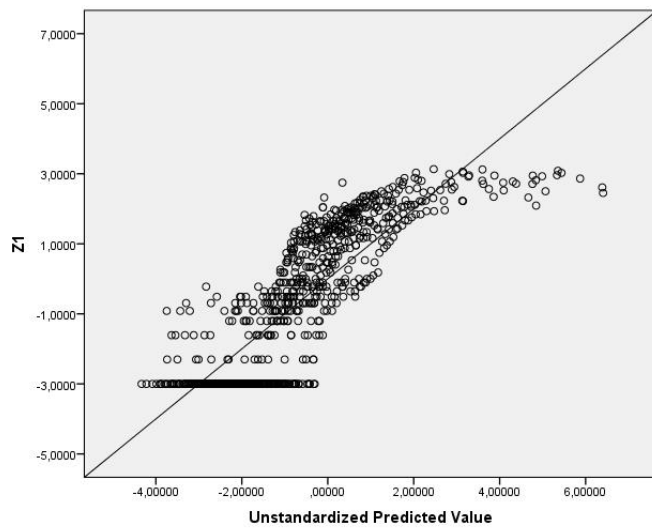
Figur B11. Första indikation på brandgaser plottat mot det förväntade värdet enligt den framtagna korrelationen för Brandplacering 1.



Figur B12. Första indikation på brandgaser plottade mot predikterade värdet på brandgaslagret för de logaritmerade värdena vid brandplacering 1.

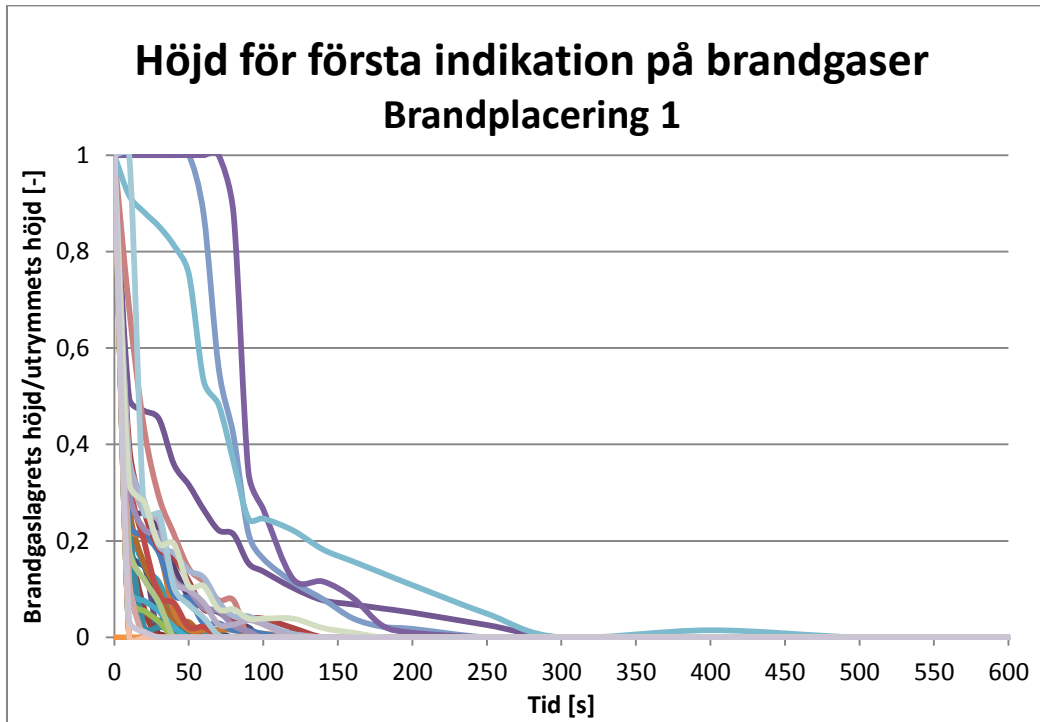


Figur B13. Första indikation på brandgaser plottat mot det förväntade värdet enligt den framtagna korrelationen för Brandplacering 3.

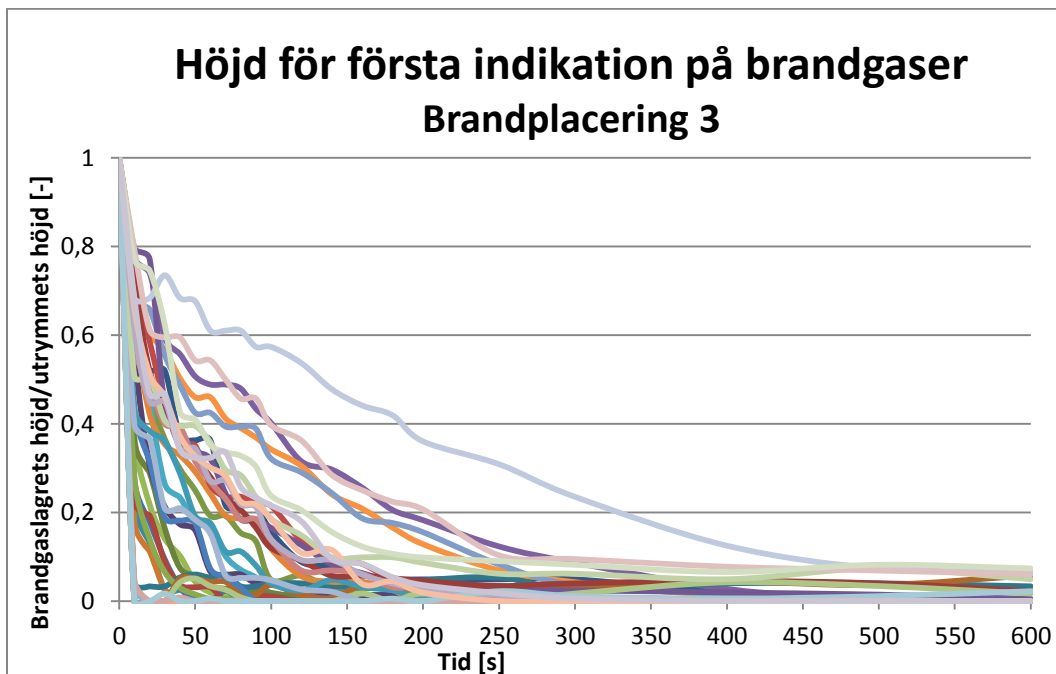


Figur B14. Första indikation på brandgaser plottade mot predikterade värdet på brandgaslagret för de logaritmerade värdena vid brandplacering 3.

B.2.1 Analys av enskilda simuleringar



Figur B15. Brandgaslagrets sänkning i förhållande till tiden för brandplacering 1.



Figur B16. Brandgaslagrets sänkning i förhållande till tiden för brandplacering 3.

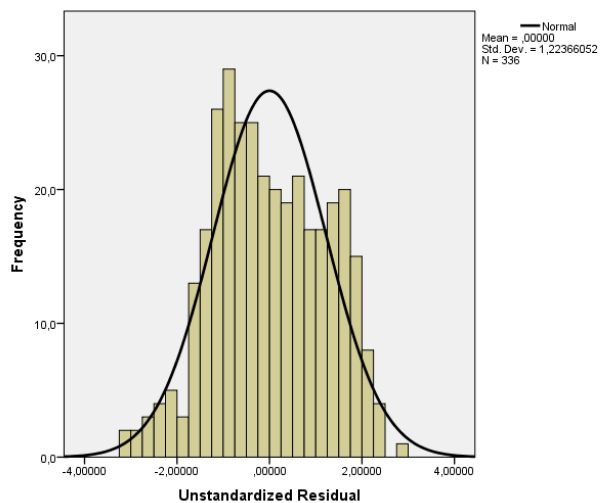
B.2.2 Residualanalys

Brandplacering 1

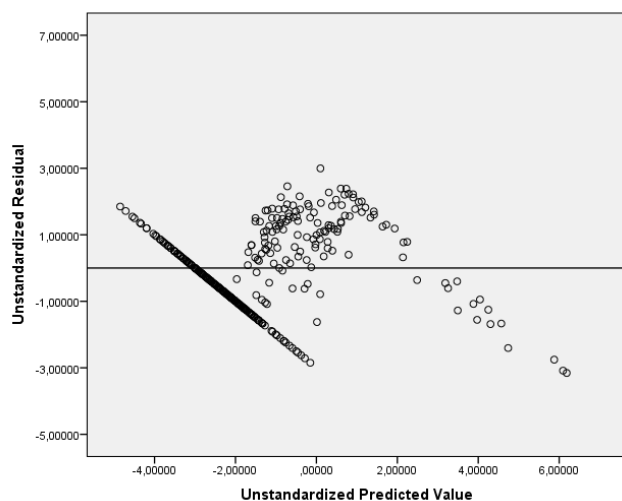
Tabell B9.

Residuals Statistics ^a					
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	-4,849550	6,185505	-1,304627	1,8368020	336
Std. Predicted Value	-1,930	4,078	,000	1,000	336
Standard Error of Predicted Value	,093	,321	,144	,043	336
Adjusted Predicted Value	-4,889262	6,377329	-1,301660	1,8478916	336
Residual	-3,1553714	2,9962523	0E-7	1,2236605	336
Std. Residual	-2,563	2,434	,000	,994	336
Stud. Residual	-2,640	2,450	-,001	1,002	336
Deleted Residual	-3,3471959	3,0359974	-,0029669	1,2444671	336
Stud. Deleted Residual	-2,664	2,469	-,001	1,004	336
Mahal. Distance	,905	21,828	3,988	3,475	336
Cook's Distance	,000	,085	,003	,008	336
Centered Leverage Value	,003	,065	,012	,010	336

a. Dependent Variable: Z1



Figur B17. Histogram över residualavstånden för brandplacering 1.



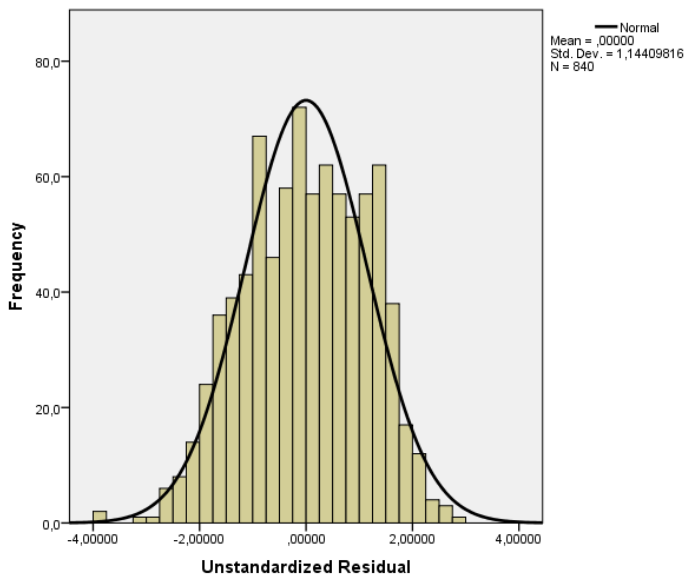
Figur B18. Residualavstånden plottade mot förväntade värden för Brandplacering 1.

Brandplacering 3

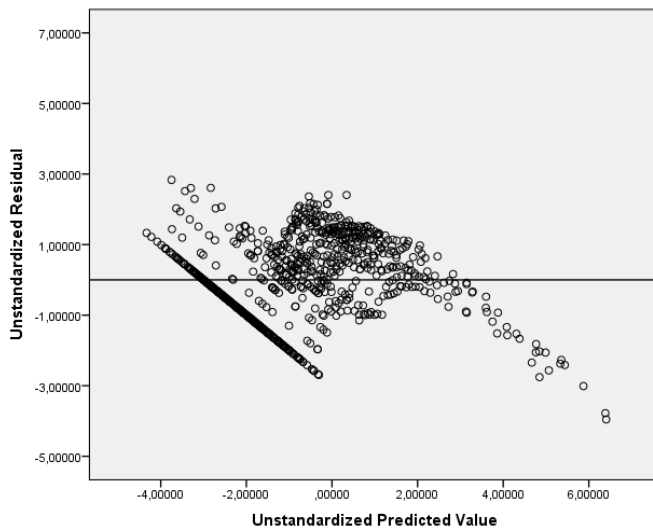
Tabell B10.

Residuals Statistics ^a					
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	-4,331761	6,405609	-,700476	1,7439374	840
Std. Predicted Value	-2,082	4,075	,000	1,000	840
Standard Error of Predicted Value	,052	,192	,084	,026	840
Adjusted Predicted Value	-4,348562	6,510790	-,699718	1,7476580	840
Residual	-3,9546037	2,8324883	0E-7	1,1440982	840
Std. Residual	-3,448	2,470	,000	,998	840
Stud. Residual	-3,494	2,478	,000	1,001	840
Deleted Residual	-4,0597854	2,8516688	-,0007582	1,1516362	840
Stud. Deleted Residual	-3,518	2,486	,000	1,002	840
Mahal. Distance	,746	22,603	3,995	3,603	840
Cook's Distance	,000	,065	,001	,004	840
Centered Leverage Value	,001	,027	,005	,004	840

a. Dependent Variable: Z1



Figur B19. Histogram över residualavstånden för brandplacering 3.



Figur B20. Residualavstånden plottade mot förväntade värden för Brandplacering 3.

B.2.3 Determinationskoefficient

Brandplacering 1

Tabell B11.

Model Summary ^b				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,832 ^a	,693	,689	1,2310320

a. Predictors: (Constant), A, T, Q, H

b. Dependent Variable: Z1

Brandplacering 3

Tabell B12.

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,836 ^a	,699	,698	1,1468352

a. Predictors: (Constant), A, T, H, Q

b. Dependent Variable: Z1

B.2.4 ANOVA (Analysis of variance)

Brandplacering 1

Tabell B13.

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1130,237	4	282,559	186,454	,000 ^b
	Residual	501,611	331	1,515		
	Total	1631,848	335			

a. Dependent Variable: Z1

b. Predictors: (Constant), A, T, Q, H

Brandplacering 3

Tabell B14.

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2551,666	4	637,916	485,022	,000 ^b
	Residual	1098,218	835	1,315		
	Total	3649,884	839			

a. Dependent Variable: Z1

b. Predictors: (Constant), A, T, H, Q

B.2.5 Koefficienter i korrelationen

Brandplacering 1

Tabell B15.

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	5,569	,916		6,078	,000
1 T	-,744	,035	-,650	-21,330	,000
Q	-1,300	,103	-,399	-12,681	,000
H	,244	,273	,036	,896	,371
A	,955	,124	,299	7,679	,000

a. Dependent Variable: Z1

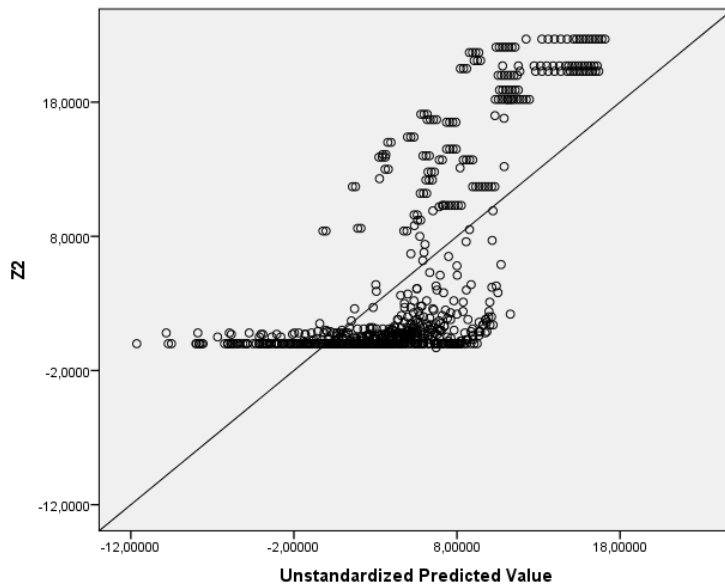
Brandplacering 3

Tabell B16.

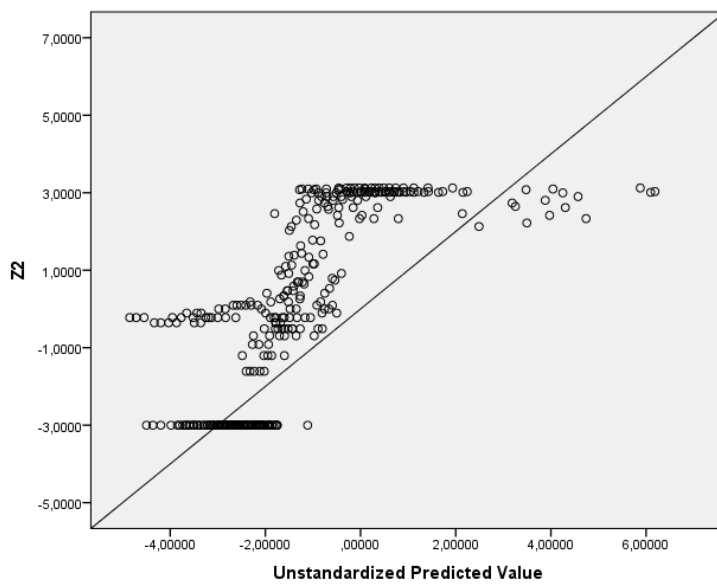
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	7,688	,549		14,006	,000
1 T	-,614	,021	-,568	-29,908	,000
Q	-1,637	,067	-,470	-24,273	,000
H	,474	,157	,058	3,012	,003
A	,810	,044	,348	18,206	,000

a. Dependent Variable: Z1

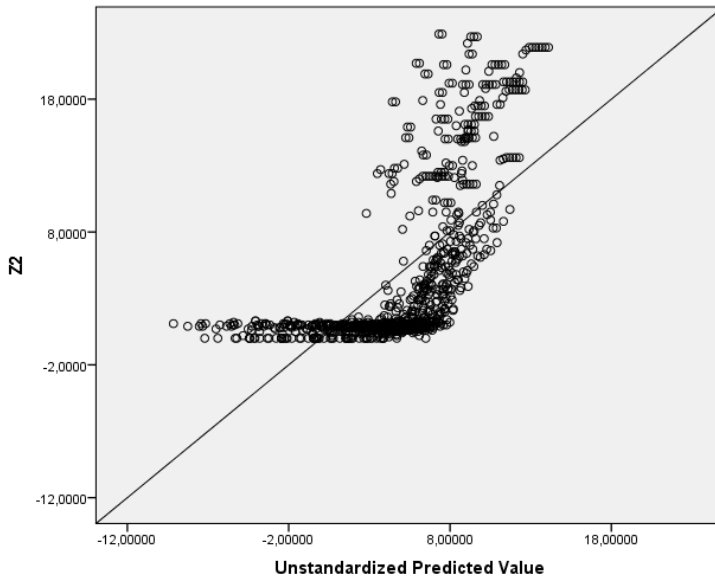
B.3 Siktbarhet på tio meter



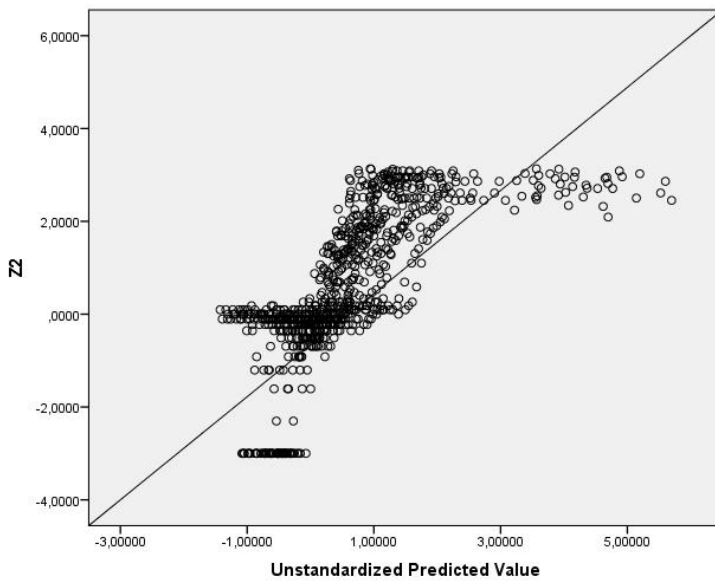
Figur B21. Siktbarhet på 10 meter plottat mot förväntade värdet på brandgaslagret på Brandplacering 1.



Figur B22. Siktbarhet på 10 meter för de logaritmerade värdena vid Brandplacering 1.

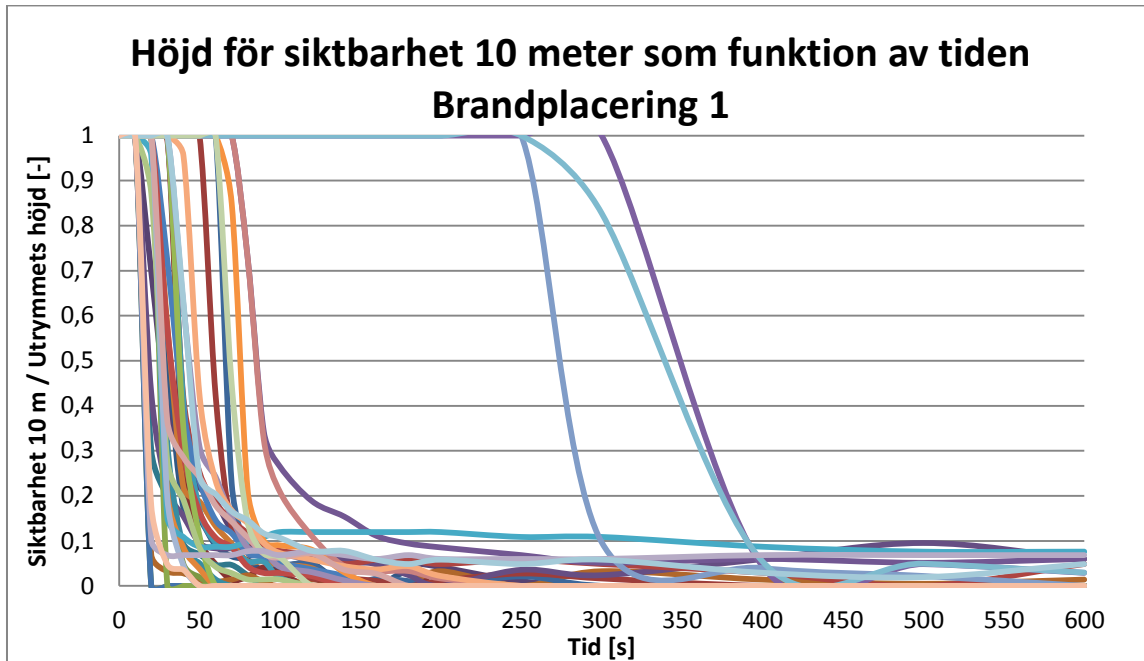


Figur B23. Siktbarhet på 10 meter plottat mot förväntade värdet på brandgaslagret på Brandplacering 3.

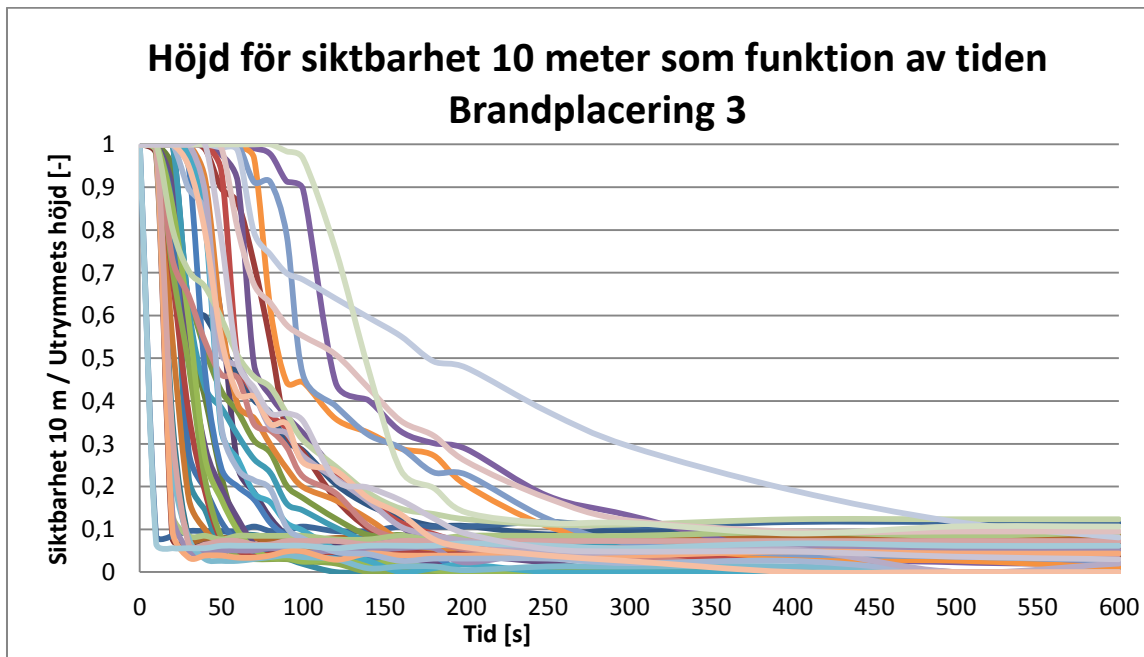


Figur B24. Siktbarhet på 10 meter för de logaritmerade värdena vid Brandplacering 3.

B.3.1 Analys av enskilda simuleringar



Figur B25. Brandgaslagrets sänkning i förhållande till tiden för brandplacering 1.



Figur B26. Brandgaslagrets sänkning i förhållande till tiden för brandplacering 3.

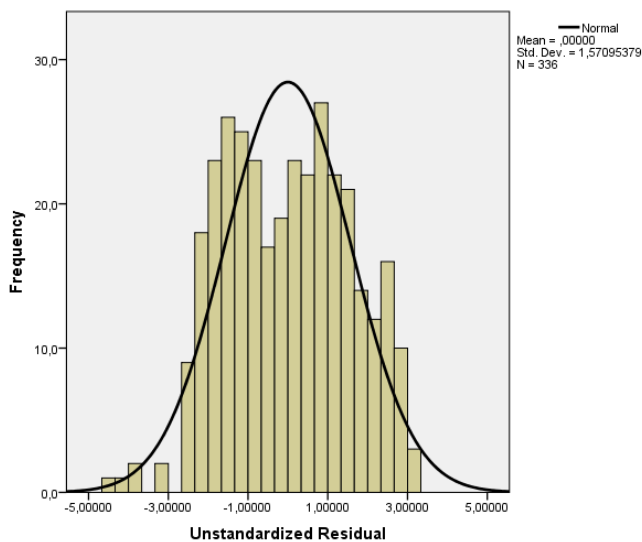
B.3.2 Residualanalys

Brandplacering 1

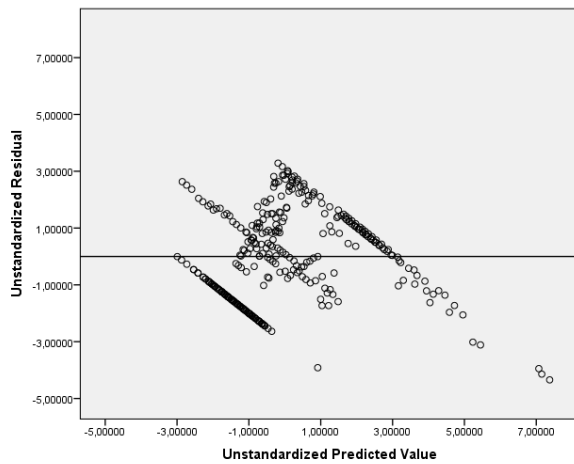
Tabell B17.

Residuals Statistics ^a					
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	-2,993958	7,373316	,062551	1,8039487	336
Std. Predicted Value	-1,694	4,053	,000	1,000	336
Standard Error of Predicted Value	,119	,413	,185	,055	336
Adjusted Predicted Value	-2,993852	7,637351	,067106	1,8198208	336
Residual	-4,3431826	3,2840414	0E-7	1,5709538	336
Std. Residual	-2,748	2,078	,000	,994	336
Stud. Residual	-2,830	2,088	-,001	1,002	336
Deleted Residual	-4,6072173	3,3169847	-,0045546	1,5977481	336
Stud. Deleted Residual	-2,861	2,099	-,001	1,004	336
Mahal. Distance	,905	21,828	3,988	3,475	336
Cook's Distance	,000	,097	,003	,009	336
Centered Leverage Value	,003	,065	,012	,010	336

a. Dependent Variable: Z2



Figur B27. Histogram över residualavstånden för brandplacering 1.



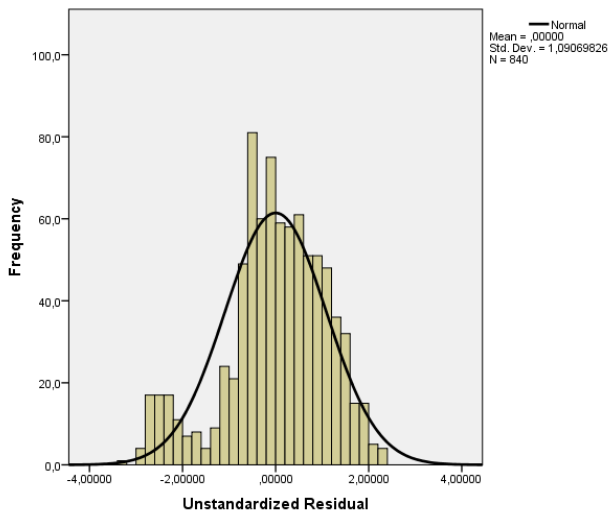
Figur A28. Residualavstånden plottade mot förväntade värden för Brandplacering 1.

Brandplacering 3

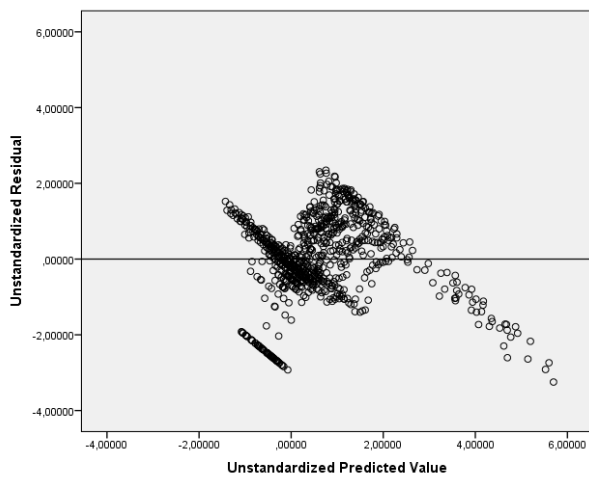
Tabell B18.

Residuals Statistics ^a					
	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	-1,426522	5,697808	,602151	1,1589507	840
Std. Predicted Value	-1,750	4,397	,000	1,000	840
Standard Error of Predicted Value	,050	,183	,081	,025	840
Adjusted Predicted Value	-1,445721	5,784164	,603437	1,1636352	840
Residual	-3,2468030	2,3456438	0E-7	1,0906983	840
Std. Residual	-2,970	2,145	,000	,998	840
Stud. Residual	-3,009	2,151	-,001	1,001	840
Deleted Residual	-3,3331594	2,3584542	-,0012858	1,0980207	840
Stud. Deleted Residual	-3,024	2,156	-,001	1,002	840
Mahal. Distance	,746	22,603	3,995	3,603	840
Cook's Distance	,000	,048	,001	,003	840
Centered Leverage Value	,001	,027	,005	,004	840

a. Dependent Variable: Z2



Figur B29. Histogram över residualavstånden för brandplacering 3.



Figur B30. Residualavstånden plottade mot förväntade värden för Brandplacering 3.

B.3.3 Determinationskoefficient

Brandplacering 1

Tabell B19.

Model Summary ^b				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,754 ^a	,569	,563	1,5804175

a. Predictors: (Constant), A, T, Q, H

b. Dependent Variable: Z2

Brandplacering 3

Tabell B20.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,728 ^a	,530	,528	1,0933076

a. Predictors: (Constant), A, T, H, Q

b. Dependent Variable: Z2

B.3.4 ANOVA (Analysis of variance)

Brandplacering 1

Tabell B21.

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1090,167	4	272,542	109,116	,000 ^b
	Residual	826,745	331	2,498		
	Total	1916,912	335			

a. Dependent Variable: Z2

b. Predictors: (Constant), A, T, Q, H

Brandplacering 3

Tabell B22.

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1126,917	4	281,729	235,693	,000 ^b
	Residual	998,093	835	1,195		
	Total	2125,010	839			

a. Dependent Variable: Z2

b. Predictors: (Constant), A, T, H, Q

B.3.5 Koefficienter i korrelationen

Brandplacering 1

Tabell B23.

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	9,151	1,176		7,780	,000
T	-,655	,045	-,528	-14,634	,000
1 Q	-1,707	,132	-,484	-12,974	,000
H	,712	,350	,096	2,033	,043
A	,403	,160	,117	2,525	,012

a. Dependent Variable: Z2

Brandplacering 3

Tabell B24.

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	6,945	,523		13,272	,000
T	-,494	,020	-,599	-25,247	,000
1 Q	-1,001	,064	-,377	-15,572	,000
H	,246	,150	,039	1,644	,101
A	,251	,042	,141	5,915	,000

a. Dependent Variable: Z2

Bilaga C – Exempel på indatafil för simulering i FDS5

Nedan presenteras en indatafil för en av simuleringarna som genomförts under studien, med följande egenskaper:

- Brand placerad vid vägg.
- Effektutveckling 176 kW (489 kW/m²)
- Takhöjd 20,2 m.
- Golvarea 5,3*5,3 m².

Sim53C.fds

Generated by Pyrosim - Version 2011.1.1219

2012-jan-31 13:30:58

```
&HEAD CHID='Sim53C'/
```

```
&TIME T_END=600.0/
```

```
&DUMP RENDER_FILE='Sim53C.ge1', DT_RESTART=300.0/
```

```
&MESH ID='MESH1', IJK=59,63,211, XB=0.0,5.9,-0.4,5.9,0.0,21.1/
```

```
&REAC ID='HEPTANE',
```

```
  FYI='NIST NRC FDS5 Validation',
```

```
  C=7.0,
```

```
  H=16.0,
```

```
  O=0.0,
```

```
  N=0.0,
```

```
  CO_YIELD=0.01,
```

```
  SOOT_YIELD=0.037/
```

```
&DEVC ID='Flow door', QUANTITY='VOLUME FLOW', XB=2.5,3.4,0.2,0.2,0.3,2.3/
```

```
&DEVC ID='Layer height C1->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=0.4,0.4,0.4,0.4,0.3,20.5/
```

```
&DEVC ID='Layer height C1->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
```

```
XB=0.4,0.4,0.4,0.4,0.3,20.5/
```

```
&DEVC ID='Layer height C1->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
```

```
XB=0.4,0.4,0.4,0.4,0.3,20.5/
```

```
&DEVC ID='Layer height C2->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=0.4,0.4,5.5,5.5,0.3,20.5/
```

```
&DEVC ID='Layer height C2->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
```

```
XB=0.4,0.4,5.5,5.5,0.3,20.5/
```

```
&DEVC ID='Layer height C2->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
```

```
XB=0.4,0.4,5.5,5.5,0.3,20.5/
```

```
&DEVC ID='Layer height C3->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=5.5,5.5,5.5,5.5,0.3,20.5/
```

```
&DEVC ID='Layer height C3->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
```

```
XB=5.5,5.5,5.5,5.5,0.3,20.5/
```

```
&DEVC ID='Layer height C3->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
```

```
XB=5.5,5.5,5.5,5.5,0.3,20.5/
```

```
&DEVC ID='Layer height C4->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=5.5,5.5,0.4,0.4,0.3,20.5/
```

```
&DEVC ID='Layer height C4->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
```

XB=5.5,5.5,0.4,0.4,0.3,20.5/
 &DEVC ID='Layer height C4->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
 XB=5.5,5.5,0.4,0.4,0.3,20.5/
 &DEVC ID='Layer height M->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=2.9,2.9,2.9,2.9,0.3,20.5/
 &DEVC ID='Layer height M->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
 XB=2.9,2.9,2.9,2.9,0.3,20.5/
 &DEVC ID='Layer height M->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
 XB=2.9,2.9,2.9,2.9,0.3,20.5/
 &DEVC ID='Layer height Vol->HEIGHT', QUANTITY='LAYER HEIGHT', XB=0.3,5.6,0.3,5.6,0.3,20.5/
 &DEVC ID='Layer height Vol->LTEMP', QUANTITY='LOWER TEMPERATURE',
 XB=0.3,5.6,0.3,5.6,0.3,20.5/
 &DEVC ID='Layer height Vol->UTEMP', QUANTITY='UPPER TEMPERATURE',
 XB=0.3,5.6,0.3,5.6,0.3,20.5/
 &DEVC ID='Temperature C2:1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,5.5,0.4/
 &DEVC ID='Temperature C2:10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,5.5,18.4/
 &DEVC ID='Temperature C2:11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,5.5,20.4/
 &DEVC ID='Temperature C2:2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,5.5,2.4/
 &DEVC ID='Temperature C2:3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,5.5,4.4/
 &DEVC ID='Temperature C2:4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,5.5,6.4/
 &DEVC ID='Temperature C2:5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,5.5,8.4/
 &DEVC ID='Temperature C2:6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,5.5,10.4/
 &DEVC ID='Temperature C2:7', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,5.5,12.4/
 &DEVC ID='Temperature C2:8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,5.5,14.4/
 &DEVC ID='Temperature C2:9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,5.5,16.4/
 &DEVC ID='Temperature M:1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=2.9,2.9,0.4/
 &DEVC ID='Temperature M:10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=2.9,2.9,18.4/
 &DEVC ID='Temperature M:11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=2.9,2.9,20.4/
 &DEVC ID='Temperature M:2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=2.9,2.9,2.4/
 &DEVC ID='Temperature M:3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=2.9,2.9,4.4/
 &DEVC ID='Temperature M:4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=2.9,2.9,6.4/
 &DEVC ID='Temperature M:5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=2.9,2.9,8.4/
 &DEVC ID='Temperature M:6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=2.9,2.9,10.4/
 &DEVC ID='Temperature M:7', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=2.9,2.9,12.4/
 &DEVC ID='Temperature M:8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=2.9,2.9,14.4/
 &DEVC ID='Temperature M:9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=2.9,2.9,16.4/
 &DEVC ID='Temperature W:1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,2.9,0.4/
 &DEVC ID='Temperature W:10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,2.9,18.4/
 &DEVC ID='Temperature W:11', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,2.9,20.4/
 &DEVC ID='Temperature W:2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,2.9,2.4/
 &DEVC ID='Temperature W:3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,2.9,4.4/
 &DEVC ID='Temperature W:4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,2.9,6.4/
 &DEVC ID='Temperature W:5', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,2.9,8.4/
 &DEVC ID='Temperature W:6', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,2.9,10.4/
 &DEVC ID='Temperature W:7', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,2.9,12.4/
 &DEVC ID='Temperature W:8', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,2.9,14.4/

```

&DEVC ID='Temperature W:9', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.4,2.9,16.4/
&MATL ID='CONCRETE',
  FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',
  SPECIFIC_HEAT=1.04,
  CONDUCTIVITY=1.8,
  DENSITY=2280.0/

&SURF ID='Concrete',
  COLOR='GRAY 60',
  MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
  MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
  THICKNESS(1)=0.3/
&SURF ID='Fire489kW/m2',
  RGB=255,51,0,
  HRRPUA=489.0/

&OBST XB=0.0,5.9,0.0,5.9,0.0,0.3, SURF_ID='Concrete'/ Floor
&OBST XB=0.0,0.3,0.0,5.9,0.0,20.8, SURF_ID='Concrete'/ Wall1
&OBST XB=5.6,5.9,0.0,5.9,0.0,20.8, SURF_ID='Concrete'/ Wall2
&OBST XB=0.0,5.9,0.0,0.3,0.0,20.8, SURF_ID='Concrete'/ Wall3
&OBST XB=0.0,5.9,5.6,5.9,0.0,20.8, SURF_ID='Concrete'/ Wall4
&OBST XB=0.0,5.9,0.0,5.9,20.5,20.8, SURF_ID='Concrete'/ Ceiling
&OBST XB=0.3,0.9,2.7,3.3,0.3,0.4, SURF_IDS='Fire489kW/m2','INERT','INERT'/ Fire, wall, 176 kW

&HOLE XB=2.5,3.4,-0.1,0.4,0.3,2.3/ Door

&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.0,5.9,-0.4,-0.4,0.0,21.1, OUTLINE=.TRUE./ Vent
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.0,5.9,-0.4,5.9,21.1,21.1, OUTLINE=.TRUE./ Vent
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=0.0,0.0,-0.4,0.0,0.0,21.1, OUTLINE=.TRUE./ Vent
&VENT SURF_ID='OPEN', XB=5.9,5.9,-0.4,0.0,0.0,21.1, OUTLINE=.TRUE./ Vent

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=0.5/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=0.5/
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBX=2.9/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=2.9/
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBX=2.9/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=2.9/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=5.4/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBX=5.4/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=0.5/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBY=0.5/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=2.9/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBY=2.9/
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=5.4/
&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', PBY=5.4/

&TAIL /

```