

# Planlösning i bostäder som en del av det passiva brandskyddet

Axel Philip  
Andreas Stagnebo

---

Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet

Fire Safety Engineering  
Lund University  
Sweden

Rapport 5529, Lund 2017  
Examensarbete på civilingenjörsutbildningen i riskhantering



**LUNDS UNIVERSITET**  
Lunds Tekniska Högskola



# **Planlösning av bostäder som del av det passiva brandskyddet**

**Axel Philip & Andreas Stagnebo**

**Lund 2017**



Planlösning av bostäder som del av det passiva brandskyddet  
Floor Plans in Residential Dwellings as a Part of the Passive Fire Protection System

Axel Philip  
Andreas Stagnebo

**Report 5529**  
**ISRN: LUTVDG/TVBB--5529--SE**

Number of pages: 86 (exklusive bilagor)  
Illustrations: 59

Keywords  
Floor plans, fire protection, CFD, FDS, CFAST, case study methodology, hand calculation methods, fire statistics, residential dwellings.

Sökord  
Planlösning, brandskydd, CFD, FDS, CFAST, fallstudie, handberäkningsmetoder, brandstatistik, bostäder.

Abstract  
The aim of this thesis is to investigate the impact of floor plan parameters in a residential dwelling regarding the consequences of fire that may endanger human life and health. The thesis follows a case study methodology and investigates isolated parameters in floor plans using CFD and CFAST modelling. The results are compared to a default case and a conclusion regarding the importance of parameters linked to the floor plan in a multi-family building is made. The results of this thesis supports the claim that a closed floor plan and a higher ceiling height is preferable in regard to fire safety. Also the “most probable fire room” should be separated from the rest of the floor plan. This is connected to the fact that those suffering the highest mortality risk in regards to residential fires are elderly people and it is suggested to consider incorporating the measures proposed in this thesis when constructing residential dwellings specifically intended for elderly people.

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet,  
Lund 2016.

---

Avdelningen för Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund

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









## Sammanfattning

Det finns i dagsläget flertalet tekniska lösningar för att begränsa konsekvenser av bränder i bostäder. Exempel på sådana kan vara sprinkler och brandvarnare. Ytterligare möjligheter för att reducera konsekvenser av brand i bostäder finns, där planlösningar i bostäder borde kunna användas som ett komplement till övrigt brandskydd. Syftet med examensarbetet är därför att undersöka planlösningar i bostäders inverkan på konsekvenser av brand som utgör fara för människors liv och hälsa.

Arbetet i detta examensarbete har följt en fallstudiemetodik. Parametrar relaterade till en bostads planlösning som kan tänkas ha en inverkan på konsekvenser vid brand identifierades med simuleringar i CFAST och handberäkningar. En representativ brand för bostadsbrand baserad på statistik har framtagits och simulerats i FDS. Samtliga simuleringar som genomfördes betraktades som olika fall i fallstudien. Dessa innebar någon form av isolerad variation av en parameter relaterat till bostadens planlösning och resultaten från dessa jämfördes mot en FDS simulering som betraktades som ett standardfall.

Analysen visar att en bostads planlösning i stort har en inverkan på konsekvenser av brand.

Följande parametrar relaterat till en bostads planlösning tycks vid analys av resultat ha en positiv inverkan på konsekvenser av brand som utgör fara för människors hälsa och liv:

- Ökad takhöjd
- Rumsindelning
- Rumsplacering (förutsatt att placering sker enligt praktiskt förslag)

Följande parametrar relaterat till en bostads planlösning tycks vid analys av resultat ha en negativ inverkan på konsekvenser av brand som utgör fara för människors hälsa och liv:

- Öppen planlösning
- Ökad dörrhöjd
- Ökad dörrbredd

Praktiska åtgärder föreslogs sedan för de olika parametrarna relaterat till en bostads planlösning för att konsekvenserna av brand ska minimeras.



## Summary

There are several technical solutions to limit the consequences of fires in residential dwellings. Examples of such can be sprinklers and smoke detectors. There are additional solutions for reducing the consequences of fire in residential dwellings, where the floor plans of the dwellings could be used as a complement to already existing fire safety solutions. The aim of this thesis is therefore to study the impact of floor plans in dwellings on the consequences of fire that may endanger human life and health.

The work in this thesis has followed a case study methodology. Parameters related to a residential floor plan that may have an impact on the consequences of the fire were identified with simulations in CFAST and hand calculations. A representative fire for residential dwellings based on statistics was established and simulated in FDS. All the simulations carried out were considered as different cases in the case study. These involved some form of isolated variation of a parameter related to the floor plan and the results were compared against an FDS simulation that was considered a default case.

The analysis shows that a residential floor plan in general have an impact on the consequences of a fire.

The following parameters related to a floor plan appears in the analysis of the results to have a positive impact on the consequences of the fire that endanger human health and life:

- Increased ceiling height
- Room partition
- Room placement (assuming that placements are made according to the suggested practical measure)

The following parameters related to a residential plan appears in the analysis of the results to have a negative impact on the consequences of the fire that endanger human health and life:

- Open floor plan
- Increased door height
- Increased door width

Practical measures were then proposed for the various parameters related to a floor plan to minimize the consequences of a fire.



## Nomenklatur

$A$	Area [m <sup>2</sup> ]
$A_T$	Effektiv omslutande area exklusive öppningar [m <sup>2</sup> ]
$A_0$	Area på ventilationsöppning(ar) [m <sup>2</sup> ]
$c$	Specifik värmekapacitet hos omslutande material [kJ/(kg·K)]
$C_i(t)$	Koncentrationen av gas $i$ vid tidpunkten $t$ [ppm]
$c_p$	Omgivande luftens specifika värmekapacitet, 1,0 [kJ/(kg·K)]
$D$	Brandens diameter [m]
$D^*$	Brandens karaktäristiska diameter [-]
$FED$	Total fractional effective dose, summerad kvävningseffekt [-]
$FED_i$	Fractional effective dose för gas $i$ [-]
$g$	Tyngdaccelerationen, 9,81 [m/s <sup>2</sup> ]
$H$	Höjd till tak [m]
$H_0$	Höjd på ventilationsöppning(ar) [m]
$h_k$	Effektiv värmeövergångskoefficient [kW/(m <sup>2</sup> ·K)]
$HRRPUA$	Brandens effektutveckling per ytenhet [kW/m <sup>2</sup> ]
$HV_{CO_2}$	Hyperventileringsfaktor för koldioxid [-]
$k$	Termisk konduktivitet hos omslutande material [kW/(m <sup>2</sup> ·K)]
$L_f$	Flamhöjd [m]
$\dot{m}_p$	Massflöde i plymen [kg/s]
$\dot{m}_g$	Massflöde brandgaser ut ur utrymmet [kg/s]
$\dot{Q}$	Brandens effektutveckling [kW]
$Q^*$	Brandens dimensionslösa effektutveckling [-]
$\dot{Q}_c$	Brandens konvektiva effektutveckling [kW]
$\dot{Q}_{FO}$	Brandens effekt vid övertändning [kW]
$S$	Golvarea [m <sup>2</sup> ]
$\tilde{\sigma}_M$	Relativ standardavvikelse [-]
$t$	Tid [s]
$t_p$	Termisk penetrationstid [s]
$T_\infty$	Omgivande luftens temperatur, 293 [K]
$\nu_\alpha$	Produktens stökiometriska koefficient [-]
$W_F$	Bränslets molmassa [g/mol]
$W_\alpha$	Produktens molmassa [g/mol]
$y$	Dimensionslös höjd [-]
$y_\alpha$	Produktion av produkt [g/g]
$z$	Höjd över golvet [m]
$z_{int}$	Brandgaslagrets höjd över golvet [m]
$\alpha$	Brandens tillväxthastighet [kW/s <sup>2</sup> ]
$\delta$	Osäkerhetsfaktor [-]
$\partial x$	Cellens storlek [m]
$\Phi$	Global ekvivalensratio [-]
$\rho$	Densitet hos omslutande material [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_\infty$	Omgivande luftens densitet, 1.2 [kg/m <sup>3</sup> ]
$\tau$	Dimensionslös tid [-]
$\pi$	Talet pi, 3.14 [-]

## **Akronymer**

BBR	Boverkets Byggregler
CFAST	Consolidated model of Fire And Smoke Transport
CFD	Computational Fluid Dynamics
FDS	Fire Dynamics Simulator
MSB	Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap
SCB	Statistiska Centralbyrån

# Innehåll

1	Introduktion.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Mål.....	1
1.3	Syfte.....	1
1.4	Frågeställningar.....	1
1.5	Övergripande metod.....	1
1.6	Avgränsningar.....	2
1.7	Begränsningar.....	2
2	Teoretisk bakgrund.....	5
2.1	Handberäkningsmetoder.....	5
2.2	Simuleringsmodeller.....	7
3	Förutsättningar för fallstudie.....	11
3.1	Statistik bostadsbränder.....	11
3.2	Planlösning i fallstudien.....	16
3.3	Konsekvenser vid brand som utgör fara för människors liv och hälsa.....	20
4	Konsekvensskattning.....	27
4.1	Parameteridentifiering.....	27
4.2	Konsekvensskattning med handberäkningsmetoder.....	27
4.3	Konsekvensskattning med CFAST.....	30
5	Uppställning i FDS.....	33
5.1	Representativ brand.....	33
5.2	Verifiering.....	36
5.3	Validering.....	38
5.4	Uppställning.....	38
6	Resultat FDS.....	45
6.1	Två rum och kök.....	45
6.2	Fyra rum och kök.....	46
7	Analys.....	49
7.1	Två rum och kök.....	49
7.2	Fyra rum och kök.....	59
7.3	Inverkan av ökad golvarea.....	69
7.4	Rumsindelning.....	69
7.5	Rumsplacering.....	69
7.6	Slutsatser.....	72

8	Praktiska åtgärder.....	73
8.1	Öppen planlösning.....	73
8.2	Dörrhöjd- och bredd.....	73
8.3	Takhöjd.....	73
8.4	Rumsindelning .....	73
8.5	Rumsplacering.....	73
9	Diskussion.....	75
9.1	Handberäkningar och CFAST.....	75
9.2	Fallstudie .....	75
9.3	FDS simuleringar .....	77
9.4	Allmänt.....	80
9.5	Framtida studier.....	82
10	Slutsats .....	83
11	Referenser .....	87
	Bilaga 1 – Handberäkningar .....	87
	Bilaga 2 – CFAST-simuleringar .....	91
	Bilaga 3 – Representativ brand.....	95
	Bilaga 4 – FDS verifiering.....	113
	Bilaga 5 – FDS validering.....	125
	Bilaga 6 – FDS resultat .....	129
	Bilaga 7 – FDS indata.....	151



# 1 Introduktion

## 1.1 Bakgrund

I Sverige inträffar årligen cirka 6000 bostadsbränder till en stor kostnad för samhället (MSB, 2016). För att minska konsekvensen av dessa bränder har flera tekniska lösningar tagits fram för bostäder. Exempel på sådana kan vara sprinklersystem och brandvarnare. Det finns andra möjliga åtgärder för att potentiellt reducera konsekvensen av en bostadsbrand, där utformningen av en bostads planlösning borde kunna användas som ett komplement i brandskyddet. Planlösningens effekt som ett passivt medel att reducera konsekvenser vid brand har inte utretts tidigare och det är det som ligger till grund för detta examensarbete.

## 1.2 Mål

Målet med detta examensarbete är att genomföra en analys med avseende på konsekvenser av brand som utgör fara för människors liv och hälsa i bostäder med en viss typ av planlösning för att sedan undersöka hur variationer i planlösningen ger olika utfall på detta. Ett vidare mål med arbetet är att besvara de frågeställningar som ställts samt ange förslag på planlösning som kan bidra med en reduktion av konsekvenser av brand.

## 1.3 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att undersöka planlösningar i bostäders påverkan vid brand som utgör fara för människors liv och hälsa.

## 1.4 Frågeställningar

Som utgångspunkt för examensarbetet har ett antal frågeställningar definierats. Målet med examensarbetet har varit att arbeta för att besvara frågeställningarna nedan.

1. Vilken påverkan har en bostads planlösning på konsekvenser vid brand som utgör fara för människors liv och hälsa?
2. I vilken omfattning påverkar parametrar relaterat till en bostads planlösning konsekvenser vid brand som utgör fara för människors liv och hälsa?
3. Vilka bostadstyper är i störst behov av åtgärder relaterat till deras planlösning för att minska konsekvenser vid brand som utgör fara för människors liv och hälsa?

## 1.5 Övergripande metod

Angreppssättet för detta examensarbete har följt en fallstudiemetodik. Arbetsgången och metodiken beskrivs i detta avsnitt.

Inledningsvis i arbetet undersöktes befintliga handberäkningsmetoder för rökfyllnad för att ta reda på vilka parametrar som påverkar tid till rökfyllnad samt höjd till brandgaslagret. Påverkan av dessa parametrar kontrollerades i handberäkningar samt med simuleringar i CFAST och ytterligare faktorer som kan påverka brandspridningen identifierades. Därefter togs relevant statistik för bostadsbränder fram och analyserades för att bestämma representativ brand och bostadstyp som betraktats i analysen. Typiska planlösningar undersöktes och anpassades för att i nästa steg simuleras i FDS på ett sätt som möjliggjorde enkel variation av enskilda parametrar. Resultat från simuleringar där parametrar som önskades undersökas har varierats och jämförts med resultat från simulering av ett standardfall. Parametern rumsplacering undersöktes genom att betrakta simuleringsresultat och parametern rumsindelning undersöktes med resultat från CFAST simuleringar. Slutligen togs förslag för praktiska åtgärder fram för samtliga parametrar.

Fördelen med att följa en fallstudiemetodik är att det går att undersöka ett förlopp under specificerade förutsättningar (Yin, 2009). Detta innebär att antalet simuleringar som behöver genomföras i examensarbetet kan reduceras till ett hanterligt antal genom att ta fram representativa planlösningar och representativ brand. Nackdelen är att det kan vara problematiskt att skapa fall som täcker alla möjliga variationer som kan påträffas.

### 1.6 Avgränsningar

Detta examensarbete ämnade endast undersöka personsäkerhet med avseende på konsekvenser vid brand som utgör fara för människors liv och hälsa. Ingen hänsyn har tagits till andra parametrar som kan tänkas påverka personsäkerheten i stort, till exempel tid till att man försatt sig i säkerhet. Även ekonomiska aspekter som egendomsskydd har exkluderats ur analysen och kostnader för eventuella åtgärder för att reducera konsekvenser av brand har inte analyserats.

Examensarbetet har även avgränsats till att endast betrakta planlösningar för olika typer av bostadsmiljöer. Planlösningarna som har undersökts är endast i ett plan och var utformade som lägenheter, varför analysen framförallt är applicerbar i lägenheter och flerbostadshus innehållande lägenheter. Analysen innefattade dessutom endast vissa typer av planlösningar i lägenheter och täcker därför inte alla möjliga planlösningar. Vidare innefattade endast analysen bostäder som är större än 55 m<sup>2</sup> till ytan. Detta gjordes för att fler parametrar bedömdes kunna påverka brandförloppet om större ytor är involverade och därav kunna bidra till en mer innehållsrik och detaljerad analys.

Avgränsningar har även gjorts avseende detaljeringsgraden i förbränningsprocessen. Endast de mest toxiskt potenta produkter med hänsyn till kvävning har behandlats i reaktionen.

Förhållanden i brandrummet har inte analyserats som ett resultat i sig i fallstudien. Denna avgränsning gjordes då förhållanden i direkt anslutning till branden var så pass dåliga att ingen människa förväntades kunna vistas i utrymmet. Förhållandena i brandrummet analyserades i Bilaga 4 – FDS verifiering för att verifiera att resultaten var rimligt rent överslagsmässigt.

Analysen innefattade endast konsekvenser av en förutsatt representativ brand, i examensarbetet kallat konsekvens av brand. Sannolikhet togs till viss del hänsyn till i framtagandet av representativ brand men den huvudsakliga analysen i examensarbetet syftar till att utvärdera konsekvenser av brand förutsatt olika planlösningar.

I examensarbetet har endast en välventilerad flambrand betraktats i analysen. Andra typer av bränder, som till exempel glödbränder eller underventilerade flambränder har ej undersökts. Avgränsningen gjordes i och med FDS begränsningar avseende underventilerade bränder samt ytterligare komplikationer relaterat till att konstruera en trovärdig brand som ej var en välventilerad flambrand.

### 1.7 Begränsningar

Den representativa branden var endast baserad på ett fåtal scenarier som kvalitativt har bedömts som troliga scenarier vid en brand i ett kök. Trots att dessa är baserade på statistik för troliga startföremål speglade de dock inte alla möjliga scenarier. Data för de objekt som brann är dessutom framtagna i fritt brinnande miljöer, vilket inte nödvändigtvis speglade de bostadsmiljöer som undersökts.

FDS simuleringar är väldigt tidskrävande vilket har gjort att endast ett begränsat antal simuleringar har kunnat genomföras. Möjligheterna till att göra om simuleringar för att vidare validera dess riktighet har därför inte kunnat genomföras.

Då analysen i arbetet byggde på simuleringar i FDS begränsas examensarbetet av begränsningar i FDS. Osäkerheter relaterat till detta hanterades i Bilaga 5 – FDS validering.



## 2 Teoretisk bakgrund

Nedan presenteras den för rapporten teoretiskt relevanta bakgrunden.

### 2.1 Handberäkningsmetoder

För att på förhand kunna avgöra vilka parametrar som kan vara avgörande för konsekvenser vid brand har olika handberäkningsmetoder för rökfyllnad undersökts. Modellerna skiljer sig från varandra då tillämpningen av dem skiljer sig åt.

#### 2.1.1 Zukoski

Karlsson och Quintiere (1999) beskriver en modell för att beräkna tiden för rökfyllnad i ett rum. Modellen baseras på den plymmodell Zukoski utvecklade efter en experimentell studie. Zukoski kom fram till en ekvation för massflöde i en plym enligt följande:

$$\dot{m}_p = 0,071\dot{Q}^{1/3} * z^{5/3} \quad \text{Ekvation 1}$$

Karlsson och Quintiere beskriver en beräkningsgång för att beräkna tiden för att rökfylla ett utrymme till en bestämd nivå. Beräkningsgången redovisas nedan:

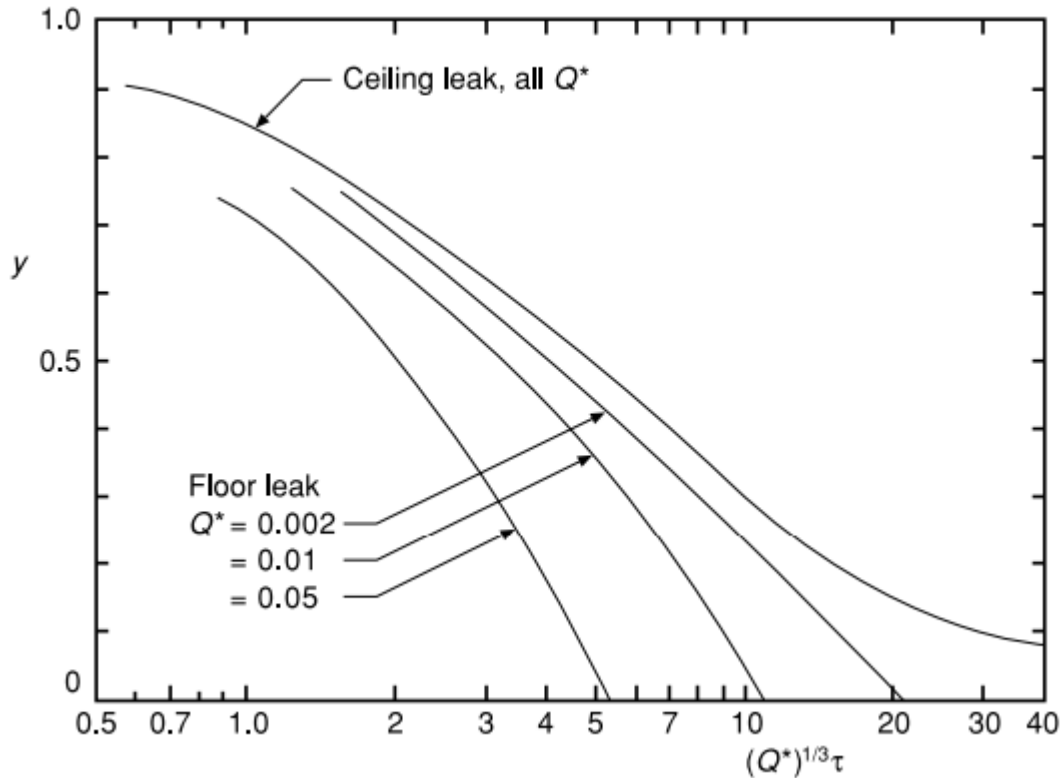
Definiera den dimensionslösa höjden,  $y$ :

$$y = \frac{z}{H} \quad \text{Ekvation 2}$$

Beräkna den dimensionslösa effektutvecklingen  $\dot{Q}^*$  för branden:

$$\dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{1100H^{5/2}} \quad \text{Ekvation 3}$$

Avläs värdet för  $\dot{Q}^{*1/3}\tau$  ur Figur 1 och beräkna  $\tau$ . Beräkningar genomförda i detta examensarbete har antagit läckage längs taket och därför avläst värden från ”ceiling leak, all  $\dot{Q}^*$ ” ur Figur 1 nedan.



Figur 1 Grafen visar rökfyllning i tät lokal med små läckor givet en dimensionslös effekt vid en viss tid. (Karlsson & Quintiere, 1999)

Lös ut och beräkna  $t$  ur:

$$\tau = t \sqrt{\frac{g}{H}} * \frac{H^2}{s} \quad \text{Ekvation 4}$$

Värdet som erhålls på  $t$  är den tid det tar i sekunder för det aktuella rummet att rökfyllas till den nivå  $z$  som använts för att beräkna dimensionslös höjd.

Modellen innehåller förenklingar och dras därför med en rad osäkerheter och förenklingar som måste hållas i åtanke vid applicering. Den största begränsningen är att modellen baseras på Zukoskis ekvation för plymflöde, vilket i sin tur är applicerbar för svaga brandkällor. Ett kriterium har därför tagits fram av Karlsson och Quintiere (1999) som säger att modellen inte bör användas om följande villkor inte uppfylls:

$$\dot{Q}^* < 0.05$$

Andra begränsningar som bör hållas i åtanke är att plymen från branden enbart ses som en omedelbar transport av massan till brandgaslagret samt att utrymmet antas vara slutet utan öppning ut. Detta innebär att rökfyllnadstiden blir kortare då transporttid ej tas i åtanke. Vidare tar modellen ingen hänsyn till värmeförluster till omgivande väggar och tak (Karlsson & Quintiere, 1999).

### 2.1.2 Johansson, Svensson och van Hees

I en artikel skriven av Johansson et al. (2015) presenteras två metoder för beräkning av brandgaslagrets temperatur varav en kan användas för beräkning av brandgaslagrets höjd. Denna metod bygger på antagandet att rummet delas in i en tvåzonsmodell med ett

brandgaslager och ett underliggande lager, båda med homogen temperatur. Vidare antas att den energi en brand ger upphov till transporteras till brandgaslagret. Beräkningsgången redovisas nedan:

Ansätt först att

$$\dot{m}_p = \dot{m}_g \quad \text{Ekvation 5}$$

Varav

$$\dot{m}_g = 0,68A_0\sqrt{H_0}(1 - z_{int}/H_0), \quad \text{när } z_{int}/H_0 > 0,3 \quad \text{Ekvation 6}$$

$$\dot{m}_p = 0,0058\dot{Q}_c(z/L_f) \quad \text{Ekvation 7}$$

$$L_f = 0,235\dot{Q}^{2/5} - 1,02D \quad \text{Ekvation 8}$$

Brandgaslagrets höjd kan beräknas med hjälp av Ekvation 5 och antagandet att plymflödet  $\dot{m}_p$  är lika med flödet brandgaser ut ur brandrummet,  $\dot{m}_g$ , vid brandgaslagrets höjd.

Plymflödet  $\dot{m}_p$  beräknas med Ekvation 7 där  $z$  ansätts godtyckligt, och skrivs in i Ekvation 6. Vid omskrivning av Ekvation 6 kan sedan brandgaslagrets höjd beräknas enligt:

$$z_{int} = H_0 \left( 1 - \frac{\dot{m}_g}{0,68A_0\sqrt{H_0}} \right)$$

Där  $\dot{m}_g = \dot{m}_p$

Processen upprepas tills att  $z_{int} = z$ .

Precis som med handberäkningsmetoden beskriven i avsnitt 2.1.1 innehåller metoden en del förenklingar och begränsningar som måste hållas i åtanke. Modellen är framtagen för beräkning av brandgaslagrets höjd i ett enskilt rum med en öppning ut till det fria. Vilket i beräkningsfall i examensarbetet kan leda till ickekonservativa resultat i och med att brandgaser inte kan antas ventileras bort i undersökta fall. Modellen gäller även, till skillnad från Zukoskis modell som är transient, för ett stationärt fall som inte är tidsberoende. Det finns dock studier som stödjer modellens applicerbarhet vid brand i rum med öppning till andra rum (Johansson, et al., 2015). Trots detta är det viktigt att betänka osäkerheten som kan uppstå.

## 2.2 Simuleringsmodeller

### 2.2.1 CFAST

Simuleringar i CFAST (Consolidated Model of Fire and Smoke Transport) har utförts som en slags förundersökning av hur rumsindelningen påverkar rökspridning i undersökta bostäder. Anledningen är att simuleringar i CFAST går avsevärt mycket fortare än mer sofistikerade simuleringsprogram. Programmet är utvecklat som en tvåzonsmodell av NIST (Forney, et al., 2016).

För att modellera ett brandscenario i CFAST måste användaren definiera och ange nödvändiga parametrar (Forney, et al., 2016):

- Materials termiska egenskaper
- Simulerat rums geometri
- Material i tak, golv, väggar
- Storlek och placering av så kallade ”flow vents”, det vill säga öppningar i rummet
- Eventuell mekanisk ventilation
- Brandens egenskaper
- Eventuella sprinkler och/eller detektorer
- Storlek och placering av sprinkler/detektorer
- Vad som ska visualiseras i outputfilen måste specificeras

CFAST förutsätter en fullständigt uppdelad zonindelning mellan det varma brandgaslagret och den kalla omgivningsluften. Branden som modelleras avger brandgaser och värme som fyller på och värmer upp brandgaslagret. Temperaturen inom vardera zon antas i modellen vara uniform och rörelsemängden inom zonerna förutsätts vara noll. Det finns ingen egentlig begränsning för vilka byggnadstyper som kan modelleras och simuleras, men giltigheten i resultaten varierar beroende på byggnadens geometri (Forney, et al., 2016). Karlsson och Quintiere (1999) skriver att simuleringar i CFAST inte är tillförlitliga för geometrier där ration mellan längd och bredd är väldigt hög så som korridorer. Modellen är bäst lämpad för mindre geometrier liknande de som återfinns i bostadsmiljöer (Karlsson & Quintiere, 1999).

Den brand som modelleras i CFAST måste på förhand definieras av användaren, då CFAST inte förutsätter effektutvecklingen hos brinnande föremål. Användaren kan definiera effektutvecklingskurvan för en, eller flera, bränder. CFAST innehåller dock en undermodell som begränsar brandens effektutveckling med hänsyn till tillgängligt syre (Forney, et al., 2016).

### 2.2.2 Fire Dynamics Simulator

Den huvudsakliga brandtekniska analys som genomförts i denna rapport har utförts i programvaran Fire Dynamics Simulator (FDS), version 6.5.2. FDS är en programvara som löser strömningsproblem pådrivna av en brand (McGrattan, et al., 2016). Programvaran är en CFD-modell (Computational Fluid Dynamics, på svenska beräkningsströmningsdynamik) som numeriskt löser Navier-Stokes fluidekvationer lämpat för termiskt drivna och långsammare flöden med betoning på rök och värmetransport från bränder (McGrattan, et al., 2016).

För att utföra en simulering i FDS krävs att rummet som ska simuleras byggs upp geometriskt samt delas in i ett stort antal kontrollvolym (celler) och att samtliga kontinuitetsekvationer löses för varje kontrollvolym i en iterativ process (Nystedt & Frantzich, 2011). Desto mindre dessa kontrollvolym är, desto mer detaljerat blir resultatet, men beräkningsprocessen ökar 16 gånger vid halverad storlek på cellerna (Nystedt & Frantzich, 2011).

Kontinuitetsekvationerna löses numeriskt för varje cell, vilket alltid är att betrakta som en approximation då en restterm finns kvar efter varje beräkningssteg. Denna restterm är direkt beroende på cellstorleken i simuleringen där en större cell leder till en större restterm och större osäkerhet.



Karaktäristiskt för rumsbränder är turbulenta gasflöden, vilket kan hanteras i CFD-modeller som FDS. FDS innefattar en LES-modell, Large Eddy Simulation, för simulering av större virvlar till följd av turbulens och medelvärdesberäkningar av mindre virvlar (Nystedt & Frantzich, 2011).

Smokeview är ett visualiseringsprogram som nyttjas för att åskådliggöra ut- och indata i FDS och CFAST.

Vid beräkning av FED värdet beräknar FDS detta i en på förhand angiven punkt i geometrin. Den effekt som FDS relaterar FED till är dos till att vara arbetsförmögen, vilket tolkas som att personen i fråga ej kan utrymma på egen hand. Värdet är beroende på de gaser som produceras och om användaren angivit ett eget värde för någon producerad gas (McGrattan, et al., 2016).



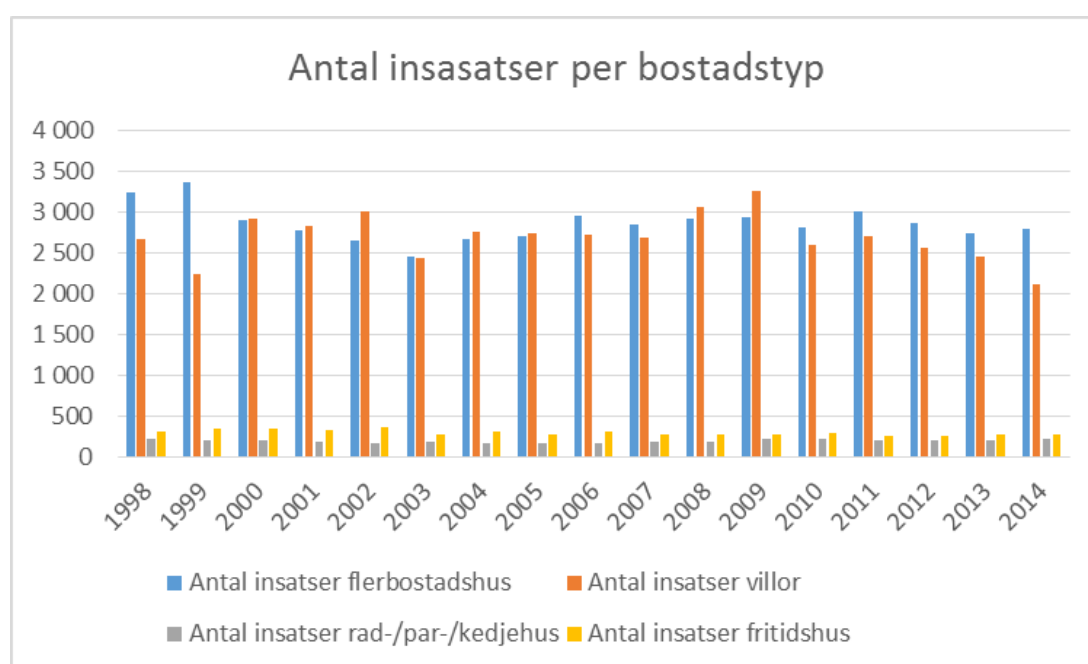
### 3 Förutsättningar för fallstudie

I detta avsnitt presenteras förutsättningar för fallstudien. Dessa har varit framtagandet av statistik som legat till grund för hur den representativa branden tagits fram, vilka bostadstyper som har betraktats samt val av planlösningar.

#### 3.1 Statistik bostadsbränder

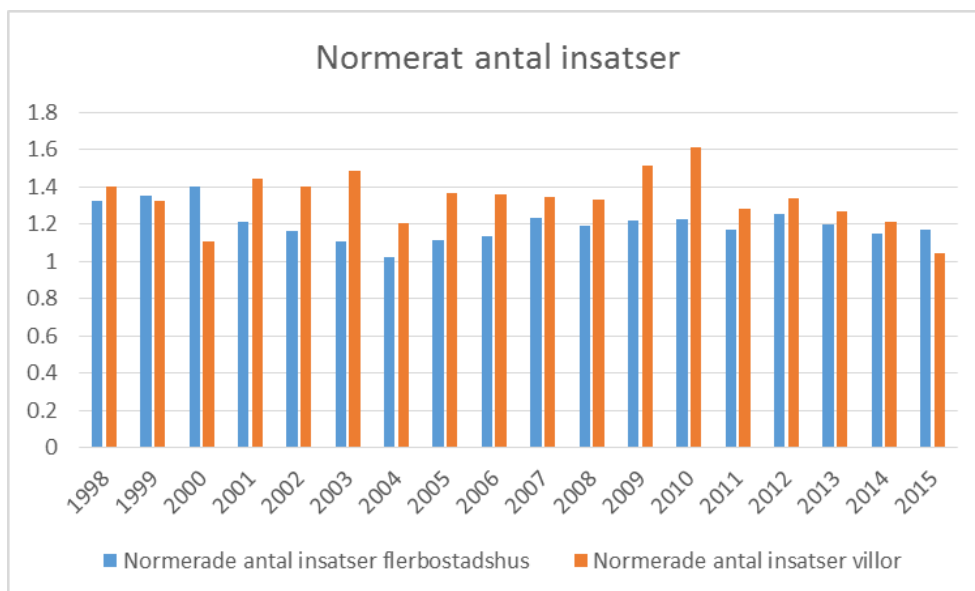
Mer än 50 procent av räddningstjänstens insatser till bränder i byggnader sker i bostadsbränder, vilket innefattar brand i villa, radhus, flerbostadshus och fritidshus (MSB, 2016).

Sett till insatser över åren visar statistiken på en relativt konstant fördelning mellan byggnadstyperna, men majoriteten av dem, 90 procent, sker till villor och flerbostadshus, se Figur 2.



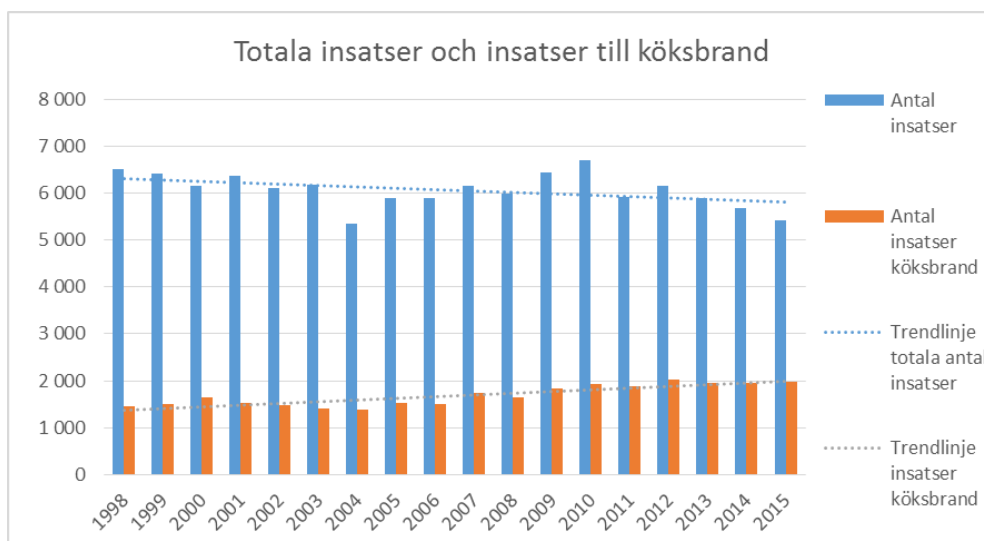
Figur 2 Antal räddningsinsatser till bränder i bostäder under perioden 1998-2014 (MSB, 2016).

Antal insatser per tusen villor är något fler än antalet insatser per tusen lägenheter i flerbostadshus i Sverige. I Figur 3 ses normerat antal insatser per tusen flerbostadshus och villa under tidsperioden 1998-2015. Data erhöles genom att normera data i Figur 2 per antal lägenheter i flerbostadshus (2 388 571) och antal lägenheter i villor (2 018 064) för år 2015 (SCB, 2015). Medelvärdet för villor år 2015 var 1.34 insatser per tusen villor och medelvärdet för lägenheter i flerbostadshus år 2015 var 1.20 insatser per tusen bostäder.



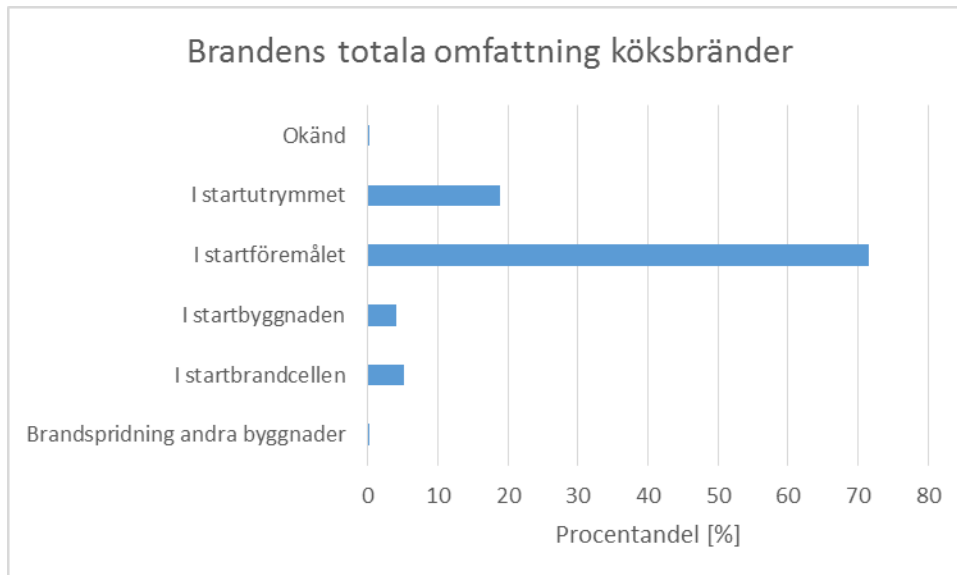
Figur 3 Normerat antal insatser per tusen villor till flerbostadshus respektive villor under perioden 1998-2015 (MSB, 2016).

I Figur 4 presenteras totala insatser till bostadsbränder och antalet insatser som var till köksbränder för varje år under perioden 1998-2015. En trendlinje för respektive kategori presenteras även. Kök är det statistiskt mest sannolika brandrummet då det är det överlägset vanligaste startutrymmet och står för 27.8 % av räddningstjänstens insatser till bränder i bostäder under perioden 1998-2015 (MSB, 2016).



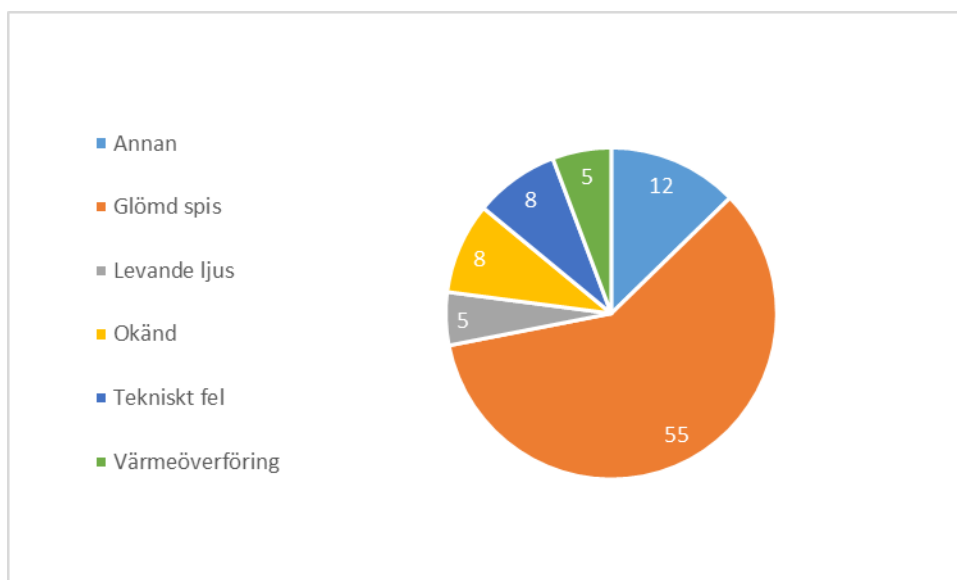
Figur 4 Totala insatser till bostadsbränder och insatser till köksbränder med respektive trendlinjer under perioden 1998-2015 (MSB, 2016).

I Figur 5 redovisas köksbränders totala omfattning under perioden 1998-2014 i procentandelar. Statistiken visar att vid majoriteten av fallen (72 %) rör det sig om en brand som innefattar startföremålet (MSB, 2016). En omfattande brand innefattande antingen startutrymmet, startbyggnaden, startbrandcellen eller när brandspridning skett mellan byggnader har inträffat vid 28 % av insatserna (MSB, 2016).



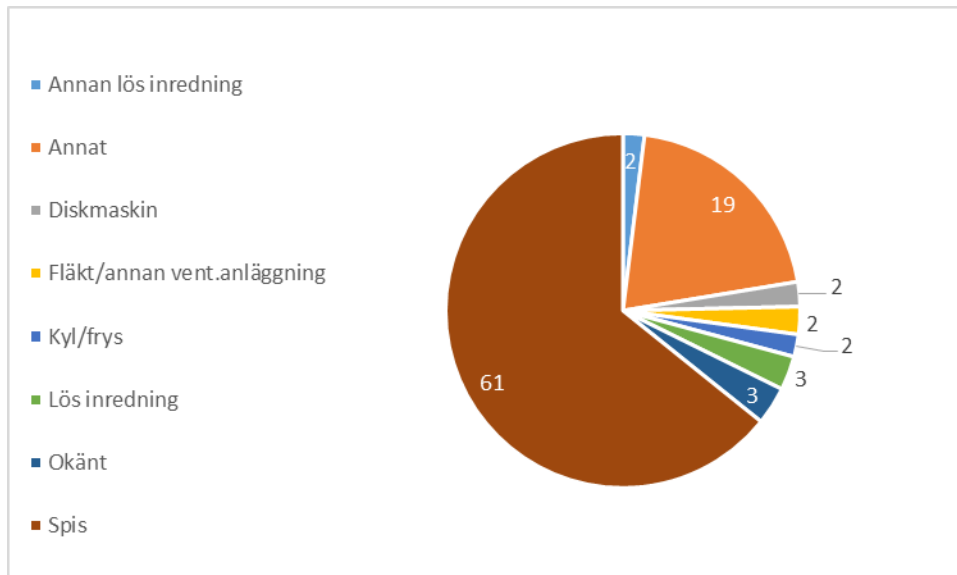
Figur 5 Omfattningen av köksbränder vid räddningstjänstens insats under perioden 1998-2014 (MSB, 2016).

I Figur 6 ses procentandelar för de sex vanligaste av totalt nitton brandorsakerna (fler än 1000 insatser per brandorsak) vid köksbrand. Dessa sex brandorsaker representerar 93 % av samtliga brandorsaker vid köksbrand och valdes ut för att göra statistiken mer överskådlig. Glömd spis är den vanligaste brandorsaken och är brandorsaken vid 55 % av räddningstjänstens insatser till köksbränder (MSB, 2016).



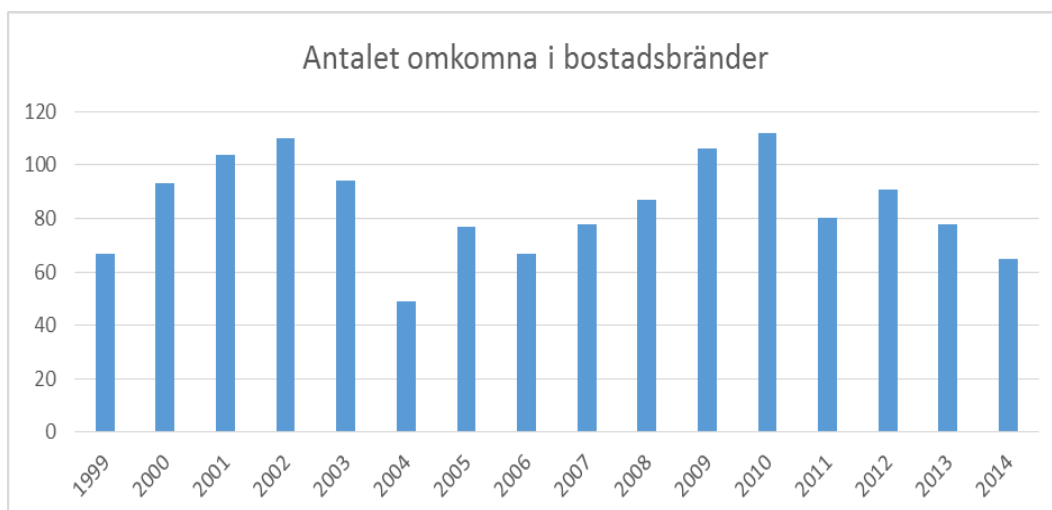
Figur 6 Procentandelar för de sex vanligaste brandorsakerna vid köksbrand (MSB, 2016).

I Figur 7 ses procentandelar för de åtta av totalt tio vanligaste startföremål (fler än 600 insatser per startföremål) vid köksbrand. Dessa sex startföremål representerar 94 % av samtliga startföremål vid köksbrand och valdes ut för att göra statistiken mer överskådlig. Spis är den vanligaste brandorsaken och är startföremålet vid 61 % av räddningstjänstens insatser till köksbränder (MSB, 2016).



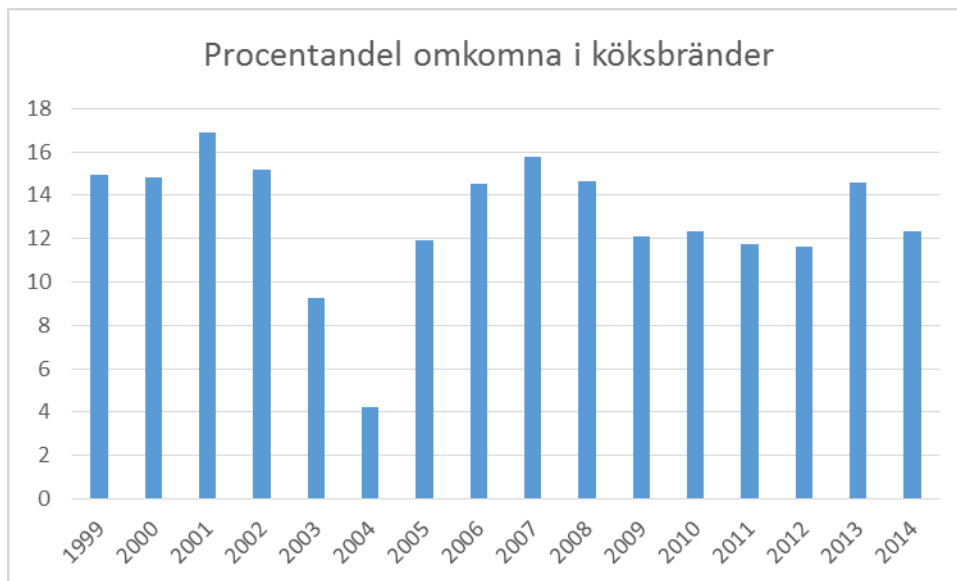
Figur 7 Procentandelar för de sex vanligaste startföremål vid köksbrand (MSB, 2016).

I Figur 8 ses antalet omkomna i bränder i bostäder år för år under perioden 1999- 2014. Statistiken har erhållits genom summering av statistik taget från MSBs statistikdatabas för omkomna i brand i villa, radhus, flerbostadshus och fritidshus för respektive år (MSB, 2016). Hela 70 % av människor som omkommer till följd av brand omkommer i en bostadsbrand (MSB, 2016).



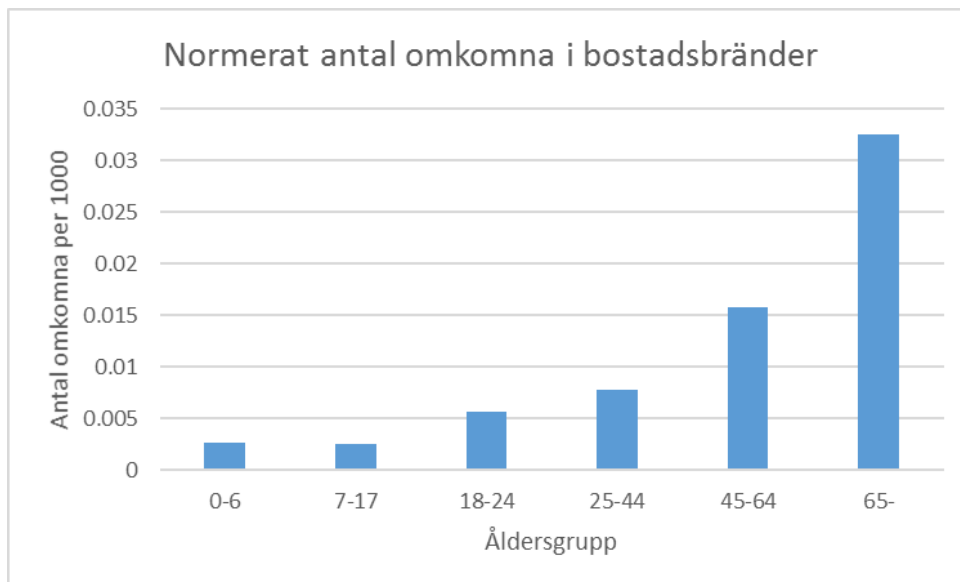
Figur 8 Antalet omkomna i bränder i bostäder under perioden 1999-2014 (MSB, 2016).

I medeltal startar 12.9% av alla dödsbränder i köket och 15.9 personer omkommer årligen i snitt i bostadsbränder med köket som startutrymme (MSB, 2016). I Figur 9 ses procentandel av omkomna i bostadsbränder med köket som startutrymme.



Figur 9 Procentandel av omkomna i bostadsbränder med köket som startutrymme (MSB, 2016)

I Figur 10 ses fördelningen av antal omkomna i bostadsbränder normerat med antalet personer i respektive åldersgrupp. Värderna som presenteras är medelvärdet av antalet omkomna under perioden 1999-2014 normerat mot befolkningsbeståndet 2009 (SCB, 2009).



Figur 10 Fördelning av antal omkomna i bostadsbränder per 1000 personer normerat med antalet personer i åldersgruppen (MSB, 2016).

Sammanfattat för de senaste tio åren är män kraftigt överrepresenterade i dödsbränder. Dessutom inträffar 70% utav dessa i bostäder (MSB, 2016). Betraktar man statistiken över tio år ser man att flest individer omkommer i åldersgruppen 45-64, följt av åldersgruppen 65-79 (MSB, 2016). Normerat mot befolkningsbeståndet i respektive årsgrupp lider individer i åldersgruppen 65+ störst risk att omkomma i bostadsbränder.

### 3.1.1 Slutsatser av statistik relaterat till bostadsbränder

Följande slutsatser har dragits vid analys av statistiken i avsnitt 3.1:

- Mer än 50 procent av räddningstjänstens insatser till bränder i byggnader sker till bostadsbränder och bostäder bedöms därför som särskilt utsatta för brand.
- Bostadsbränder är kraftigt överrepresenterade i bränder med omkomna som följd då hela 70 % av människor som omkommer till följd av brand omkommer i en bostadsbrand.
- Kök är det statistiskt mest sannolika brandrummet.
- Cirka 90 procent av räddningstjänstens insatser till brand i bostad är till flerbostadshus och villor.
- Enligt sammanställd statistik för normerat antal omkomna från de senaste tio åren är risken störst att omkomma för individer i åldersgruppen 65+, varför bostadstyper där individer i åldersgruppen kan förväntas bo anses vara i störst behov av riskreducerande åtgärder.
- En omfattande köksbrand som innefattade antingen startutrymmet, startbyggnaden, startbrandcellen eller när brandspridning skett mellan byggnader har inträffat vid 28 procent av räddningstjänstens insatser till köksbränder i bostäder under perioden 1998-2015.

Slutsatserna ovan har legat till grund för dimensioneringen av den representativa branden i avsnitt 5.1 samt vilka bostadstyper och planlösningar som tagits fram i avsnitt 3.2.

### 3.2 Planlösning i fallstudien

För att kunna bygga upp planlösningar som kan anses representera verkliga fall måste befintliga krav på bostadsutformning tas hänsyn till. I detta avsnitt kommer krav på bostadsutformning presenteras följt av en presentation av de planlösningar som används i examensarbetet.

#### 3.2.1 Boverkets byggregler, bostadsutformning

I följande delavsnitt beskrivs krav som ställs på bostäders planlösning och brandskydd i Boverkets föreskrifter enligt BBR 23 (BFS 2016:6). Utformning av dessa ses i avsnitt 3.2.2. Krav som inte anses kunna relateras till bostäders planlösning bortses från. Kraven är antingen generella eller specifika för bostäder som är större än 55 m<sup>2</sup> till ytan.

Bostäder skall utformas med hänsyn taget till långsiktig användning. Detta innebär att det i enlighet med BBR 3:22 (BFS 2016:6) ska finnas:

- minst ett rum för personlig hygien,
- ett rum alternativt avskiljbar del av rum för daglig samvaro,
- ett rum alternativt avskiljbar del av rum för vila och sömn,
- ett rum alternativt avskiljbar del av rum för matlagning,
- ett utrymme för måltider i anslutning till eller i rum för matlagning, och
- ett entréutrymme.

Med avskiljbar del av rum menas att utrymmet ska ha fönster mot det fria samt kunna avskiljas från resten av utrymmet med bibehållen funktion (BFS 2016:6). Aktuella planlösningar utgör bostäder som överskrider 55 m<sup>2</sup> boarea, varav krav ställs på att plats ska finnas för parsäng i rum för vila och sömn (BFS 2016:6).



Inredningsmått som används vid uppbyggnaden av planlösningar i FDS uppfyller ”Normalnivå” i SS 91 42 21 i enlighet med allmänt råd i BBR 3:22 (BFS 2016:6).

Rumshöjden ska, i enlighet med BBR 3:3111 (BFS 2016:6), uppgå till minst 2,4 meter i bostäder.

Utrymmen hänförs i BBR till verksamhetsklasser, där bostäder utgör verksamhetsklass 3A (BFS 2016:6). Särskilda krav som ställs på sådana verksamheter och som kan komma att påverka planlösningens utformning beskrivs i följande kapitel.

Maximalt gångavstånd till utrymningsväg i bostäder ska inte överstiga 45 meter. Då personer förväntas vistas mer än tillfälligt i bostäder samt att gångavstånd till utrymningsväg överstiger 15 meter ställs även krav på två av varandra oberoende utrymningsvägar (BFS 2016:6).

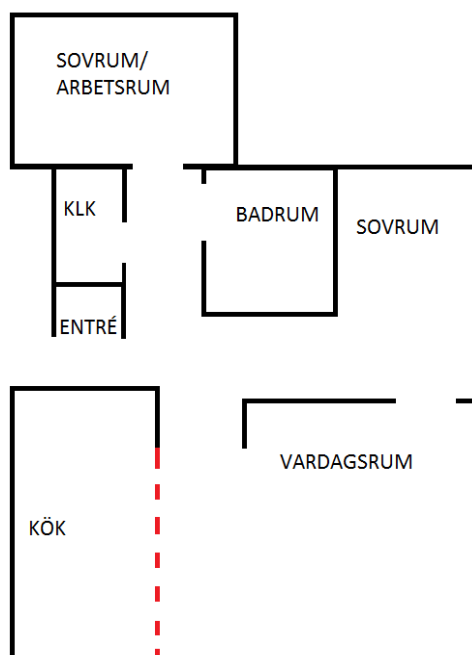
Dörröppningar ska vara minst 0,8 meter breda respektive 2,0 meter höga (BFS 2016:6).

Bostäder ska i sin helhet utgöra en enda brandcell (BFS 2016:6).

### 3.2.2 Planlösningar

Planlösningar har tagits fram och modellerats i FDS med huvudsyftet att kunna undersöka vissa identifierade parametrar som anses kunna påverka konsekvenser vid brand i bostäder. För att kunna välja representativa planlösningar som kan passas till både sluten och öppen planlösning beskrivs skillnaden mellan dessa två typer av planlösningar.

Skillnaden mellan sluten och öppen planlösning är att en öppen planlösning i detta examensarbete definieras av att det saknas rumsavskiljande väggar mellan vardagsrums- och köksfunktionerna i bostaden (Willén, 2012). Exempel på hur en öppen planlösning kan se ut visas i Figur 11. Den rödstreckade väggen mellan kök och vardagsrum visar hur lägenheten kan gå från en sluten planlösning med avskilt kök till en öppen planlösning utan rumsavskiljande väggar mellan kök och vardagsrum.

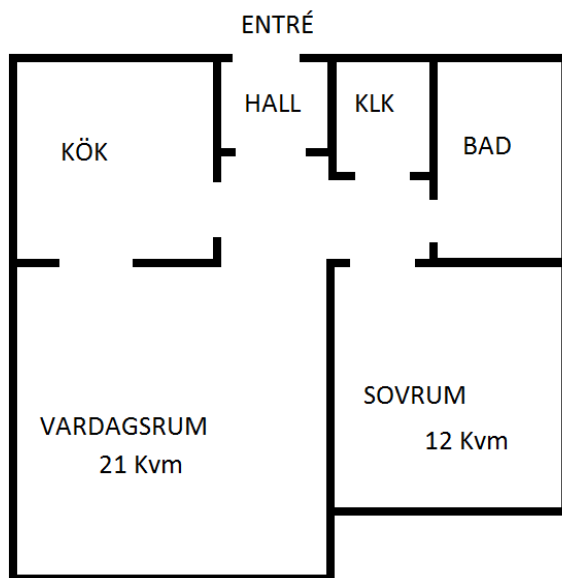


Figur 11 Illustration över sluten och öppen planlösning. Baserat på figur i (Willén, 2012).

Två typer av utformningar kommer beskrivas för att användas i fallstudien, en mindre och en större bostadslägenhet. Dessa planlösningar kommer vara anpassningsbara så att det är möjligt att med mindre modifikationer ändra lägenheten från en sluten till en öppen planlösning. För att kunna erhålla jämförbara resultat från de simuleringar som är tänkta att genomföras behöver mindre ändringar göras av de planlösningar som kommer användas. Syftet med ändringarna är att erhålla planlösningar där enskilda parametrar kan varieras för att undersöka påverkan av dessa under ett brandförlopp.

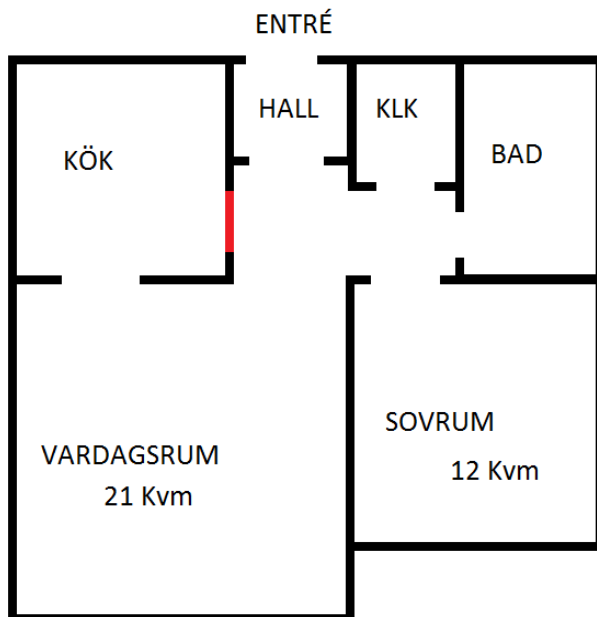
### Två rum och kök

Den mindre lägenheten illustreras i Figur 12 och baseras på en typlösning för två rum och kök i loftgångshus (Thiberg, 1985).



Figur 12 Principritning över sluten planlösning. 2 rum och kök, 64 m<sup>2</sup>. (Thiberg, 1985)

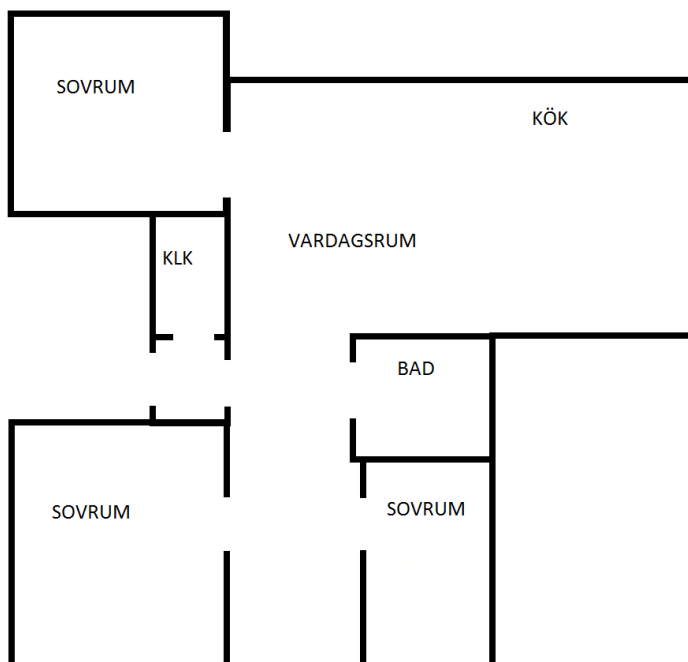
Principritningen överensstämmer med storlek och rumsindelning i ett antal exempel på byggda bostäder under 1980-talet (Thiberg, 1985). Av den anledningen anses lägenheten vara representativ för mindre lägenheter med indelningen två rum och kök och kommer därför att användas i fallstudien för modellering av mindre bostadslägenheter. Ändringar som gjorts för att kunna använda planlösningen i simuleringar var att stänga en av öppningarna in till köket. Detta har rödmarkerats i Figur 13 nedan. Övergången till en öppen planlösning kan göras genom att ta bort rumsavskiljande väggar mellan kök och vardagsrum.



Figur 13 Illustration över den ändrade principplanlösningen för 2 rum och kök.

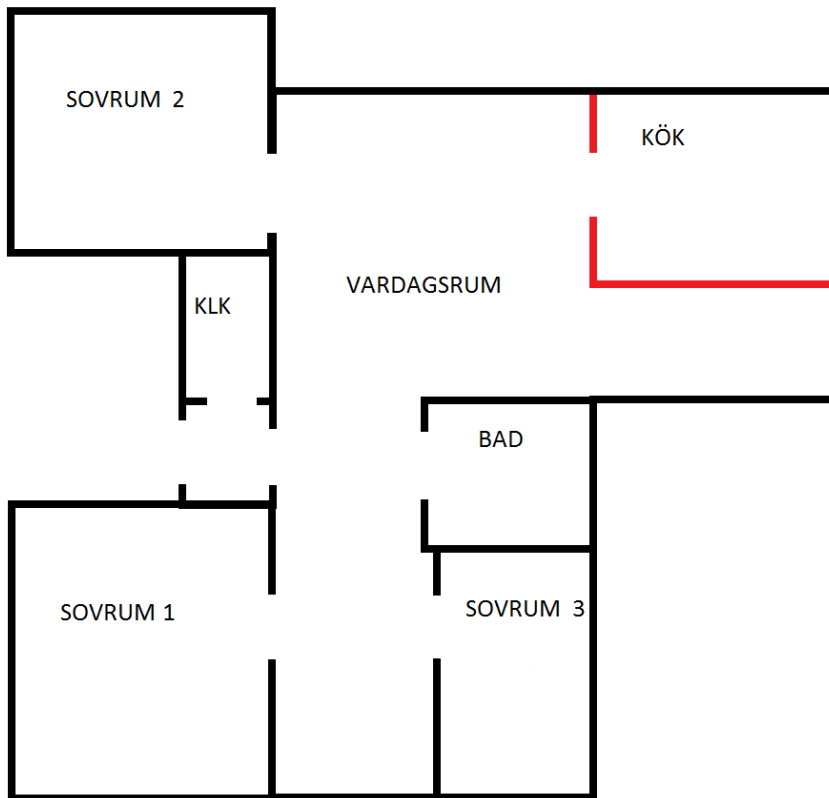
### Fyra rum och kök

Den större lägenheten baseras på en planlösning för en verklig lägenhet med tre rum och kök i bostadsområdet Norra Hammarbyhamnen i Stockholm (Thiberg, 1985). Planlösningen har utökats med ett rum samt modifierats för att få ett kök beläget i anslutning till vardagsrum som enkelt kan avskiljas för att kunna variera mellan en öppen och sluten planlösning. Lägenheten illustreras i Figur 14. Sovrummen förutsätts vara i ungefär samma storlek som sovrummet i planlösningen med 2 rum och kök.



Figur 14 Principritning över öppen planlösning. 4 rum och kök, 100 m<sup>2</sup>. Baserad på ritning i (Thiberg, 1985).

Då även denna planlösning är baserad på planlösningar som används i befintliga hus gjordes antagandet att den kan representera planlösningar för större lägenheter. Med kökets placering i denna planlösning ansågs det möjligt att enkelt gå från sluten till öppen planlösning genom införandet av rumsavskiljande väggar till köket. Dessa väggar har rödmarkerats i Figur 15, där planlösningen illustreras. I figuren har även sovrummen numrerats för att underlätta identifiering av respektive rum.



Figur 15 Illustration över förändringarna för principplanlösning, 4 rum och kök. Röd markering visar ändringar. Sovrummen har numrerats för att underlätta identifiering.

Dessa planlösningar har legat till grund för modelleringen i FDS. Modellernas uppställning beskrivs i avsnitt 5.

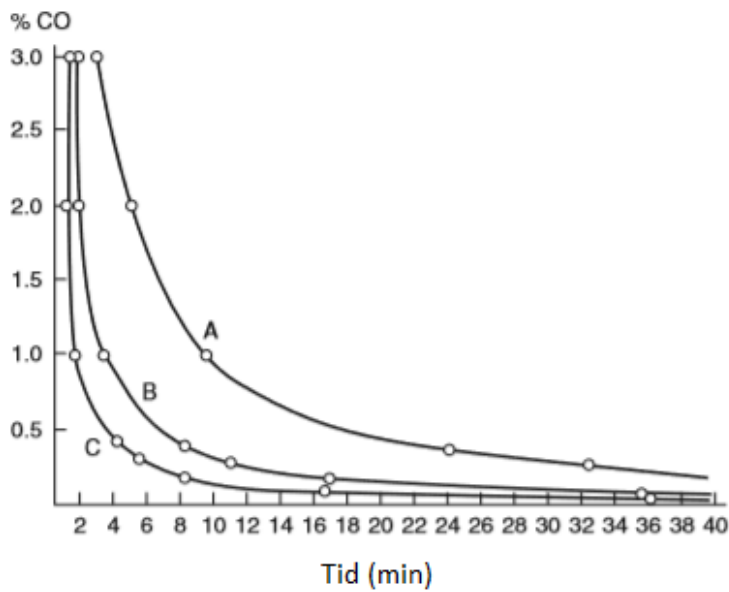
### 3.3 Konsekvenser vid brand som utgör fara för människors liv och hälsa

I detta avsnitt presenteras kort de vanligaste brandprodukter som kan leda till skador hos människor under ett brandförlopp.

#### 3.3.1 Kvävning

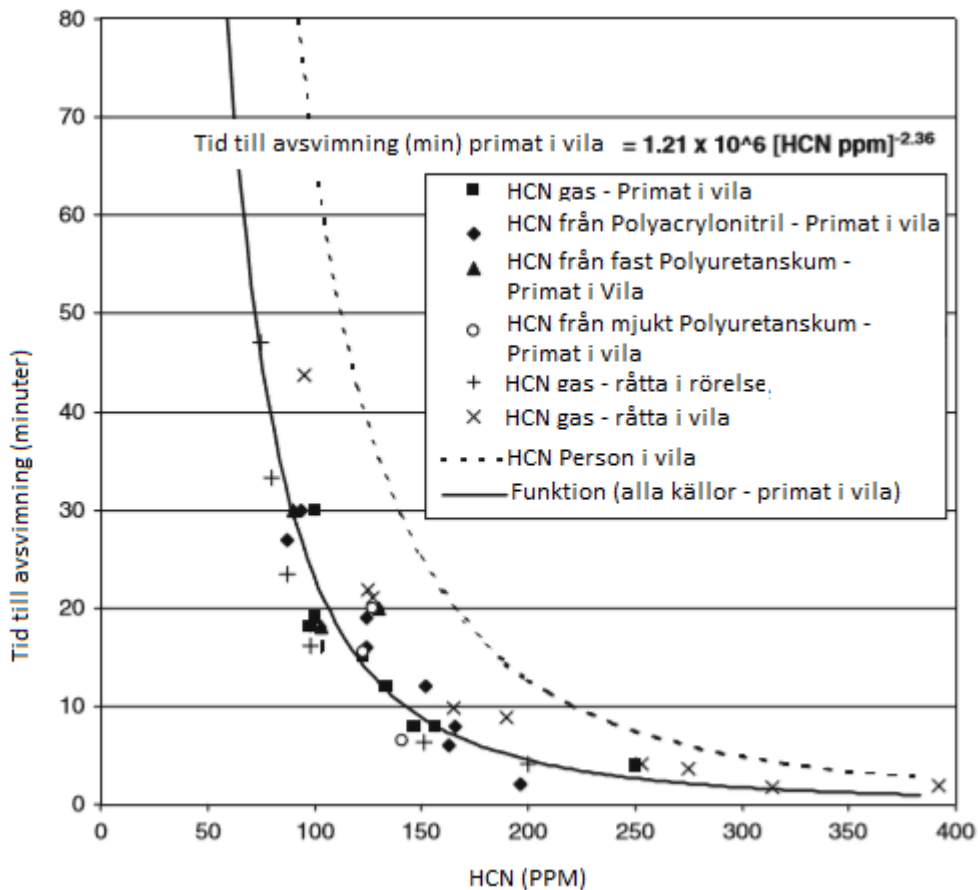
Förbrända- och oförbrända brandgaser innehåller en varierad koncentration av gaser som kan leda till kvävning. Den vanligaste av dessa är Kolmonoxid (CO), som är närvarande i någon omfattning vid alla brandförlopp, oavsett bränsle (McAllister & Purser, 2016). Kolmonoxid binder sig vid hemoglobinet i blodet och försämrar syreupptagningsförmågan.

Koncentrationen i blodet ökar gradvis vid inhalation och dödlig koncentration uppnås vid 50 % bundet kolmonoxid i blodet (McAllister & Purser, 2016). Svimning kan inträffa redan vid 30-40 % bundet kolmonoxid. I Figur 16 redovisas tid till avsvimning för en person vid olika aktivitetsnivåer.



Figur 16 Tid till avsvimning vid olika aktivitetsnivåer och koncentration kolmonoxid i inandningsluft för en person vägandes 70kg. Linje A visar en person i vila, linje B visar en person vid liten ansträngning och linje C visar en person vid en större ansträngning. Baserad på figur ur McAllister & Purser (2016).

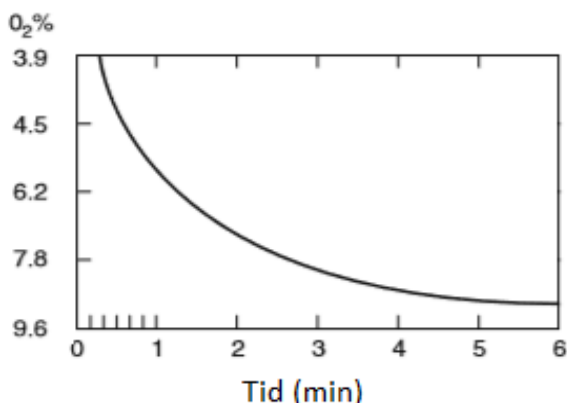
En annan vanlig gas som bildas under ett brandförlopp är vätecyanid (HCN). Denna gas bildas dock enbart då kväve deltar i förbränningen på något sätt. Vätecyanid leder till liknande konsekvenser som kolmonoxid men konsekvenserna inträffar mycket snabbare. Exempelvis leder en koncentration av 100 ppm i andningsluften till avsvimning inom 23-30 minuter. En koncentration av 200 ppm kan leda till avsvimning inom 2 minuter och om koncentrationen överstiger 300 ppm kan dödsfall inträffa snabbt (McAllister & Purser, 2016).



Figur 17 Uppmätt tid till avsvimning för primater och råttor samt uppskattad tid för människor i vila, vägandes 70 kg. Baserad på figur ur McAllister & Purser (2016).

I Figur 17 anges en uppskattad tid till avsvimning vid olika koncentrationer vätecyanid. Det ska tilläggas att värdena är uppskattade för människor i vila. För människor vid lätt arbetsbelastning antas samma värden gälla som för vilande primater (McAllister & Purser, 2016).

Kvävning kan även uppstå på grund av för låga koncentrationer syre ( $O_2$ ) i luften eller för hög koncentration koldioxid ( $CO_2$ ). Studier har visat att svåra konsekvenser så som nedsatt omdömesförmåga och apati, uppstår hos människor när koncentrationen syre understiger 10 - 12 % (McAllister & Purser, 2016). Under 10 % syre i luften leder till avsvimning hos människor och i Figur 18 anges tid till avsvimning vid olika halter syre i luften.



Figur 18 Tid till avsvimning vid olika koncentrationer syre i luften. Baserad på figur ur McAllister & Purser (2016).

För koldioxid gäller, precis som för kolmonoxid, att den närvarar i någon omfattning i alla bränder. Dock krävs en förhållandevis hög koncentration koldioxid innan någon konsekvens uppfattas hos den utsatta (McAllister & Purser, 2016).

Utöver att verka kvävande vid höga koncentrationer har koldioxid en andningsstimulerande effekt vid lägre koncentrationer, vilket kan leda till snabbare intag av andra toxiska gaser, exempelvis kolmonoxid och vätecyanid (McAllister & Purser, 2016).

### 3.3.2 Fractional effective dose

Vid ett brandförlopp exponeras personer för flera av ovan nämnda produkter som tillsammans kan ha en additiv effekt. Av den anledningen har Fractional effective dose, FED, tagits fram (McAllister & Purser, 2016). FED baseras på konceptet att olika gaser med liknande konsekvens bidrar till denna. Därför kan till exempel avsvimning inträffa vid en lägre inhalerad dos än visat i avsnitten ovan. Genom att beräkna fraktionen effektiv dos för respektive gas personer exponeras för kan dessa summeras och ett värde för toxiciteten erhållas (McAllister & Purser, 2016).

I FDS beräknas FED-värdet i enlighet med en metod utvecklad av Purser, där hänsyn tas till koncentrationer av gaserna CO, HCN, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub> och irriteranter (McAllister & Purser, 2016). I detta examensarbete antas endast koncentrationerna av gaserna CO, CO<sub>2</sub>, HCN och O<sub>2</sub> påverka FED-värdet, då dessa gaser är de som är bidragande till kvävning, vilket är den kritiska parameter som undersöks (Hurley, 2016). FED-värdet beräknas i FDS enligt:

$$FED = (FED_{CO} + FED_{HCN}) \times HV_{CO_2} + FED_{O_2} \quad \text{Ekvation 9}$$

Vardera FED-värde i ekvation 9 beräknas i FDS enligt:

$$FED_{CO} = \int_0^t 2.764 \times 10^{-5} (C_{CO}(t))^{1.036} dt \quad \text{Ekvation 10}$$

$$FED_{HCN} = \int_0^t \left( \frac{1}{220} \exp\left(\frac{C_{HCN}(t)}{43}\right) - 0.0045 \right) dt \quad \text{Ekvation 11}$$

$$FED_{O_2} = \int_0^t \left( \frac{dt}{\exp[8.13 - 0.54(20.9 - C_{O_2}(t))]} \right) dt \quad \text{Ekvation 12}$$

Koldioxid ökar andningsfrekvensen vid inandning, vilket ökar inandning av övriga gaser som bidrar till kvävning.  $HV_{CO_2}$  är den hyperventilationsfaktor som koldioxid bidrar med och beräknas enligt:

$$HV_{CO_2} = \frac{\exp(0.1903C_{CO_2}(t)+2.0004)}{7.1} \quad \text{Ekvation 13}$$

Ett FED-värde på 1 representerar medianen av fördelningen av koncentrationer som leder till avsvimning, det vill säga att hälften av en undersökt population kan förväntas ha svimmat (Hurley, 2016, s. 2415). Det bedömdes sannolikt att cirka 11.3% av populationen var påverkade vid ett FED-värde på 0.3 (Hurley, 2016). I och med att individuell känslighet varierar i populationer anses alltså inte alltid medianvärdet vara konservativt nog, utan 0.3 kommer även betraktas som kritiskt gränsvärde för FED då värdet indikerar påverkan hos den mer känsliga delen av populationen. Nystedt (2011) skriver även att FED-värde på 0.3 rekommenderas utgöra kritisk nivå enligt flertalet handböcker, vilket ytterligare styrker detta antagande.

### 3.3.3 Värmepåfrestning

Vid alla brandförlopp utvecklas en stor mängd värme som leder till en temperaturhöjning i påverkade rum. Stor del av denna värme transporteras till ett varmare brandgaslager. Brandgaslagret kommer tillsammans med flammorna från branden avge värme i form av strålning till omgivningen. Denna temperaturhöjning samt strålning kan leda till svåra skador och i värsta fall dödsfall hos personer som befinner sig i ett påverkat utrymme.

Att vistas i en miljö med förhöjd temperatur kan leda till värmeslag samt brännskador på kropp och i andningssystemet. Rörande värmeslag inträffar detta vid förhöjd kroppstemperatur. När kroppstemperaturen når 40 °C börjar medvetandegraden sjunka och vid en kroppstemperatur på 42,5 °C inträffar dödsfall (McAllister & Purser, 2016). För att värmeslag ska vara det främsta problemet krävs dock temperaturer i intervallet 80 °C till 120 °C. För temperaturer överstigande 120 °C blir värmeslag sekundärt och brännskador på kroppen blir det största problemet för personer i brandrummet. En person som utsätts för temperaturer som överstiger 120 °C kan antas ådra sig brännskador som kan leda till dödsfall, antingen under exponering eller kort därefter (McAllister & Purser, 2016). Detsamma gäller när infallande strålning på utsatt kroppsdel blir för hög (McAllister & Purser, 2016). Begränsande villkor för infallande strålning anges i Tabell 1.

Tabell 1 Toleranstider för olika strålningsnivåer (McAllister & Purser, 2016).

Värmetransportsätt	Intensitet	Toleranstid
Strålning	<2,5 kW/m <sup>2</sup>	>5 min
	2,5 kW/m <sup>2</sup>	30 s
	10 kW/m <sup>2</sup>	4 s

De gränsvärden som definieras rörande värmepåfrestning kommer därför baseras på nivåer som kan vara skadliga vid kortare exponering. Därför kommer en strålningsnivå på 2.5 kW/m<sup>2</sup> väljas som kriterium då toleranstiden går ner till 30 sekunder vid denna nivå.

Den temperatur som ansätts som gränsvärde är den temperatur som antas kunna leda till dödsfall under och efter exponering. Därför kommer 120 °C ansättas som temperaturgränsvärde i detta examensarbete.

### 3.3.4 Irritanter

En del av de gasformiga produkter som bildas vid ett brandförlopp kan vid en viss koncentration vara irriterande för ögon och andningssystemet. Ett exempel på detta är väteklorid (HCl), som bildas vid förbränning av vissa bränslen, exempelvis PVC (Purser, 2016). Människor upplever svår irritation när koncentrationen HCl i luften uppgår till 100 ppm, vilket leder till kraftigt försvårad utrymning för exponerade individer (Purser, 2016). Då detta inte är en direkt fara för människors liv och hälsa undersöks inte irriteranter i examensarbetet.

### 3.3.5 Sikt

När ett brandförlopp pågår bildas, utöver värmeutvecklingen och gasbildningen, sotpartiklar som bidrar till att försämra siktbarheten i brandutrymmet. I Nystedt (2011) går att läsa att för 5 respektive 10 meters sikt når toxiciteten inte någon vidare kritisk nivå, varför sikt inte kommer undersökas i examensarbetet.



3.3.6 Identifiering av konsekvenser vid brand som utgör fara för människors liv och hälsa  
Följande konsekvenser vid brand i bostäder som utgör fara för människors liv och hälsa har identifierats:

- Kvävning
- Värmepåfrestning

Sikttnedsättningen och irritation i ögon och andningssystem ansågs framförallt påverka utrymningsmöjligheterna och är därför inte en faktor som utgör fara för människors liv och hälsa i sig, så som detta examensarbete syftar på.

Med fara för människors liv och hälsa menades i detta examensarbete följande:

- Att den som utsätts för kvävningsförhållanden ska svimma vid ett specifikt gränsvärde
- Att den exponerade utsätts för temperaturer som kan antas leda till dödsfall
- Att den exponerade utsätts för infallande strålning som leder till en toleranstid understigande 30 sekunder

För kvävningsförhållanden är gränsvärdet uppnått för en känsligare population då uppmätt FED-värde uppgår till 0.3 och för en medianpopulation när FED-värdet är lika med 1.0. Gränsvärdet för temperaturer som antas kunna leda till skador är satt till 120 °C. Rörande infallande strålning har detta gränsvärde satts till 2.5 kW/m<sup>2</sup>.

Möjligheten för brandgaser att sprida sig i ett utrymme, temperatur och strålning bedöms vara faktorer som påverkar konsekvenser vid brand i utrymmet.



## 4 Konsekvensskattning

I detta avsnitt genomförs en identifiering av parametrar relaterade till planlösningen som kan ha effekt på konsekvenser vid brand i bostäder. De parametrar som är möjliga att studera med de beskrivna handberäkningsmetoderna (se avsnitt 2.1) undersöks först. Resterande parametrar studeras sedan med simuleringar i CFAST.

### 4.1 Parameteridentifiering

I detta avsnitt identifieras parametrar relaterat till planlösningar i bostäder som påverkar konsekvenser vid brand.

Som kan avläsas i avsnitt 3.3.6 leder exponering för dessa konsekvenser vid brand antingen till avsvimning eller att man utsätts för värmepåfrestning som kan vara skadlig vid kortare exponering.

Möjligheten för brandgaser att sprida sig i ett utrymme, temperatur och strålning bedöms vara faktorer som påverkar tid tills att kritiska nivåer uppkommer vid brand. Då huvudsyftet är att utvärdera planlösningars eventuella påverkan på brandförloppet i en bostad identifieras därför parametrar relaterat till en bostads planlösning som kan komma att begränsa dessa faktorer: brandgasers spridning i bostäder, temperaturutveckling och strålningsnivåer. I avsnitt 2.1 presenteras handberäkningsmetoder för rökspridning och inga metoder för temperatur redovisas. Anledningen till detta är att en ökad rökspridning leder till att fler varma brandgaser sprids, vilket implicerar en påverkan av temperaturspridning i påverkade utrymmen.

Dörrhöjd- och bredd, takhöjd och golvarea är alla parametrar som ingår i handberäkningar i avsnitt 2.1 och anses därför vara parametrar som påverkar faktorer nämnda ovan. Dessa gäller för brandrummet, men i och med att förhållanden i angränsande rum beror av förhållandena i brandrummet så bör dessa vara viktiga även i angränsande rum. Det finns sannolikt även andra parametrar som påverkar, men eftersom de ingår i handberäkningsuttrycken bör de vara de parametrar som har störst påverkan. Rumsindelning och rumsplacering identifieras kvalitativt kunna ha en påverkan på dessa faktorer vid analys av planlösningarna i avsnitt 3.2. Sammantaget analyseras följande parametrar:

- Dörrhöjd
- Dörrbredd
- Takhöjd
- Golvarea
- Rumsindelning
- Rumsplacering

Dessa parametrars påverkan utvärderas vidare kvantitativt i avsnitt 4.2 samt 4.3 nedan.

### 4.2 Konsekvensskattning med handberäkningsmetoder

Nedan presenteras resultaten från konsekvensskattning med handberäkningsmetoder.

Använda handberäkningsmetoder beskrivs mer utförligt i avsnitt 2.1. För beräkningar och ingående parametrar se Bilaga 1 – Handberäkningar.

Vid utförda beräkningar har vissa ingående parametrar hållits konstanta, medan de parametrar som undersökts (se lista ovan) varierats för att se hur de påverkar tid till rökfyllnad och

brandgaslagrets höjd (beroende på vilken handberäkningsmetod som avses). I Tabell 2 redovisas de förutbestämda egenskaperna hos den brand som användes vid handberäkningarna. Beräkningar har utförts vid förhållanden som uppfyller BBRs krav på takhöjd samt dörrhöjd och -bredd. Detta resultat användes som index för att jämföra påverkan vid variation av parametrarna som undersöks.

Brandens effektutveckling ansattes till 500 kW för att flammhöjden  $L$  ska överstiga brandgaslagrets höjd  $Z_{int}$  (och därav även  $Z$ ) för handberäkningsuttrycket vid beräkning av brandgaslagrets höjd. Detta gjordes för att plymmodellen ska vara giltig, se Ekvation 1 i avsnitt 2.1. Brandens diameter ansattes till 0.8 meter för att erhålla en cirkulär area på 0.5 kvadratmeter. Detta var nödvändigt för att HRRPUA skulle bli 1000 kW/m<sup>2</sup>, vilket var det värde som avrundat låg närmast HRRPUA som används senare i FDS simuleringarna.

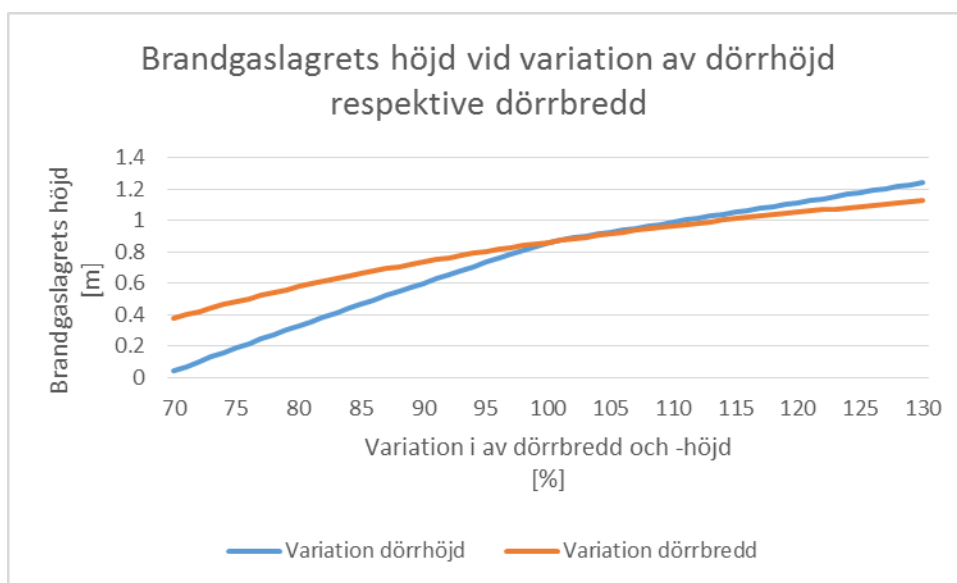
Tabell 2 Brandens egenskaper vid utförda handberäkningar.

Variabel	Värde
<b><math>\dot{Q}</math> brandens effektutveckling</b>	500 kW
<b>Brandens diameter</b>	0.80 meter
<b>Brandens area</b>	0.50 m <sup>2</sup>

#### 4.2.1 Dörrhöjd- och bredd

Vid variation av dörrbredd och dörrhöjd gav detta ett likvärdigt resultat. Handberäkning av standardfallet med Johansson, Svensson och van Hees metod erhöles brandgaslagrets höjd till 0.864 meter. Vid en ökad dörrhöjd på 0.20 meter erhålls ett brandgaslager på 0.976 meter över golv. Med en ökad dörrbredd på 0.20 meter erhålls ett brandgaslager på 0.975 meter över golv. Ökades dörrhöjden eller dörrbredden med 0.20 meter stiger brandgaslagret i utrymmet alltså med cirka 19 procent i båda fallen.

Variationer av brandgaslagrets höjd presenteras även grafiskt i Figur 19 där dörrhöjd respektive dörrbredd varierades enskilt. Dörrhöjden har något större påverkan på brandgaslagrets höjd i jämförelse med dörrbredden.



Figur 19 Brandgaslagrets höjd vid procentuell variation av dörrhöjd respektive dörrbredd.

Dörrhöjd- och bredd har en påverkan på brandgaslagrets höjd, varför dessa undersöktes som separata parametrar i FDS.

#### 4.2.2 Takhöjd och golvarea

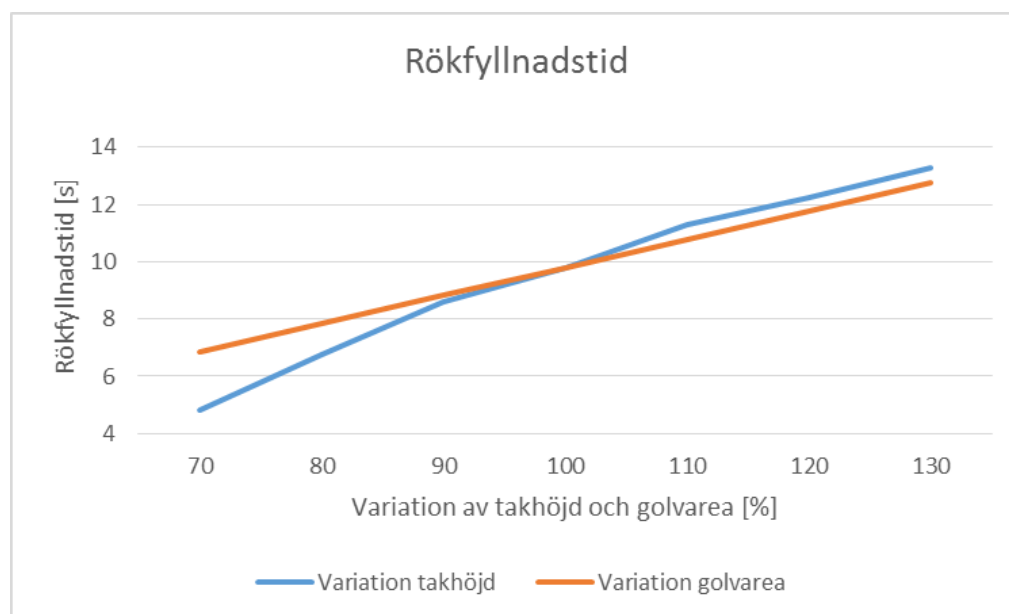
Handberäkning med Zukoskis metod erhöll en tid till rökfyllnad på 9.80 sekunder. Om takhöjden ökas från 2.40 meter till 2.60 meter erhålls i stället en rökfyllnadstid på 11.2 sekunder och en tidsökning på 14 procent.

För att undersöka golvareans eventuella påverkan av rökfyllnadstiden till i ett utrymme har även handberäkningar enligt Zukoskis metod utförts. Arealen varieras med parametern  $S$  medan de andra parametrarna i beräkningen hålls konstanta. Två punktberäkningar genomfördes.

En ökning av rumsbredden med 0.20 meter bidrog till en rökfyllnadstid på 10.62 sekunder och en ökning av tiden med 8.4 procent.

Då totala golvarean i stället ökades med 20 procent ledde det till en rökfyllnadstid på 10.79 sekunder och en ökning av tiden med cirka 10 procent.

Variationer av rökfyllnadstiden presenteras även grafiskt i Figur 20 där takhöjd respektive golvarea varierades enskilt.



Figur 20 Rökfyllnadstid vid variation av takhöjd och golvarea.

Takhöjden har något större påverkan på rökfyllnadstiden i jämförelse med golvarea, varför denna undersöktes som en separat parameter i FDS. Golvarea betraktades i avsnitt 7.3 genom att jämföra standardfallen (simulering 1) för planlösningarna två rum och kök respektive fyra rum och kök.

#### 4.2.3 Rumsplacering

Huruvida rumsplacering påverkar brandsäkerheten i ett utrymme ansågs inte kunna utvärderas med handberäkningsmetoder eller CFAST på ett för analysen relevant sätt. Denna parameter utvärderas i avsnitt 7.5.

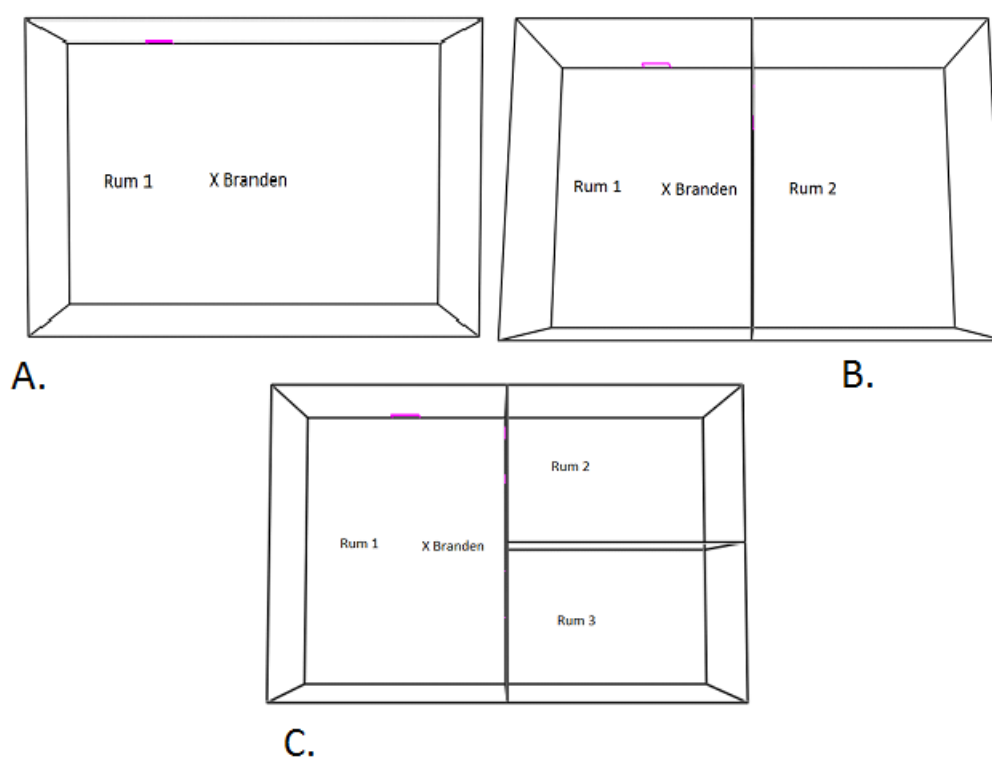
### 4.3 Konsekvensskattning med CFAST

I detta avsnitt redovisas resultaten från den konsekvensskattning som genomförts med modellering i CFAST.

#### 4.3.1 Rumsindelning

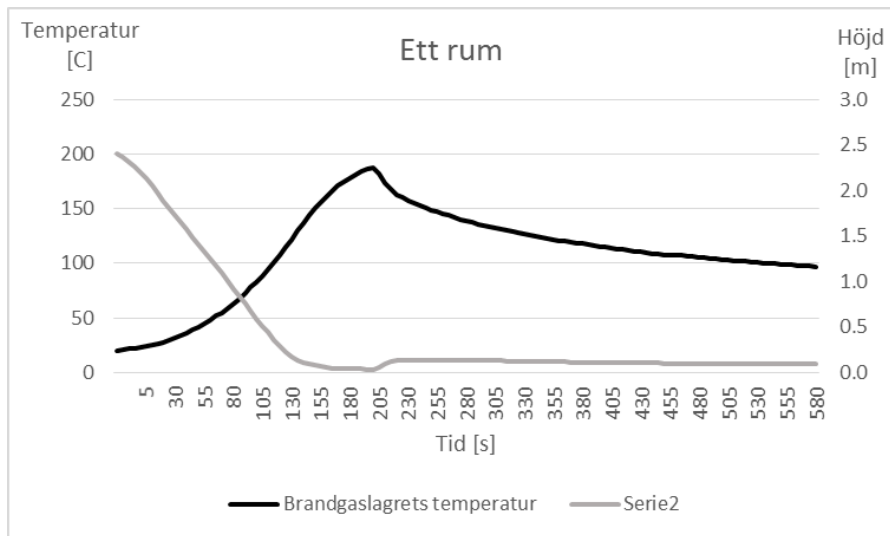
För att undersöka hur rumsindelningen påverkar brandgaslagrets höjd och temperatur har geometrier med identisk rumsvolym modellerats i CFAST. Samma brand som ovan har använts, med tillägget att den har en tillväxtfas, vid simuleringarna och all indata hittas i Bilaga 2 – CFAST-simuleringar.

I Figur 21 illustreras geometrierna som modellerats. I geometri B sammankopplas rum 1 och 2 med en dörr, och i geometri C sammankopplas rum 2 och 3 med rum 1 med en dörr per rum. Samtliga dörrar är 0.8 meter breda och 2.0 meter höga. Rum 1 är i samtliga geometrier sammankopplat med en öppning till det fria för att ventilerat utrymme.

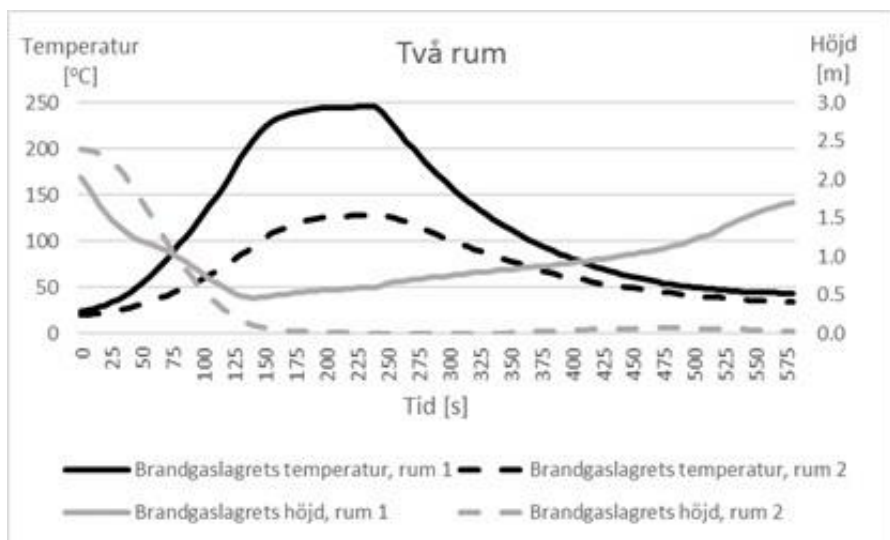


Figur 21 Illustration över geometrierna för simuleringarna med rumsindelning. Rummen sitter ihop med rum 1 med en dörr på 0.80x2 meter. Bild från Smokeview.

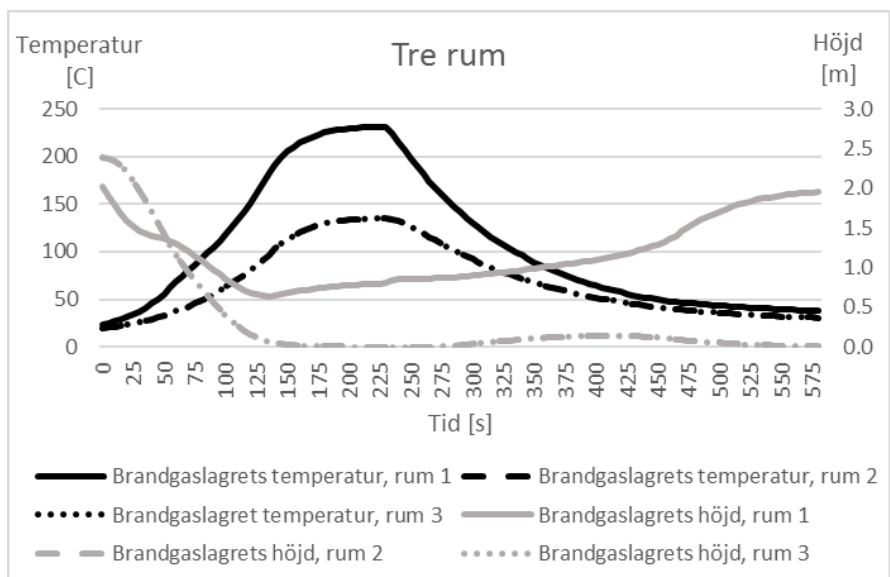
I Figur 22 till Figur 24 redovisas resultatet från utförda simuleringar i CFAST. Diagrammen visar hur brandgaslagrets höjd och temperatur varierar över tid i de olika simuleringarna.



Figur 22 Resultat från simulering A med ett rum.



Figur 23 Resultat från simulering B med två rum.



Figur 24 Resultat från simulering C med tre rum. Linjerna för rum två och rum tre överlappar varandra.

Temperaturen i anslutande rum i både simulering med två och tre rum blir lägre än i brandrummet. Förändring blir större i simulering B än i simuleringen C om man jämför mot simulering A. Då det är två dörrar i simulering C och bara en dörr i simulering B blir en slutsats av detta att större ventilationsarea mellan brandrummet till angränsande rum ger sämre temperaturförhållanden.

Rörande brandgaslagrets höjd går det att läsa ut att en rumsindelning leder till att brandgaslagret inte sjunker ner lika mycket i brandrummet vid simulering B respektive C som i simulering A. Brandgaslagret tycks sjunka snabbare vid simulering C än vid simulering B vilket även i detta fall hänförs till större ventilationsarea mellan rum.

Rumsindelning har en påverkan på brandgaslagrets höjd och temperatur, varför denna undersöktes som separat parameter (med specialfallet öppen planlösning i simulering 2) i FDS.



## 5 Uppställning i FDS

I detta avsnitt beskrivs uppställningen för de olika simuleringarna som utförts i FDS samt hur den representativa branden tagits fram och anpassats till rådande förhållanden.

Planlösningarna två rum och kök och fyra rum och kök har beskrivits ingående i avsnitt 3.2.

### 5.1 Representativ brand

En representativ brand har tagits fram för FDS-simuleringar. Vid framtagandet av denna har en metod som formulerats av Staffansson (2010) använts. Metoden innefattar åtta steg i vilka faktorer som påverkar den representativa branden identifieras, beroende på utrymmets utformning och miljö- och bränsleförhållanden (Staffansson, 2010). Vissa steg i Staffanssons metod ansågs ej vara relevanta för ändamålet, varav dessa frångicks vid framtagandet av den representativa branden. De fem stegen i metoden som följts ses i punktlistan nedan:

1. Branduppkomst
2. Initiala brandegenskaper
3. Ventilationsförhållanden
4. Övertändning
5. Sluttid för brandförloppet

Den representativa branden användes vid simulering 0 för att utvärdera ventilationsförhållanden, eventuella övertändningsförhållanden i brandrummet samt sluttid för brandförloppet, se avsnitt 5.1.3, 5.1.4 och 5.1.5 nedan. Den representativa branden anpassades sedan avseende övertändning i brandrummet och sluttid och effektkurvan i avsnitt 5.1.6 erhöles. Den nya anpassade representativa branden är identisk med den ursprungliga representativa branden bortsett från den maximala effektutvecklingen och sluttid för brandförloppet.

Framtagandet av den representativa branden och den anpassade representativa branden beskrivs kortfattat nedan, steg för steg. För mera detaljerad beskrivning av brandens fysikaliska och kemiska egenskaper samt de använda parametrar och utförda beräkningar relaterat till brandens uppställning i FDS se Bilaga 3 – Representativ brand.

#### 5.1.1 Branduppkomst

Första steget i processen för att ta fram en för bostäder representativ brand är att beskriva brandens uppkomst. Brandens uppkomst kan signifikant påverka brandens initiala egenskaper varav det kan vara nödvändigt att analysera brandens initieringsprocess (Staffansson, 2010). Detta görs med avseende på brandorsak, startutrymme och startföremål.

Med bakgrund i statistik kunde trolig brandorsak, startutrymme och startföremål fastställas. I avsnitt 3.1 presenteras att det vanligaste startutrymme för brand i bostäder är i köket. Man kan dessutom i Figur 4 urskilja att trenden är stigande. Att den representativa branden placerats i köket anses därför vara lämpligt. Statistik för brandorsak och startföremål vid köksbränder ses även i avsnitt 3.1. Detta har legat till grund för framtagandet av brandscenarier.

Tillvägagångssättet för de olika brandscenarier som har tagits fram beskrivs i Bilaga 3 – Representativ brand. Genom sammanvägning av de framtagna scenarierna används medelvärdet av tillväxthastigheterna och maxeffekterna till den representativa branden.

### 5.1.2 Initiala brandegenskaper

I det andra steget i processen fastställdes brandens initiala egenskaper i form av maximal effektutveckling, tillväxthastighet och produktion av förbränningsprodukter ("yields"). Detta genomfördes genom att välja ut fem brandscenarier som ansågs kunna representera en brand i ett kök. Ett medelvärde för den representativa brandens ingående parametrar togs sedan fram från dessa scenarier.

Brandens ingående parametrar kan ses i Tabell 5 i avsnitt 5.1.6.

### 5.1.3 Ventilationsförhållanden

I det tredje steget i processen analyserades ventilationsförhållanden i utrymmet där branden placerats. Ventilationsförhållandena påverkar brandens effektutveckling och produktion av förbränningsprodukter.

Huruvida ventilationsförhållandena var tillräckliga i utrymmena utvärderades i simulering 0. Detta gjordes genom att jämföra utdata från FDS med indata för att se att de överensstämde. I simulering 0 konstaterades att branden blir underventilerad, varför ventilationsarea mot det fria infördes och maxeffekt sänktes till anpassad maxeffekt, se Tabell 4. Mer utförlig beskrivning utav detta ses i avsnitt 5.1.4 nedan samt Bilaga 3 – Representativ brand.

### 5.1.4 Övertändning

I det fjärde steget i processen utvärderades om övertändning kan antas inträffa i brandutrymmet. Övertändning beskrivs som en snabb övergång från en lokal brand till en brand där allt brännbart material i rummet är involverat och att effektutvecklingen vid detta tillfälle momentant ökar till den maximala effekten vid övertändning. Efter övertändning antogs branden vara fullt utvecklad med konstant effekt som beror på ventilationsförhållandena i enlighet med avsnitt 5.1.3 ovan.

Om och när övertändning sker i brandutrymmet har utvärderats i Simulering 0, där brandförloppet simuleras i FDS och övertändning antas ske när temperaturen i övre delen av brandgaslagret uniformt stigit 500-600 °C och när förbränning sker utanför utrymmet (Karlsson & Quintiere, 1999). Tid till övertändning för Simulering 0 ses i Tabell 3 nedan.

Tabell 3 Tid till övertändning i brandrummet i simulering 0.

Simulering	Tid till övertändning [s]
<b>Sim 0, 2 rok</b>	430
<b>Sim 0, 4 rok</b>	430

Vid den tidpunkt då övertändning i brandrummet antas ske har branden i simulering 0 uppnått en viss effekt. Denna effekt, kallad anpassad maxeffekt, antas vara den maximala effekt som branden kan utveckla vid övertändning och är den effekt som användes i simuleringar 1-5, se Tabell 4.

Branden kan utveckla en högre effekt efter övertändning under den fullt utvecklade branden. Då styrs effekten av ventilationsförhållandena. Att simulera detta är dock inte lämpligt att göra i FDS, varför övertändningseffekten betraktas som maxeffekt.

Tabell 4 Anpassad maxeffekt som uppnåddes efter 430 sekunder i simulering 0.

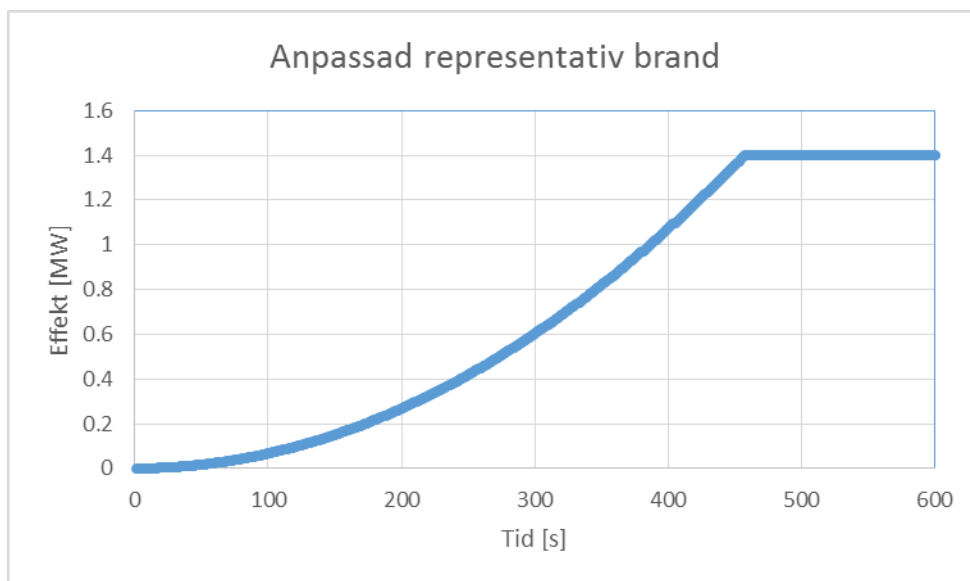
Simulering	Anpassad maximal effekt [kW]
Simulering 1-5, 2 rok	1400
Simulering 1-5, 4 rok	1400

#### 5.1.5 Sluttid för brandförloppet

I det sista steget i processen fastställdes sluttiden för brandförloppet. Då avsvalningsfasen bortses ifrån då bränslet inte ansågs förbrukas innebär det att effektutvecklingen inte avtagit. Sluttid för simulering 0 ansattes till 900 sekunder (15 minuter), då denna period ansågs vara tillräcklig för att undersöka tid till kritiska gränsvärden i geometrierna och brandens karaktär. För simulering 1-5 nyttjades resultat från simulering 0 där kritiska gränsvärden uppkom tidigare än sluttiden för brandförloppet, varvid sluttid ansattes till 600 sekunder (10 minuter).

#### 5.1.6 Anpassad representativ brand

Slutligen erhöles effektkurvan för den anpassade representativa branden som användes i simulering 1-5. Effektkurvan ses i Figur 25.



Figur 25 Effektkurva för anpassad representativ brand som användes i simulering 1-5.

Detaljerade tekniska egenskaper för den anpassade representativa branden ses nedan i Tabell 5.

Tabell 5 Ingående egenskaper hos den anpassade representativa branden.

Anpassad representativ brand	
Maxeffekt [kW]	1400
Beräknad tillväxthastighet [kW/s <sup>2</sup> ]	0.0066982
Materialsammansättning [-]	~70% trä, 30% polyuretan
HRRPUA [kW/m <sup>2</sup> ]	1267
Brandens area, A <sub>f</sub> [m <sup>2</sup> ]	1.21
HRRPUA <sub>anpassad</sub> [kW/m <sup>2</sup> ]	1157
ΔH <sub>c, soffa</sub> [kJ/kg]	22700
ΔH <sub>c, bokhylla</sub> [kJ/kg]	18700
Massflöde polyuretan [kg/m <sup>2</sup> s]	0.0153
Massflöde trä [kg/m <sup>2</sup> s]	0.0433
Spread rate [m/s]	0.00136

## 5.2 Verifiering

Vissa parametrar relaterade till uppställningen i FDS har verifierats att de ligger inom lämpligt intervall. Dessa parametrar var cellstorlek, brandens effektutveckling, temperatur, strålning och strömning. Metoder för att verifiera riktigheten hos dessa parametrar presenteras ingående i Bilaga 4 – FDS verifiering.

I avsnitt 5.2.1 – 5.2.5 nedan presenteras resultaten av verifieringen av de olika parametrarnas riktighet.

### 5.2.1 Cellstorlek

Lämplig cellstorlek beror på vilken analys som ska utföras och hur detta avgörs beskrivs kort i detta avsnitt och vidare i Bilaga 4 – FDS verifiering. Brandens karaktäristiska diameter,  $D^*$ , beräknas för aktuell brand, och divideras sedan med cellernas storlek  $\partial x$  i aktuellt rum. En kvot inom intervallet 5-10 ger ett tillfredsställande resultat, men 15-20 kan vara att föredra i brandutrymmet (Nystedt & Frantzych, 2011). Resultat från de olika simuleringarna ses i Tabell 6 nedan.

Tabell 6 Karakteristisk diameter för branden och dess kvot mot cellstorleken i de olika simuleringarna.

Simulering	Mesh	$D^*$	$D^*/\partial x$
0	Fine	1.2696	25.392
	Coarse	1.2696	12.696
1, 2, 3, 4, 5	Fine	1.10	22
	Coarse	1.10	11

Då kvoten  $D^*/\partial x$  överstiger 10 i hela domänen samt 20 i den mesh där branden simuleras anses cellstorleken vara tillfredsställande i samtliga simuleringar.

### 5.2.2 Brandens effektutveckling

För att verifiera att förhållandet mellan brandens area och effekten som branden utvecklar är tillfredsställande beräknas brandens dimensionslösa effektutveckling,  $Q^*$ . Resultat för samtliga simuleringar presenteras i Tabell 7 nedan.

Tabell 7 Karakteristisk effektutveckling för de olika simuleringarna.

Simulering	$Q^*$
0	0.69
1, 2, 3, 4, 5	0.74

Den karakteristiska effektutvecklingen bör ligga i intervallet 0.3 – 2.5 och eftersom beräknat värde ligger väl inom detta intervall så anses branden vara väl dimensionerad.

Den simulerade brandens effektutvecklingskurva jämfördes med den representativa branden för att undersöka hur väl de passar till varandra. Detta redovisas grafiskt för de båda planlösningarna i Bilaga 4 – FDS verifiering. Effektkurvan för den simulerade branden följde inte den önskade representativa branden i simulering 0. Då denna simulering användes för bland annat utvärdering av effektutvecklingen anpassades denna i vidare simuleringar 1-5. I övrigt följde de simulerade bränderna i simulering 1-5 den önskade anpassade representativa branden på ett tillfredsställande sätt. Samtliga effektkurvor för de simulerade bränderna underskattas något mot slutet av tillfäxtfasen i jämförelse med den anpassade representativa branden, vilket beror på funktionene SPREAD\_RATE i FDS. Mindre avvikelser hos den simulerade branden hänförs till turbulens i simuleringsförloppet.

### 5.2.3 Temperatur och strålning

Flamtemperaturen och temperaturer i brandrummet i övrigt har verifierats. Detta har verifierats för samtliga simuleringar genom att betrakta slicefiles som åskådliggör temperaturer i brandrummet i genomskärning, se Figur 90 och Figur 91 i Bilaga 4 – FDS verifiering.

För samtliga simuleringar ligger temperaturer i flamman och i brandrummet inom acceptabelt intervall.

FDS förinställda beräkningsprocess med 100 strålar ansågs vara tillräckligt för analysen. En utökning av strålantalet var inte ett alternativ då det skulle förlänga simuleringstiderna väsentligt.

### 5.2.4 Strömning

Strömningshastigheter i utrymmena som simulerades har verifierats. Detta verifierades för samtliga simuleringar genom att betrakta slicefiles som åskådliggör strömningshastigheten 1.9 meter ovan golv, se Figur 92 och Figur 93 i Bilaga 4 – FDS verifiering. Slicefiles betraktades efter 460 sekunder då maxeffekt har uppnåtts.

I samtliga simuleringar understiger strömningshastigheter 10 m/s.

För ventilationsarea som beskrivs i avsnitt 5.1.3 säkerställdes att avståndet mellan dem och domängrensens överstiger halva den hydrauliska diametern, som beräknades enligt Ekvation 21 i Bilaga 4 – FDS verifiering.

$$\frac{4 * 0.2 \text{ m}}{2.4 \text{ m}} = 0,33 \text{ m} = \text{Hydraulisk diameter}$$

Avståndet från läckagehålen till domängränserna har därför kontrollerats så att de överstiger  $0.33/2 = 0.167$  meter.

#### 5.2.5 Meshgränser

*Mesh Alignment Test* och att antalet celler i X, Y och Z dimensionerna är faktoriserbara med antingen 2, 3 eller 5 uppfylls i samtliga genomförda simuleringar.

### 5.3 Validering

För att säkerställa hur väl FDS representerar verkliga scenarier är det viktigt att undersöka om FDS är validerat för fall liknande simuleringarna som tänkts genomföras i examensarbetet. Detta har gjorts genom att undersöka två valideringsstudier som genomförts. Den första av dessa två studier har utförts av Nystedt och Frantzich (2011) och behandlar den då aktuella versionen av FDS, version 5. Den andra valideringsstudien har utförts av McGrattan, Overholt och Peacock (2016) och gäller för den nu aktuella FDS version 6. Skillnaden mellan version 5 och 6 beskrivs kortfattat i Bilaga 5 – FDS validering.

Nystedt och Frantzich (2011) beskriver kvalitativt vad FDS kan representera och hur väl detta utförs. De skriver att FDS lämpar sig väl för att undersöka hur rökspridning sker i ett utrymme och bestämning av temperaturer. Dock påpekas att programmet inte representerar flammhöjden väl, att programmet begränsas till välventilerade förhållanden och de indataparametrar användaren använder.

Studien som McGrattan et al. (2016) utfört behandlar jämförelser mellan verkliga experiment och utförda simuleringar som efterliknar dessa. Studien anger värden på de osäkerheter som simuleringar i FDS kan leda till vid förhållanden liknande de som rådde vid experimenten. Värdena på osäkerheterna stärker de kvalitativa argument som Nystedt och Frantzich (2011) gör i sin studie. För en detaljerad beskrivning av studierna hänvisas till Bilaga 5 – FDS validering.

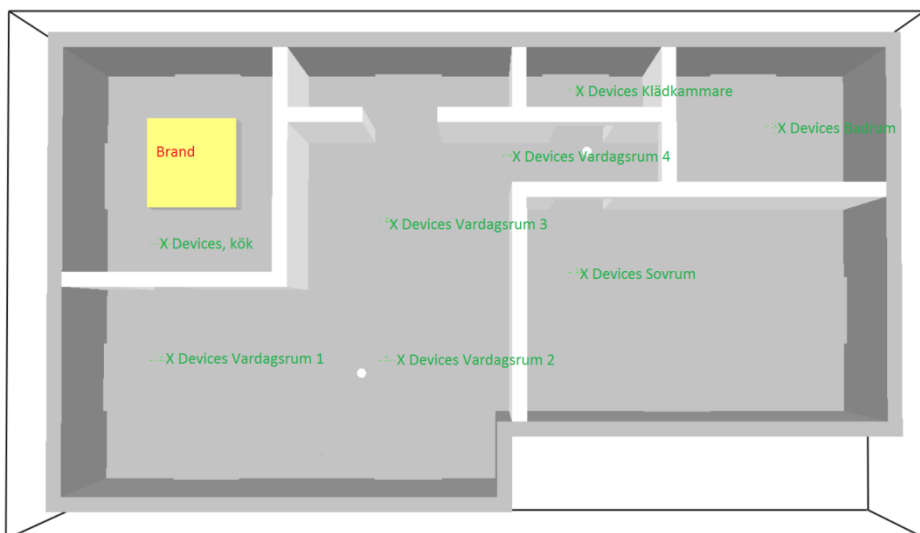
### 5.4 Uppställning

I detta avsnitt beskrivs grunduppställning samt uppställningen för vardera simulerat fall. Fem olika fall togs fram för fallstudien, simulering 1 till simulering 5 i vilka rådande förutsättningar kontrollerat förändras. Ytterligare en simulering utfördes för kontrollsyfte, simulering 0, som också beskrivs nedan.

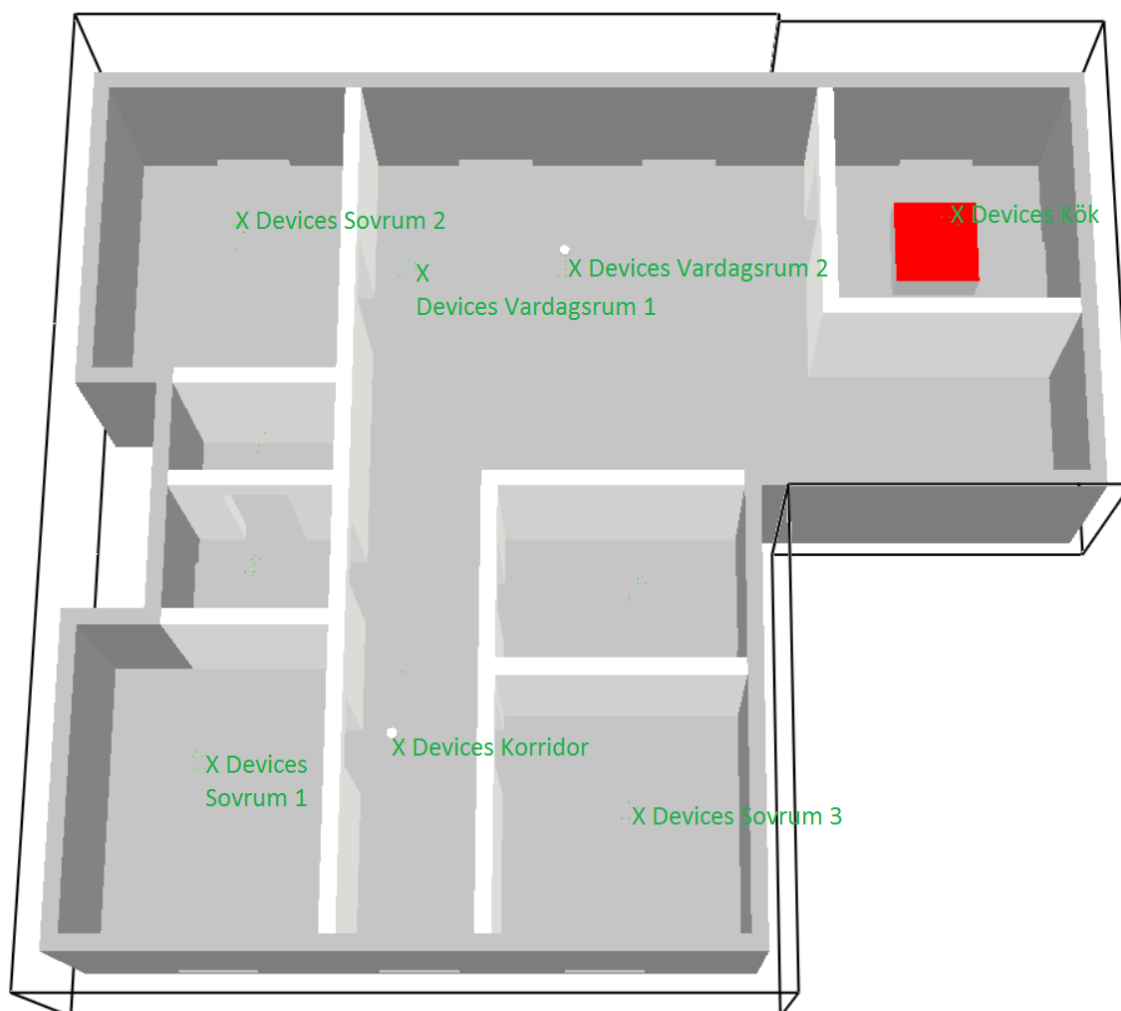
#### 5.4.1 Grunduppställning

Två geometrier har modellerats, två rum och kök samt fyra rum och kök, och grunduppställningen av dessa redovisas här. Samtliga geometrier som simuleras i FDS är dimensionerade så att de uppfyller kravställning i avsnitt 3.2.

Modelleringen baseras på planlösningarna som presenteras i avsnitt 3.2.2. Modellerna presenteras i Figur 26 och Figur 27 nedan.



Figur 26 Presentation av modellen av två rum och kök, utan tak. Illustration från Smokeview.



Figur 27 Presentation av modellen av fyra rum och kök, utan tak. Illustration från Smokeview.

För exakta mått i de båda geometrierna se Bilaga 7 – FDS indata.

Vid uppbyggnaden av modellerna bestämdes material i väggar, golv och tak. Dessa redovisas i Tabell 8.

Tabell 8 Materialegenskaper hos byggnadsdelarna i modellen.

Byggnadsdel	Material	Värmekapacitivet [kJ/(kg*K)]	Värmeledningsförmåga [W/m*K]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Yttervägg</b>	Betong	1.04	1.8	2280
<b>Golv</b>	Betong	1.04	1.8	2280
<b>Innervägg</b>	Gips	1.09	0.17	930

För att få ut relevant utdata placerades ett antal mätpunkter ut i planlösningarna. Vid samtliga mätpunkter koncentrerades mätutrustning enligt Figur 26 och Figur 27 ovan. Namngivning har utgått från var mätpunkter placerats. I Tabell 9 nedan presenteras mätutrustningen som utplacerats i planlösningarna. Motsvarande mätutrustning finns i samtliga markerade mätpunkter i båda planlösningar.

Tabell 9 Presentation av samtliga utplacerade "devices" vid en av mätpunkterna..

Quantity	SPEC_ID
<b>TEMPERATURE</b>	
<b>FED</b>	
<b>FED</b>	
<b>LAYER HEIGHT</b>	
<b>LOWER TEMPERATURE</b>	
<b>UPPER TEMPERATURE</b>	
<b>RADIATIVE HEAT FLUX GAS</b>	
<b>VOLUME FRACTION</b>	HYDROGEN CYANIDE

Flera "slicefiles" placerades även ut med syftet att möjliggöra visualisering av fördelningen och förändringen av specificerade parametrar i ett specifikt tvärsnitt. Följande parametrar mäts:

- Temperatur
- Volymfraktion koldioxid, kolmonoxid, syre, sot, HCN.
- Hastighet
- Tryck

För exakt utplacering av dessa tvärsnitt hänvisas till Bilaga 7 – FDS indata.

För att undvika för stora tryckökningar skapades tio läckageytor i ytterväggarna. Dessa läckageytor bidrar dessutom till att branden håller sig väl ventilerad under simulerat brandförlopp och följer effektutvecklingskurvan för den representativa branden. Läckageytorna fördelades jämnt utmed väggarna i golvhöjd för att minimera påverkan på brandgaslagret som uppstår i simuleringen. Läckageytorna är 0.20 meter breda och 0.20 meter höga.



## 5.4.2 Försökuppställning

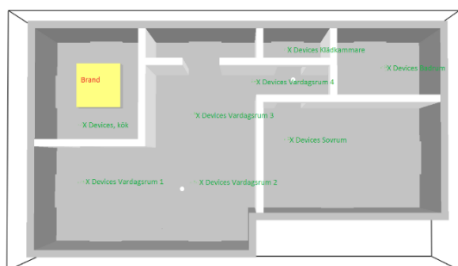
Här presenteras uppställningen för varje utförd simulering. I Tabell 10 nedan förklaras förändringen som utförts mellan varje simulering. Samtliga simuleringar utgår ifrån Simulering 1, slutna planlösning.

Tabell 10 Presentation av de olika simuleringarna

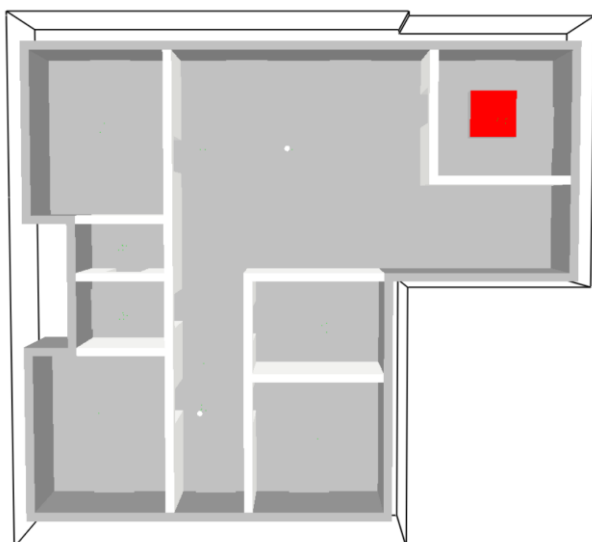
Simulering	Undersökt variabel	Förändring
<b>Simulering 0</b>	Grunduppställning	-
<b>Simulering 1</b>	Slutna planlösning	Ingen, standardfall
<b>Simulering 2</b>	Öppen planlösning	Tagit bort köksavskiljande väggar
<b>Simulering 3</b>	Ökad dörrhöjd	Dörrhöjd ökad från 2.00 till 2.20 meter
<b>Simulering 4</b>	Ökad dörrbredd	Dörrbredd ökad från 0.80 till 1.00 meter
<b>Simulering 5</b>	Öka takhöjd	Takhöjd ökad från 2.40 till 2.60 meter

## 5.4.3 Simulering 0

Den första simuleringen utfördes som en kontrollsimulering med syfte att undersöka ventilationsförhållanden samt tid till övertändning i brandrummet. Geometrin illustreras i Figur 28 och Figur 29 nedan.



Figur 28 Illustration över två rum och kök i simulering 0. Bild från Smokeview.



Figur 29 Illustration över fyra rum och kök i simulering 0. Bild från Smokeview.

I simulering 0 simuleras slutna planlösningar, utförda enligt standardkrav enligt avsnitt 3.2.1 ovan. Dörrhöjd om två meter och dörrbredd 0,80 meter. Takhöjden hålls på standardmått 2.40

meter. I simulering 0 placerades läckageytor ut för att säkerställa goda ventilationsförhållanden samt för att undvika tryckförhållanden som FDS inte kan modellera.

#### 5.4.4 Simulering 1

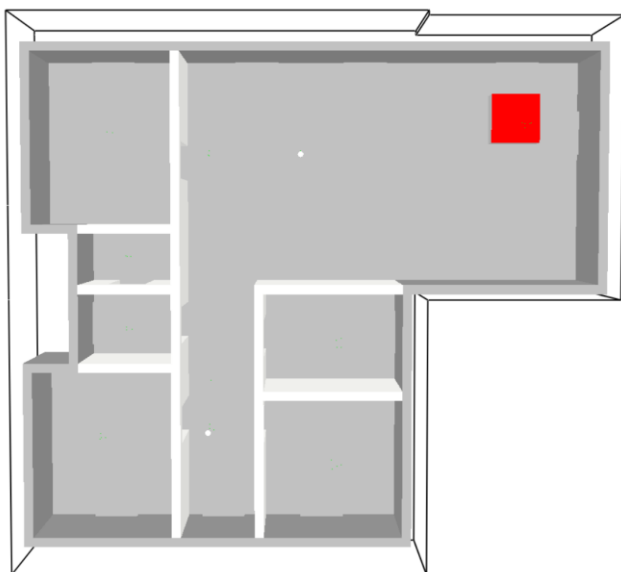
Simulering 1 utfördes med samma förhållanden som beskrivet i simulering 0 ovan, se Figur 28 och Figur 29. Dock med den anpassade branden som tagits fram efter simulering 0. Resultaten från simulering 1 användes därefter som standardfall vid den jämförande analysen.

#### 5.4.5 Simulering 2

Simulering 2 utfördes som en öppen planlösning där rumsavskiljande väggar mellan kök och vardagsrum tagits bort. I övrigt behålls simulerade geometrierna som de såg ut i simulering 1. Geometrierna illustreras i Figur 30 och Figur 31 nedan.



Figur 30 Illustration över den öppna planlösningen för två rum och kök simulering 2. Bild från Smokeview.



Figur 31 Illustration över den öppna planlösningen för fyra rum och kök simulering 2. Bild från Smokeview.

#### 5.4.6 Simulering 3

I simulering 3 utfördes en sluten planlösning så som den utfördes i simulering 1 (se Figur 25 och Figur 26), med skillnaden att höjden på samtliga dörrar ökats från 2.0 meter till 2.2 meter.

#### 5.4.7 Simulering 4

Simulering 4 utfördes som simulering 1 men med breddade dörrar så att dörrbredd uppgår till 1.0 meter för samtliga dörrar, det vill säga att dörrbredden ökats från 0.8 meter till 1.0 meter.

#### 5.4.8 Simulering 5

Uppställningen på den sista simuleringen följde simulering 1 med skillnaden att takhöjden höjts från 2.4 till 2.6 meter.



## 6 Resultat FDS

I detta avsnitt presenteras resultaten från utförda simuleringar i FDS.

Resultat presenteras i form av tid till kritiska nivåer för ”devices” utplacerade i mätpunkter i de rum som undersökts. Tid till kritiska gränsvärden har angetts vid det tidssteg då gränsvärdet för första gången har uppnåtts eller överstigits. Detta har för temperatur och strålning utlästs ur tidsgenomsnittlig data. Samtliga mätpunkter är placerade på en höjd om 1.8 meter. Resultatet för vardagsrum är utläst ur mätpunkten ”Vardagsrum 2”.

Resultat presenteras mer ingående i Bilaga 6 – FDS resultat.

Förutsättningarna för simulering 1-5 samt beskrivningar av uppställning av geometrier och devices beskrivs mer ingående i avsnitt 5.4.

### 6.1 Två rum och kök

#### 6.1.1 Simulering 1

I Tabell 11 nedan redovisas uppmätt tid tills kritiska nivåer uppnås i simulering 1, standardfallet.

Tabell 11 Tid tills kritiskt gränsvärde har uppnåtts i simulering 1, två rum och kök.

Utrymme	FED = 0.3	FED = 1.0	Temperatur = 120 °C	Strålning = 2.5 kW/m <sup>2</sup>
<b>Vardagsrum</b>	367 s	433 s	232 s	591 s
<b>Sovrum</b>	432 s	492 s	484 s	Uppnås ej
<b>Badrum</b>	400 s	462 s	473 s	Uppnås ej

#### 6.1.2 Simulering 2

I Tabell 12 nedan redovisas uppmätt tid tills kritiska nivåer uppnås i simulering 2, öppen planlösning.

Tabell 12 Tid tills kritiskt gränsvärde har uppnåtts i simulering 2, två rum och kök.

Utrymme	FED = 0.3	FED = 1.0	Temperatur = 120 °C	Strålning = 2,5 kW/m <sup>2</sup>
<b>Vardagsrum</b>	354 s	416 s	199 s	398 s
<b>Sovrum</b>	407 s	459 s	410 s	Uppnås ej
<b>Badrum</b>	400 s	418 s	299 s	571 s

#### 6.1.3 Simulering 3

I Tabell 13 nedan redovisas tid tills kritiska nivåer uppnås i simulering 3, ökad dörrhöjd.

Tabell 13 Tid tills kritiskt gränsvärde har uppnåtts i simulering 3, två rum och kök.

Utrymme	FED = 0.3	FED = 1	Temperatur = 120 °C	Strålning = 2.5 kW/m <sup>2</sup>
<b>Vardagsrum</b>	368 s	434 s	225 s	563 s
<b>Sovrum</b>	432 s	499 s	Uppnås ej	Uppnås ej
<b>Badrum</b>	393 s	460 s	412 s	Uppnås ej

#### 6.1.4 Simulering 4

I Tabell 14 nedan redovisas uppmätt tid tills kritiska nivåer uppnås i simulering 4, ökad dörrbredd.

Tabell 14 Tid tills kritiskt gränsvärde har uppnåtts i simulering 4, två rum och kök.

Utrymme	FED = 0.3	FED = 1.0	Temperatur = 120 °C	Strålning = 2.5 kW/m <sup>2</sup>
<b>Vardagsrum</b>	368 s	434 s	223 s	547 s
<b>Sovrum</b>	433 s	463 s	518 s	Uppnås ej
<b>Badrum</b>	399 s	494 s	454 s	Uppnås ej

#### 6.1.5 Simulering 5

I Tabell 15 nedan redovisas uppmätt tid tills kritiska nivåer uppnås i simulering 5, ökad takhöjd.

Tabell 15 Tid tills kritiskt gränsvärde har uppnåtts i simulering 5, två rum och kök.

Utrymme	FED = 0.3	FED = 1	Temperatur = 120 °C	Strålning = 2.5 kW/m <sup>2</sup>
<b>Vardagsrum</b>	383 s	448 s	259 s	Uppnås ej
<b>Sovrum</b>	445 s	506 s	527 s	Uppnås ej
<b>Badrum</b>	414 s	478 s	500 s	Uppnås ej

## 6.2 Fyra rum och kök

#### 6.2.1 Simulering 1

I Tabell 16 nedan redovisas uppmätt tid tills kritiska nivåer uppnås i simulering 1, standardfallet.

Tabell 16 Tid tills kritiskt gränsvärde har uppnåtts i simulering 1, fyra rum och kök.

Utrymme	FED = 0.3	FED = 1.0	Temperatur = 120 °C	Strålning = 2.5 kW/m <sup>2</sup>
<b>Vardagsrum</b>	436 s	527 s	350 s	Uppnås ej
<b>Sovrum 1</b>	485 s	575 s	Uppnås ej	Uppnås ej
<b>Sovrum 2</b>	470 s	559 s	Uppnås ej	Uppnås ej
<b>Sovrum 3</b>	487 s	574 s	Uppnås ej	Uppnås ej
<b>Badrum</b>	469 s	560 s	Uppnås ej	Uppnås ej

### 6.2.2 Simulering 2

I Tabell 17 nedan redovisas uppmätt tid tills kritiska nivåer uppnås i simulering 2, öppen planlösning.

Tabell 17 Tid tills kritiskt gränsvärde har uppnåtts i simulering 2, fyra rum och kök.

Utrymme	FED = 0.3	FED = 1.0	Temperatur = 120 °C	Strålning = 2,5 kW/m <sup>2</sup>
<b>Vardagsrum</b>	419 s	513 s	233 s	498 s
<b>Sovrum 1</b>	466 s	550 s	565 s	Uppnås ej
<b>Sovrum 2</b>	442 s	522 s	408 s	Uppnås ej
<b>Sovrum 3</b>	465 s	549 s	495 s	Uppnås ej
<b>Badrum</b>	458 s	545 s	507 s	Uppnås ej

### 6.2.3 Simulering 3

I Tabell 18 nedan redovisas uppmätt tid tills kritiska nivåer uppnås i simulering 3, ökad dörrhöjd.

Tabell 18 Tid tills kritiskt gränsvärde har uppnåtts i simulering 3, fyra rum och kök.

Utrymme	FED = 0.3	FED = 1.0	Temperatur = 120 °C	Strålning = 2,5 kW/m <sup>2</sup>
<b>Vardagsrum</b>	439 s	532 s	331 s	Uppnås ej
<b>Sovrum 1</b>	476 s	568 s	Uppnås ej	Uppnås ej
<b>Sovrum 2</b>	453 s	543 s	Uppnås ej	Uppnås ej
<b>Sovrum 3</b>	477 s	567 s	529 s	Uppnås ej
<b>Badrum</b>	466 s	559 s	Uppnås ej	Uppnås ej

### 6.2.4 Simulering 4

I Tabell 19 nedan redovisas uppmätt tid tills kritiska nivåer uppnås i simulering 4, ökad dörrbredd.

Tabell 19 Tid tills kritiskt gränsvärde har uppnåtts i simulering 4, fyra rum och kök.

Utrymme	FED = 0.3	FED = 1.0	Temperatur = 120 °C	Strålning = 2,5 kW/m <sup>2</sup>
<b>Vardagsrum</b>	439 s	530 s	330 s	Uppnås ej
<b>Sovrum 1</b>	485 s	575 s	559 s	Uppnås ej
<b>Sovrum 2</b>	464 s	551 s	Uppnås ej	Uppnås ej
<b>Sovrum 3</b>	482 s	570 s	Uppnås ej	Uppnås ej
<b>Badrum</b>	470 s	560 s	486 s	Uppnås ej

### 6.2.5 Simulering 5

I Tabell 20 nedan redovisas uppmätt tid tills kritiska nivåer uppnås i simulering 5, ökad takhöjd.

Tabell 20 Tid tills kritiskt gränsvärde har uppnåtts i simulering 5, fyra rum och kök.

Utrymme	FED = 0.3	FED = 1.0	Temperatur = 120 °C	Strålning = 2,5 kW/m <sup>2</sup>
<b>Vardagsrum</b>	447 s	544 s	368 s	Uppnås ej
<b>Sovrum 1</b>	507 s	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
<b>Sovrum 2</b>	494 s	587 s	Uppnås ej	Uppnås ej
<b>Sovrum 3</b>	505 s	598 s	Uppnås ej	Uppnås ej
<b>Badrum</b>	490 s	583 s	Uppnås ej	Uppnås ej



## 7 Analys

I detta avsnitt har en analys av resultat som presenteras i Bilaga 6 – FDS resultat genomförts. Detta presenteras i form av tabeller som anger de procentuella skillnaderna i tid tills kritiska gränsvärden uppnås för undersökta parametrar. Diagram som redovisar kvoter mellan uppmätta värden i aktuell simulering och simulering 1 presenteras också. Detta genomförs för öppen planlösning, dörrhöjd dörrbredd samt takhöjd.

Rumsplacering undersöks genom att analysera resultat från simulering 1 från planlösningen fyra rum och kök, då denna planlösning har flera rum som kan betraktas. Tid till dess att kritiska gränsvärden uppnåtts i samtliga rum jämförs mot vardagsrummet i simulering 1, då detta rum är närmst beläget brandrummet.

Golvarea undersöks genom att betrakta resultat från simulering 1 för planlösningarna fyra rum och kök respektive två rum och kök. Resultatet för tid tills uppnått gränsvärde i vardagsrum jämförs kvantitativt genom att redovisa kvoten för vardagsrum i två rum och kök respektive fyra rum och kök. För övriga rum undersöks tid till kritiska gränsvärden semikvantitativt.

Resultat i tvärsnitt 1.8 meter ovan golv presenteras även för simuleringar där detta ansågs vara illustrativt för resultatet.

Samtliga grafer med kvoter mellan olika simuleringsresultat presenteras från 200 sekunder, eftersom att resultaten efter detta tidssteg är mer stationärt och därav även mer överskådligt. Skalan på y-axeln anpassas efter specifikt resultat för att åskådliggöra detta på bästa sätt och varierar därför mellan graferna.

### 7.1 Två rum och kök

I följande avsnitt presenteras fallstudiens resultat för planlösningen två rum och kök.

#### 7.1.1 Inverkan av öppen planlösning

I följande avsnitt presenteras jämförelsen mellan simulering 2 och simulering 1.

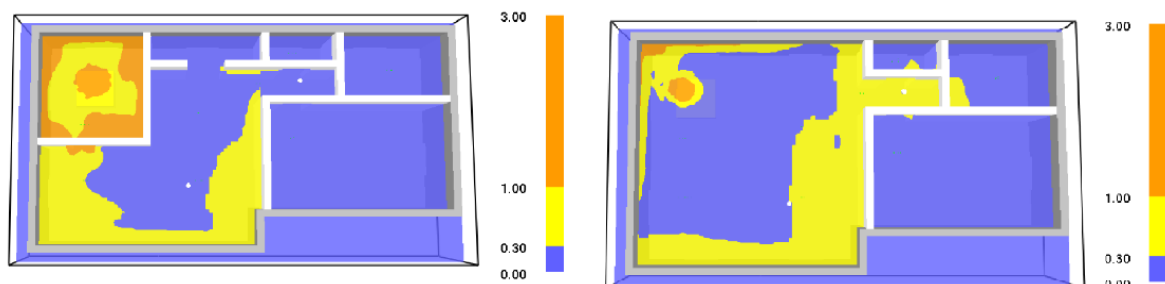
Procentuell förändring av tid till dess att kritiska gränsvärden uppnåtts för öppen planlösning i två rum och kök jämfört med simulering 1 ses i Tabell 21.

*Tabell 21 Procentuell förändring av tid tills dess att kritiskt gränsvärde har uppnåtts för parametrarna för simulering 2, två rum och kök. Markören X innebär att kritiskt gränsvärde uppnås i simulering 2 men ej i simulering 1.*

Utrymme	Förändring, FED = 0.3 [%]	Förändring, FED = 1.0 [%]	Förändring, T = 120 °C [%]	Förändring, strålning = 2.5 kW/m <sup>2</sup> [%]
<b>Vardagsrum</b>	-3.54	-3.93	-14.2	-32.5
<b>Sovrum</b>	-5.79	-6.71	-15.3	-
<b>Badrum</b>	0	-9.52	-36.7	X

För samtliga parametrar erhålls en negativ procentuell förändring i samtliga utrymmen vid öppen planlösning. Temperatur och strålning i vardagsrum är de parametrar som har störst procentuell inverkan på tid till att kritiskt gränsvärde uppnås. Störst procentuell inverkan sker på temperaturen i badrummet, där tid tills kritiskt gränsvärde uppnås cirka 37 % tidigare vid öppen planlösning. Då kritiskt gränsvärde för strålning aldrig uppnås i sovrums och badrum i

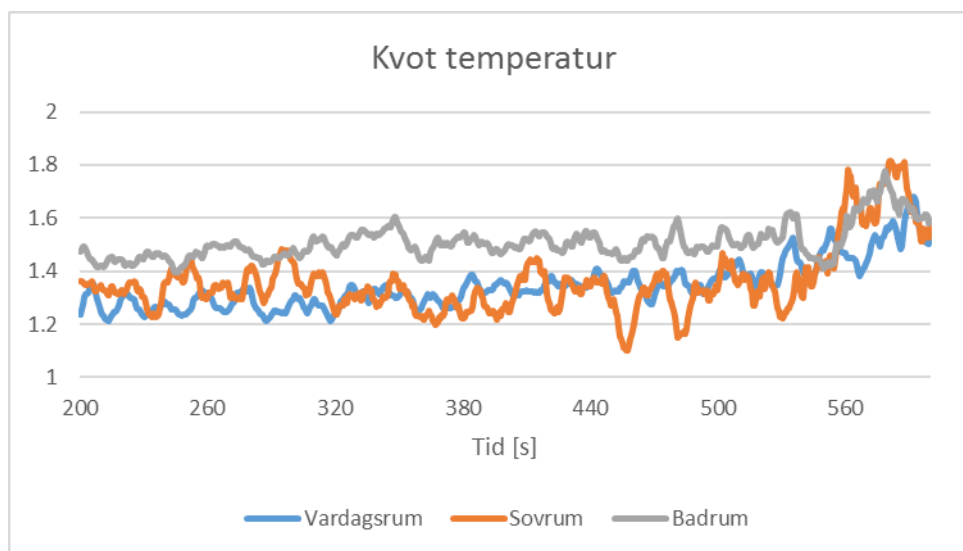
simulering 1 (se Tabell 11, avsnitt 6.1.1) har ingen procentuell förändring av tid till kritiskt gränsvärde uppnått beräknats. Kritiskt gränsvärde uppnåddes dock i badrummet i den öppna planlösningen (se Tabell 12 avsnitt 6.1.2), vilket ytterligare tyder på en negativ inverkan på konsekvenser av brand.



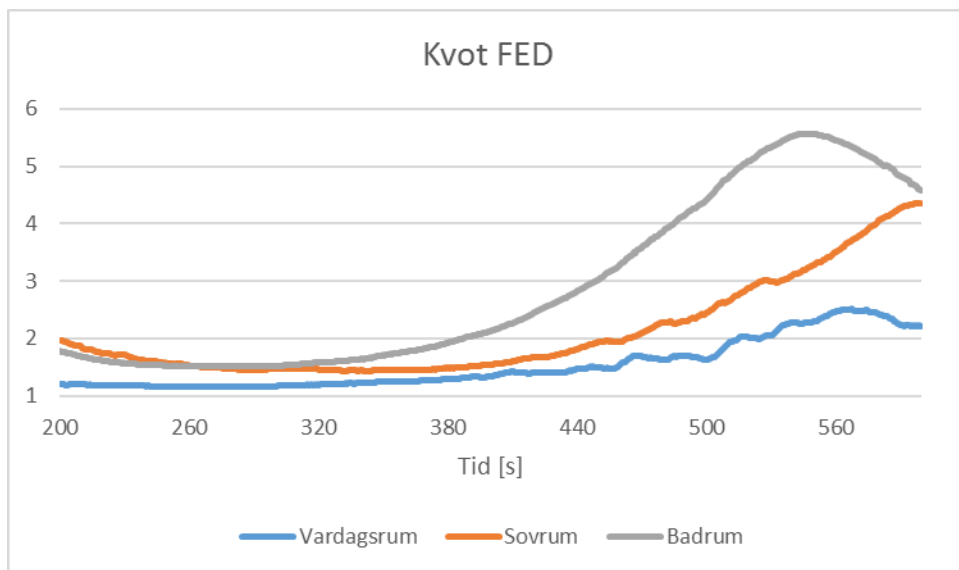
Figur 32 Tvärsnitt vid höjden 1.8 meter för FED = 0.3 i vardagsrummet illustrerad i simulering 1 och 2. Bild från Smokeview.

I Figur 32 ovan illustreras tvärsnitt på 1.8 meters höjd i de tidssteg då FED lika med 0.3 uppnått i mät punkt i vardagsrum för simulering 1 respektive 2. Förutom det faktum att gränsvärdet uppnås senare i simulering 1 syns tydligt att en stor mängd av gaserna koncentreras inom köket och spridning till övriga lägenheten minskas. Jämfört med simulering 2 där kritiskt gränsvärde uppnås tidigare då ingen ansamling av toxiska gaser sker. Det är tydligt att en sluten planlösning är att föredra framför en öppen, sett till spridning av toxiska gaser.

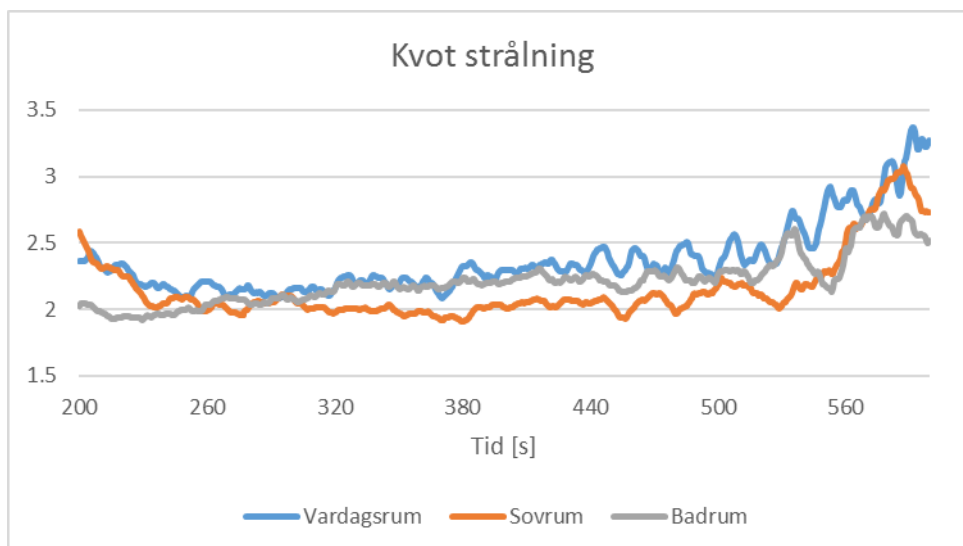
I Figur 33 – Figur 35 redovisas kvoten av uppmätta värden i respektive utrymme för simulering 1 och 2.



Figur 33 Kvot av uppmätt temperatur sett över tid i sekunder i simulering 1 och 2.



Figur 34 Kvot av uppmätt FED sett över tid i sekunder simulering 1 och 2.



Figur 35 Kvot av uppmätt strålning sett över tid i sekunder mellan simulering 1 och 2.

Som kan ses är kvoterna lika med eller mer än ett i större delen av simuleringsförloppen vilket innebär att förhållandena inom samtliga rum i simulering 2 är genomgående sämre än i motsvarande rum i simulering 1. Påverkan av öppen planlösning tycks ha lägst inverkan på vardagsrum med hänsyn till temperatur och FED. Avseende strålning är inverkan dock störst på vardagsrummet, vilket troligtvis beror på direkt infallande strålning från branden. FED kvoten är genomgående högst av de olika parametrarna, i synnerhet mot slutet av simuleringstiden då de uppgår till ungefär fyra och fem i sovrums och badrum. Rum långt belägna ifrån branden tycks påverkas i störst uträkning av en öppen planlösning avseende spridning av toxiska gaser.

Slutsatsen är att en öppen planlösning har sämre förhållanden ju längre tiden går avseende konsekvenser av brand än standardfallet.

### 7.1.2 Inverkan av ökad dörrhöjd

I följande avsnitt presenteras jämförelsen mellan simulering 3 och simulering 1.

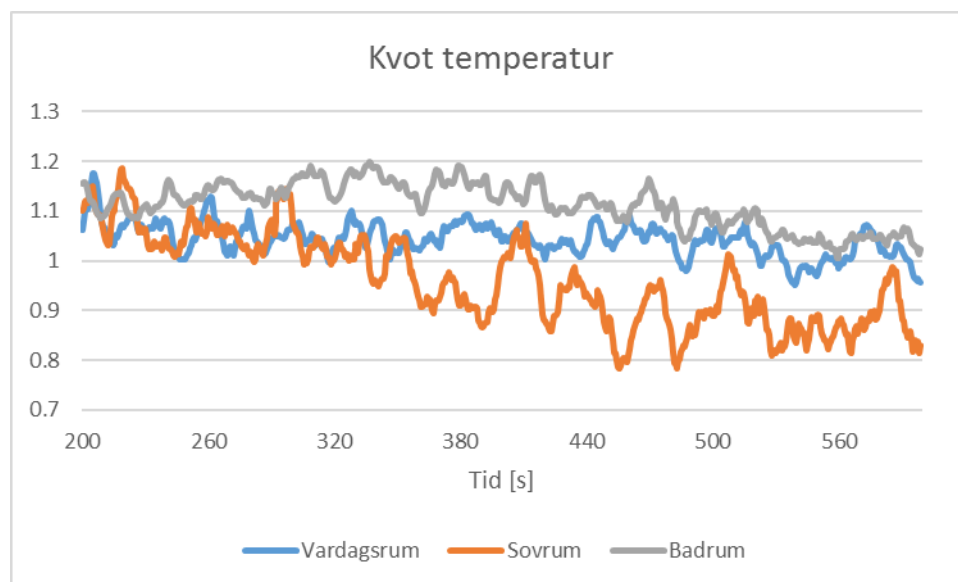
I Tabell 22 presenteras den procentuella förändringen av tiden till dess att det kritiska gränsvärdet uppnåddes för parametrarna vid jämförelse med resultat från simulering 3.

Tabell 22 Procentuell förändring av tid tills dess att kritiskt gränsvärde har uppnåtts för parametrarna för simulering 3, två rum och kök.

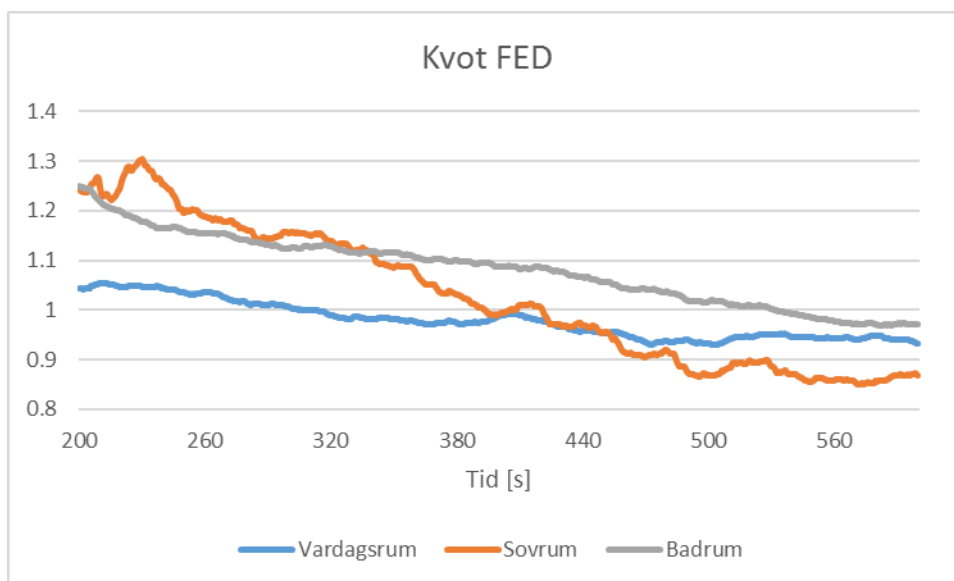
Utrymme	Förändring FED = 0.3 [%]	Förändring FED = 1.0 [%]	Förändring T = 120 °C [%]	Förändring, strålning = 2.5 kW/m <sup>2</sup> [%]
<b>Vardagsrum</b>	+0.3	+0.23	-3.0	-4.58
<b>Sovrum</b>	0	+1.42	-	-
<b>Badrum</b>	-1.75	-0.43	-12.9	-

Jämförelsen tid till kritiskt gränsvärde för simuleringen med högre dörrhöjd mot standardfallet visar enbart mindre förändringar för gränsvärdena till FED. Dessa förändringar är dessutom både positiva såväl som negativa och en rimlig anledning till detta skulle kunna vara variation i turbulens mellan simuleringarna. Gällande tiden till uppnått gränsvärde för temperatur och strålning erhålls större negativa förändringar och för badrum försämras tiden till uppnått temperaturgränsvärde med nästan 13 %. Dock uppnås inte kritiskt temperaturgränsvärde i sovrummet under simulerat förlopp, vilket inträffar i simulering 1. Likaså uppnås inte strålningsgränsvärde för sovrum eller badrum.

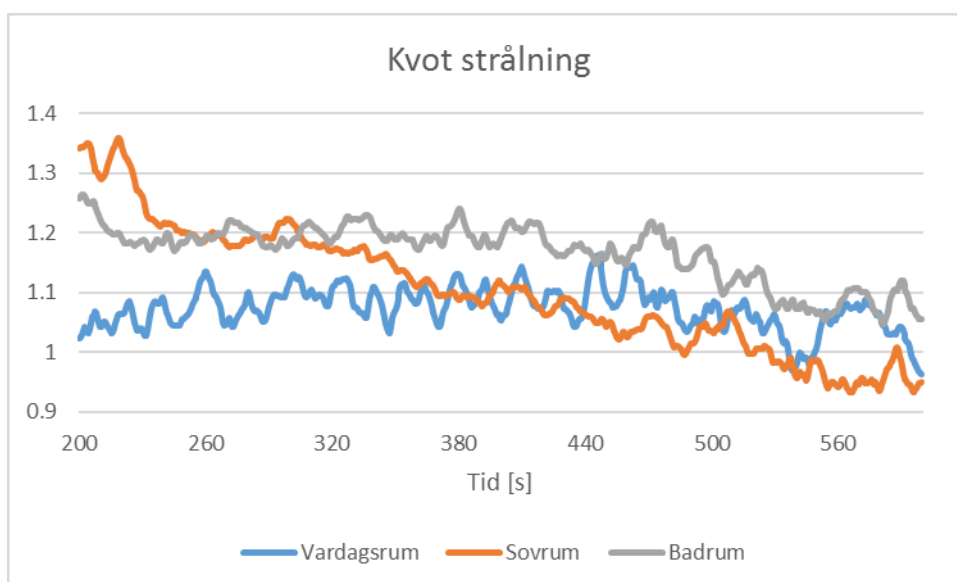
I Figur 36 - Figur 38 nedan redovisas kvoterna över tid för de uppmätta parametrarna i respektive utrymme för simulering 1 och 3.



Figur 36 Kvot av uppmätt temperatur sett över tid i sekunder mellan simulering 1 och 3.



Figur 37 Kvot av uppmätt FED sett över tid i sekunder mellan simulering 1 och 3.



Figur 38 Kvot av uppmätt strålning sett över tid i sekunder mellan simulering 1 och 3.

Som kan ses så är samtliga kvoter ungefär lika med ett under större delen av brandförloppet. Den kvot som avviker mest från de övriga är temperaturkvoten för sovrummet som efter 300 sekunder sjunker ner mot 0.8 och varierar mellan 0.8 och 1.0, vilket antyder att temperaturförhållandena i sovrummet för simulering 3 är bättre än motsvarande för simulering 1. Temperaturkvoten för badrum överstiger däremot 1.0 och varierar mellan 1.2 och 1.0 under motsvarande period. En trolig anledning till detta är att den högre dörrhöjden möjliggör en snabbare spridning till badrummet som tar emot en större mängd värme än i simulering 1 och då minskar värmeinflödet till sovrummet.

Den högre dörrhöjden visar dock en mindre påverkan på fördelningen av toxiska gaser i lägenheten då kvoten av FED har en väldigt låg spridning från ett. Detsamma gäller för strålning då strålningskvoten även den ligger vid ett eller nära ett för större delen av brandförloppet.

Slutsatsen blir att en högre dörrhöjd har en förhållandevis liten negativ påverkan på förhållandena i brandpåverkad lägenhet. Den enda större påverkan sker avseende temperaturgränsvärdet i badrummet.

### 7.1.3 Inverkan av ökad dörrbredd

I följande avsnitt presenteras jämförelsen mellan simulering 4 och simulering 1.

I Tabell 23 presenteras den procentuella förändringen av tiden tills det kritiska gränsvärdet uppnåddes för parametrarna vid jämförelse med resultat från simulering 4.

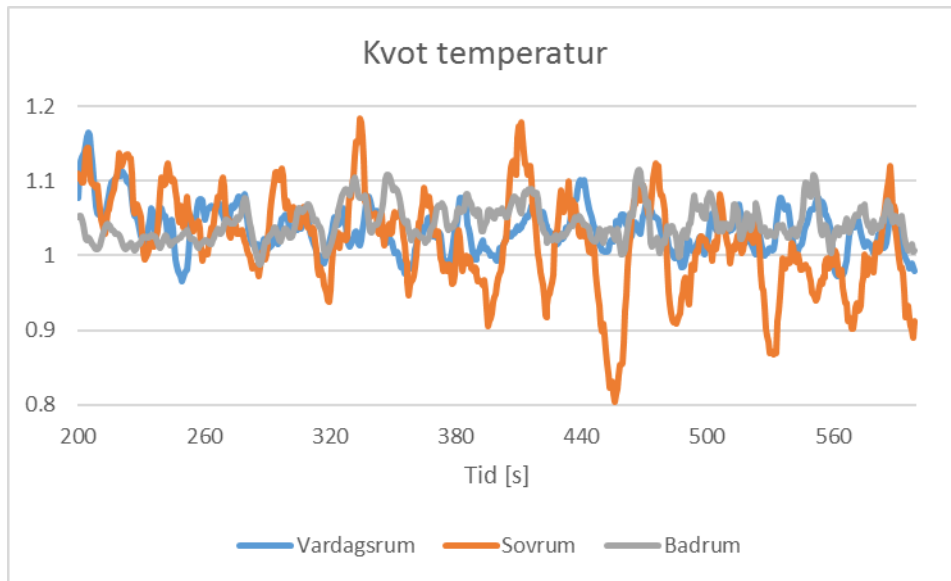
Tabell 23 Procentuell förändring av tid tills dess att kritiskt gränsvärde har uppnåtts för parametrarna för simulering 4, två rum och kök.

Utrymme	Förändring, FED = 0.3 [%]	Förändring, FED = 1.0 [%]	Förändring, T = 120 °C [%]	Förändring, strålning = 2.5 kW/m <sup>2</sup> [%]
<b>Vardagsrum</b>	+0.27	+0.23	-3.9	-7.5
<b>Sovrum</b>	+0.23	-5.9	+7.0	-
<b>Badrum</b>	+0.25	+6.9	-4.0	-

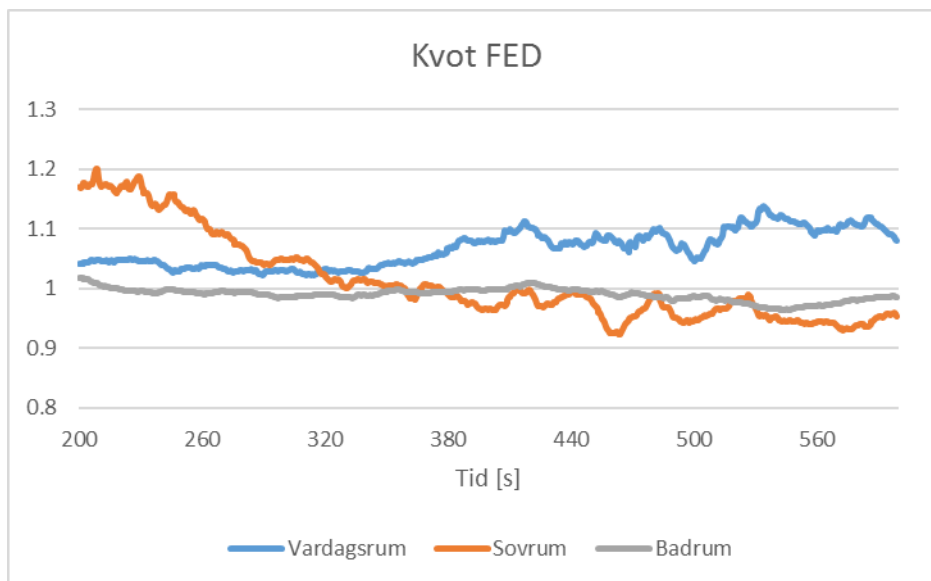
Vid avläsning av Tabell 23 avläses att förändringen av tid till uppnått gränsvärden varierar mellan positivt och negativt. Intressant är att för sovrummet är förändringen för FED = 1.0 nästan minus 6 % medan förändringen för temperaturen är plus 7 %. Detta beror troligtvis på att bredare dörrar tillåter större flöde brandgaser från badrum vidare till vardagsrum, sovrum och badrum. Ett större flöde av brandgaser leder till att en större mängd toxiska gaser transporteras och har bättre förutsättningar för att spridas i planlösningen. Trots att temperaturerna som jämförs mellan simuleringarna är tidsgenomsnittliga är de fortfarande fluktuerande, vilket kan förklara större momentana procentuella skillnader.

I simulering 1 rådde sämre förhållanden för spridning på grund av smalare dörrar och de toxiska gaserna ansamlades i vardagsrum och badrum. Med bredare dörrar sker spridning lättare in till sovrummet, och en negativ förändring tills FED = 1.0 erhålls. Avseende temperatur beror den negativa förändringen i vardagsrummet sannolikt på att dörrarean mellan vardagsrum och kök ökar. Detta kan även kopplas till den negativa förändringen avseende strålningsgränsvärdet. Förändringen i badrummet beror antagligen på placeringen av badrum och dörranslutningen då den bredare dörren troligtvis ökar ett inflöde av konvektiv värme rakt in i badrummet. Detta leder då till en minskning av värmeinflödet till sovrummet, vilket skulle förklara förbättringen som sker där.

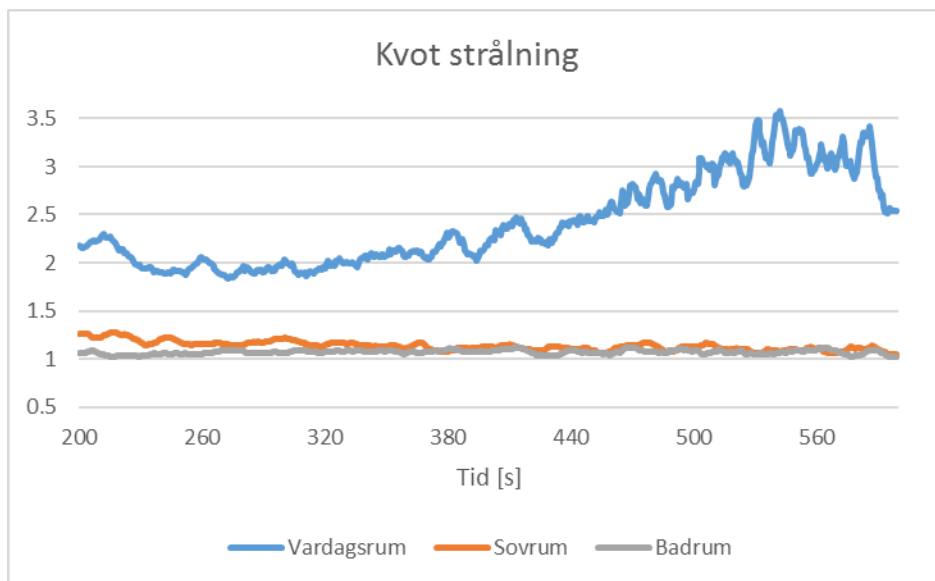
I Figur 39 – Figur 41 redovisas kvoten av uppmätta värden i respektive utrymme för simulering 1 och 4.



Figur 39 Kvot av uppmätt temperatur sett över tid i sekunder mellan simulering 1 och 4.



Figur 40 Kvot av uppmätt FED sett över tid i sekunder mellan simulering 1 och 4.



Figur 41 Kvot av uppmätt strålning sett över tid i sekunder mellan simulering 1 och 4.

Enligt Figur 39 ovan går det att avläsa att temperaturkvoterna fluktuerar en aning men att de framförallt håller sig kring kvoten lika med ett. Kvoten för sovrumsrummet verkar vara den kvot med störst fluktuationer och då framförallt under ett. Detta stämmer väl överens med resultatet i Tabell 23 då sovrumsrummet var det rum i vilket bäst förbättring uppmättes.

Uppvisade kvoter i Figur 40 visar att uppmätta FED-värden i simulering 4 följer uppmätta värden i simulering 1 under större delen av förloppet. Kvoten för vardagsrum avviker en aning efter 300 sekunder då den börjar överstiga ett. Detta överensstämmer med tabellerade värden då vardagsrum når FED = 1.0 tidigare i simulering 4 än i simulering 1.

I Figur 41 visas kvoterna för strålning i de olika rummen. I figuren går det att utläsa att parametern som avviker mest från simulering 1 är strålningsparametern för vardagsrummet. Anledningen är troligtvis den bredare dörröppningen från köket som tillåter direkt strålning från branden till mätpunkten i vardagsrummet.

Slutsatsen blir att bredare dörrar inte bör implementeras i bostäder om inte speciella behov för detta föreligger då de förändringar som sker anses vara övervägande negativa.

#### 7.1.4 Inverkan av ökad takhöjd

I detta avsnitt redovisas jämförelsen mellan simulering 5 och simulering 1.

I Tabell 24 presenteras den procentuella förändringen av tiden till dess att det kritiska gränsvärdet uppnåddes för parametrarna vid jämförelse med resultat från simulering 5, två rum och kök.

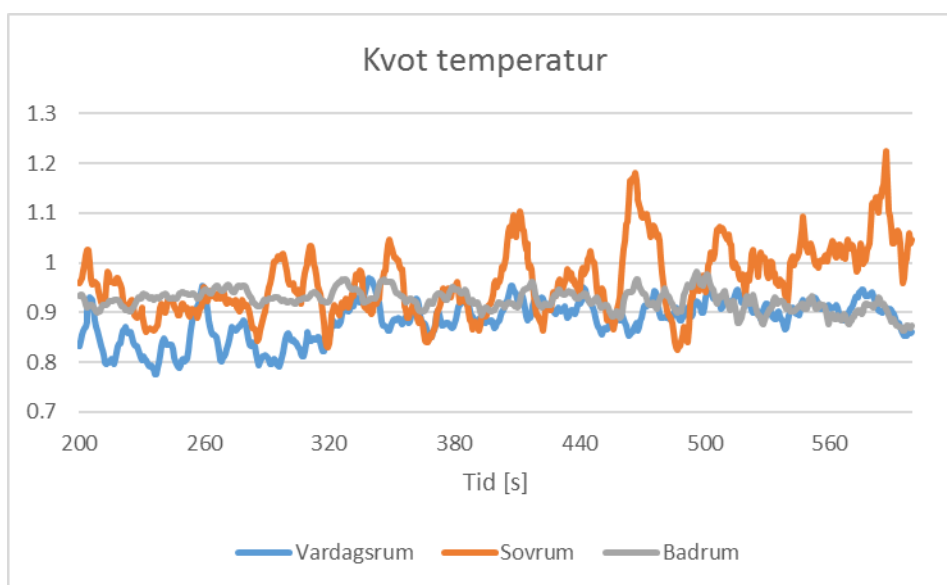


Tabell 24 Procentuell förändring av tid tills dess att kritiskt gränsvärde har uppnåtts för parametrarna för simulering 5, två rum och kök.

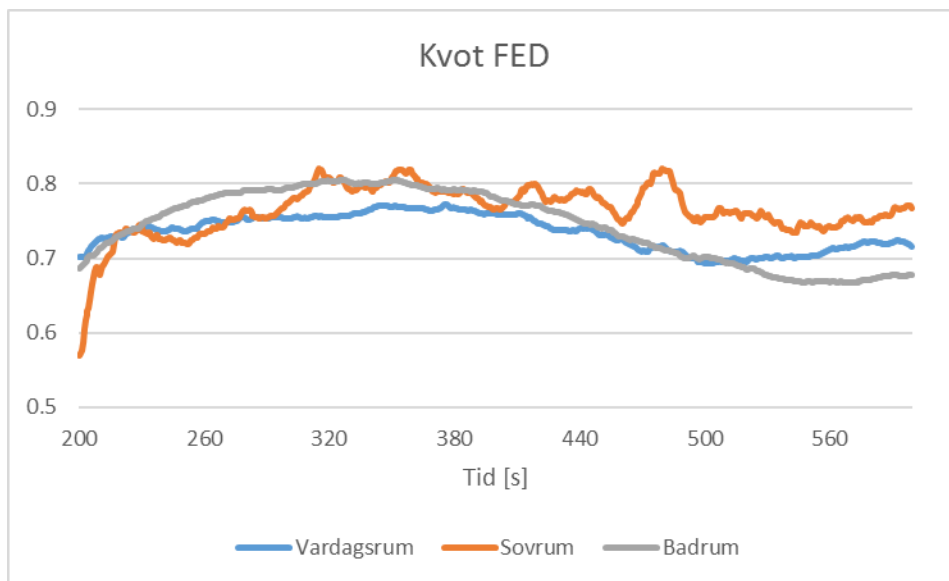
Utrymme	Förändring, FED = 0.3 [%]	Förändring, FED = 1.0 [%]	Förändring, T = 120 °C [%]	Förändring, strålning = 2.5 kW/m <sup>2</sup> [%]
<b>Vardagsrum</b>	+4.4	+3.5	+11.6	-
<b>Sovrum</b>	+3.0	+2.9	+8.9	-
<b>Badrum</b>	+3.5	+3.5	+5.7	-

För samtliga parametrar erhålls en positiv procentuell förändring i samtliga utrymmen vid en ökad takhöjd. Temperatur i vardagsrum har störst positiv procentuell förändring av tid till att kritiskt gränsvärde uppnås. Då kritiskt gränsvärde för strålning aldrig uppnås i simulering 5 har ingen procentuell förändring av tid till kritiskt gränsvärde uppnåtts beräknats. Kritiskt gränsvärde för strålning uppnåddes dock i simulering 1 i vardagsrummet vilket inte var fallet vid ökad takhöjd. Detta tyder ytterligare på en positiv inverkan på konsekvenser av brand.

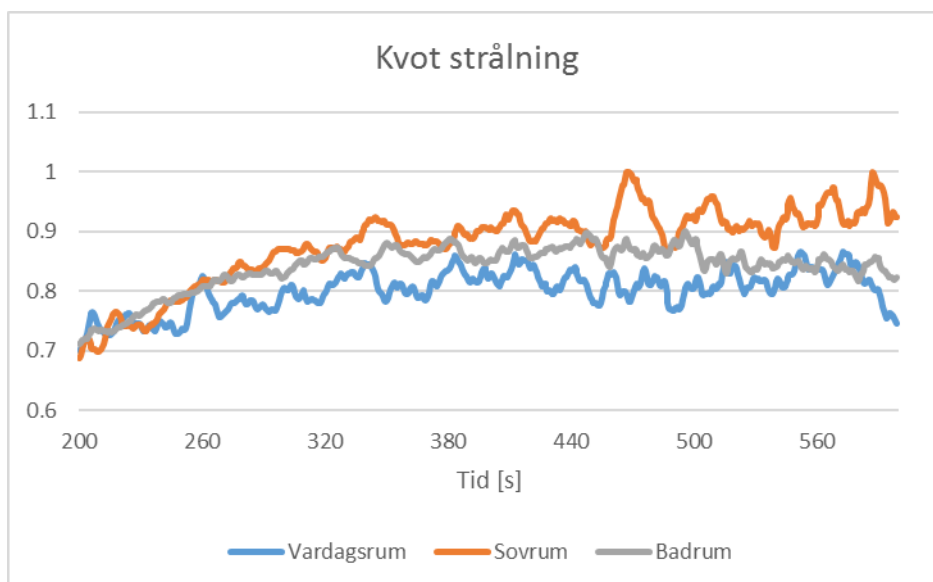
I Figur 42 - Figur 44 redovisas kvoten av uppmätta värden i respektive utrymme för simulering 1 och 5.



Figur 42 Kvot av uppmätt temperatur sett över tid i sekunder i simulering 1 och 5.



Figur 43 Kvot av uppmätt FED sett över tid i sekunder i simulering 1 och 5.



Figur 44 Kvot av uppmätt strålning sett över tid i sekunder i simulering 1 och 5.

Som kan ses är kvoterna mindre än ett i större delen av simuleringsförloppen. Detta innebär att förhållandena inom samtliga rum vid ökad takhöjd har genomgående bättre förhållanden än i motsvarande rum i simulering 1. En ökad takhöjd tycks ha störst inverkan på FED värden i utrymna som undersöks, vilket troligtvis förklaras med att en större mängd toxiska gaserna kan ansamlas i taket. Stora fluktuationer med temperaturkvoter som överstiger ett för sovrumsrum kan ses i Figur 42. Trots att temperaturerna som jämförs mellan simuleringarna är tidsgenomsnittlig är de fortfarande fluktuerande, vilket kan förklara större momentana procentuella skillnader. Temperaturförhållanden i sovrumsrum tycks mot slutet av simuleringstiden dock vara något sämre i simulering 5.

Att kritiska gränsvärden uppnås senare och förhållanden i samtliga rum i simulering med ökad takhöjd är genomgående bättre förklaras med att rumsvolymer ökar och att varma och toxiska gaser ansamlas i taket.

Slutsatsen är att ju högre takhöjd man har i en bostad, desto lindrigare är temperatur, strålning och toxicitetsförhållanden.

## 7.2 Fyra rum och kök

I följande avsnitt presenteras fallstudiens resultat för planlösningen fyra rum och kök.

### 7.2.1 Inverkan av öppen planlösning

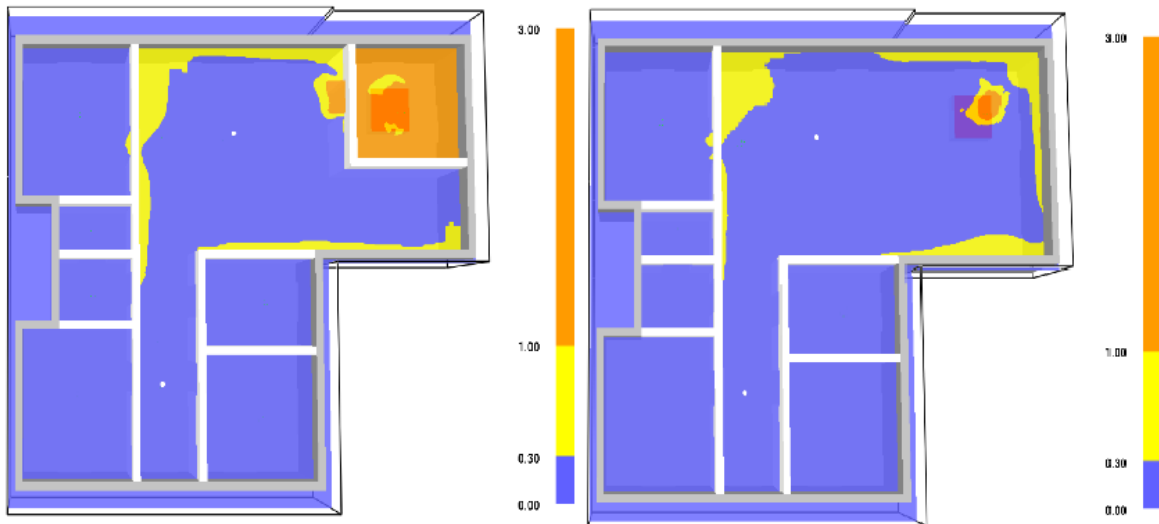
I följande avsnitt presenteras jämförelsen mellan simulering 2 och simulering 1.

I Tabell 25 presenteras den procentuella förändringen av tiden till dess att det kritiska gränsvärdet uppnåddes för parametrarna vid jämförelse med resultat från simulering 2, fyra rum och kök.

*Tabell 25 Procentuell förändring av tid tills dess att kritiskt gränsvärde har uppnåtts för parametrarna för simulering 2, fyra rum och kök. Markören X innebär att kritiskt gränsvärde uppnås i simulering 2 men ej i simulering 1.*

Utrymme	Förändring, FED = 0.3 [%]	Förändring, FED = 1.0 [%]	Förändring T = 120 °C	Förändring Strålning = 2.5 kW/m <sup>2</sup>
<b>Vardagsrum</b>	-4.6	-2.7	-33.4	X
<b>Sovrum 1</b>	-3.9	-4.4	X	-
<b>Sovrum 2</b>	-5.9	-6.6	X	-
<b>Sovrum 3</b>	-4.5	-4.4	X	-
<b>Badrum</b>	-2.4	-2.7	X	-

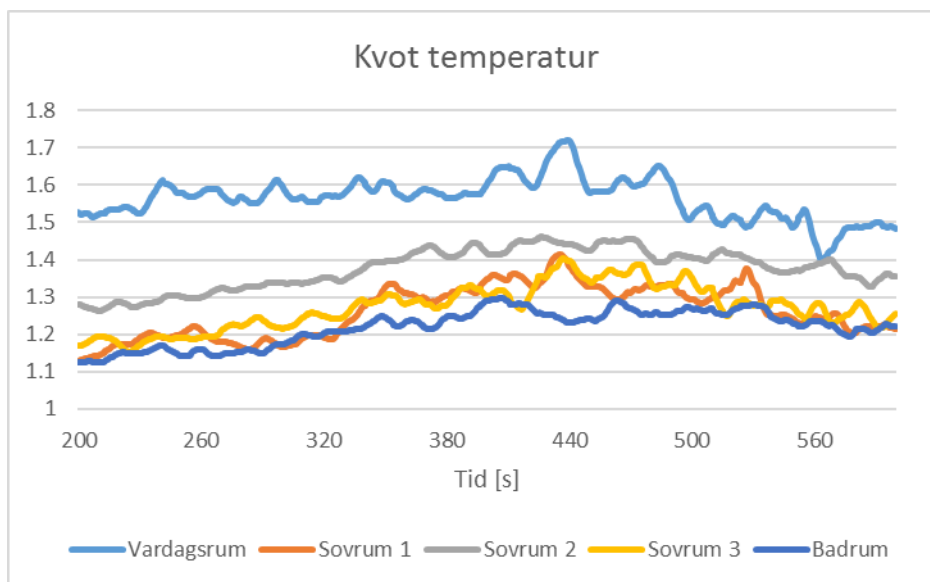
För samtliga parametrar erhålls en negativ procentuell förändring i samtliga utrymmen vid öppen planlösning. Temperatur och strålning i vardagsrum är de parametrar som har störst procentuell inverkan på tid till att kritiskt gränsvärde uppnås. Störst procentuell inverkan sker på temperaturen i vardagsrummet, där tid tills kritiskt gränsvärde uppnås cirka 33 % tidigare vid öppen planlösning. Då kritiskt gränsvärde för temperatur (förutom i vardagsrummet) och strålning aldrig uppnås i simulering 1 (se Tabell 16, avsnitt 6.2.1) har ingen procentuell förändring av tid till kritiskt gränsvärde uppnåtts beräknats. Kritiskt gränsvärde för temperatur och strålning i vardagsrum uppnåddes dock i den öppna planlösningen (se Tabell 17, avsnitt 6.2.2), vilket ytterligare tyder på en ökad negativ inverkan på konsekvenser av brand.



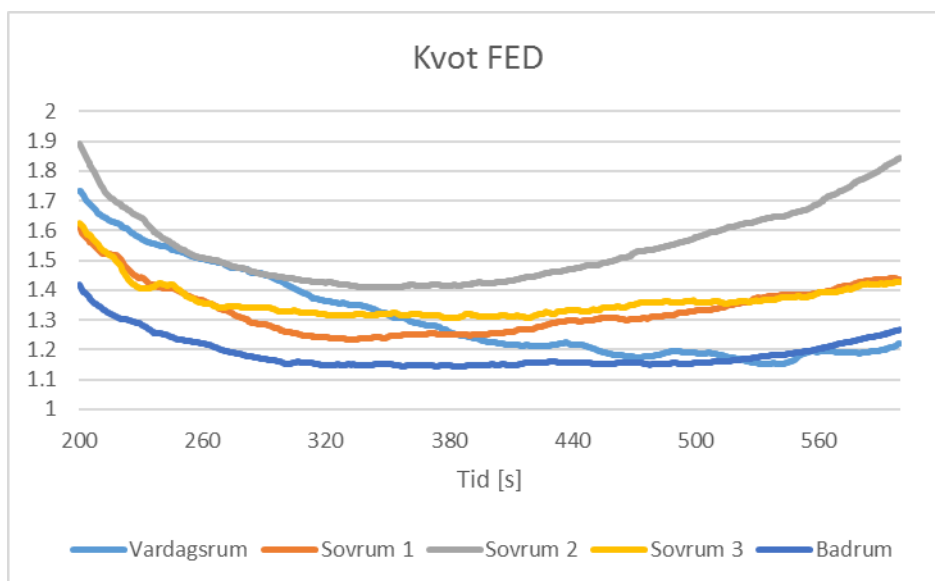
Figur 45 Tvärsnitt vid höjden 1.8 meter för FED = 0.3 i vardagsrummet illustrerad för simulering 1 och 2. Bild från Smokeview.

I Figur 45 redovisas tvärsnittsbilder på 1.8 meters höjd för de tidssteg då FED lika med 0.3 uppnåtts i mätpunkten i vardagsrummet för respektive simulering. Gränsvärdet uppnås senare i simulering 1, då en stor mängd toxiska gaser ansamlas i köksutrymmet och tiden tills gränsvärdet uppnås förlängs. I simulering 2 sprids gaserna fritt i vardagsrummet och kritiskt gränsvärde uppnås därför tidigare än i simulering 1. Det är tydligt att en sluten planlösning är att föredra framför en öppen, sett till spridning av toxiska gaser.

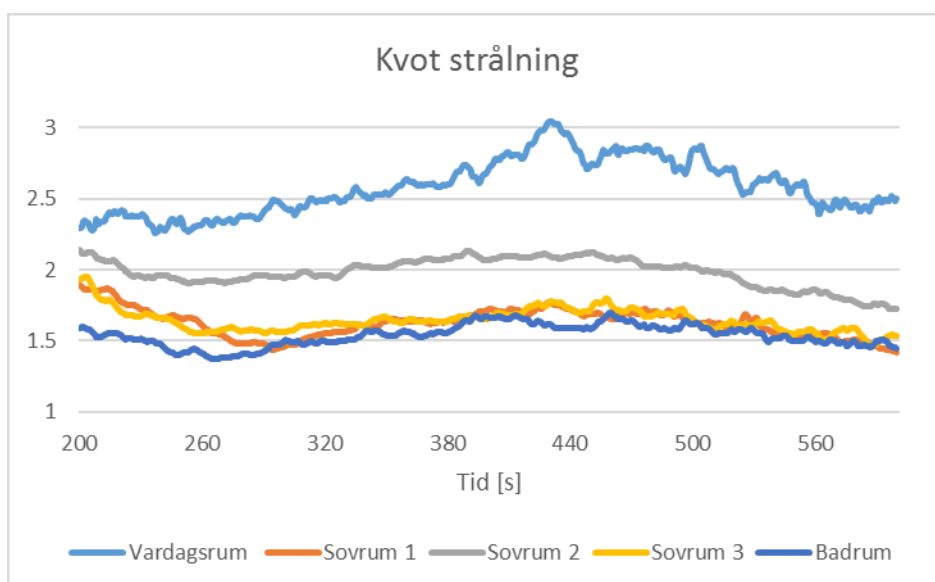
I Figur 46 - Figur 48 redovisas kvoten av uppmätta värden i respektive utrymme för simulering 1 och 2.



Figur 46 Kvoten av uppmätt temperatur sett över tid i sekunder mellan simulering 1 och 2.



Figur 47 Kvoten av uppmätt FED sett över tid i sekunder mellan simulering 1 och 2.



Figur 48 Kvoten av uppmätt strålning sett över tid i sekunder mellan simulering 1 och 2.

Som kan ses är kvoterna lika med eller mer än ett i större delen av simuleringsförloppen vilket innebär att förhållandena inom samtliga rum i simulering 2 blir snabbare kritiska än i motsvarande rum i simulering 1. Avseende temperatur och strålning är förhållanden i vardagsrum märkbart sämre än övriga rum, vilket förklaras med att vardagsrummet ligger i direkt anslutning till branden. I ett senare skede av simuleringstiden ökar FED kvoten i samtliga rum utom i vardagsrum som tycks ha en fallande trend. Detta tycks vara i enlighet med andra resultat där FED kvoten är sämre i rum belägna längre ifrån brandrummet.

Slutsatsen är, i enlighet med motsvarande slutsats för två rum och kök, att en öppen planlösning har sämre förhållanden ju längre tiden går avseende konsekvenser av brand än standardfallet.

## 7.2.2 Inverkan av ökad dörrhöjd

I följande avsnitt presenteras jämförelsen mellan simulering 3 och simulering 1

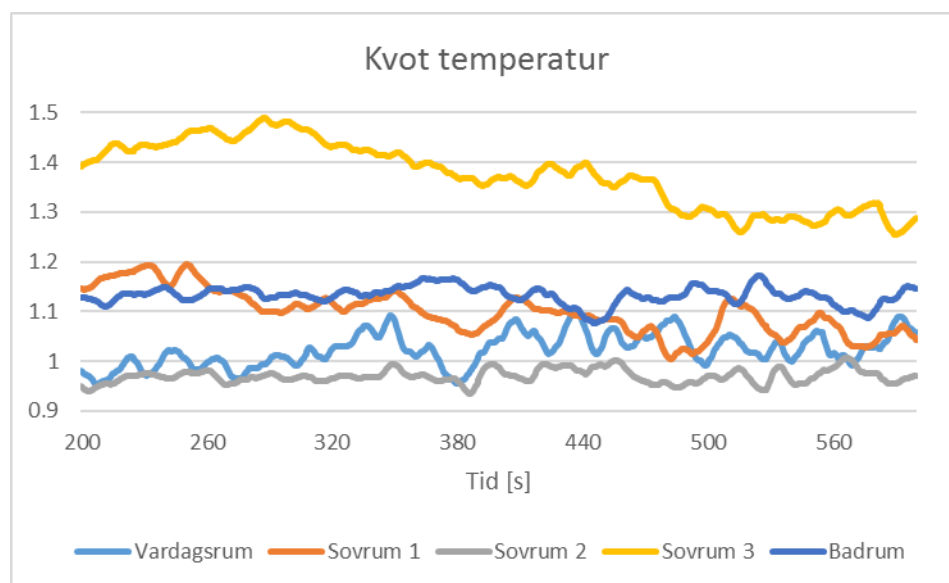
I Tabell 26 presenteras den procentuella förändringen av tiden till dess att det kritiska gränsvärdet uppnåddes för parametrarna vid jämförelse med resultat från simulering 3, fyra rum och kök.

Tabell 26 Procentuell förändring av tid tills dess att kritiskt gränsvärde har uppnåtts för parametrarna för simulering 3, fyra rum och kök. Markören X innebär att kritiskt gränsvärde uppnås i simulering 3 men ej i simulering 1.

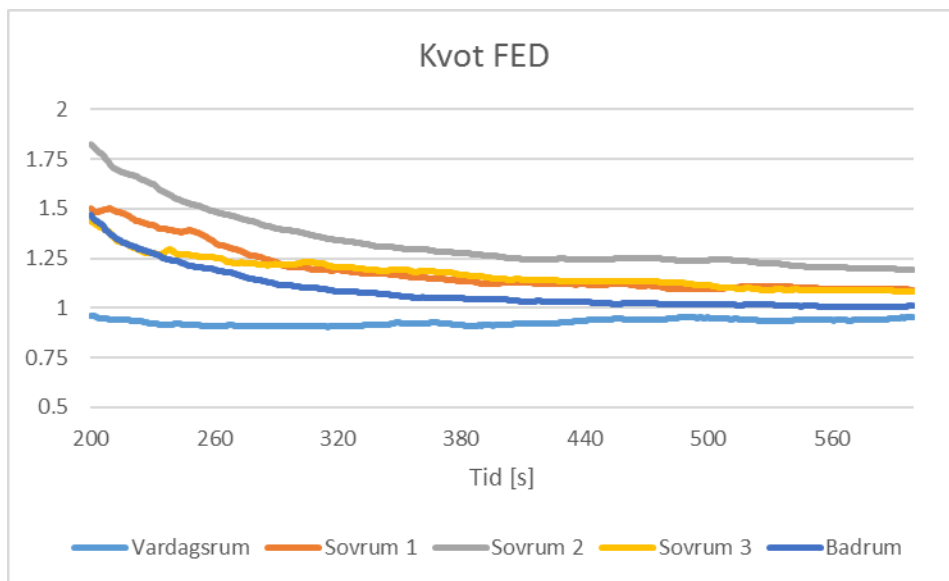
Utrymme	Förändring, FED = 0.3 [%]	Förändring, FED = 1.0 [%]	Förändring T = 120 °C	Förändring Strålning = 2.5 kW/m <sup>2</sup>
<b>Vardagsrum</b>	+0.69	+0.95	-5.4	-
<b>Sovrum 1</b>	-1.9	-1.2	-	-
<b>Sovrum 2</b>	-3.6	-2.9	-	-
<b>Sovrum 3</b>	-2.1	-1.2	X	-
<b>Badrum</b>	+0.64	-0.18	-	-

Precis som vid motsvarande simulering för två rum och kök erhålls enbart mindre förändringar i tid tills kritiskt gränsvärde uppnås. Under simulerad tidsram uppnåddes även kritiskt temperaturgränsvärde i sovrums 3, som inte uppnåddes i simulering 1. Detta förklaras troligtvis med att en högre dörrhöjd tillåter de uppvärmda gaserna att sprida sig in i angränsande rum mer än i simulering 1. Detta förklarar även den negativa förändringen som sker i vardagsrum. Rörande förändringen i uppnådd tid till FED-gränsvärdet erhålls enbart en liten skillnad mellan simuleringarna.

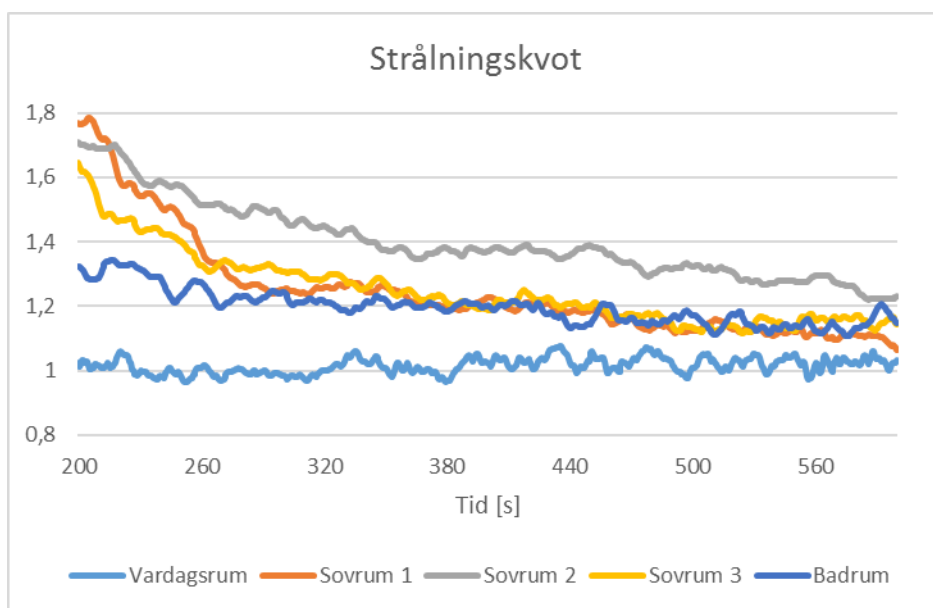
I Figur 49 - Figur 51 redovisas kvoten av uppmätta värden i respektive utrymme för simulering 1 och 3.



Figur 49 Kvoten av uppmätt temperatur sett över tid i sekunder mellan simulering 1 och 3.



Figur 50 Kvoten av uppmätt FED sett över tid i sekunder mellan simulering 1 och 3.



Figur 51 Kvoten av uppmätt strålning sett över tid i sekunder mellan simulering 1 och 3.

I Figur 49 ovan går det att utläsa att kvoterna i de olika rummen pekar i olika riktning. I sovrums 3 erhålls den största avvikelser från simulering 1 och överstiger under en period kvoten 1.4. Andra rum vars kvoter överstiger ett är badrum och sovrums 1 som under större delen av brandförloppet har en kvot över ett. Det är alltså rummen längst ifrån branden som får en större negativ temperaturpåverkan med en ökad dörrhöjd. Sannolikt beror detta på att den större dörrhöjden möjliggör en spridning av varmare gaser in i rummen längre bort från branden.

Figur 50 visar att ju längre tiden går desto snabbare förvärras de toxiska förhållanden i rummen i anslutning till vardagsrum. Att kvoten är lägre för vardagsrum förklaras sannolikt med att den ökade dörrhöjden tillåter en snabbare spridning av toxiska gaser till angränsande rum från vardagsrum.

Slutligen visas i Figur 51 att det är i sovrum 2 som kvoten påverkas mest och i vardagsrum minst. Troligt är att detta beror på det flödar in en större mängd varma gaser i denna simulering än i simulering 1. Följden av detta blir att mer strålning från dessa gaser sker vilket ger upphov till den högre kvoten.

Slutsatsen är, i enlighet med motsvarande slutsats för två rum och kök, att en högre dörrhöjd har en förhållandevis liten men negativ påverkan på förhållandena i brandpåverkad lägenhet. Större påverkan sker avseende temperaturgränsvärdet i badrummet.

### 7.2.3 Inverkan av ökad dörrbredd

I följande avsnitt presenteras jämförelsen mellan simulering 4 och simulering 1.

I Tabell 27 presenteras den procentuella förändringen av tiden till dess att det kritiska gränsvärdet uppnåddes för parametrarna vid jämförelse med resultat från simulering 4, fyra rum och kök.

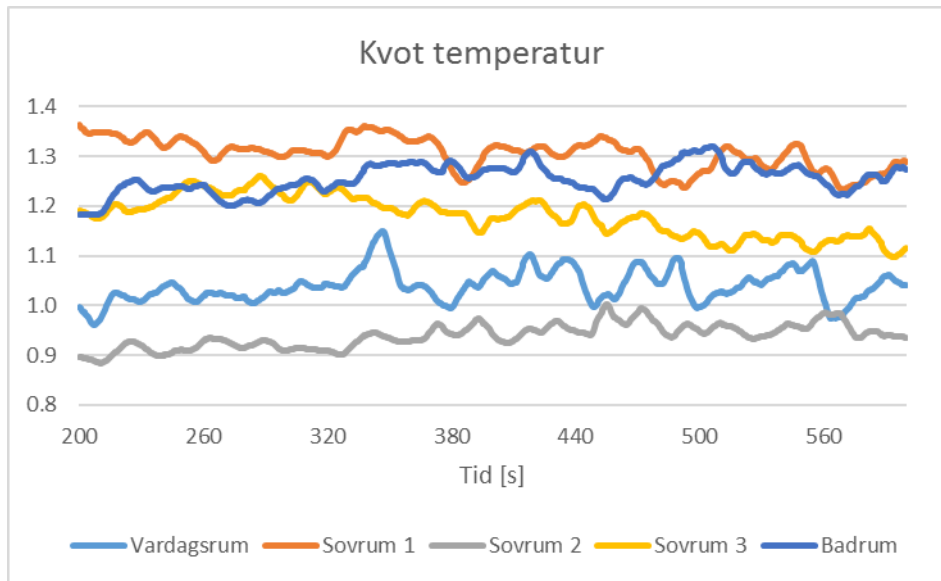
Tabell 27 Procentuell förändring av tid tills dess att kritiskt gränsvärde har uppnåtts för parametrarna för simulering 4, fyra rum och kök. Markören X innebär att kritiskt gränsvärde uppnås i simulering 4 men ej i simulering 1.

Utrymme	Förändring, FED = 0.3 [%]	Förändring, FED = 1.0 [%]	Förändring T = 120 °C	Förändring Strålning = 2.5 kW/m <sup>2</sup>
<b>Vardagsrum</b>	+0.69	+0.57	-5.7	-
<b>Sovrum 1</b>	0	0	X	-
<b>Sovrum 2</b>	-1.3	-1.4	-	-
<b>Sovrum 3</b>	-1.0	-0.69	-	-
<b>Badrum</b>	+0.21	0	X	-

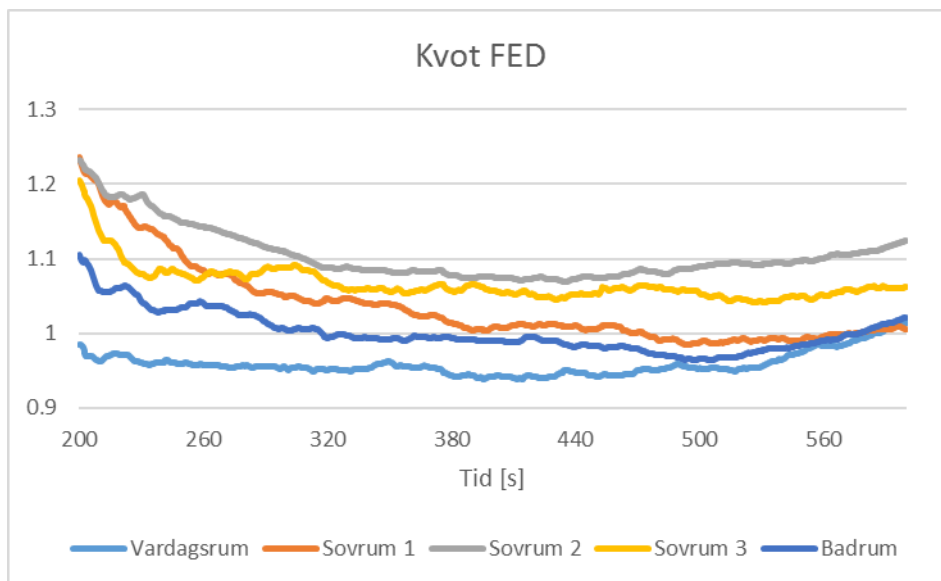
Vid bredare dörrar uppvisas liknande resultat gällande tid till kritiskt gränsvärde för FED. Större förändring erhålls för tid tills temperaturgränsvärdet som uppvisar en negativ förändring och även uppnådda gränsvärden för sovrum 1 och badrum, som inte uppnår kritisk nivå i simulering 1. Bredare dörrar verkar främst påverka fördelningen av värme i en större planlösning och har mindre påverkan på spridning av toxiska gaser.



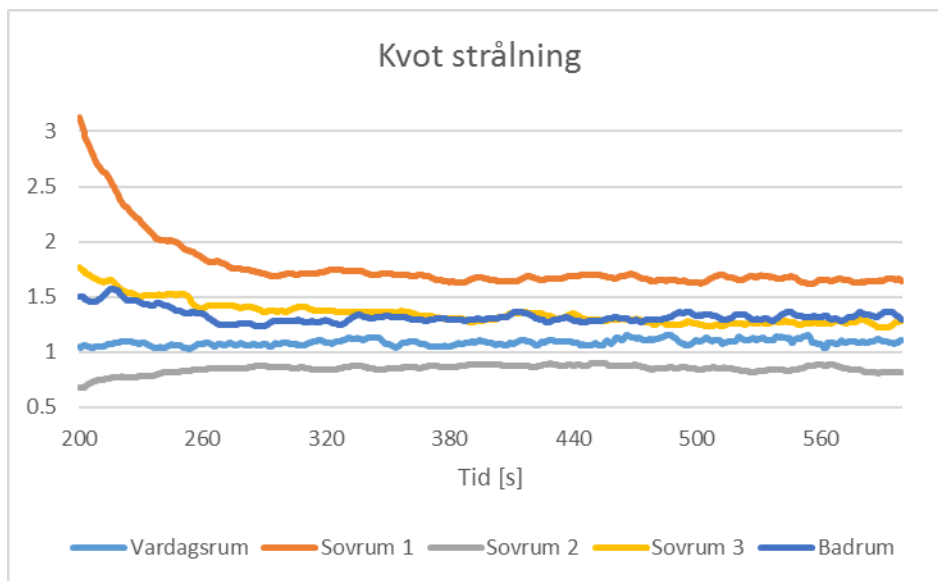
I Figur 52 - Figur 54 redovisas kvoten av uppmätta värden i respektive utrymme för simulering 1 och 4.



Figur 52 Kvoten av uppmätt temperatur sett över tid i sekunder mellan simulering 1 och 4.



Figur 53 Kvoten av uppmätt FED sett över tid i sekunder mellan simulering 1 och 4.



Figur 54 Kvoten av uppmätt strålning sett över tid i sekunder mellan simulering 1 och 4.

Figur 52 visar att temperaturen under större delen av brandförloppet är högre i sovrums 1, sovrums 3 och badrum under större delen av brandförloppet än i motsvarande temperaturer i simulering 1. Följaktligen är temperaturen i rummen närmre branden lägre i denna simulering. Den troliga förklaringen till detta är att bredare dörrar möjliggör en mer jämn värmefördelning i planlösningen då rum längre från brandkällan värms upp mer och rum i nära anslutning till brand inte upplever samma uppvärmning. Det är också tid till temperaturgränsvärdet som uppvisar störst förändring. I Figur 53 blir det tydligt att fördelningen av toxiska gaser är mer lik fördelningen i simulering 1. Dock går det att se en tendens att rum angränsande vardagsrum har en kvot överstigande ett.

I Figur 54 uppvisas samma samband för strålningskvoterna som för temperaturkvoterna, att rummen som är längre bort från branden upplever mer strålning än för standardfallet och rummen närmre brand upplever mindre strålning. Detta hänger troligtvis samman med fördelningen av värme i planlösningen och resonemanget ovan om temperaturfördelningen i planlösningen gäller även för strålningen.

Slutsatsen är, i enlighet med motsvarande slutsats för två rum och kök, att bredare dörrar har en liten, negativ påverkan på förhållandena i brandpåverkad lägenhet. Den enda större påverkan sker avseende temperatur- och strålningsgränsvärdet i rummen längre bort från branden.

#### 7.2.4 Inverkan av ökad takhöjd

I följande avsnitt presenteras jämförelsen mellan simulering 5 och simulering 1.

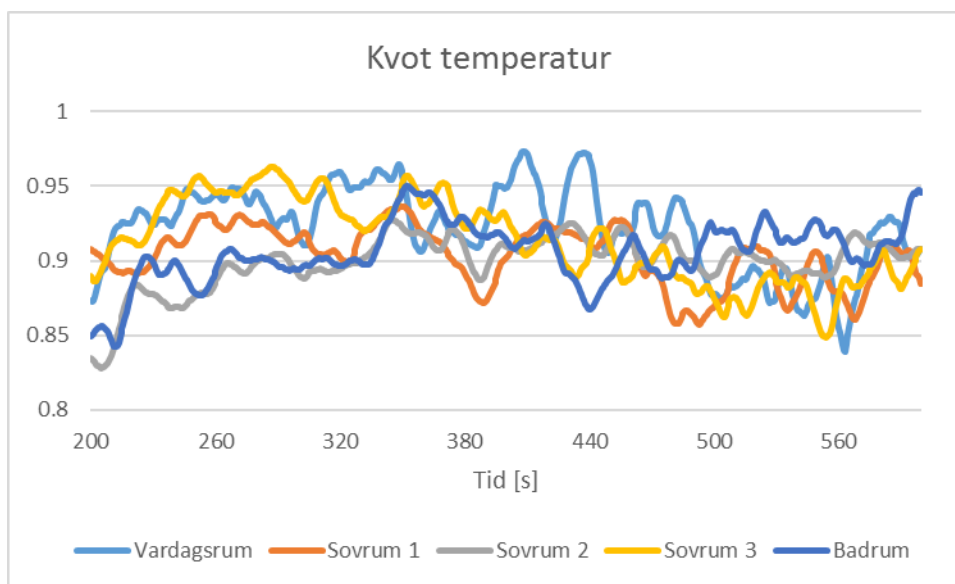
I Tabell 28 presenteras den procentuella förändringen av tiden till dess att det kritiska gränsvärdet uppnåddes för parametrarna vid jämförelse med resultat från simulering 5, fyra rum och kök.

Tabell 28 Procentuell förändring av tid tills dess att kritiskt gränsvärde har uppnåtts för parametrarna för simulering 5, fyra rum och kök.

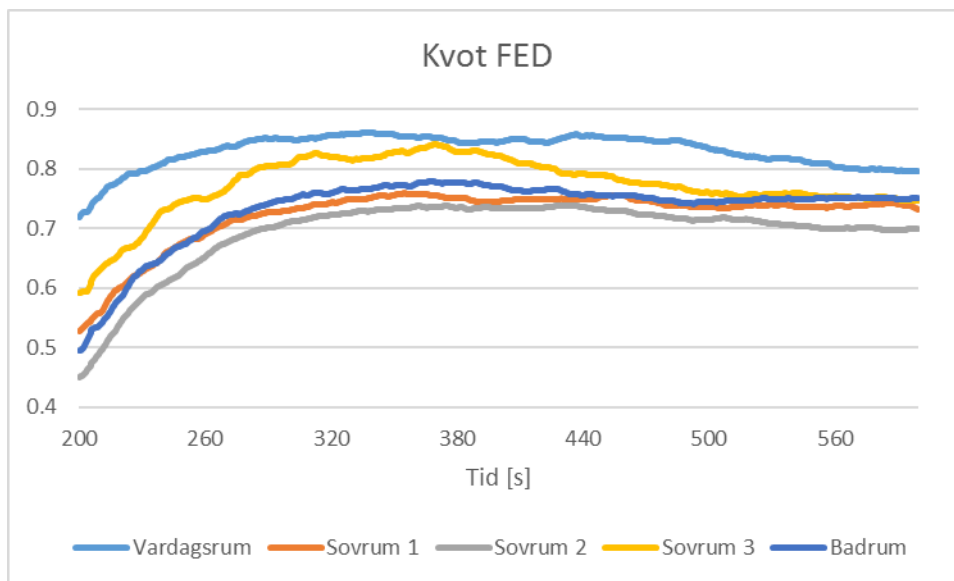
Utrymme	Förändring, FED = 0.3 [%]	Förändring, FED = 1.0 [%]	Förändring T = 120 °C	Förändring Strålning = 2.5 kW/m <sup>2</sup>
<b>Vardagsrum</b>	+2.5	+3.2	+5.1	-
<b>Sovrum 1</b>	+4.5	-	-	-
<b>Sovrum 2</b>	+5.1	+5.0	-	-
<b>Sovrum 3</b>	+3.7	+4.2	-	-
<b>Badrum</b>	+4.5	+4.1	-	-

För samtliga parametrar erhålls en positiv procentuell förändring i samtliga utrymmen vid en ökad takhöjd. Temperatur i vardagsrum har störst positiv procentuell förändring av tid till att kritiskt gränsvärde uppnås. Då kritiskt gränsvärde för temperatur (förutom vardagsrum) och strålning aldrig uppnås i varken simulering 5 eller simulering 1 har ingen procentuell förändring av tid till kritiskt gränsvärde uppnåtts beräknats. Att FED = 1.0 inte inträffar i sovrums 1 under simulerad tid var förväntat. Gränsvärdet uppnåddes sist av alla rum i simulering 1 (strax efter sovrums 3) och i och med att sovrums 3 inte uppnådde FED=1.0 förrän efter 598 sekunder är det rimligt att sovrums 1 inte har uppnått gränsvärdet inom 600 sekunder. Vid sista tidssteget ligger FED-värdet dock på 0.99 i sovrums 1 och kritiskt gränsvärde bör därför inträffa strax efter 600 sekunder.

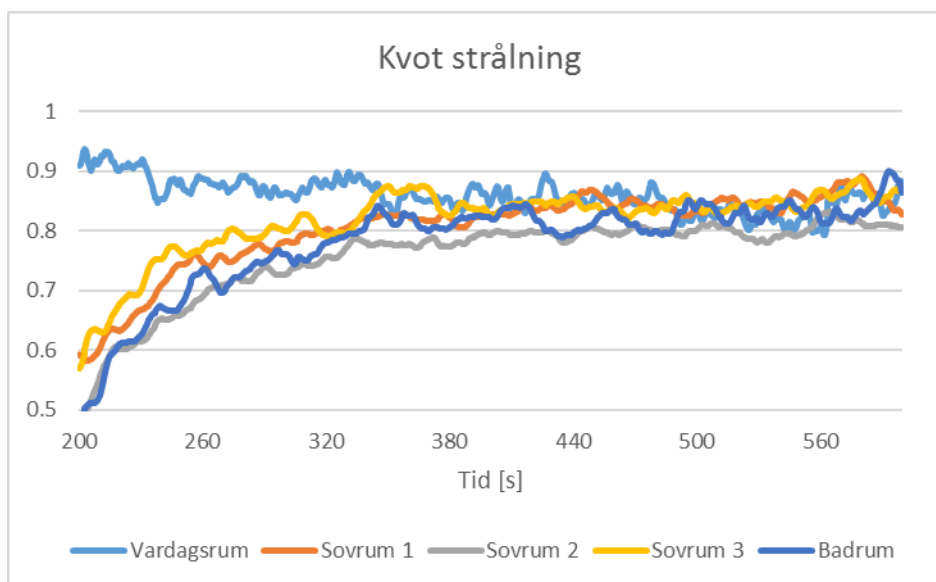
I Figur 55 - Figur 57 redovisas kvoten av uppmätta värden i respektive utrymme för simulering 1 och 5.



Figur 55 Kvoten av uppmätt temperatur sett över tid i sekunder mellan simulering 1 och 5.



Figur 56 Kvoten av uppmätt FED sett över tid i sekunder mellan simulering 1 och 5.



Figur 57 Kvoten av uppmätt strålning sett över tid i sekunder mellan simulering 1 och 5.

Som kan ses är kvoterna mindre än ett i större delen av simuleringsförloppen. Detta innebär att förhållandena inom samtliga rum vid ökad takhöjd är genomgående bättre avseende de parametrar som betraktas än i motsvarande rum i simulering 1. Detta förklaras med att rumsvolymen ökar i simulering 5 och att varma och toxiska gaser ansamlas i taket. Att strålningsnivån är hög tidigare i förloppet i vardagsrummet beror på att det ligger i direkt anslutning till brandrummet. I vardagsrummet ansamlas sedan varma gaser i taket under en längre period i och med att detta rum är stort till ytan, vilket minimerar spridning av varma gaser till de andra rummen.

Slutsatsen är, i enlighet med motsvarande slutsats för två rum och kök, att ju högre takhöjd man har i en bostad, desto lindrigare är temperatur, strålning och toxicitetsförhållanden.

### 7.3 Inverkan av ökad golvarea

För att undersöka golvareans påverkan på konsekvensen av brand jämfördes resultaten från simulering 1 för två rum och kök samt fyra rum och kök. För utrymmet vardagsrum beräknades kvoten mellan resultaten för två rum och kök och fyra rum och kök och redovisas i Tabell 29 nedan. Notera att planlösningarna inte är identiska i sitt utförande, men vardagsrummet ansågs kunna jämföras då detta är beläget i nära anslutning till brandrummet och har en liknande placering av mätpunkt.

Tabell 29 Procentuell förändring av tid till kritiskt gränsvärde i vardagsrummet för simulering 1, två rum och kök samt fyra rum och kök.

Utrymme	Förändring, FED = 0.3 [%]	Förändring, FED = 1.0 [%]	Förändring T = 120 °C	Förändring Strålning = 2.5 kW/m <sup>2</sup>
<b>Vardagsrum</b>	+18.8	+21.7	+50.9	-

Vid avläsning av tabellen blir det tydligt att en större golvarea har en överväldigande positiv påverkan på konsekvensen av brand i bostad. Direkt jämförelse mellan övriga rum i planlösningarna kan inte göras då motsvarande mätpunkter inte går att jämföra. Vid en semikvantitativ jämförelse går det dock att fastställa att samtliga undersökta gränsvärden uppnås tidigare i den mindre planlösningen än den större, se Tabell 11 och Tabell 16. En ökad golvarea innebär, likt simulering 5, en ökad rumsvolym som bidrar till genomgående mer lindriga förhållanden avseende de parametrar som betraktas.

Slutsatsen är att en större golvarea leder till att tiden tills kritiskt gränsvärde uppnås ökar för samtliga undersökta gränsvärden i detta examensarbete.

### 7.4 Rumsindelning

Analys av inverkan av öppen planlösning för både två rum och kök och fyra rum och kök resulterade i en entydig slutsats att en öppen planlösning erhåller sämre förhållanden ju längre tiden går avseende konsekvenser av brand än standardfallet, och en sluten planlösning är därför att föredra. Rumsindelning bedöms minska spridning av varma och toxiska gaser ut ur brandrummet, men även minska spridningen av dessa in i rum som ligger avlägset brandrummet.

Sammantagen slutsats avseende rumsindelning är därför att man i bostäder bör sträva efter rumsindelning där det är möjligt och att statistiskt sannolikt brandrum bör vara omslutet av väggar.

### 7.5 Rumsplacering

I följande avsnitt presenteras jämförelsen av resultat från de olika rummen i simulering 1, fyra rum och kök. Numrering av rummen kan ses i Figur 15 avsnitt 3.2.2.

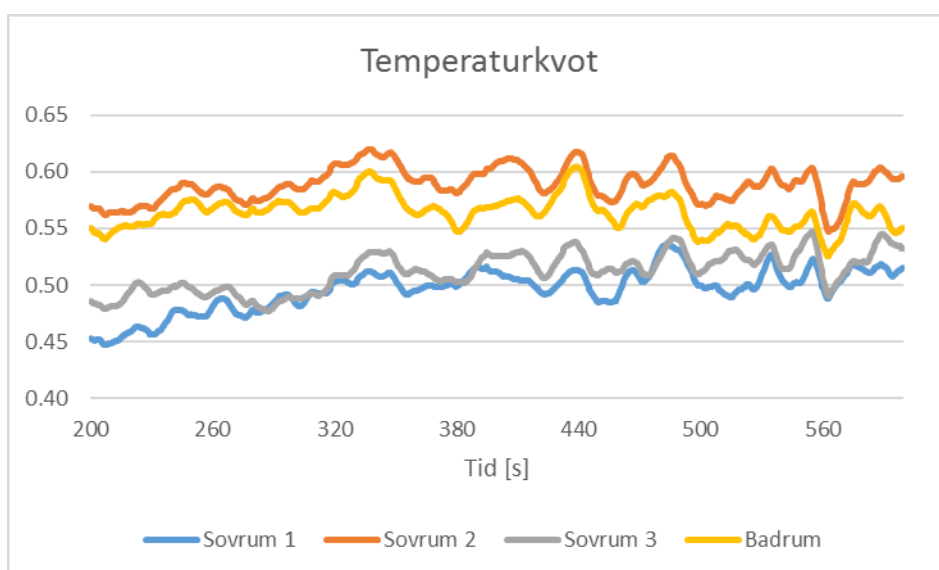
I Tabell 30 jämförs tid till dess att kritiska gränsvärden uppnåtts i sovrum 1-3 och badrum mot vardagsrummet i simulering 1, då detta rum är närmst beläget brandrummet.

Tabell 30 Procentuell förändring av tid tills dess att kritiskt gränsvärde har uppnåtts för parametrarna för simulering 1, fyra rum och kök. Jämförelsen är gjord mot vardagsrum i samma simulering.

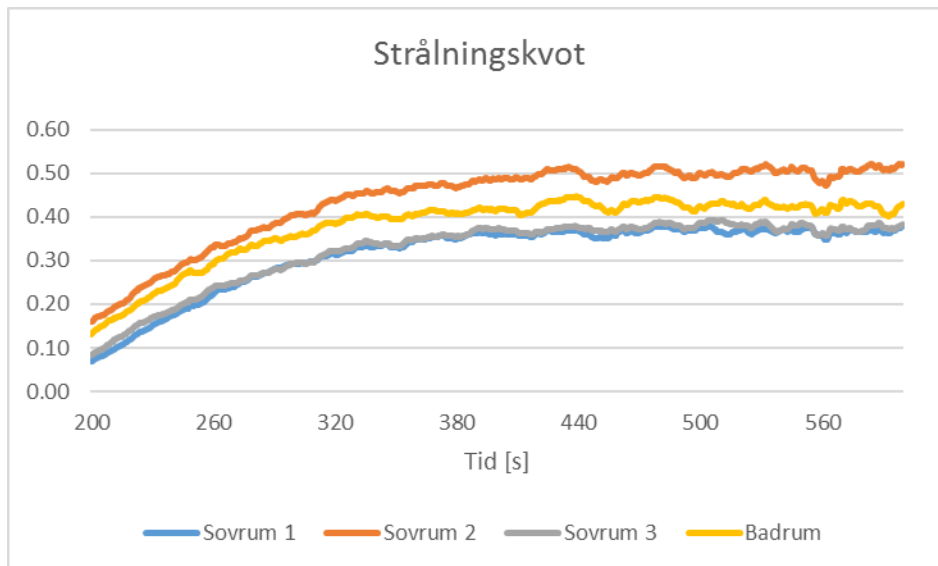
Utrymme	Förändring, FED = 0.3 [%]	Förändring, FED = 1.0 [%]
<b>Sovrum 1</b>	+11.2	+9.1
<b>Sovrum 2</b>	+10.8	+6.1
<b>Sovrum 3</b>	+11.7	+8.9
<b>Badrum</b>	+7.6	+6.2

För samtliga rum erhålls en positiv procentuell förändring av FED-värden i jämförelse med vardagsrummet. Sovrum 1 och 3 är de rum som har störst procentuell inverkan på tid till att kritiskt gränsvärde uppnås. Den procentuella förändringen är minst i badrummet, följt av sovrums 2. En trolig förklaring till detta är att rumsarea, och därmed även rumsvolymen, är större i sovrums 2 än i badrummet. Den procentuella förändringen är större i sovrums 1 i jämförelse med sovrums 2 vilket direkt hänförs till att sovrums 2 är beläget längre ifrån brandrummet.

Då kritiskt gränsvärde för temperatur aldrig uppnås för majoriteten av utrymmena i simulering 1 presenteras temperaturkvoter mellan sovrums 1-3 och badrum och vardagsrummet.



Figur 58 Kvot av uppmätt temperatur över tid mellan sovrums 1-3, badrum och vardagsrummet.



Figur 59 Kvot av uppmätt strålningsnivå över tid mellan sovrums 1-3, badrum och vardagsrummet.

I Figur 58 och Figur 59 redovisas kvoten av uppmätta temperaturer och strålning mellan värden i sovrums 1-3 och badrum och vardagsrummet. Kvoterna är sett över hela brandförloppet under ett, vilket innebär att utrymmena har lägre temperaturer än vad vardagsrummet har. Sovrum 1 har genomgående lägst temperatur- och strålningsnivåer.

Betraktar vi sovrums 1 och 2, som har identisk rumsvolym, har sovrums 1 bättre förhållanden avseende både FED, temperatur och strålning.

Slutsatsen är att ju längre avstånd ett rum har från brandrummet i, desto lindrigare är temperatur, strålning och toxicitetsförhållanden.

## 7.6 Slutsatser

Följande parametrar relaterat till en bostads planlösning tycks vid analys av resultat ha en positiv inverkan på konsekvenser av brand som utgör fara för människors hälsa och liv:

- Ökad takhöjd
- Rumsindelning
- Rumsplacering (förutsatt att placering sker enligt föreslagen praktisk åtgärd)

Eftersom samtliga av dessa parametrar undersökts med olika tillvägagångssätt är det svårt att rangordna dem för att avgöra vilken av de tre som leder till bäst förbättring med hänsyn till konsekvens av brand. Dock bidrog en högre takhöjd till en märkbart bättre procentuell förbättring av förhållandena i rum under påverkan av brand.

Följande parametrar relaterat till en bostads planlösning tycks vid analys av resultat ha en negativ inverkan på konsekvenser av brand som utgör fara för människors hälsa och liv:

- Öppen planlösning
- Ökad dörrhöjd
- Ökad dörrbredd

En öppen planlösning hade störst negativ inverkan på konsekvenser av brand, följt av dörrhöjd och dörrbredd. En ökad dörrbredd hade marginellt sämre inverkan på konsekvenser av brand än dörrhöjd. Notera att den procentuella ökningen av dörrbredd respektive dörrhöjd inte är lika stor.



## 8 Praktiska åtgärder

Följande praktiska åtgärder föreslås för de olika parametrarna för att konsekvenser av brand som utgör fara för människors hälsa och liv ska minimeras.

### 8.1 Öppen planlösning

En praktisk åtgärd med hänsyn till en öppen planlösning för att minimera konsekvenser av brand som utgör fara för människors hälsa och liv kan vara att:

- Undvika öppen planlösning om möjligt.

### 8.2 Dörrhöjd- och bredd

Praktiska åtgärder för att minimera konsekvenser av brand som utgör fara för människors hälsa och liv kan vara att:

- Minimera dörrhöjd om så är möjligt inom ram för Boverkets byggregler om en dörrhöjd på minimalt 2 meter.
- Minimera dörrbredd om så är möjligt inom ram för Boverkets byggregler om en dörrbredd på minimalt 0.80 meter, om särskilda behov inte föreligger.

### 8.3 Takhöjd

En praktisk åtgärd med hänsyn till takhöjd för att minimera konsekvenser av brand som utgör fara för människors hälsa och liv kan vara att:

- Takhöjd bör om möjligt maximeras.

### 8.4 Rumsindelning

Praktiska åtgärder med hänsyn till rumsindelning för att minimera konsekvenser av brand som utgör fara för människors hälsa och liv kan vara att:

- Statistiskt sannolikt brandrum bör avskiljas
- Avskiljbar del av rum enligt Boverkets Byggregler (se avsnitt 3.2.1) bör avskiljas om möjligt.

### 8.5 Rumsplacering

Praktiska åtgärder med hänsyn till rumsplacering för att minimera konsekvenser av brand som utgör fara för människors hälsa och liv kan vara att rum i nära anslutning till statistiskt sannolikt brandrum bör vara:

- Rum där människor tillfälligt vistas samt
- Rum där människor inte kan förväntas sova.



## 9 Diskussion

Nedan presenteras diskussion för de olika delarna vilka examensarbetet i huvudsak har bestått av.

### 9.1 Handberäkningar och CFAST

Utförda handberäkningar i examensarbetet har gjorts med i huvudsak två metoder, Zukoskis och Johanssons, Svenssons och van Hees. Metoderna beräknar inte samma sak, utan man beräknar antingen rökfyllnadstid givet ett brandgaslager på en angiven höjd eller brandgaslagrets höjd. Samma brand har använts vid beräkningarna enligt båda metoderna, men i och med att olika resultat erhålls är de inte direkt jämförbara sinsemellan. Detta ansågs dock vara okej då huvudsyftet med beräkningarna var att konstatera en eventuell påverkan på konsekvenser av brand hos parametrar relaterat till en bostads planlösning samt att kvantifiera denna överslagsmässigt.

Vid handberäkningar utförda med Zukoskis metod har värden för läckage i tak använts. Takläckage är inte nödvändigtvis den vanligaste läckagetypen i en bostad, men genom att räkna på detta sätt innebar det att värden endast behövde utläsas ur en graf. Detta underlättade beräkningsgången avsevärt samt underlättade möjligheterna att göra en grafisk representation av resultatet, vilket var önskvärt. Vi betraktade även ett utrymme där det på förhand inte var definierat hur läckage ser ut. Dock ansågs detta spela mindre roll. Dessutom användes resultatet framförallt i komparativt syfte för att se vilka storheter som har störst påverkan och det absoluta resultatet användes inte i sig som underlag.

I CFAST simuleringarna modellerades en brand som hade en tillväxtfas. Detta ansågs egentligen inte nödvändigt, men utfördes som en åtgärd för att ge branden ett realistiskt startförlopp samt undvika ventilationskontrollerade förhållanden. Dock blev branden ventilationskontrollerad i senare skede, vilket ansågs svårt att undvika med hänsyn till den begränsade rumsvolymen. Vid analys av resultatet ansågs dock att tillräckliga slutsatser kunde dras från simulerat brandförlopp. Därför ansågs det inte nödvändigt att ägna ytterligare tid på att förfina simuleringen eftersom resultaten ändå bedömdes användbara.

Rumsgeometrin i CFAST hade kunnat efterlikna rumsgeometrin i utförda FDS simuleringar. Detta gjordes dock inte då simuleringar i CFAST endast genomfördes för att undersöka eventuell påverkan av parametern rumsindelning, samt att CFAST simuleringar ändå inte ansågs direkt jämförbara med simuleringar i FDS.

### 9.2 Fallstudie

Nedan presenteras diskussion relaterat till fallstudien.

#### 9.2.1 Förutsättningar för fallstudie

Vid genomförd fallstudie har inte värsta tänkbara brandscenario betraktats. Istället har stor vikt lagts vid att modellera ett så statistiskt troligt brandscenario som möjligt. Detta gjordes för att få en verklighetsförankrad analys. Med det sagt så är inte brandscenariot representativt för alla tänkbara bränder i en bostad och det är därför viktigt att från läsarens sida inte betrakta representationen som en absolut sanning. För att inte ge intrycket att en helhetsbild av brandrisken i bostäder undersökts har en avgränsning gjorts att endast betrakta konsekvenser av brand i examensarbetet.

Framtagandet av den representativa branden var en tidskrävande process under examensarbetets gång. Att så mycket tid lades på detta i stället för att använda en dimensionerande brand enligt BBRAD ansågs vara en nödvändighet för att erhålla bättre resultat. En dimensionerande brand enligt BBRAD motsvarar inte nödvändigtvis ett verkligt brandscenario i undersökt miljö. Syftet i detta examensarbete har varit att undersöka hur konsekvens av en möjlig brand i bostad påverkas av variation i planlösning. Att därför ta fram en brand som kan anses representativ för det statistiskt sannolika brandrummet ansågs därför nödvändigt för att erhålla trovärdiga resultat.

Mängden och sammansättningen av de toxiska gaser som produceras under brandförloppet beror på faktorer som bränslets sammansättning och ventilationsförhållanden. Vid utförda simuleringar i detta examensarbete har bränslet förutsatts bestå av en trä- och polyuretanblandning. En annorlunda sammansättning hade lett till att produktionen av gaser blivit annorlunda och en viss skillnad i tid till kritiskt gränsvärde för FED hade troligtvis uppmätts. Detta gör att resultaten som erhålls framförallt representerar fallet då just denna bränslesammansättning brinner, vilket sällan är fallet då branden troligtvis sprider sig till andra näraliggande material. Dock anses resultaten vara tillfredsställande för examensarbetets jämförande syfte.

Samtliga kritiska gränsvärden är inte enhetligt definierade med hänsyn till effekten av exponering, utan effekten av exponering varierar för FED-, temperatur- och strålningsgränsvärdena. Detta medför att en jämförelse mellan parametrarna sinsemellan inte nödvändigtvis är möjlig. Någon sådan jämförelse är dock inte utförd i examensarbetet, utan samtliga komparativa resultat är utförda mellan de olika simuleringarna och mellan samma parametrar, då dessa har samma effekt. Det hade varit både intressant och relevant för examensarbetet att kunna definiera en enhetlig effekt av exponering för samtliga kritiska gränsvärden för att möjliggöra en jämförelse mellan de olika parametrarna, men detta var inte möjligt då sådan data inte finns tillgänglig.

Undersökta planlösningar har valts ut baserat på att de motsvarar genomsnittliga planlösningar för verkliga bostäder. Det finns dock stor variation av planlösningar i bostäder vilket gör det omöjligt undersöka samtliga planlösningar utan att göra avgränsningar. Planlösningarna som undersöks anses vara tillräckligt ospecifika för att representera bostäder med sluten samt öppen planlösning tillräckligt väl för analysens syfte.

Den tillväxthastighet som beräknats för den representativa branden är ungefär lika med 0.006 kilowatt per sekundkvadrat. Enligt Karlsson och Quintiere (1999) rekommenderas en tillväxthastighet på 0.012 kilowatt per sekundkvadrat istället för designbränder i bostäder. I examensarbetet har den representativa branden baserats på försök och experiment på föremål som kan hittas i ett kök och som finns i de flesta bostäder idag. Det skiljer en faktor två mellan rekommenderat värde och det som använts i detta examensarbete. Dock anses den tillväxthastighet som beräknats i examensarbetet vara att föredra framför rekommenderat värde i litteratur, i och med att syftet var att representera en så pass verklig brand som möjligt. Använt värde är alltså mindre konservativt än rekommenderat värde enligt Karlsson och Quintiere (1999), men skildrar troligtvis ett mer verkligt förlopp.

### 9.2.2 Resultat av fallstudie

Enligt statistik i avsnitt 3.1 är räddningstjänstens insatser till bränder i byggnader i majoritet till bostadsbränder. Bostäder bedöms därför vara särskilt utsatta för bränder, varför ett

tillfredsställande brandskydd anses vara av yttersta relevans, vilket bör innefatta reduktion av risk för brand och konsekvens av brand i bostäder. Då en av slutsatserna för detta examensarbete är att planlösningar i bostäder har en påverkan på konsekvenser av brand bör detta vara något som tas hänsyn till vid nybyggnationer av bostäder i framtiden. Praktiska åtgärder föreslås inkorporeras i Boverkets Byggregler kapitel fem där brandskydd avhandlas för att brandskydd inom bostäder ska förbättras ytterligare.

Bedömningar i fallstudien av tid till att kritiskt gränsvärde har uppnåtts kan vara något missvisande. Turbulensen i utrymmena bidrar till fluktueringar i mätvärdena, vilket bidrar till momentant för höga eller låga värden. Detta åtgärdades genom att beräkna medelvärden i varje tidssteg ( $\pm$  tre sekunder) i de mätpunkter där fluktueringarna var så pass stora att utläst resultat kunde bli allt för missvisande. Att värdena representerades som medelvärden gjorde att fluktueringarna minskades, men eliminerade inte dessa helt. Att inte eliminera fluktueringar helt ansågs vara relevant då turbulens är en naturlig del av ett brandförlopp. Detta kan ha utslag på jämförande resultat mellan simuleringar, som trots att det ursprungliga resultatet är tidsgenomsnittligt fortfarande är fluktuerande. En jämförelse kan därför ske mellan momentana extremvärden, vilket kan förklara större momentana procentuella skillnader.

För att visualisera hur fördelningen av FED skiljer sig mellan den slutna och öppna planlösningen redovisades detta med en tvärsnittsbild, en så kallad "slicefile" (se Figur 45). Detta gjordes enbart för denna jämförelse då det var mellan dessa två fall som den största skillnaden uppmättes. Detta är enbart i syfte att illustrera skillnaderna och för att kunna dra slutsatser om anledningar till skillnaderna.

Förhållanden i brandrummet har inte undersökts i fallstudien eller analyserats djupare i övrigt. Denna avgränsning gjordes då det inte ansågs relevant i och med att förhållandena snabbt blir så pass kritiska att ingen människa kan förväntas befinna sig i utrymmet. Resultat från brandrummet har dock analyserats och använts för att verifiera FDS-simuleringarnas riktighet.

### 9.3 FDS simuleringar

I detta avsnitt följer de diskussioner som förts kring begränsningar, validitet och uppställning av simuleringarna i FDS.

#### 9.3.1 Begränsningar i FDS

I FDS har branden reducerats till en brinnande kvadratisk yta centrerat i brandrummet. Detta gjordes som en åtgärd för att kunna samla samtliga brandscenarier beskrivna i en och samma brand. Genom att centrera branden i rummet i stället för att placera den intill en vägg undviks problem som exempelvis förhöjd flamhöjd på grund av minskad tillgänglig ventilationsvolym. Detta innebär att branden inte fullt kan representera samtliga brandscenarier, men givet den validering som utförts anses branden vara väl konstruerad för simulering i FDS.

För att i FDS erhålla en effektutvecklingskurva liknande en  $\alpha t^2$  kurva har funktionen "Spread rate" använts vid konstruktionen av branden. För att använda denna funktion har en spridningshastighet definierats för branden, baserat på den definierade effektutvecklingen per kvadratmeter. Flamman startar i en användarbestämd punkt och sprids sedan radiellt tills hela brandytan brinner. Denna modell innebär att effektutvecklingen underskattas i slutet av

brandförloppet. Den anpassade representativa brand som används når maxeffekt vid 430 sekunder och den simulerade branden når maxeffekt först vid 460 sekunder. Detta då effektutvecklingsökningen avtar när brandspridningen nått sidorna på den kvadratiske brandytan och enbart sprider sig mot hörnen. Simulerad effektutveckling anses trots detta vara acceptabel för syftet i detta examensarbete.

En av begränsningarna i FDS är att mjukvaran enbart kan simulera en välventilerad, ej övertänd brand. För att säkerställa att branden är ständigt välventilerad gjordes därför ett antal hål till omgivningen i ytterväggarna. Dessa hål kan inte förutsättas motsvara realistiska läckage från en bostadslägenhet med stängda fönster utan är enbart en nödvändighet för att kunna simulera en korrekt brand. Hålen är placerade i golvnivå så att påverkan av brandgaslagret och rådande förhållanden minimeras, och resultatet i examensarbetet anses därför inte påverkas nämnvärt. Då önskad effektutveckling uppnås och bibehålls anses branden vara väl ventilerad.

Eventuell påverkan dessa ventilationshål skulle kunna ha på branden skulle kunna vara en avsvälning av branden eller avsvälning av det undre brandgaslagret. Brandens temperatur har dock undersökts och anses vara inom godkänd temperaturintervall. Påverkan som kan ha skett på det undre brandgaslagret anses inte påverka analysens resultat nämnvärt. Toxiska gaser ansamlas framförallt i taket och mätpunkterna på 1.8 meters höjd anses vara tillräckligt högt belägna för att inte påverkas av ventilationshålen.

Som följd av begränsningen att FDS inte kan simulera övertändningsförhållanden gjordes förenklingen att övertändning aldrig inträffar för simulerade fall. Detta innebär att värden för produktion av förbränningsprodukter vid en brand som ej uppnått övertändning har använts vid uppställningen av simuleringarna. Dessa värden är generellt lägre än motsvarande värden för en övertänd brand. Följden blir att resultaten underskattar ett reellt brandscenario. Simulerade scenarion anses trots detta vara tillämpbara för den jämförelse som utförs i examensarbetet. Parametrar som tider till uppnått gränsvärde är därför sannolikt lägre i en verklig brand men förhållandet mellan dessa tider bör vara likvärdiga.

En ytterligare följd av att FDS inte kan simulera övertändningsfenomenet är att maximal effekt fick undersökas genom att simulera ett scenario (simulering 0) där effektutvecklingen kontrolleras. När övertändningsförhållanden enligt relevant litteratur avseende temperatur och förbränning inträffade i utrymmet betraktades den momentana effekten vid detta tillfälle som maxeffekten för utrymmet. Detta tillvägagångssätt, i kombination med ventilationshål längs golvet, gjorde att en realistisk maxeffekt uppnåddes i utrymmet utan att simuleringarna blev underventilerade med dåligt resultat som följd.

### 9.3.2 Validering och verifiering

Kontroll av nodkonvergens har inte kunnat utföras på grund av tidsbrist. Men sett till den verifiering som utförts där kvoten  $D^*/\partial x$  beräknats överstiga 20 i det rum branden simulerats i anses ändå cellstorleken vara tillfredsställande liten. I övriga utrymmen överstiger kvoten tio, vilket är över den rekommenderade nivån. Dessutom har tio simuleringar genomförts som samtliga uppvisar effektutvecklingskurvor som överensstämmer med den på förhand bestämda effektutvecklingskurvan.

Vid verifiering av simuleringarnas riktighet användes litteratur för en äldre version av FDS än den version av FDS som använts under examensarbetet. Förändringarna mellan

versionerna påverkar dock inte tillämpligheten av verifieringen och samma verifieringsprocess tillämpas i examensarbetet. Vid verifiering klargjordes att relevanta simuleringsparametrar samtliga ligger väl inom rekommenderat intervall. Den enda parameter som placerar sig utanför rekommenderat intervall är kvoten  $D^*/\partial x$  som hamnar över rekommenderad nivå för att erhålla ett godtagbart resultat.

Utförda simuleringar i examensarbetet anses erhålla resultat med extern legitimitet. För att säkerställa att osäkerheterna i utförda simuleringar är i samma storleksordning som simuleringar utförda i valideringsstudier, jämfördes vissa ingående parametrar (se Bilaga 5 – FDS validering). Jämförelsen visade att utförda simuleringar i detta examensarbete stämmer väl överens med de flesta fall i valideringsstudien. Vissa simuleringsparametrar, så som förhållandet mellan höjd, längd och bredd på rummet, avvek men dessa anses ha en liten påverkan på giltigheten för simuleringarna. Osäkerhetsfaktorn är måttet på felmarginaler i FDS jämfört med experimentella försök liknande de geometrier som simulerats i detta examensarbete. För parametrarna som framförallt analyseras i detta examensarbete (temperatur, strålning och toxicitet) ligger osäkerhetsfaktorn i intervallet 0.98 – 1.02, vilket innebär en liten felmarginal för undersökta parametrar. Osäkerheter relaterat till toxiciteten i utrymmet är beroende av indataparametrar som definierats av användaren. I detta examensarbete är denna indata baserad på experimentellt framtagen data som anses vara den mest trovärdiga indata tillgänglig.

### 9.3.3 Uppställning

Det är troligt att uppställningen av planlösningarna har spelat roll i resultaten som erhållits i fallstudien. Placering av rum och dörrar är faktorer som sannolikt påverkar parametrar som tid tills kritiskt gränsvärde uppnås. Ett exempel är placeringen av badrum i fallet två rum och kök. Själva placeringen av dörren in till badrummet bidrar troligtvis till att varma och toxiska gaser lättare transporteras dit in. Denna transport av gaser kombinerat med den mindre rumsvolymen i badrum bidrar till att kritiska nivåer uppnås tidigare än för sovrum som är rummet intill badrum. Hade badrum och sovrum varit lika stora hade påverkan av denna placering kunnat undersökas bättre. Vid uppställning har dock ett mål varit att bibehålla planlösningarnas utseende så mycket som möjligt, varför storleken på dessa rum inte anpassats till att vara lika stora.

Mätpunkter för FED är placerade 1.8 meter ovan golv. Detta antogs vara en representativ andningshöjd för en människa som står upp. FED lika med 1.0 ansattes först till kritiskt gränsvärde då detta innebär den koncentration som leder till avsvimning hos medianpopulationen. Dock ansågs det även intressant att undersöka tid till FED lika med 0.3 som innebär avsvimning hos en känsligare del av populationen, 11.7 procent. Detta gjordes med tanken om att de som lider störst risk för att dö i bostadsbränder är äldre som troligtvis är känsligare för toxiska gaser än friska, unga individer.

Att FED valdes som en kritisk parameter att undersöka beror på att vid ett brandförlopp bildas en stor mängd toxiska gaser som samtliga har liknande konsekvens. Att kunna kombinera påverkan av dessa gaser sågs som en styrka jämfört att stället för att undersöka påverkan av respektive gas individuellt. Så som FED modelleras i FDS tas även konsekvens av irriterande gaser hänsyn till. Irriterande gaser har dock inte modellerats i examensarbetet då påverkan av dessa gaser främst påverkar utrymningsmöjligheter vilket inte undersöks i examensarbetet.

Att kritiskt gränsvärde för strålning valdes till  $2.5 \text{ kW/m}^2$  kan vara något konservativt. Som nämnts tidigare representerade detta värde en toleranstid på 30 sekunder. Valen av kritiska gränsvärden har varit en balansgång mellan att försöka hitta någon form av enhetlig effekt mellan de olika kritiska parametrarna, samtidigt som att gränsvärdet kan tänkas uppkomma inom simulerad tidsram. Denna balansgång blev särskilt svår när det gällde strålning. Att välja  $10 \text{ kW/m}^2$  som kritiskt gränsvärde var också ett alternativ (4 sekunders toleranstid), men vid detta värde bedömdes det på förhand vara en risk att värdet aldrig uppnås. I efterhand kan vi konstatera att denna bedömning var korrekt. Ett val av ett högre kritiskt gränsvärde för strålning hade alltså omöjliggjort jämförelse av tid till att kritiskt gränsvärde uppnås mellan de olika simuleringarna, vilket var en betydande del i analysen. Valet att ha  $2.5 \text{ kW/m}^2$  som kritiskt gränsvärde anses därför vara motiverat, då den huvudsakliga analysen var komparativ.

Mätpunkter för temperatur och strålning är även dessa placerade på 1.8 meter då detta ansågs vara en representativ höjd även för dessa två parametrar, samt för att öka jämförbarhet resultaten emellan. Vid analys av resultatet upptäcktes ett samband mellan parametrarna temperatur och strålning då en ökning av den ena parametern även innebar en ökning av den andra. Påverkan av parametrarna på människor skiljer sig dock från varandra då strålning har en direkt påverkan som leder till brännskador vid uppnått kritiskt gränsvärde. Kritiskt gränsvärde för temperatur som satts till  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  leder även detta till brännskador, även om kritisk påverkan kan uppstå vid temperaturer understigande  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ . Mellan  $80$  och  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  kan en förlängd exponering leda till värmeslag hos människor. Detta uppstår dock efter förlängd påverkan, något som troligtvis blir sekundärt efter brännskador och toxisk påverkan. Därför ansågs de valda kritiska gränsvärdena fylla examensarbetets syfte.

Vid uppställningen av planlösningarna i FDS har material i väggar och tak antagits till betong i tak, golv och ytterväggar och gips i innerväggar. Detta är givetvis en förenkling då väggar kan bestå av andra material och ofta olika material i flera lager. Variation av material med olika värmeledningstal kan påverka temperaturen i rummen både positivt och negativt. Förenklingen antas inte påverka analysens giltighet eftersom materialen är valda för att efterlikna verkliga byggnadsmaterial som används i bostäder.

Det ska nämnas att de ventilationshål till det fria som placerats i planlösningarna inte är representativa för en nybyggd lägenhet. Nybyggda lägenheter är relativt täta mot omgivningen. Ventilationshålen anses trots detta nödvändiga för att kunna utföra analysen då FDS inte kan simulera en underventilerad brand.

Det hade varit intressant att undersöka värmepåverkan som en sammanvägning av strålnings- och temperaturnivåer över tid, men för att undersöka detta hade ett manuellt beräkningsförfarande behövt konstrueras. På grund av tidsbrist bortprioriterades denna punkt och de momentana värden på temperatur FDS bistår med ansågs vara tillräckliga för att dra tillräckliga slutsatser om temperaturpåverkan i planlösningarna.

#### 9.4 Allmänt

Sett till sammanställd statistik i avsnitt 3.1 ovan för normerat antal omkomna från de senaste tio åren är risken störst att omkomma för individer i åldersgruppen 65+. I och med att risken är överlägset störst för denna åldersgrupp är det önskvärt att på något sätt reducera denna risk. Resultatet från detta examensarbete och dess föreslagna åtgärder för att reducera



konsekvenser av brand anses därför framförallt vara applicerbar i fall där människor i åldersgrupper 65+ kan förväntas bo relativt självständigt.

Resultatet och föreslagna praktiska åtgärder anses framförallt vara applicerbart i de utrymmen som undersökts i examensarbetet, det vill säga bostäder med en liknande planlösning som använts i fallstudien. Servicelägenheter bedöms vara i störst behov av dessa praktiska åtgärder för att reducera konsekvenser av brand. Resultatet bedöms även vara applicerbart i andra bostads- och verksamhetstyper än bostäder. En verksamhet där resultatet anses vara särskilt applicerbart är utrymmen av verksamhetsklass 5B enligt BBR. Denna verksamhetsklass innefattar bland annat äldreboenden och därav även den målgrupp som i detta examensarbete har konstaterats vara utsatt för störst brandrisk. Implementering av föreslagna åtgärder i sådana verksamheter kan därför vara bra för att ytterligare utöka det passiva brandskyddet.

I kontorsverksamheter ses även många lösningar där man gått mot ett öppet kontorslandskap. I enlighet med resultat från detta examensarbete avseende öppna planlösningar i bostäder bör även en sådan utveckling i kontor kunna antas ha en negativ inverkan på konsekvenser av brand.

I samlingslokaler och i andra utrymmen där flera personer kan förväntas vistas samtidigt blir dörrbredd och dess inverkan på rökspridning och utrymningsmöjlighet en mer uppenbar konflikt. På grund av det högt förväntade personantalet kan krav ställas på att dörrbredden bör ökas för att underlätta utrymningsmöjligheter, samtidigt som detta troligtvis leder till en ökad rökspridning till angränsande rum i enlighet med resultat från detta examensarbete. Detta understryker vikten av att en sammanvägning av utrymningsmöjligheter och rökspridning vid dimensionering av sådana lokaler och att resultat från detta examensarbete inte kan användas utan att ta hänsyn till avgränsningar som gjorts.

Flertalet av åtgärderna har relaterats till ett statistiskt sannolikt brandrum. I detta examensarbete har detta rum betraktats som kök, då det enligt väldokumenterad tillgänglig statistik är det vanligaste startutrymmet vid en bostadsbrand. Anledningen till att det inte alltid har kallats kök är för att statistiskt underlag kan förändras över tid. Termen statistiskt sannolikt brandrum användes för att undvika att vara för specifika i åtgärderna och för att undvika att de endast är applicerbara för just den undersökta perioden och utrymmena. Om det om ett par år mot förmodan är ett helt annat utrymme som ses som det mest statistiskt sannolika brandrummet bör åtgärder anpassas efter detta. Statistiken avser även endast bostadsbränder och önskas resultat eller resonemang nyttjas i andra verksamheter ansågs att tillämpningen bör vara generell och inte för specifik.

Sett till de parametrar som har positiv inverkan på konsekvenser vid brand förutsatt att de föreslagna praktiska åtgärderna följs, det vill säga slutna planlösningar, ökad takhöjd, ökad golvarea, rumsplacering och rumsindelning, anses vissa vara mer motiverade än andra att implementera. Slutna planlösningar och ökad takhöjd har i fallstudien konstaterats ha störst positiv inverkan på konsekvenser vid brand, varför dessa anses mycket motiverade. Praktiska åtgärder relaterat till rumsplacering och rumsindelning anses vara relativt enkla åtgärder att implementera vid nybyggnation och anses av detta skäl vara motiverade. Ökad golvarea anses å andra sidan svår motiverad, då en lägenhets boyta inte endast bör anpassas efter brandskyddet.

## 9.5 Framtida studier

Examensarbetet kan ses som en första del av en kostnad-nytta analys av de undersökta parametrar relaterat till en bostads planlösning, där nyttan kan betraktas som en minimerad konsekvens av brand som utgör fara för människors hälsa och liv. Kostnaden av att implementera de föreslagna åtgärderna har inte undersökts i detta examensarbete. En fullständig kostnad-nytta analys hade därför varit önskvärt för att kunna motivera om åtgärderna även är försvarbara och rimliga sett ur ett samhällsekonomiskt perspektiv.

Fallstudien som har genomförts i detta examensarbete är inte fullständig. Vissa parametrar har på grund av tidsbrist endast analyserats med tvåzonsmodeller eller enklare komparativ analys av FDS-resultat, till exempel parametrarna golvarea och rumsplacering. Det hade varit önskvärt att dessa undersöktes mer utförligt i vidare studier i enlighet med de parametrar som undersöktes mer omfattande med fallstudiemetodiken som använts i examensarbetet. Även analysen av de parametrar som undersöktes omfattande hade kunnat utvidgas för att se hur de påverkar om de ökas eller minskas ännu mer.

Utrymningsmöjligheter har inte undersökts i detta examensarbete. För att få en mer fullständig bild av personsäkerheten i utrymmen som betraktas bör även dessa beaktas. Då förändringar av en bostads planlösning kan ha en inverkan på utrymningen är ytterligare studier inom detta område önskvärt. En ökad dörrbredd har exempelvis identifierats att ha en negativ inverkan på konsekvenser av brand, medan denna åtgärd istället kan ha en positiv inverkan på utrymningsmöjligheter vid brand. Detta motiverar ytterligare behovet av vidare studier där utrymningsmöjligheter vid brand och konsekvenser av brand som kan påverka människors liv och hälsa relaterat till bostäders planlösningar sammanvägs.

Det huvudsakliga resultatet av detta examensarbete är hur oberoende parametrar och åtgärder relaterat till bostäders planlösningar som kan minska konsekvenser av brand. Hur dessa parametrar vid samtidig implementering kan bidra till ett bättre passivt brandskydd i bostäder har inte undersökts, varför det anses relevant att i fortsatta studier undersöka detta.

Då bostäder är en byggnadstyp som är särskilt utsatt för bränder bör även andra faktorer än planlösningars inverkan på konsekvenser av brand undersökas för att möjliggöra en reduktion av brandrisken i helhet. Möjliga fortsatta studier inom området kan därför vara reduktion av brandrisk och uppkomst av brand i bostäder samt studier av andra parametrar inom en bostad relaterat till annat än dess planlösning som kan tänkas ha en påverkan på konsekvenserna vid brand.

I detta examensarbete har endast inverkan av en välventilerad flambrand undersökts. Underventilerade bränder där mer toxiska gaser kan förväntas hade varit av intresse och kan dessutom vara ett mer troligt och verkligetsförankrat scenario i en bostadsbrand. Det hade därför varit relevant att undersöka andra bränders inverkan på människors liv och hälsa.

## 10 Slutsats

I slutsatsen besvaras de frågeställningar som ställdes i introduktionen (se avsnitt 1.4) av examensarbetet.

### 1. Vilken påverkan har en bostads planlösning på konsekvenser vid brand?

Variation i bostäders planlösning kan leda till både ökade och minskade negativa konsekvenser vid brand. Med utgångspunkt i slutna planlösningar blir analysens slutsats att åtgärder för att öppna upp planlösningen bidrar till ökade negativa konsekvenser vid brand.

### 2. Vilken påverkan och i vilken omfattning påverkar parametrar relaterat till en bostads planlösning konsekvenser vid brand?

De i examensarbetet identifierade parametrar relaterat till en bostads planlösning hade både en positiv och en negativ inverkan på konsekvenser av brand som utgör fara för människors liv och hälsa.

Följande parametrar relaterat till en bostads planlösning tycks vid analys av resultat ha en positiv inverkan på konsekvenser av brand som utgör fara för människors hälsa och liv:

- Ökad takhöjd
- Rumsindelning
- Rumsplacering (förutsatt att placering sker enligt föreslagen praktisk åtgärd)

Eftersom samtliga av dessa parametrar undersökts med olika tillvägagångssätt är det svårt att rangordna dem för att avgöra vilken av de tre som leder till bäst förbättring med hänsyn till konsekvens av brand. Dock bidrog en högre takhöjd till en märkbart bättre procentuell förbättring av förhållandena i rum under påverkan av brand.

Följande parametrar relaterat till en bostads planlösning tycks vid analys av resultat ha en negativ inverkan på konsekvenser av brand som utgör fara för människors hälsa och liv:

- Öppen planlösning
- Ökad dörrhöjd
- Ökad dörrbredd

En öppen planlösning hade störst negativ inverkan på konsekvenser av brand, följt av dörrhöjd och dörrbredd. En ökad dörrbredd hade marginellt sämre inverkan på konsekvenser av brand än dörrhöjd.

Sett till den absoluta procentuella förändringen har öppen planlösning störst inverkan på konsekvenser av brand, följt av takhöjd, dörrhöjd och dörrbredd i fallande storleksordning.

3. Vilka bostadstyper är i störst behov av åtgärder relaterat till deras planlösning för att minska konsekvenser vid brand?

Sett till sammanställd statistik i 3.1.1 ovan för normerat antal omkomna från de senaste tio åren är risken störst att omkomma för individer i åldersgruppen 65+. I och med att risken är överlägset störst för denna åldersgrupp är det önskvärt att på något sätt reducera denna risk. Resultatet från detta examensarbete och dess föreslagna åtgärder för att reducera konsekvenser av brand anses därför framförallt vara applicerbara i fall där människor i åldersgrupper 65+ kan förväntas bo relativt självständigt. Exempel på sådant boende kan vara servicelägenheter.

## 11 Referenser

Bengtsson, L.-G., 2001. *Inomhusbrand*. Karlstad: Tryckeri Knappen AB .

Best Practice gruppen, 2009. *CFD Best Practice*. [Online]

Available at:

<http://www.brand.kk.dk/RaadOgVejledning/~media/Files/Publikationer/Raad%20og%20vejledning/Best%20Practice%20CFD%20november%202009.ashx>

[Använd 05 September 2016].

BIV, 2016. *Föreningen för brandteknisk ingenjörsvetenskap*. [Online]

Available at: [http://www.sfpe-](http://www.sfpe-biv.se/attachments/article/10098/St%C3%B6d%20f%C3%B6r%20till%C3%A4mpning-CFD-remissutg%C3%A5va.pdf)

[biv.se/attachments/article/10098/St%C3%B6d%20f%C3%B6r%20till%C3%A4mpning-CFD-remissutg%C3%A5va.pdf](http://www.sfpe-biv.se/attachments/article/10098/St%C3%B6d%20f%C3%B6r%20till%C3%A4mpning-CFD-remissutg%C3%A5va.pdf)

[Använd 2 September 2016].

Forney, G. P., McGrattan, K. B., Peacock, R. D. & Reneke, P. A., 2016. *CFAST - Consolidated Fire and Smoke Transport (Version 7) Volume 1: Technical Reference Guide*. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology.

G. Gann, R., D. Averill, J., D. Marsh, N. & R. Nyden, M., 2007. *Assessing the accuracy of a physical fire model for obtaining smoke toxic potency data*, Gaithersburg, USA: National Institute of Standards and Technology.

Hou, J. (-P., 2011. *Distribution Curves for Interior Furnishings on CO<sub>2</sub>, CO, HCN, Soot and Heat of Combustion*, Christchurch, New Zealand: Department of Civil and Natural Resources Engineering, University of Canterbury .

Hurley, M. J. red., 2016. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. 5:e red. London: Springer.

Jeong, B. J., 2014. *Combination of CFD and evacuation models for determination of FED and FEC levels*, Lund: Avdelningen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.

Johansson, N., Svensson, S. & van Hees, P., 2015. An evaluation of two methods to predict temperatures in multi-room compartment fires. *Fire Safety Journal*, Volym 77, pp. 46-58.

Karlsson, B. & Quintiere, J. G., 1999. *Enclosure Fire Dynamics*. London: CRC Press.

Liu, Q., Gao, Y., Chow, W.-k. & Cai, N., 2015. *Numerical studies on kitchen fire hazards with multiple burning sources* , Berlin: Springer-Verlag.

McAllister, J. L. & Purser, D. A., 2016. Assessment of Hazards to Occupants from Smoke, Toxic Gases and Heat. i: M. J. Hurley, red. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Greenbelt: Springer, pp. 2308-2428.

McGrattan, K. o.a., 2016. *Fire Dynamics Simulator User's Guide*, Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology.

McGrattan, K., Overholt, K. & Peacock, R., 2016. Validation of Fire Models Applied to Nuclear Power Plant Safety. *Fire Technology*, Volym 52, pp. 5-24.

- MSB, 2016. *MSB:s statistik och analysverktyg IDA*. [Online]  
Available at: <https://ida.msb.se/ida2#page=a0087>  
[Använd 7 November 2016].
- NIST, 2016. *FDS Release Notes*. [Online]  
Available at: <https://github.com/firemodels/fds/wiki/FDS-Release-Notes>  
[Använd 11 10 2016].
- Nystedt, F., 2011. *Verifying Fire Safety Design in Sprinklered Buildings*, Lund: Lund University Dept of Fire Safety Engineering and Systems Safety.
- Nystedt, F. & Frantzych, H., 2011. *Kvalitetsmanual för brandtekniska analyser vid svenska kärntekniska anläggningar*, Lund: Avdelningen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- Purser, D. A., 2016. Combustion Toxicity. i: M. J. Hurley, red. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Greenbelt: Springer, pp. 2207-2307.
- SCB, 2009. *Tabeller över Sveriges Befolkning - Folkmängd Översiktstabeller*. [Online]  
Available at: <http://www.scb.se/sv/Hitta-statistik/Publiceringskalender/Visa-detaljerad-information/?publobjid=11400>  
[Använd 27 10 2016].
- SCB, 2015. *Statistiska centralbyrån*. [Online]  
Available at: <http://www.scb.se/sv/Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Boende-byggande-och-bebyggelse/Bostadsbyggande-och-ombyggnad/Bostadsbestand/87469/87476/Behallare-for-Press/402441/>  
[Använd 27 Oktober 2016].
- Staffansson, L., 2010. *Selecting design fires*, Lund: Avdelningen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- Särdqvist, S., 1993. *Initial Fires*, Lund: Avdelning för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- Thiberg, S., red., 1985. *Bostadsboken*. Stockholm: Norstedts Tryckeri.
- Willén, M., 2012. *Berättelser om den öppna planlösningens arkitektur*. 1:a red. Lund: Sekel Bokförlag.
- Yin, R. K., 2009. *Case Study Research*. 4:e red. London: SAGE Publications Inc..

## Bilaga 1 – Handberäkningar

I denna bilaga redovisas de handberäkningar som genomförts vid riskskattningen. I Tabell 32 och Tabell 33 redovisas resultat och indata för normala förhållanden givet branden i Tabell 31.

Tabell 31 Brandens egenskaper vid utförda handberäkningar.

Variabel	Värde
$\dot{Q}$ brandens effektutveckling	500 kW
$\dot{Q}_c$ brandens konvektiva effektutveckling	350 kW
Brandens diameter	0.80 meter
Brandens area	0.50 m <sup>2</sup>

Brandens effektutveckling ansattes till 500 kW för att flamhöjden  $L$  ska överstiga brandgaslagrets höjd  $Z_{int}$  (och därav även  $Z$ ) för att plymmodellen ska vara giltig, se Ekvation 1 i avsnitt 2.1. Är effekten mycket högre än 500 kW överskrider dock flammans höjd takhöjden vilket inte var önskvärt. Brandens diameter ansattes till 0.8 meter för att erhålla en cirkulär area på 0.5 kvadratmeter. Detta var nödvändigt för att HRRPUA skulle bli 1000 kW/m<sup>2</sup>, vilket överensstämmer bra med HRRPUA-värdet i FDS simuleringarna.

### Grundförutsättningar

Tabell 32 Indata och resultat vid vanliga förhållanden vid beräkning av brandgaslagrets höjd med Johanssons, Svenssons och Van Hees metod.

Variabel	Resultat brandgaslagrets höjd
$H_0 = 2,0$ m	$Z_{int} = 0.864$ m
$A_0 = 2.0$ m x 0.80 m = 1.6 m <sup>2</sup>	

Beräkning av brandgaslagrets höjd med Johansson, Svensson och van Hees metod vid förhållanden som uppfyller BBRs krav på takhöjd samt dörrhöjd- och bredd gav ett brandgaslager på 0.864 meter över golv.

Tabell 33 Indata och resultat vid vanliga förhållanden vid beräkning av rökfyllnadstid med Zukoskis metod.

Variabel	Resultat rökfyllnadstid
$H = 2.40$ m	$t = 9.80$ s
$S = 2.40$ m x 3.60 m = 8.64 m <sup>2</sup>	
$Z = 1.20$ m	

Beräkning av tid tills att brandgaslagrets höjd motsvarade 50% av takhöjden (1.2 meter ovan golv) med Zukoskis metod vid förhållanden som uppfyller BBRs krav på takhöjd samt dörrhöjd- och bredd gav en rökfyllnadstid på 9.8 sekunder.

## Variation av dörrhöjd- och bredd

För att undersöka dörrhöjd och dörrbredds eventuella påverkan av brandgaslagrets höjd i ett utrymme har handberäkningar enligt avsnitt 2.1.2 utförts. Dörrhöjd varieras med parametern  $H_0$  och dörrbredd varieras genom att hålla  $H_0$  konstant och variera öppningens area  $A_0$ . Indata och resultat för varje beräkning ses i tabeller nedan.

Tabell 34 Indata och resultat när dörrhöjd ökas vid beräkning av brandgaslagrets höjd med Johanssons, Svenssons och van Hees metod.

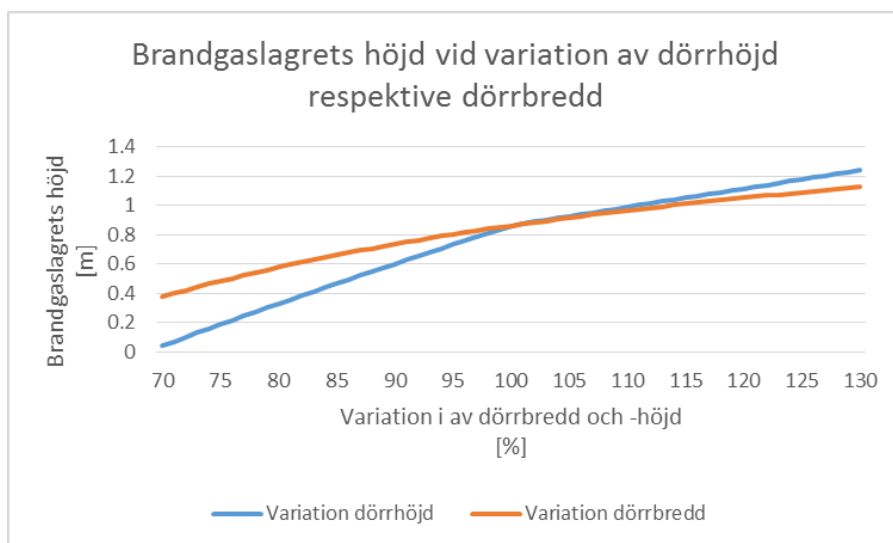
Variabel	Resultat brandgaslagrets höjd [m]
$H_0 = 2.20$ m	$Z_{int} = 0.976$
$A_0 = 2.20$ m x $0.800$ m = $1.76$ m <sup>2</sup>	

Tabell 35 Indata och resultat när dörrbredd ökas vid beräkning av brandgaslagrets höjd med Johanssons, Svenssons och Van Hees metod.

Variabel	Resultat brandgaslagrets höjd [m]
$H_0 = 2.00$ m	$Z_{int} = 0.975$
$A_0 = 2.00$ m x $1.00$ m = $2.00$ m <sup>2</sup>	

Vid samma förhållanden som i Tabell 32 med en ökad dörrhöjd på 0.2 meter (och därav även en ökad öppningsarea) erhålls ett brandgaslager på 0.976 meter över golv. Med en ökad dörrbredd på 0.2 meter erhålls ett brandgaslager på 0.975 meter över golv. Ökades dörrhöjden och dörrbredden med 0.2 meter stiger brandgaslagret i utrymmet alltså med cirka 19 procent i båda fallen.

För att förtydliga variablernas påverkan på brandgaslagrets höjd har brandgaslagrets höjd illustrerats som funktion av dörrbredd respektive dörrhöjd i Figur 60. Variation av dörrbredd och dörrhöjd har skett procentuellt där utgångspunkten har varit en normalstor dörr med måtten 2 meter hög och 0.80 meter bred. Höjden och bredden har varierats med 30 procent ökning respektive minskning. Som kan ses så har dörrhöjden större påverkan på brandgaslagrets höjd än dörrbredden.



Figur 60 Brandgaslagrets höjd vid variation av dörrhöjd respektive dörrbredd.



## Variation av takhöjd och golvarea

För att undersöka takhöjdens och golvareans eventuella påverkan av rökfyllnadstiden i ett utrymme har handberäkningar enligt avsnitt 2.1.1 utförts. Takhöjden varieras med parametern  $H$  och golvarean med parametern  $S$  medan de andra parametrarna i beräkningen hålls konstanta. Indata och resultat ses i Tabell 36, Tabell 37 och Tabell 38.

Tabell 36 Indata och resultat när dörrbredd ökas vid beräkning av rökfyllnadstid med Zukoskis metod.

Variabel	Resultat rökfyllnadstid [s]
$H = 2.60$ m	$t = 11.2$
$S = 2.40$ m x $3.60$ m = $8.64$ m <sup>2</sup>	
$Z = 1.20$ m	

Tabell 37 Indata och resultat när rumsbredd ökas vid beräkning av rökfyllnadstid med Zukoskis metod.

Variabel	Resultat rökfyllnadstid [s]
$H = 2.40$ m	$t = 10.62$
$S = 2.60$ m x $3.60$ m = $9.36$ m <sup>2</sup>	
$Z = 1.20$ m	

Tabell 38 Indata och resultat när golvarea ökas vid beräkning av rökfyllnadstid med Karlsson och Quintieres metod.

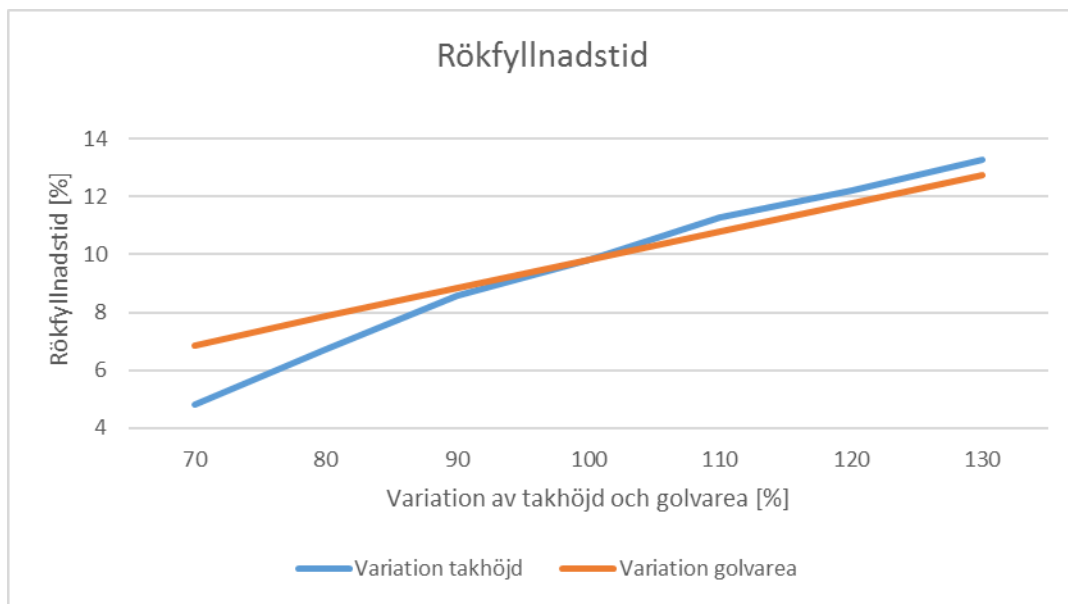
Variabel	Resultat rökfyllnadstid [s]
$H = 2.40$ m	$t = 10.79$
$S = 2.40$ m x $3.60$ m x $1.2 = 9.5$ m <sup>2</sup>	
$Z = 1.20$ m	

Vid samma förhållanden som i Tabell 33 med en ökad takhöjd på 0.2 meter erhålls en rökfyllnadstid på 11.2 sekunder. Med en ökning på 0.2 meter på takhöjden ökar alltså rökfyllnadstiden med cirka 14 procent.

Ökades endast rumsbredden med 0.2 meter erhålls en rökfyllnadstid på 10.62 sekunder. Med en ökning på 0.2 meter på rumsbredden ökar alltså rökfyllnadstiden med cirka 8.4 procent.

Med en 20 procent större golvarea erhålls en rökfyllnadstid på 10.79 sekunder och rökfyllnadstiden förändras alltså med cirka 10 procent.

För att förtydliga variablernas påverkan på brandgaslagrets höjd har rökfyllnadstiden illustrerats som funktion av takhöjd och golvarea i. Variation av takhöjd och golvarea har skett procentuellt där utgångspunkten har varit standardfallen med takhöjd 2.4 meter och golvarea på 8.64 kvadratmeter. Takhöjden och golvarean har varierats med 30 procent ökning respektive minskning. En minskning av takhöjden tycks ha en större negativ påverkan på rökfyllnadstiden än en minskning av golvarean, och en ökning av takhöjden tycks ha något större positiv inverkan på rökfyllnadstiden i jämförelse med en ökning av golvarean.



Figur 61 Rökfyllnadstid vid variation av takhöjd respektive golvarea.

## Bilaga 2 – CFAST-simuleringar

Indata i samtliga simuleringar var enligt följande:

Material i väggar, golv och tak:

Concrete

Densitet 2200kg/m<sup>3</sup>

Thermal conductivity: 0.00175 kW/m C

Thickness: 0.15 m

Specific Heat 1kJ/kg C

Emissivity: 0.94

Fire

C: 1

H: 4

Heat of combustion 50 000 kJ/kg

Radiative Fraction: 0.35

Compartment 1

Position (x,y,z): 3.6x2.4x0

Time to peak: 150 s

Peak HRR: 500 kW

Steady burning period: 450 s

Variationen mellan simuleringarna var uppdelningen av Compartments som var enligt följande:

### **Simulering A:**

Compartment 1

Width: 7.2 m

Depth: 4.8 m

Height: 2.4 m

### **Simulering B:**

Compartment 1

Width: 3.6 m

Depth: 4.8 m

Height: 2.4 m

Compartment 2

Width: 3.6 m

Depth: 4.8 m

Height: 2.4 m

Xposition: 3.6

## **Simulering C:**

Compartment 1

Width: 3.6 m

Depth: 4.8 m

Height: 2.4 m

Compartment 2

Width: 3.6 m

Depth: 2.4 m

Height: 2.4 m

X Position: 3.6

Compartment 3

Width: 3.6 m

Depth: 2.4 m

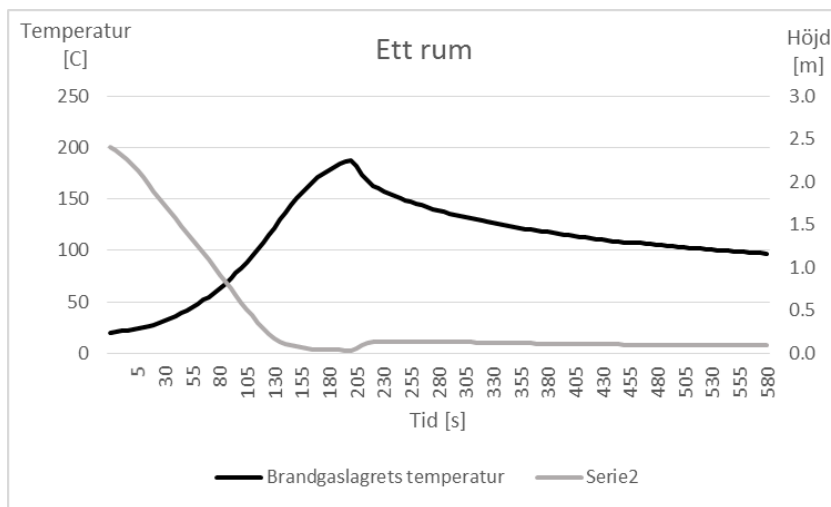
Height: 2.4 m

X Position: 3.6

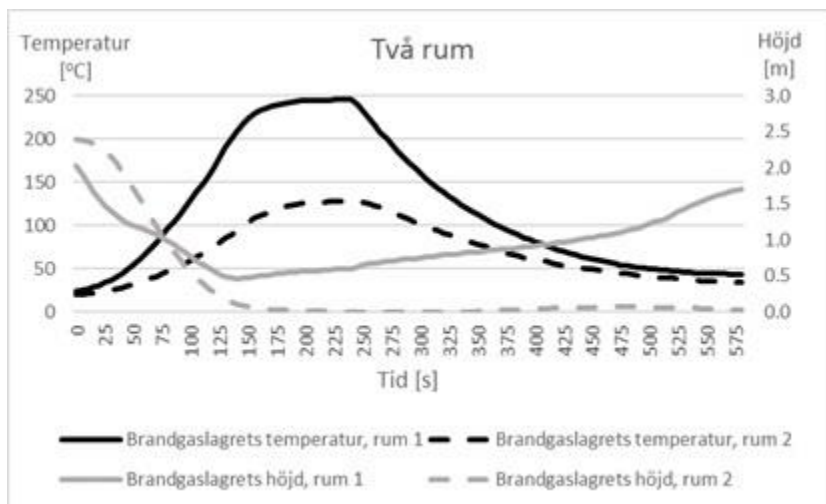
Y Position: 2.4

Rummen sammankopplades med brandrummet med ventilationsöppning motsvarande dörrar med en bredd 0.80 m och höjd 2.00 m. Måtten på dörrar anpassades för att uppfylla krav enligt avsnitt 3.2. Brandrummet kopplades även samman med omgivningen med en ventilationsöppning med bredd 0.50 m och höjd 0.25 m för att förhindra extrema tryckökningar samt för att tillåta ett inflöde av syre till branden.

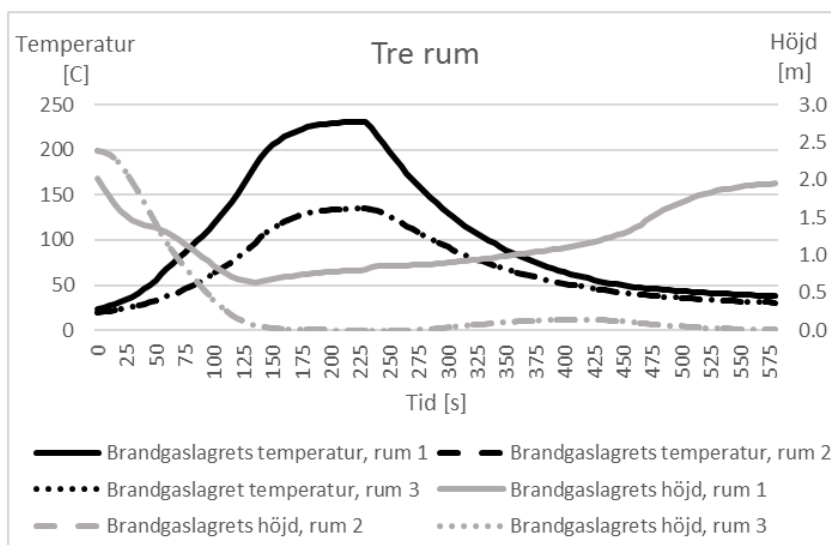
## Resultat



Figur 62 Resultat från simulering A med ett rum.



Figur 63 Resultat från simulering B med två rum.



Figur 64 Resultat från simulering C med tre rum. Linjerna för rum två och rum tre överlappar varandra.



## Bilaga 3 – Representativ brand

För att finna en representativ brand identifieras flertalet brandscenarier där startutrymme, bränsletyper och maxeffekter som anses troliga väljs. Ingen hänsyn tas till avsvälning, utan samtliga effektkurvor för de olika scenarierna antas tillväxa enligt ett  $\dot{Q} = \alpha t^2$  samband, där  $\alpha$  beräknas utifrån representativ experimentell data till en maximal effekt som utläses ur samma experimentella data.

### Startutrymme och bränsle

Startutrymme bestämdes till kök baserat på statistik i avsnitt 3.1.

Val av bränsle i scenarierna baserades på statistik för de åtta vanligaste startföremålen vid köksbrand som:

- Annan lös inredning
- Annat
- Diskmaskin
- Fläkt/annan ventilationsanläggning
- Kyl/frys
- Lös inredning
- Okänt
- Spis

Fläkt eller annan ventilationsanläggning uteslöts på grund av avsaknad av relevant, experimentell data. Följande bränsle valdes för de fem brandscenarierna som togs fram:

- Olja på spis
- Köksluckor
- Kylskåp
- Soffa
- Bord
- Stolar
- Diskmaskin

### Maxeffekt i brandrummet

Handberäkningar har genomförts för att undersöka maxeffekten vid övertändning i brandrummet, givet de rumsförhållanden som råder. Detta genomfördes för att erhålla en fingervisning av hur omfattande maxeffekt brandscenarierna som togs fram kunde ha.

Effekt vid övertändning,  $\dot{Q}_{FO}$ , betraktades som maxeffekt i brandrummet och beräknades enligt:

$$\dot{Q}_{FO} = 610(h_k A_T A_0 \sqrt{H_0})^{1/2} \quad \text{Ekvation 14}$$

Omslutande material ansattes konservativt till att endast vara av betong. Betong är ett väldigt termiskt trögt material varför tid till övertändning antas med stor sannolikhet vara mindre än

den termiska penetrationstiden för betong. Vid sådana förhållanden är  $h_k$  tidsberoende och beräknas enligt:

För  $t > t_p$

$$h_k = \sqrt{\frac{k\rho c}{t}}$$

Ekvation 15

Övertändningstid ansattes till 300 s och  $h_k$  beräknas enligt :

$$h_k = \sqrt{\frac{2}{300}} = 0.08165 \text{ kW/m}^2\text{K}$$

Vilket ger ett  $\dot{Q}_{FO}$  på:

$$\dot{Q}_{FO} = 610(0.08165 \cdot 45.2 \cdot 1.6 \cdot \sqrt{2})^{1/2} = 1763 \text{ kW}$$

Ett rimligt intervall för hur stor variation av maxeffekten som accepterades för de framtagna scenarierna ansattes till  $\dot{Q}_{FO} \pm 30\%$ . Maxeffekt för brandscenarier väljs därför så att de ligger inom intervallet 1200-2300 kW (avrundat till närmsta hundratal).



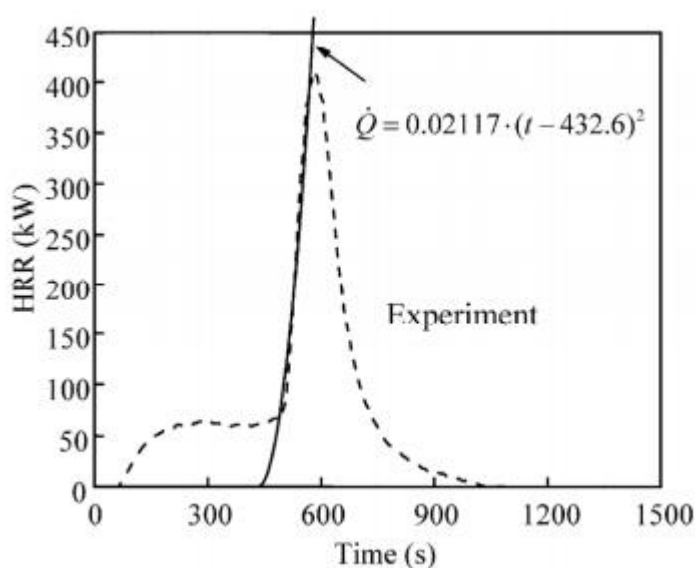
## Brandscenarier i kök

Nedan presenteras de fem scenarier som valdes, följt av framtagandet av den representativa branden.

### 1. Brand i matolja och köksluckor

I följande brandscenario brinner två stekpannor med matolja och köksluckor längs tre väggar i köket.

Experiment på köksbränder har genomförts av Liu, et al. (2015), där matolja förbrändes i stekpannor (en liter per stekpanna) med en diameter på 360 mm och ett djup på 110 mm. Köket där experimenten genomfördes var 3.6 meter långt, 2.4 meter brett och 2.4 meter högt. I ett av experimenten hettades två stekpannor upp till dess att oljan antändes och effektkurvan i Figur 65 erhöles:



Figur 65 Effektkurva för två stekpannor med en liter brinnande matolja i vardera stekpanna (Liu, et al., 2015).

Effektutvecklingen vid den snabba tillväxten anpassades till en funktion enligt  $\dot{Q}$  i Figur 65, där 432.6 är den tiden  $t_0$  då den snabba tillväxten uppkommer, det vill säga då oljan antänds. Denna funktion ansåts beskriva den dimensionerande brandens initieringsförlopp, med justeringen att  $t_0 = 0$  sekunder istället för  $t_0 = 432.6$  sekunder, se nedan.

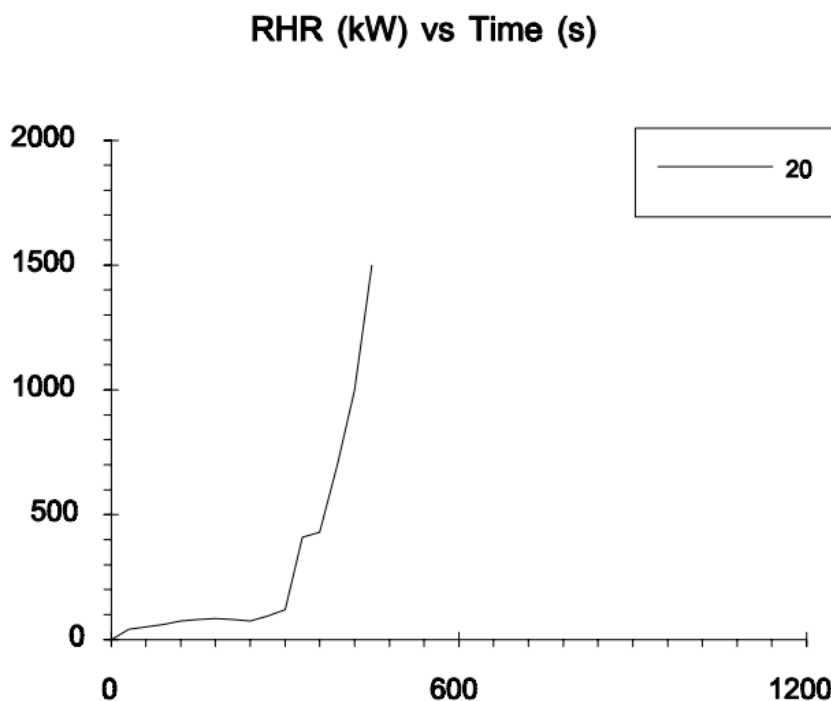
$$\dot{Q} = 0.02117t^2$$

Branden beskrivs alltså i sin uppkomst med ett  $\dot{Q} = \alpha t^2$  samband där  $\alpha$ -värdet 0.02117 är experimentellt framtaget för ett brandscenario med antändning av två stekpannor med en liter matolja i vardera, på en spis. Sambandet enligt  $\dot{Q} = \alpha t^2$  har visat sig stämma väl med tillväxande bränder efter antändning av bränslet har ägt rum (Karlsson & Quintiere, 1999). Data avseende, tillväxttid, maxeffekt och tillväxthastighet ses i Tabell 39.

Tabell 39 Parametrar för brand i olja.

Olja	
Tillväxttid [s]	137
Maxeffekt [kW]	400
Tillväxthastighet [kW/s <sup>2</sup> ]	0.02117

Brand i köksluckor antas kunna representeras med experimentella resultat för brand i plywoodskivor som täcker tre av fyra väggar i ett rum med dimensionerna 2.4 x 3.6 x 2.4 meters höjd, med en öppningsarea på 0.8 x 2 meters höjd, se Figur 66.



Figur 66 Effektutveckling för brand i plywoodskivor som täcker tre väggar (Särdqvist, 1993).

Ur Figur 66 utläses data avseende tillväxttid till maxeffekt, maxeffekt för branden samt att brandens tillväxthastighet enligt  $\dot{Q} = \alpha t^2$  beräknas. Resultatet presenteras i Tabell 40.

Tabell 40 Parametrar för brand i köksluckor.

Köksluckor	
Tillväxttid [s]	375
Maxeffekt [kW]	1500
Beräknad tillväxthastighet [kW/s <sup>2</sup> ]	0.01067

Ett medelvärde för brand i olja och brand i köksluckor av de två tillväxthastigheterna och maxeffekterna beräknas sedan för att representera en sammantagen effektkurva för brand i olja och köksluckor, vilka presenteras i Tabell 41. Effektkurvan ses i Figur 67.

Tabell 41 Parametrar för brand i olja och köksluckor.

Olja och köksluckor	
Tillväxttid [s]	345
Maxeffekt [kW]	1900
Beräknad tillväxthastighet [kW/s <sup>2</sup> ]	0.01592

Vid framtagning av den totala effektutvecklingskurvan summerades maxeffekterna för två stekpannor och köksluckor, tillväxthastigheten beräknades till ett medelvärde mellan de båda bränslena och tid till maxeffekt beräknades utefter dessa förutsättningar. Resultatet ses i Figur 67.

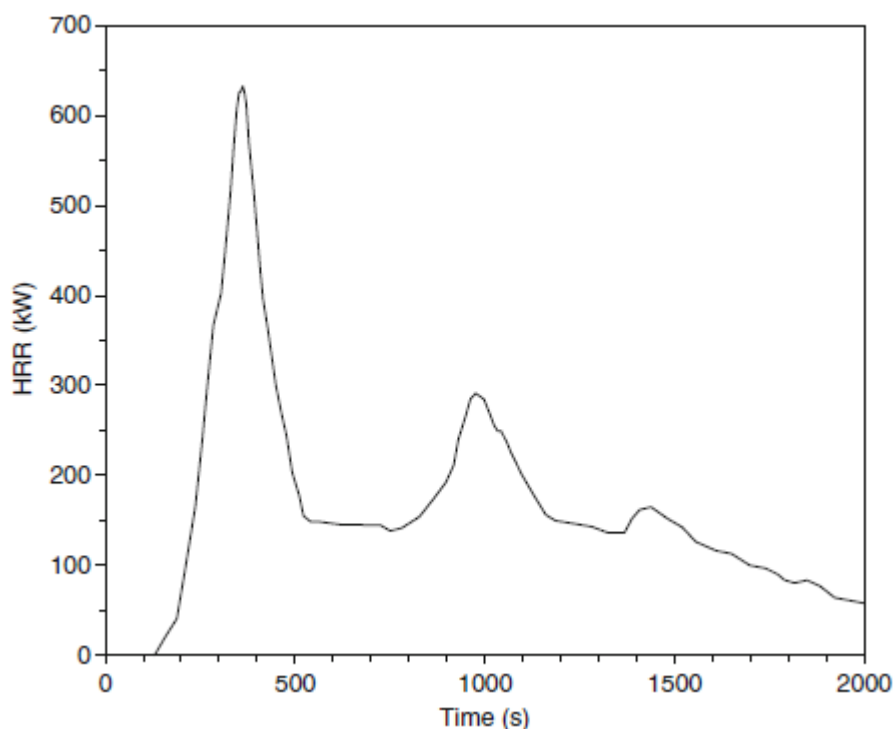


Figur 67 Effektkurva för brand i olja och köksluckor.

## 2. Brand i bord och stolar

I följande brandscenario brinner två mindre skrivbord och fyra stolar.

Experimentell data för effektutvecklingen hos ett mindre brinnande skrivbord av trä har tagits fram. Skrivbordet var 0.6 x 1.2 x 0.8 meter hög. Två sådana skrivbord antas respresentera ett vanligt köksbord till storleken.



Figur 68 Effektkurva för ett mindre skrivbord i trä (Hurley, 2016).

Ur Figur 68 utläses data avseende tillväxttid till maxeffekt, maxeffekt för branden samt att brandens tillväxthastighet enligt  $\dot{Q} = \alpha t^2$  beräknas. Resultatet presenteras i Tabell 42.

Tabell 42 Parametrar för brand i skrivbord.

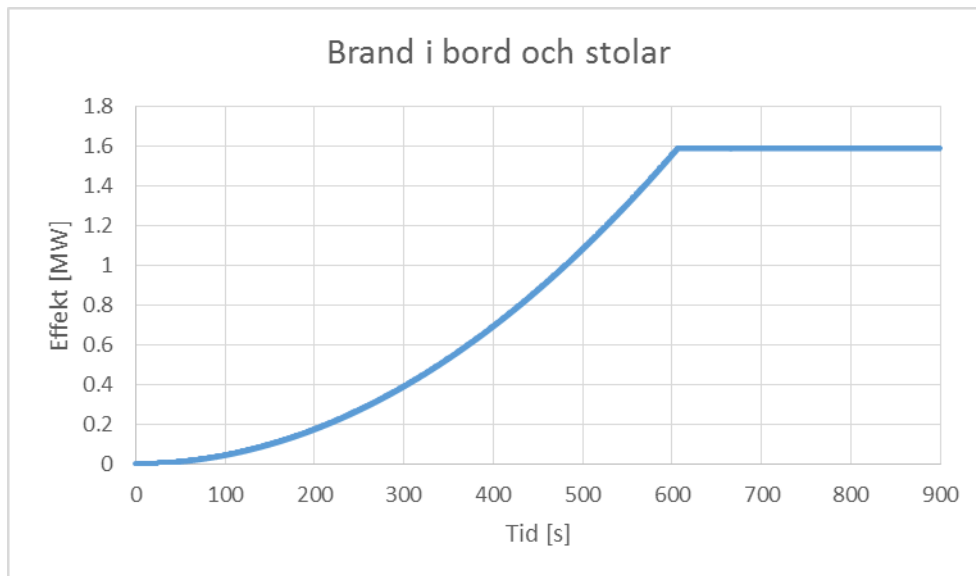
Skrivbord	
Maxeffekt [kW]	625
Tid till maxeffekt, uppmätt ur Figur x [s]	375
Beräknad tillväxthastighet [kW/s <sup>2</sup> ]	0.004444

Fyra stolar stolar antas även brinna i följande scenario med ram av trä och latexskumskuddar. Parametrar för brand i en stol med träram och latexskumskuddar ses i Tabell 43.

Tabell 43 Parametrar för brand i stol med träram och latexskumskuddar (Hurley, 2016).

Stol, träram med latexskumskuddar	
Tillväxttid [s]	500
Tillväxthastighet [kW/s <sup>2</sup> ]	0.0042
Maxeffekt [kW]	85

Vid framtagning av den totala effektutvecklingskurvan summerades maxeffekterna för två mindre skrivbord och fyra stolar, tillväxthastigheten beräknades till ett medelvärde mellan de båda bränslena och tid till maxeffekt beräknades utefter dessa förutsättningar. Resultatet ses i Figur 69.

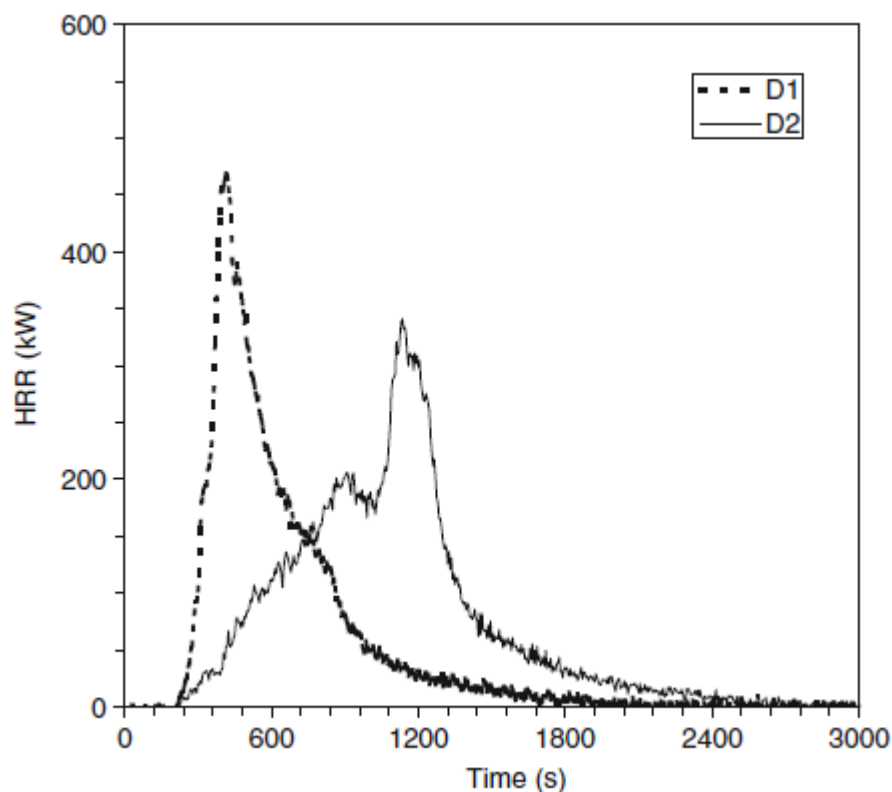


Figur 69 Effektkurva för brand i bord och stolar.

### 3. Brand i diskmaskin och köksluckor

I följande brandscenario brinner en diskmaskin och köksluckor.

Experimentell data för effektutvecklingen hos en diskmaskin har tagits fram och ses nedan.



Figur 70 Effektkurvor för diskmaskin D1 och D2 (Hurley, 2016).

I Figur 70 ses effektkurvor för diskmaskiner D1 och D2. Effektkurva för D1 används vid följande scenario för att modellera något värre förhållanden i och med högre maxeffekt. Ur Figur 70 utläses data avseende tillväxttid till maxeffekt, maxeffekt för branden samt att brandens tillväxthastighet enligt  $\dot{Q} = \alpha t^2$  beräknas. Egenskaper för diskmaskinen ses i Tabell 44.

Tabell 44 Egenskaper för diskmaskin typ D1 (Hurley, 2016).

Diskmaskin D1	
Initial massa [kg]	35.6
Avbrunnen massa [kg]	6.1
Maxeffekt [kW]	476
Total värme [MJ]	165
Tid till maxeffekt uppmätt ur Figur 70 [s]	350
Beräknad tillväxthastighet [ $\text{kW/s}^2$ ]	0.003886

Brand i köksluckor antas även i detta scenario kunna representeras med experimentella resultat för brand i plywoodskivor som täcker tre av fyra väggar i ett rum med dimensionerna

2.4 x 3.6 x 2.4 meters höjd, med en öppningsarea på 0.8 x 2 meters höjd. För ingående parametrar se Figur 66 och Tabell 40 i scenario 1 ovan.

Vid framtagning av den totala effektutvecklingskurvan summerades maxeffekterna diskmaskin D1 och köksluckor, tillväxthastigheten beräknades till ett medelvärde mellan de båda bränslena och tid till maxeffekt beräknades utefter dessa förutsättningar. Resultaten ses i Figur 71.

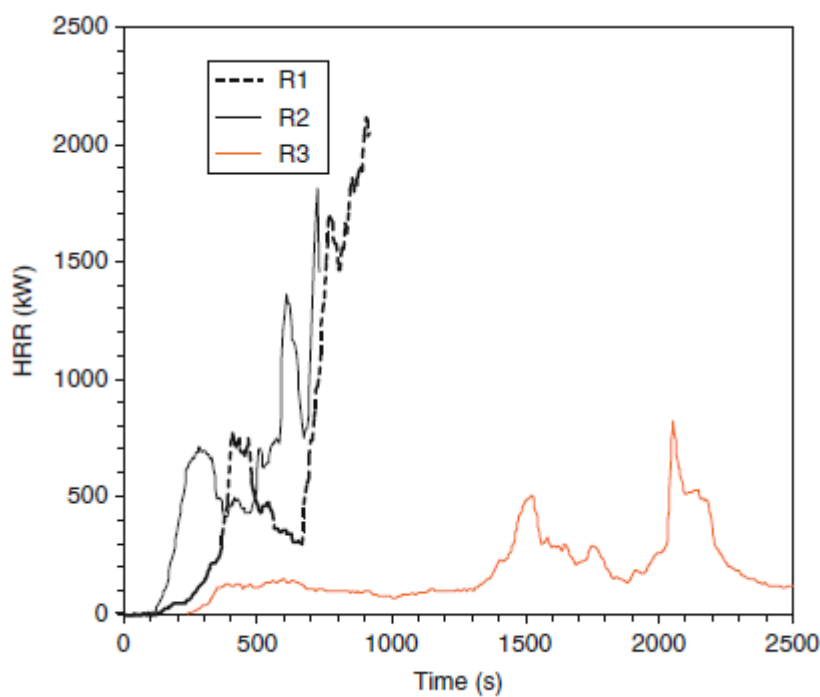


Figur 71 Effektkurva för diskmaskin och köksluckor.

#### 4. Brand i kylskåp

I följande brandscenario brinner ett kylskåp.

Experimentell data för effektutvecklingen hos ett kylskåp har tagits fram och presenteras nedan.



Figur 72 Effektutveckling för kylskåp R1, R2 respektive R3 (Hurley, 2016). R1 används i scenariot.

I Figur 72 ses effektutvecklingen för tre olika kylskåp. Kylskåp R1 används i scenariot då det uppnår högst maxeffekt och därför bidrar till sämst men samtidigt troligt fall. Ur Figur 72 utläses data avseende tillväxttid till maxeffekt, maxeffekt för branden samt att brandens tillväxthastighet enligt  $\dot{Q} = \alpha t^2$  beräknas. Resultatet presenteras i Tabell 45.

Tabell 45 Egenskaper för kylskåp typ R1 (Hurley, 2016).

Kylskåp R1	
Initial massa [kg]	70.0
Avbrunnen massa [kg]	18.0
Maximal effekt [kW]	2125
Total värme [MJ]	537
Tid vid släckning [s]	925
Tid till maxeffekt [s]	925
Beräknad tillväxthastighet [kW/s <sup>2</sup> ]	0.002484

Endast kylskåp R1 brinner i detta scenario, varför egenskaper i Tabell 45 är de som används vid framtagning av effektkurva som ses nedan.



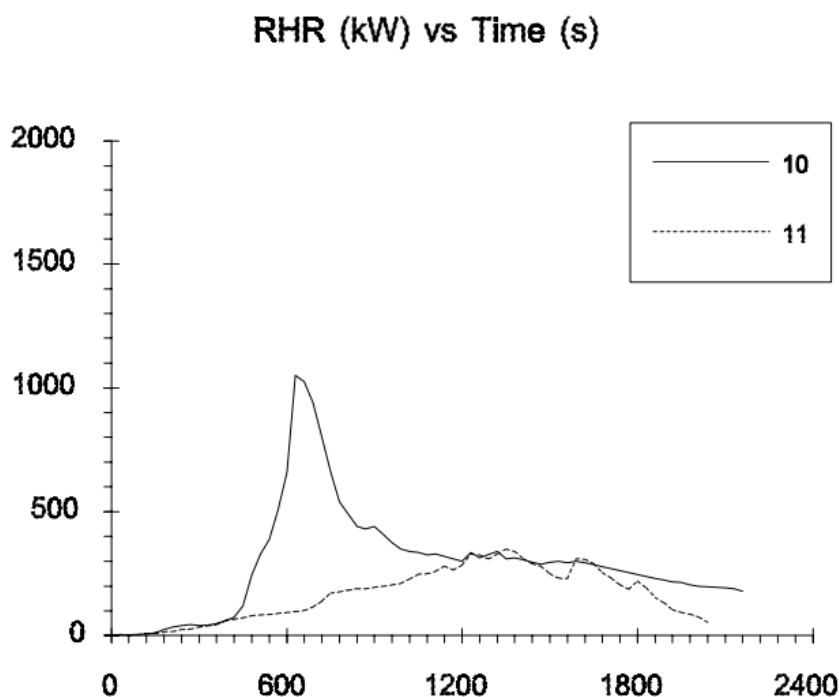


Figur 73 Effektkurva för brand i kylskåp.

## 5. Brand i soffa och bord

I följande brandscenario brinner en soffa och ett bord.

Experimenterade data för effektutvecklingen hos två soffor har tagits fram och presenteras nedan.



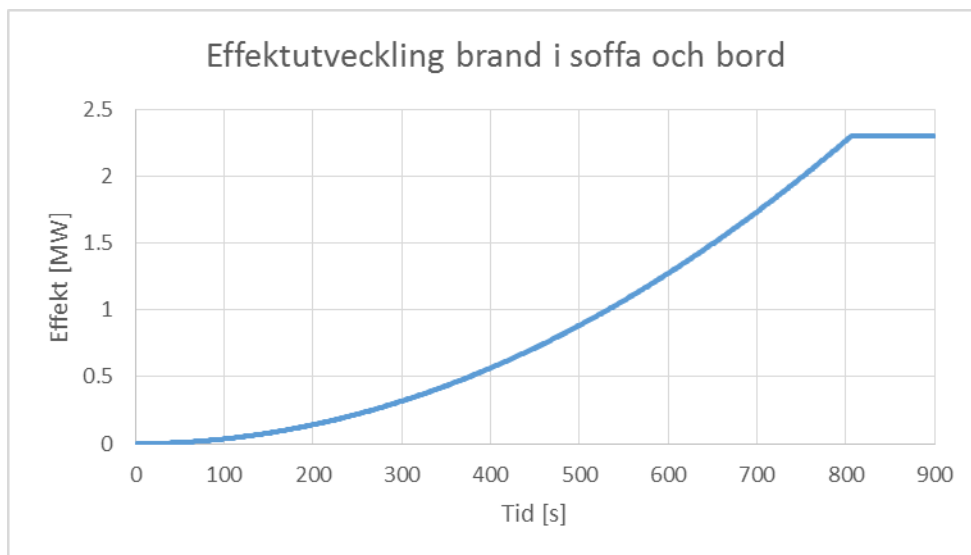
Figur 74 Effektutveckling för två soffor. Typ 10 används i scenariot.

I Figur 74 ses effektutvecklingen för två olika soffor. Typ 10 används i scenariot då den bäst representerar en kökssoffa (3-sits soffa med träram och polyuretanfyllning). Den uppnår dessutom högst maxeffekt och bidrar därför till sämst men samtidigt troligt fall. Ur figuren utläses data avseende tillväxttid till maxeffekt, maxeffekt för branden samt att brandens tillväxthastighet enligt  $\dot{Q} = \alpha t^2$  beräknas. Resultatet presenteras i Tabell 46.

Tabell 46 Egenskaper för brand i soffa.

Soffa	
Tillväxttid [s]	630
Maxeffekt [kW]	1050
Beräknad tillväxthastighet [kW/s <sup>2</sup> ]	0.002646

Det antas även brinna i ett bord, som likt scenariot "Brand i stolar och bord" representeras med brand i två mindre skrivbord. Egenskaper och effektkurva ses i Figur 68 samt Tabell 42. Vid framtagning av den totala effektutvecklingskurvan summerades maxeffekterna för soffan och bord, tillväxthastigheten beräknades till ett medelvärde mellan de båda bränslena och tid till maxeffekt beräknades utefter dessa förutsättningar. Resultaten ses i Figur 75.



Figur 75 Effektkurva för brand i soffa och bord.

## Representativ brand

Den slutgiltiga representativa branden som erhålls är en sammanvägning av de fem identifierade scenarierna som representerar en brand i ett kök. Medelvärde av tillväxthastighet och maxeffekt beräknas för samtliga framtagna brandscenarier och används som beskrivande parametrar för den representativa branden.

Avseende brandens kemiska sammansättning var det önskvärt att representera en brand som producerar de toxiska produkter som utgör fara för människors liv och hälsa. Dessa har identifierats till att framförallt vara HCN, CO, CO<sub>2</sub> och sot. Experiment där vanliga möbler i byggnad har eldats i fullskalig rumsbrand har genomförts av NIST, där data avseende dessa förbränningsprodukter före och innan övertändning insamlats (G. Gann, et al., 2007). Dessa ansågs därför vara relevanta bränslen för den representativa branden. Resultaten har använts vid framtagandet av bränsleprodukter för den representativa branden och presenteras i Tabell 47.

Tabell 47 Produktion av förbränningsprodukter innan övertändning för en soffa och en bokhylla (G. Gann, et al., 2007).

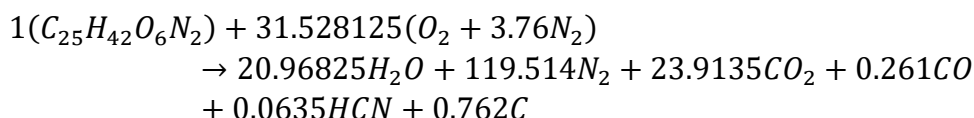
Gas	Soffa [g/g]	Bokhylla [g/g]
CO	$1.44 \times 10^{-2} \pm 35\%$	$2.4 \times 10^{-2} \pm 55\%$
HCN	$3.5 \times 10^{-3} \pm 50\%$	$4.6 \times 10^{-4} \pm 10\%$
Sot (Hou, 2011)	$0.018 \pm 0.0032$	0.015

I realitet har förbränningsprocessen många steg, men i denna rapport antas bränslet endast bestå av C, H, O, N och produkterna utgörs endast av H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, C och HCN. Produkten HCN gör att "Simple Chemistry"-modellen i FDS frångås och en metod kallad "lumped species" istället används (McGrattan, et al., 2016). Med denna metod möjliggörs blandning av bränslen vid en reaktion.

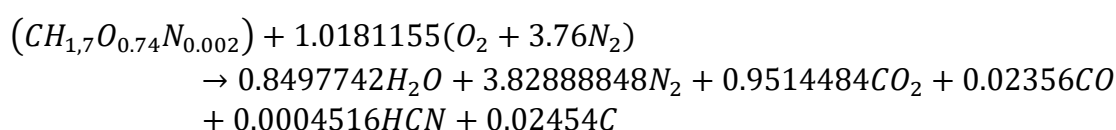
För att göra detta måste den kemiska reaktionen för bränslet balanseras för hand. Hur mycket av olika produkter som produceras vid förbränning, produktens stökiometriska koefficient, beräknas efter angivna "yields" enligt:

$$v_{\alpha} = \frac{W_F}{W_{\alpha}} y_{\alpha} \quad \text{Ekvation 16}$$

Med  $y_{\alpha}$ -värden från Tabell 47 balanseras de kemiska reaktionerna enligt nedan, där kemiska formlerna för trä (douglas fir) och polyuretan antas vara  $CH_{1,7}O_{0,74}N_{0,002}$  respektive  $C_{25}H_{42}O_6N_2$  (Hurley, 2016). Soffan, som antas bestå av enbart polyuretan, balanseras enligt:



Bokhyllan, som antas bestå endast av trä, balanseras enligt:



Soffan och bokhyllan består av olika material varför de ansågs ideala, då en köksbrand kan antas involvera många bränslen. Soffan antas endast bestå av polyuretan och bokhyllan endast av trä. Förenklingar och antaganden har gjorts avseende ursprungliga materialsammansättningen vid NISTs försök.

Vidare har antaganden gjorts avseende den representativa brandens materialsammansättning av de ovan utvalda bränslena. Av de totalt nio objekt som brinner i brandscenario 1-5 ovan är tre i huvudsak plast eller polyuretanbaserade och resterande sex består av trä. Med syftet att den representativa branden ska återspegla sammanvägning av brandscenario 1-5, väljs materialsammansättningen för den representativa branden till 30% polyuretan och 70% trä.

HRRPUA har beräknats utifrån sammanvägning baserat på materialsammansättningen ovan. Värden för en polyuretanmadrass och träpallar staplade 1 ½ fot (Karlsson & Quintiere, 1999) användes.

$$HRRPUA_{PUR} = 910 \text{ kW/m}^2$$

$$HRRPUA_{Trä} = 1420 \text{ kW/m}^2$$

$$HRRPUA = 0.3 \cdot 910 + 0.7 \cdot 1420 = 1267 \text{ kW/m}^2$$

Den beräknade HRRPUA kommer att behöva anpassas efter arean som branden kommer att ha i FDS, vilket begränsas av cellernas storlek. Utifrån önskad maxeffekt  $\dot{Q}_{max}$  och HRRPUA beräknas brandens area,  $A_f$ . Denna anpassas sedan efter meshets upplösning i brandrummet som består av celler med dimensionerna 0.05 m. Den anpassade, kvadratiska sidan på branden,  $\sqrt{A_f}$ , avrundas uppåt till 1.3 meter:

$$A_f = \frac{\dot{Q}_{max}}{HRRPUA} = 1.58 \rightarrow \sqrt{A_f} = 1.257 \rightarrow \sqrt{A_{f,anpassad}} = 1.3$$

Varav den anpassade HRRPUA blir något lägre:

$$A_{f,anpassad} = 1.3^2 = 1.69 \rightarrow HRRPUA_{anpassad} = \frac{2000}{1.69} = 1183$$

$\Delta H_c$  för soffan och bokhyllan representeras av  $\Delta H_c$  för polyuretan och trä (douglas fir) respektive (Hurley, 2016). Massflödet för vardera bränsle bestäms med önskad maximal effektutveckling, den andel av den maximala effektutvecklingen som varje bränsle bidrar med, brandens area och förbränningsvärmerna för vardera bränsle enligt:

$$\dot{m}''_{PUR} = \frac{0.3 \cdot 2000 \text{ kW}}{1.69 \text{ m}^2} \cdot \frac{1}{22700 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 0.01564 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

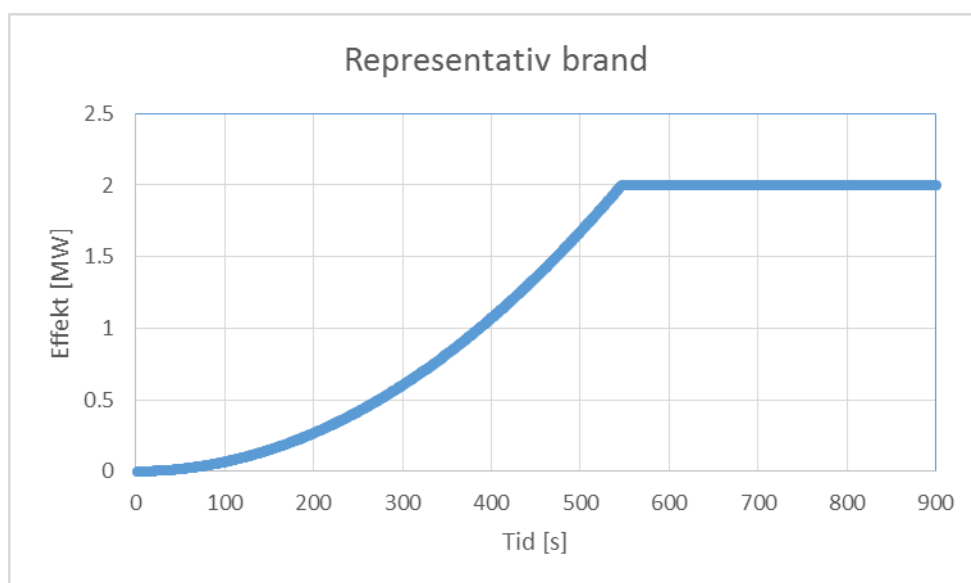
$$\dot{m}''_{WOOD} = \frac{0.7 \cdot 2000 \text{ kW}}{1.69 \text{ m}^2} \cdot \frac{1}{19600 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 0.04227 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

I Tabell 48 nedan ses de ingående parametrarna för den representativa branden tabellerade.

Tabell 48 Ingående parametrar för den representativa branden.

Representativ brand	
Maxeffekt [kW]	2000
Beräknad tillväxthastighet [kW/s <sup>2</sup> ]	0.0066982
Materialsammansättning [-]	~70% trä, 30% polyuretan
HRRPUA [kW/m <sup>2</sup> ]	1267
Brandens area, A <sub>f</sub> [m <sup>2</sup> ]	1.69
HRRPUA <sub>anpassad</sub> [kW/m <sup>2</sup> ]	1183
ΔH <sub>c, soffa</sub> [kJ/kg]	22700
ΔH <sub>c, bokhylla</sub> [kJ/kg]	18700
Massflöde polyuretan [kg/m <sup>2</sup> s]	0.0156
Massflöde trä [kg/m <sup>2</sup> s]	0.0443
Spread rate [m/s]	0.00146

Effektkurvan för den representativa branden ses i Figur 76.



Figur 76 Effektkurva för den representativa branden.

## Anpassad representativ brand

Den representativa branden som presenterades ovan har anpassats efter resultat från simulering 0. Den representativa branden användes vid simulering 0 för att utvärdera ventilationsförhållanden, eventuella övertändningsförhållanden i brandrummet samt sluttid för brandförloppet. Branden anpassades sedan avseende övertändning och sluttid och effektkurvan i Figur 77, hädanefter kallad ”Anpassad representativ brand”, erhöles. Denna är, bortsett från maximal effekttutveckling och sluttid för brandförloppet, identisk med den representativa branden.

Resultatet från simulering 0 visade att övertändning skedde i köket efter cirka 430 sekunder i båda modellerna. Effekttutvecklingen efter 430 sekunder var cirka 1400 kilowatt i båda planlösningar varför maxeffekten ansattes till 1400 kilowatt i den anpassade representativa branden. Denna effekt är att betrakta som den nya  $\dot{Q}_{max}$ . HRRPUA-värdet som beräknats tidigare önskades vara oförändrat, varför brandens area  $A_f$  anpassades:

$$A_f = \frac{\dot{Q}_{max}}{HRRPUA} = 1.105 \rightarrow \sqrt{A_f} = 1.0512 \rightarrow \sqrt{A_{f,anpassad}} = 1.1$$

Varav det anpassade HRRPUA-värdet blir något högre än ursprungsvärdet:

$$A_{f,anpassad} = 1.1^2 = 1.21 \rightarrow HRRPUA_{anpassad} = \frac{1400}{1.21} = 1157$$

Massflödet för vardera bränsle bestäms med önskad maximal effekttutveckling, den andel av den maximala effekttutvecklingen som varje bränsle bidrar med, brandens area och förbränningsvärmerna för vardera bränsle enligt:

$$\dot{m}''_{PUR} = \frac{0.3 \cdot 1400 \text{ kW}}{1.21 \text{ m}^2} \cdot \frac{1}{22700 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 0.01529 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

$$\dot{m}''_{WOOD} = \frac{0.7 \cdot 1400 \text{ kW}}{1.21 \text{ m}^2} \cdot \frac{1}{19600 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 0.04132 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

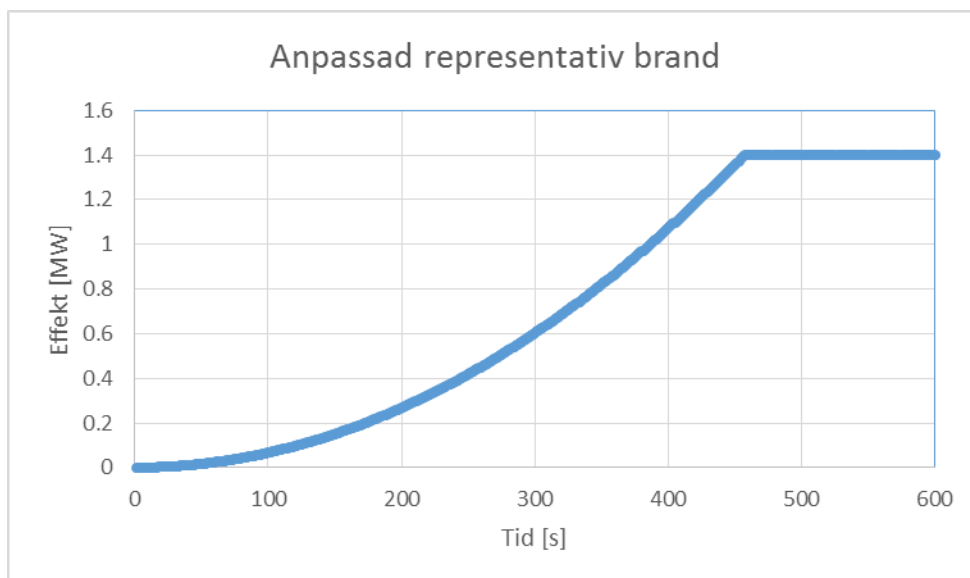
Spreadrate anpassas efter det nya HRRPUA-värdet:

$$SPREAD \text{ RATE} = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi} \cdot \frac{1}{HRRPUA}} = \sqrt{\frac{0.0066982}{\pi} \cdot \frac{1}{1157}} = 0.00136$$

I Tabell 49 presenteras de ingående parametrar för den anpassade representativa branden och i Figur 77 presenteras effektkurvan.

Tabell 49 Ingående parametrar för den anpassade representativa branden.

Anpassad representativ brand	
Maxeffekt [kW]	1400
Beräknad tillväxthastighet [kW/s <sup>2</sup> ]	0.0066982
Materialsammansättning [-]	~70% trä, 30% polyuretan
HRRPUA [kW/m <sup>2</sup> ]	1267
Brandens area, A <sub>f</sub> [m <sup>2</sup> ]	1.21
HRRPUA <sub>anpassad</sub> [kW/m <sup>2</sup> ]	1157
ΔH <sub>c, soffa</sub> [kJ/kg]	22700
ΔH <sub>c, bokhylla</sub> [kJ/kg]	18700
Massflöde polyuretan [kg/m <sup>2</sup> s]	0.0153
Massflöde trä [kg/m <sup>2</sup> s]	0.0433
Spread rate [m/s]	0.00136



Figur 77 Effektkurva för den anpassade representativa branden.



## Bilaga 4 – FDS verifiering

Denna bilaga innehåller teori om programmet FDS version 6.5.2 samt redovisas verifieringen av utförda simuleringar.

Nedan presenteras metoder för att verifiera riktigheten hos parametrarna cellstorlek, brandens effektutveckling, temperatur, strålning och strömning.

### Cellstorlek

Att lämplig cellstorlek har använts vid FDS-simuleringar bör verifieras. Brandens storlek har stor inverkan på optimal cellstorlek i FDS. Man kan beskriva en brands storlek med ett dimensionslöst tal,  $D^*$ , och kallas för brandens karakteristiska diameter.  $D^*$  är relaterat till brandens effektutveckling och beräknas enligt Ekvation 17.

$$D^* = \left( \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad \text{Ekvation 17}$$

Hur effektivt LES-modellen simulerar turbulensen är beroende av kvoten mellan den karakteristiska diametern och cellens storlek, se Ekvation 18.

$$D^* / \partial x \quad \text{Ekvation 18}$$

Storleken på denna kvot representerar hur väl de branddynamiska beräkningarna kan lösas utan att mindre precisa empiriska submodeller behöver involveras i beräkningsprocessen. En större kvot är att föredra men en kvot inom intervallet 5-10 ger ett tillfredsställande resultat. En kvot inom intervallet 15-20 kan dock vara att föredra beroende på vilka brandfysikaliska egenskaper som ska studeras (Nystedt & Frantzich, 2011).

### Brandens effektutveckling

Förhållandet mellan arean på brandkällan samt effekten som den utvecklar har stor betydelse vid simulering i FDS (BIV, 2016). Vid för låg effektutveckling på för stor yta kan flammor brytas upp och bilda flera, mindre flammor och vid för hög effektutveckling på för liten yta kan det leda till att en jetflamma bildas och rörelsemängd kontrollerar flammen och plymen snarare än tyngdkraften (BIV, 2016). Ett mått kan beräknas på hur stark en brand är i förhållande till sin yta, så kallat brandens dimensionslösa effektutveckling,  $Q^*$ , som beräknas enligt Ekvation 19.

$$Q^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g D D^2}} \quad \text{Ekvation 19}$$

$Q^*$  ska ligga i intervallet 0.3-2.5.

Ytterligare ett mått på hur hög effektutveckling en brand har i förhållande till sin yta är effektutveckling per ytenhet, HRRPUA. Denna bör väljas med försiktighet med samma motivering som för den dimensionslösa effektutvecklingen. Gasflöden måste ligga i rätt hastighetsintervall och man vill undvika exempelvis jetflammar. HRRPUA bör ligga inom intervallet 500-2500 kW/m<sup>2</sup> för att detta ska uppfyllas (Best Practice gruppen, 2009).

För att kunna låta brandens effektutveckling variera med tiden användes funktionen "SPREAD\_RATE". Med antagandet att brandens spridning sker cirkulärt ut från en

startpunkt, anger funktionen hur fort brandens radiella spridning är i meter per sekund. ”SPREAD\_RATE” beräknas enligt Ekvation 20.

$$SPREAD\ RATE = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi} \cdot \frac{1}{HRRPUA}} \quad \text{Ekvation 20}$$

Då förbränningsmodellerna i FDS är väldigt förenklade är det viktigt att utrymmet inte får för låg syretillgång och att branden blir underventilerad, då modellerna inte är tillförlitliga vid sådana förhållanden (Nystedt & Frantzich, 2011). För att fastställa att branden inte är underventilerad samt att effektkurvan följer önskad kurva bör simulerad effekt jämföras med den teoretiskt beräknade effekten.

### Temperatur och strålning

Temperaturer i utrymmet som simuleras bör verifieras. Flamtemperaturen bör ligga i storleksordningen 700 – 1200 ° C och den adiabatiska flamtemperaturen bör ej överstiga 1300 ° C (Nystedt & Frantzich, 2011).

Modellerna för att simulera strålning i FDS erhåller tillfredsställande resultat, men har en krävande beräkningsprocess. FDS skickar förinställt ut 100 strålar i beräkningsdomänen och förekommer ”hot spots” på omslutande ytor kan modellen behöva förfinas, förutsatt att värmestrålning är en viktig parameter som ska undersökas (Nystedt & Frantzich, 2011).

### Strömning

Som nämnts ovan är FDS optimerad för långsammare, termiskt drivna flöden. Det är därför relevant att verifiera att strömningshastigheten inom beräkningsdomänen är rimlig. Hastigheterna bör inte överstiga 10 m/s (Nystedt & Frantzich, 2011).

För att FDS ska kunna modellera flödet från öppningar vid domängränser är det viktigt att avståndet mellan öppning och meshgräns inte understiger halva hydrauliska diametern av modellens största öppning (BIV, 2016). Hydraulisk diameter beräknas med ekvationen nedan

$$\text{Hydraulisk diameter} = \frac{4 \cdot \text{Areal av öppningen}}{\text{Öppningens omkrets}} \quad \text{Ekvation 21}$$

### Meshgränser

För att verifiera att övergångar mellan meshgränser är utförda korrekt används *Mesh Alignment Test* i PyroSim. Detta görs för att beräkningar från ett mesh till ett annat skall ske på rätt sätt och inte påverka resultaten.

Antalet celler i varje dimension bör även vara faktorerbart med 2, 3 eller 5 för att simuleringen ska köra med maximal effektivitet.

## Verifiering av simuleringar

Nedan redovisas verifiering av cellstorlek, brandens effektutveckling, temperatur, strålning, strömning och meshgränser för samtliga genomförda simuleringar. Verifieringarna har genomförts enligt teori presenterat ovan.

### Cellstorlek

Brandens karakteristiska diameter,  $D^*$ , beräknas för aktuell brand, enligt Ekvation 17. Denna förhålls sedan till cellernas storlek i aktuellt rum enligt Ekvation 18. Resultat från de olika simuleringarna ses i Tabell 50 nedan.

Tabell 50 Karakteristisk diameter för branden och dess kvot mot cellstorleken i de olika simuleringarna.

Simulering	Mesh	$D^*$	$D^*/\partial x$
0	Fine	1.2696	25.392
	Coarse	1.2696	12.696
1, 2, 3, 4, 5	Fine	1.10	22
	Coarse	1.10	11

Då kvoten  $D^*/\partial x$  överstiger 10 i hela domänen samt 20 i den mesh där branden simuleras anses cellstorleken vara tillfredsställande i samtliga simuleringar.

### Brandens effektutveckling

För att verifiera att förhållandet mellan brandens area och effekten som branden utvecklar är tillfredsställande beräknas brandens dimensionslösa effektutveckling,  $Q^*$ , enligt Ekvation 19. Resultat för samtliga simuleringar presenteras i Tabell 51 nedan.

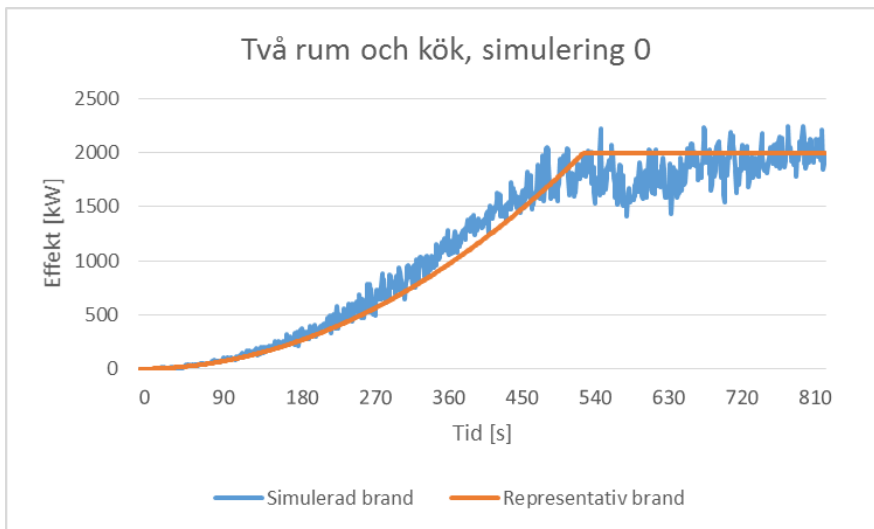
Tabell 51 Karakteristisk effektutveckling för de olika simuleringarna.

Simulering	$Q^*$
0	0.69
1, 2, 3, 4, 5	0.74

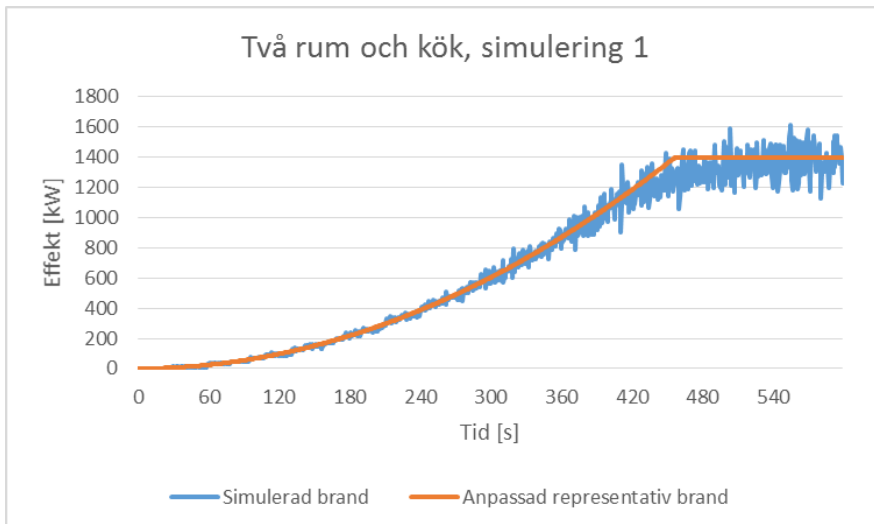
Som tidigare angivet bör den karakteristiska effektutvecklingen ligga i intervallet 0.3 – 2.5 och eftersom beräknat värde ligger väl inom detta intervall så anses branden vara väl dimensionerad.

Den simulerade brandens effektutvecklingskurva jämförs med den handberäknade representativa branden för att undersöka hur väl de passar till varandra. Detta redovisas nedan för de båda planlösningarna.

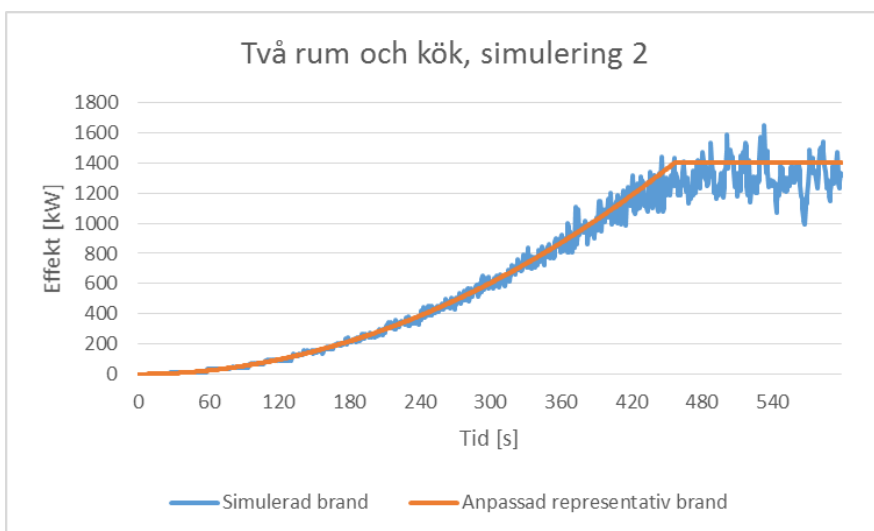
## Två rum och kök



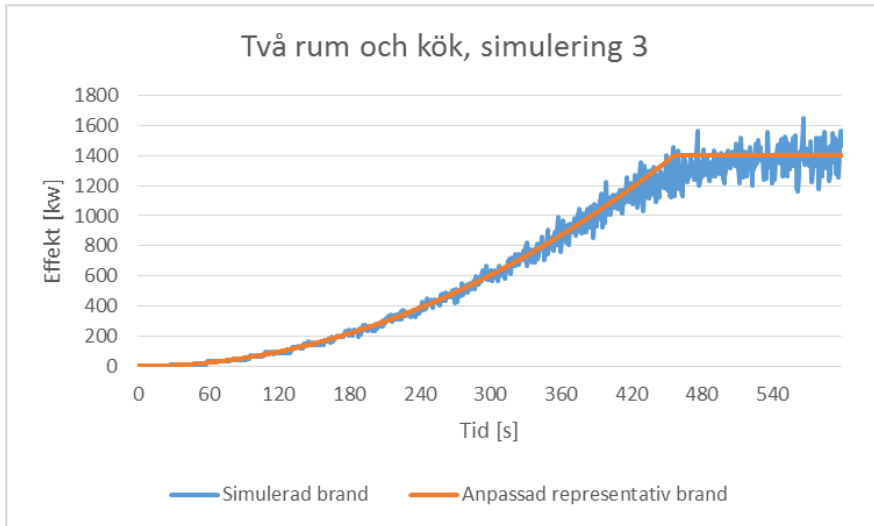
Figur 78 Effektkurva för simulerad brand respektive anpassad representativ brand i jämförelse.



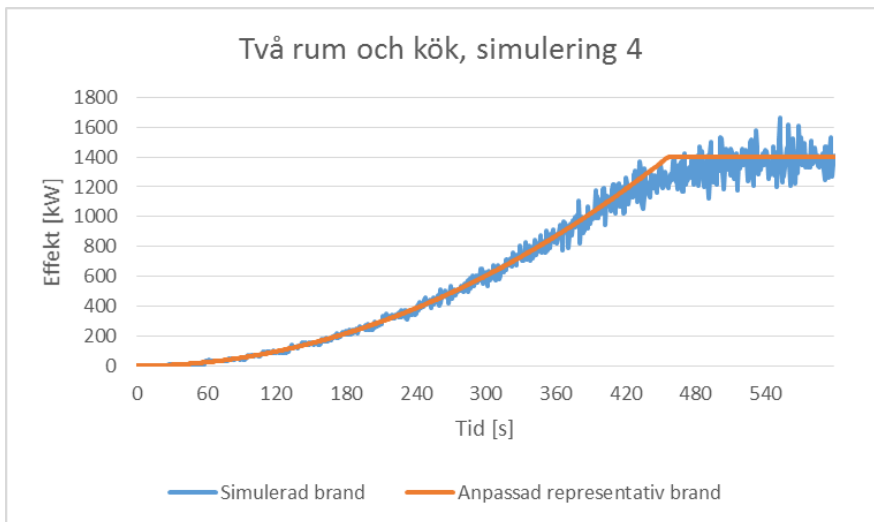
Figur 79 Effektkurva för simulerad brand respektive anpassad representativ brand i jämförelse.



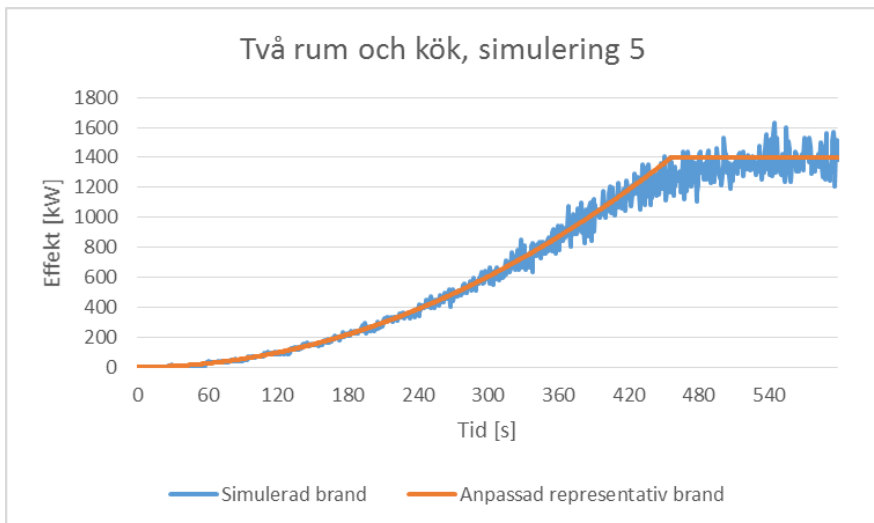
Figur 80 Effektkurva för simulerad brand respektive anpassad representativ brand i jämförelse.



Figur 81 Effektkurva för simulerad brand respektive anpassad representativ brand i jämförelse.

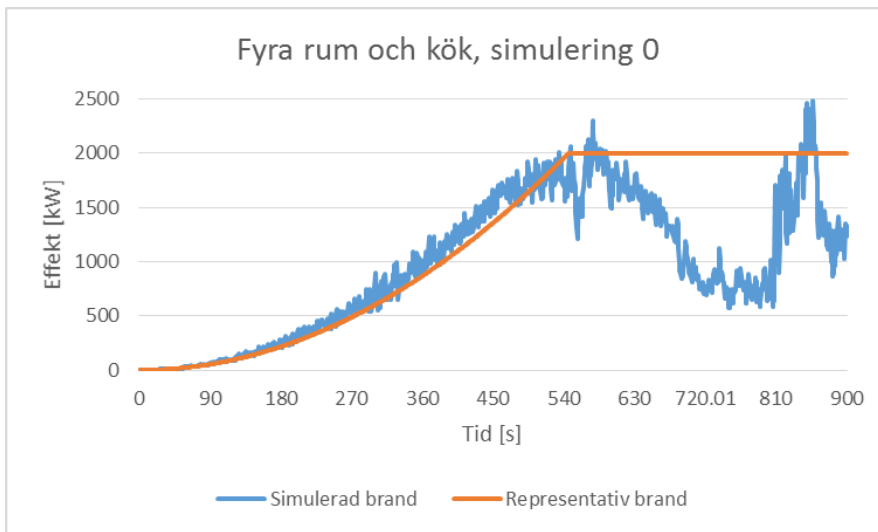


Figur 82 Effektkurva för simulerad brand respektive anpassad representativ brand i jämförelse.

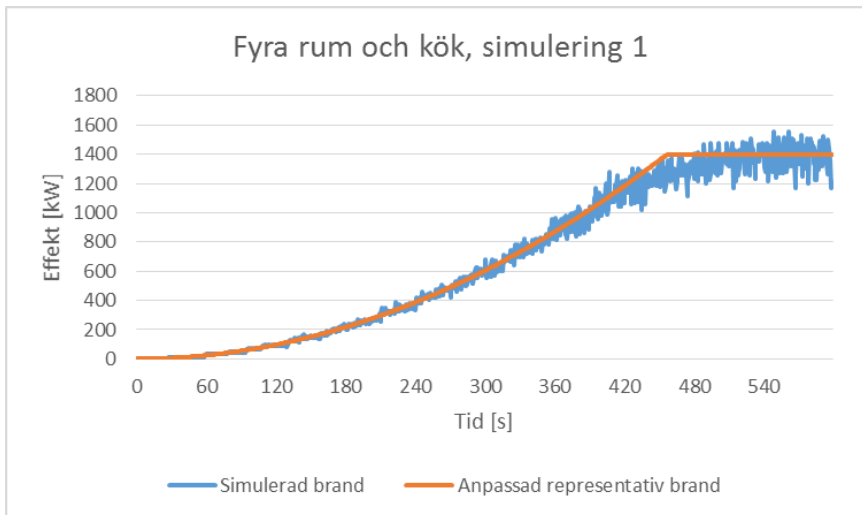


Figur 83 Effektkurva för simulerad brand respektive anpassad representativ brand i jämförelse.

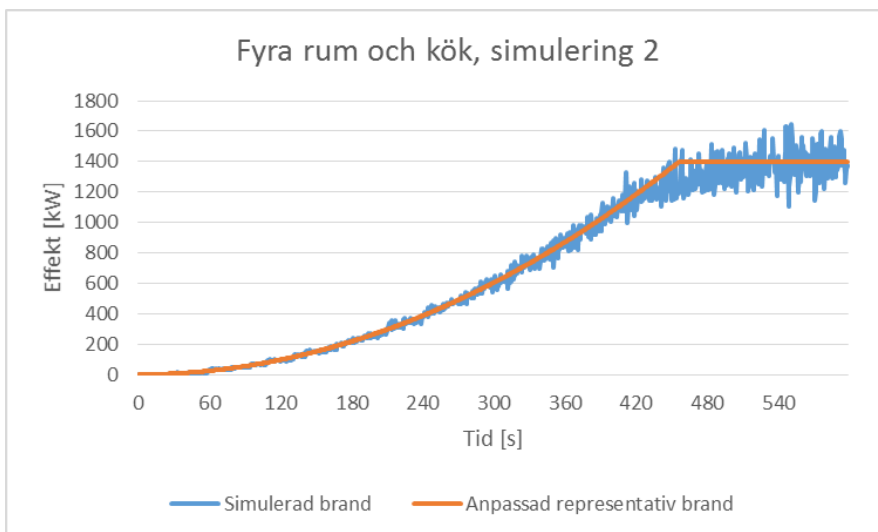
## Fyra rum och kök



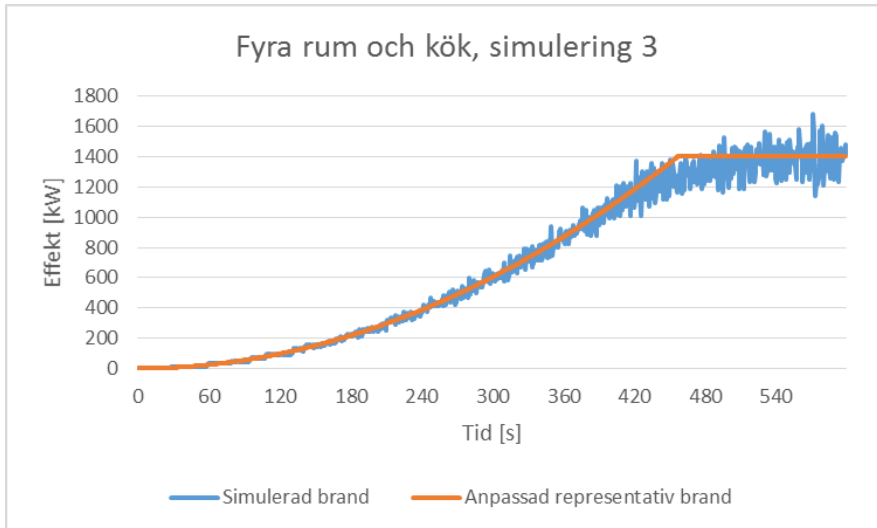
Figur 84 Effektkurva för simulerad brand respektive anpassad representativ brand i jämförelse.



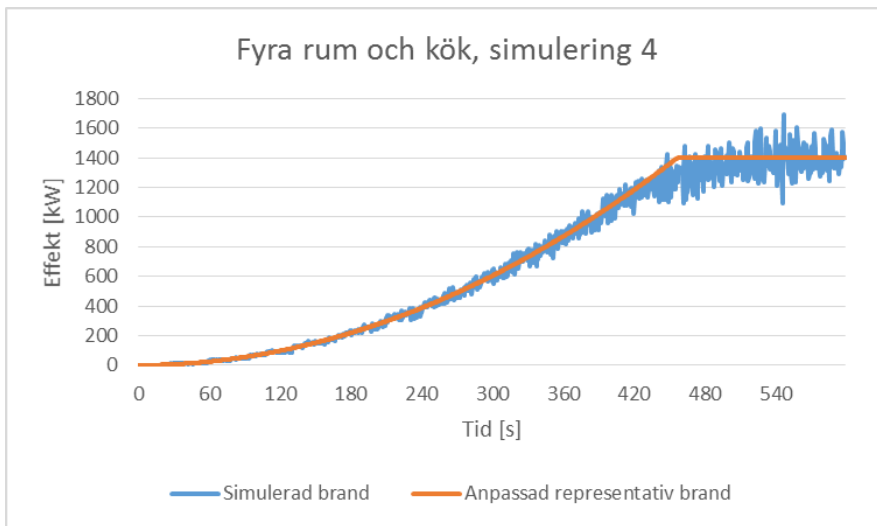
Figur 85 Effektkurva för simulerad brand respektive anpassad representativ brand i jämförelse.



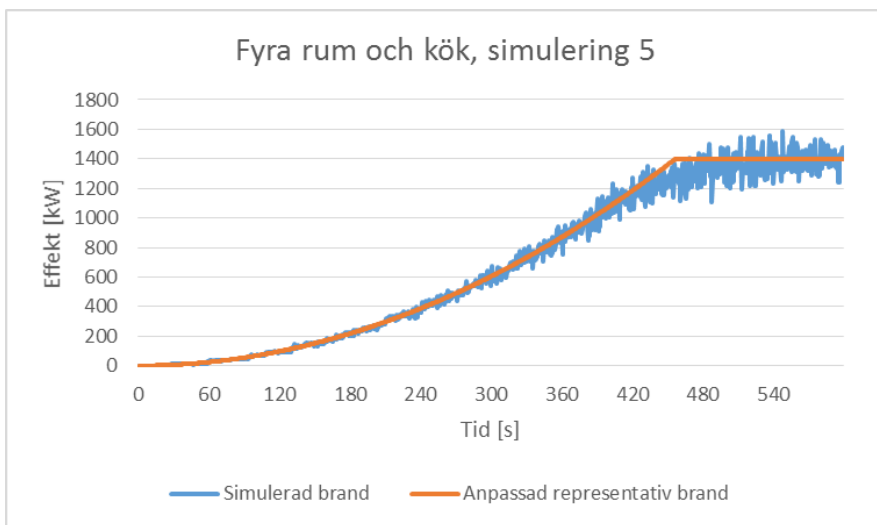
Figur 86 Effektkurva för simulerad brand respektive anpassad representativ brand i jämförelse.



Figur 87 Effektkurva för simulerad brand respektive anpassad representativ brand i jämförelse.



Figur 88 Effektkurva för simulerad brand respektive anpassad representativ brand i jämförelse.



Figur 89 Effektkurva för simulerad brand respektive anpassad representativ brand i jämförelse.

Som kan ses i Figur 78 och Figur 84 så följer inte effektkurvan för den simulerade branden den önskade representativa branden i simulering 0. Då denna simulering användes för bland annat utvärdering av effektutvecklingen anpassades denna i vidare simuleringar 1-5.

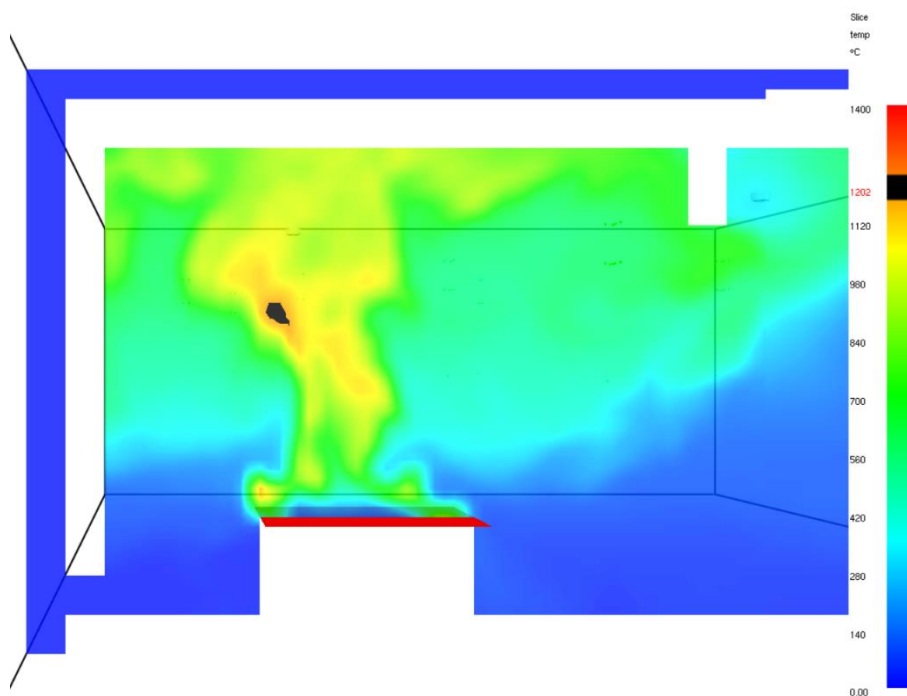
Samtliga effektkurvor för de simulerade bränderna underskattas något mot slutet av tillfäxtfasen i jämförelse med den anpassade representativa branden. Detta beror på att funktionen SPREAD\_RATE i FDS följer en radiell spridning och brandens geometri i FDS är kvadratisk. När brandspridningen nått ut till kvadratens sidor avstannar spridning i denna riktning samtidigt som en radiell spridning mot kvadratens hörn fortskrider. Denna spridning bidrar därför till en något mer långsam effektutveckling, men innefattar en så pass liten del av brandförloppet att det inte antas påverka i större grad.

Att den simulerade branden i samtliga fall inte följer den anpassade representativa branden (eller representativa branden i simulering 0) exakt beror på turbulens i brandförloppet vilket bidrar till fluktuationer i effektutvecklingen.

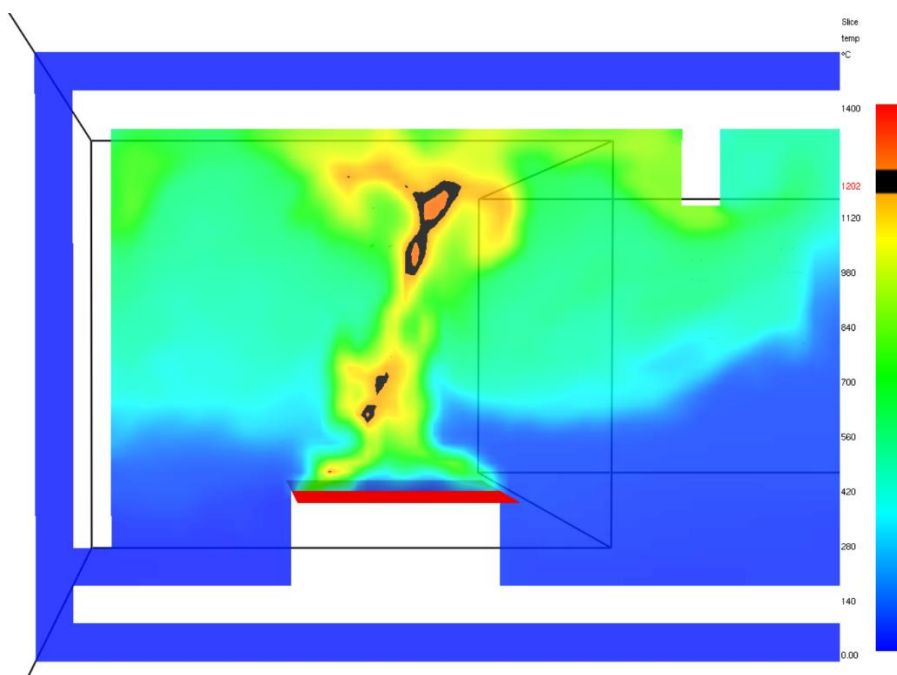


## Temperatur och strålning

Flamtemperaturen och temperaturer i brandrummet i övrigt har verifierats. Detta har verifierats för samtliga simuleringar genom att betrakta slicefiles som åskådliggör temperaturer i brandrummet i genomskärning, se exempel för simulering 1 i Figur 90 och Figur 91. Temperaturskalan i Smokeview går från 0-1400 C och svarta områden i bilden är 1200 C. Slicefiles betraktades efter 460 sekunder då maxeffekt har uppnåtts.



Figur 90 Temperatur i brandrummet i genomskärning för simulering 1, två rum och kök.



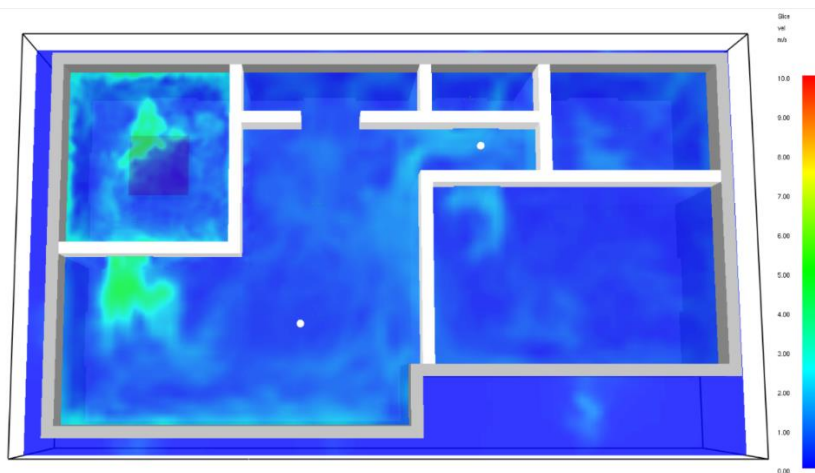
Figur 91 Temperatur i brandrummet i genomskärning för simulering 1, fyra rum och kök.

För samtliga simuleringar ligger temperaturer i flammen och i brandrummet i övrigt inom acceptabelt intervall.

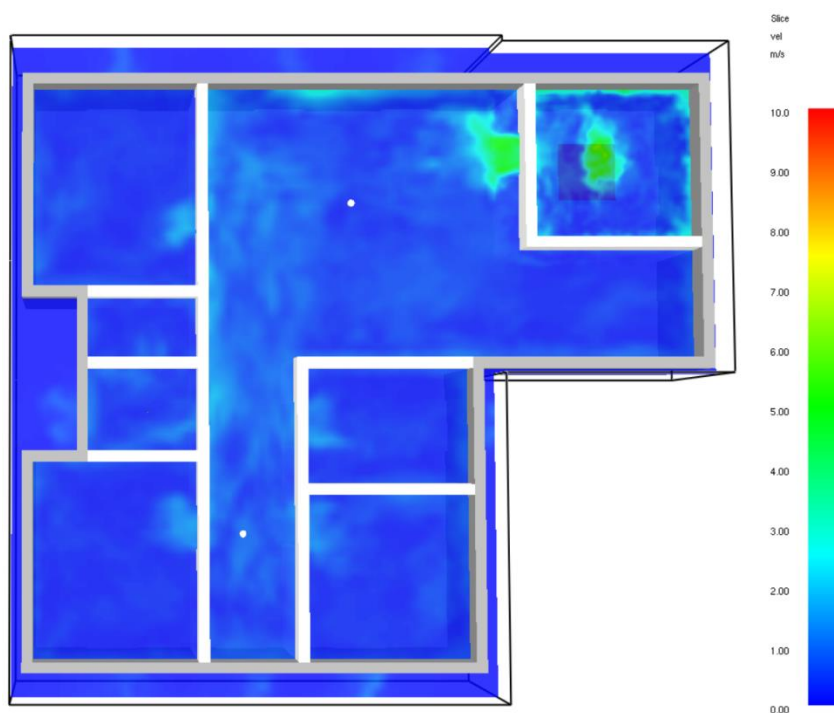
FDS förinställda beräkningsprocess med 100 strålar ansågs vara tillräckligt för analysen. En utökning av strålantalet var inte ett alternativ då det skulle förlänga simuleringstiderna väsentligt.

## Strömning

Strömningshastigheter i utrymmena som simulerades har verifierats. Detta verifierades för samtliga simuleringar genom att betrakta slicefiles som åskådliggör strömningshastigheten 1.9 meter ovan golv, se exempel för simulering 1 i Figur 92 och Figur 93. Slicefiles betraktades efter 460 sekunder då maxeffekt har uppnåtts.



Figur 92 Strömningshastigheter 1.9 meter ovan golv för simulering 1, två rum och kök.



Figur 93 Strömningshastigheter 1.9 meter ovan golv för simulering 1, fyra rum och kök.

I samtliga simuleringar understiger strömningshastigheter 10 m/s.

För läckageytor som beskrivs i avsnitt 5 säkerställdes att avståndet mellan dem och domängränsen överstiger halva den hydrauliska diametern, som beräknades enligt Ekvation 21.

$$\frac{4 * 0.2 \text{ m}}{2.4 \text{ m}} = 0,33 \text{ m} = \textit{Hydraulisk diameter}$$

Avståndet från läckagehålen till domängränserna har därför kontrollerats så att de överstiger  $0.33/2 = 0.167$  meter.

### **Meshgränser**

*Mesh Alignment Test* och att antalet celler i X, Y och Z dimensionerna är faktoriserbara med antingen 2, 3 eller 5 uppfylls i samtliga genomförda simuleringar.



## Bilaga 5 – FDS validering

För att kunna avgöra huruvida de resultat som erhållits i FDS kommer vara tillfredsställande undersöks hur väl FDS är validerat för de parametrar som undersöks. Nystedt och Frantzich (2011) har skrivit ner resultaten för en valideringsstudie som genomförts. Studien behandlar FDS version 5 medan aktuell version av FDS som använts i examensarbetet är version 6. Skillnaden mellan version 5 och version 6 är förbättringar i modelleringen av turbulens, simuleringar med flera meshar och andra ändringar som finns tillgängliga på den officiella hemsidan för FDS (NIST, 2016). Dessa förändringar anses inte påverka valideringsstudiens applicerbarhet för modelleringarna i detta arbete men detta till trots har ytterligare en valideringsstudie studerats som behandlar FDS version 6 (McGrattan, et al., 2016). Skillnaden mellan dessa två valideringsstudier är att den sistnämnda även kvantifierar osäkerheterna i FDS.

FDS lämpar sig bra för att bestämma höjden till och temperaturen i det övre brandgaslagret i såväl brandrummet som angränsande rum. Likaså är FDS bra på att bestämma temperaturen i takstrålen. Temperaturen i takstrålen är dock känslig för hur fin upplösning som används då detta påverkar luftinblandningen i takstrålen. Det har även visat sig att FDS ger trovärdiga bedömningar av tryckökningen i brandrummet. Parametern är dock beroende av läckage och ventilationsförhållanden som kan vara svåra att bedöma (Nystedt & Frantzich, 2011).

FDS är sämre på att representera korrekt flamhöjd och plymtemperatur. Angående flamhöjden är den förbränningsmodell FDS använder sig av för enkel och flamhöjden överskattas ofta. Som konsekvens av svårigheten att representera flamhöjd blir bestämningen av plymtemperatur bristande, eftersom plymtemperaturen är direkt beroende av flamhöjden (Nystedt & Frantzich, 2011).

Om förbränningsreaktionen är känd och under förutsättningen att det råder välventilerade förhållanden så är FDS bra på att bestämma koncentrationen av syrgas och koldioxid. Dock begränsas FDS av att enbart en förbränningsreaktion kan simuleras vilket blir problematiskt om bränslet inte är välkänt. Skulle däremot bränslet vara känt kan detta modelleras under förutsättning att ingen brandspridning till andra material sker.

Vid undersökning av hur brandgaser och sot transporteras i byggnaden lämpar sig FDS väl för detta ändamål. Vid bedömning av hur mycket sot som produceras är modellen dock begränsad till att användaren anger ett värde på sotproduktionen som en andel av massavbrinningen (Nystedt & Frantzich, 2011). Värden på sotproduktion finns ofta i litteratur och gäller för välventilerade förhållanden och blir en begränsning för FDS då ventilationsförhållanden påverkar sotproduktionen.

Modellering av värmestrålning fungerar väl i FDS men är väldigt beräkningsintensiva. Ska en bedömning av temperatur i mottagande objekt bedömas måste objektet ha en geometri sådan att strålningen inte missar objektet (Nystedt & Frantzich, 2011). Vidare är modellerna för värmeledning tillförlitliga men enkla. Ledning kan enbart hanteras i en riktning, vilket innebär att föremål inte kan värmas upp från olika håll. Båda parametrarna som omnämns i detta stycke är beroende av avståndet till mottagaren, då osäkerheten ökar vid minskade avstånd (Nystedt & Frantzich, 2011).

Genom att utföra simuleringar i FDS identiska med utförda laborationer är det möjligt att kvantifiera dessa fel och osäkerheter som beskrivits ovan (McGrattan, et al., 2016). Detta har utförts och en osäkerhetsfaktor kan därför erhållas för ett antal olika parametrar som FDS kan beräkna. För att dessa osäkerhetsfaktorer ska vara tillförlitliga krävs att förutsättningarna i den utförda simuleringen matchar förutsättningarna för de utförda laborationerna (McGrattan, et al., 2016). Förutsättningarna för de laborationer som närmast liknar simuleringarna utförda i detta examensarbete redovisas i Tabell 52 nedan och är utförda i utrymmen någorlunda liknande planlösningarna som simulerats i examensarbetet.

Tabell 52 Förutsättningar för de utförda valideringsexperimenten (McGrattan, et al., 2016).

Testserie	$\dot{Q}^*$	$L_f/H$	$\Phi$	$W/H$	$L/H$	$r_{cj}/H$	$r_{rad}/D$
<b>LLNL</b>	0.2 – 1.5	0.1 – 0.4	0.1 – 0.4	0.9	1.3	0.3 – 1.0	-
<b>NBS</b>	1.5	0.5	0.0	1.0	5.1	-	-
<b>NIST/NRC</b>	0.3 – 2.0	0.3 – 1.0	0.0 – 0.3	1.9	5.7	0.3 – 2.1	2.0 – 4.0
<b>Steckler</b>	0.8 – 3.8	0.3 – 0.7	0.0 – 0.6	1.3	1.3	-	-

Om de utförda simuleringarna matchar dessa parametrar kan osäkerheterna som redovisas i Tabell 53 nedan avläsas.

Tabell 53 Osäkerheten i relevanta utdataparametrar för FDS. (McGrattan, et al., 2016)

Utdataparameter	$\delta$	$\tilde{\sigma}_M$
<b>Brandgaslagrets temperatur, ”natural”</b>	1.02	0.12
<b>”Target temperature”</b>	0.98	0.18
<b>”Target heat flux”</b>	0.98	0.25
<b>Yttemperatur</b>	0.99	0.12

Osäkerhetsfaktorn och standardavvikelsen i tabellerna ovan anger alltså det fel man kan förvänta sig från FDS för respektive utdataparameter. I artikeln skriven av McGrattan, Overholt och Peacock (2016) anger de att beräkningsresultatet från FDS har en osäkerhetsfaktor som mestadels ligger inom intervallet 0.90 – 1.20 förutom för parametern ”Smoke concentration” vars osäkerhetsparameter är lika med 2.63.

Detta gäller dock givet att förutsättningarna för simuleringarna är likvärdiga med förutsättningarna redovisade i Tabell 52 ovan. Hur dessa parametrar beräknas och presentation av simuleringarnas förutsättningar sker nedan.

$\dot{Q}^*$  har beräknats i Bilaga 4 – FDS verifiering där beräkningsgång presenteras.

Flamhöjden  $L_f$  beräknas enligt:

$$L_f = D \left( 3.7(\dot{Q}^*)^{2/5} - 1.02 \right) \quad \text{Ekvation 22}$$

Ekvivalensration  $\Phi$  beräknas enligt:

$$\Phi = \frac{\dot{Q}(kW)}{13\,000 \left( \frac{kJ}{kg} \right) * \dot{m}O_2} \quad \text{Ekvation 23}$$

Där  $\dot{m}O_2$  beräknas enligt följande vid naturlig ventilation:

$$\dot{m}O_2 = \frac{1}{2} 0.23 A_0 \sqrt{H_0} \quad \text{Ekvation 24}$$

Resultaten för dessa parametrar redovisas i Tabell 54 nedan

Tabell 54 Intervallen för förutsättningarna för samtliga simuleringar.

$\dot{Q}^*$	$L_f/H$	$\Phi$	$W/H$	$L/H$	$r_{cj}/H$	$r_{rad}/D$
0.69 – 0.74	1.1 – 1.3	0.33	1.15 – 2.5	1.15 – 3.75	-	-

De två sista parametrarna  $r_{cj}/H$  och  $r_{rad}/D$  har ej beaktats för simuleringarna i detta examensarbete.  $r_{cj}/H$  är relevant då det finns sprinklerhuvuden eller brandvarnare i nära anslutning till branden, vilket inte är fallet i utförda simuleringar. Parametern  $r_{rad}/D$  är relevant då direkt strålning från brand ska tas i beaktande. I utförda simuleringar är det i majoriteten av fallen strålning från hela omgivningen som tas i beaktande och  $r_{rad}/D$  bortses därför ifrån.

För övriga parametrar ligger de flesta inom godkänt intervall enligt de valideringsstudier som utförts och simuleringarna jämförts med. Jämförs simuleringarnas parametrar med de från testserien "NIST/NRC" i Tabell 52 befinner sig många av simuleringsparametrarna inom eller i närheten av intervallen för testseriens värden. Med avsak i detta anses de kvantifierade osäkerheterna överensstämja med de osäkerheter presenterade i Tabell 53.





## Bilaga 6 – FDS resultat

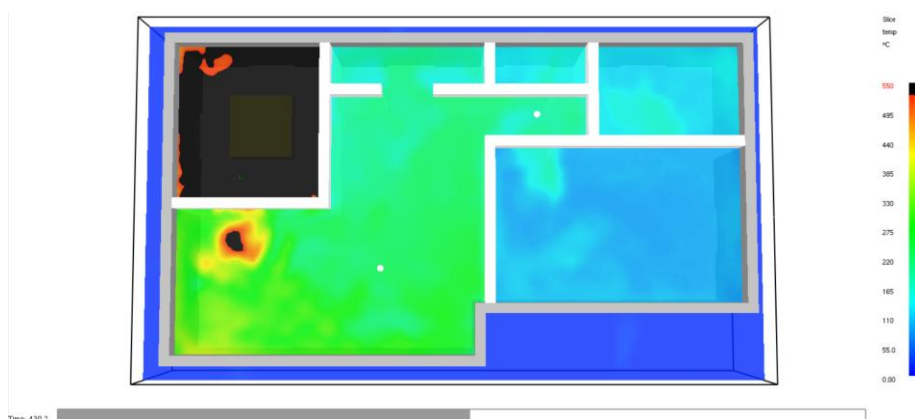
Resultatet av FDS-simuleringarna bedömdes i huvudsak med utplacerade mätpunkter i FDS. Det presenteras nedan för samtliga simuleringar för både två rum och kök samt fyra rum och kök. Om inget annat nämns presenteras resultat på 1.8 meters höjd. Vid bedömning har tid till kritiska gränsvärden angetts vid tids då gränsvärdet för första gången har uppnåtts eller överstigits. I graferna för temperatur, FED samt strålning är varje tidssteg ett medelvärde av aktuellt värde  $\pm$  tre sekunder. Detta gjordes för att underlätta avläsning i graferna, då turbulensen bidrar till stora fluktuationer i temperatur och strålning.

### Två rum och kök

#### Simulering 0

Nedan presenteras resultatet från simulering 0.

I Figur 94 ses ett tvärsnitt för temperaturen på 2 meters höjd vid 430 sekunder. I det svarta området överstiger temperaturen 550 °C, vilket är mitt i intervallet för temperaturer då övertändning kan förväntas inträffa. I Figur 95 ses även att förbränning sker utanför utrymmet vid samma tidpunkt.



Figur 94 Temperaturer överstigande 500 grader erhålls i hela brandrummet på 2 meters höjd vid 430 sekunder.



Figur 95 Förbränning sker utanför brandrummet vid ungefär 430 sekunder.

## Simulering 1

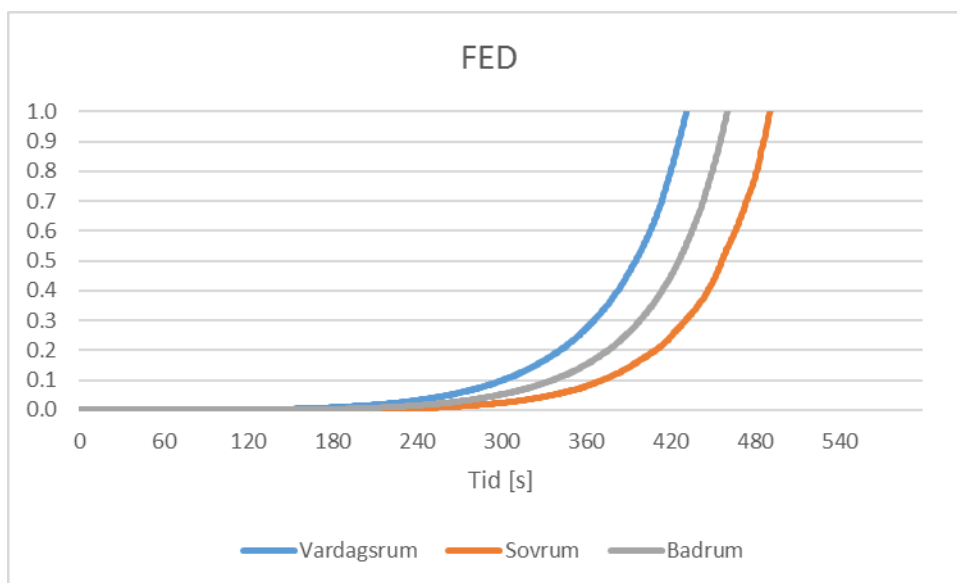
Nedan presenteras resultaten från simulering 1.

Simulering 1 betraktades som standardfallet vid fallstudien och resultatet användes därför som index för att jämföra påverkan vid variation av parametrarna som undersöks.

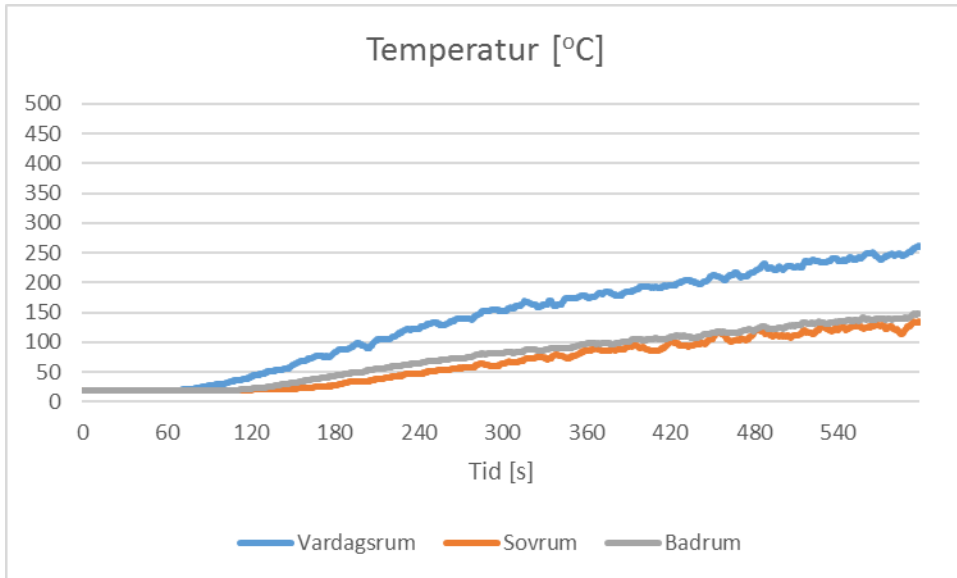
Resultat av tiden tills kritiska gränsvärdet uppnåddes för parametrarna FED (vid gränsvärde 0.3 och 1.0), temperatur och strålning presenteras i Tabell 55. I Figur 96 - Figur 98 presenteras parametrarnas variation sett över tid.

Tabell 55 Tid till kritiskt gränsvärde har uppnåtts i simulering 1, två rum och kök.

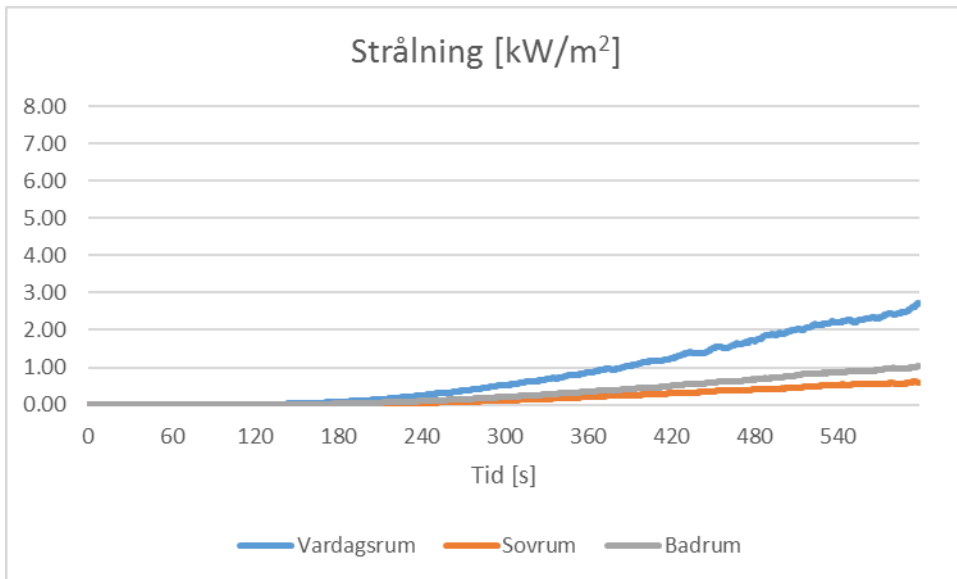
Utrymme	FED = 0.3	FED = 1.0	Temperatur = 120 °C	Strålning = 2.5 kW/m <sup>2</sup>
Vardagsrum	367 s	433 s	232 s	591 s
Sovrum	432 s	492 s	484 s	Uppnås ej
Badrum	400 s	462 s	473 s	Uppnås ej



Figur 96 Graf över FED i simulering 1, två rum och kök.



Figur 97 Graf över medeltemperaturen i simulering 1, två rum och kök



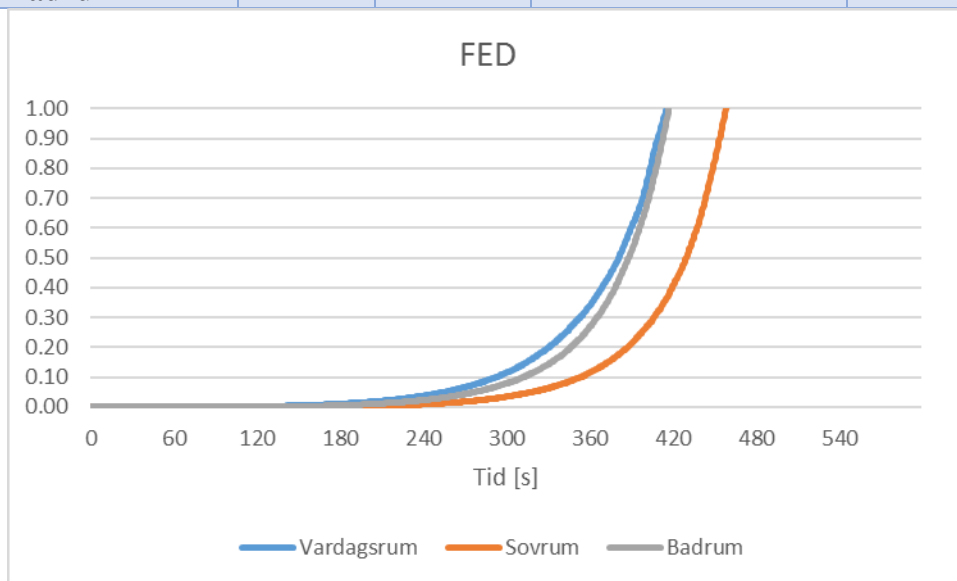
Figur 98 Graf över medelstrålningen i simulering 1, två rum och kök

## Simulering 2

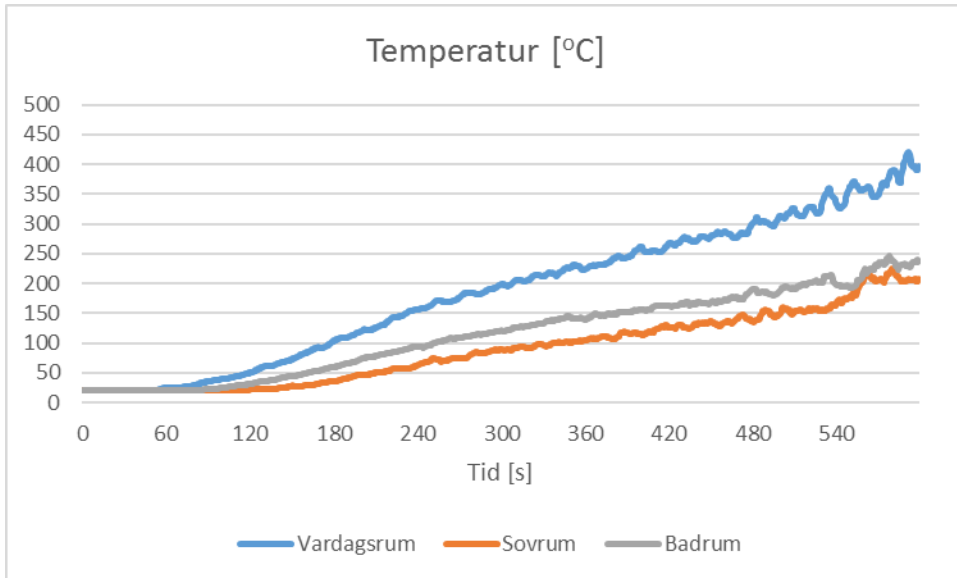
Resultatet från simulering 2 för två rum och kök ses nedan. Resultat av tiden tills kritiska gränsvärdet uppnåddes för parametrarna FED (vid gränsvärde 0.3 och 1.0), temperatur och strålning presenteras i Tabell 56. I Figur 99 - Figur 101 presenteras parametrarnas variation sett över tid.

Tabell 56 Tid till kritiskt gränsvärde har uppnåtts i simulering 2, två rum och kök.

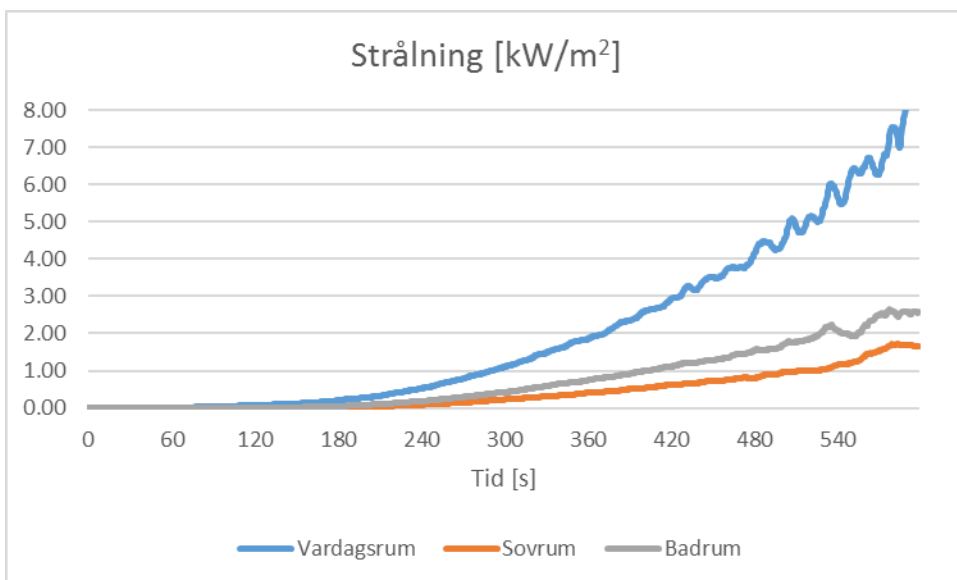
Utrymme	FED = 0.3	FED = 1.0	Temperatur = 120 °C	Strålning = 2,5 kW/m <sup>2</sup>
Vardagsrum	354 s	416 s	199 s	398 s
Sovrum	407 s	459 s	410 s	Uppnås ej
Badrum	400 s	418 s	299 s	571 s



Figur 99 Graf över FED i simulering 2, två rum och kök.



Figur 100 Graf över medeltemperaturen i simulering 2, två rum och kök.



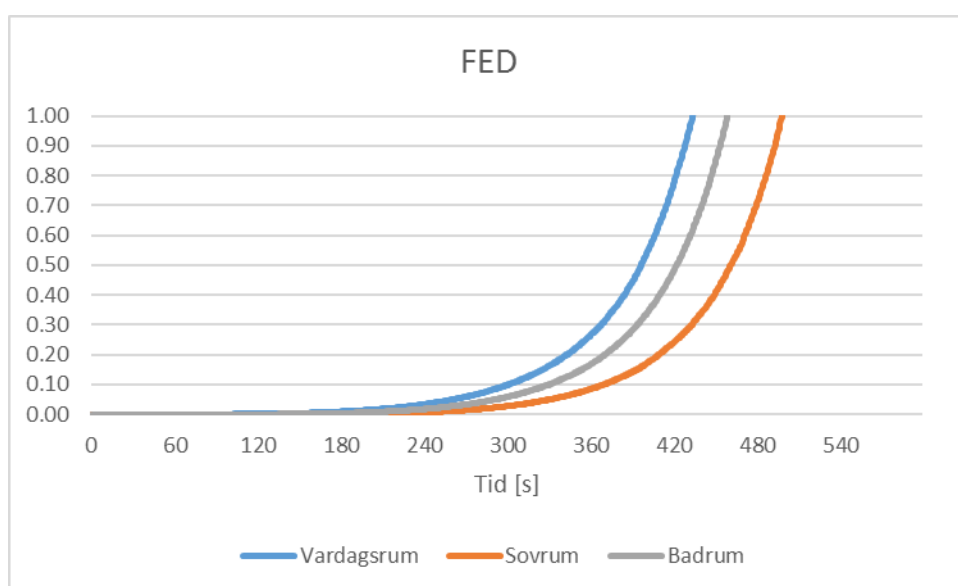
Figur 101 Graf över medelstrålningen i simulering 2, två rum och kök.

### Simulering 3

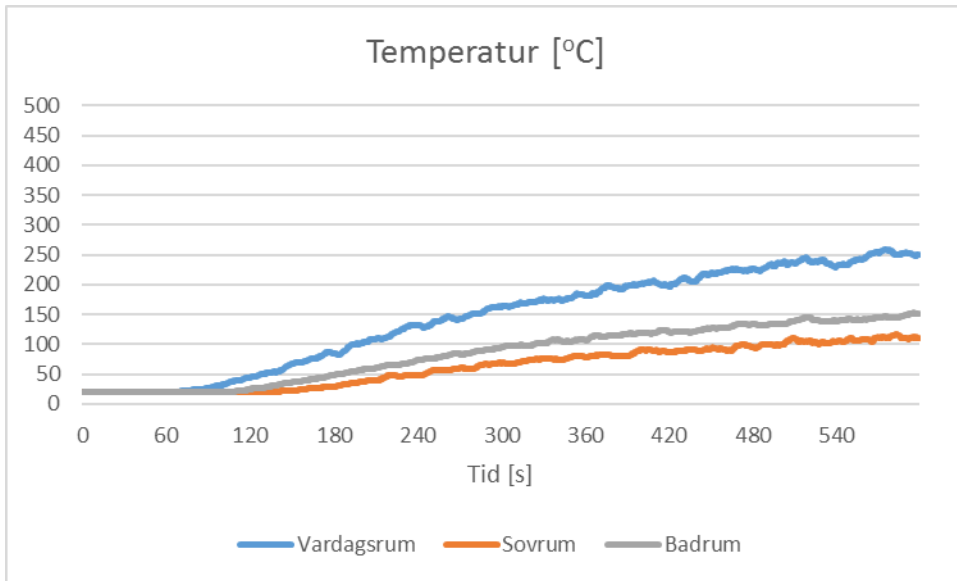
Resultatet från simulering 3 redovisas nedan. Resultat och gränsvärden presenteras i Tabell 57 och grafiskt i Figur 102 - Figur 104.

Tabell 57 Tid till kritiskt gränsvärde har uppnåtts i simulering i simulering 3, två rum och kök.

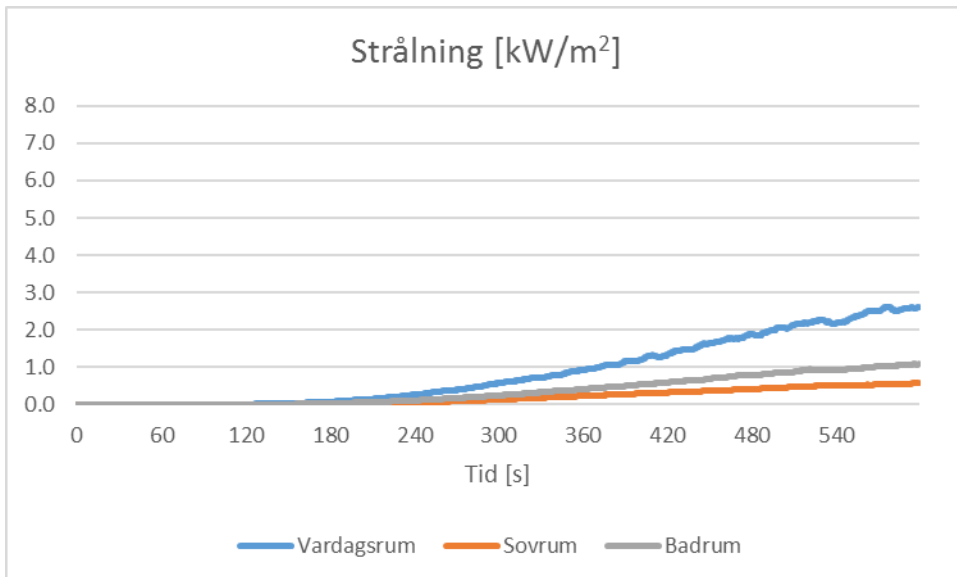
Utrymme	FED = 0.3	FED = 1	Temperatur = 120 °C	Strålning = 2.5 kW/m <sup>2</sup>
Vardagsrum	368 s	434 s	225 s	563 s
Sovrum	432 s	499 s	Uppnås ej	Uppnås ej
Badrum	393 s	460 s	412 s	Uppnås ej



Figur 102 Graf över FED i simulering 3, två rum och kök.



Figur 103 Graf över medeltemperaturen i simulering 3, två rum och kök.



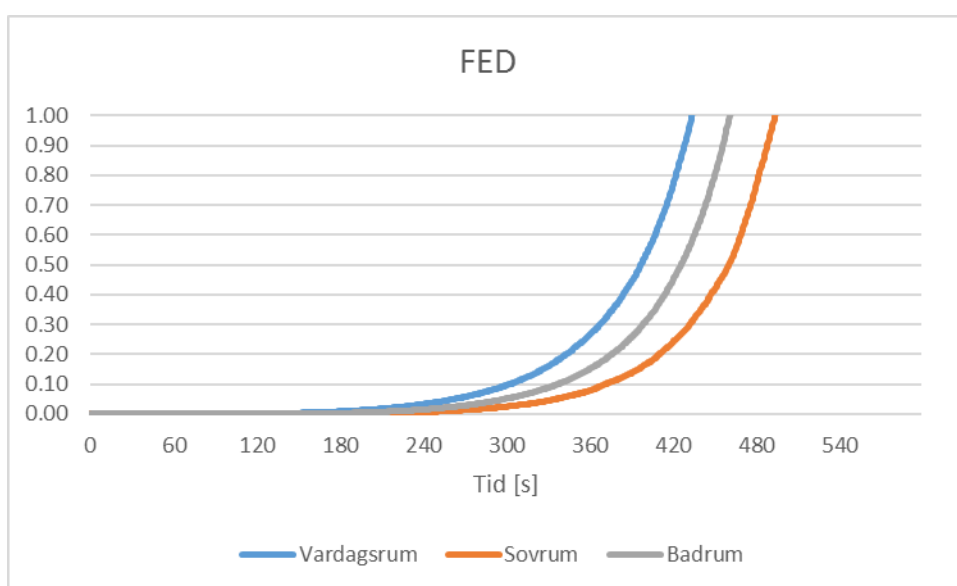
Figur 104 Graf över medelstrålningen i simulering 3, två rum och kök

## Simulering 4

Resultatet från simulering 4 redovisas nedan. Resultat parametrar och gränsvärden presenteras i Tabell 58 och grafiskt i Figur 105 - Figur 107 .

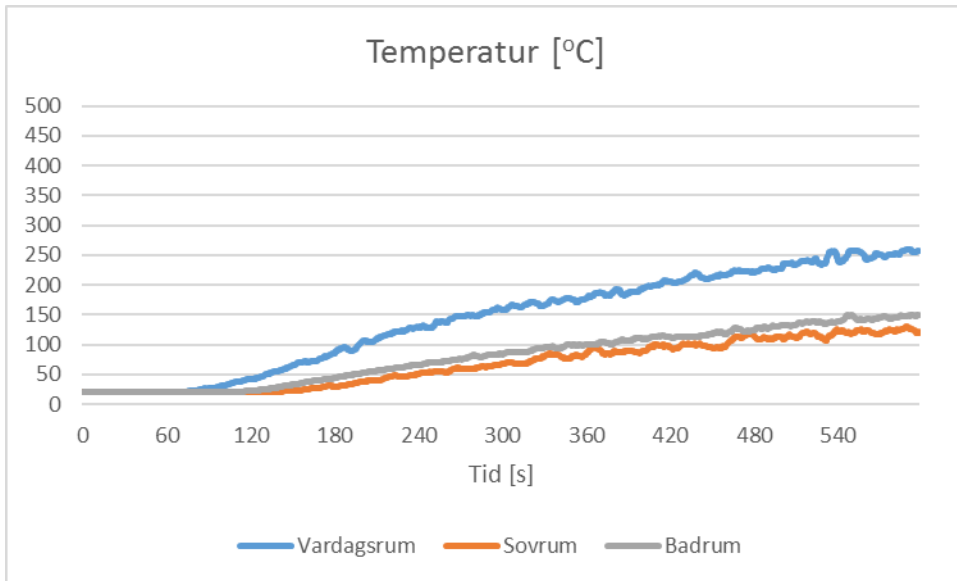
Tabell 58 Tid till kritiskt gränsvärde har uppnåtts i simulering i simulering 3 två rum och kök.

Utrymme	FED = 0.3	FED = 1.0	Temperatur = 120 °C	Strålning = 2.5 kW/m <sup>2</sup>
Vardagsrum	368 s	434 s	223 s	547 s
Sovrum	433 s	463 s	518 s	Uppnås ej
Badrum	399 s	494 s	454 s	Uppnås ej

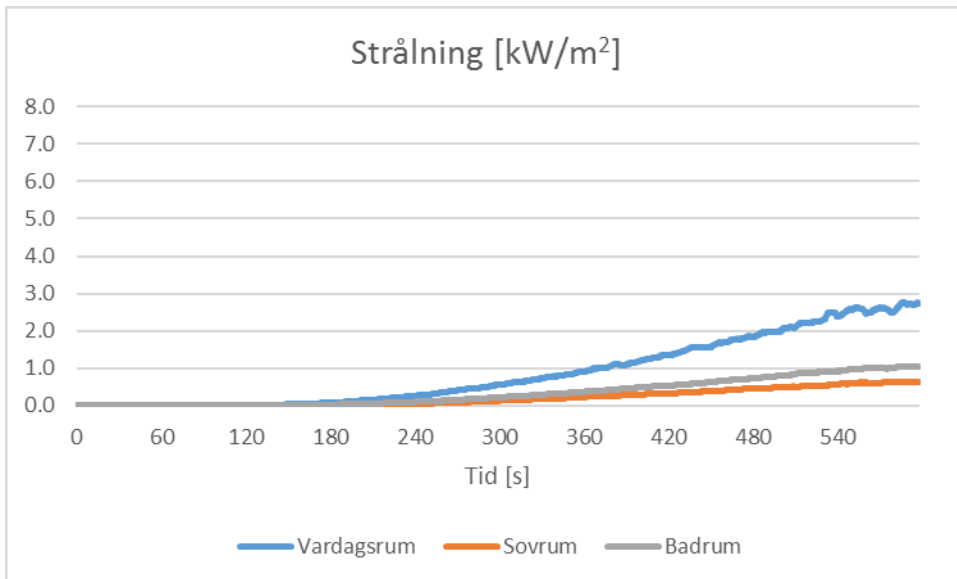


Figur 105 Graf över FED i simulering 4, två rum och kök.





Figur 106 Graf över medeltemperaturen i simulering 4, två rum och kök.



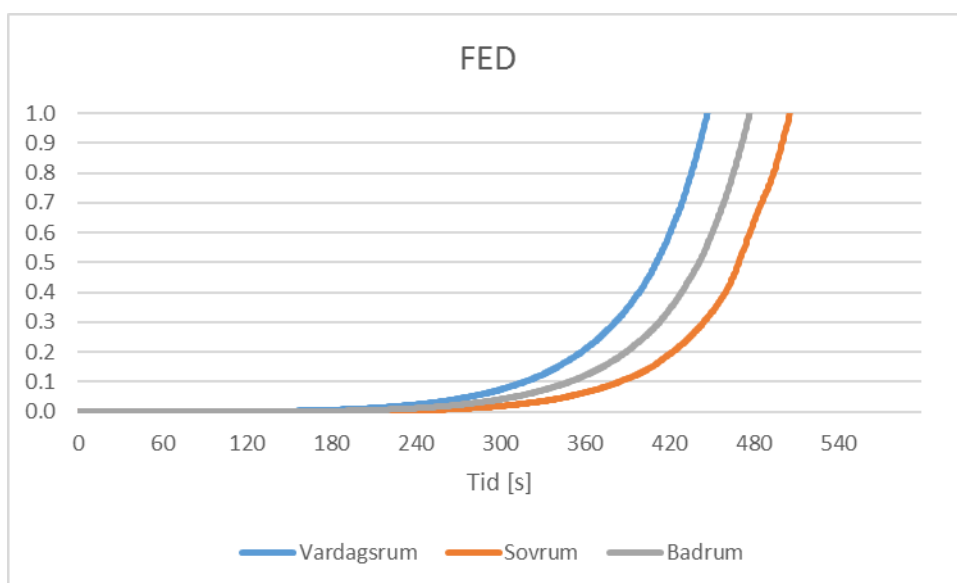
Figur 107 Graf över medelstrålningen i simulering 4, två rum och kök

## Simulering 5

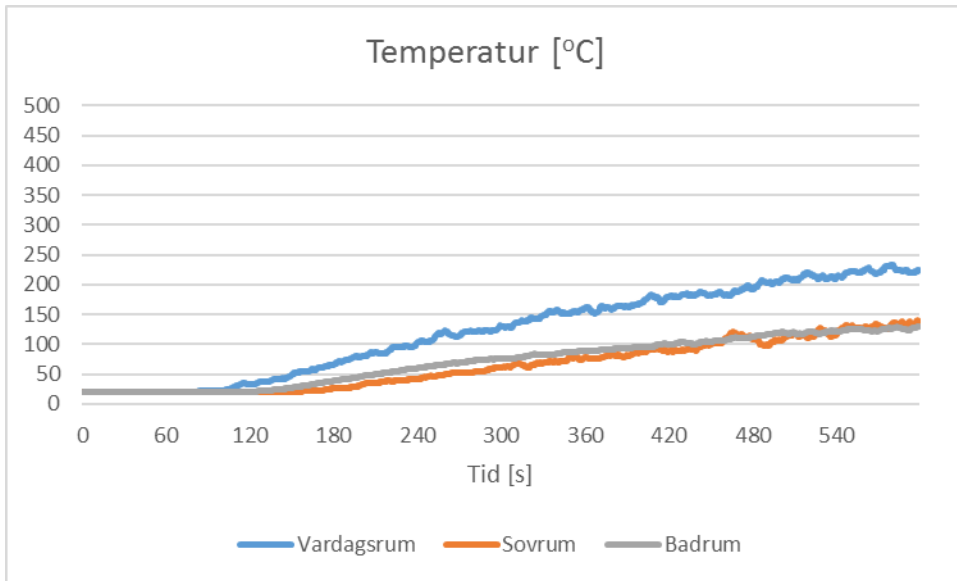
Resultatet från simulering 5 för två rum och kök ses nedan. I Tabell 59 presenteras tiden till dess att det kritiska gränsvärdet uppnåddes för parametrarna FED (vid gränsvärde 0.3 och 1.0), temperatur och strålning. Resultat från presenteras grafiskt i Figur 108 - Figur 110 .

Tabell 59 Tid till kritiskt gränsvärde har uppnåtts i simulering 5, två rum och kök.

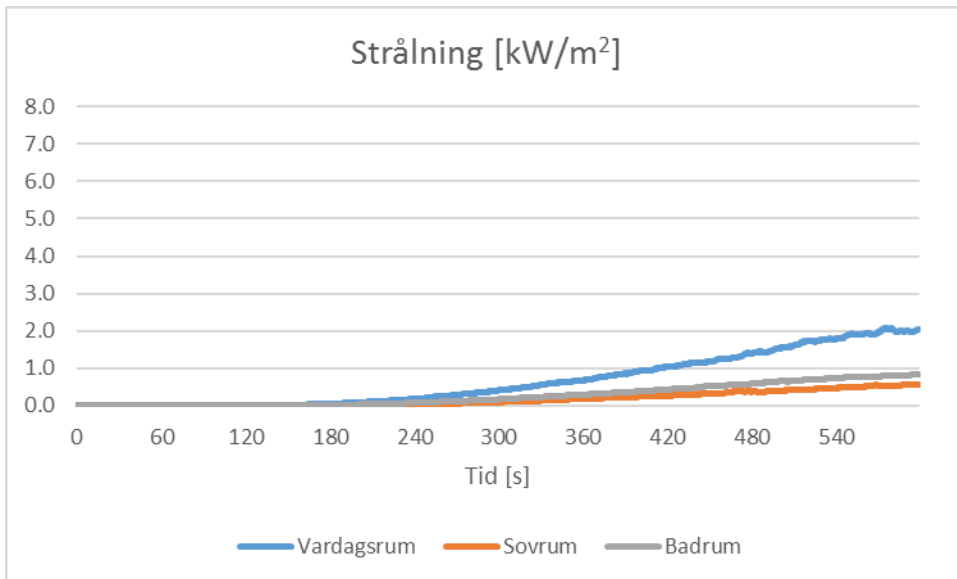
Utrymme	FED = 0.3	FED = 1	Temperatur = 120 °C	Strålning = 2.5 kW/m <sup>2</sup>
Vardagsrum	383 s	448 s	259 s	Uppnås ej
Sovrum	445 s	506 s	527 s	Uppnås ej
Badrum	414 s	478 s	500 s	Uppnås ej



Figur 108 Graf över FED i simulering 5, två rum och kök.



Figur 109 Graf över medeltemperaturen i simulering 5, två rum och kök.



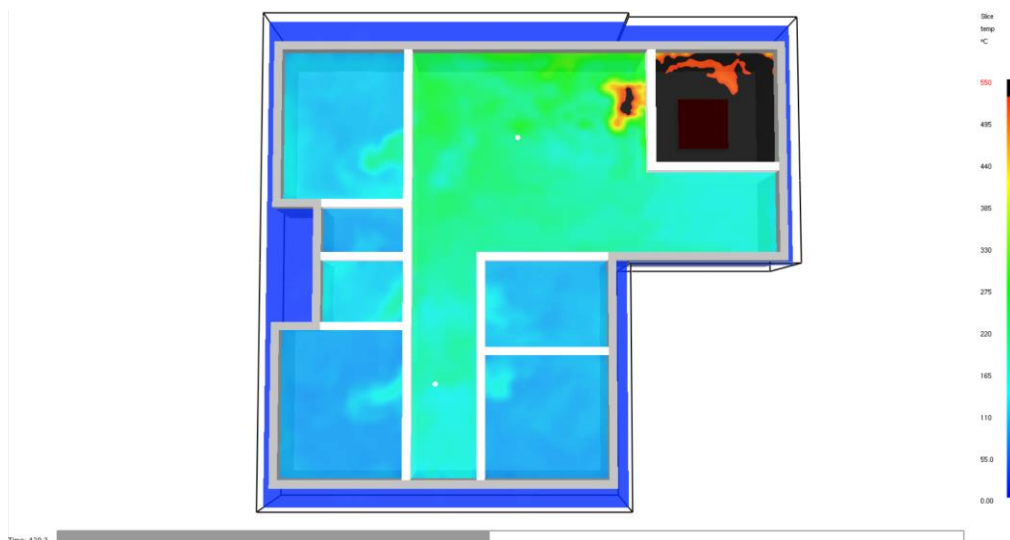
Figur 110 Graf över medelstrålningen i simulering 5, två rum och kök

# Fyra rum och kök

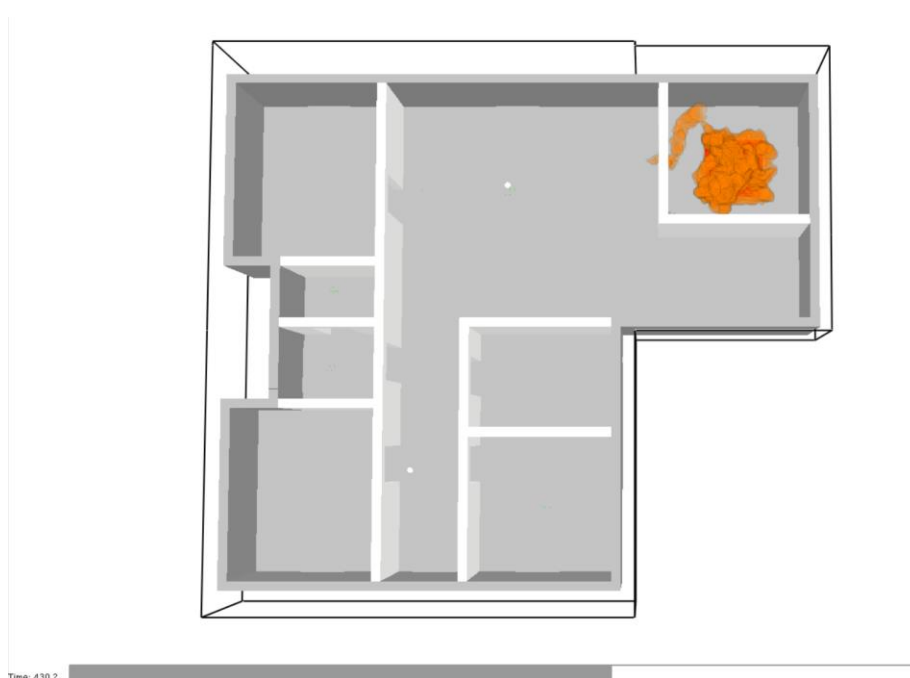
## Fyra rum och kök sim 0

Resultatet från simulering 0 ses nedan.

I Figur 111 ses ett tvärsnitt för temperaturen på 2 meters höjd vid 430 sekunder. I det svarta området har temperaturer överstigandes 550 °C uppnåtts, vilket är mitt i intervallet för temperaturer då övertändning kan förväntas inträffa. I Figur 112 ses även att förbränning sker utanför utrymmet vid samma tidpunkt.



Figur 111 Temperaturer överstigande 500 grader erhålls i hela brandrummet på 2 meters höjd vid 430 sekunder.



Figur 112 Förbränning börjar ske utanför brandrummet vid 430 sekunder.

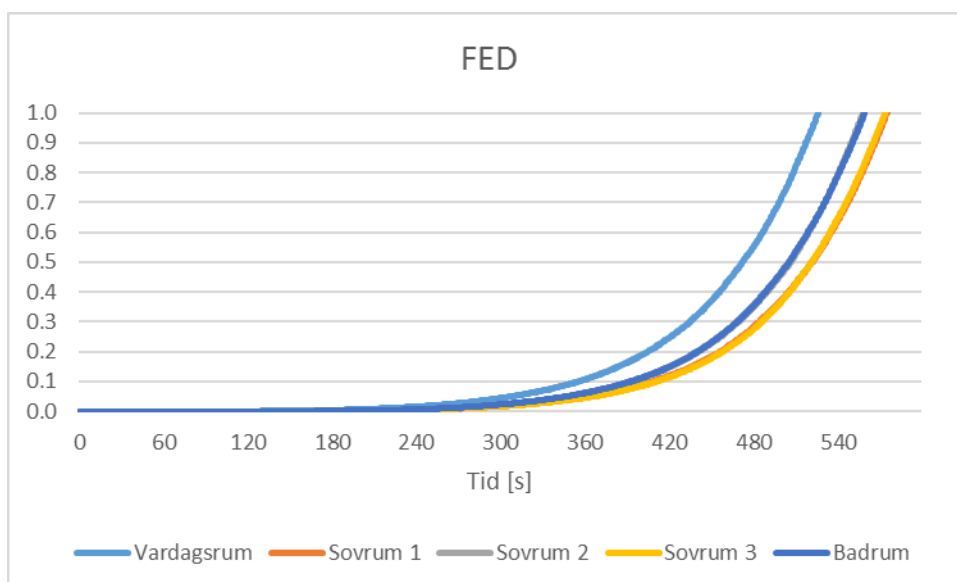
## Simulering 1

Resultatet från simulering 1 för fyra rum och kök ses nedan.

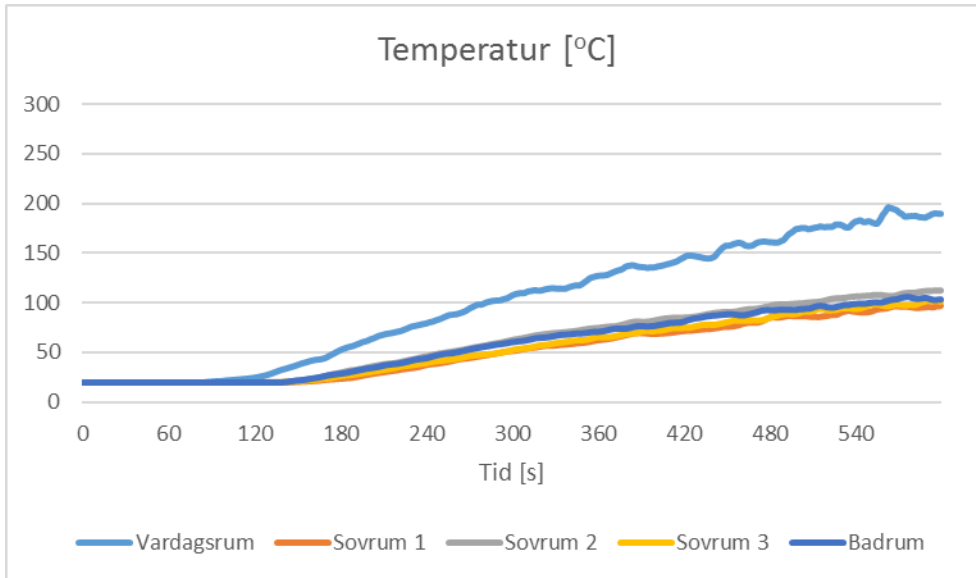
I Tabell 60 presenteras tiden till dess att det kritiska gränsvärdet uppnåddes för parametrarna FED (vid gränsvärde 0.3 och 1.0), temperatur och strålning. Resultat presenteras grafiskt i Figur 113 - Figur 115.

Tabell 60 Tid till kritiskt gränsvärde har uppnåtts i simulering 1, fyra rum och kök.

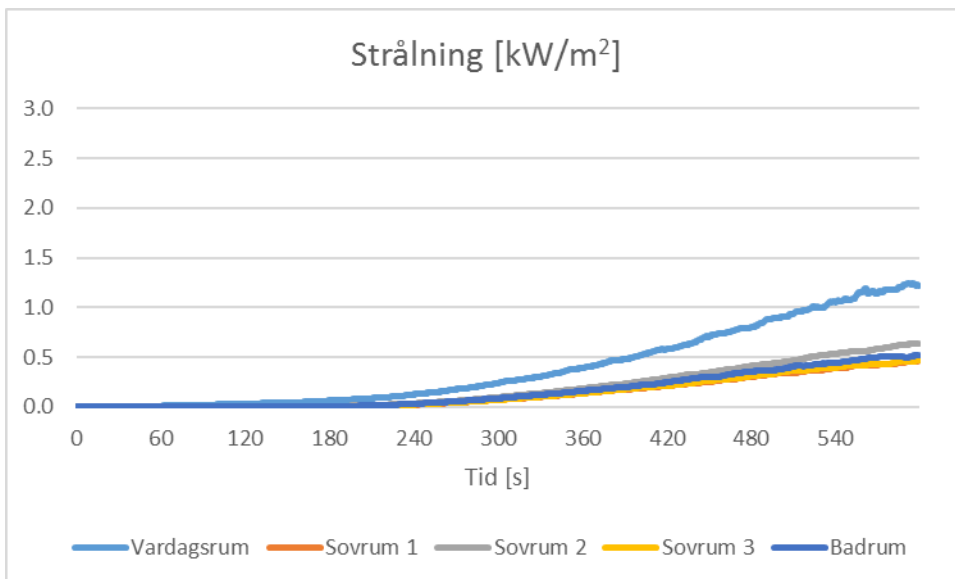
Utrymme	FED = 0.3	FED = 1.0	Temperatur = 120 °C	Strålning = 2.5 kW/m <sup>2</sup>
Vardagsrum	436 s	527 s	350 s	Uppnås ej
Sovrum 1	485 s	575 s	Uppnås ej	Uppnås ej
Sovrum 2	470 s	559 s	Uppnås ej	Uppnås ej
Sovrum 3	487 s	574 s	Uppnås ej	Uppnås ej
Badrum	469 s	560 s	Uppnås ej	Uppnås ej



Figur 113 Graf över FED i simulering 1, fyra rum och kök.



Figur 114 Graf över medeltemperaturen i simulering 1, fyra rum och kök.



Figur 115 Graf över medelstrålningen i simulering 1, fyra rum och kök.

## Simulering 2

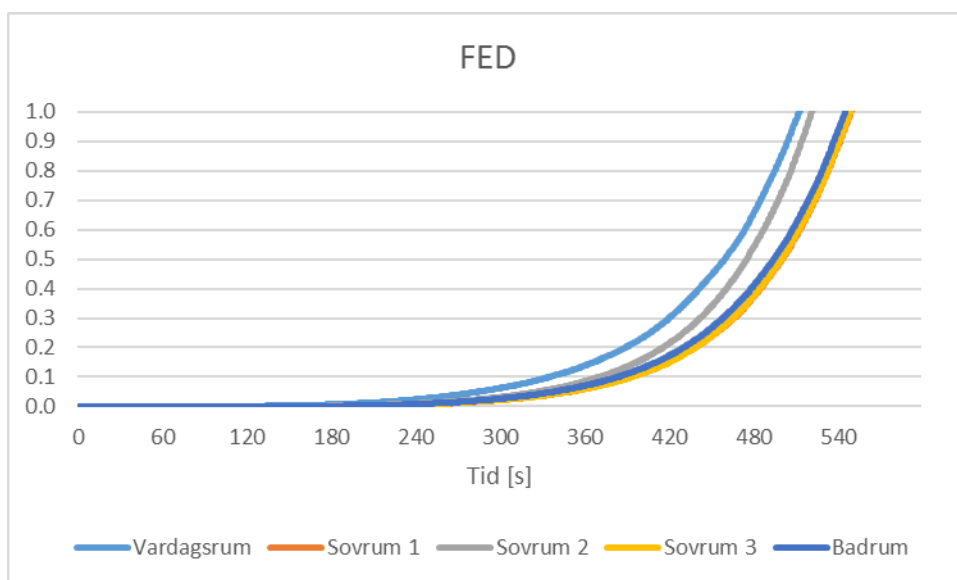
Resultatet från simulering 2 för fyra rum och kök ses nedan.

Resultat av tiden tills kritiska gränsvärdet uppnåddes för parametrarna FED (vid gränsvärde 0.3 och 1.0), temperatur och strålning presenteras i Tabell 61.

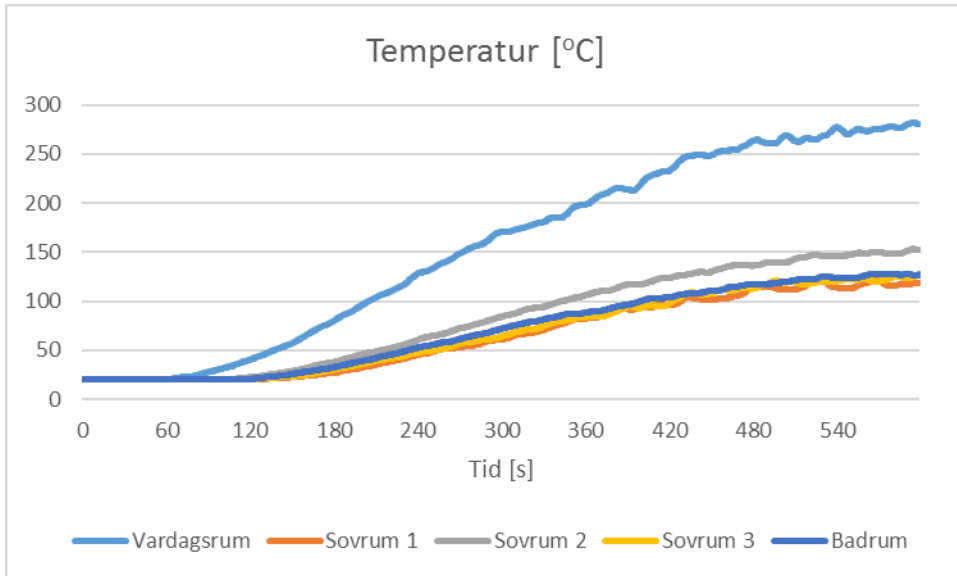
I Figur 116 - Figur 118 presenteras parametrarnas variation sett över tid.

Tabell 61 Tid till kritiskt gränsvärde har uppnåtts i simulering 2, fyra rum och kök.

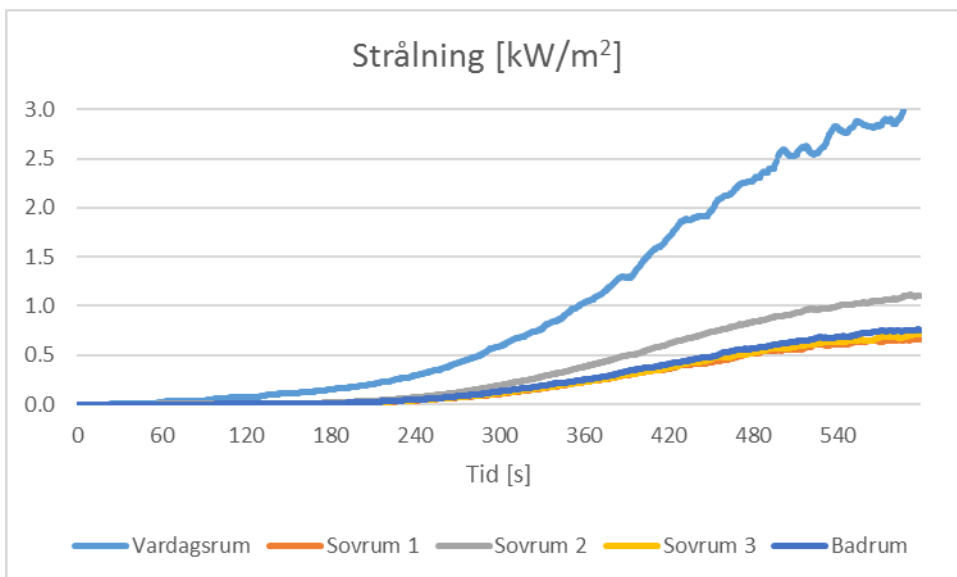
Utrymme	FED = 0.3	FED = 1.0	Temperatur = 120 °C	Strålning = 2,5 kW/m <sup>2</sup>
<b>Vardagsrum</b>	419 s	513 s	233 s	498 s
<b>Sovrum 1</b>	466 s	550 s	565 s	-
<b>Sovrum 2</b>	442 s	522 s	408 s	-
<b>Sovrum 3</b>	465 s	549 s	495 s	-
<b>Badrum</b>	458 s	545 s	507 s	-



Figur 116 Graf över FED i simulering 2, fyra rum och kök.



Figur 117 Graf över medeltemperaturen i simulering 2, fyra rum och kök.



Figur 118 Graf över medelstrålning i simulering 2, fyra rum och kök.



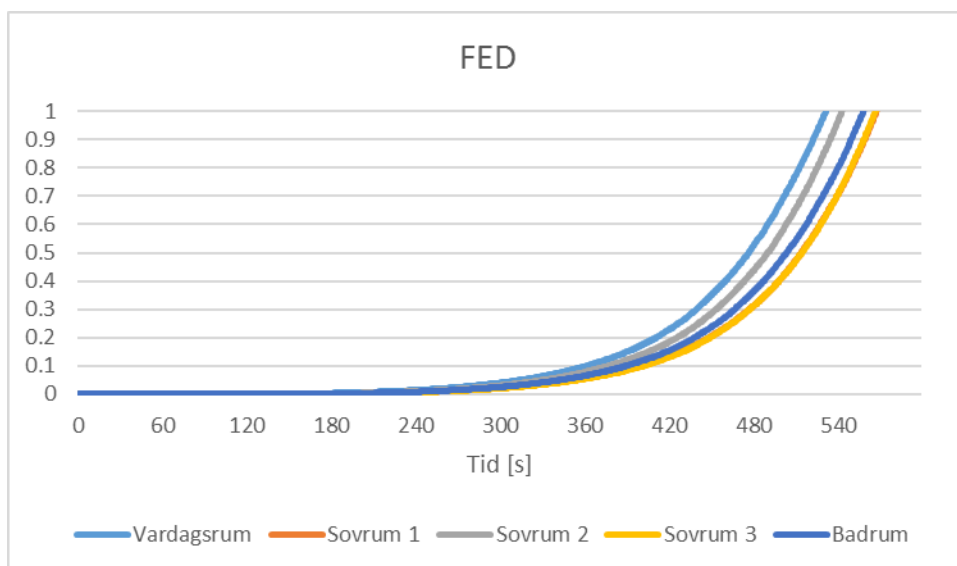
### Simulering 3

Resultatet från simulering 3 för fyra rum och kök ses nedan.

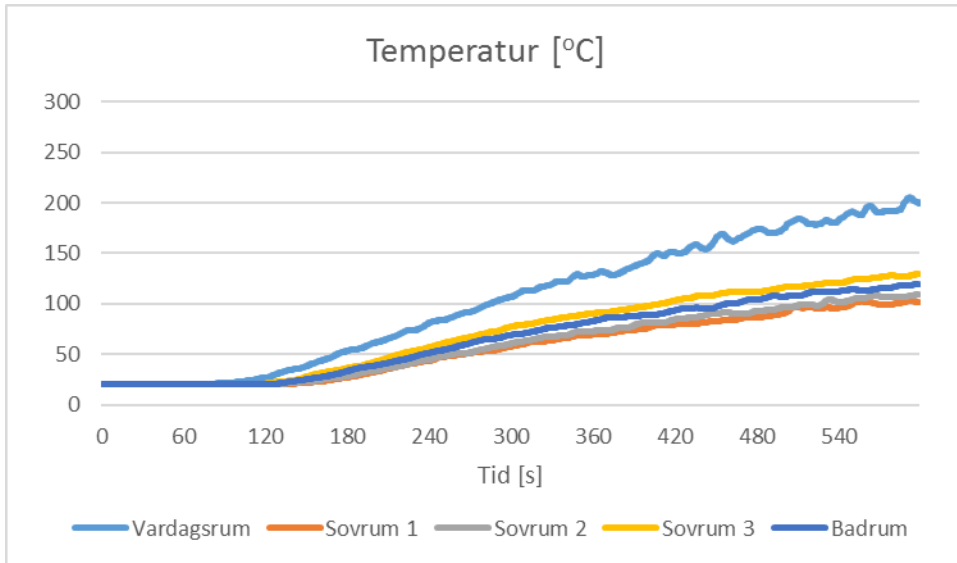
Resultat av tiden till dess att det kritiska gränsvärdet uppnåddes för parametrarna FED (vid gränsvärde 0.3 och 1.0), temperatur och strålning presenteras i Tabell 62. I Figur 119 - Figur 121 presenteras parametrarnas variation sett över tid.

Tabell 62 Tid till kritiskt gränsvärde har uppnåtts i simulering 3, fyra rum och kök.

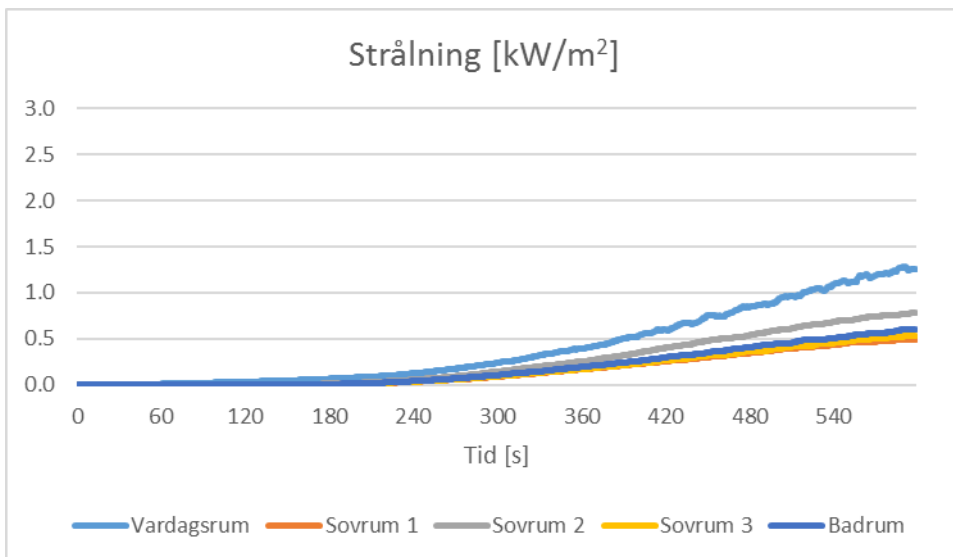
Utrymme	FED = 0.3	FED = 1.0	Temperatur = 120 °C	Strålning = 2,5 kW/m <sup>2</sup>
Vardagsrum	439 s	532 s	331 s	-
Sovrum 1	476 s	568 s	-	-
Sovrum 2	453 s	543 s	-	-
Sovrum 3	477 s	567 s	529 s	-
Badrum	466 s	559 s	-	-



Figur 119 Graf över FED i simulering 3, fyra rum och kök.



Figur 120 Graf över medeltemperatur i simulering 3, fyra rum och kök.



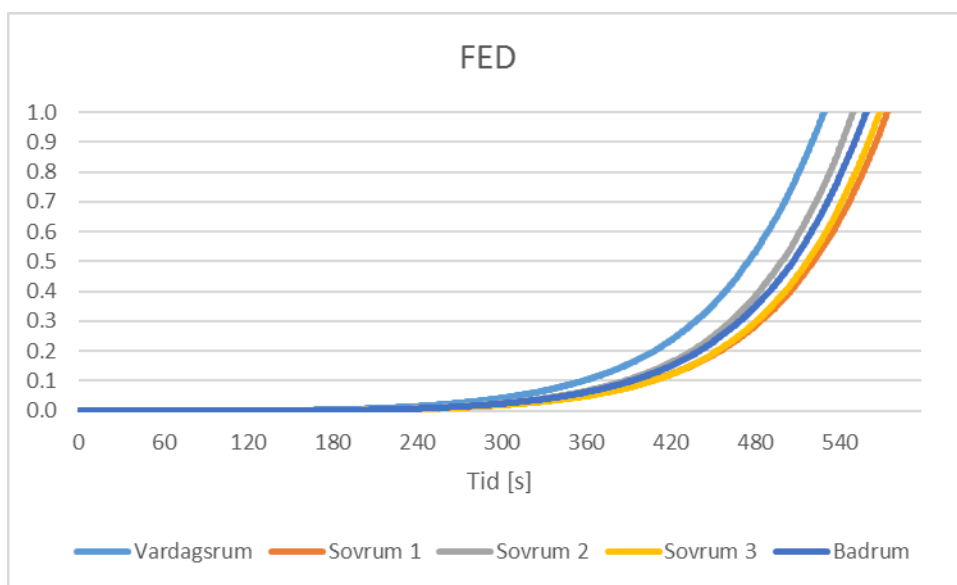
Figur 121 Graf över medelstrålning i simulering 3, fyra rum och kök.

## Simulering 4

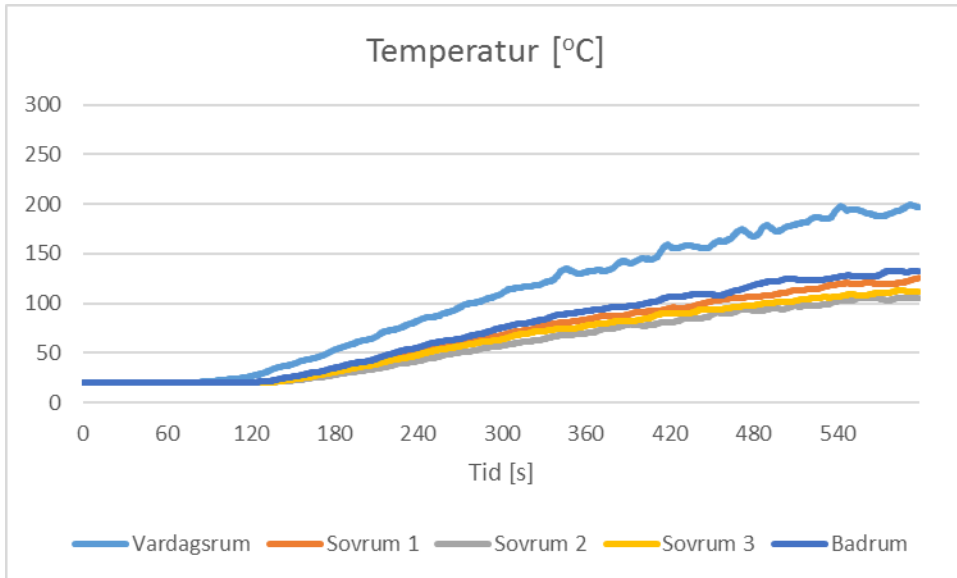
Resultatet från simulering 4 för fyra rum och kök ses nedan. I Tabell 63 presenteras tiden till dess att det kritiska gränsvärdet uppnåddes för parametrarna FED (vid gränsvärde 0.3 och 1.0), temperatur och strålning. Resultat presenteras grafiskt i Figur 122 - Figur 124.

Tabell 63 Tid till kritiskt gränsvärde har uppnåtts i simulering 4, fyra rum och kök.

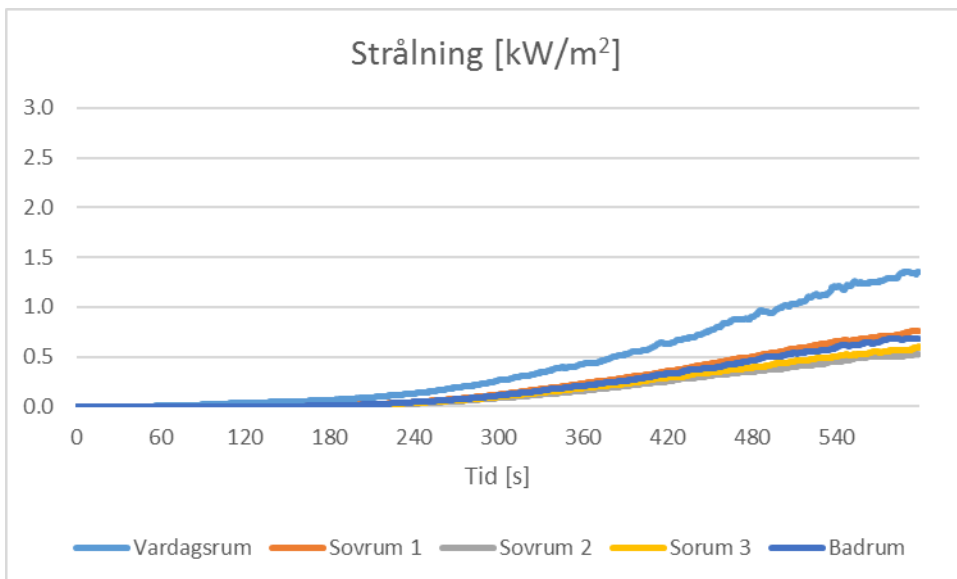
Utrymme	FED = 0.3	FED = 1.0	Temperatur = 120 °C	Strålning = 2,5 kW/m <sup>2</sup>
Vardagsrum	439	530	330 s	Uppnås ej
Sovrum 1	485	575	559	Uppnås ej
Sovrum 2	464	551	Uppnås ej	Uppnås ej
Sovrum 3	482	570	Uppnås ej	Uppnås ej
Badrum	470	560	486	Uppnås ej



Figur 122 Graf över FED i simulering 4, fyra rum och kök.



Figur 123 Graf över medeltemperatur i simulering 4, fyra rum och kök.



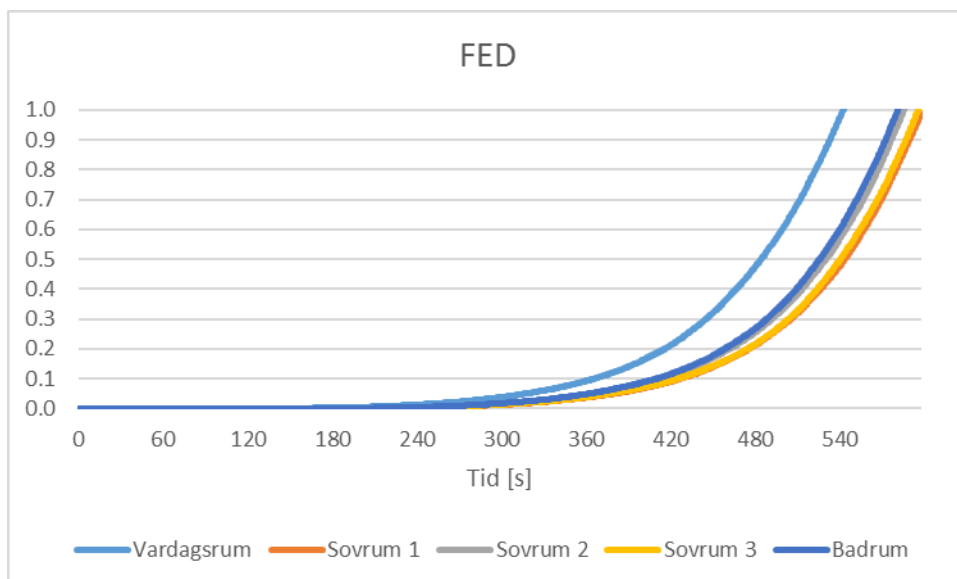
Figur 124 Graf över medelstrålning i simulering 4, fyra rum och kök.

## Simulering 5

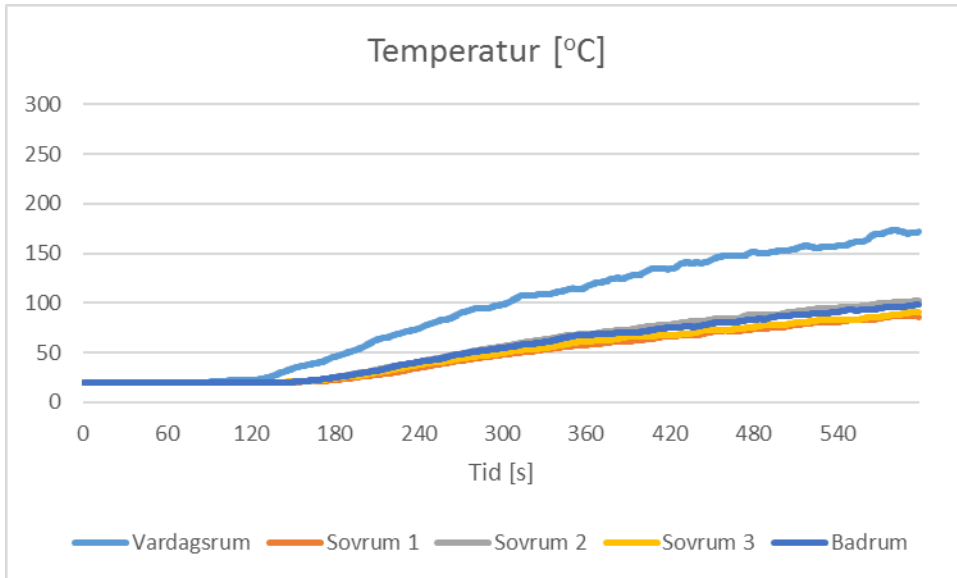
Resultatet från simulering 5 för fyra rum och kök ses nedan. I Tabell 64 presenteras tiden till dess att det kritiska gränsvärdet uppnåddes för parametrarna FED (vid gränsvärde 0.3 och 1.0), temperatur och strålning. Resultat för samma parametrar presenteras grafiskt i Figur 125 - Figur 127.

Tabell 64 Tid till kritiskt gränsvärde har uppnåtts i simulering 5, fyra rum och kök.

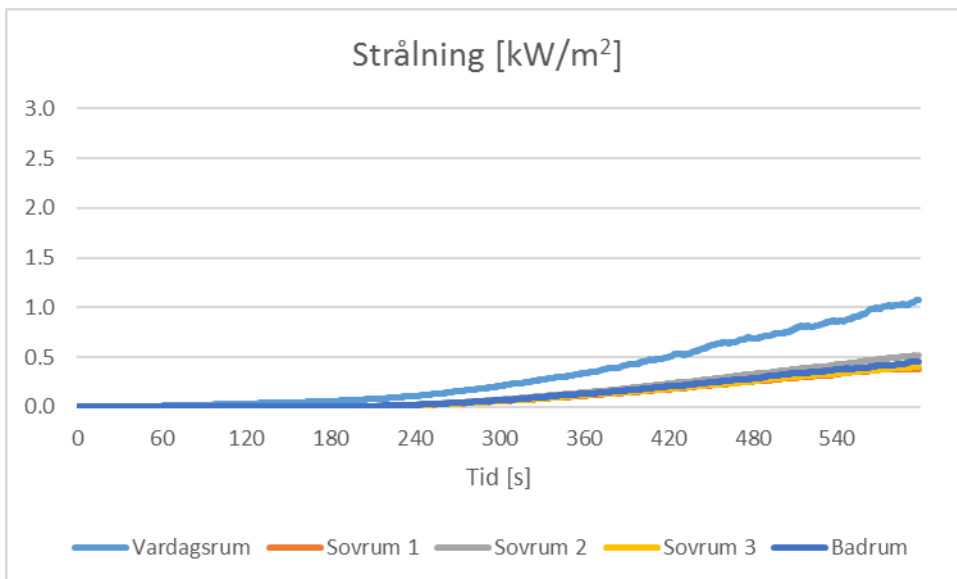
Utrymme	FED = 0.3	FED = 1.0	Temperatur = 120 °C	Strålning = 2,5 kW/m <sup>2</sup>
Vardagsrum 2	447	544	368	Uppnås ej
Sovrum 1	507	Uppnås ej	Uppnås ej	Uppnås ej
Sovrum 2	494	587	Uppnås ej	Uppnås ej
Sovrum 3	505	598	Uppnås ej	Uppnås ej
Badrum	490	583	Uppnås ej	Uppnås ej



Figur 125 Graf över FED i simulering 5, fyra rum och kök.



Figur 126 Graf över medeltemperatur i simulering 5, fyra rum och kök.



Figur 127 Graf över medelstrålning i simulering 5, fyra rum och kök.

## Bilaga 7 – FDS indata

Indatafilerna till FDS presenteras i följande bilaga. Indatafilen för simulering 0 presenteras i sin helhet och följs av de förändringar som gjorts i simuleringar 1-5.

### Två rum och kök

Nedan presenteras indata till de utförda simuleringarna för planlösningen två rum och kök.

#### Simulering 0

```
&HEAD CHID='2ROK0'/
&TIME T_END=900/
&DUMP RENDER_FILE='2ROK0.ge1', COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_RESTART=300.0/

&MESH ID='Fine', IJK=76,76,60, XB=-0.6,3.2,2.6,6.4,-0.2,2.8/
&MESH ID='Coarse1', IJK=82,69,30, XB=3.2,11.4,-0.5,6.4,-0.2,2.8/
&MESH ID='Coarse2', IJK=38,31,30, XB=-0.6,3.2,-0.5,2.6,-0.2,2.8/

&VENT ID='Mesh Vent: MESH [XMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=-0.6,-0.6,2.6,6.4,-0.2,2.8/
&VENT ID='Mesh Vent: MESH [YMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=-0.6,3.2,6.4,6.4,-0.2,2.8/
&VENT ID='Mesh Vent: MESH [ZMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=-0.6,3.2,2.6,6.4,2.8,2.8/
&VENT ID='Mesh Vent: MESH [ZMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=-0.6,3.2,2.6,6.4,-0.2,-0.2/
&VENT ID='Mesh Vent: MESH02 [XMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=11.4,11.4,-0.5,6.4,-0.2,2.8/
&VENT ID='Mesh Vent: MESH02 [YMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=3.2,11.4,6.4,6.4,-0.2,2.8/
&VENT ID='Mesh Vent: MESH02 [YMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=3.2,11.4,-0.5,-0.5,-0.2,2.8/
&VENT ID='Mesh Vent: MESH02 [ZMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=3.2,11.4,-0.5,6.4,2.8,2.8/
&VENT ID='Mesh Vent: MESH02 [ZMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=3.2,11.4,-0.5,6.4,-0.2,-0.2/
&VENT ID='Mesh Vent: MESH01 [XMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=-0.6,-0.6,-0.5,2.6,-0.2,2.8/
&VENT ID='Mesh Vent: MESH01 [YMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=-0.6,3.2,-0.5,-0.5,-0.2,2.8/
&VENT ID='Mesh Vent: MESH01 [ZMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=-0.6,3.2,-0.5,2.6,2.8,2.8/
&VENT ID='Mesh Vent: MESH01 [ZMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=-0.6,3.2,-0.5,2.6,-0.2,-0.2/

---representativ brand 2MW, alfa=0,0066982---
&MISC SUPPRESSION=.FALSE. /

&SPEC ID = 'SOFA', FORMULA = 'C25H42O6N2' /
&SPEC ID = 'BOOKCASE', FORMULA = 'C1H1.7O0.74N0.002' /

&SPEC ID = 'OXYGEN', LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE. /
&SPEC ID = 'NITROGEN', LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE. /
&SPEC ID = 'WATER VAPOR', LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE. /
&SPEC ID = 'CARBON MONOXIDE', LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE. /
&SPEC ID = 'CARBON DIOXIDE', LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE. /
&SPEC ID = 'SOOT', FORMULA='C', LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE. /
&SPEC ID = 'HYDROGEN CYANIDE', LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE. /

&SPEC ID = 'AIR', BACKGROUND=.TRUE.,
SPEC_ID(1) = 'OXYGEN', VOLUME_FRACTION(1)= 1,
SPEC_ID(2) = 'NITROGEN', VOLUME_FRACTION(2)= 3.76 /

&SPEC ID = 'PRODUCTS SOFA',
SPEC_ID(1) = 'WATER VAPOR', VOLUME_FRACTION(1) = 20.96825,
SPEC_ID(2) = 'NITROGEN', VOLUME_FRACTION(2) = 119.514,
SPEC_ID(3) = 'CARBON DIOXIDE', VOLUME_FRACTION(3) = 23.9135,
SPEC_ID(4) = 'CARBON MONOXIDE', VOLUME_FRACTION(4) = 0.261,
SPEC_ID(5) = 'SOOT', VOLUME_FRACTION(5) = 0.762,
SPEC_ID(6) = 'HYDROGEN CYANIDE', VOLUME_FRACTION(6) = 0.0635 /

&SPEC ID = 'PRODUCTS BOOKCASE',
SPEC_ID(1) = 'WATER VAPOR', VOLUME_FRACTION(1) = 34.053155 ,
SPEC_ID(2) = 'NITROGEN', VOLUME_FRACTION(2) = 3.82888848 ,
SPEC_ID(3) = 'CARBON DIOXIDE', VOLUME_FRACTION(3) = 0.9514484 ,
```

SPEC\_ID(4) = 'CARBON MONOXIDE', VOLUME\_FRACTION(4) = 0.02356 ,  
SPEC\_ID(5) = 'SOOT', VOLUME\_FRACTION(5) = 0.02454 ,  
SPEC\_ID(6) = 'HYDROGEN CYANIDE', VOLUME\_FRACTION(6) = 0.0004516 /

&REAC ID = 'PUR'  
FUEL = 'SOFA',  
SPEC\_ID\_NU = 'SOFA','AIR','PRODUCTS SOFA', NU=-1,-31.528125,1,  
HEAT\_OF\_COMBUSTION = 22700., CHECK\_ATOM\_BALANCE=.TRUE. /

&REAC ID = 'WOOD'  
FUEL = 'BOOKCASE',  
SPEC\_ID\_NU = 'BOOKCASE','AIR','PRODUCTS BOOKCASE', NU=-1, -1.0181155 , 1,  
HEAT\_OF\_COMBUSTION = 19600., CHECK\_ATOM\_BALANCE=.TRUE.

&SURF ID='BURNER',  
SPEC\_ID(1) = 'SOFA',  
MASS\_FLUX(1)=0.0156,

SPEC\_ID(2) = 'BOOKCASE',  
MASS\_FLUX(2)=0.0443,

/

----brandens koordinater----

&VENT XB=0.7,2.0,4.0,5.3,0.5,0.5, SURF\_ID='BURNER',  
XYZ=1.35,4.65,0.5, SPREAD\_RATE=0.00146 /

&DEVC ID='HCNVard1', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE', XYZ=1.2,1.85,1.8  
/

&DEVC ID='HCNVard11', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE',  
XYZ=1.2,1.85,2.0 /

&DEVC ID='HCNVard2', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE', XYZ=4.3,1.85,1.8  
/

&DEVC ID='HCNVard22', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE',  
XYZ=4.3,1.85,2.0 /

&DEVC ID='HCNVard3', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE', XYZ=4.3,3.75,1.8  
/

&DEVC ID='HCNVard31', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE',  
XYZ=4.3,3.75,2.0 /

&DEVC ID='HCNVard4', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE', XYZ=5.9,4.65,1.8  
/

&DEVC ID='HCNVard41', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE',  
XYZ=5.9,4.65,2.0 /

&DEVC ID='HCNKök', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE', XYZ=1.2,3.45,1.8 /

&DEVC ID='HCNKök01', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE',  
XYZ=1.2,3.45,2.0 /

&DEVC ID='HCNKLK', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE', XYZ=6.9,5.55,1.8  
/

&DEVC ID='HCNKLK01', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE',  
XYZ=6.9,5.55,2.0 /

&DEVC ID='HCNBad', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE', XYZ=9.6,5.05,1.8 /

&DEVC ID='HCNBad01', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE',  
XYZ=9.6,5.05,2.0 /

&DEVC ID='HCNSov', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE', XYZ=6.9,3.05,1.8 /

&DEVC ID='HCNSov', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE', XYZ=6.9,3.05,2.0 /

&DEVC ID='FEDkök01', QUANTITY='FED', XYZ=1.25,3.4,2.0/

&DEVC ID='FEDvard1', QUANTITY='FED', XYZ=1.25,1.8,1.8/

&DEVC ID='FEDvard11', QUANTITY='FED', XYZ=1.25,1.8,2.0/

&DEVC ID='FEDvard2', QUANTITY='FED', XYZ=4.35,1.8,1.8/

&DEVC ID='FEDvard21', QUANTITY='FED', XYZ=4.35,1.8,2.0/

&DEVC ID='FEDvard3', QUANTITY='FED', XYZ=4.35,3.7,1.8/

&DEVC ID='FEDvard31', QUANTITY='FED', XYZ=4.35,3.7,2.0/

&DEVC ID='FEDvard4', QUANTITY='FED', XYZ=5.95,4.6,1.8/

&DEVC ID='FEDvard41', QUANTITY='FED', XYZ=5.95,4.6,2.0/

&DEVC ID='FEDsovr', QUANTITY='FED', XYZ=6.95,3.0,1.8/

&DEVC ID='FEDsovr01', QUANTITY='FED', XYZ=6.95,3.0,2.0/



&DEVC ID='FEDbadr', QUANTITY='FED', XYZ=9.65,5.0,1.8/  
 &DEVC ID='FEDbadr01', QUANTITY='FED', XYZ=9.65,5.0,2.0/  
 &DEVC ID='FEDkök', QUANTITY='FED', XYZ=1.25,3.4,1.8/  
 &DEVC ID='FEDKlk', QUANTITY='FED', XYZ=6.95,5.5,2.0/  
 &DEVC ID='FEDKlk01', QUANTITY='FED', XYZ=6.95,5.5,1.8/  
 &DEVC ID='TCkök', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.3,3.4,1.8/  
 &DEVC ID='TCvard1', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1.3,1.8,1.8/  
 &DEVC ID='TCvard2', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=4.4,1.8,1.8/  
 &DEVC ID='TCvard3', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=4.4,3.7,1.8/  
 &DEVC ID='TCvard4', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=6.0,4.6,1.8/  
 &DEVC ID='TCsovr', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.0,3.0,1.8/  
 &DEVC ID='TCbad', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=9.7,5.0,1.8/  
 &DEVC ID='TCCLK', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=7.0,5.5,1.8/  
 &DEVC ID='RADvard1', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=1.1,1.8,1.8/  
 &DEVC ID='RADvard11', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=1.1,1.8,2.0/  
 &DEVC ID='RADvard2', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=4.2,1.8,1.8/  
 &DEVC ID='RADvard21', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=4.2,1.8,2.0/  
 &DEVC ID='RADvard3', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=4.2,3.7,1.8/  
 &DEVC ID='RADvard31', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=4.2,3.7,2.0/  
 &DEVC ID='RADvard4', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=6.0,4.6,1.8/  
 &DEVC ID='RADvard41', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=6.0,4.6,2.0/  
 &DEVC ID='RADkök', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=1.1,3.4,1.8/  
 &DEVC ID='RADkök01', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=1.1,3.4,2.0/  
 &DEVC ID='RADsovr', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=6.8,3.0,1.8/  
 &DEVC ID='RADsovr01', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=6.8,3.0,2.0/  
 &DEVC ID='RADbadr', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=9.5,5.0,1.8/  
 &DEVC ID='RADbadr01', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=9.5,5.0,2.0/  
 &DEVC ID='RADKlk', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=6.8,5.5,1.8/  
 &DEVC ID='RADKlk01', QUANTITY='RADIATIVE HEAT FLUX GAS', XYZ=6.8,5.5,2.0/

&MATL ID='CONCRETE',  
 FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',  
 SPECIFIC\_HEAT=1.04,  
 CONDUCTIVITY=1.8,  
 DENSITY=2280.0/

&MATL ID='GYPSUM',  
 FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',  
 SPECIFIC\_HEAT=1.09,  
 CONDUCTIVITY=0.17,  
 DENSITY=930.0/

&SURF ID='Betong',  
 COLOR='GRAY 60',  
 BACKING='VOID',  
 MATL\_ID(1,1)='CONCRETE',  
 MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)=1.0,  
 THICKNESS(1)=0.2/

&SURF ID='Gips',  
 COLOR='WHITE',  
 BACKING='VOID',  
 MATL\_ID(1,1)='GYPSUM',  
 MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)=1.0,  
 THICKNESS(1)=0.2/

&SURF ID='ADIABATIC',  
 COLOR='GRAY 80',  
 ADIABATIC=.TRUE./

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,11.0,6.0,6.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
 &OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,0.0,-0.2,6.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
 &OBST ID='Obstruction', XB=0.0,6.0,-0.2,0.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
 &OBST ID='Obstruction', XB=11.0,11.2,0.8,6.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
 &OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.0,4.0,4.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
 &OBST ID='Obstruction', XB=8.0,8.2,4.2,6.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
 &OBST ID='Obstruction', XB=6.0,6.2,5.0,6.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
 &OBST ID='Obstruction', XB=6.2,8.0,5.0,5.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
 &OBST ID='Obstruction', XB=3.0,4.0,5.0,5.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
 &OBST ID='Obstruction', XB=5.0,6.0,5.0,5.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/

&OBST ID='Obstruction', XB=5.8,6.0,0.0,1.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.0,0.8,1.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=2.8,3.0,3.0,6.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,3.0,2.8,3.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,6.2,1.0,4.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,6.0,-0.2,6.2,-0.25,0.0, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.2,0.8,6.2,-0.25,0.0, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,6.0,-0.2,6.2,2.4,2.65, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.2,0.8,6.2,2.4,2.65, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Upphøjning', XB=0.7,2.0,4.0,5.3,0.0,0.5, SURF\_ID='ADIABATIC'/

&HOLE ID='Hole', XB=0.7,1.5,2.8,3.0,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=6.6,7.4,4.0,4.2,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=6.6,7.4,5.0,5.2,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=8.0,8.2,4.2,5.0,0.0,2.0/

&HOLE ID='Leakagekok', XB=-0.2,0.0,4.0,5.0,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagevard', XB=-0.2,0.0,1.0,2.0,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagesovr', XB=8.0,9.0,0.8,1.0,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagebad', XB=9.0,10.0,6.0,6.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakageentré', XB=4.0,5.0,6.0,6.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagekok2', XB=1.0,2.0,6.0,6.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagevard2', XB=1.0,2.0,-0.2,0.0,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagesovr2', XB=11.0,11.2,2.0,3.0,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagevard3', XB=4.0,5.0,-0.2,0.0,0.0,0.2/  
&HOLE ID='LeakageKLLK', XB=6.5,7.5,6.0,6.2,0.0,0.2/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=1.3/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=4.3/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=7.0/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=1.8/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=4.6/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=1.5/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='CARBON DIOXIDE', PBZ=1.8/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='OXYGEN', PBZ=1.8/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE', PBZ=1.8/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='SOOT', PBZ=1.8/  
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBZ=1.9/  
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBZ=1.5/  
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBZ=0.1/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE', PBZ=2.0/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='OXYGEN', PBZ=2.0/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='CARBON DIOXIDE', PBZ=2.0/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='SOOT', PBZ=2.0/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.0/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.2/  
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBZ=1.0/  
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBZ=1.8/  
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBZ=2.2/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE', PBZ=1.5/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE', PBZ=1.8/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE', PBZ=2.0/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE', PBX=1.3/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE', PBX=1.3/  
&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBZ=1.1/

&TAIL /

## Simulering 1

&TIME T\_END=600/

&SURF ID='BURNER',  
COLOR='RED',  
SPEC\_ID(1)='SOFA',  
MASS\_FLUX(1)=0.01529,

SPEC\_ID(2) = 'BOOKCASE',  
MASS\_FLUX(2)=0.04132,  
/

----brandens koordinater----

&VENT XB=0.8,1.9,4.1,5.2,0.5,0.5, SURF\_ID='BURNER',  
XYZ=1.35,4.65,0.5, SPREAD\_RATE=0.00136 /

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,11.0,6.0,6.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,0.0,-0.2,6.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,6.0,-0.2,0.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=11.0,11.2,0.8,6.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.0,4.0,4.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=8.0,8.2,4.2,6.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,6.2,5.0,6.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.2,8.0,5.0,5.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.0,4.0,5.0,5.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,6.0,5.0,5.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.8,6.0,0.0,1.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.0,0.8,1.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=2.8,3.0,3.0,6.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,3.0,2.8,3.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,6.2,1.0,4.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,6.0,-0.2,6.2,-0.25,0.0, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.2,0.8,6.2,-0.25,0.0, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,6.0,-0.2,6.2,2.4,2.65, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.2,0.8,6.2,2.4,2.65, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Upphöjning', XB=0.8,1.9,4.1,5.2,0.0,0.5, SURF\_ID='ADIABATIC'/

&HOLE ID='Hole', XB=0.7,1.5,2.8,3.0,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=6.6,7.4,4.0,4.2,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=6.6,7.4,5.0,5.2,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=8.0,8.2,4.2,5.0,0.0,2.0/

&HOLE ID='Leakagekok', XB=-0.2,0.0,4.0,5.0,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagevard', XB=-0.2,0.0,1.0,2.0,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagesovr', XB=8.0,9.0,0.8,1.0,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagebad', XB=9.0,10.0,6.0,6.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakageentré', XB=4.0,5.0,6.0,6.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagekok2', XB=1.0,2.0,6.0,6.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagevard2', XB=1.0,2.0,-0.2,0.0,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagesovr2', XB=11.0,11.2,2.0,3.0,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagevard3', XB=4.0,5.0,-0.2,0.0,0.0,0.2/  
&HOLE ID='LeakageKLLK', XB=6.5,7.5,6.0,6.2,0.0,0.2/

## Simulering 2

&SURF ID='BURNER',  
COLOR='RED',  
SPEC\_ID(1) = 'SOFA',  
MASS\_FLUX(1)=0.01529,

SPEC\_ID(2) = 'BOOKCASE',  
MASS\_FLUX(2)=0.04132,  
/

----brandens koordinater----

&VENT XB=0.8,1.9,4.1,5.2,0.5,0.5, SURF\_ID='BURNER',  
XYZ=1.35,4.65,0.5, SPREAD\_RATE=0.00136 /

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,11.0,6.0,6.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,0.0,-0.2,6.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,6.0,-0.2,0.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=11.0,11.2,0.8,6.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.0,4.0,4.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=8.0,8.2,4.2,6.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,6.2,5.0,6.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.2,8.0,5.0,5.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.8,6.0,0.0,1.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.0,0.8,1.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,6.2,1.0,4.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,6.0,-0.2,6.2,-0.25,0.0, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.2,0.8,6.2,-0.25,0.0, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,6.0,-0.2,6.2,2.4,2.65, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.2,0.8,6.2,2.4,2.65, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Upphöjning', XB=0.8,1.9,4.1,5.2,0.0,0.5, SURF\_ID='ADIABATIC'/

&HOLE ID='Hole', XB=6.6,7.4,4.0,4.2,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=6.6,7.4,5.0,5.2,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=8.0,8.2,4.2,5.0,0.0,2.0/

### Simulering 3

&SURF ID='BURNER',  
COLOR='RED',  
SPEC\_ID(1) = 'SOFA',  
MASS\_FLUX(1)=0.01529,

SPEC\_ID(2) = 'BOOKCASE',  
MASS\_FLUX(2)=0.04132,  
/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,11.0,6.0,6.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,0.0,-0.2,6.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,6.0,-0.2,0.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=11.0,11.2,0.8,6.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.0,4.0,4.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=8.0,8.2,4.2,6.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,6.2,5.0,6.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.2,8.0,5.0,5.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.0,4.0,5.0,5.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,6.0,5.0,5.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.8,6.0,0.0,1.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.0,0.8,1.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=2.8,3.0,3.0,6.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,3.0,2.8,3.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,6.2,1.0,4.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,6.0,-0.2,6.2,-0.25,0.0, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.2,0.8,6.2,-0.25,0.0, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,6.0,-0.2,6.2,2.4,2.65, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.2,0.8,6.2,2.4,2.65, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Upphöjning', XB=0.8,1.9,4.1,5.2,0.0,0.5, SURF\_ID='ADIABATIC'/

&HOLE ID='Hole', XB=0.7,1.5,2.8,3.0,0.0,2.2/  
&HOLE ID='Hole', XB=6.6,7.4,4.0,4.2,0.0,2.2/  
&HOLE ID='Hole', XB=6.6,7.4,5.0,5.2,0.0,2.2/  
&HOLE ID='Hole', XB=8.0,8.2,4.2,5.0,0.0,2.2/

## Simulering 4

&SURF ID='BURNER',  
COLOR='RED',  
SPEC\_ID(1) = 'SOFA',  
MASS\_FLUX(1)=0.01529,

SPEC\_ID(2) = 'BOOKCASE',  
MASS\_FLUX(2)=0.04132,

/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,11.0,6.0,6.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,0.0,-0.2,6.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,6.0,-0.2,0.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=11.0,11.2,0.8,6.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.0,4.0,4.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=8.0,8.2,4.2,6.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,6.2,5.0,6.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.2,8.0,5.0,5.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.0,4.0,5.0,5.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,6.0,5.0,5.2,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.8,6.0,0.0,1.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.0,0.8,1.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=2.8,3.0,3.0,6.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,3.0,2.8,3.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,6.2,1.0,4.0,0.0,2.4, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,6.0,-0.2,6.2,-0.25,0.0, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.2,0.8,6.2,-0.25,0.0, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,6.0,-0.2,6.2,2.4,2.65, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.2,0.8,6.2,2.4,2.65, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Upphöjning', XB=0.8,1.9,4.1,5.2,0.0,0.5, SURF\_ID='ADIABATIC'/

&HOLE ID='Hole', XB=0.6,1.6,2.8,3.0,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=6.5,7.5,4.0,4.2,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=6.5,7.5,5.0,5.2,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=8.0,8.2,4.1,5.1,0.0,2.0/

## Simulering 5

&SURF ID='BURNER',  
COLOR='RED',  
SPEC\_ID(1) = 'SOFA',  
MASS\_FLUX(1)=0.01529,

SPEC\_ID(2) = 'BOOKCASE',  
MASS\_FLUX(2)=0.04132,  
/

&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,11.0,6.0,6.2,0.0,2.6, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,0.0,-0.2,6.2,0.0,2.6, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,6.0,-0.2,0.0,0.0,2.6, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=11.0,11.2,0.8,6.2,0.0,2.6, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.0,4.0,4.2,0.0,2.6, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=8.0,8.2,4.2,6.0,0.0,2.6, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,6.2,5.0,6.0,0.0,2.6, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.2,8.0,5.0,5.2,0.0,2.6, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.0,4.0,5.0,5.2,0.0,2.6, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,6.0,5.0,5.2,0.0,2.6, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.8,6.0,0.0,1.0,0.0,2.6, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.0,0.8,1.0,0.0,2.6, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=2.8,3.0,3.0,6.0,0.0,2.6, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,3.0,2.8,3.0,0.0,2.6, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,6.2,1.0,4.0,0.0,2.6, SURF\_ID='Gips'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,6.0,-0.2,6.2,-0.25,0.0, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.2,0.8,6.2,-0.25,0.0, SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=-0.2,6.0,-0.2,6.2,2.6,2.8, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=6.0,11.2,0.8,6.2,2.6,2.8, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='Betong'/  
&OBST ID='Upphöjning', XB=0.8,1.9,4.1,5.2,0.0,0.5, SURF\_ID='ADIABATIC'/

&HOLE ID='Hole', XB=0.7,1.5,2.8,3.0,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=6.6,7.4,4.0,4.2,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=6.6,7.4,5.0,5.2,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=8.0,8.2,4.2,5.0,0.0,2.0/

# Fyra rum och kök

Nedan presenteras indata till utförda simuleringar för planlösningen fyra rum och kök.

## Simulering 0

```
&HEAD CHID='4ROK0'/
&TIME T_END=700.0/
&DUMP RENDER_FILE='4ROK0.ge1', COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_RESTART=300.0/

&MESH ID='MESH', IJK=123,80,30, XB=-0.2,12.1,3.5,11.5,-0.2,2.8/
&MESH ID='MESH01', IJK=112,80,60, XB=3.0,8.6,-0.5,3.5,-0.2,2.8/
&MESH ID='MESH02', IJK=32,40,30, XB=-0.2,3.0,-0.5,3.5,-0.2,2.8/

&ZONE XB=2.5,3.5,3.0,4.0,0.0,2.0, LEAK_AREA=0.0070754/

---representativ brand 2MW, alfa=0,0066982---
&MISC SUPPRESSION=.FALSE. /
&SPEC ID = 'SOFA', FORMULA = 'C25H42O6N2' /
&SPEC ID = 'BOOKCASE', FORMULA = 'C1H1.700.74N0.002' /
&SPEC ID = 'OXYGEN', LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE. /
&SPEC ID = 'NITROGEN', LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE. /
&SPEC ID = 'WATER VAPOR', LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE. /
&SPEC ID = 'CARBON MONOXIDE', LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE. /
&SPEC ID = 'CARBON DIOXIDE', LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE. /
&SPEC ID = 'SOOT', FORMULA='C', LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE. /
&SPEC ID = 'HYDROGEN CYANIDE', LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE. /

&SPEC ID = 'AIR', BACKGROUND=.TRUE.,
SPEC_ID(1) = 'OXYGEN', VOLUME_FRACTION(1)= 1,
SPEC_ID(2) = 'NITROGEN', VOLUME_FRACTION(2)= 3.76 /

&SPEC ID = 'PRODUCTS SOFA',
SPEC_ID(1) = 'WATER VAPOR', VOLUME_FRACTION(1) = 20.96825,
SPEC_ID(2) = 'NITROGEN', VOLUME_FRACTION(2) = 119.514,
SPEC_ID(3) = 'CARBON DIOXIDE', VOLUME_FRACTION(3) = 23.9135,
SPEC_ID(4) = 'CARBON MONOXIDE', VOLUME_FRACTION(4) = 0.261,
SPEC_ID(5) = 'SOOT', VOLUME_FRACTION(5) = 0.762,
SPEC_ID(6) = 'HYDROGEN CYANIDE', VOLUME_FRACTION(6) = 0.0635 /

&SPEC ID = 'PRODUCTS BOOKCASE',
SPEC_ID(1) = 'WATER VAPOR', VOLUME_FRACTION(1) = 0.8497742 ,
SPEC_ID(2) = 'NITROGEN', VOLUME_FRACTION(2) = 3.82888848 ,
SPEC_ID(3) = 'CARBON DIOXIDE', VOLUME_FRACTION(3) = 0.9514484 ,
SPEC_ID(4) = 'CARBON MONOXIDE', VOLUME_FRACTION(4) = 0.02356 ,
SPEC_ID(5) = 'SOOT', VOLUME_FRACTION(5) = 0.02454 ,
SPEC_ID(6) = 'HYDROGEN CYANIDE', VOLUME_FRACTION(6) = 0.0004516 /

&REAC ID = 'PUR'
FUEL = 'SOFA',
SPEC_ID_NU = 'SOFA','AIR','PRODUCTS SOFA', NU=-1,-31.528125,1,
HEAT_OF_COMBUSTION = 22700., CHECK_ATOM_BALANCE=.TRUE. /

&REAC ID = 'WOOD'
FUEL = 'BOOKCASE',
SPEC_ID_NU = 'BOOKCASE','AIR','PRODUCTS BOOKCASE', NU=-1, -1.0181155 , 1,
HEAT_OF_COMBUSTION = 19600., CHECK_ATOM_BALANCE=.TRUE.

&SURF ID='BURNER',
COLOR='RED',
SPEC_ID(1) = 'SOFA',
MASS_FLUX(1)=0.0156,
```



SPEC\_ID(2) = 'BOOKCASE',  
MASS\_FLUX(2)=0.0443,  
/

----brandens koordinater----

&VENT XB=6.1,7.4,1.0,2.3,0.5,0.5, SURF\_ID='BURNER',  
XYZ=6.75,1.65,0.5, SPREAD\_RATE=0.00146 /

&DEVC ID='TCsov1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=1.6,2.2,1.8/  
&DEVC ID='TCkorr', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=4.0,2.4,1.8/  
&DEVC ID='TCkök', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=6.8,1.6,1.8/  
&DEVC ID='TCbad', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=6.9,4.3,1.8/  
&DEVC ID='TCentré', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.2,4.6,1.8/  
&DEVC ID='Tcklk', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=2.2,6.2,1.8/  
&DEVC ID='TCsov2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=1.8,8.9,1.8/  
&DEVC ID='TCvard1', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=4.0,8.4,1.8/  
&DEVC ID='TCvard2', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=6.0,8.4,1.8/  
&DEVC ID='TCsov3', QUANTITY='THERMOCOUPLE', XYZ=10.0,8.4,1.8/  
&DEVC ID='FEDkorr1', QUANTITY='FED', XYZ=4.0,2.5,1.8/  
&DEVC ID='FEDkorr2', QUANTITY='FED', XYZ=4.0,2.5,2.0/  
&DEVC ID='FEDvard11', QUANTITY='FED', XYZ=4.0,8.5,1.8/  
&DEVC ID='FEDvard12', QUANTITY='FED', XYZ=4.0,8.5,2.0/  
&DEVC ID='FEDsov21', QUANTITY='FED', XYZ=1.8,9.0,1.8/  
&DEVC ID='FEDsov31', QUANTITY='FED', XYZ=10.0,8.5,1.8/  
&DEVC ID='FEDbad1', QUANTITY='FED', XYZ=6.9,4.4,1.8/  
&DEVC ID='FEDentré1', QUANTITY='FED', XYZ=2.2,4.7,1.8/  
&DEVC ID='FEDklk1', QUANTITY='FED', XYZ=2.2,6.3,1.8/  
&DEVC ID='FEDsov1', QUANTITY='FED', XYZ=1.6,2.3,1.8/  
&DEVC ID='FEDkök1', QUANTITY='FED', XYZ=6.8,1.7,1.8/  
&DEVC ID='FEDsov22', QUANTITY='FED', XYZ=1.8,9.0,2.0/  
&DEVC ID='FEDsov32', QUANTITY='FED', XYZ=10.0,8.5,2.0/  
&DEVC ID='FEDvard22', QUANTITY='FED', XYZ=6.0,8.5,2.0/  
&DEVC ID='FEDvard21', QUANTITY='FED', XYZ=6.0,8.5,1.8/  
&DEVC ID='FEDbad2', QUANTITY='FED', XYZ=6.9,4.4,2.0/  
&DEVC ID='FEDklk2', QUANTITY='FED', XYZ=2.2,6.3,2.0/  
&DEVC ID='FEDentré2', QUANTITY='FED', XYZ=2.2,4.7,2.0/  
&DEVC ID='FEDkök2', QUANTITY='FED', XYZ=6.8,1.7,2.0/  
&DEVC ID='FEDsov12', QUANTITY='FED', XYZ=1.6,2.3,2.0/

----HCN output----

&DEVC ID='HCNsov1', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE', XYZ=1.6,2.4,1.8  
/  
&DEVC ID='HCNkorr', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE', XYZ=4.0,2.6,1.8  
/  
&DEVC ID='HCNkök', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE', XYZ=6.8,1.8,1.8  
/  
&DEVC ID='HCNbad', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE', XYZ=6.9,4.5,1.8  
/  
&DEVC ID='HCNentré', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE',  
XYZ=2.2,4.8,1.8 /  
&DEVC ID='HCNklk', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE', XYZ=2.2,6.4,1.8  
/  
&DEVC ID='HCNsov2', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE', XYZ=1.8,9.1,1.8  
/  
&DEVC ID='HCNvard1', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE',  
XYZ=4.0,8.6,1.8 /  
&DEVC ID='HCNvard2', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE',  
XYZ=6.0,8.6,1.8 /  
&DEVC ID='HCNsov3', QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='HYDROGEN CYANIDE',  
XYZ=10.0,8.6,1.8 /

&MATL ID='CONCRETE',  
FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',  
SPECIFIC\_HEAT=1.04,  
CONDUCTIVITY=1.8,  
DENSITY=2280.0/  
&MATL ID='GYPSUM',

FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',  
SPECIFIC\_HEAT=1.09,  
CONDUCTIVITY=0.17,  
DENSITY=930.0/

&SURF ID='CONCRETE',  
COLOR='GRAY 60',  
BACKING='VOID',  
LEAK\_PATH=1,0  
MATL\_ID(1,1)='CONCRETE',  
MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)=1.0,  
THICKNESS(1)=0.2/  
&SURF ID='GYPSUM',  
RGB=255.0,255.0,252.0,  
BACKING='VOID',  
MATL\_ID(1,1)='GYPSUM',  
MATL\_MASS\_FRACTION(1,1)=1.0,  
THICKNESS(1)=0.2/  
&SURF ID='ADIABATIC',  
COLOR='GRAY 80',  
ADIABATIC=.TRUE./

&OBST ID='Obstruction', XB=8.2,8.4,5.7,10.7,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,7.0,10.7,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=1.2,3.2,5.5,5.7,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Brand', XB=6.1,7.4,1.0,2.3,0.0,0.5, SURF\_ID='ADIABATIC'/  
&OBST ID='Golv', XB=0.0,11.9,6.8,10.9,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=1.0,8.4,4.3,5.5,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=1.0,11.9,5.5,6.8,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=4.4,8.4,0.0,4.3,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=0.0,4.4,0.0,4.0,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=1.0,4.4,4.0,4.3,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,0.2,7.0,10.7,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,1.2,6.8,7.0,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,11.9,10.7,10.9,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=1.0,1.2,4.3,6.8,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=8.2,8.4,4.3,5.5,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=8.2,11.9,5.5,5.7,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=11.7,11.9,5.7,10.7,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=4.4,8.4,0.0,0.2,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=8.2,8.4,0.2,4.3,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,0.2,0.2,3.8,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,1.2,3.8,4.0,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,4.4,0.0,0.2,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=1.0,1.2,4.0,4.3,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,11.9,6.8,10.9,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE',  
SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=1.0,8.4,4.3,5.5,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=1.0,11.9,5.5,6.8,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=4.4,8.4,0.0,4.3,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=0.0,4.4,0.0,4.0,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=1.0,4.4,4.0,4.3,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=1.2,3.4,6.8,7.0,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,4.3,6.8,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=1.2,3.4,3.8,4.0,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,0.2,3.8,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,4.0,4.3,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,5.2,4.3,5.5,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,8.2,5.5,5.7,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,5.2,0.2,3.2,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,5.2,3.4,4.3,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,8.2,3.2,3.4,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/

&HOLE ID='Hole', XB=3.2,3.4,2.2,3.0,0.0,2.0/

&HOLE ID='Hole', XB=5.0,5.2,2.2,3.0,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=5.0,5.2,4.05,4.85,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=8.2,8.4,9.1,9.9,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=3.2,3.4,8.0,8.8,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=3.2,3.4,4.4,5.2,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=1.8,2.6,5.5,5.7,0.0,2.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=1.5/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=1.8/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='CARBON DIOXIDE', PBZ=1.8/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='OXYGEN', PBZ=1.8/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='SOOT', PBZ=1.8/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE', PBZ=1.8/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.0/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='CARBON DIOXIDE', PBZ=2.0/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='OXYGEN', PBZ=2.0/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='SOOT', PBZ=2.0/  
&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC\_ID='CARBON MONOXIDE', PBZ=2.0/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBZ=2.2/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBX=6.75/  
&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', PBY=1.65/  
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBZ=1.0/  
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBZ=1.8/  
&SLCF QUANTITY='PRESSURE', PBZ=2.2/

&TAIL /

# Simulering 1

```
&TIME T_END=600.0/
&SURF ID='BURNER',
COLOR='RED',
SPEC_ID(1) = 'SOFA',
MASS_FLUX(1)=0.01529,

SPEC_ID(2) = 'BOOKCASE',
MASS_FLUX(2)=0.04132,
/
----brandens koordinater----
&VENT XB=10.35,11.45,8.85,9.95,0.5,0.5, SURF_ID='BURNER',
      XYZ=10.9,9.4,0.5, SPREAD_RATE=0.00136 /
&OBST ID='Köksvägg', XB=9.4,12.4,7.7,7.9,0.0,2.4, SURF_ID='GYPSUM'/
&OBST ID='Köksvägg', XB=9.2,9.4,7.7,10.7,0.0,2.4, SURF_ID='GYPSUM'/
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,7.0,10.7,0.0,2.4, SURF_ID='GYPSUM'/
&OBST ID='Obstruction', XB=1.2,3.2,5.5,5.7,0.0,2.4, SURF_ID='GYPSUM'/
&OBST ID='Obstruction', XB=1.2,3.4,3.8,4.0,0.0,2.4, SURF_ID='GYPSUM'/
&OBST ID='Obstruction', XB=1.2,3.4,6.8,7.0,0.0,2.4, SURF_ID='GYPSUM'/
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,3.5,3.8,0.0,2.4, SURF_ID='GYPSUM'/
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,4.0,6.8,0.0,2.4, SURF_ID='GYPSUM'/
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,0.2,3.5,0.0,2.4, SURF_ID='GYPSUM'/
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,5.2,3.5,5.5,0.0,2.4, SURF_ID='GYPSUM'/
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,8.2,5.5,5.7,0.0,2.4, SURF_ID='GYPSUM'/
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,5.2,0.2,3.2,0.0,2.4, SURF_ID='GYPSUM'/
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,5.2,3.4,3.5,0.0,2.4, SURF_ID='GYPSUM'/
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,8.2,3.2,3.4,0.0,2.4, SURF_ID='GYPSUM'/
&OBST ID='Brand', XB=10.35,11.45,8.85,9.95,0.0,0.5, SURF_ID='ADIABATIC'/
&OBST ID='Golv', XB=0.0,8.4,3.5,4.0,-0.2,0.0, SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Golv', XB=0.0,12.6,6.8,10.9,-0.2,0.0, SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Golv', XB=1.0,8.4,4.0,5.5,-0.2,0.0, SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Golv', XB=1.0,12.6,5.5,6.8,-0.2,0.0, SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Golv', XB=3.0,8.4,0.0,3.5,-0.2,0.0, SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Golv', XB=0.0,3.0,0.0,3.5,-0.2,0.0, SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,0.2,3.5,3.8,0.0,2.4, SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,0.2,7.0,10.7,0.0,2.4, SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,1.2,3.8,4.0,0.0,2.4, SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,1.2,6.8,7.0,0.0,2.4, SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,12.6,10.7,10.9,0.0,2.4, SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Yttervägg', XB=1.0,1.2,4.0,6.8,0.0,2.4, SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Yttervägg', XB=8.2,8.4,3.5,5.5,0.0,2.4, SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Yttervägg', XB=8.2,12.6,5.5,5.7,0.0,2.4, SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Yttervägg', XB=12.4,12.6,5.7,10.7,0.0,2.4, SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Yttervägg', XB=3.0,8.4,0.0,0.2,0.0,2.4, SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Yttervägg', XB=8.2,8.4,0.2,3.5,0.0,2.4, SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,0.2,0.2,3.5,0.0,2.4, SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,3.0,0.0,0.2,0.0,2.4, SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Tak', XB=0.0,8.4,3.5,4.0,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Tak', XB=0.0,12.6,6.8,10.9,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Tak', XB=1.0,8.4,4.0,5.5,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Tak', XB=1.0,12.6,5.5,6.8,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Tak', XB=3.0,8.4,0.0,3.5,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CONCRETE'/
&OBST ID='Tak', XB=0.0,3.0,0.0,3.5,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CONCRETE'/

&HOLE ID='Leakagevard1', XB=4.5,5.5,10.7,10.9,0.0,0.2/
&HOLE ID='Leakagevard2', XB=7.0,8.0,10.7,10.9,0.0,0.2/
&HOLE ID='Leakagesov3', XB=1.2,2.2,10.7,10.9,0.0,0.2/
&HOLE ID='Leakagesov1', XB=1.2,2.2,0.0,0.2,0.0,0.2/
&HOLE ID='Leakagekorr', XB=3.7,4.7,0.0,0.2,0.0,0.2/
&HOLE ID='Leakagesov2', XB=6.0,7.0,0.0,0.2,0.0,0.2/
&HOLE ID='Leakagebad', XB=8.2,8.4,4.0,5.0,0.0,0.2/
&HOLE ID='Leakageentré', XB=1.0,1.2,4.2,5.2,0.0,0.2/
&HOLE ID='Leakagekok1', XB=10.5,11.5,10.7,10.9,0.0,0.2/
&HOLE ID='Leakagekok2', XB=12.4,12.6,8.6,9.6,0.0,0.2/
&HOLE ID='Hole', XB=3.2,3.4,2.2,3.0,0.0,2.0/
```

&HOLE ID='Hole', XB=5.0,5.2,2.2,3.0,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=5.0,5.2,4.05,4.85,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=9.2,9.4,9.1,9.9,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=3.2,3.4,8.0,8.8,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=3.2,3.4,4.4,5.2,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=1.8,2.6,5.5,5.7,0.0,2.0/

## Simulering 2

&SURF ID='BURNER',  
COLOR='RED',  
SPEC\_ID(1) = 'SOFA',  
MASS\_FLUX(1)=0.01529,

SPEC\_ID(2) = 'BOOKCASE',  
MASS\_FLUX(2)=0.04132,

/

&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,7.0,10.7,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=1.2,3.2,5.5,5.7,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=1.2,3.4,3.8,4.0,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=1.2,3.4,6.8,7.0,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,3.5,3.8,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,4.0,6.8,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,0.2,3.5,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,5.2,3.5,5.5,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,8.2,5.5,5.7,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,5.2,0.2,3.2,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,5.2,3.4,3.5,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,8.2,3.2,3.4,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Brand', XB=10.35,11.45,8.85,9.95,0.0,0.5, SURF\_ID='ADIABATIC'/  
&OBST ID='Golv', XB=0.0,8.4,3.5,4.0,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=0.0,12.6,6.8,10.9,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=1.0,8.4,4.0,5.5,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=1.0,12.6,5.5,6.8,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=3.0,8.4,0.0,3.5,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=0.0,3.0,0.0,3.5,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,0.2,3.5,3.8,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,0.2,7.0,10.7,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,1.2,3.8,4.0,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,1.2,6.8,7.0,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,12.6,10.7,10.9,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=1.0,1.2,4.0,6.8,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=8.2,8.4,3.5,5.5,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=8.2,12.6,5.5,5.7,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=12.4,12.6,5.7,10.7,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=3.0,8.4,0.0,2.0,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=8.2,8.4,0.2,3.5,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,0.2,0.2,3.5,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,3.0,0.0,2.0,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=0.0,8.4,3.5,4.0,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=0.0,12.6,6.8,10.9,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=1.0,8.4,4.0,5.5,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=1.0,12.6,5.5,6.8,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=3.0,8.4,0.0,3.5,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=0.0,3.0,0.0,3.5,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/

&HOLE ID='Leakagevard1', XB=4.5,5.5,10.7,10.9,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagevard2', XB=7.0,8.0,10.7,10.9,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagesov3', XB=1.2,2.2,10.7,10.9,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagesov1', XB=1.2,2.2,0.0,2.0,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagekorr', XB=3.7,4.7,0.0,0.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagesov2', XB=6.0,7.0,0.0,0.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagebad', XB=8.2,8.4,4.0,5.0,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakageentré', XB=1.0,1.2,4.2,5.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagekok1', XB=10.5,11.5,10.7,10.9,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagekok2', XB=12.4,12.6,8.6,9.6,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Hole', XB=3.2,3.4,2.2,3.0,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=5.0,5.2,2.2,3.0,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=5.0,5.2,4.05,4.85,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=3.2,3.4,8.0,8.8,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=3.2,3.4,4.4,5.2,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=1.8,2.6,5.5,5.7,0.0,2.0/

### Simulering 3

&SURF ID='BURNER',  
COLOR='RED',  
SPEC\_ID(1) = 'SOFA',  
MASS\_FLUX(1)=0.01529,

SPEC\_ID(2) = 'BOOKCASE',  
MASS\_FLUX(2)=0.04132,  
/

&OBST ID='Köksvägg', XB=9.4,12.4,7.7,7.9,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Köksvägg', XB=9.2,9.4,7.7,10.7,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,7.0,10.7,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=1.2,3.2,5.5,5.7,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=1.2,3.4,3.8,4.0,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=1.2,3.4,6.8,7.0,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,3.5,3.8,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,4.0,6.8,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,0.2,3.5,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,5.2,3.5,5.5,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,8.2,5.5,5.7,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,5.2,0.2,3.2,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,5.2,3.4,3.5,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,8.2,3.2,3.4,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Brand', XB=10.35,11.45,8.85,9.95,0.0,0.5, SURF\_ID='ADIABATIC'/  
&OBST ID='Golv', XB=0.0,8.4,3.5,4.0,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=0.0,12.6,6.8,10.9,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=1.0,8.4,4.0,5.5,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=1.0,12.6,5.5,6.8,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=3.0,8.4,0.0,3.5,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=0.0,3.0,0.0,3.5,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,0.2,3.5,3.8,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,0.2,7.0,10.7,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,1.2,3.8,4.0,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,1.2,6.8,7.0,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,10.7,10.9,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=1.0,1.2,4.0,6.8,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=8.2,8.4,3.5,5.5,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=8.2,12.6,5.5,5.7,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=12.4,12.6,5.7,10.7,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=3.0,8.4,0.0,2.0,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=8.2,8.4,0.2,3.5,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,0.2,0.2,3.5,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,3.0,0.0,0.2,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=0.0,8.4,3.5,4.0,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=0.0,12.6,6.8,10.9,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=1.0,8.4,4.0,5.5,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=1.0,12.6,5.5,6.8,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=3.0,8.4,0.0,3.5,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=0.0,3.0,0.0,3.5,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/

&HOLE ID='Leakagevard1', XB=4.5,5.5,10.7,10.9,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagevard2', XB=7.0,8.0,10.7,10.9,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagesov3', XB=1.2,2.2,10.7,10.9,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagesov1', XB=1.2,2.2,0.0,0.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagekorr', XB=3.7,4.7,0.0,0.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagesov2', XB=6.0,7.0,0.0,0.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagebad', XB=8.2,8.4,4.0,5.0,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakageentré', XB=1.0,1.2,4.2,5.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagekok1', XB=10.5,11.5,10.7,10.9,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagekok2', XB=12.4,12.6,8.6,9.6,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Hole', XB=3.2,3.4,2.2,3.0,0.0,2.2/  
&HOLE ID='Hole', XB=5.0,5.2,2.2,3.0,0.0,2.2/  
&HOLE ID='Hole', XB=5.0,5.2,4.05,4.85,0.0,2.2/  
&HOLE ID='Hole', XB=9.2,9.4,9.1,9.9,0.0,2.2/

&HOLE ID='Hole', XB=3.2,3.4,8.0,8.8,0.0,2.2/  
&HOLE ID='Hole', XB=3.2,3.4,4.4,5.2,0.0,2.2/  
&HOLE ID='Hole', XB=1.8,2.6,5.5,5.7,0.0,2.2//



## Simulering 4

&SURF ID='BURNER',  
COLOR='RED',  
SPEC\_ID(1) = 'SOFA',  
MASS\_FLUX(1)=0.01529,

SPEC\_ID(2) = 'BOOKCASE',  
MASS\_FLUX(2)=0.04132,

/

&OBST ID='Köksvägg', XB=9.4,12.4,7.7,7.9,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Köksvägg', XB=9.2,9.4,7.7,10.7,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,7.0,10.7,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=1.2,3.2,5.5,5.7,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=1.2,3.4,3.8,4.0,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=1.2,3.4,6.8,7.0,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,3.5,3.8,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,4.0,6.8,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,0.2,3.5,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,5.2,3.5,5.5,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,8.2,5.5,5.7,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,5.2,0.2,3.2,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,5.2,3.4,3.5,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,8.2,3.2,3.4,0.0,2.4, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Brand', XB=10.35,11.45,8.85,9.95,0.0,0.5, SURF\_ID='ADIABATIC'/  
&OBST ID='Golv', XB=0.0,8.4,3.5,4.0,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=0.0,12.6,6.8,10.9,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=1.0,8.4,4.0,5.5,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=1.0,12.6,5.5,6.8,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=3.0,8.4,0.0,3.5,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=0.0,3.0,0.0,3.5,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,0.2,3.5,3.8,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,0.2,7.0,10.7,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,1.2,3.8,4.0,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,1.2,6.8,7.0,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,12.6,10.7,10.9,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=1.0,1.2,4.0,6.8,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=8.2,8.4,3.5,5.5,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=8.2,12.6,5.5,5.7,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=12.4,12.6,5.7,10.7,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=3.0,8.4,0.0,0.2,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=8.2,8.4,0.2,3.5,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,0.2,0.2,3.5,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,3.0,0.0,0.2,0.0,2.4, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=0.0,8.4,3.5,4.0,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=0.0,12.6,6.8,10.9,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=1.0,8.4,4.0,5.5,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=1.0,12.6,5.5,6.8,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=3.0,8.4,0.0,3.5,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=0.0,3.0,0.0,3.5,2.4,2.6, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/

&HOLE ID='Leakagevard1', XB=4.5,5.5,10.7,10.9,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagevard2', XB=7.0,8.0,10.7,10.9,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagesov3', XB=1.2,2.2,10.7,10.9,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagesov1', XB=1.2,2.2,0.0,0.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagekorr', XB=3.7,4.7,0.0,0.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagesov2', XB=6.0,7.0,0.0,0.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagebad', XB=8.2,8.4,4.0,5.0,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakageentré', XB=1.0,1.2,4.2,5.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagekok1', XB=10.5,11.5,10.7,10.9,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagekok2', XB=12.4,12.6,8.6,9.6,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Hole', XB=3.2,3.4,2.2,3.2,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=5.0,5.2,2.2,3.2,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=5.0,5.2,4.05,5.05,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=9.2,9.4,9.1,10.1,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=3.2,3.4,8.0,9.0,0.0,2.0/

&HOLE ID='Hole', XB=3.2,3.4,4.4,5.4,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=1.8,2.8,5.5,5.7,0.0,2.0/

## Simulering 5

&SURF ID='BURNER',  
COLOR='RED',  
SPEC\_ID(1) = 'SOFA',  
MASS\_FLUX(1)=0.01529,

SPEC\_ID(2) = 'BOOKCASE',  
MASS\_FLUX(2)=0.04132,

/

&OBST ID='Köksvägg', XB=9.4,12.4,7.7,7.9,0.0,2.6, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Köksvägg', XB=9.2,9.4,7.7,10.7,0.0,2.6, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,7.0,10.7,0.0,2.6, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=1.2,3.2,5.5,5.7,0.0,2.6, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=1.2,3.4,3.8,4.0,0.0,2.6, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=1.2,3.4,6.8,7.0,0.0,2.6, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,3.5,3.8,0.0,2.6, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,4.0,6.8,0.0,2.6, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=3.2,3.4,0.2,3.5,0.0,2.6, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,5.2,3.5,5.5,0.0,2.6, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,8.2,5.5,5.7,0.0,2.6, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,5.2,0.2,3.2,0.0,2.6, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,5.2,3.4,3.5,0.0,2.6, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Obstruction', XB=5.0,8.2,3.2,3.4,0.0,2.6, SURF\_ID='GYPSUM'/  
&OBST ID='Brand', XB=10.35,11.45,8.85,9.95,0.0,0.5, SURF\_ID='ADIABATIC'/  
&OBST ID='Golv', XB=0.0,8.4,3.5,4.0,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=0.0,12.6,6.8,10.9,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=1.0,8.4,4.0,5.5,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=1.0,12.6,5.5,6.8,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=3.0,8.4,0.0,3.5,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Golv', XB=0.0,3.0,0.0,3.5,-0.2,0.0, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,0.2,3.5,3.8,0.0,2.6, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,0.2,7.0,10.7,0.0,2.6, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,1.2,3.8,4.0,0.0,2.6, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,1.2,6.8,7.0,0.0,2.6, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,12.6,10.7,10.9,0.0,2.6, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=1.0,1.2,4.0,6.8,0.0,2.6, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=8.2,8.4,3.5,5.5,0.0,2.6, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=8.2,12.6,5.5,5.7,0.0,2.6, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=12.4,12.6,5.7,10.7,0.0,2.6, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=3.0,8.4,0.0,0.2,0.0,2.6, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=8.2,8.4,0.2,3.5,0.0,2.6, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,0.2,0.2,3.5,0.0,2.6, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Yttervägg', XB=0.0,3.0,0.0,0.2,0.0,2.6, SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=0.0,8.4,3.5,4.0,2.6,2.8, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=0.0,12.6,6.8,10.9,2.6,2.8, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=1.0,8.4,4.0,5.5,2.6,2.8, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=1.0,12.6,5.5,6.8,2.6,2.8, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=3.0,8.4,0.0,3.5,2.6,2.8, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/  
&OBST ID='Tak', XB=0.0,3.0,0.0,3.5,2.6,2.8, COLOR='INVISIBLE', SURF\_ID='CONCRETE'/

&HOLE ID='Leakagevard1', XB=4.5,5.5,10.7,10.9,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagevard2', XB=7.0,8.0,10.7,10.9,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagesov3', XB=1.2,2.2,10.7,10.9,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagesov1', XB=1.2,2.2,0.0,0.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagekorr', XB=3.7,4.7,0.0,0.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagesov2', XB=6.0,7.0,0.0,0.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagebad', XB=8.2,8.4,4.0,5.0,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakageentré', XB=1.0,1.2,4.2,5.2,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagekok1', XB=10.5,11.5,10.7,10.9,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Leakagekok2', XB=12.4,12.6,8.6,9.6,0.0,0.2/  
&HOLE ID='Hole', XB=3.2,3.4,2.2,3.0,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=5.0,5.2,2.2,3.0,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=5.0,5.2,4.05,4.85,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=9.2,9.4,9.1,9.9,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=3.2,3.4,8.0,8.8,0.0,2.0/

&HOLE ID='Hole', XB=3.2,3.4,4.4,5.2,0.0,2.0/  
&HOLE ID='Hole', XB=1.8,2.6,5.5,5.7,0.0,2.0/