

Steunpunt Welzijn, Volksgezondheid en Gezin

**Analyse van experimenten en numerieke simulaties van
brandproeven voor de ontwikkeling van een beoordelingskader
voor brandveiligheid in zorggebouwen**

Andrea Lucherini
Bart Merci



Steunpunt Welzijn, Volksgezondheid en Gezin
 Minderbroedersstraat 8 – B-3000 Leuven
 Tel 0032 16 37 34 32
 E-mail: swvg@kuleuven.be
 Website: <http://www.steunpuntwvg.be>



Publicatie nr. 2021/13
 SWVG-Rapport 61
 Steunpunt Welzijn, Volksgezondheid en Gezin

Titel rapport: Analyse van experimenten en numerieke simulaties van brandproeven voor de ontwikkeling van een beoordelingskader voor brandveiligheid in zorggebouwen

Promotor: Bart Merci
 Onderzoeker: Andrea Lucherini

Universiteit Gent – Vakgroep Bouwkundige Constructies en Bouwmaterialen

Dit rapport kwam tot stand met de steun van de Vlaamse Overheid. In deze tekst komen onderzoeksresultaten van de auteur(s) naar voor en niet die van de Vlaamse Overheid. De Vlaamse Overheid kan niet aansprakelijk gesteld worden voor het gebruik dat kan worden gemaakt van de meegedeelde gegevens.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt zonder uitdrukkelijk te verwijzen naar de bron.

No material may be made public without an explicit reference to the source.

Het consortium SWVG

<i>Deelnemende instellingen - Dagelijks bestuur</i>	
KU Leuven	
· LUCAS, Centrum voor zorgonderzoek en consultancy	Prof. dr. Chantal Van Audenhove
· Instituut voor Sociaal Recht	Prof. dr. Anja Declercq
· HIVA - Onderzoeksinstituut voor Arbeid en Samenleving	Prof. dr. Johan Put
· Leuvens Instituut voor Gezondheidsbeleid	Prof. dr. Tine Van Regenmortel
· Faculteit Economie en Bedrijfswetenschappen	Prof. dr. Erik Schokkaert
UGent	
· Vakgroep Marketing, Innovatie en Organisatie	Prof. dr. Paul Gemmel
· Vakgroep Publieke Governance, Management & Financiën	Prof. dr. Joris Voets
· Vakgroep Volksgezondheid en Eerstelijnszorg	Prof. dr. An De Sutter
Vrije Universiteit Brussel	
· Faculteit Psychologie en Educatiewetenschappen	Prof. dr. Dominique Verté
Universiteit Antwerpen	
· CRESC, UAntwerpen	Prof. dr. Peter Raeymaeckers
<i>Partnerinstellingen</i>	
Universiteit Hasselt	
· Centrum voor Statistiek	
Thomas More Hogeschool	
· Opleiding Toegepaste Psychologie	Dr. Peter De Graef
Arteveldhogeschool	
· Dienst onderzoek en dienstverlening	
Hogeschool Gent	
· Faculteit Mens en Welzijn	
UC Leuven-Limburg	
· Groep Gezondheid en Welzijn	
<i>Coördinatie en secretariaat</i>	
Coördinator SWVG Administratieve ondersteuning	Dr. Kathleen De Cuyper Manuela Schröder Lut Van Hoof

Rapport 61

Oktober 2021

Analyse van experimenten en numerieke simulaties van brandproeven voor de ontwikkeling van een beoordelingskader voor brandveiligheid in zorggebouwen

Onderzoeker: Andrea Lucherini¹

Promotor: Bart Merci¹

¹ Universiteit Gent – Vakgroep Bouwkundige Constructies en Bouwmaterialen

Samenvatting

Moderne infrastructuurconcepten in de zorg hebben vaak een grote graad van ‘openheid’. Dit heeft ingrijpende gevolgen op gebied van brandveiligheid, zowel op gebied van de mogelijke ontwikkeling van brand, als op het vlak van evacuatie. In deze optiek wordt binnen het Steunpunt Welzijn, Volksgezondheid en Gezin onderzocht hoe actieve brandbeveiliging (rookextractie en/of automatisch blussysteem) rookverspreiding kan beperken, met het oog op het verzekeren van de veiligheid van kwetsbare personen. Dit laat de ontwikkeling van een beoordelingskader toe voor de toepassing van alternatieve brandveiligheidsmaatregelen, op basis van betrouwbare input.

Concreet wordt een antwoord geformuleerd op de volgende onderzoeksvragen:

- O1. Wat is het gewenste veiligheidsniveau in zorggebouwen voor verschillende gebruiksgroepen?*
- O2. Wat is een set van representatieve settings als basis voor de structuur van een beoordelingskader?*
- O3. Wat kan geleerd worden van de resultaten van brandproeven op ware grootte?*
- O4. Welke aanvullende computersimulaties moeten worden uitgevoerd om het beoordelingskader te vervolledigen?*
- O5. Wat kan geleerd worden van de resultaten van de bijkomende computersimulaties?*
- O6. Met welke combinaties van brandveiligheidsmaatregelen kan een vooropgesteld veiligheidsniveau gerealiseerd worden voor de set van representatieve cases?*

De studie steunt voornamelijk op grondige analyses van een groot aantal uitgevoerde numerieke simulaties (CFD: Computational Fluid Dynamics), rond het gecombineerd gebruik van actieve brandbeveiliging in de context van zorggebouwen, voor zorgvuldig gekozen representatieve brandscenario's en configuraties. De studie maakt ook gebruik van eerder uitgevoerde VIPA-studies.

Het resultaat van de studie is een technisch-wetenschappelijke onderbouwing die uitmondt in een voorstel tot beoordelingskader voor brandveiligheid in zorggebouwen, in het bijzonder wanneer er actieve brandbeveiliging aanwezig is om rookverspreiding te beperken. Deze onderbouwing is

gebaseerd op de interpretatie en analyse van CFD-berekeningen, die gevalideerd zijn met behulp van gegevens van brandproeven.

Voor diverse settings is nagegaan met welke combinaties van brandveiligheidsmaatregelen en evacuatiestrategieën een gewenst veiligheidsniveau kan bereikt worden, rekening houdend met de specifieke zorgcontext (i.h.b. zelfredzaamheid en kwetsbaarheid van de bewoners en beschikbaarheid van verzorgend personeel).

Dit leidt tot aanbevelingen die door de technische commissie brandveiligheid (TCB) van het departement Welzijn, Volksgezondheid en Gezin (WVG) kunnen worden gebruikt bij de evaluatie van alternatieve voorstellen in afwijkingsdossiers.

De belangrijkste conclusies en aanbevelingen zijn:

O1. Wat is het gewenste veiligheidsniveau in zorggebouwen voor verschillende gebruiksgroepen?

De criteria van het veiligheidsniveau werden in functie van de twee evacuatiestrategieën bepaald:

- Onmiddellijke horizontale evacuatie uit de kamer (via de evacuatiewegen): Al dan niet met behulp van het aanwezige personeel worden de bewoners uit hun kamer geëvacueerd naar een veilige locatie.
- ‘Defend in place’ (de bewoner blijft in de kamer): De bewoners blijven in hun kamer (die afgesloten is) en wachten op het personeel en/of de brandweer die de evacuatie op een later tijdstip uitvoeren. Er wordt dus verondersteld dat de bewoners in hun kamer blijven totdat een evacuatie door een ‘rookvrije’ evacuatieweg mogelijk is.

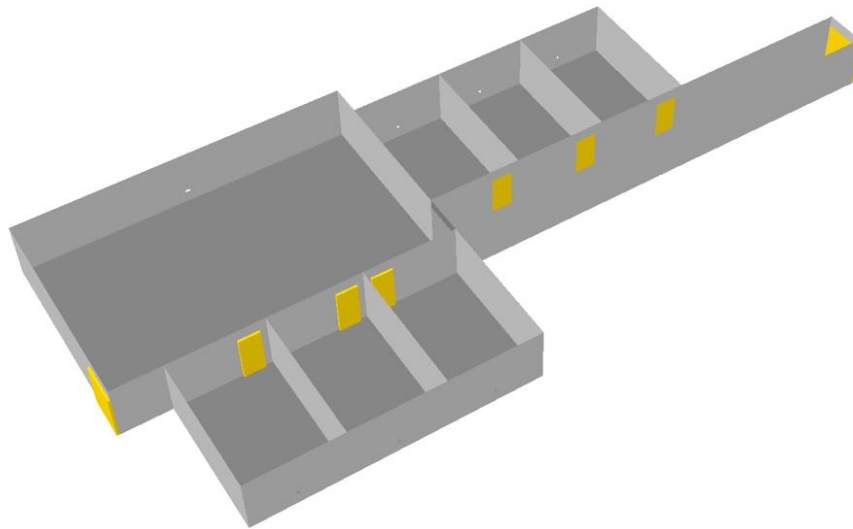
Het vermijden van elke blootstelling aan rook wordt als een te streng criterium ervaren. Blootstelling aan rook dient wel zo veel mogelijk vermeden te worden, m.a.w., een ‘beperkte blootstelling’ aan rook kan worden toegestaan, te definiëren als volgt:

- De beperkte blootstelling is enkel van toepassing op zichtbare rook.
- Fysiek contact van het hoofd met de rook is niet toegestaan. Een rookvrije hoogte van minimaal 2.1 m wordt daarom vastgelegd.

Een ‘rookvrije evacuatieweg’ wordt gedefinieerd als een evacuatieweg met maximaal dergelijke ‘beperkte blootstelling’ tijdens de evacuatie.

O2. Wat is een set van representatieve settings als basis voor de structuur van een beoordelingskader?

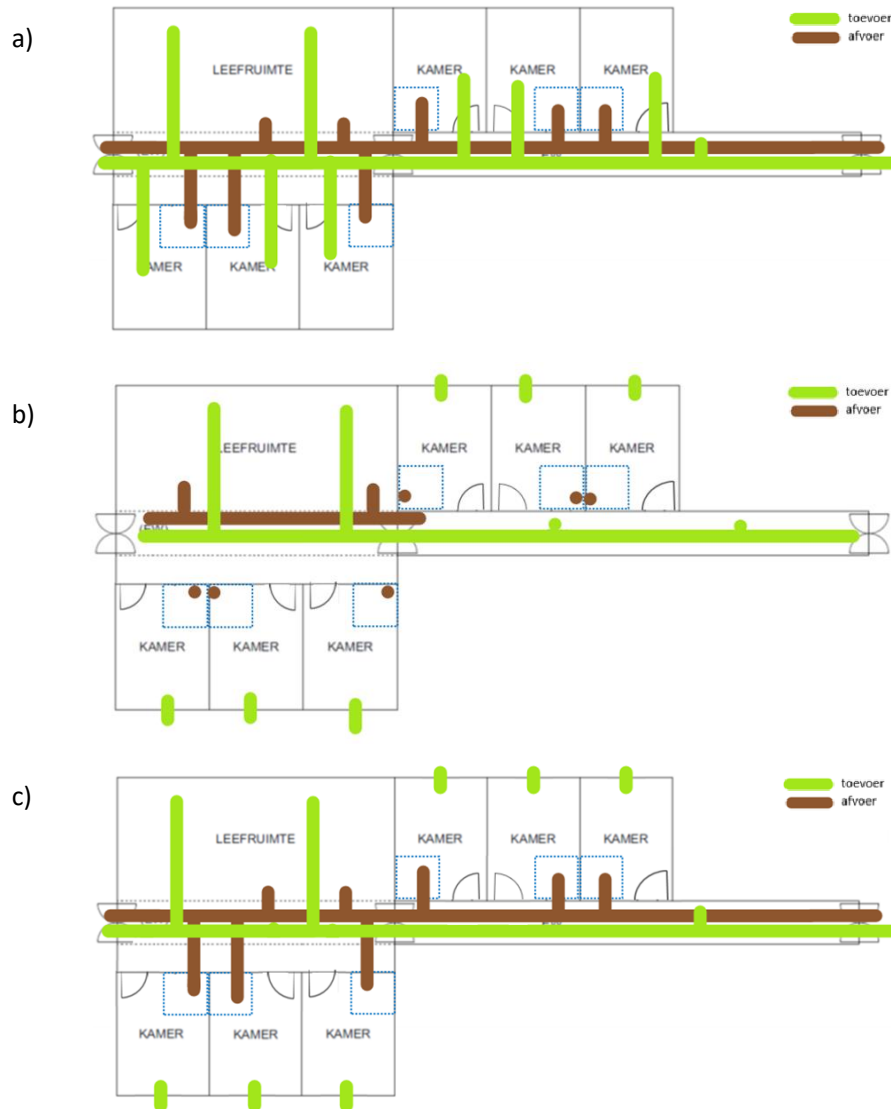
Scenario’s werden gedefinieerd om kwalitatief de invloed van verschillende factoren te bestuderen d.m.v. CFD-berekeningen voor een configuratie, bestaande uit een gemeenschappelijke ruimte van ongeveer 130 m², 3 kamers die hier rechtstreeks op uitgeven met enkele deuren, een evacuatiegang en 3 kamers die hier rechtstreeks op uitgeven met enkele deuren. Elke kamer heeft dezelfde oppervlakte (6 m x 4 m) en de plafondhoogte is 2.5 m. Aan het einde van de gang, en aan 1 zijde van de gemeenschappelijke ruimte, is er een dubbele deur. Deze generieke configuratie werd als representatief beschouwd voor het doel van de studie.



De CFD-berekeningen verschaffen inzicht in de impact van de volgende aspecten:

- Het openen van deuren,
- Openingen/lek in kamerwanden,
- Lek rond deuren,
- Plafondhoogte,
- Grondoppervlakte van de gemeenschappelijke ruimte,
- Brandscenario,
- RWA-systeem (met een constant volumedebiet van 10 luchtverversingen per uur).

Bovendien werden verschillende configuraties van ventilatiesystemen bestudeerd. Voor deze configuraties werd het effect bestudeerd van de afmetingen van de kanalen. Er werd ook bestudeerd wat het effect is op rookverspreiding wanneer de ventilatoren worden afgeschakeld.

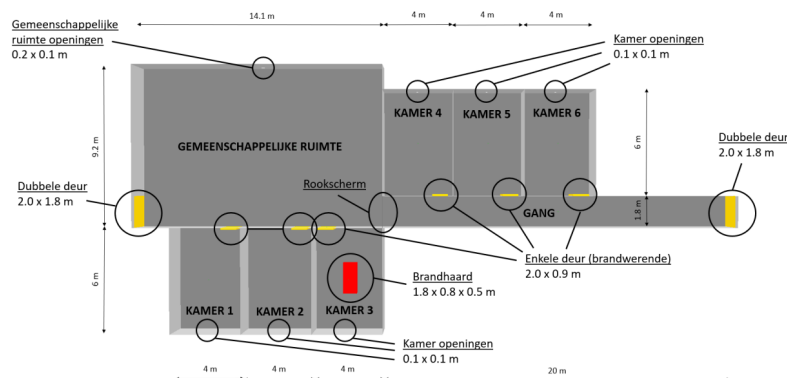


O3: Wat kan geleerd worden van de resultaten van brandproeven op ware grootte?

De analyses van de brandproeven zoals voorgesteld in (1) werden verrijkt met behulp van CFD (Computational Fluid Dynamics). De meetresultaten van de brandproeven werden gebruikt ter validatie van de CFD-berekeningen, terwijl de resultaten van de CFD-berekeningen bijkomende informatie opleverden om de meetgegevens van de brandproeven te interpreteren. Er werd geconcludeerd dat, mits aangepaste instellingen, een goede overeenkomst wordt bereikt van de resultaten van de CFD-berekeningen met de meetresultaten van (1). Deze goede overeenkomst laat toe om met vertrouwen de resultaten van de bijkomende CFD-simulaties (zie O4) als kwalitatief betrouwbaar te analyseren (O5), ter ondersteuning van de ontwikkeling van een beoordelingskader (O6).

O4: Welke aanvullende computersimulaties moeten worden uitgevoerd om het beoordelingskader te vervolledigen?

Uitgebreide besprekingen met de stuurgroep hebben geleid tot een matrix van scenario's voor onderstaande configuratie.



Onderzochte parameter	Positie brandhaard	Deuren	Opening in de kamers	Lekopeningen van de deuren	Plafondhoogte	Oppervlakte van de GR	Brandscenario	Rook-Extractie-debiet	Ventilatiesysteem		Paragraaf in Hoofdstuk 6
									Configuratie	Tijdstip sluiten kleppen	
Openen van deuren	Kamer 3	Dicht	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.1
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	
	Kamer 3	Open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	
Opening in de kamers	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.2
	Kamer 3	30 s open	0.25 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	
Lekopeningen van de deuren	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.3
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Bovenaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	
Plafondhoogte	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.4
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	-	-	
Oppervlakte van de GR	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.5
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	250m ²	Zetel	-	-	-	
Brandscenario	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.6
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Fast at ²	-	-	-	
Rookextractie	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.7
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	1.0m ³ /s	-	-	
Ventilatiesysteem	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	1	-	4.8
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	2	-	
	Kamer 6	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	3	-	
	GR	Dicht	0.25 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	1	-	
	Kamer 3	30 s open	0.25 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	1	-	
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	1	120 s	
	GR	Dicht	0.02 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	1	120 s	

O5: Wat kan geleerd worden van de resultaten van de bijkomende computersimulaties?

Kwalitatieve analyse van de aanvullende CFD-berekeningen laat toe om het volgende te concluderen:

- Het is belangrijk dat de deuren van de kamers gesloten blijven. Wanneer er twee gesloten deuren zijn tussen de ruimte van de brandhaard en de beschouwde ruimte, mag de beschouwde ruimte redelijkerwijs als veilig worden beschouwd zo lang het vermogen van de brandhaard en de drukverschillen de hier in de CFD-berekeningen opgelegde en bekomen waarden niet overschrijden.
- Het vermijden van overdruk in de ruimte met de brandhaard, is een mogelijke manier om rookverspreiding naar de andere ruimten te voorkomen, mits dit gecombineerd wordt met een rookwerende scheiding. Het vermijden van overdruk kan bewerkstelligd worden door middel van een voldoende grote ventilatie-opening (minstens 0.25 m² voor een gemeenschappelijke ruimte, minstens 0.06 m² voor een kamer) wanneer overdruk (door bv. wind) aldaar wordt vermeden. Hoewel dit niet werd gesimuleerd, kan, onder meer op basis van de bevindingen in (2) en (3), redelijkerwijs worden aangenomen dat ook een functionerend automatisch blussysteem in de ruimte met de brandhaard tot een voldoende beperking van de drukopbouw zal leiden in de ruimte met de brandhaard (en in bepaalde omstandigheden zelfs tot een

onderdruk) door beperking van de HRR, zodat ook dit een mogelijke manier is om rookverspreiding naar de gemeenschappelijke ruimte en andere kamers te vermijden, mits dit gecombineerd wordt met een rookwerende scheiding. Een beperking van de drukopbouw of het creëren van een onderdruk in de ruimte met de brandhaard kan ook worden bewerkstelligd d.m.v. rookextractie in de ruimte met de brandhaard.

- De precieze hoogte van het plafond heeft, zo lang er geen hoogteverschillen zijn en zo lang de hoogte beperkt blijft tot een hoogte die kan worden verwacht in een eenlagige bouweenheid, geen noemenswaardige invloed op de rookverspreiding.
- De oppervlakte van de gemeenschappelijke ruimte heeft geen significante invloed op de rookverspreiding in geval van brand in een kamer. *[Impliciet kan meer algemeen de oppervlakte van de gemeenschappelijke ruimte wel een invloed hebben op vlak van brandveiligheid, omdat een grotere oppervlakte meer, en andere, activiteiten toelaat. Dit kan aanleiding geven tot een groter brandvermogen in geval van brand in de gemeenschappelijke ruimte. Dit aspect is evenwel niet opgenomen in deze studie.]*
- Wanneer de brand ondergeventileerd is (hetgeen waarschijnlijk is bij gesloten deur en beperkte ventilatie-opening in geval van brand in een kamer), hangt de rookverspreiding niet sterk af van de precieze brandbelasting en het precieze brandverloop in de kamer. *[Opmerking: voor een brand in de gemeenschappelijke ruimte zal het aanzienlijk langer duren tot de brand ondergeventileerd raakt. Hoe groter het volume van de gemeenschappelijke ruimte en hoe groter de ventilatie-openingen, hoe langer dit zal duren. Mogelijks blijft de brand zelfs brandstofgecontroleerd. Zo lang de brand brandstofgecontroleerd blijft, zullen de HRR, drukopbouw en rookverspreiding afhangen van de aanwezige brandbelasting en eventueel aanwezige actieve brandbeveiligingsmaatregelen.]*
- Rookextractie met een extractiedebiet van de grootteorde van 10 luchtverversingen per uur uit de gemeenschappelijke ruimte, heeft een gunstig effect op de rookverspreiding in geval van brand in een kamer die met een gesloten deur op de gemeenschappelijke ruimte aansluit, maar kan niet verhinderen dat rook zich verspreidt naar de gemeenschappelijke ruimte en een eventuele gang die niet door een gesloten deur wordt afgescheiden van de gemeenschappelijke ruimte.
- Het afscherpende effect van gesloten deuren (die rookverspreiding kunnen tegengaan) kan teniet worden gedaan door ventilatiekanalen, wanneer kamers hierdoor in verbinding staan met de ruimte met de brandhaard. Dergelijke rookverspreiding kan worden vermeden door de rookverspreiding doorheen de kanalen te blokkeren met brandkleppen, of door maatregelen te nemen die een overdruk verhinderen in de ruimte met de brandhaard.
- Er valt geen rookverspreiding te vrezen naar de kamers via de ventilatiekanalen wanneer die een onafhankelijke toevoer en afvoer hebben voor ventilatie (i.e., enkel verticale kanalen, al dan niet gecombineerd met toevoer via ramen) en mits de brandkleppen op de compartimentsgrenzen worden gesloten bij detectie van brand.
- Het gevaar voor rookverspreiding vanuit de ruimte met de brandhaard naar andere ruimten doorheen een extractiekanaal, is veel kleiner dan door een toevoerkanaal (mits de druk in de kamer met de brandhaard niet te hoog oploopt).
- Het sluiten van enkel de brandkleppen op de compartimentsgrenzen, heeft geen significante impact op de rookverspreiding in het compartiment zelf. Het afscherpende effect van gesloten deuren (die rookverspreiding kunnen tegengaan) kan teniet worden gedaan door ventilatiekanalen, wanneer kamers hierdoor in verbinding staan met de ruimte met de brandhaard. Dergelijke rookverspreiding kan worden vermeden door de rookverspreiding doorheen de kanalen te blokkeren met brandkleppen, of door maatregelen te nemen die een overdruk verhinderen in de ruimte met de brandhaard.

06. Met welke combinaties van brandveiligheidsmaatregelen kan een vooropgesteld veiligheidsniveau gerealiseerd worden voor de set van representatieve cases

Op basis van aannames voor de scenario's (zie hieronder), zijn de volgende overzichtstabellen tot stand gekomen voor combinaties van brandveiligheidsmaatregelen, teneinde het vooropgestelde veiligheidsniveau te bekomen:

DEFEND IN PLACE

OPTIE	BRANDVEILIGHEIDSMATREGEL			EISEN VOOR DEUREN		
	AB	RO	OPEN	K-GR	K-EW	GR-EW
AB	GR			BRD	BD	
	TOT			RD		
AB-RO	GR	GR		BD	BD	
	TOT	TOT				
RO		GR		BD	BD	BD
		TOT		BD	BD	BD
OPEN			GR	BRD	BD	BD

ONMIDDELLIJKE EVACUATIE (NIET-ZELFREDZAME PERSONEN)

OPTIE	BRANDVEILIGHEIDSMATREGEL					EISEN VOOR DEUREN		
	AB	RO	OPEN	RS	UIT+	K-GR	K-EW	GR-EW
AB	GR				K-GR	BRD	BRD	RD
	TOT				K-GR	RD	RD	RD
AB-RO	GR	GR			K-GR	BRD	BRD	
	TOT	TOT			K-GR			
RO		GR			K-GR	BRD	BRD	BRD
		TOT			K-GR	BD	BD	BD
OPEN			GR		K-GR	BRD	BRD	BRD
BS				GR		BRD	BRD	BRD

Opmerkingen:

- Voor optie BS hangt een goed ontwerp sterk af van de configuratie (geometrie van het gebouw; positie van brandscherm(en) en het extractiesysteem (extractiedebiet, alsook posities van afzuigpunten en toevoerpunten). Voor de configuratie uit studie (1) (zie ook Figuur 6 van het rapport) wordt dit als valide beschouwd. Voor andere configuraties moet de goede werking worden aangetoond (bv. door CFD-simulaties of warme rookproeven).

- Combinaties van maatregelen zijn mogelijk. Bv. kan RO-TOT worden gecombineerd met BS, en in dat geval vervalt de eis 'UIT+' in K-GR (o.w.v. de aanwezigheid van BS), alsook de eis van rookwerendheid van de deuren (o.w.v. de aanwezigheid van RO-TOT).
- Bij 'OPEN' moet er worden over gewaakt dat de opening niet in overdruk kan staan (bv. ten gevolge van wind). Dit is niet altijd eenvoudig. Een technische oplossing is bijvoorbeeld minstens twee openingen te voorzien (met elk een oppervlakte van minstens 0.25 m²) in twee tegenoverstaande wanden en op het moment van de brand te controleren bij welke opening er geen overdruk is.

Legende:

AB	Automatisch blussysteem (residentiële sprinklernorm of gelijkwaardig)
RO	Rookbeheersingssysteem om een onderdruk te creëren
OPEN	Een opening (met een oppervlakte van minstens 0.25 m ²) aanbrengen in de gemeenschappelijke ruimte
UIT+	Bijkomende uitgang (de kamer wordt voorzien van een bijkomende volwaardige uitgang die niet uitgeeft op de gemeenschappelijke ruimte)
BS	Brandscherm (creëren van een rookvrije evacuatiweg in combinatie met een rookbeheersingssysteem)
BRD	Brand- en rookwerende deur
BD	Brandwerende deur
RD	Rookwerende deur
TOT	Totaal van gemeenschappelijke ruimte en de kamers
GR	Gemeenschappelijke ruimte
EW	Evacuatiweg
K-GR	Kamer uitgevend op de gemeenschappelijke ruimte
K-EW	Kamer uitgevend op de evacuatiweg
GR-EW	Deur tussen de gemeenschappelijke ruimte en de evacuatiweg

De volgende eisen worden geformuleerd voor kleppen in eventueel aanwezige ventilatiekanalen:

- Indien de eis voor de deur enkel een brandwerende eis is (BD), dan mag een klep van het type A (klep die sluit op basis van temperatuur) toegepast worden, behalve wanneer de klep zich op een compartimentsgrens bevindt.
- Indien de eis voor de deur van het betreffende compartiment minstens een rookwerende eis is (RD of BRD), dan dient een klep van het type B (klep die sluit op basis van branddetectie) toegepast te worden.

De aannames voor de scenario's, op basis waarvan bovenstaande tabellen zijn ontwikkeld, zijn als volgt:

- De ruimte met de brandhaard ('brandruimte') bestrijkt 1 bouwlaag. Duplexen of atriumconfiguraties worden dus niet beschouwd.
- De brand ontstaat in de gemeenschappelijke ruimte of in een kamer.
- Elke deur wordt verondersteld bij brand zelfsluitend te zijn. Dit kunnen deuren zijn die sluiten d.m.v. een automatisch ontgrendelingsmechanisme, of deuren uitgerust met deursluiters met vrijloop. Het eerste type wordt eerder toegepast bij deuren tussen verschillende ruimtes die in de meeste gevallen open zijn, terwijl het andere type vooral gebruikt wordt bij de deuren van de kamers. Tijdens de volledige brandduur wordt verondersteld dat deze deur gesloten is, met uitzondering van kortstondig openen van de deur (bv. om een kamer

of een compartiment te verlaten, zie volgend puntje). Eventuele rookverspreiding hierdoor wordt verwaarloosd bij de bespreking van de combinaties van brandveiligheidsmaatregelen.

- Enkel tijdens de evacuatie worden de deuren ter plaatse van de compartimentsgrens verondersteld kortstondig open te zijn.
- Het vermogen van de brand neemt niet uitzonderlijk snel toe. Er wordt verondersteld dat de brandlast dusdanig is dat de brand zich ontwikkelt als een α^2 -curve met 'medium' groei. Dit komt overeen met een gelijkmatige horizontale branduitbreiding, waarbij na 5 minuten een vermogen van 1 MW wordt bereikt. Er wordt bovendien verondersteld dat de brandhaard in geen geval groter wordt dan 1.5 MW. Hiertoe moeten de nodige maatregelen worden genomen. Dit kan op verschillende manieren [enkele voorbeelden zijn: de beperking van de brandlast; de aanwezigheid van een goed ontworpen automatisch blussysteem; het creëren van een situatie van ondergeventileerde brand (bv. brand in een kamer met gesloten deuren en ramen); het gebruik van meubilair met dusdanig verbeterd brandgedrag dat het brandvermogen voldoende traag toeneemt].
- Enkel de rookverspreiding tussen de verschillende ruimtes via de deuren en de ventilatiekanalen wordt beschouwd. Er wordt verondersteld dat elke andere rookverspreiding (bv. via doorvoeringen zoals stopcontacten) verwaarloosbaar is, in de veronderstelling dat deze voldoende kwaliteitsvol uitgevoerd zijn.
- In geval van 'Defend in Place' (DIP) dient de evacuatieweg rookvrij gemaakt te kunnen worden tijdens de interventie van de brandweer.
- Het ventilatiesysteem wordt uitgeschakeld bij sturing door branddetectie (los van de eventuele toepassing in het kader van rookbeheersing). Dit gebeurt ten laatste 60 seconden na detectie.
- Er wordt geen rekening gehouden met de mogelijke invloed van wind.
- Er wordt geen rekening gehouden met de mogelijke invloed van een schoorsteeneffect (dat aanwezig zal zijn in geval van meerdere bouwlagen, bv. in een trappenhuis).
- Het personeel is opgeleid om te kunnen assisteren in het geval van evacuatie en is voorbereid op eventuele brandsituaties.
- De zorgvoorziening is voorzien van een algemeen automatisch detectiesysteem.
- Brandwerende kleppen type B (klep die sluit op basis van branddetectie) worden toegepast in de ventilatiesystemen op de compartimentsgrenzen, terwijl brandwerende kleppen type A (klep die sluit op basis van temperatuur) mogen worden toegepast in de ventilatiesystemen op scheidingen tussen ruimten binnen de compartimentsgrenzen.

Belangrijke opmerking: de opties zoals beschreven in de overzichtstabellen zijn gebaseerd op deze aannames. Het is mogelijk dat deze aannames niet helemaal zullen kloppen in de realiteit, bv. een deur zou gedurende langere tijd open kunnen zijn. De kans dat aan bepaalde aannames niet voldaan is in de realiteit neemt over het algemeen toe naarmate een ruimte groter wordt (bv. het risico neemt toe op een grotere brandhaard) en naarmate het aantal kamers toeneemt (bv. als er meer deuren zijn, kan er meer fout lopen met het gesloten zijn van deze deuren). Bepaalde opties voor combinaties van brandbeveiligingsmaatregelen kunnen hier gevoeliger aan zijn.

Inhoud

Dankwoord	23
Hoofdstuk 1 Invoering	25
1 Situering en probleemstelling	25
2 Globale onderzoeksdoelstelling	26
3 Onderzoeksvragen	27
4 Onderzoeksmethodologie	28
5 Samenstelling en werking van de stuurgroep	28
6 Structuur van het rapport	29
Hoofdstuk 2 Bepaling van het gewenste veiligheidsniveau in zorggebouwen voor verschillende gebruikersgroepen	31
1 Inleiding	31
2 Veiligheidsniveau in ouderenvoorzieningen (3)	31
2.1 Gebruikersgroep	31
2.2 Evacuatiestrategie	32
2.3 Criteria ter bepaling van het veiligheidsniveau	32
3 Veiligheidsniveau in zorggebouwen voor verschillende gebruikersgroepen	33
3.1 Gebruikersgroep	33
3.2 Evacuatiestrategie	36
3.3 Criteria ter bepaling van het veiligheidsniveau	36
4 Conclusies	37
Hoofdstuk 3 Bepaling van representatieve configuraties voor de opmaak van een beoordelingskader voor de brandveiligheid in zorggebouwen	39
1 Inleiding	39
2 Bepaling van de representatieve configuraties	39
2.1 Configuraties gebaseerd op (1)	39
2.2 Aanvullende configuraties gebaseerd op (1) en (3)	43
3 Conclusies	45
Hoofdstuk 4 Analyse van brandproeven op ware grootte	47
1 Inleiding	47
2 Fire Dynamics Simulator	47
3 Basisveronderstellingen	47
4 Beschrijving van de opstelling	48
5 Analyse van de brandproeven van (1)	55
5.1 Test 2: Brandproef met constante rookextractie en een brandscherp tot op 1 m hoogte van de vloer	55

5.2	Test 1: brandproef zonder ventilatie	63
5.3	Test 3: Brandproef met constante rookextractie en een brandscherm tot op de vloer	69
5.4	Test 4: Brandproef met regelbare rookextractie in functie van de druk	76
5.5	Test 5: Brandproef met rookextractie en sprinklers	77
6	Conclusies	77
Hoofdstuk 5 Beschrijving van aanvullende computersimulaties		79
1	Inleiding	79
2	Beschrijving van de opstelling	79
3	Overzichtsmatrix van de aanvullende computersimulaties	82
4	Conclusies	84
Hoofdstuk 6 Analyse van de aanvullende computersimulaties		85
1	Inleiding	85
2	Beschrijving van de algemene instellingen van de computersimulaties	85
3	Beschrijving van de beperkingen van de computersimulaties	85
4	Analyse van de computersimulaties	86
4.1	Impact van het openen van de deuren	90
4.2	Impact van de grootte van ventilatie-openingen in de kamer met de brandhaard	93
4.3	Impact van de positie van de lekopeningen in de deuren	96
4.4	Impact van de plafondhoogte	99
4.5	Impact van de oppervlakte van de gemeenschappelijke ruimte	102
4.6	Impact van het brandscenario	105
4.7	Impact van rookextractie	108
4.8	Impact van het ventilatiesysteem	111
4.9	Impact van wind	138
5	Conclusies	139
Hoofdstuk 7 Inschatting van het brandveiligheidsniveau door combinaties van brandveiligheidsmaatregelen		141
1	Inleiding	141
2	Analyse	141
2.1	Vooropgestelde veiligheidsniveau	141
2.2	Representatieve configuratie van een zorgvoorziening (basisconfiguratie)	142
2.3	Aannames voor de scenario's	143
2.4	Inzetbaarheid van brandveiligheidsmaatregelen	145
2.5	Combinaties van brandveiligheidsmaatregelen voor verschillende scenario's	147
2.6	Overzichtstabellen voor de combinaties van brandveiligheidsmaatregelen	156
3	Conclusies	160

Hoofdstuk 8	Conclusies en aanbevelingen	165
Bronnen		175
Bijlagen		177

Lijst Figuren

Figuur 1	Illustratie van de evolutie in infrastructuurconcepten richting meer 'openheid'.	25
Figuur 2	Type gebruiker: Overzicht (7).	34
Figuur 3	Type gebruiker: Zelfredzaam of niet-zelfredzaam (7).	35
Figuur 4	Type gebruiker: Wakend of slapend (7).	35
Figuur 5	Configuratie voor de CFD-simulaties gebaseerd op (1).	40
Figuur 6	Schematische voorstellingen van de verschillende configuraties van de brandproeven in (1).	41
Figuur 7	Brandvermogen (HHR) zoals opgemeten in de calorimetrieproeven voor VIPA1 (3) en VIPA2 (1), vergeleken met typische αt^2 -branden.	42
Figuur 8	Configuratie voor de bijkomende CFD-berekeningen.	43
Figuur 9	Verschiede configuraties om de impact van ventilatiesystemen te onderzoeken.	45
Figuur 10	Afmetingen en configuratie van het compartiment van de brandproef (SmokeView weergave).	48
Figuur 11	Rekendomein en rekenroosters.	49
Figuur 12	Experimenteel opgemeten HHR onder de calorimetriekap, HRRPUA, opgelegde en opgemeten HRR in de CFD-berekeningen als functie van de tijd.	51
Figuur 13	Detail van de modellering van het RWA-systeem (Test 2, Test 3 en Test 4).	53
Figuur 14	Detail van de modellering van het brandscherp (gedeeltelijk neergelaten in de figuur, zoals in Test 2 in (1)).	53
Figuur 15	Test 2 – Opstelling van de FDS Simulatie (m.b.v. SmokeView).	55
Figuur 16	Test 2 – Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte: TTC1 (links) en TTC2 (rechts).	56
Figuur 17	Test 2 - Verloop van de temperaturen in Kamer 2 (links) en Kamer 3 (rechts).	56
Figuur 18	Test 2 - Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte (links), alsook in de gangen en Kamer 1 (rechts).	57
Figuur 19	Test 2 – Verloop van de temperaturen in de extractie-openingen en het extractiekanaal.	57

Figuur 20	Test 2 - Evolutie van de relatieve druk in de gemeenschappelijke ruimte.	58
Figuur 21	Test 2 – Rookverspreiding op verschillende ogenblikken (SmokeView weergave).	59
Figuur 22	Test 2 – Temperatuursverdeling in een horizontaal vlak op hoogte 2.1 m op verschillende ogenblikken (SmokeView weergave).	60
Figuur 23	Vergelijking tussen de HRR zoals opgemeten onder de kap (VIPA1 en VIPA2), zoals initieel opgelegd in de CFD-simulaties (HRR Couch) en zoals ingeschat op basis van de energiebalans op basis van de temperatuursmetingen in het extractiekanaal ('New HRR'). De curven 'FDS measured' tonen aan dat de opgelegde HRR bevestigd wordt in de CFD-simulaties.	61
Figuur 24	Test 2 (verbeterde resultaten) – Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte: TTC1 (links) en TTC2 (rechts).	62
Figuur 25	Test 2 (verbeterde resultaten) - Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte (links), alsook in de gangen en Kamer 1 (rechts).	62
Figuur 26	Test 2 (verbeterde resultaten) – Verloop van de temperaturen in de extractie-openingen en het extractiekanaal.	62
Figuur 27	Test 2 (verbeterde resultaten) - Evolutie van de relatieve druk in de gemeenschappelijke ruimte.	63
Figuur 28	Test 1 – Opstelling van de FDS Simulatie (m.b.v. SmokeView).	63
Figuur 29	Test 1 – Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte: TTC1 (links) en TTC2 (rechts).	64
Figuur 30	Test 1 - Verloop van de temperaturen in Kamer 2 (links) en Kamer 3 (rechts).	64
Figuur 31	Test 1 - Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte (links), alsook in de gangen en Kamer 1 (rechts).	65
Figuur 32	Test 1 - Evolutie van de relatieve druk in de gemeenschappelijke ruimte.	65
Figuur 33	Test 1 - Rookverspreiding op verschillende ogenblikken (SmokeView weergave). Lekopeningen zijn bovenaan de deuren aangebracht.	66
Figuur 34	Test 1 - Temperatuursverdeling in een horizontaal vlak op hoogte 2.1 m op verschillende ogenblikken (SmokeView weergave).	67
Figuur 35	Test 1 (verbeterde resultaten) - Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte: TTC1 (links) en TTC2 (rechts).	68
Figuur 36	Test 1 (verbeterde resultaten) - Verloop van de temperaturen in Kamer 2 (links) en Kamer 3 (rechts).	68
Figuur 37	Test 1 (verbeterde resultaten) - Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte (links), alsook in de gangen en Kamer 1 (rechts).	68
Figuur 38	Test 1 (verbeterde resultaten) - Evolutie van de relatieve druk in de gemeenschappelijke ruimte.	69
Figuur 39	Test 3 – Opstelling van de FDS Simulatie (m.b.v. SmokeView).	70

Figuur 40	Test 3 - Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte: TTC1 (links) en TTC2 (rechts).	71
Figuur 41	Test 3 - Verloop van de temperaturen in Kamer 2 (links) en Kamer 3 (rechts).	71
Figuur 42	Test 3 - Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte (links), alsook in de gangen en Kamer 1 (rechts).	71
Figuur 43	Test 3 – Verloop van de temperaturen in de extractie-openingen en het extractiekanaal.	72
Figuur 44	Test 3 - Evolutie van de relatieve druk in de gemeenschappelijke ruimte.	72
Figuur 45	Test 3 - Rookverspreiding op verschillende ogenblikken (SmokeView weergave).	73
Figuur 46	Test 3 - Temperatuursverdeling in een horizontaal vlak op hoogte 2.1 m op verschillende ogenblikken (SmokeView weergave).	74
Figuur 47	Test 3 (verbeterde resultaten) – Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte: TTC1 (links) en TTC2 (rechts)..	75
Figuur 48	Test 3 (verbeterde resultaten) - Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte (links), alsook in de gangen en Kamer 1 (rechts).	75
Figuur 49	Test 3 (verbeterde resultaten) – Verloop van de temperaturen in de extractie-openingen en het extractiekanaal.	75
Figuur 50	Test 3 - (verbeterde resultaten) - Evolutie van de relatieve druk in de gemeenschappelijke ruimte.	76
Figuur 51	Bovenaanzicht van de configuratie voor de aanvullende CFD-berekeningen (SmokeView weergave). Afmetingen komen overeen met de basisconfiguratie.	79
Figuur 52	Rekendomein en rekenroosters.	80
Figuur 53	HHR-evoluties in de oorspronkelijke en aanvullende CFD-berekeningen.	81
Figuur 54	Basisopstelling voor de bijkomende CFD-simulaties (SmokeView weergave).	86
Figuur 55	Bijkomende CFD-simulaties (basisgeval) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).	87
Figuur 56	Bijkomende CFD-simulaties (basisgeval) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	88
Figuur 57	Bijkomende CFD-simulaties (basisgeval) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	89
Figuur 58	Bijkomende CFD-simulaties (impact van openen van de deuren) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).	90
Figuur 59	Bijkomende CFD-simulaties (impact van openen van de deuren) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	91

Figuur 60	Bijkomende CFD-simulaties (impact van openen van de deuren) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	92
Figuur 61	Bijkomende CFD-simulaties (impact van de grootte van ventilatie-openingen in de kamer met de brandhaard) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).	93
Figuur 62	Bijkomende CFD-simulaties (impact van de grootte van ventilatie-openingen in de kamer met de brandhaard) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	94
Figuur 63	Bijkomende CFD-simulaties (impact van de grootte van ventilatie-openingen in de kamer met de brandhaard) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	95
Figuur 64	Bijkomende CFD-simulaties (impact van de positie van de lekopeningen in de deuren) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).	96
Figuur 65	Bijkomende CFD-simulaties (impact van de positie van de lekopeningen in de deuren) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	97
Figuur 66	Bijkomende CFD-simulaties (impact van de positie van de lekopeningen in de deuren) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	98
Figuur 67	Bijkomende CFD-simulaties (impact van de plafondhoogte) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).	99
Figuur 68	Bijkomende CFD-simulaties (impact van de plafondhoogte) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	100
Figuur 69	Bijkomende CFD-simulaties (impact van de positie van de lekopeningen in de deuren) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	101
Figuur 70	Bijkomende CFD-simulaties (impact van de oppervlakte van de gemeenschappelijke ruimte) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).	102
Figuur 71	Bijkomende CFD-simulaties (impact van de oppervlakte van de gemeenschappelijke ruimte) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	103
Figuur 72	Bijkomende CFD-simulaties (impact van de oppervlakte van de gemeenschappelijke ruimte) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	104

Figuur 73	Bijkomende CFD-simulaties (impact van het brandscenario) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).	105
Figuur 74	Bijkomende CFD-simulaties (impact van het brandscenario) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	106
Figuur 75	Bijkomende CFD-simulaties (impact van het brandscenario) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	107
Figuur 76	Bijkomende CFD-simulaties (impact van rookextractie) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).	108
Figuur 77	Bijkomende CFD-simulaties (impact van rookextractie) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	109
Figuur 78	Bijkomende CFD-simulaties (impact van rookextractie) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	110
Figuur 79	Ventilatiesysteem: configuratie 1 (SmokeView weergave).	112
Figuur 80	Ventilatiesysteem: configuratie 2 (SmokeView weergave).	112
Figuur 81	Ventilatiesysteem: configuratie 3 (SmokeView weergave).	113
Figuur 82	Ventilatiesysteem: configuratie 1 (SmokeView weergave) met instrumentatie voor temperaturen.	114
Figuur 83	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).	115
Figuur 84	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	116
Figuur 85	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	117
Figuur 86	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 2 met brand in een kamer) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).	118
Figuur 87	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 2 met brand in een kamer) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	119
Figuur 88	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 2 met brand in een kamer) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	120

Figuur 89	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 3 met brand in een kamer) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).	121
Figuur 90	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 3 met brand in een kamer) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	122
Figuur 91	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 3 met brand in een kamer) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	123
Figuur 92	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer met een opening van 0.25 m ²) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).	124
Figuur 93	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer met een opening van 0.25 m ²) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	125
Figuur 94	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer met een opening van 0.25 m ²) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	126
Figuur 95	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in de gemeenschappelijke ruimte met een opening van 0.25 m ²) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de ruimte met de brandhaard (rechts).	127
Figuur 96	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in de gemeenschappelijke ruimte met een opening van 0.25 m ²) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	128
Figuur 97	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in de gemeenschappelijke ruimte met een opening van 0.25 m ²) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	129
Figuur 98	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer, brandkleppen gesloten na 120 s op compartimentsgrenzen) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).	130
Figuur 99	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer, brandkleppen gesloten na 120 s op compartimentsgrenzen) – Temperaturen in de toevoer- (links) en afvoerkanalen (rechts). Naamgeving: zie Figuur 82.	131
Figuur 100	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer, brandkleppen gesloten na 120 s op compartimentsgrenzen) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	132
Figuur 101	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer, brandkleppen gesloten na 120 s op compartimentsgrenzen) – Temperatuur in	

	een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	133
Figuur 102	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in de gemeenschappelijke ruimte, brandkleppen gesloten na 120 s op compartimentsgrenzen) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).	134
Figuur 103	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in de gemeenschappelijke ruimte, brandkleppen gesloten na 120 s op compartimentsgrenzen) – Temperaturen in de toevoer- (links) en afvoerkanalen (rechts). Naamgeving: zie Figuur 82.	135
Figuur 104	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in de gemeenschappelijke ruimte, brandkleppen gesloten na 120 s op compartimentsgrenzen) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	136
Figuur 105	Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in de gemeenschappelijke ruimte, brandkleppen gesloten na 120 s op compartimentsgrenzen) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).	137
Figuur 106	Schematische weergave van de basisconfiguratie van een zorgvoorziening	142
Figuur 107	Verschillende configuraties van dagventilatiesystemen.	143

Lijst Tabellen

Tabel 1	Samenstelling van de stuurgroep.	29
Tabel 2	Overzichtsmatrix van de bijkomende CFD-berekeningen. [GR: gemeenschappelijke ruimte.]	83

Dankwoord

De auteurs danken Mevr. Beusen (VIPA) voor het nemen van het initiatief voor de studie, hetgeen tot het huidige rapport heeft geleid.

De auteurs danken ir. Pieter Poppe (WFRGent NV) voor de uitstekende ondersteuning bij het beantwoorden van onderzoeksvragen O1 en O6.

De auteurs danken alle leden van de stuurgroep voor hun constructieve ingesteldheid en hun betrokkenheid bij de totstandkoming van dit rapport.

De auteurs danken prof. Tarek Beji (Universiteit Gent) voor zijn waardevolle ondersteuning bij de CFD-simulaties in deze studie.

Hoofdstuk 1

Invoering

1 Situering en probleemstelling

De huidige visie op zorg heeft geleid tot nieuwe infrastructuurconcepten, met toenemende aandacht naar het benaderen van genormaliseerd wonen. Dit gaat gepaard met een evolutie naar een open planindeling waarin een leefgroep een kern met eigen woonfunctie wordt. Algemeen gesproken leidt dit tot meer 'openheid' in de bouwconcepten (zie figuur). Dit heeft ingrijpende gevolgen op gebied van brandveiligheid, zowel op gebied van de mogelijke ontwikkeling van brand, als op het vlak van evacuatie. In deze optiek neemt het belang toe van actieve brandbeveiliging (rookextractie en/of automatisch blussysteem) om rookverspreiding te beperken.



Figuur 1 Illustratie van de evolutie in infrastructuurconcepten richting meer 'openheid'.

Het bestaande normenkader voor brandveiligheid in zorggebouwen is voornamelijk onvoldoende afgestemd op deze evolutie. Het planmodel van de klassieke verpleegeenheid met strikte functionele scheiding van de evacuatiewegen vormt immers nog altijd de basis van dit kader.

Brandveiligheid in zorggebouwen blijft in het algemeen een delicaat gegeven. Het beleid bepaalt de mate waarin de veiligheid van kwetsbare personen wordt verzekerd. Vanuit de bevoegdheid voor de specifieke regelgeving brandveiligheid in zorggebouwen werd vanaf 2011 met de invoering van het BVR brandveiligheid ouderenvoorzieningen (2) de aanzet gegeven voor de ontwikkeling van een aangepast Vlaams normenkader voor brandveiligheid.

Inmiddels werd geïnvesteerd in verdere kennisontwikkeling rond beschikbare alternatieve brandveiligheidsmaatregelen (1) (3). Vooral maatregelen die kunnen ingezet worden bij rookbeheersing kregen hierbij aandacht. Via het toepassen van alternatieve brandveiligheidsmaatregelen zou immers de evolutie naar een meer vrije planinvulling ook in de brandveiligheidsnormen kunnen meegenomen worden. De kennis over de beschikbare alternatieven is evenwel nog niet geïntegreerd in de specifieke regelgeving brandveiligheid voor zorggebouwen. Om toe te laten dat de planindeling volgens de actuele inzichten rond functionele organisatie kan uitgewerkt worden is daarom het ontwikkelen van een beoordelingskader voor de toepassing van alternatieve brandveiligheidsmaatregelen noodzakelijk.

De ontwikkeling van een dergelijk beoordelingskader vergt betrouwbare input. Momenteel is een VIPA-studie aan de gang, met grootschalige brandproeven en een eerste reeks van numerieke simulaties (CFD: Computational Fluid Dynamics), rond het gecombineerd gebruik van actieve brandbeveiliging in de context van zorggebouwen (1). Onderhavige studie zal hierop verder bouwen met aanvullende analyses op basis van CFD. Bovendien zullen bijkomende CFD-simulaties worden uitgevoerd, voor brandscenario's en configuraties die niet werden bestudeerd in (1). Deze input zal dienen voor de uitwerking van een voorstel van dergelijk beoordelingskader.

De huidige studie zal ook verder bouwen op een eerder uitgevoerde studie, waarbij inzetbare alternatieve brandveiligheidsmaatregelen werden verkend. Dit onderzoek werd eind 2016 afgerond met de VIPA-studie: *'Brandveiligheid in ouderenvoorzieningen: onderzoek naar de doelmatigheid van alternatieve brandveiligheidsmaatregelen in nieuwe zorgconcepten'* (3). Het richtte zich op het scenario met brandontwikkeling in de gemeenschappelijke leefruimte van een leefgroep. In de conclusies en aanbevelingen van (3) wordt aangegeven dat verder onderzoek naar de inzet van alternatieve maatregelen in een ruimer kader van functioneel aanverwante voorzieningen met verschillende scenario's wenselijk is.

Een andere bron van informatie betreft het grootschalig onderzoek van het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV Nederland) naar de invloed van rookverspreiding in residentiële gebouwen in geval van een brand in een kamer (4). De relevante conclusies worden verwerkt in de onderhavige studie.

2 Globale onderzoeksdoelstelling

De hoofddoelstelling van het onderzoek is om **technisch-wetenschappelijke onderbouwing** te creëren en aldus een gefundeerd voorstel tot beoordelingskader voor brandveiligheid in zorggebouwen uit te werken dat moet toelaten om voor een bepaalde voorziening het gewenste veiligheidsniveau te bepalen en om de realisatie van dit veiligheidsniveau te evalueren, in het bijzonder wanneer er actieve brandbeveiliging aanwezig is om rookverspreiding te beperken. Deze onderbouwing zal gebaseerd zijn op **de interpretatie en analyse van gegevens van brandproeven op ware grootte (ter validatie van de CFD-berekeningen), alsook op de interpretatie en analyse van gegevens van resultaten van extra CFD-berekeningen voor bijkomende brandscenario's**.

Voor diverse settings zal worden nagegaan met welke combinaties van brandveiligheidsmaatregelen en evacuatiestrategieën een gewenst veiligheidsniveau kan bereikt worden. Het gewenst veiligheidsniveau wordt mede bepaald in functie van het doelpubliek rekening houdend met de specifieke zorgcontext waaronder zelfredzaamheid en kwetsbaarheid van de bewoners, slapend of wakend, beschikbaarheid van verzorgend personeel.

Een andere doelstelling van het onderzoek is om te komen tot **duidelijke aanbevelingen** die door de technische commissie brandveiligheid (TCB) van het departement WVG onmiddellijk kunnen worden gebruikt bij de evaluatie van alternatieve voorstellen in afwijkingsdossiers.

Op langere termijn is het, zoals vermeld, de bedoeling om dit verder op punt gestelde beoordelingskader op te nemen in nieuwe regelgeving voor brandveiligheid in zorggebouwen, maar dit vormt geen onderzoeksdoelstelling op zich van de huidige studie.

3 Onderzoeksvragen

De globale onderzoeksdoelstelling is, zoals vermeld, om technisch-wetenschappelijke onderbouwing te creëren bij de inschatting van het niveau van brandveiligheid in zorggebouwen wanneer er bepaalde actieve brandbeveiliging aanwezig is om rookverspreiding te beperken.

Dit kan geconcretiseerd worden in een aantal onderzoeksvragen:

O1. Wat is het gewenste veiligheidsniveau in zorggebouwen voor verschillende gebruiksgroepen?

Hierbij zal worden nagegaan hoe verschillen in bezetting (residentiële setting tegenover dagopvangvoorziening), bezettingsgraad, zelfredzaamheid, fysieke of mentale kwetsbaarheid en functionele omkadering, meegenomen kunnen worden in een aangepaste formulering van het gewenste brandveiligheidsniveau. De focus zal hierbij liggen op de mogelijkheden en beperkingen van verschillende manieren van evacuatie, met bijhorende inzet van het personeel.

O2. Wat is een set van representatieve settings als basis voor de structuur van een beoordelingskader?

Hierbij zal aandacht worden geschonken aan welke brandscenario's in beschouwing dienen te worden genomen. Hierbij wordt in eerste instantie gedacht aan: de locatie van de brandhaard (in een individuele kamer dan wel in een gemeenschappelijke ruimte); het al dan niet open zijn van deuren; het al dan niet aanwezig zijn van een rookextractiesysteem; de plafondhoogte; de afmetingen van een gemeenschappelijke ruimte; het gebruik van rookwerende deuren. Ook de impact van gangbare of te verwachten ventilatiesystemen zal mede in kaart worden gebracht.

O3. Wat kan geleerd worden van de resultaten van brandproeven op ware grootte?

De relevante resultaten van het recente brandproefprogramma (1) worden geanalyseerd en gebruikt ter validatie van de CFD-berekeningen. De bevindingen dienen ook als leidraad voor de bepaling van de bijkomende scenario's (zie O4).

O4. Welke aanvullende computersimulaties moeten worden uitgevoerd om het beoordelingskader te vervolledigen?

Het aantal beschikbare brandproeven op ware grootte is beperkt. Bovendien zal ook het aantal bijkomende CFD-simulaties in (1) onvermijdelijk beperkt zijn. Startende van gevalideerde CFD-berekeningen op basis van de uitgevoerde brandproeven (O3), zullen daarom bijkomende CFD-berekeningen worden uitgewerkt, uitgevoerd en geanalyseerd. Dit zal leiden tot een matrix van scenario's, op te stellen in samenspraak met de stuurgroep.

O5. Wat kan geleerd worden van de resultaten van de bijkomende computersimulaties?

De relevante resultaten van de uitgevoerde bijkomende CFD-berekeningen (zie O4) zullen worden geanalyseerd ter wetenschappelijk-technische onderbouwing van het verder op punt stellen van het beoordelingskader voor brandveiligheid in zorggebouwen. De resultaten zullen worden verwerkt tot het formuleren van concrete aanbevelingen dienaangaande.

O6. Met welke combinaties van brandveiligheidsmaatregelen kan een vooropgesteld veiligheidsniveau gerealiseerd worden voor de set van representatieve cases?

Dit is de finale onderzoeksvraag. Mogelijke evacuatiestrategieën, op te nemen in het beoordelingskader, zullen worden bepaald op basis van de resultaten van alle genoemde CFD-berekeningen en brandproeven op ware grootte.

4 Onderzoeksmethodologie

De uitwerking van het onderzoeksproject en de analyses zullen globaal gebeuren vanuit het concept 'Fire Safety Engineering' (FSE).

Verschillende methoden zullen worden aangewend bij de verschillende onderzoeksvragen (zie sectie 3).

Voor O1 en O2 wordt voornamelijk gebruik gemaakt van bestaande studies, zoals (1) (3) (5), en van uitgebreid overleg met de stuurgroep van de studie. Voor O2 wordt bovendien mede gebruik gemaakt van de CFD-simulaties voor O3.

Voor O3 worden niet enkel de geschreven rapporten, maar ook ruwe data opgenomen (1). De analyse, met in het achterhoofd de beslissingen voor O2 en de uit te voeren simulaties in O4, zal mede gebeuren op basis van CFD-berekeningen van de brandproeven uit (1), omdat CFD-berekeningen informatie verschaffen die niet kon worden opgemeten (bv. stromingspatronen voor verschillende configuraties). Meetresultaten van (1) dienen tegelijkertijd ter validatie van de CFD-berekeningen.

Met betrekking tot O4 wordt een matrix van CFD-berekeningen opgesteld, uitgaande van O2 en in nauw overleg met de stuurgroep. Deze matrix zal kunnen dienen als leidraad voor de aanbevelingen voor de Technische Commissie Brandveiligheid bij het inschatten van veiligheidsniveaus, alsook als basis voor het verder op punt stellen van het beoordelingskader.

De grootste activiteit betreft O5. Dit betreft het uitvoeren en analyseren van een reeks CFD-berekeningen. De CFD-berekeningen worden uitgevoerd met een recente versie van de Fire Dynamics Simulator (FDS), zoals ontwikkeld door NIST (6). Startpunt is de configuratie van de brandproeven in (1), maar bijzondere aandacht gaat uit naar scenario's en configuraties waar de inschatting van de actieve brandbeveiliging vooralsnog onvoldoende kan onderbouwd worden vanuit de bestaande onderzoeksresultaten.

De finale onderzoeksvraag (O6) betreft het verwerken van de resultaten van O1 t.e.m. O5 tot een overzichtelijke formulering van veiligheidsniveaus en mogelijke evacuatiestrategieën, op te nemen in het beoordelingskader.

5 Samenstelling en werking van de stuurgroep

Onderstaande tabel geeft de samenstelling van de stuurgroep weer. Er hebben 7 vergaderingen plaatsgevonden, waarbij tussentijdse resultaten werden gerapporteerd en waarbij systematisch aan input en feedback vanuit de stuurgroep werd gevraagd. Met die input en feedback werd terdege rekening gehouden, in het bijzonder bij de bepaling van de bijkomende scenario's voor de CFD-berekeningen (O2 en O4), alsook voor de bepaling van gewenste veiligheidsniveau (O1) en de formulering van veiligheidsniveaus en evacuatiestrategieën in het beoordelingskader (O6).

Tabel 1 Samenstelling van de stuurgroep.

Naam	Organisatie
Mevr. Ann Beusen (voorzitter)	VIPA
Dhr. Eddy Mettepenningen	Agentschap Zorg en Gezondheid (TCB)
Dhr. Peter Bockstaele	Agentschap Facilitair Bedrijf
Dhr. Michiel Mentens	VLOZO
Dhr. Jan De Saedeleer	FOD Binnenlandse Zaken
Dhr. Christian Gryspeert	HVZ Zone Midwest
Dhr. Jan Leenknecht	HVZ Fluvia/Netwerk Brandweer/TCB
Dhr. Jan Peelaerts	HVZ Zone Kempen/TCB
Dhr. Nico Luyten	Netwerk Architecten Vlaanderen (NAV)
Mevr. Julie Alboort	Netwerk Architecten Vlaanderen (NAV)
Dhr. Bart Vanbever	Agoria
Dhr. Arnold Janssens	UGent
Dhr. Bart Merci (secretaris + projectverantwoordelijke)	UGent/TCB
Dhr. Paul Vandevelde	UGent/TCB
Mevr. Romy Van Gaever	WTCB
Dhr. Pieter Poppe	WFRGENT nv
Dhr. Walter Sablon	Zorgnet Vlaanderen / TCB
Dhr. Michel Delruelle	ANPI
Dhr. Robby de Roeck	Kingspan Light & Air
Dhr. Filip Van Meerhaeghe	Keller
Dhr. Frank Verlinden	Rf-Technologies
Dhr. Kurt De Proft	Etex Building Performance
Dhr. Karim Van Maele	Etex Building Performance
Dhr. Alan Brinson	European Fire Sprinkler Network (EFSN)
Dhr. François Asselman	Belgian Fire Sprinkler Network (BFSN)
Dhr. John Van Lierop	Federatie Veilig Nederland sectie Verenigde Sprinklerindustrie (VSI)
Dhr. Arjan ten Broeke	Johnson Controls

6 Structuur van het rapport

Elk hoofdstuk behandelt een onderzoeksvraag. Het rapport wordt afgesloten met de voornaamste conclusies en aanbevelingen.

Hoofdstuk 2

Bepaling van het gewenste veiligheidsniveau in zorggebouwen voor verschillende gebruikersgroepen

1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een antwoord gezocht op onderzoeksvraag O1: *Wat is het gewenste veiligheidsniveau in zorggebouwen voor verschillende gebruikersgroepen?*

Hierbij wordt gebruik gemaakt van (3) (4).

Het uitgangspunt is dat het gewenste veiligheidsniveau wordt bekomen indien alle aanwezigen (bewoners en personeel) een dusdanig beperkte blootstelling aan de gevolgen van rookontwikkeling (hoge temperaturen, warmte, toxiciteit en verminderde zichtbaarheid) ervaren dat hun gezondheid in geval van brand niet in gevaar komt.

Dit wordt gezien als 'een voldoende graad van bescherming'.

Dit kan bereikt worden door uitgestelde evacuatie ('defend-in-place'), dan wel door onmiddellijke evacuatie. In geval van onmiddellijke evacuatie wordt horizontale evacuatie als basisscenario aangenomen, gezien ervan moet worden uitgegaan dat een aanzienlijk aantal bewoners niet zelfredzaam is.

Een veilige evacuatie wordt enkel bekomen indien de voor vluchten beschikbare tijd (ASET: Available Safe Egress Time) groter is dan de voor vluchten benodigde tijd (RSET: Required Safe Egress Time), waarbij:

- de ASET afhangt van de mate waarin het vluchten door de rookcondities gehinderd wordt. De ASET wordt bepaald op basis van de resultaten van de praktijktesten en de bijkomende CFD-simulaties;
- de RSET afhangt van meerdere factoren, waaronder de lay-out van het gebouw (aantal en locaties van uitgangen; configuratie van de kamers,...) en zijn gebruikers (zelfredzaam of niet-zelfredzaam, ouderen,...). Bovendien is - in het geval van niet-zelfredzame gebruikers - het aantal personen dat kan assisteren bij de evacuatie eveneens een belangrijke parameter bij de bepaling van de RSET.

2 Veiligheidsniveau in ouderenvoorzieningen (3)

2.1 Gebruikersgroep

In (3) werd uitgegaan van niet-zelfredzame oudere bewoners. Er werd dus geen opdeling gemaakt tussen zelfredzame en niet-zelfredzame bewoners aangezien de samenstelling van de bewonersgroep in een ouderenvoorziening geen vast gegeven is.

Alhoewel de scope van (3) zich in eerste instantie richtte op de brandveiligheid in ouderenvoorzieningen, kunnen de resultaten van de studie ook toegepast worden op voorzieningen met soortgelijke

configuraties waarbij de graad van bescherming kan beoordeeld worden op basis van onderstaande criteria:

- type bewoners: zelfredzaam of niet-zelfredzaam;
- aantal personeelsleden ter beschikking voor een eventuele evacuatie;
- dag- of nachtbezetting;
- mentale en fysieke conditie van de bewoners;
- hoeveelheid brandlast in de deelcompartimenten;
- inplanting en indeling van de deelcompartimenten.

2.2 Evacuatiestrategie

De evacuatie kan op twee manieren gebeuren:

- Onmiddellijke horizontale evacuatie:

De evacuatie begint onmiddellijk van zodra het brandalarm geactiveerd wordt en houdt in dat de bewoners in eerste instantie geëvacueerd worden tot een veilige locatie en dit op dezelfde verdieping. Er wordt tijdens de studie aangenomen dat eventuele verticale evacuatie kan gebeuren in een beveiligde omgeving waarbij de bewoners niet blootgesteld worden aan de gevolgen van een brand. De verticale evacuatie wordt dus niet opgenomen worden bij de bepaling van de RSET.

- Uitgestelde evacuatie ('defend in place'):

Wanneer het brandalarm geactiveerd wordt, blijft de bewoner in de kamer, waar deze niet blootgesteld wordt aan de gevolgen van de brand. De bewoner wacht op het personeel en/of de brandweer die de evacuatie op een later tijdstip uitvoeren, m.a.w. de evacuatie begint slechts van zodra de omstandigheden tijdens de evacuatie niet meer kritisch zijn voor de bewoner.

2.3 Criteria ter bepaling van het veiligheidsniveau

De meeste dodelijke slachtoffers zijn te wijten aan een (kortstondige of langdurige) blootstelling aan rook, eerder dan direct vlamcontact of straling van de brand. Hieruit resulteert dat rook de meest bepalende factor is die een invloed heeft op de evacuerende personen en hun vluchtgedrag, zoals bv. vluchtvaardigheid, blootstellingsduur (kortstondig of langdurig), zichtbaarheid, paniek (irrationeel gedrag), loopsnelheid, doorstroomcapaciteit en uitgangkeuze.

Bij het bepalen van de voor vluchten beschikbare tijd (ASET: Available Safe Egress Time) werd door de stuurgroep beslist om elke blootstelling aan rook te vermijden aangezien niet duidelijk kan bepaald worden in welke mate de invloed van rook (toxiciteit, oogirritatie, panische angst, ...) wel aanvaardbaar is voor ouderen. De verminderde zichtbaarheid en de temperatuur van de rook worden aldus niet in beschouwing genomen bij het bepalen van de ASET.

De criteria van het veiligheidsniveau worden bepaald in functie van de twee evacuatiestrategieën:

- Onmiddellijke horizontale evacuatie uit de kamer (via de evacuatiewegen): Al dan niet met behulp van het aanwezige personeel worden de bewoners uit hun kamer geëvacueerd naar

een veilige locatie. Afhankelijk van de aanwezigheid van rook in de evacuatieweg kan al dan niet gesproken worden van een veilige evacuatie (= criterium voor het bepalen van de ASET).

- ‘defend in place’ (de bewoner blijft in de kamer): De bewoners blijven in hun kamer (die afgesloten is) en wachten op het personeel en/of de brandweer die de evacuatie op een later tijdstip uitvoeren. Er wordt dus verondersteld dat de bewoners in hun kamer blijven totdat een evacuatie door een ‘rookvrije evacuatieweg’ mogelijk is. [Het begrip ‘rookvrije evacuatieweg’ wordt gedefinieerd in conclusies van paragraaf 3.3.] Afhankelijk van de aanwezigheid van rook in de kamer kan al dan niet gesproken worden van een veilige evacuatie (= criterium voor het bepalen van de ASET).

3 Veiligheidsniveau in zorggebouwen voor verschillende gebruikersgroepen

3.1 Gebruikersgroep

In tegenstelling tot (3), waarbij enkel ouderen tot de gebruikersgroep behoorden, zullen in deze studie verschillende gebruikersgroepen behandeld worden.

In het document (5), dat de behoefteanalyse weergeeft in de context van het beoordelingskader voor de brandveiligheid in de zorgsector, worden de gebruikers als volgt onderverdeeld:

- Baby’s
- Kleuters en kinderen
- Adolescenten (gesloten, halfopen of open instelling)
- Volwassenen
- Ouderen
- Personen met mentale handicap
- Personen met een fysieke beperking

Dergelijke indeling is vooral gebaseerd op de fysische en psychische verschillen tussen de verschillende gebruikers. In het kader van de evacuatie, is het echter beter om de gebruikersgroepen in te delen in 3 types zoals reeds aangewend in de basisnormen (KB van 07/07/1994 en latere wijzigingen) en de norm omtrent scholen (i.e. NBN S 21-204-2):

- Type 1: niet-zelfredzaam
- Type 2: zelfredzaam - slapend
- Type 3: zelfredzaam - wakend

De hierboven beschreven indeling van gebruikersgroepen kan immers steeds omgezet in een “type” gebruiker.

Toelichting:

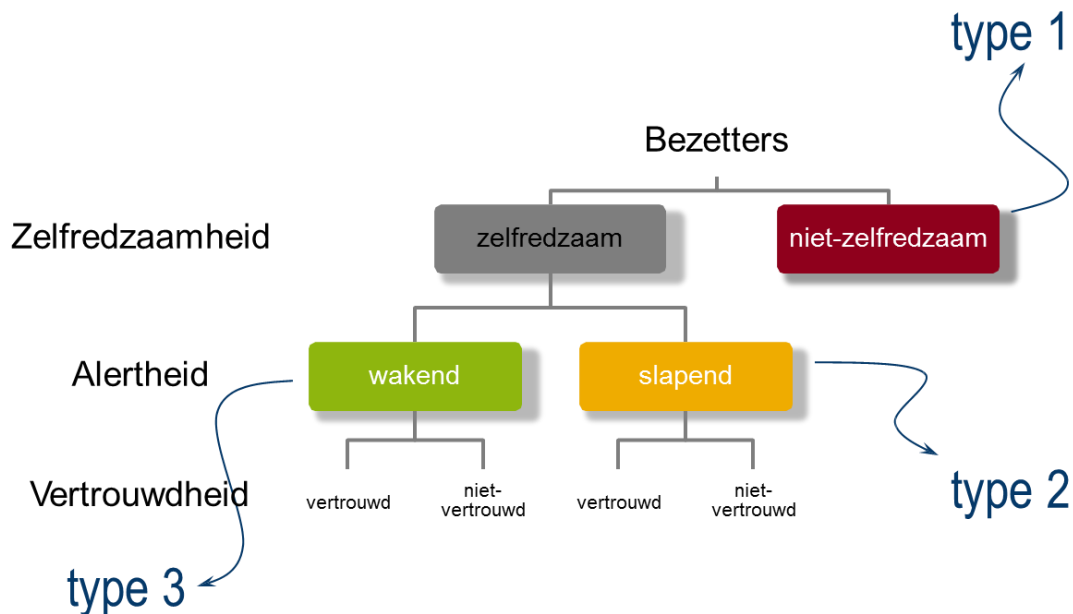
Er dient op gewezen te worden dat er voor Type 1 (niet-zelfredzaam) nog subcategorieën bestaan, zoals hieronder weergegeven (niet-exhaustieve lijst):

- mobiel/niet-mobiel (bv. rolstoel, bed,...);
- mentale toestand (bv. iemand die “blokkeert” en aldus moeilijk te verplaatsen is);
- verblijf met vrijheidsbeperking (bv. gevangenen).

Het al dan niet mobiel zijn, kan/zal een invloed hebben op de evacuatiestrategie, waardoor het interessant is om dit mee op te nemen bij de uitwerking van de evacuatiestrategieën.

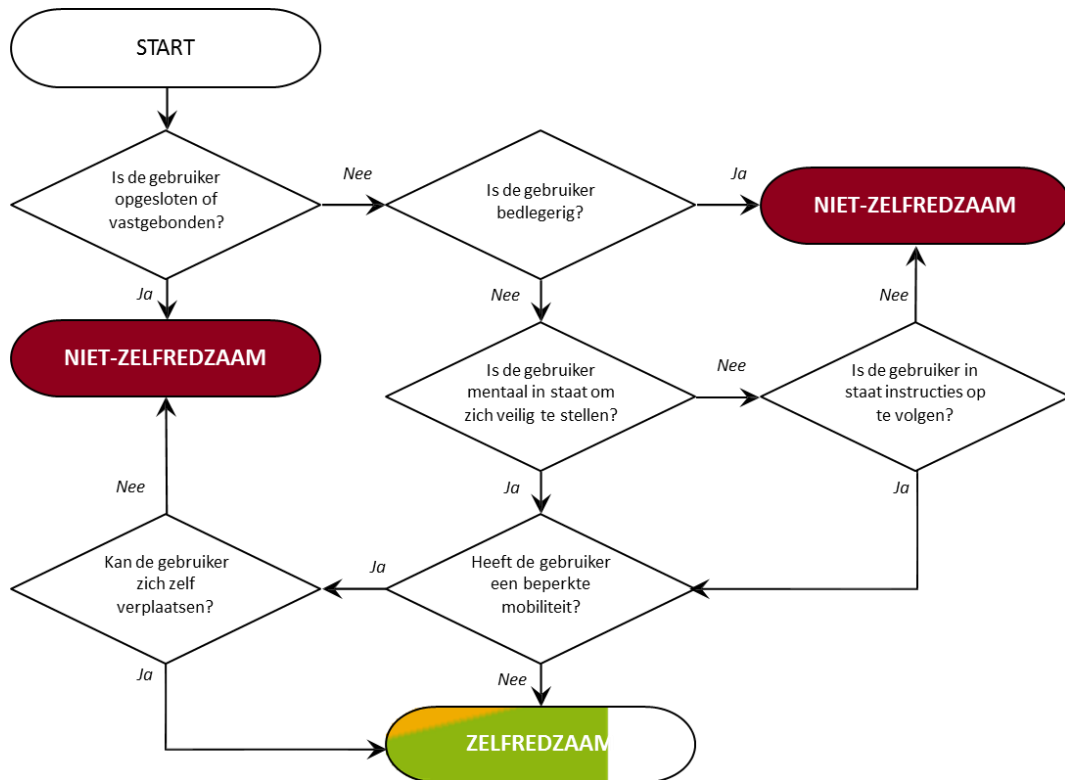
Indien een gebruiker niet zou meewerken tijdens de evacuatie (bv. door weerspanningheid) kan/zal dit niet enkel ook een invloed hebben op de duurtijd van de evacuatie, maar eveneens op de hoeveelheid personeel die hierbij dient te assisteren. Dergelijke situatie dient echter geval per geval bekeken te worden en zal om die reden geen deel uitmaken van deze studie.

De 3 types gebruikers worden schematisch weergegeven in onderstaande figuur.



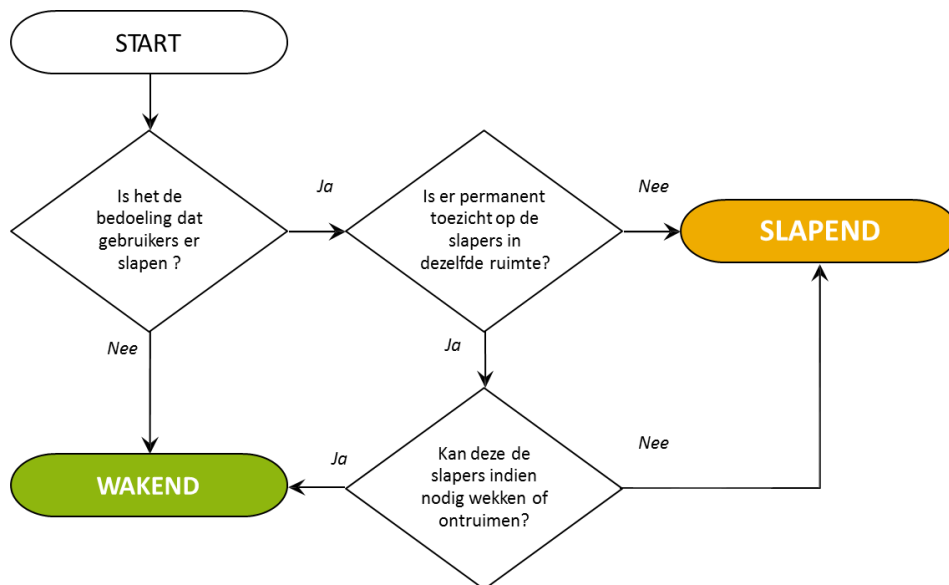
Figuur 2 Type gebruiker: Overzicht (7).

Of een gebruiker beschouwd wordt als zelfredzaam of niet-zelfredzaam, wordt bepaald aan de hand van onderstaand organigram:



Figuur 3 Type gebruiker: Zelfredzaam of niet-zelfredzaam (7).

Of een gebruiker beschouwd wordt als wakend of slapend, wordt bepaald aan de hand van onderstaand organigram:



Figuur 4 Type gebruiker: Wakend of slapend (7).

In deze studie worden in eerste instantie de **niet-zelfredzame gebruikers** beschouwd, i.e. type 1 gebruiker. Er kan immers aangenomen dat het veiligheidsniveau voor dergelijk type gebruiker als “worst case” kan gelden voor de twee andere types gebruiker, wat betreft overlevings- en vluchtmogelijkheid in geval van brand.

Er wordt opgemerkt dat in (4) melding wordt gemaakt van drie groepen van gebruikers ('bewoners' in (4)):

- Een 'algemene' populatie (met 'gemiddelde kwetsbaarheid' bij brand);
- Een 'kwetsbare' populatie;
- Een 'zeer kwetsbare' populatie.

Deze onderverdeling wordt in de studie (4) gebruikt om een onderscheid te maken bij de bepaling van toelaatbare grenswaarden (zie paragraaf 3.3). Zoals in paragraaf 3.3 wordt uitgelegd, zal deze aanpak niet worden gevolgd in de huidige studie.

3.2 Evacuatiestrategie

Net zoals in (3) (zie § 2.2) wordt in deze studie uitgegaan van ofwel een onmiddellijke horizontale evacuatie, ofwel een 'defend in place'. Verticale evacuatie wordt niet in beschouwing genomen, ervan uitgaande dat de verticale evacuatie in veilige omstandigheden kan gebeuren (bv. in een gecompartmenteerd rookvrij trappenhuis). Hierdoor kan het beoordelingskader toegepast worden voor elk type gebouw (i.e. laag, middelhoog of hoog gebouw).

Het spreekt voor zich dat dergelijke horizontale evacuatie enkel mogelijk is voor zover er voldoende 'veilige' ruimte voorzien wordt op dezelfde verdieping, en dit buiten het compartiment waar de brandhaard zich bevindt.

Ook in onderhavige studie worden de criteria van het veiligheidsniveau in functie van de twee evacuatiestrategieën bepaald:

- Onmiddellijke horizontale evacuatie uit de kamer (via de evacuatiewegen): Al dan niet met behulp van het aanwezige personeel worden de bewoners uit hun kamer geëvacueerd naar een veilige locatie. Afhankelijk van de aanwezigheid van rook in de evacuatieweg kan al dan niet gesproken worden van een veilige evacuatie (= criterium voor het bepalen van de ASET).
- 'Defend in place' (de bewoner blijft in de kamer): De bewoners blijven in hun kamer (die afgesloten is) en wachten op het personeel en/of de brandweer die de evacuatie op een later tijdstip uitvoeren. Er wordt dus verondersteld dat de bewoners in hun kamer blijven totdat een evacuatie door een 'rookvrije evacuatieweg' mogelijk is. [Het begrip 'rookvrije evacuatieweg' wordt gedefinieerd in de conclusies van paragraaf 3.3.] Afhankelijk van de aanwezigheid van rook in de kamer kan al dan niet gesproken worden van een veilige evacuatie (= criterium voor het bepalen van de ASET).

3.3 Criteria ter bepaling van het veiligheidsniveau

Bij een prescriptieve wetgeving, zoals in Vlaanderen, is het niet (altijd) mogelijk om te achterhalen op welke criteria de prestatie-eisen gebaseerd zijn (zodat aan de functionele eisen voldaan wordt), terwijl bij een performantiële wetgeving het niet altijd duidelijk is hoe een gelijkwaardige graad van bescherming kan aangetoond worden. In dit laatste geval zijn er echter wel criteria opgesteld die kunnen "afgetoetst" worden om een gelijkwaardige graad van bescherming aan te tonen en aldus een veilige evacuatie te garanderen.

In de Nederlandse IFV-studie (Rookverspreiding in pandige gebouwen – brand in kamer) (4) werd gebruik gemaakt van dergelijke criteria teneinde na te gaan of het veiligheidsniveau behaald werd. In een tabel

werden in (4) verschillende grenswaarden vastgelegd in functie van het type gebruiker, met name: algemeen, kwetsbaar en zeer kwetsbaar. Op basis van feedback van de stuurgroep wordt een dergelijke tabel hier niet aangewend, omwille van de volgende redenen:

- Het is zeer moeilijk om de hierboven beschreven grenswaarden te valideren op (types) personen.
- Het is zeer moeilijk om de samenstelling van de rook te voorspellen (in CFD-simulaties).

In tegenstelling tot (3), wordt op basis van feedback van de stuurgroep bepaald dat het vermijden van elke blootstelling een te streng criterium is. Blootstelling aan rook dient wel zo veel mogelijk vermeden te worden, m.a.w., een 'beperkte blootstelling' aan rook kan worden toegestaan, zoals hieronder beschreven.

Een gebruiker kan onder meer op de volgende manieren aan rook blootgesteld worden, mede afhankelijk van de aanwezige installaties en de evacuatiestrategie:

- Rooklaag die opbouwt vanaf het plafond, hetzij in de evacuatieweg (onmiddellijke evacuatie), hetzij in de kamer (defend-in-place);
- Rook dicht bij de vloer (bv. smeulbrand, of na activatie van een automatisch blussysteem en/of rookbeheersingssysteem), hetzij in de evacuatieweg (onmiddellijke evacuatie), hetzij in de kamer (defend-in-place).

Bovendien dient er ook rekening gehouden te worden met de mogelijke aanwezigheid van irriterende en/of verstikkende gassen in de ruimte. Deze zijn immers niet enkel van toepassing op de gebruiker zelf, maar eveneens op het assisterend personeel en de brandweer. Dergelijke gassen zijn bovendien niet altijd zichtbaar.

Conclusie:

Op basis van bovenstaande heeft de stuurgroep beslist om "beperkte blootstelling" te definiëren als volgt:

- De beperkte blootstelling is enkel van toepassing op zichtbare rook.
- Fysiek contact van het hoofd met de rook is niet toegestaan. Een rookvrije hoogte van minimaal 2.1 m wordt daarom vastgelegd.

Een 'rookvrije evacuatieweg' wordt gedefinieerd als een evacuatieweg met maximaal dergelijke 'beperkte blootstelling' tijdens de evacuatie.

4 Conclusies

In dit hoofdstuk werd de volgende onderzoeksvraag beantwoord:

O1. Wat is het gewenste veiligheidsniveau in zorggebouwen voor verschillende gebruiksgroepen?

De criteria van het veiligheidsniveau werden in functie van de twee evacuatiestrategieën bepaald:

- Onmiddellijke horizontale evacuatie uit de kamer (via de evacuatiewegen): Al dan niet met behulp van het aanwezige personeel worden de bewoners uit hun kamer geëvacueerd naar een veilige locatie. Afhankelijk van de aanwezigheid van rook in de evacuatieweg kan al dan niet gesproken worden van een veilige evacuatie.

- ‘Defend in place’ (de bewoner blijft in de kamer): De bewoners blijven in hun kamer (die afgesloten is) en wachten op het personeel en/of de brandweer die de evacuatie op een later tijdstip uitvoeren. Er wordt dus verondersteld dat de bewoners in hun kamer blijven totdat een evacuatie door een ‘rookvrije’ evacuatiweg mogelijk is. Afhankelijk van de aanwezigheid van rook in de kamer kan al dan niet gesproken worden van een veilige evacuatie.

Het vermijden van elke blootstelling aan rook wordt als een te streng criterium ervaren. Blootstelling aan rook dient wel zo veel mogelijk vermeden te worden, m.a.w., een ‘beperkte blootstelling’ aan rook kan worden toegestaan, te definiëren als volgt:

- De beperkte blootstelling is enkel van toepassing op zichtbare rook.
- Fysiek contact van het hoofd met de rook is niet toegestaan. Een rookvrije hoogte van minimaal 2.1 m wordt daarom vastgelegd.

Een ‘rookvrije evacuatiweg’ wordt gedefinieerd als een evacuatiweg met maximaal dergelijke ‘beperkte blootstelling’ tijdens de evacuatie.

In combinatie met de analyse van de berekeningen, zoals voorgesteld in de volgende hoofdstukken, zal dit leiden tot het opstellen van een overzicht van mogelijke brandbeveiligingsmaatregelen, afhankelijk van de gekozen evacuatiestrategie.

Hoofdstuk 3

Bepaling van representatieve configuraties voor de opmaak van een beoordelingskader voor de brandveiligheid in zorggebouwen

1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een antwoord gezocht op onderzoeksvraag O2: *Wat is een set van representatieve configuraties als basis voor de structuur van een beoordelingskader voor de brandveiligheid in zorggebouwen?*

Als startpunt zijn de configuraties gekozen van (3), alsook de configuratie waarin de grootschalige brandproeven zijn uitgevoerd in het kader van VIPA project 2019/64 (1). Deze configuraties laten toe om in te schatten hoe goed de overeenkomsten zijn tussen resultaten van CFD-berekeningen en meetgegevens uit de brandproeven. Hierbij wordt opgemerkt dat de CFD-berekeningen enkel kwalitatief te interpreteren zijn. Er is geen uitgebreid onderzoek gebeurd naar de gevoeligheid van de resultaten aan de verschillende instellingen (in het bijzonder het rekenrooster of de instellingen van de ventilatoren). Desalniettemin geeft de vergelijkende studie van de resultaten van de CFD-berekeningen met de meetresultaten van (1) aan dat er vertrouwen kan worden gesteld in de betrouwbaarheid van de CFD-resultaten. De instellingen van de CFD-berekeningen mogen evenwel niet worden geïnterpreteerd als 'best practice' instellingen voor ontwerpberekeningen in de toekomst.

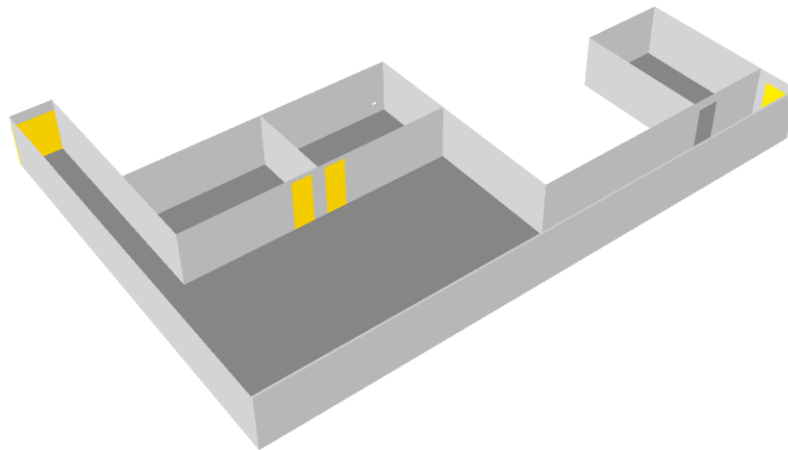
Hieruit vertrekkend zijn vanuit de stuurgroep configuraties voorgesteld als prioritair en representatief in het kader van de opmaak van een beoordelingskader voor de brandveiligheid in zorggebouwen, zoals uitgelegd in paragraaf 2.

Bovendien dient de studie van (4) als inspiratiebron. In die studie was de configuratie die van een gang, met aan weerszijden kamers. Dit is nog steeds een vaak voorkomende configuratie in de praktijk. Daarom wordt ook deze beschouwd als basisconfiguratie, prioritair en representatief in het kader van de opmaak van een beoordelingskader voor de brandveiligheid in zorggebouwen.

2 Bepaling van de representatieve configuraties

2.1 Configuraties gebaseerd op (1)

In eerste instantie worden de scenario's van de brandproeven van (1) beschouwd, om de resultaten van de CFD-berekeningen te vergelijken met experimentele meetgegevens. Zoals getoond in Figuur 5 zijn de configuraties gebaseerd op ene gemeenschappelijke ruimte van ongeveer 100 m², waarmee twee kamers rechtstreeks verbonden zijn via enkele deuren. Eén kamer heeft een rookwerende deur, terwijl de andere kamer van een brandwerende deur is voorzien. Er zijn ook twee evacuatiegangen, met aan het einde van één van die gangen een bijkomende kamer (zonder deur). Aan het einde van de evacuatiegangen zit een deur (een enkelvoudige en een dubbele). Alle kamers hebben dezelfde oppervlakte (6 m x 4 m). De plafondhoogte is overal 2.5 m. Een gedetailleerde beschrijving kan worden gevonden in (1).



Figuur 5 Configuratie voor de CFD-simulaties gebaseerd op (1).

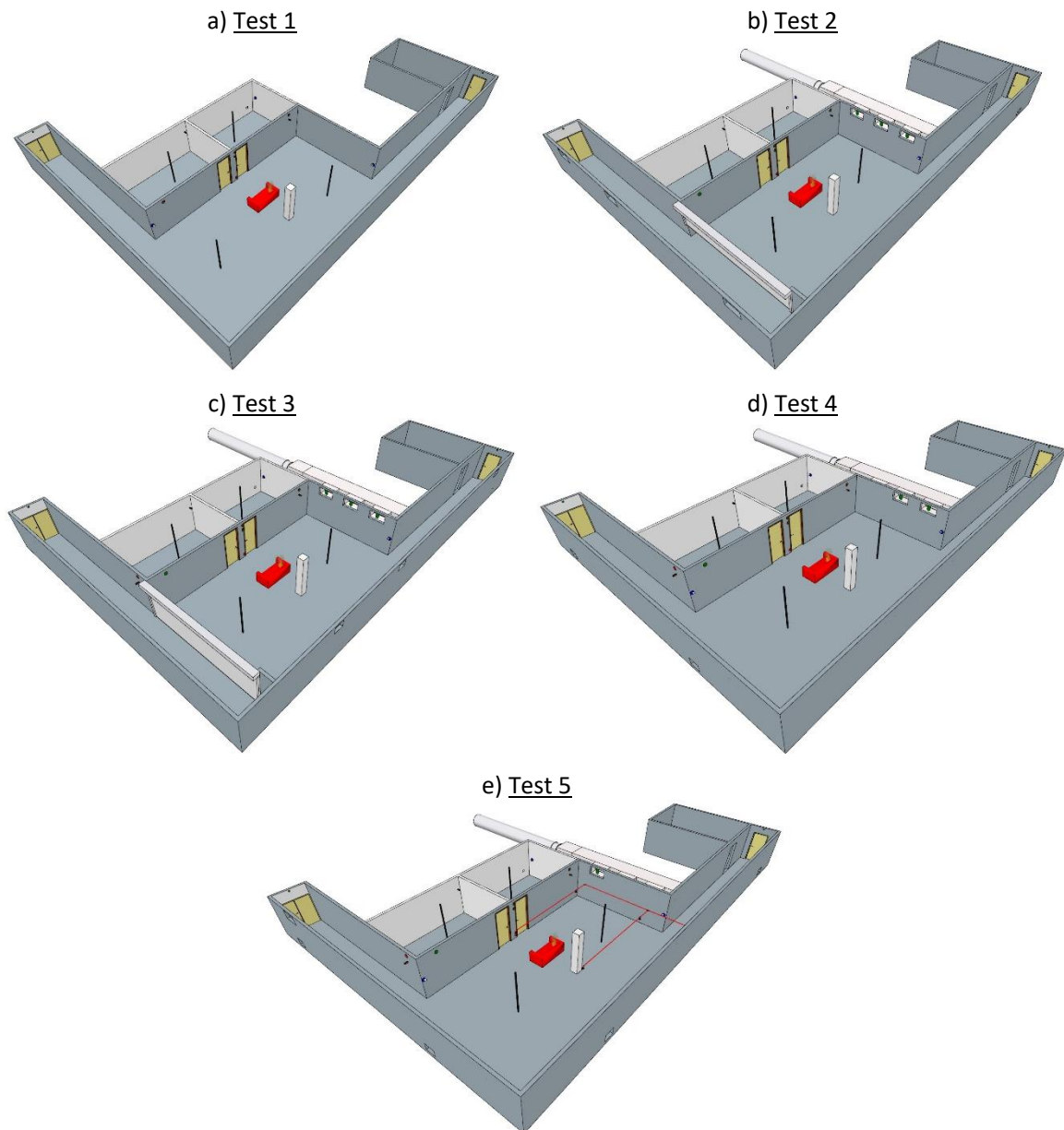
Als vervolg op de eerdere studie (3) was het hoofddoel van de grootschalige experimentele campagne om de invloed en doeltreffendheid van verschillende brandbeveiligingsmaatregelen te onderzoeken, in het bijzonder:

- Deuren: brandwerend versus rookwerend (enkele deur),
- Rookextractiesysteem (RWA): constante volumedebieten (medium en hoog), alsook drukafhankelijke volumedebieten,
- Brandscherm: volledig of gedeeltelijk (tot op een hoogte van 0.9 m) neergelaten,
- Automatisch blussysteem.

Dit heeft geleid tot 5 verschillende grootschalige brandproeven, zoals getoond in Figuur 6:

- a) Test 1: enkel brandwerende en rookwerende deur,
- b) Test 2: RWA met constant volumedebiet en brandscherm neergelaten tot een hoogte van 0.9 m t.o.v. de vloer,
- c) Test 3: RWA met constant volumedebiet en brandscherm neergelaten tot op de vloer,
- d) Test 4: RWA met drukafhankelijk, volumedebiet
- e) Test 5: RWA gecombineerd met sprinklers.

Voor een volledige beschrijving van de brandproeven wordt verwezen naar (1).



Figuur 6 Schematische voorstellingen van de verschillende configuraties van de brandproeven in (1).

Als brandscenario werd een tweepersoonszetel gekozen (lengte x breedte x hoogte: 180 cm x 88 cm x 66 cm), in de gemeenschappelijke ruimte geplaatst. De zetel bestaat uit een houten frame, vulling van polyetherschuim, stalen veren en een polyester bedekking. Het warmtevermogen (HRR: heat release rate) werd opgemeten in een aparte brandproef, m.b.v. calorimetrie onder een kap. Het meetresultaat (1) wordt getoond in Figuur 7, die ook de resultaten van een eerdere studie (3) bevat, evenals enkele typische αt^2 branden ("slow", "medium" en "fast"). In beide genoemde studies vertonen de zetels een gelijkaardig brandgedrag, relatief nauw aansluitend bij een 'medium' αt^2 brand, met een piekvermogen van ongeveer 800 kW. Deze opgemeten HRR-waarden dienen als basis voor de CFD-berekeningen. In de brandproeven zal het verloop van de HRR echter anders zijn dan opgemeten onder de kap, omwille van de volgende redenen:

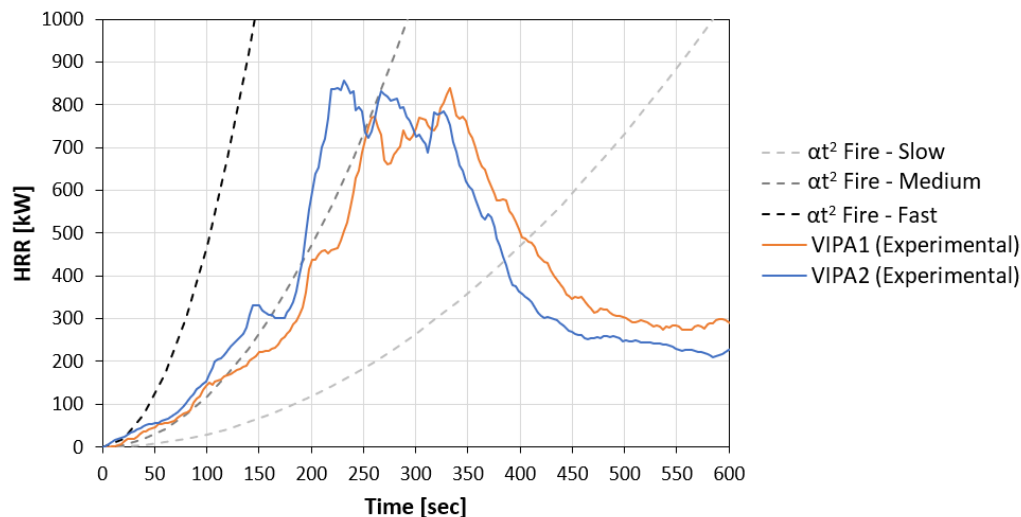
1. Verschil in aanwezigheid van zuurstof: bij gebrek aan zuurstof kan de brand ondergeventileerd worden, terwijl er bij de proef onder de kap altijd voldoende zuurstof aanwezig is. In geval van

ondergeventileerde brand kan een actief RWA-systeem extra zuurstof aanbrengen en de brand aanwakkeren. Bij een overgeventileerde brand zal de extra lucht, gecombineerd met de afvoer van warme rook, evenwel een koelend (en dus vertragend) effect hebben op de brand bij een geactiveerd RWA-systeem.

2. Verschil in warmteoverdracht naar de brandende zetel: er is mogelijk extra warmteoverdracht vanwege de rooklaag en het plafond, maar er kan ook een koelend effect zijn door afzuiging van warme rook en aanvoer van koude lucht door een RWA-systeem (bij een overgeventileerde brand), en vanzelfsprekend is er een sterk koelend effect bij activering van het sprinklersysteem.

Het verloop van de HRR is echter niet opgemeten tijdens de brandproeven zelf, hetgeen een onzekerheid betekent voor de CFD-berekeningen. De evolutie van temperaturen, maar meer nog die van de druk, hangt sterk af van het juiste verloop van de HRR, zoals verderop wordt besproken.

Er wordt ook nog opgemerkt dat, als gevolg van de configuratie van (1), met slechts één brandend object, het effect van een automatisch blussysteem niet ten volle wordt getoond, omdat er geen brandoverslag naar een tweede object mogelijk is in de configuratie van (1), ongeacht de aanwezigheid van een automatisch blussysteem.



Figuur 7 Brandvermogen (HRR) zoals opgemeten in de calorimetrieproeven voor VIPA1 (3) en VIPA2 (1), vergeleken met typische αt^2 -branden.

De meetapparatuur bestond uit:

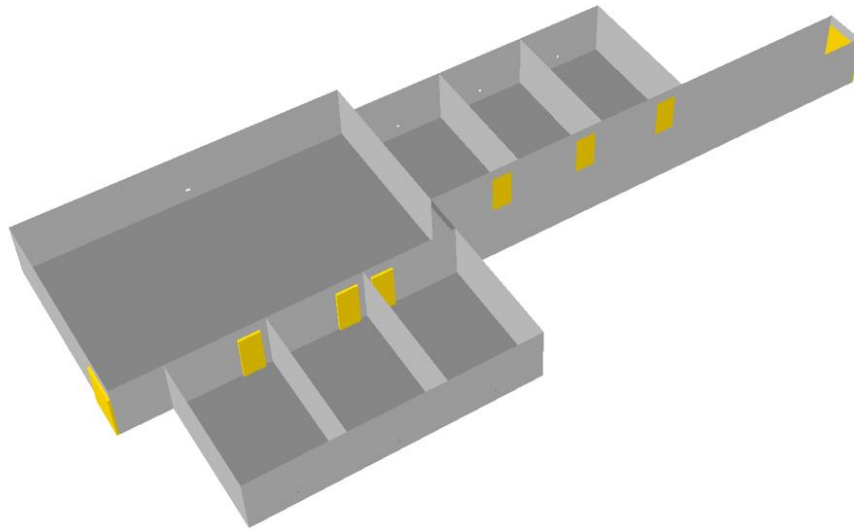
- Thermokoppelbomen: 2 in de gemeenschappelijke ruimte en 1 per kamer,
- Thermokoppels op verschillende plaatsen en hoogtes: gemeenschappelijke ruimte, gangen, kamers, RWA-afzuigopeningen en leiding, en openingen voor natuurlijke ventilatie (toevoeropeningen),
- Drukmeters op verschillende plaatsen en hoogtes: gemeenschappelijke ruimte en gang,
- CO en CO₂ gasanalyse op verschillende plaatsen en hoogtes: gemeenschappelijke ruimte en gang,
- Videocamera's op verschillende plaatsen in de gemeenschappelijke ruimte en gangen.

Voor een meer gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar (1). In dit rapport ligt de nadruk op de visuele weergave van rookverspreiding (kwalitatieve analyse), alsook op de drukbouw en temperaturen (kwantitatieve analyse). Voor de vergelijking met de meetresultaten van (1) wordt vooral gewerkt met

de temperaturen en de drukopbouw, terwijl voor de ondersteunende berekeningen voor onderzoeksvraag O6 vooral wordt gewerkt met de rookverspreiding.

2.2 Aanvullende configuraties gebaseerd op (1) en (3)

In overleg met de stuurgroep werden bijkomende scenario's gedefinieerd om kwalitatief de invloed van verschillende factoren te bestuderen d.m.v. CFD-berekeningen. Op basis van het geheel van de eerdere studies van (1) en (3) werd besloten om als configuratie voor de bijkomende CFD-berekeningen een combinatie te beschouwen van beide studies. Figuur 8 toont de configuratie, bestaande uit een gemeenschappelijke ruimte van ongeveer 130 m², 3 kamers die hier rechtstreeks op uitgeven met enkele deuren, een evacuatiegang en 3 kamers die hier rechtstreeks op uitgeven met enkele deuren. Elke kamer heeft dezelfde oppervlakte (6 m x 4 m) en de plafondhoogte is 2.5 m. Aan het einde van de gang, en aan 1 zijde van de gemeenschappelijke ruimte, is er een dubbele deur. Deze generieke configuratie wordt als representatief beschouwd voor het doel van de studie.



Figuur 8 Configuratie voor de bijkomende CFD-berekeningen.

Aangezien de studie in (3) zich voornamelijk richtte op een brandscenario in de gemeenschappelijke ruimte, wordt in de huidige studie veel aandacht besteed aan analyse van het effect van brandbeveiligingsmaatregelen voor een scenario waarbij de brandhaard zich in een kamer bevindt. Hierbij wordt nog steeds uitgegaan van de tweepersoonszetel (Figuur 7) voor de bepaling van het verloop van de HRR.

In Figuur 8 zijn de gemeenschappelijke ruimte en een evacuatiegang rechtstreeks met elkaar verbonden, zonder een deur. Daarom wordt ook onderzocht wat de impact op de rookverspreiding zou zijn wanneer er een vast scherm wordt geplaatst, vanaf het plafond tot een hoogte van 2.1 m.

De bijkomende CFD-berekeningen hebben tot doel om inzicht te verschaffen in de volgende aspecten:

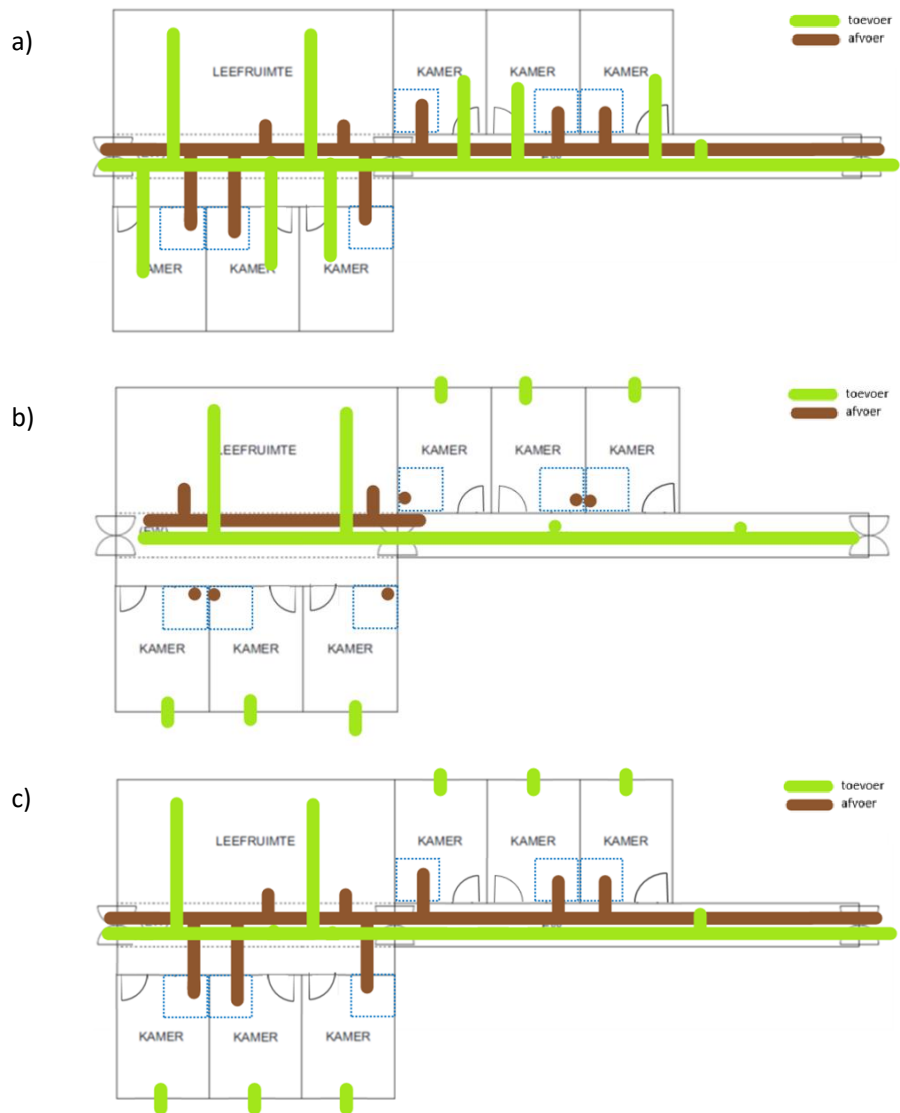
- Impact van deuren: de deur van de kamer is ofwel volledig gesloten ofwel volledig open gedurende de brand, of wordt gedurende 30 seconden geopend, 30 seconden na de start van de brand (om de evacuatie van de bewoner van de kamer na te bootsen),

- Impact van openingen/lek in kamerwanden: de kamer is verbonden met de omgeving door een opening met verschillende afmetingen: 0.01 m² (enkel lek), 0.06 m² (kleine opening), 0.25 m² (klein raampje) of 0.50 m² (raampje),
- Impact van lek rond deuren: de lekoppervlakte van de rookwerende (3 cm²) en de brandwerende (72 cm²) deur worden ofwel bovenaan (worst case scenario voor rookverspreiding), ofwel onderaan (meer realistisch) in het model aangebracht,
- Impact van de plafondhoogte: de hoogtes 2.5 m en 2.7 m worden met elkaar vergeleken,
- Impact van grondoppervlakte van de gemeenschappelijke ruimte: oppervlaktes van 130 m² en 250 m² worden met elkaar vergeleken,
- Impact van het brandscenario: het vermogen van de tweepersoonszetel (vergelijkbaar met een medium α^2 brand met piekvermogen van ongeveer 800 kW, zie Figuur 7) wordt vergeleken met een 'fast' α^2 brand met hetzelfde piekvermogen (800 kW),
- Impact van RWA-systeem: het (constante) volumedebiet wordt hierbij vastgelegd op ongeveer 10 luchtverversingen per uur.
- Impact van een ventilatiesysteem: de aanwezigheid van een ventilatiesysteem kan een grote invloed hebben op de rookverspreiding. Er zijn verschillende mogelijke systemen, waarvan er enkele als representatief zijn meegenomen in de analyse.

Figuur 9 toont een overzicht van de verschillende bestudeerde configuraties om het effect van verschillende ventilatiesystemen te bestuderen:

- a) Toevoer- en afvoerkanalen die alle kamers, gemeenschappelijke ruimte en gang met elkaar verbinden;
- b) Toevoer- en afvoerkanalen die de gemeenschappelijke ruimte en gang met elkaar verbinden, maar afzonderlijke toevoer en afvoer voor de kamers;
- c) Toevoerkanalen die de gemeenschappelijke ruimte en gang met elkaar verbinden en afvoerkanalen die alle kamers, gemeenschappelijke ruimte en gang met elkaar verbinden, maar afzonderlijke luchttoevoer per kamer.

Voor deze configuraties zal het effect worden bestudeerd van de afmetingen van de kanalen. Die afmetingen bepalen, in combinatie met de opgelegde toevoer- en afvoerdebieten, de snelheden in de kanalen. Er zal ook worden bestudeerd wat het effect is op rookverspreiding wanneer de ventilatoren worden afgeschakeld.



Figuur 9 Verschillende configuraties om de impact van ventilatiesystemen te onderzoeken.

3 Conclusies

In dit hoofdstuk werd de volgende onderzoeksvraag beantwoord:

O2. *Wat is een set van representatieve settings als basis voor de structuur van een beoordelingskader?*

De analyse van de scenario's wordt gegeven in hoofdstuk 6.

Hoofdstuk 4

Analyse van brandproeven op ware grootte

1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een antwoord gezocht op onderzoeksvraag O3: *Wat kan geleerd worden van de resultaten van brandproeven op ware grootte?*

Hierbij wordt vertrokken van de analyses zoals voorgesteld in (1). Een belangrijke toegevoegde waarde betreft de ondersteuning van de analyse van de recente brandproeven van (1) met behulp van CFD (Computational Fluid Dynamics). De meetresultaten van de brandproeven dienen ter validatie van de CFD-berekeningen, terwijl de resultaten van de CFD-berekeningen bijkomende informatie opleveren om de meetgegevens van de brandproeven te interpreteren.

In dit hoofdstuk wordt eerst het CFD-pakket FDS, versie 6.7.5 (6) kort beschreven. Vervolgens worden de basisveronderstellingen weergegeven, alvorens in te gaan op de analyse van de verschillende brandproeven van (1).

In overeenstemming met (3) wordt hier gewerkt met een uniform rekenrooster met cellen van $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$. Het is van belang om op te merken dat er geen grondige gevoeligheidsstudie werd uitgevoerd om in te schatten in welke mate de CFD-resultaten afhangen van het rekenrooster in deze studie. Daarom moeten alle resultaten met de nodige omzichtigheid worden geïnterpreteerd en kunnen niet alle resultaten als kwantitatief bijzonder nauwkeurig worden beschouwd. De meetresultaten van de brandproeven van (1) laten wel toe om in te schatten dat de CFD-resultaten kwalitatief betrouwbaar zijn. De CFD-instellingen, en in het bijzonder de afmetingen van de roostercellen, mogen niet worden beschouwd als 'best practice' in het algemeen. Ze werden hier gekozen als compromis tussen reken-tijden enerzijds en nauwkeurigheid anderzijds.

2 Fire Dynamics Simulator

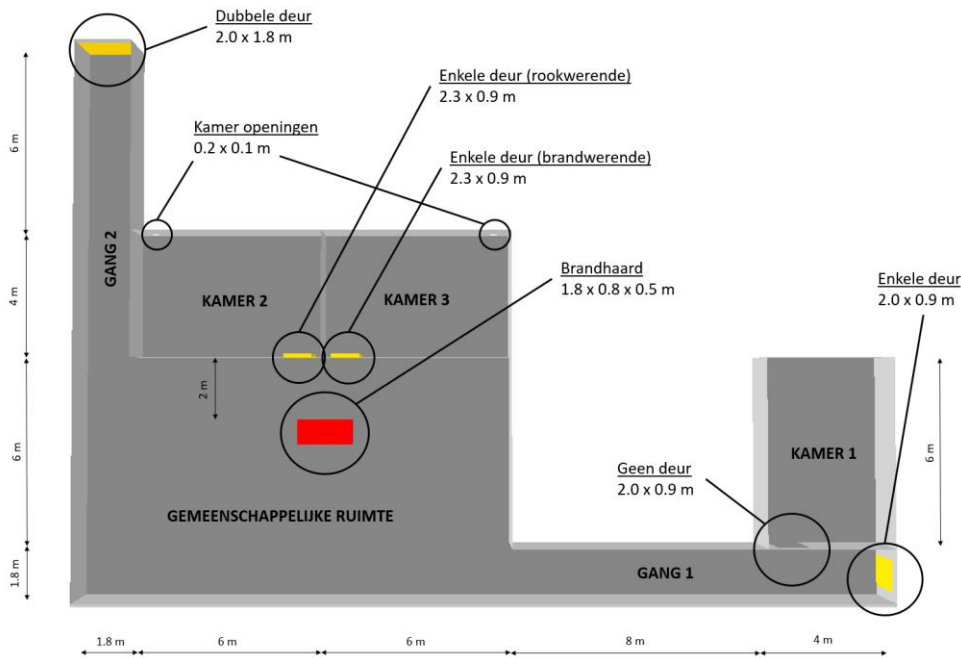
Fire Dynamics Simulator (FDS), ontwikkeld door NIST (National Institute of Standards and Technology), werd gekozen om de CFD-berekeningen (CFD: Computational Fluid Dynamics) uit te voeren (6). FDS is het meest gebruikte CFD-pakket om brandgerelateerde stromingen te berekenen, zowel in de praktijk als in onderzoeksmiddelen, en is uitgebreid gevalideerd. De software lost numeriek een LES-formulering (LES: Large-Eddy Simulation) van de Navier-Stokes-vergelijkingen op (8). De meest recente versie, FDS 6.7.5, wordt gebruikt, in combinatie met Smokeview (SMV) om de resultaten weer te geven.

3 Basisveronderstellingen

Wanneer CFD-berekeningen worden opgezet om brandproeven te simuleren en bijkomende scenario's te analyseren, moeten verschillende aannames en vereenvoudigingen worden ingevoerd. Binnen de context van de huidige studie worden de standaardinstellingen van FDS 6.7.5 gebruikt (6), tenzij expliciet anders vermeld. Bijkomende veronderstellingen en randvoorwaarden worden beschreven waar nodig bij de bespreking van elk scenario.

4 Beschrijving van de opstelling

De referentieproeven, uitgevoerd in WFRGent NV in 2020 (1) bestaan uit een compartiment op ware grootte, samengesteld uit een gemeenschappelijke ruimte, drie aangrenzende kamers en twee gangen. De beschrijving werd gegeven in paragraaf 2.1 van Hoofdstuk 3. De brandhaard (tweepersoonszetel) werd op een afstand van ongeveer 2 m van de deuren van de twee aangrenzende kamers geplaatst. Figuur 10 geeft een schematische weergave van het compartiment in de brandproef, alsook hoe het gemodelleerd wordt in FDS. De figuur toont de belangrijkste afmetingen en karakteristieken van de configuratie.

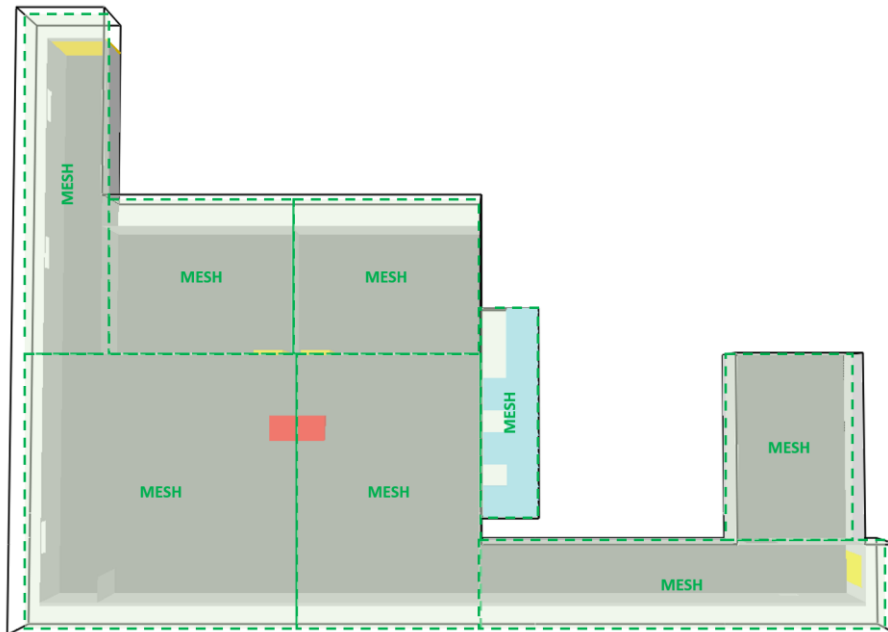


Figuur 10 Afmetingen en configuratie van het compartiment van de brandproef (SmokeView weergave).

Om CFD-berekeningen uit te voeren, wordt het rekendomein onderverdeeld in kleine volumes ('cellen'), die samen het rekenrooster vormen. In FDS gebeurt dit met het &MESH commando. Zoals reeds vermeld wordt, in overeenstemming met (3), gewerkt met een uniform rekenrooster met cellen van $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$. Er wordt nogmaals op gewezen dat er geen grondige gevoeligheidsstudie werd uitgevoerd om in te schatten in welke mate de CFD-resultaten afhangen van het rekenrooster in deze studie. Daarom moeten alle resultaten met de nodige omzichtigheid worden geïnterpreteerd en kunnen niet alle resultaten als kwantitatief bijzonder nauwkeurig worden beschouwd. De CFD-instellingen, en in het bijzonder de afmetingen van de roostercellen, mogen niet worden beschouwd als 'best practice' in het algemeen. Ze werden hier gekozen als compromis tussen rekentijden enerzijds en nauwkeurigheid anderzijds. Anderzijds laten de meetresultaten van de brandproeven van (1) wel toe om in te schatten dat de CFD-resultaten kwalitatief betrouwbaar zijn en ook kwantitatief goede overeenkomsten vertonen voor de onderzochte parameters, mits nauwkeurige informatie omtrent opgelegde HRR en ventilatie-debietten.

Afhankelijk van de specifieke simulatie werd het rekendomein onderverdeeld in maximaal 8 roosters, zoals getoond in Figuur 11:

- 2 roosters voor de gemeenschappelijke ruimte,
- 1 rooster per kamer (Kamer 1, Kamer 2, and Kamer 3),
- 1 rooster per gang (Gang 1 and Gang 2),
- 1 rooster voor het RWA-systeem en kanaal.



Figuur 11 Rekendomein en rekenroosters.

De verschillende ruimtes waren niet helemaal luchtdicht en er zijn lekopeningen tussen de verschillende zones. In FDS werd dit geïmplementeerd als 'localised leakage' (8) op specifieke plaatsen, gebruikmakend van de commando's &VENT en &HVAC:

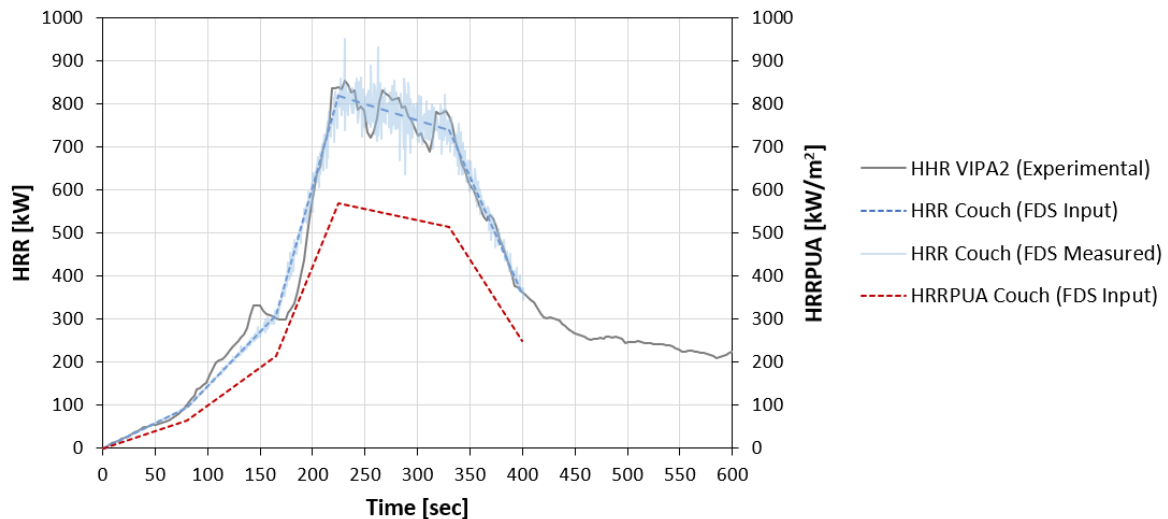
- Lokale lekopeningen aan de deuren worden gemodelleerd bovenaan of onderaan (bovenste, respectievelijk onderste) elke deur. [De simulaties in dit hoofdstuk werden uitgevoerd met de lekopeningen bovenaan de deur, maar dit bleek een te conservatieve benadering die leidt tot een overschatting van het lekdebiet in functie van de tijd, in vergelijking met de meer realistische inschatting dat de grootste lekopening zich onderaan de deur bevindt. Daarom werd door de stuurgroep beslist om de lokale lekopening voor de simulaties zoals besproken in de volgende hoofdstukken, onderaan te plaatsen.] Strooming van warmte doorheen de lekopeningen wordt in rekening gebracht: LEAK_ENTHALPY=.TRUE.. De oppervlaktes werden als volgt geschat, op basis van in situ metingen (1):
 - Kamer 2: rookwerende deur: 3 cm²
 - Kamer 3: brandwerende deur: 72 cm²
 - Gang 1: enkelvoudige deur: 69 cm²
 - Gang 2: dubbele deur: 49 cm²
- Lokale lekopening voor het globale compartiment, inclusief de gemeenschappelijke ruimte, werd gemodelleerd langsheen de wand van de gemeenschappelijke ruimte, rechtover Kamer 2 en Kamer 3. Strooming van warmte doorheen de lekopening wordt in rekening gebracht: LEAK_ENTHALPY=.TRUE.. De lekoppervlakt werd op 269 cm² geschat (1).

Het is belangrijk om te benadrukken dat de lokale lekopeningen, zoals geïmplementeerd in FDS, constant worden verondersteld, met de waarden zoals hierboven beschreven, bepaald op basis van de the ISO 9972:2015 'blower door tests' (9) zoals beschreven in (1). Deze proeven gebeuren typisch met een drukverschil van 50 Pa en worden hier dus verondersteld niet te wijzigen als gevolg van drukverschillen in de brandproeven.

Om de stroming doorheen de lekopeningen en desgevallend andere openingen goed weer te geven, werd het rekendomein met 1 m uitgebreid aan de buitenzijde van de openingen (deuren, lekopeningen en openingen in de muren), zoals getoond in Figuur 11. Aan deze randoppervlakken van het rekendomein wordt de omgevingstoestand opgelegd door 'open' openingen te definiëren (&VENT SURF_ID='OPEN').

De definitie van de brandhaard is van groot belang en heeft een aanzienlijke invloed op de resultaten. In de verschillende brandproeven wordt in principe dezelfde tweepersoonszetel gebruikt als brandhaard (1). Het brandvermogen (HRR: Heat Release Rate) werd opgemeten in WFRGent NV onder een calorimetriekap, zoals eerder beschreven. In de CFD-berekeningen wordt de zetel gemodelleerd als een blok van 1.8 m x 0.8 m x 0.5 m (&OBST), waarvan het bovenste oppervlak (&SURF) brandbaar is (dus op een hoogte van 0.5 m). De zijoppervlakken van het blok zijn inert ('INERT'). Als brandstof wordt gewerkte met 'propan' (FUEL='PROPANE'), maar met een artificieel verhoogde roetopbrengst van 0.1 kg roet per kg brandstof (SOOT_YIELD = 0.1). Voor een eenvoud wordt geen pyrolysemodel gebruikt om vlamuitbreiding over de zetel te simuleren. De gebruikte instellingen zijn een sterke vereenvoudiging van de werkelijkheid, maar laten wel toe om op relatief betrouwbare manier druk, temperatuur en stroming weer te geven, uitgaande van een opgelegde HRR. Figuur 12 toont de evoluties van de opgemeten HRR onder de calorimetriekap, de HRR zoals opgelegd in FDS (gebaseerd op de HRR per oppervlakte-eenheid, HRRPUA: Heat Release Rate Per Unit Area, zoals getoond in de rode lijn) en de HRR zoals 'gemeten' in één van de CFD-berekeningen. Dit laatste is dus de grootte zoals bekomen als output van de berekeningen en staat dat de input correct is opgelegd, met een constante oppervlakte van de brandhaard (1.8 m x 0.8 m), met gebruik van het commando &RAMP (op basis van een lineaire interpolatie tussen punten):

- $t(\text{tijd}) = 0 \text{ s}$, $\text{HRRPUA} = 0.00 \text{ kW/m}^2$
- $t = 80 \text{ s}$, $\text{HRRPUA} = 65.97 \text{ kW/m}^2$
- $t = 165 \text{ s}$, $\text{HRRPUA} = 215.28 \text{ kW/m}^2$
- $t = 225 \text{ s}$, $\text{HRRPUA} = 569.44 \text{ kW/m}^2$
- $t = 330 \text{ s}$, $\text{HRRPUA} = 513.89 \text{ kW/m}^2$
- $t = 400 \text{ s}$, $\text{HRRPUA} = 250.00 \text{ kW/m}^2$



Figuur 12 Experimenteel opgemeten HRR onder de calorimetriekap, HRRPUA, opgelegde en opgemeten HRR in de CFD-berekeningen als functie van de tijd.

De simulaties worden gestopt na 400 s (&TIME T_END = 400), omdat de HRR dan is teruggevallen op de helft van de piekwaarde. Op die manier wordt tijd uitgespaard in de simulaties, door geen aandacht te besteden aan een periode waarin de rookproductie en rookverspreiding minder sterk worden, als gevolg van een minder sterke brand. Bovendien zijn de eerste minuten de belangrijkste wanneer life safety/evacuatie het primaire doel is.

Er wordt evenwel opnieuw op gewezen dat in de effectieve brandproeven het verloop van de HRR onvermijdelijk anders zal zijn dan opgemeten onder de kap, omwille van de volgende redenen:

1. Verschil in aanwezigheid van zuurstof: bij gebrek aan zuurstof kan de brand ondergeventileerd worden, terwijl er bij de proef onder de kap altijd voldoende zuurstof aanwezig is. In geval van ondergeventileerde brand kan een actief RWA-systeem extra zuurstof aanbrengen en de brand aanwakkeren. Bij een overgeventileerde brand zal de extra lucht, gecombineerd met de afvoer van warme rook, evenwel een koelend (en dus vertragend) effect hebben op de brand bij een geactiveerd RWA-systeem.
2. Verschil in warmteoverdracht naar de brandende zetel: er is mogelijks extra warmteoverdracht vanwege de rooklaag en het plafond, maar er kan ook een koelend effect zijn door afzuiging van warme rook en aanvoer van koude lucht door een RWA-systeem (bij een overgeventileerde brand), en vanzelfsprekend is er een sterk koelend effect bij activering van het sprinklersysteem.

Het feit dat het juiste verloop van het brandvermogen (HRR) in functie van de tijd niet gekend is, is een belangrijke bron van onzekerheid voor de validatie van de CFD-berekeningen. Hier wordt verder op teruggekomen. Deze bedenking is a fortiori van kracht voor brandproeven met activering van het sprinklersysteem: er is geen informatie voorhanden betreffende het verloop van de HRR in dat geval. Daarom werd, in overleg met de stuurgroep, besloten om Test 5 van (1), waarin een RWA-systeem werd gecombineerd met een geactiveerd sprinklersysteem, niet op te nemen in de serie van CFD-berekeningen in de huidige studie.

De begintemperatuur en omgevingstemperatuur worden vastgelegd op 15 °C in de CFD-berekeningen (&MISC TMPA = 15.0).

Overeenkomstig de configuratie en de informatie uit (1) worden de wanden, plafond, vloer, kanalen, openingen en andere elementen als volgt in FDS gemodelleerd:

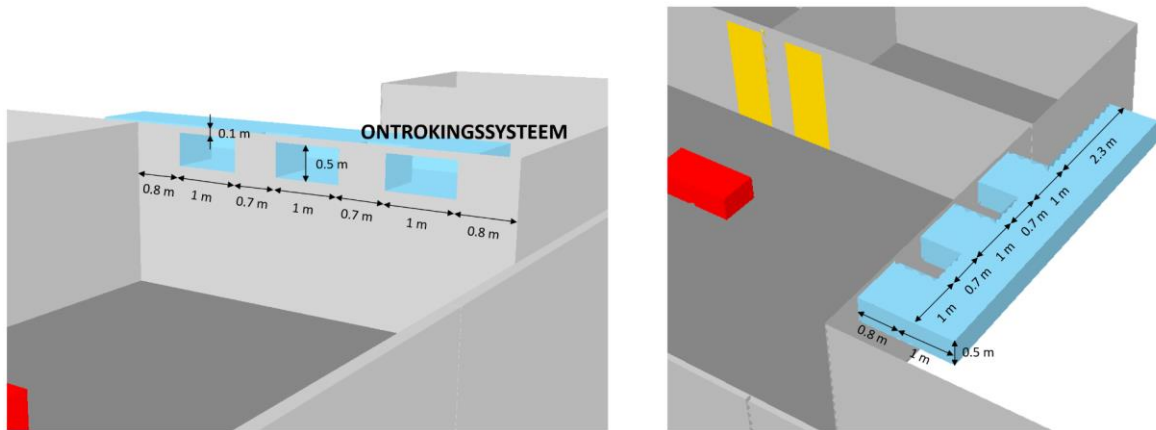
- Elementen worden gemodelleerd als obstakels (commando &OBST) met specifieke geometrieën en plaatsen. Elk element wordt ook gekoppeld aan zekere oppervlakte-eigenschappen middels het commando &SURF:
 - Plafond: calcium-silicaat plaat (1 cm) en lichtgewicht beton (15 cm),
 - Wanden: calcium-silicaat plaat (1 cm aan beide zijden) en lichtgewicht beton (15 cm),
 - Deuren: calcium-silicaat plaat (10 cm),
 - Vloer: lichtgewicht beton (15 cm),
 - RWA-kanaal: calcium-silicaat plaat (3 cm).
- Openingen worden gemodelleerd met het commando &HOLE:
 - Openingen voor natuurlijke ventilatie: plaats en afmeting hangt af van geval tot geval,
 - Kleine openingen in Kamer 2 en Kamer 3: één opening (0.2 m x 0.1 m) in de achterwand van elke kamer, in overeenstemming met de configuratie van de brandproeven (Figuur 10).

Met behulp van het commando &MATL werden de fysische en thermische materiaaleigenschappen van alle genoemde elementen gedefinieerd, als volgt:

- Lichtgewicht beton:
 - Massadichtheid: 600 kg/m³,
 - Thermische conductiecoëfficiënt: 0.19 W/(m.K),
 - Specifieke warmtecapaciteit: 0.84 kJ/(kg.K),
 - Emissiviteit: 0.90,
- Calcium-silicaat:
 - Massadichtheid: 900 kg/m³.
 - Thermische conductiecoëfficiënt: 0.175 W/(m.K).
 - Specifieke warmtecapaciteit: 0.80 kJ/(kg.K),
 - Emissiviteit: 0.80.

Wat betreft de actieve brandbeveiligingsmaatregelen werd het RWA-systeem en bijhorend kanaal vereenvoudigd gemodelleerd zoals getoond in Figuur 13, in overeenstemming met de volgende principes:

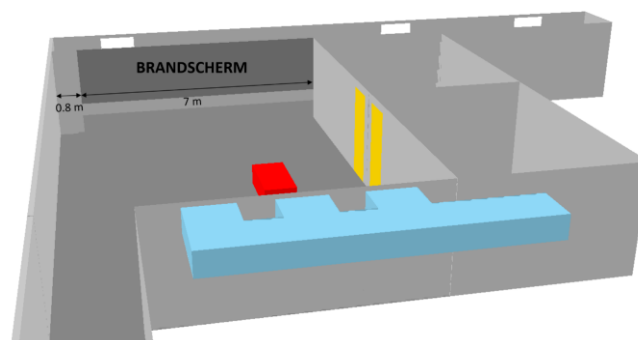
- RWA-openingen worden gemodelleerd als openingen doorheen de wand (commando &HOLE),
- Kanaalwanden worden gemodelleerd als obstakels (commando &OBST) met doorstroomoppervlakte 0.5 m² en materiaaleigenschappen zoals boven vermeld,
- RWA-afzuigventilator wordt gemodelleerd als een opening ('VENT') aan het uiteinde van het RWA-kanaal (0.5 m² oppervlakte). Op dit oppervlak worden verschillende extractiedebieten opgelegd (bepaald in termen van snelheid, &SURF VEL=### m/s), afhankelijk van geval tot geval,
- Het RWA-systeem wordt geactiveerd op een specifiek moment, door de FDS 'device setpoint functie' te gebruiken (&DEVC SETPOINT=### s, QUANTITY='TIME', INITIAL_STATE=.FALSE.).



Figuur 13 Detail van de modellering van het RWA-systeem (Test 2, Test 3 en Test 4).

Het is belangrijk om te benadrukken dat het RWA-systeem en de ventilator niet meer in detail konden worden gemodelleerd bij gebrek aan gedetailleerde (debiets)metingen tijdens de brandproeven zelf in (1). Hierdoor is het onmogelijk om systematisch ventilatorcurven op te leggen en een realistische inschatting te maken van de drukverliezen in de RWA-kanalen. **Het opleggen van een constant afzuigdebiet (snelheid of volumedebiet) is een sterke vereenvoudiging van de werkelijkheid. Bovendien is het niet mogelijk een heel nauwkeurige inschatting te maken van het effectieve afzuigdebiet in elk van de proeven van (1). Dit is een tweede belangrijke bron van onzekerheid voor de validatie van de CFD-berekeningen.** Hier wordt verder op teruggekomen. Deze onzekerheid is de reden waarom, in overleg met de stuurgroep, werd besloten om Test 4 van (1), waarin een variabel extractiedebiet werd opgelegd, afhankelijk van drukmetingen in de gemeenschappelijke ruimte, niet op te nemen in de serie van CFD-berekeningen in de huidige studie.

Het brandscherm (7 m breed) zoals gebruikt in sommige van de brandproeven van (1), wordt gemodelleerd als een obstakel (commando &OBST) met dezelfde eigenschappen als de wanden (Figuur 14). Ahankelijk van de simulatie werd het brandscherm op gelijkaardige wijze geactiveerd als het RWA-systeem, op een specifiek moment, door de FDS 'device setpoint functie' te gebruiken (&DEVC SETPOINT=### s, QUANTITY='TIME', INITIAL_STATE=.FALSE.)



Figuur 14 Detail van de modellering van het brandscherm (gedeeltelijk neergelaten in de figuur, zoals in Test 2 in (1)).

Tot slot worden, door gebruik te maken van het commando &DEVC, verschillende sensoren geplaatst doorheen het rekendomein om verschillende parameters 'op te meten' in de CFD-berekeningen. De sensoren worden geplaatst in overeenstemming met de instrumentatie van de brandproeven in (1). Extra sensoren werden geplaatst om bijkomende informatie te vergaren en een vollediger begrip te

ontwikkelen van de experimentele meetgegevens en de resultaten van de simulaties, maar de bespreking hiervan is niet relevant voor dit rapport.

Binnen het kader van de huidige studie werden de volgende sensoren gebruikt in de CFD-simulaties:

- Temperatuursensoren (&DEVC QUANTITY='TEMPERATURE'),
- Druksensoren (&DEVC QUANTITY='PRESSURE').

Bovenop de puntsensoren werden ook 'slice files' (commando &SLCF) gebruikt om bijkomende informatie te verschaffen rond verdelingen van verschillende parameters in vlakken in het rekendomein, meer in het bijzonder voor:

- Temperatuur (&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE'),
- Totale snelheid en snelheidscomponenten (&SLCF QUANTITY='VELOCITY'/'U-VELOCITY'/'V-VELOCITY'/'W-VELOCITY'),
- Druk (&SLCF QUANTITY='PRESSURE').

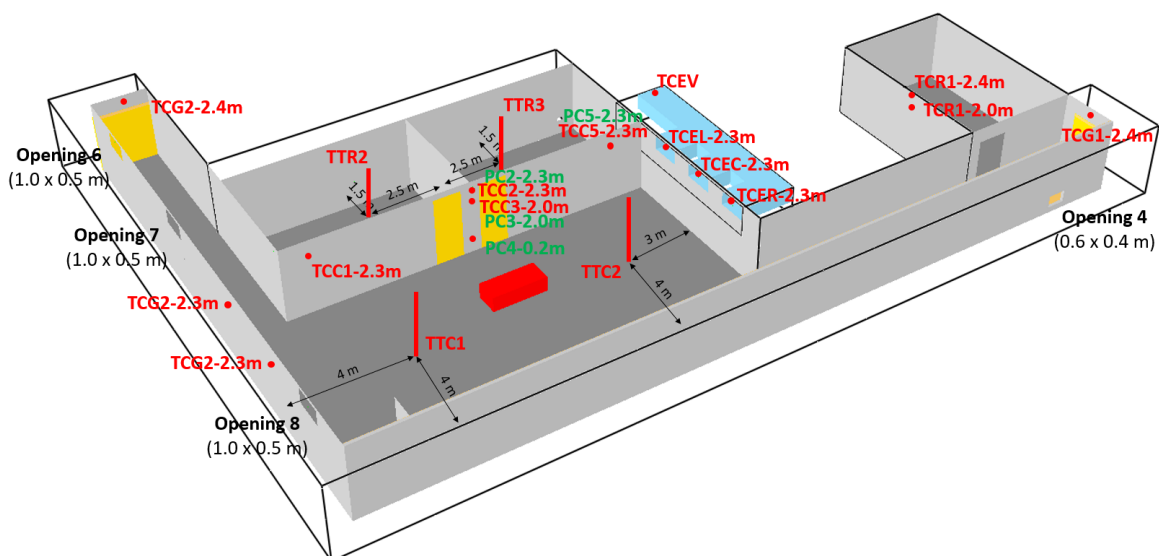
Voor de specifieke details en inputparameters zoals gebruikt in de CFD-berekeningen, wordt verwezen naar Appendix 1, waar de FDS inputfiles worden getoond. Zoals gesteld in de inleiding van dit hoofdstuk: de CFD-instellingen, en in het bijzonder de afmetingen van de roostercellen, mogen niet worden beschouwd als 'best practice' in het algemeen. Ze werden hier gekozen als compromis tussen rekentijden enerzijds en nauwkeurigheid anderzijds.

5 Analyse van de brandproeven van (1)

5.1 Test 2: Brandproef met constante rookextractie en een brandscherm tot op 1 m hoogte van de vloer

5.1.1 Beschrijving van de opstelling

De grootschalige brandproef die als eerste wordt geanalyseerd is 'Test 2' van (1). In deze brandproef is er een actief RWA-systeem met een rookextractie waarvan het debiet constant wordt verondersteld, en een brandscherm dat wordt neergelaten tot op een hoogte van 0.9 m van de vloer. Figuur 15 toont de voornaamste kenmerken van de configuratie, in overeenstemming met de brandproef in (1). De reden om in dit rapport eerst deze brandproef te bespreken is de onzekerheid in het verloop van het brandvermogen (HRR) in elke brandproef, zoals vermeld in hoofdstuk 3. Daarom wordt er gekozen voor een brandproef met extractie, omdat de temperatuursmetingen in het extractiekanaal toelaten een energiebalans in te schatten, op basis waarvan het verloop van de HRR tot op zekere hoogte kan worden gereconstrueerd. Voor 'Test 1' van (1) is zulks niet mogelijk. Daarbij moet wel de bedenking worden gemaakt dat er ook onzekerheid is m.b.t. het exacte extractiedebiet (zie ook hoofdstuk 3). Daarom wordt gestart met een brandproef waar het debiet op zich constant kan worden verondersteld (met een min of meer betrouwbare absolute waarde).



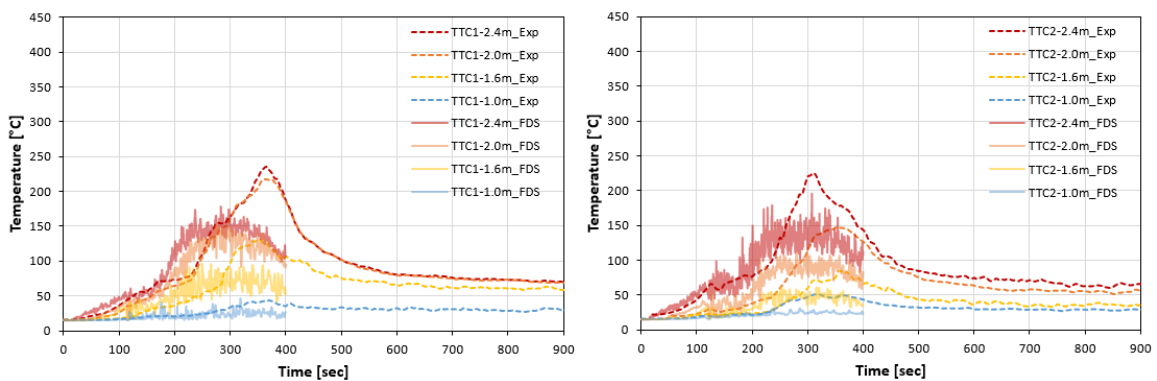
Figuur 15 Test 2 – Opstelling van de FDS Simulatie (m.b.v. SmokeView).

Het brandscherm wordt geactiveerd na 90 seconden en wordt dan verondersteld onmiddellijk te worden neergelaten tot een hoogte van 0.9 m van de vloer. Er zijn 3 extractie-openingen in de gemeenschappelijke ruimte (elk 1.0 m (breedte) x 0.5 m (hoogte)). Het RWA-systeem wordt geactiveerd na 110 seconden, met een constant extractiedebiet van $7 \text{ m}^3/\text{s}$. In de simulaties wordt de ventilator gemodelleerd als een VENT, met een oppervlakte van 0.5 m^2 en een opgelegde constante afzuigsnelheid van 14 m/s . Er worden 4 openingen voorzien voor de natuurlijke toevoer van lucht: 3 openingen van elk 1.0 m (breedte) x 0.5 m (hoogte) in Gang 2 en 1 opening van 0.6 m (breedte) x 0.4 m (hoogte) in Gang 1.

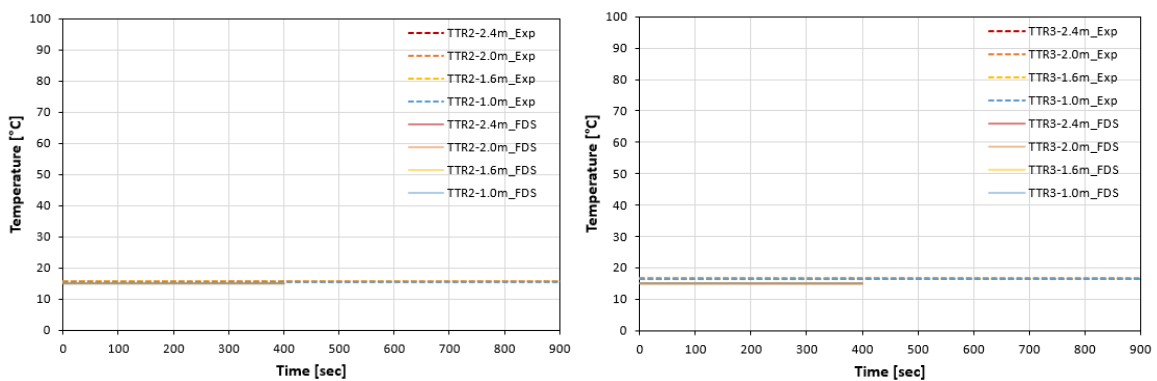
Figuur 15 toont ook de instrumentatie en sensoren van de brandproef. Deze werden ook in de simulaties aangebracht om een directe vergelijking toe te laten. Dit bestaat uit thermokoppels (TC) en thermokoppelbomen (TT): 4 TTs, waarvan 2 in de gemeenschappelijke ruimte (TTC1 en TTC2) en 1 in elke kamer (TTR2 en TTR3); 2 TCs in Kamer 1 (TCR1); 1 TC in Gang 1 (TCG1); 3 TCs in Gang 2 (TCG2); en 4 TCs in de gemeenschappelijke ruimte (TCC1, TCC2, TCC3, TCC5); 1 TC voor elke extractie-opening (TCEL, TCEC, TCER); en 1 TC in het extractiekanaal (TCEV). Tot slot werd de druk in de gemeenschappelijke ruimte gemeten op 4 verschillende posities en hoogtes (PC2, PC3, PC4, PC5).

5.1.2 Resultaten

Figuur 16 en Figuur 17 tonen de evolutie van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte, respectievelijk Kamer 2 en Kamer 3. 4 verschillende hoogtes (2.4 m, 2.0 m, 1.6 m en 1.0 m van de vloer) werden gekozen voor de vergelijking. De resultaten in Figuur 16 suggereren een te snelle temperatuurstijging in de simulaties (zichtbaar in een sterke stijging vanaf ongeveer 160 s in de simulaties, terwijl die sterke stijging in de brandproef pas zichtbaar wordt na ongeveer 230 s), gevolgd door een onderschatting van de maximumtemperatuur (ongeveer 150 °C in de simulaties, tegenover ongeveer 240 °C in de brandproef). Dit is een duidelijke aanwijzing dat het verloop van de HRR niet dezelfde is, m.a.w. de opgelegde HRR in de simulaties op basis van de brandproeven onder de kap lijkt niet dezelfde als de HRR zoals die optrad in Test 2. In Kamer 2 en Kamer 3 is geen temperatuurstijging te zien, noch in de experimenten, noch in de simulaties, dus dit wordt goed weergegeven (Figuur 17).

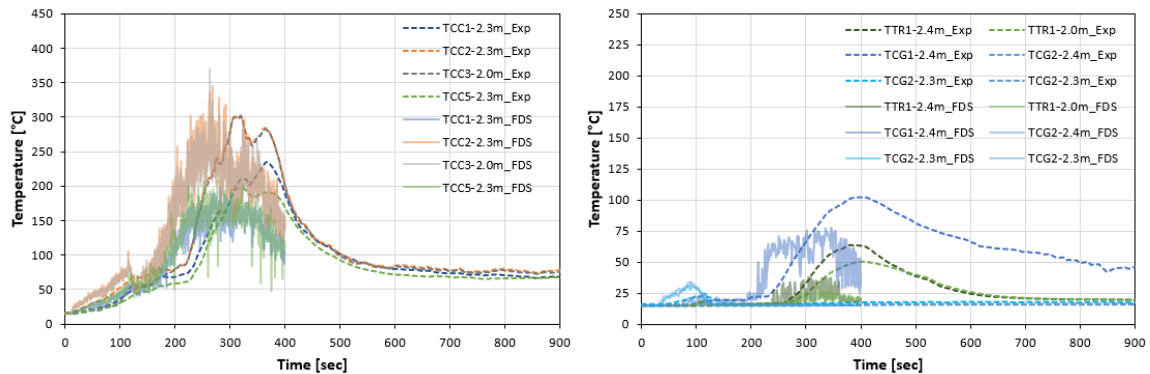


Figuur 16 Test 2 – Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte: TTC1 (links) en TTC2 (rechts).

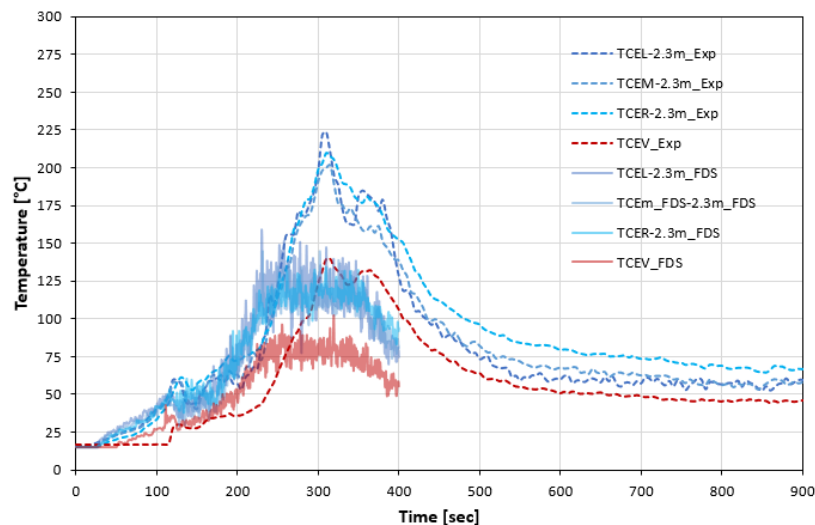


Figuur 17 Test 2 - Verloop van de temperaturen in Kamer 2 (links) en Kamer 3 (rechts).

De evolutie van de temperaturen zoals opgemeten in de thermokoppels in de gemeenschappelijke ruimte, gangen en Kamer 1 (Figuur 18), alsook in de extractie-Openingen en het extractiekanaal (Figuur 19) in de brandproef en de simulaties, is in lijn met de waarnemingen in Figuur 16: een te snelle stijging van de temperaturen in de CFD-simulaties, gevolgd door een globale onderschatting van de temperatuur. Dit bevestigt de hypothese van het verschil in HRR, als gevolg van de verschillende omstandigheden t.o.v. de brandproef onder de kap (opgelegde luchtstroming en warmteoverdracht vanwege de rooklaag en het plafond).

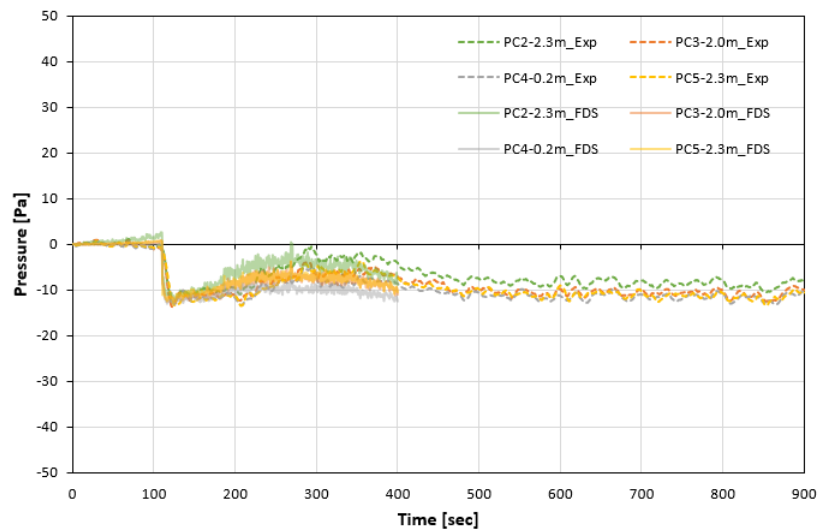


Figuur 18 Test 2 - Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte (links), alsook in de gangen en Kamer 1 (rechts).



Figuur 19 Test 2 – Verloop van de temperaturen in de extractie-Openingen en het extractiekanaal.

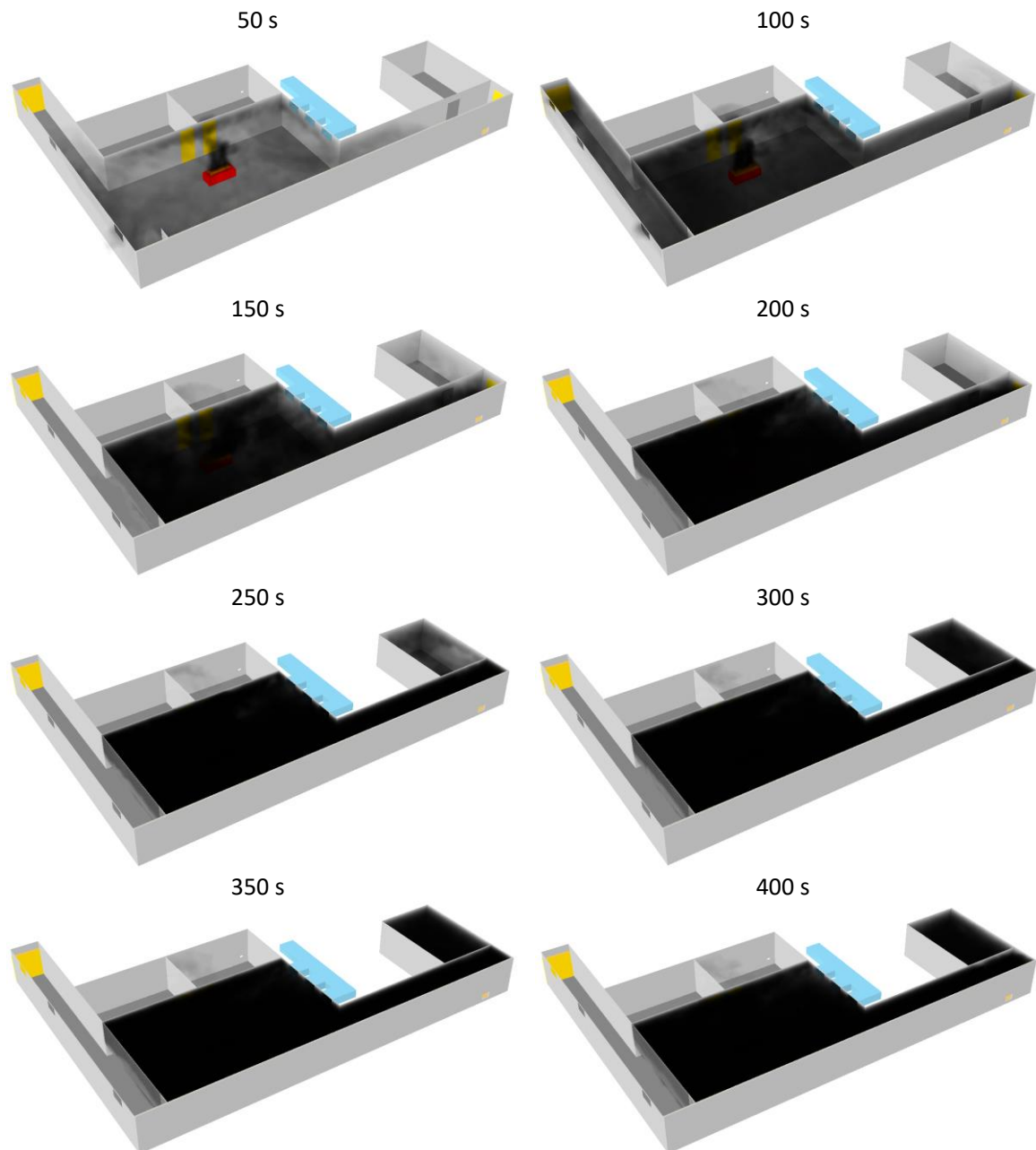
Ondanks de genoemde verschillen is de evolutie van de druk in de CFD-simulaties goed in overeenstemming met de metingen op verschillende locaties in de gemeenschappelijke ruimte (Figuur 20). Na activering van het RWA-systeem (na 110 s) wordt er een onderdruk gecreëerd van ongeveer 12 Pa en ook de tijdsevolutie nadien is heel gelijkaardig met de metingen. De reden is dat de onderdrukken beperkt zijn en het RWA-systeem een dominante rol vervult, zodat eventuele verschillen in HRR een relatief beperkte invloed hebben in dit geval. De HRR is ook nog relatief beperkt op moment van activeren van het RWA-systeem. De goede overeenkomst van de druk geeft wel aan dat het extractiedebiet redelijk goed wordt ingeschat, zodat het opgelegde extractiedebiet in de simulaties wellicht goed overeenkomt met de werkelijkheid in dit geval.



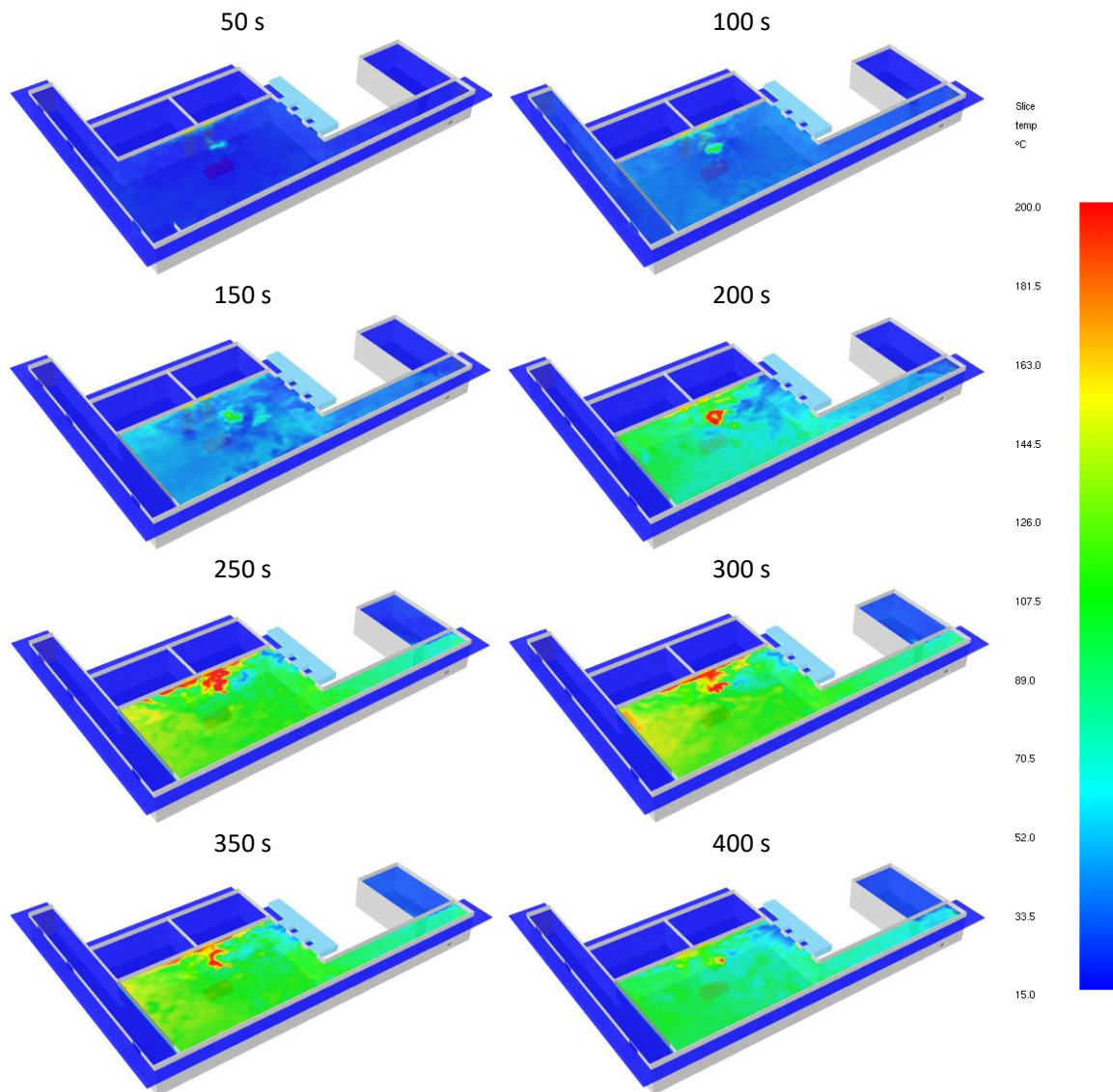
Figuur 20 Test 2 - Evolutie van de relatieve druk in de gemeenschappelijke ruimte.

De CFD-simulaties laten ook toe om de evolutie van de rook te visualiseren. Figuur 21 toont bijvoorbeeld momentopnames (met een interval van 50 s) van de rookverspreiding, zoals bekomen uit Smokeview. Er is heel goede overeenkomst met de bevindingen van Test 2 in (1): de combinatie van het brandscherm met RWA met het opgelegde extractiedebiet resulteert in het rookvrij houden van Gang 2, waardoor er een veilige evacuatie mogelijk is doorheen die gang. De gemeenschappelijke ruimte en Gang 1 (en Kamer 1, die daar zonder deur op uitgeeft), worden echter niet gevrijwaard. Dankzij de onderdruk in de gemeenschappelijke ruimte is er uiteindelijk geen rook in Kamer 2 en Kamer 3, zoals ook al mocht blijken uit de afwezigheid van een temperatuurstijging in die kamers (Figuur 21).

Uit de CFD-simulaties kan bijkomende informatie worden gehaald t.o.v. de metingen in (1). Figuur 22 toont bijvoorbeeld de temperatuursverdeling in een horizontaal vlak op hoogte 2.1 m (i.e., de minimum rookvrije hoogte zoals beschreven in hoofdstuk 2) op verschillende tijdstippen (met een interval van 50 s). Dergelijke 'slice files' kunnen ook gemaakt worden in verticale vlakken en voor verschillende parameters. In overeenstemming met de rookverspreiding wordt gezien dat de temperaturen stijgen in de gemeenschappelijke ruimte en Gang 1, maar dat het RWA-systeem erin slaagt om Gang 2, Kamer 2 en Kamer 3 te vrijwaren. [Er wordt opgemerkt dat er rook zichtbaar is in Kamer 1 in Figuur 21, maar door de inmenging van lucht is de temperatuur van de rook (ongeveer 24 °C) zo laag dat die niet zichtbaar is in Figuur 22.]



Figuur 21 Test 2 – Rookverspreiding op verschillende ogenblikken (SmokeView weergave).

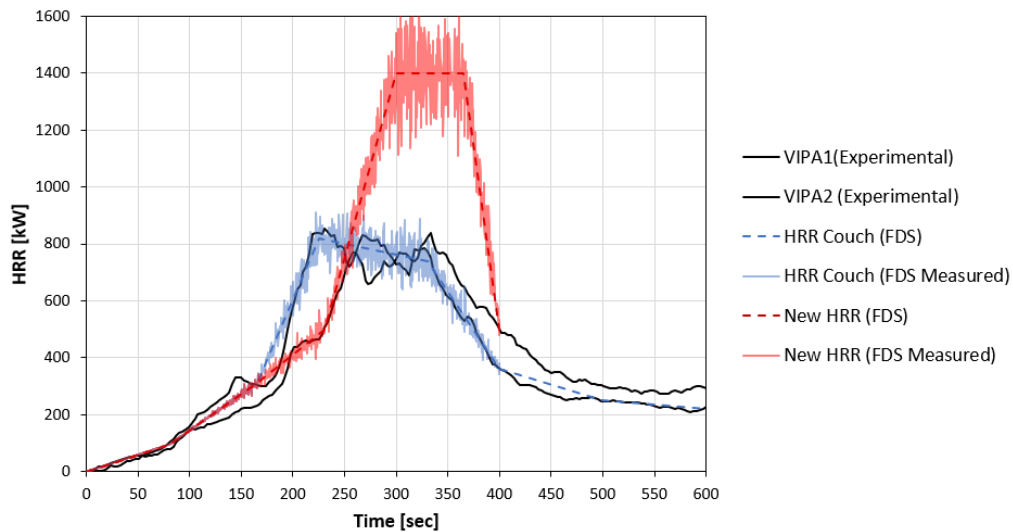


Figuur 22 Test 2 – Temperatuursverdeling in een horizontaal vlak op hoogte 2.1 m op verschillende ogenblikken (SmokeView weergave).

5.1.3 Verbeterde resultaten

De tot dusver besproken resultaten hebben getoond dat de overeenkomst tussen CFD-resultaten en metingen op vlak van temperatuursevolutie voor verbetering vatbaar is (Figuur 16, Figuur 18, Figuur 19). De hypothese dat hieraan kan worden verholpen via een aangepaste HRR, wordt hier getest. De aanpassing van de HRR gebeurt evenwel niet arbitrair: de opgemeten temperaturen in het extractiekanaal laten toe om, zo lang de warmteverliezen beperkt blijven, een inschatting te maken van de HRR. De HRR wordt dan immers als warmte doorgegeven aan de warme rookgassen, zodat het product van het massadebiet van de rookgassen (dat kan worden ingeschat op basis van het opgelegde extractiedebiet en de opgemeten temperatuur), de specifieke warmte (ongeveer $1\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$) en de temperatuurstijging, ongeveer gelijk moet zijn aan de HRR (met een tijdsvertraging als gevolg van de transporttijd van de rookgassen). Deze redenering werd gebruikt om tot een aangepaste evolutie van de HRR te komen, die vervolgens werd opgelegd in de CFD-simulaties. Dit leidt tot onderstaande resultaten, die 'verbeterde resultaten' worden genoemd, omwille van de globaal veel betere overeenkomst tussen de CFD-simulaties en de metingen. Figuur 23 toont dat het verschil in HRR aanzienlijk is, met onder meer

een tragere stijging en een aanzienlijk hogere maximumwaarde. In principe moet de oppervlakte onder elke curve dezelfde zijn, met name de totale brandbelasting (energie-inhoud) van de zetel. Behalve de verschillende HRR worden alle andere instellingen in de CFD-berekeningen ongewijzigd behouden.

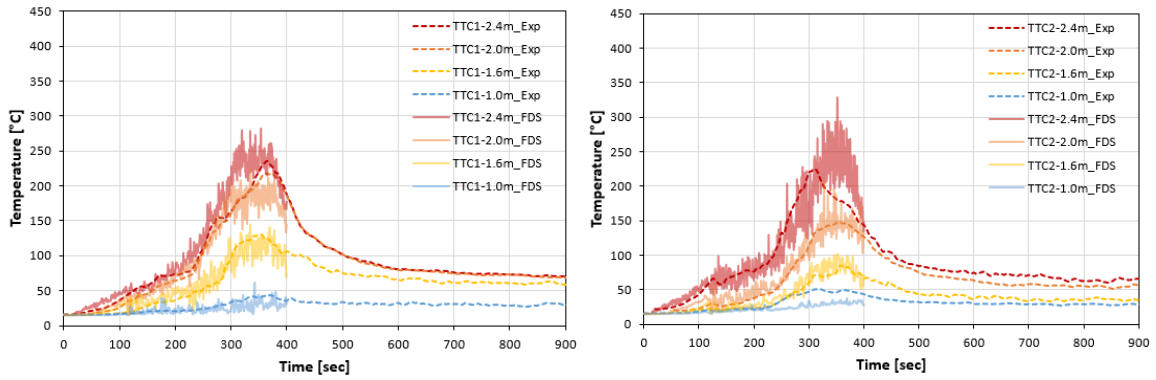


Figuur 23 Vergelijking tussen de HRR zoals opgemeten onder de kap (VIPA1 en VIPA2), zoals initieel opgelegd in de CFD-simulaties (HRR Couch) en zoals ingeschat op basis van de energiebalans op basis van de temperatuursmetingen in het extractiekanaal ('New HRR'). De curven 'FDS measured' tonen aan dat de opgelegde HRR bevestigd wordt in de CFD-simulaties.

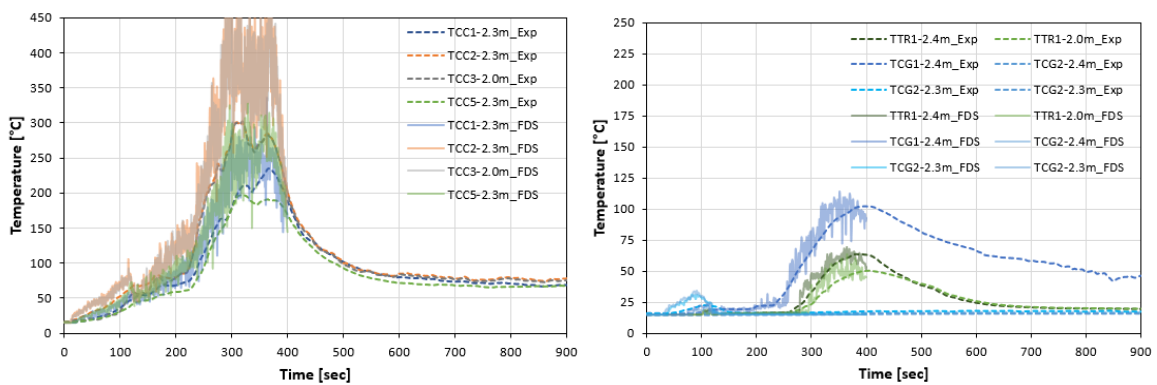
Kwantitatief wordt de nieuwe HRR, met dezelfde constante oppervlakte, opgelegd met het &RAMP-commando voor de Heat Release Rate Per Unit Area (HRRPUA):

- time = 0 s, HRRPUA = 0.00 kW/m²
- time = 80 s, HRRPUA = 65.97 kW/m²
- time = 165 s, HRRPUA = 215.28 kW/m²
- time = 230 s, HRRPUA = 347.22 kW/m²
- time = 300 s, HRRPUA = 972.22 kW/m²
- time = 365 s, HRRPUA = 972.22 kW/m²
- time = 400 s, HRRPUA = 347.22 kW/m²

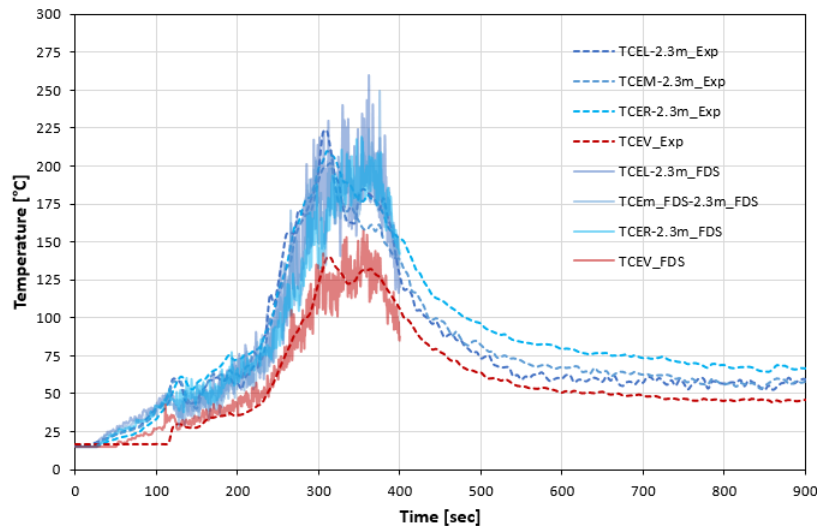
Figuur 24, Figuur 25, Figuur 26 en Figuur 27 tonen de nieuwe evoluties van temperaturen en drukken. Globaal wordt nu een veel betere overeenkomst behaald, zowel in termen van absolute waarden als op vlak van evoluties in de tijd. De uitstekende overeenkomst in Figuur 26 is niet toevallig, omdat dit als uitgangspunt werd gebruikt om de HRR in te schatten. De evolutie van de druk (Figuur 27) wordt nauwelijks beïnvloed door de gewijzigde HRR, hetgeen de hypothese bevestigt dat het drukverloop voornamelijk wordt bepaald door het RWA-systeem in dit geval.



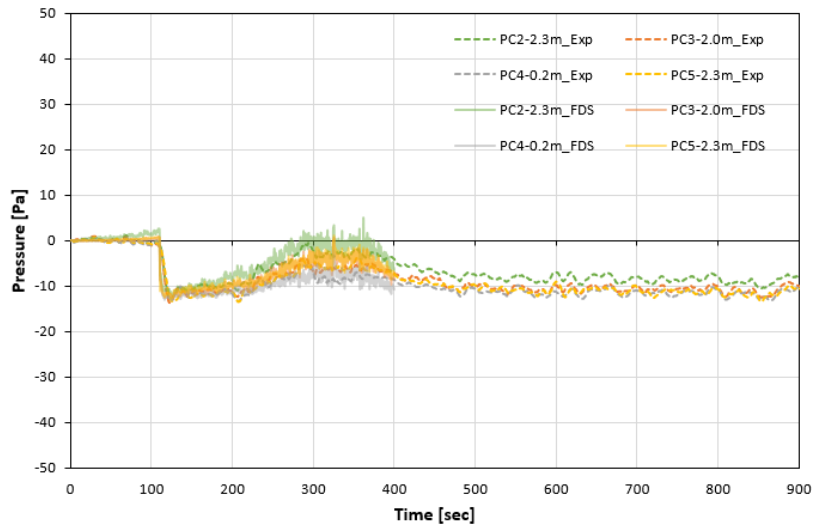
Figuur 24 Test 2 (verbeterde resultaten) – Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte: TTC1 (links) en TTC2 (rechts).



Figuur 25 Test 2 (verbeterde resultaten) - Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte (links), alsook in de gangen en Kamer 1 (rechts).



Figuur 26 Test 2 (verbeterde resultaten) – Verloop van de temperaturen in de extractie-openingen en het extractiekanaal.



Figuur 27 Test 2 (verbeterde resultaten) - Evolutie van de relatieve druk in de gemeenschappelijke ruimte.

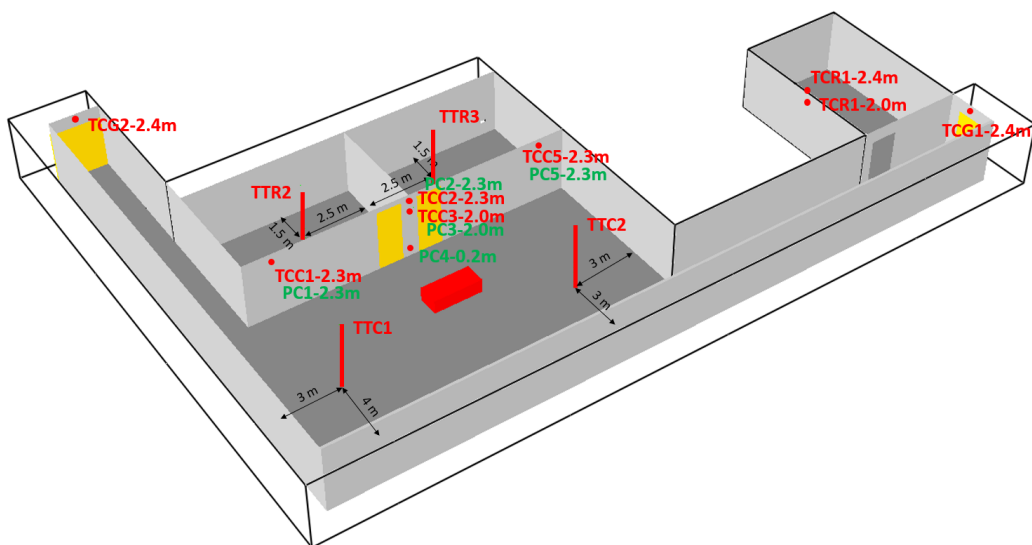
5.1.4 Conclusie

Mits een correcte inschatting van de HRR en het extractiedebiet zijn de resultaten van de CFD-simulaties heel goed in overeenstemming met de metingen van de brandproef. Dit toont aan dat de CFD-simulaties betrouwbaar zijn met de gehanteerde instellingen. Bovendien geven de CFD-simulaties bijkomende inzichten in de rookverspreiding.

5.2 Test 1: brandproef zonder ventilatie

5.2.1 Beschrijving van de opstelling

In Test 1 van (1) wordt geen enkele brandbeveiligingsmaatregel geïnstalleerd. Figuur 28 toont de configuratie. De naamgeving van de instrumentatie werd in de vorige paragraaf uitgelegd.

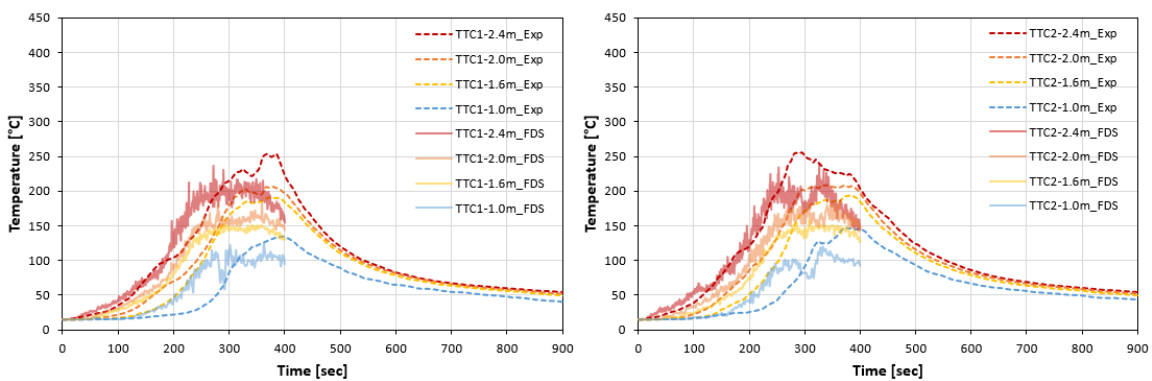


Figuur 28 Test 1 – Opstelling van de FDS Simulatie (m.b.v. SmokeView).

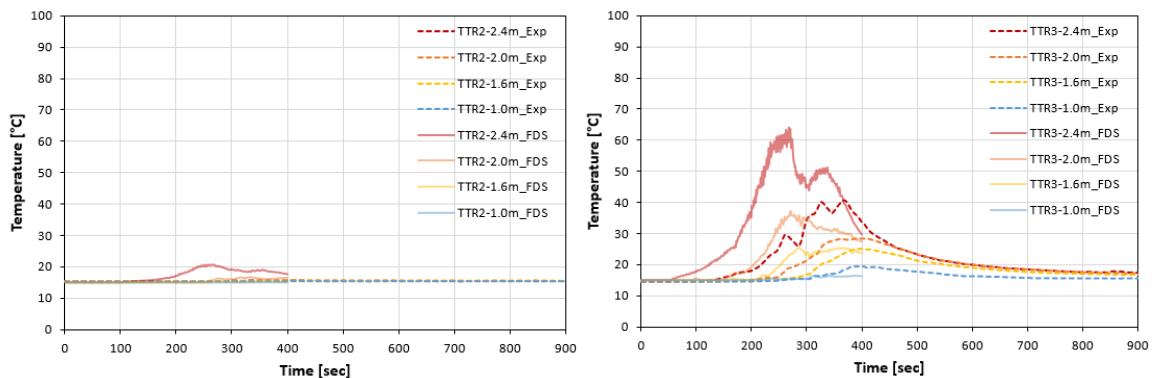
Tijdens de brandproef werd de deur aan het einde van Gang 2 gedurende 30 seconden geopend (tussen 270 s en 300 s). Gezien het belang hiervan op het drukverloop, werd dit ook gemodelleerd in de CFD-simulaties, door de helft van de dubbele deur tijdelijk te verwijderen.

5.2.2 Resultaten

Figuur 29 en Figuur 30 tonen de temperatuursevoluties aan de thermokoppelbomen in de gemeenschappelijke ruimte, respectievelijk Kamer 2 en Kamer 3. De overeenkomst met de metingen is redelijk goed in Figuur 29, al worden de maximumtemperaturen onderschat. Zoals in de vorige paragraaf uitgelegd, is er onzekerheid m.b.t. de HRR die de verschillen kan verklaren. De invloed van het openen van de deur op het einde van Gang 2 (plateau in temperatuursevolutie na 270 s) is zichtbaar. De temperaturen in Kamer 2 (met de rookwerende deur) en Kamer 3 (met de brandwerende deur) blijken echter ernstig overschat in de CFD-simulaties (Figuur 30). Dit is een direct gevolg van het plaatsen van de lokale lekopeningen bovenaan de deur (zie paragraaf 4 in hoofdstuk 2), want de overeenkomst met de waarnemingen is beter met de lokale lekopeningen onderaan de deur, met een beperkte onderschatting van de rookverspreiding en de temperaturen in Kamer 2 en Kamer 3 (niet getoond hier). Daarom werd, in overleg met de stuurgroep, beslist om de lekopening voor de bijkomende simulaties (Hoofdstuk 5) onderaan de deuropening te plaatsen.

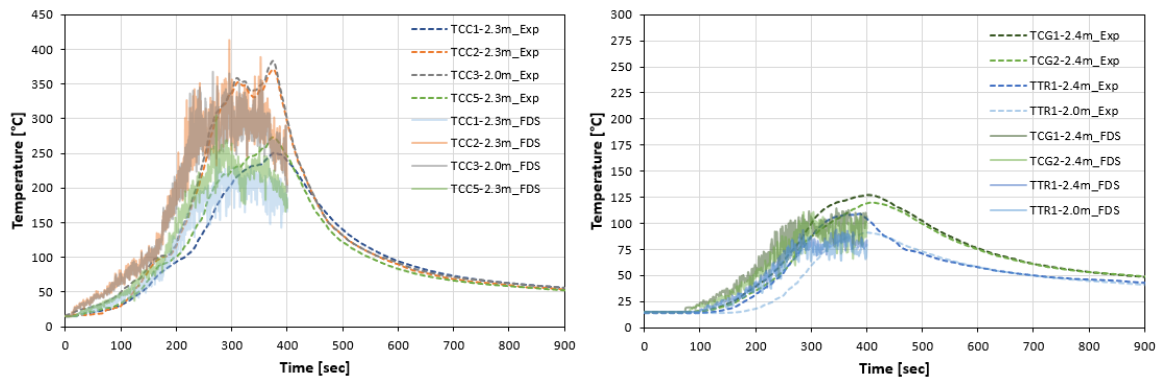


Figuur 29 Test 1 – Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte: TTC1 (links) en TTC2 (rechts).



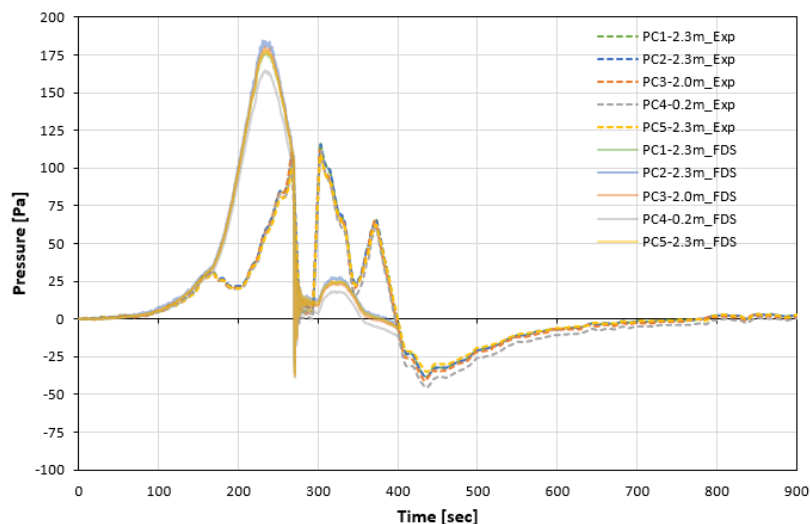
Figuur 30 Test 1 - Verloop van de temperaturen in Kamer 2 (links) en Kamer 3 (rechts).

Figuur 31 toont gelijkaardige trends voor de thermokoppels in de gemeenschappelijke ruimte, gangen en Kamer 1. De maximumtemperaturen worden opnieuw onderschat, hetgeen opnieuw een rechtstreeks gevolg is van de opgelegde HRR.



Figuur 31 Test 1 - Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte (links), alsook in de gangen en Kamer 1 (rechts).

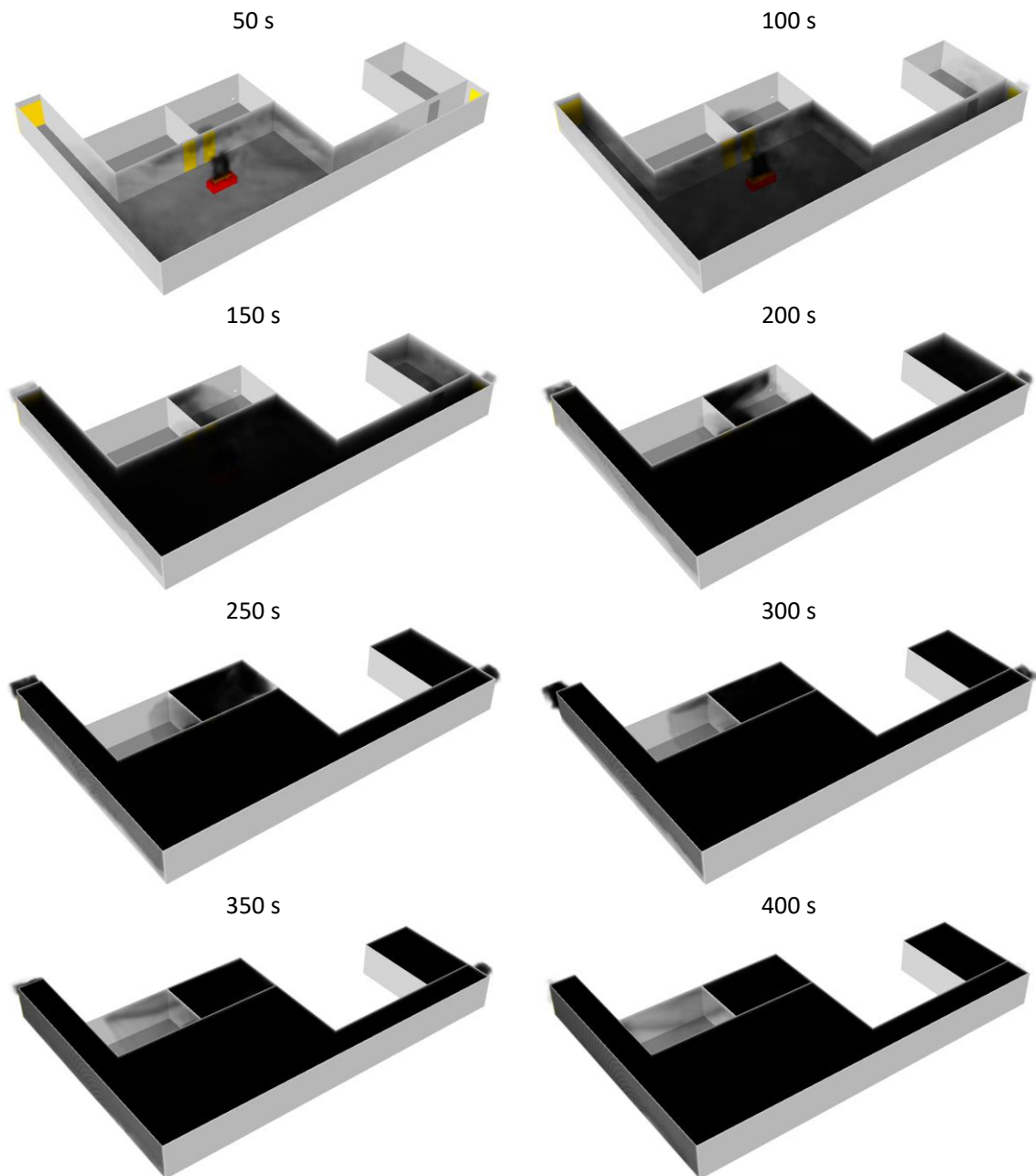
Door de afwezigheid van een RWA-systeem is de HRR nu ook heel dominant bepalend voor het drukverloop. Ook de exacte oppervlakte van de lekopeningen is nu cruciaal, omdat er nu geen ander dominante toevoer- of extractiedebieten zijn. Dit vertaalt zich in grote gevoeligheden en onzekerheden in het drukverloop, zoals getoond in Figuur 32. Grote verschillen zijn zichtbaar tussen de resultaten uit de CFD-simulaties en de metingen, maar kwalitatief wordt wel een correct verloop gevonden. Gedurende de groeifase van de brand (tot ca. 160 s) is het drukverloop zelfs nagenoeg identiek. Nadien treden verschillen op in absolute waarde, als gevolg van verschillen in de HRR. Het drukverloop in de CFD-simulaties volgt alvast de opgelegde HRR (Figuur 12) goed, monotoon oplopend tot ca. 230 s en nadien dalend. De plotse drukval als gevolg van het openen van de deur (tussen 270 s en 300 s) is heel goed zichtbaar. Na het sluiten van de deur loopt de druk in de CFD-simulaties veel minder hoog op dan in de experimenten (waar zelfs een derde piek zichtbaar is na ongeveer 370 s). Dit is opnieuw het gevolg van aanzienlijke verschillen in HRR. Geruststellend in de resultaten is wel dat de grootteorde van de drukwaarden correct is.



Figuur 32 Test 1 - Evolutie van de relatieve druk in de gemeenschappelijke ruimte.

Figuur 33 toont opnieuw momentopnames (met een interval van 50 s) van de rookverspreiding, zoals bekomen uit Smokeview. Door de afwezigheid van brandbeveiligingsmaatregelen is de rookverspreiding snel naar alle ruimten die niet met een deur gescheiden zijn van de brandhaard. In tegenstelling tot de situatie met een actief RWA-systeem (zie paragraaf 5.1) leidt de overdruk in de gemeenschappelijke

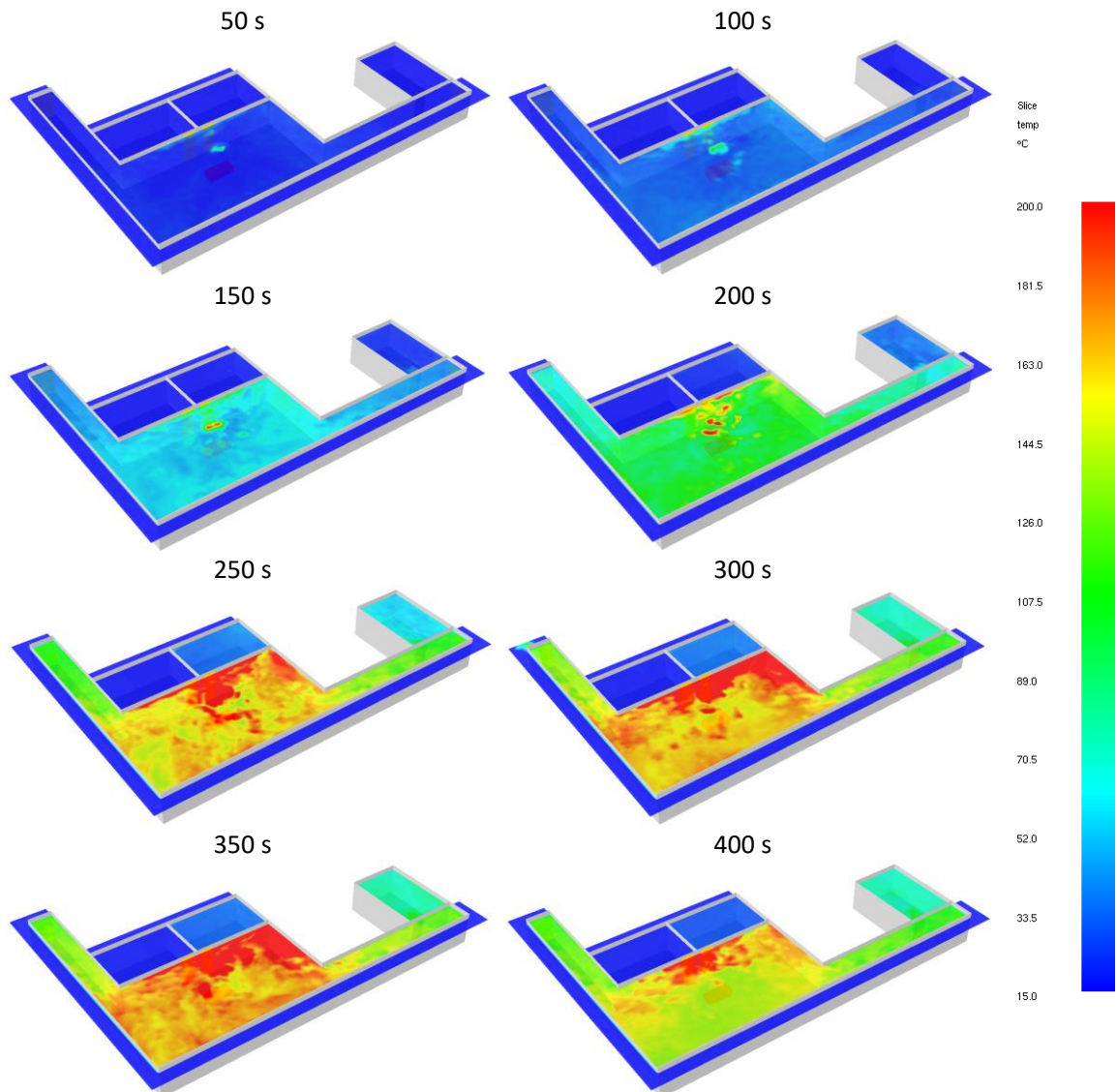
ruimte nu wel tot rookverspreiding naar Kamer 2 en Kamer 3, met snellere rookverspreiding naar Kamer 3 (brandwerende deur) dan naar Kamer 2 (rookwerende deur). Er wordt aan herinnerd dat de lekopeningen aan de deuren bovenaan zijn aangebracht, hetgeen 'conservatief' is, i.e., in werkelijkheid zal de rookverspreiding minder snel zijn als de lekopening zich voornamelijk onderaan de deur bevindt.



Figuur 33 Test 1 - Rookverspreiding op verschillende ogenblikken (SmokeView weergave). Lekopeningen zijn bovenaan de deuren aangebracht.

Figuur 34 toont de overeenkomstige resultaten voor de temperatuursverdeling in een horizontaal vlak op hoogte 2.1 m (i.e., de minimum rookvrije hoogte zoals beschreven in hoofdstuk 2) op de verschillende tijdstippen (met een interval van 50 s). De temperaturen stijgen overal, maar niet overal even sterk. De hoogste temperaturen (> 200 °C) worden gevonden in de gemeenschappelijke ruimte (waar de brandhaard zich bevindt). In de gangen worden temperaturen van 100 tot 130 °C gevonden, terwijl dit

in Kamer 1 tussen 60 en 80 °C is, in Kamer 3 ongeveer 30 °C en in Kamer 2 ongeveer 20 °C. Mits een gesloten deur (die niet deelneemt aan de brand) is de temperatuur dus geen probleem.



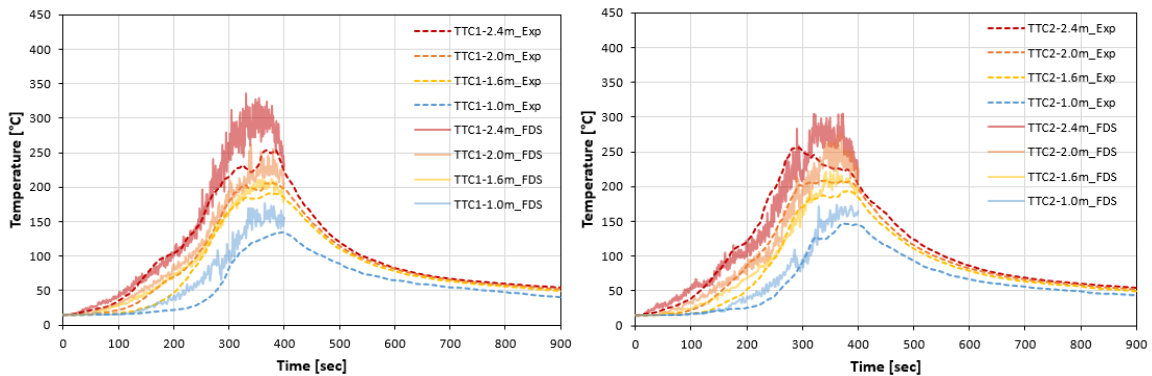
Figuur 34 Test 1 - Temperatuurverdeling in een horizontaal vlak op hoogte 2.1 m op verschillende ogenblikken (SmokeView weergave).

5.2.3 Verbeterde resultaten

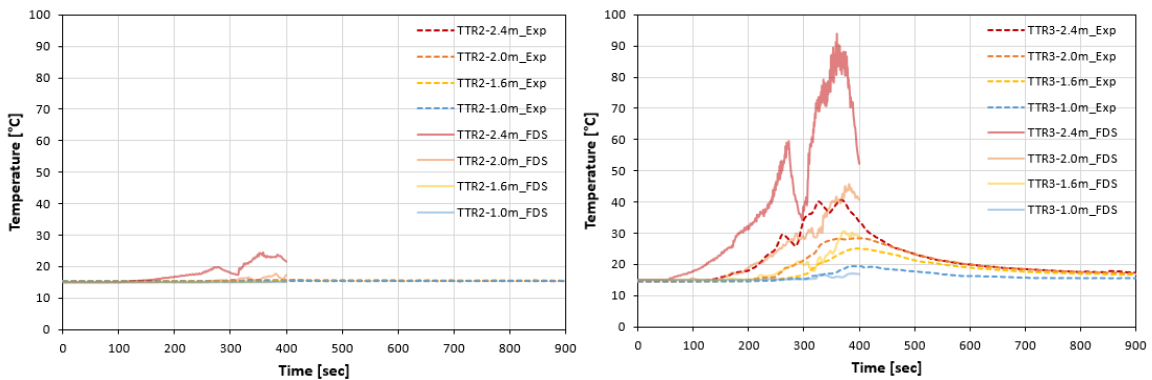
Net zoals voor Test 2 (paragraaf 5.1) worden onderschattingen van de temperaturen vastgesteld in de CFD-simulaties en zijn de waarden voor de druk wel van de juiste grootteorde, maar worden toch verschillen vastgesteld. Daarom wordt opnieuw een aangepaste HRR beschouwd, met name de HRR zoals getoond in Figuur 23. Alle andere instellingen blijven opnieuw ongewijzigd.

Figuur 35, Figuur 36, Figuur 37 en Figuur 38 tonen de nieuwe evoluties van temperaturen en drukken. De temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte (Figuur 35 en Figuur 37, links) en de gangen en Kamer 1 (Figuur 37, rechts) worden goed voorspeld gedurende ongeveer 240 s, maar nadien worden de temperaturen te hoog. Dit leidt ook tot een aanzienlijk hogere tweede drukpiek (Figuur 38), hetgeen de grote gevoeligheid van de druk aan de HRR hier aantoont (vergelijk met Figuur 32). Deze hoge drukpiek,

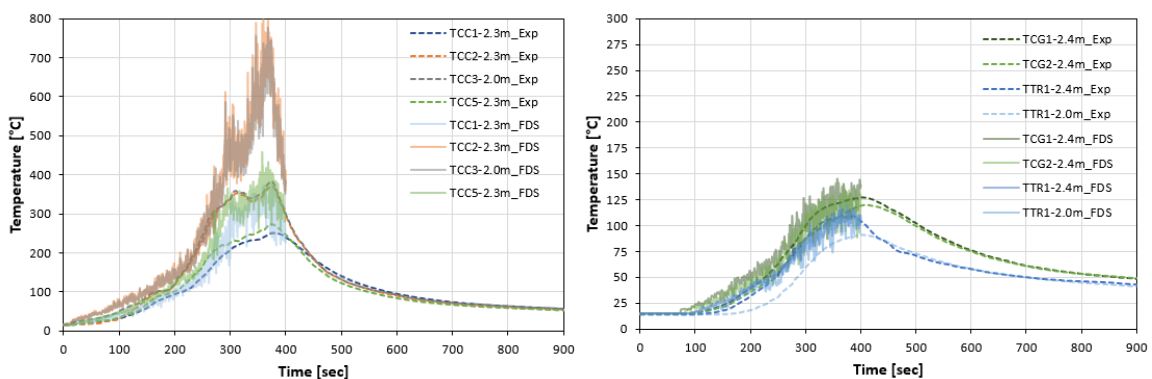
die redelijk goed in overeenstemming is met de opgemeten waarden, leidt ook tot sterkere rookverspreiding naar Kamer 2 en Kamer 3, en dus ook tot hogere temperaturen (Figuur 36, te vergelijken met Figuur 30).



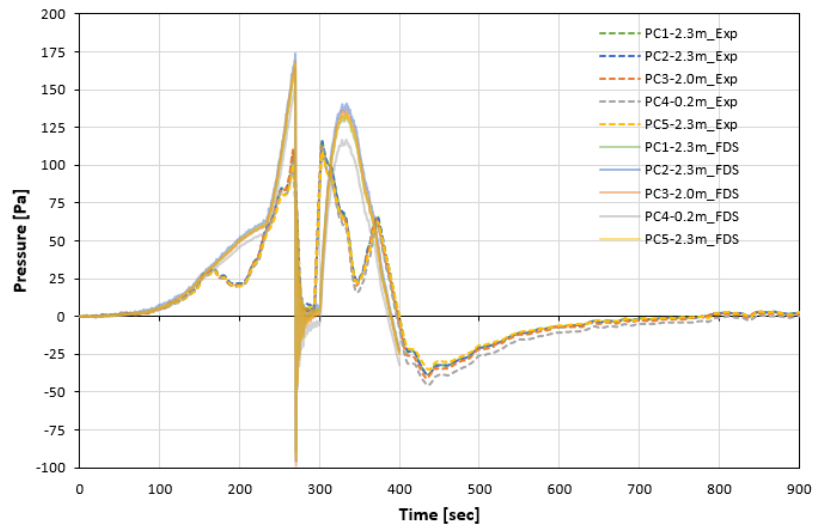
Figuur 35 Test 1 (verbeterde resultaten) - Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte: TTC1 (links) en TTC2 (rechts).



Figuur 36 Test 1 (verbeterde resultaten) - Verloop van de temperaturen in Kamer 2 (links) en Kamer 3 (rechts).



Figuur 37 Test 1 (verbeterde resultaten) - Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte (links), alsook in de gangen en Kamer 1 (rechts).



Figuur 38 Test 1 (verbeterde resultaten) - Evolutie van de relatieve druk in de gemeenschappelijke ruimte.

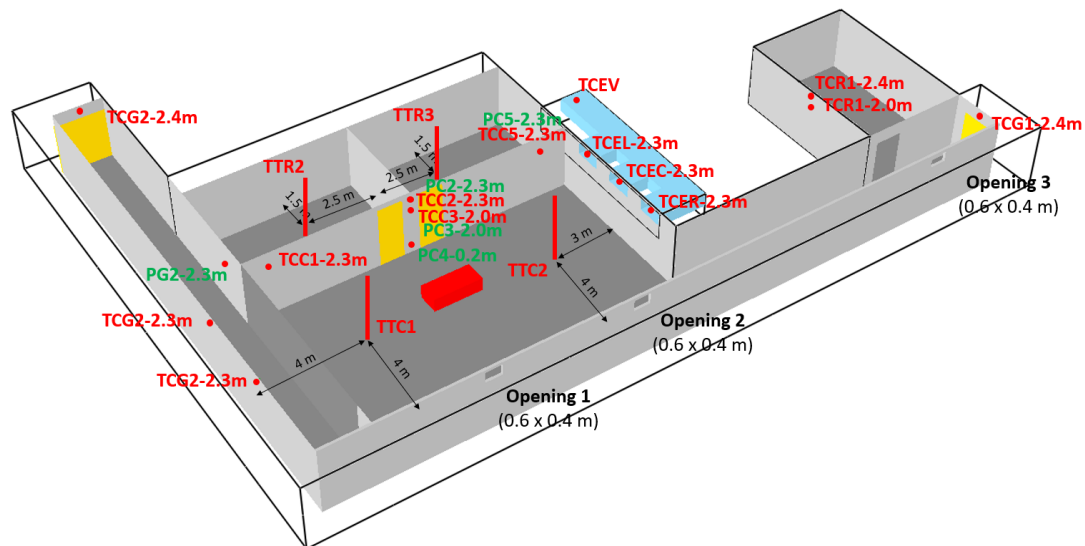
5.2.4 Conclusie

Een correcte inschatting van de HRR is essentieel om te komen tot een goede overeenstemming van de resultaten van de CFD-simulaties met de metingen van de brandproef. Dit geldt zowel voor temperaturen als voor de druk. Het drukverloop is hier heel sterk bepaald door het verloop van de HRR. Er is helaas grote onzekerheid rond het exacte verloop van de HRR in Test 1. Door 'trial and error' kan ongetwijfeld nog een betere overeenkomst worden bekomen tussen de CFD-resultaten en de metingen, maar dat wordt niet beschouwd als een zinvolle oefening binnen het kader van deze studie.

5.3 Test 3: Brandproef met constante rookextractie en een brandscherm tot op de vloer

5.3.1 Beschrijving van de opstelling

Figuur 39 toont de configuratie voor Test 3, waarbij het brandscherm neergelaten wordt tot op de vloer, onmiddellijk na ontsteking van de brand (1). Het RWA-systeem heeft 3 extractie-openingen in de gemeenschappelijke ruimte (elk 1.0 m (breedte) x 0.5 m (hoogte)) en wordt geactiveerd na 110 seconden, met een constant extractiedebiet van 5 m³/s. In de simulaties wordt de ventilator gemodelleerd als een VENT, met een oppervlakte van 0.5 m² en een opgelegde constante afzuigsnelheid van 10 m/s. Er worden 3 openingen voorzien van elk 0.6 m (breedte) x 0.4 m (hoogte) voor de natuurlijke toevoer van lucht in Gang 1. De naamgeving van de instrumentatie werd in paragraaf 5.1 uitgelegd.



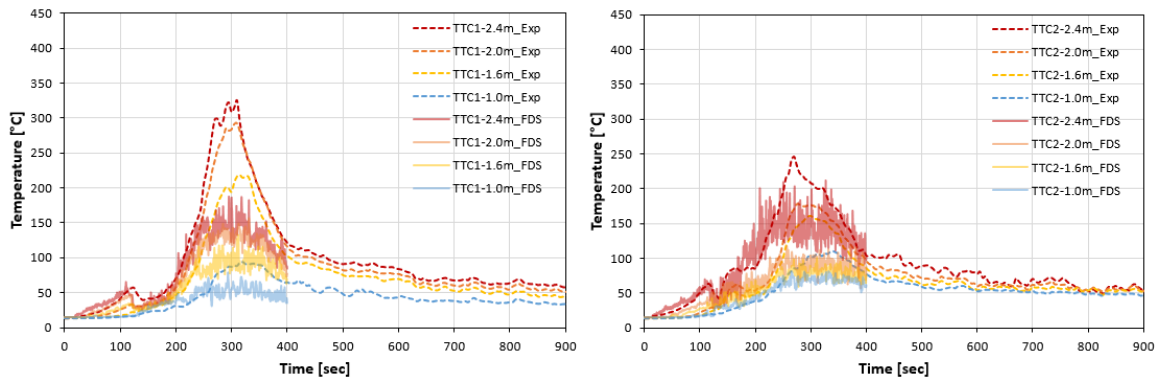
Figuur 39 Test 3 – Opstelling van de FDS Simulatie (m.b.v. SmokeView).

5.3.2 Resultaten

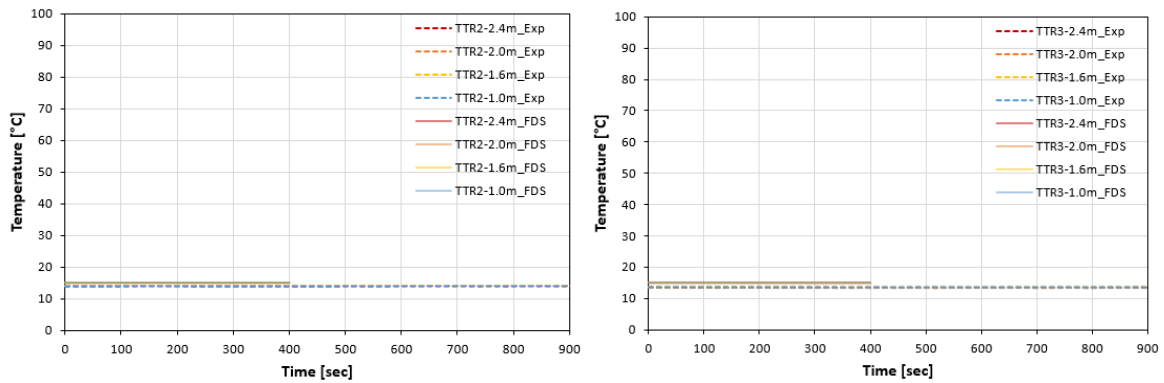
Figuur 40 en Figuur 41 vergelijken de temperatuursevoluties aan de thermokoppelbomen in de gemeenschappelijke ruimte, respectievelijk Kamer 2 en Kamer 3. Figuur 40 toont dat de maximumtemperaturen sterk worden onderschat, terwijl het algemene tijdsverloop, in het bijzonder tijdens de groeifase en de afnamefase, goede overeenkomst toont van de resultaten uit de CFD-simulaties met de metingen. De temperaturen in Kamer 2 en Kamer 3 blijven op omgevingstemperatuur (Figuur 41). Er zijn grote overeenkomsten met de waarnemingen voor Test 2 (paragraaf 5.1).

De evolutie van de temperaturen zoals opgemeten in de thermokoppels in de gemeenschappelijke ruimte, gangen en Kamer 1 (Figuur 42), alsook in de extractie-Openingen en het extractiekanaal (Figuur 43) in de brandproef en de simulaties, is in lijn met de waarnemingen in Figuur 40, met in het bijzonder een onderschatting van de hoogste temperaturen. Dit bevestigt opnieuw de hypothese van het verschil in HRR, als gevolg van de verschillende omstandigheden t.o.v. de brandproef onder de kap (opgelegde luchtstroming en warmteoverdracht vanwege de rooklaag en het plafond): zoals uitgelegd in paragraaf 5.1 kan de temperatuur in het extractiekanaal ingeschat worden vanuit een energiebalans. De onderschatting van de temperatuur is echter sterker dan in paragraaf 5.1 (Test 2), hetgeen erop wijst dat er nu ook een afwijking is in het extractiedebiet, omdat het weinig waarschijnlijk is dat de HRR nog veel hoger wordt dan de evolutie in Figuur 23. De temperaturen worden onderschat, hetgeen wijst op een overschatting van het extractiedebiet (m.a.w. het extractiedebiet lijkt lager geweest te zijn dan de gesuggereerde $5 \text{ m}^3/\text{s}$). Deze hypothese wordt kracht bijgezet door de resultaten van Figuur 44: de drukevolutie zoals opgemeten op verschillende plaatsen in de gemeenschappelijke ruimte toont een aanzienlijk sterkere onderdruk in de CFD-simulaties dan in de metingen. Gezien het eerder genoemde belang van het RWA-systeem voor de evolutie van de druk (zie paragraaf 5.1) wijst dit op een overschatting van het extractiedebiet in de CFD-simulaties. Het verschil in onderdruk bij activering van het RWA-systeem na 110 s (ongeveer 27 Pa in de metingen tegenover ongeveer 37 Pa in de CFD-simulaties) is illustratief, zeker omdat de HRR op dat moment nog beperkt is (en de invloed van de brandhaard op de druk nog beperkt is). In (1) wordt gesuggereerd dat de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ een overschatting zou kunnen zijn als gevolg van het feit dat de openingen voor de natuurlijke luchttoevoer (0.72 m^2 in totaal) kleiner is dan de openingen voor de extractie (1.5 m^2 in totaal), waardoor er extra drukval is als gevolg

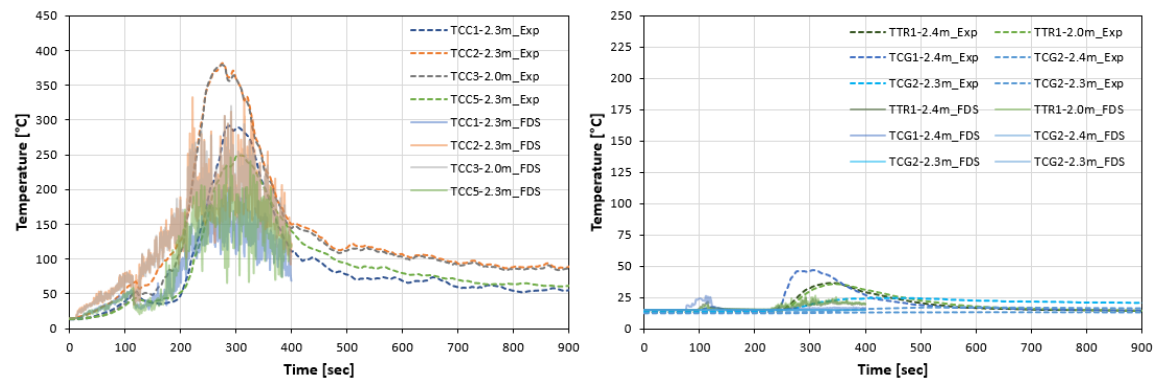
van de weerstand tegen de stroming. Dit effect werd niet gesimuleerd, omdat er een vast extractiedebiet wordt opgelegd in de CFD-simulaties.



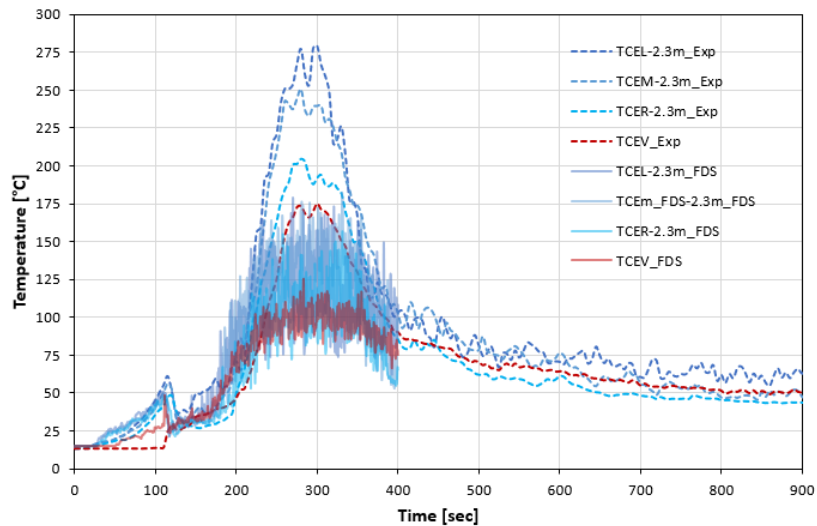
Figuur 40 Test 3 - Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte: TTC1 (links) en TTC2 (rechts).



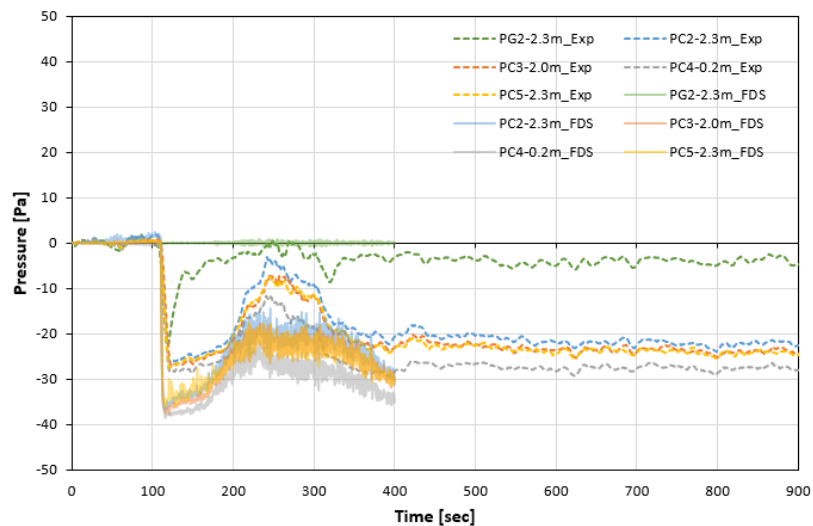
Figuur 41 Test 3 - Verloop van de temperaturen in Kamer 2 (links) en Kamer 3 (rechts).



Figuur 42 Test 3 - Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte (links), alsook in de gangen en Kamer 1 (rechts).



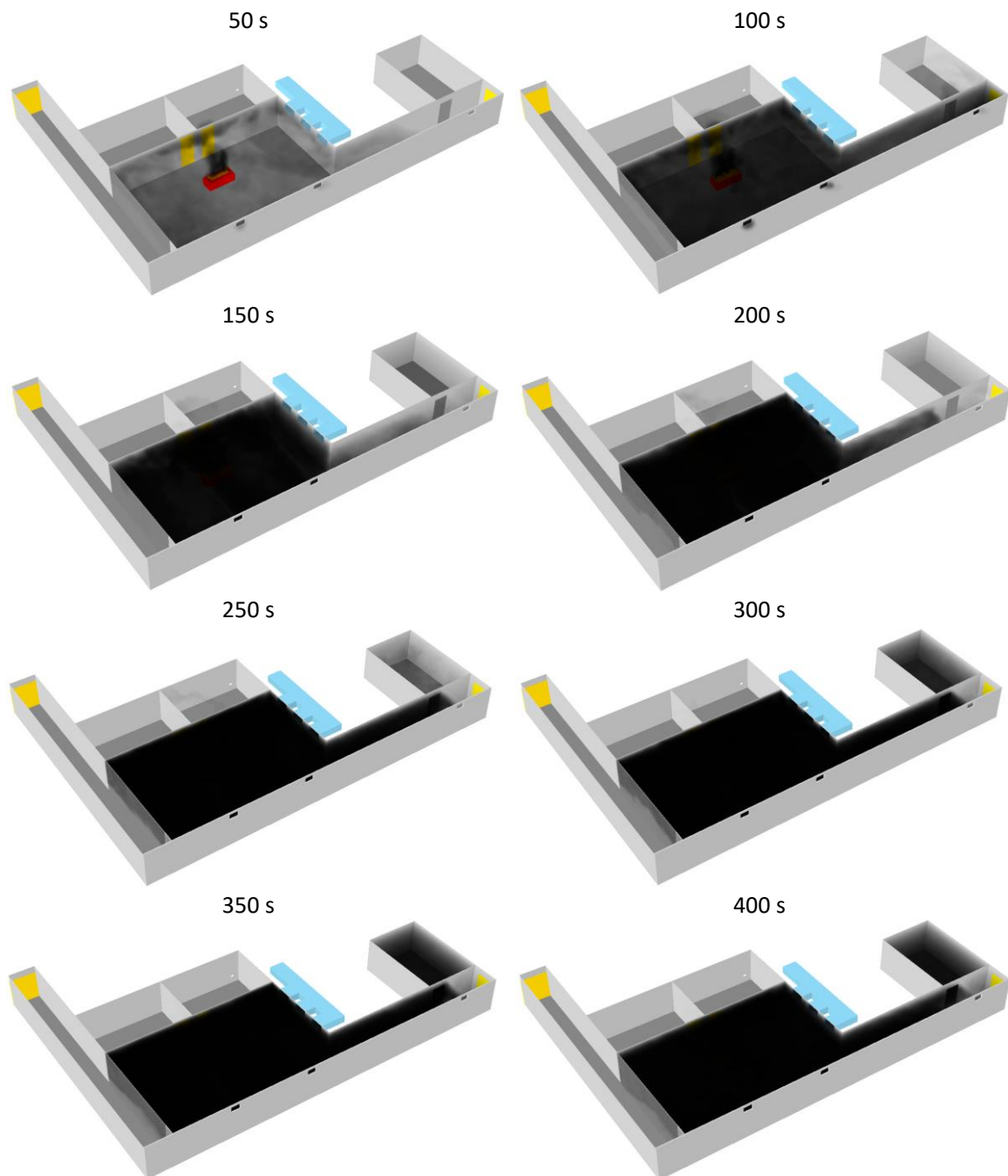
Figuur 43 Test 3 – Verloop van de temperaturen in de extractie-openingen en het extractiekanaal.



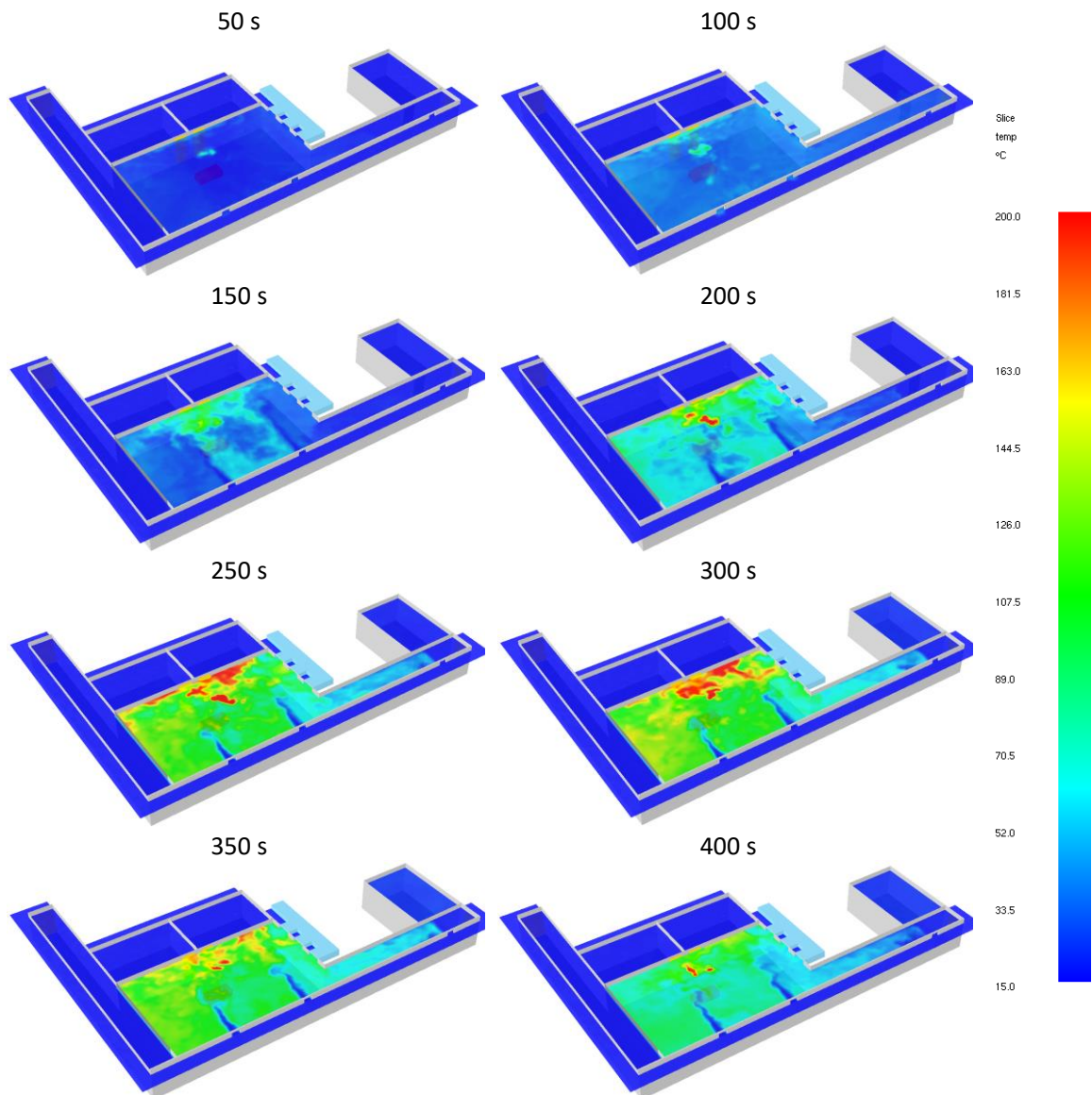
Figuur 44 Test 3 - Evolutie van de relatieve druk in de gemeenschappelijke ruimte.

Figuur 45 toont momentopnames (met een interval van 50 s) van de rookverspreiding, zoals bekomen uit Smokeview. Er is heel goede overeenkomst met de bevindingen van Test 3 in (1): de combinatie van het brandscherm met RWA met het opgelegde extractiedebiet resulteert in het rookvrij houden van Gang 2, waardoor er een veilige evacuatie mogelijk is doorheen die gang. De gemeenschappelijke ruimte en Gang 1 (en Kamer 1, die daar zonder deur op uitgeeft), worden echter niet gevrijwaard. Dankzij de onderdruk in de gemeenschappelijke ruimte is er uiteindelijk geen rook in Kamer 2 en Kamer 3, zoals ook al mocht blijken uit de afwezigheid van een temperatuurstijging in die kamers (Figuur 41).

Figuur 46 toont de temperatuursverdeling in een horizontaal vlak op hoogte 2.1 m (i.e., de minimum rookvrije hoogte zoals beschreven in hoofdstuk 2) op verschillende tijdstippen (met een interval van 50 s). In overeenstemming met de rookverspreiding wordt gezien dat de temperaturen stijgen in de gemeenschappelijke ruimte en Gang 1 (beperkt tot minder dan 80 °C in Gang 1), maar dat het RWA-systeem erin slaagt om Gang 2, Kamer 2 en Kamer 3 te vrijwaren. [Er wordt opgemerkt dat er rook zichtbaar is in Kamer 1 in Figuur 21, maar door de inmenging van lucht is de temperatuur van de rook (ongeveer 24 °C) zo laag dat die niet zichtbaar is in Figuur 22.]



Figuur 45 Test 3 - Rookverspreiding op verschillende ogenblikken (SmokeView weergave).



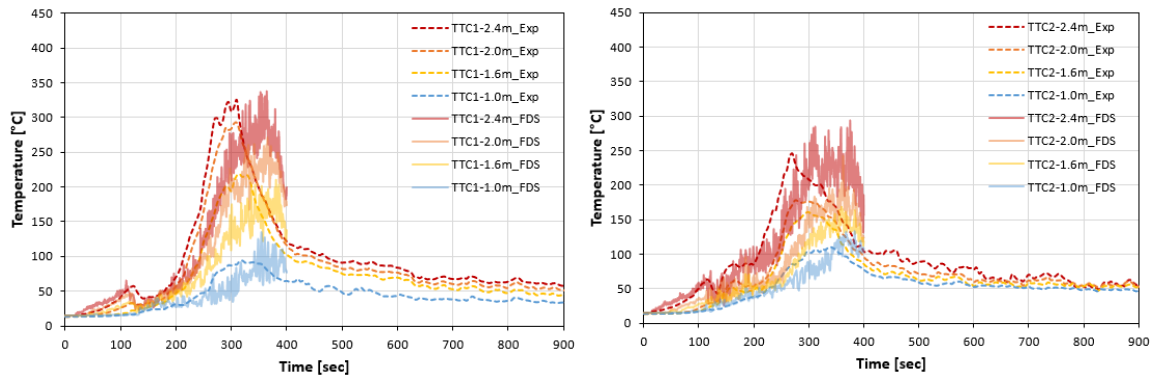
Figuur 46 Test 3 - Temperatuursverdeling in een horizontaal vlak op hoogte 2.1 m op verschillende ogenblikken (SmokeView weergave).

5.3.3 Verbeterde resultaten

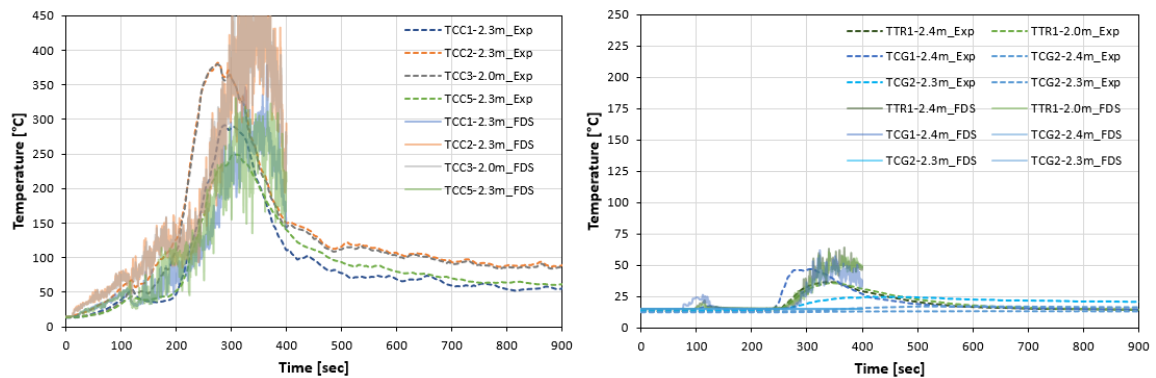
De tot dusver besproken resultaten voor Test 3 hebben getoond dat de overeenkomst tussen CFD-resultaten en metingen op vlak van temperatuursevolutie voor verbetering vatbaar is. De aanpassing van de HRR gebeurt zoals in Figuur 23, uitgaande van de redenering van de energiebalans zoals beschreven in paragraaf 5.1.3. Bovendien wordt nu, zoals gesuggereerd in paragraaf 5.3.2, het extractiedebiet verlaagd van 5.0 m³/s naar 4.5 m³/s. Deze waarde werd ingeschat op basis van het drukverloop in de gemeenschappelijke ruimte, omdat die gedomineerd wordt door het RWA-systeem.

Figuur 47, Figuur 48 en Figuur 49 tonen de resulterende evoluties van de temperatuur op de verschillende locaties. De maximumtemperaturen worden nu niet langer onderschat, maar de stijging in de CFD-simulaties gebeurt iets later dan in de metingen. Dit hoeft niet te verwonderen en geeft aan dat in Test 3 de zetel iets sneller gebrand heeft dan in Test 2 (Figuur 23). Een betere overeenkomst kan bekomen worden door de opgelegde HRR verder aan te passen, maar dit wordt niet zinvol geacht binnen

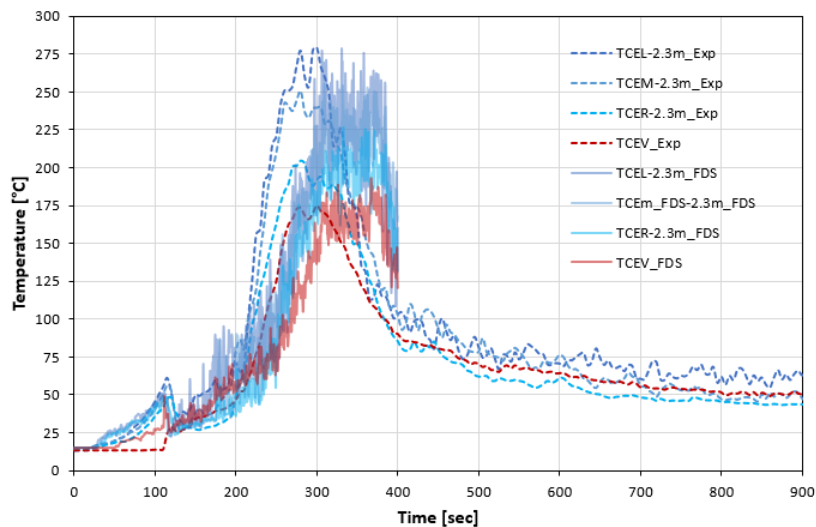
het kader van deze studie. Het belangrijkste is dat getoond wordt dat de CFD-simulaties globaal een heel goede weergave zijn van de grootschalige brandproeven.



Figuur 47 Test 3 (verbeterde resultaten) – Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte: TTC1 (links) en TTC2 (rechts)..

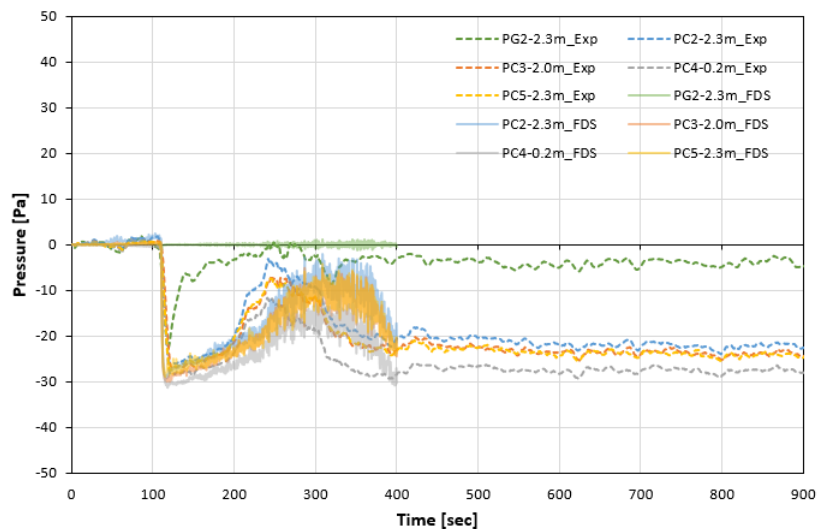


Figuur 48 Test 3 (verbeterde resultaten) - Verloop van de temperaturen in de gemeenschappelijke ruimte (links), alsook in de gangen en Kamer 1 (rechts).



Figuur 49 Test 3 (verbeterde resultaten) – Verloop van de temperaturen in de extractie-Openingen en het extractiekanaal.

Figuur 50 toont hoe de 10% daling in het opgelegde extractiedebiet (4.5 m³/s i.p.v. 5.0 m³/s) tot een aanzienlijke verbetering leidt in de resultaten van het drukverloop in de gemeenschappelijke ruimte. Dit geeft aan hoe gevoelig de druk, en in het bijzonder de piek in onderdruk, reageert op variaties in het extractiedebiet en dat onzekerheden dienaangaande de nauwkeurigheid van de CFD-berekeningen sterk beïnvloedt. In een later stadium (na 220 s) wordt ook de invloed van de brand zichtbaar: omdat de brand in de CFD-simulaties trager naar het piekvermogen lijkt te evolueren dan in de brandproef van Test 3, zoals uitgelegd bij de bespreking van Figuur 47, Figuur 48 en Figuur 49, evolueert de onderdruk ook later en trager terug richting een waarde van ongeveer 10 Pa, terwijl nadien de evolutie richting ongeveer 25 Pas onderdruk wel weer goed overeenkomt. Zoals gezegd kan een betere overeenkomst bekomen worden door de opgelegde HRR verder aan te passen, maar dit wordt niet zinvol geacht binnen het kader van deze studie. Het belangrijkste is dat getoond wordt dat de CFD-simulaties globaal een heel goede weergave zijn van de grootschalige brandproeven.



Figuur 50 Test 3 - (verbeterde resultaten) - Evolutie van de relatieve druk in de gemeenschappelijke ruimte.

5.3.4 Conclusie

Mits een correcte inschatting van de HRR en het extractiedebiet zijn de resultaten van de CFD-simulaties goed in overeenstemming met de metingen van de brandproef. Dit toont aan dat de CFD-simulaties betrouwbaar zijn met de gehanteerde instellingen. Bovendien geven de CFD-simulaties bijkomende inzichten in de rookverspreiding. Er is helaas grote onzekerheid rond het exacte verloop van de HRR en het exacte extractiedebiet in Test 3 (het extractiedebiet werd bovendien constant verondersteld in alle simulaties). Door 'trial and error' kan ongetwijfeld nog een betere overeenkomst worden bekomen tussen de CFD-resultaten en de metingen, maar dat wordt niet beschouwd als een zinvolle oefening binnen het kader van deze studie.

5.4 Test 4: Brandproef met regelbare rookextractie in functie van de druk

Zoals uitgelegd in paragraaf 4 van dit hoofdstuk werd, ten gevolge van de te grote onzekerheid wat betreft het reële extractiedebiet als functie van de tijd en de druk, in combinatie met de onzekerheid op de HRR van de brand, in overleg met de stuurgroep besloten om Test 4 van (1), waarin een variabel

extractiedebiet werd opgelegd, afhankelijk van drukmetingen in de gemeenschappelijke ruimte, niet op te nemen in de serie van CFD-berekeningen in de huidige studie.

5.5 Test 5: Brandproef met rookextractie en sprinklers

Zoals uitgelegd in paragraaf 4 van dit hoofdstuk werd, ten gevolge van de te grote onzekerheid wat betreft het reële extractiedebiet als functie van de tijd en de druk, in combinatie met de onzekerheid op de HRR van de brand (onzekerheid die nog groter is in het geval van geactiveerde sprinkler, waarbij een daling van de HRR te verwachten valt), in overleg met de stuurgroep besloten om Test 5 van (1), waarin een RWA-systeem werd gecombineerd met een geactiveerd sprinklersysteem, niet op te nemen in de serie van CFD-berekeningen in de huidige studie.

6 Conclusies

In dit hoofdstuk werd een antwoord geformuleerd op onderzoeksvraag O3: *Wat kan geleerd worden van de resultaten van brandproeven op ware grootte?*

Hierbij werd vertrokken van de analyses van de brandproeven zoals voorgesteld in (1). De toegevoegde waarde van de analyse van de recente brandproeven van (1) met behulp van CFD (Computational Fluid Dynamics) zit in:

- De visuele weergave van de rookverspreiding in functie van de tijd.
- De weergave van temperatuursverdelingen in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m (i.e., de vooropgestelde minimale rookvrije hoogte) in functie van de tijd. Een temperatuurstijging is een indicatie voor de aanwezigheid van rook op die plaats.
- De illustratie van het belang van zowel de HRR als het extractiedebiet van een geactiveerd RWA-systeem op de evoluties van temperaturen en drukken op verschillende plaatsen.
- De bevestiging van de waarnemingen in (1).

De meetresultaten van de brandproeven werden gebruikt ter validatie van de CFD-berekeningen, terwijl de resultaten van de CFD-berekeningen bijkomende informatie opleverden om de meetgegevens van de brandproeven te interpreteren. Hierbij lag de klemtoon op Testen 1 (brandproef zonder ventilatie, zonder brandbeveiligingsmaatregelen), 2 (Brandproef met constante rookextractie en een brandscherm tot op 0.9 m hoogte van de vloer) en 3 (Brandproef met constante rookextractie en een brandscherm tot op de vloer) van (1).

De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

- Mits aangepaste instellingen, wordt een goede overeenkomst bereikt van de resultaten van de CFD-berekeningen met de meetresultaten van (1):
 - Voor Test 1 (brandproef zonder ventilatie, zonder brandbeveiligingsmaatregelen) zijn het verloop van de HRR en de lekoppervlakte van belang om een realistische drukopbouw te bekomen in de CFD-berekeningen. Een grotere lekoppervlakte leidt tot lagere drukken.
 - Voor Testen 2 en 3, waarbij een (in de simulaties constant verondersteld) extractiedebiet wordt gecombineerd met een brandscherm, leidt een geschikte combinatie van HRR en extractiedebiet tot een goede overeenkomst van de evolutie van de temperatuur in functie van de tijd, alsook van de druk in functie van de tijd.

- Voor alle CFD-berekeningen is de opgelegde HRR cruciaal, zowel voor de evoluties van de temperaturen als voor de evoluties van de druk. Voor de berekeningen met geactiveerd RWA-systeem is ook het opgelegde extractiedebiet heel belangrijk. Er is evenwel niet gestreefd om via een uitgebreide 'trial and error' procedure de best mogelijke overeenkomst te bekomen voor elke Test. De resultaten geven aan dat de HRR in elke Test anders was, en bovendien anders dan de HRR zoals opgemeten onder de kap in (1).
- De zopas vermelde goede overeenkomst laat toe om met vertrouwen bijkomende CFD-simulaties uit te voeren (zie Hoofdstuk 5) en de resultaten hiervan als kwalitatief betrouwbaar te analyseren, ter ondersteuning van de ontwikkeling van een beoordelingskader (Hoofdstuk 6). Desalniettemin mogen de gebruikte CFD-instellingen niet zonder meer als 'best practice' in het algemeen worden beschouwd.
- Omwille van de te grote onzekerheid in de werkelijke HRR in de brandproeven van (1), in het bijzonder na de activering van de sprinklers (Test 5), alsook in het werkelijke extractiedebiet (in het bijzonder voor het variabele debiet in Test 4 van (1)), kunnen deze brandproeven niet gebruikt worden voor de validatie van de CFD-berekeningen dienaangaande. Als gevolg hiervan worden in deze studie ook geen bijkomende CFD-berekeningen uitgevoerd rond dergelijke scenario's.

Hoofdstuk 5

Beschrijving van aanvullende computersimulaties

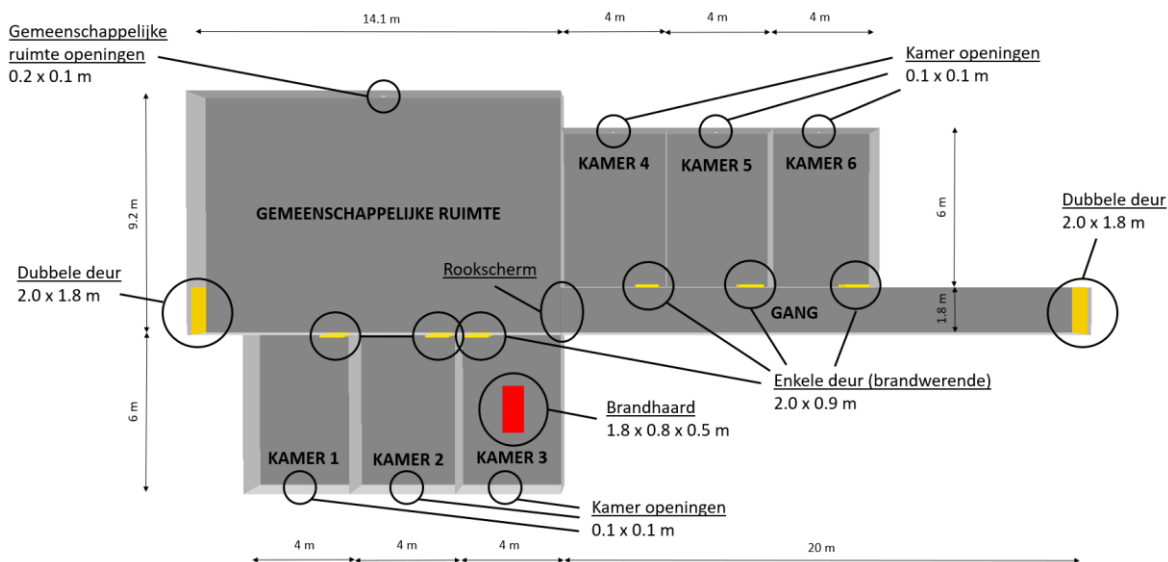
1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een antwoord gezocht op onderzoeksvraag O4: *Welke aanvullende computersimulaties moeten worden uitgevoerd om het beoordelingskader te vervolledigen?*

Hierbij wordt vertrokken van de configuraties zoals bepaald in overleg met de stuurgroep en zoals beschreven in Hoofdstuk 3 van dit rapport. Ook de analyses zoals beschreven in hoofdstuk 4 helpen om te komen tot de matrix, zoals beschreven in paragraaf 3.

2 Beschrijving van de opstelling

De configuratie voor de bijkomende CFD-berekeningen werd beschreven in paragraaf 2.2 van hoofdstuk 3. Figuur 51 toont een bovenaanzicht van de configuratie, bestaande uit een gemeenschappelijke ruimte van 14.1 m x 9.2 m, 3 kamers die hier rechtstreeks op uitgeven met enkele deuren, alsook een gang/evacuatiweg (20 m lang en 1.8 m breed) met 3 kamers die hier rechtstreeks op uitgeven met enkele deuren (2.0 m hoog en 0.9 m breed). De deuren zijn brandwerend verondersteld. Elke kamer heeft dezelfde oppervlakte (6 m x 4 m). Aan het einde van de gang, en aan 1 zijde van de gemeenschappelijke ruimte, is er een dubbele deur (2.0 m hoog en 1.8 m breed). De plafondhoogte is overall 2.5 m in de basisconfiguratie. Deze generieke configuratie wordt als representatief beschouwd voor het doel van de studie.



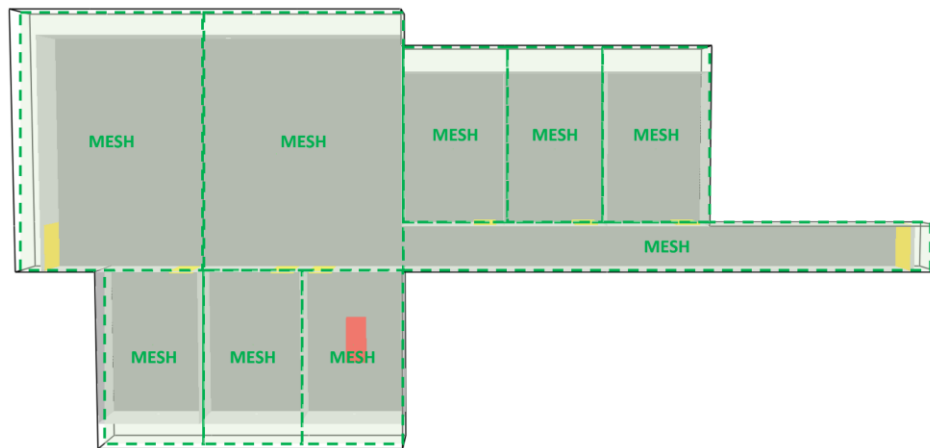
Figuur 51 Bovenaanzicht van de configuratie voor de aanvullende CFD-berekeningen (SmokeView weergave). Afmetingen komen overeen met de basisconfiguratie.

Aangezien de studie in (3) zich voornamelijk richtte op een brandscenario in de gemeenschappelijke ruimte, wordt in de huidige studie, in overleg met de stuurgroep, meer aandacht besteed aan analyse van het effect van brandbeveiligingsmaatregelen voor een scenario waarbij de brandhaard zich in een

kamer bevindt. Hierbij werd, in overleg met de stuurgroep, geopteerd voor Kamer 3, omdat die kamer rechtstreeks uitgaat op de gemeenschappelijke ruimte en zich het dichtste bij de evacuatieweg bevindt. De brandhaard werd in het midden van de kamer geplaatst. In een beperkt aantal gevallen wordt de brandhaard ook in het midden van de gemeenschappelijke ruimte geplaatst.

Zoals in de andere CFD-berekeningen in deze studie werd het rekendomein onderverdeeld in rekenroosters. Met behulp van het &MESH commando werden de roostercellen bepaald als $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ over het volledige rekendomein. Afhankelijk van de simulatie en het beschouwde geval werd, om parallelle berekeningen mogelijk te maken, het rekendomein onderverdeeld in maximaal 10 rekenroosters, zoals getoond in Figuur 52:

- 2 rekenroosters voor de gemeenschappelijke ruimte,
- 1 rekenrooster per kamer (Kamer 1, Kamer 2, Kamer 3, Kamer 4, Kamer 5 en Kamer 6),
- 1 rekenrooster voor de gang,
- 1 rekenrooster voor het rookextractiesysteem (indien aanwezig).



Figuur 52 Rekendomein en rekenroosters.

M.b.v. de &VENT en &HVAC commando's worden de lekopeningen aan de deuren als lokale lekopeningen ingebracht (8) en wordt toegestaan dat er warmte stroomt doorheen de lekopeningen (LEAK_ENTHALPY=.TRUE.). In overleg met de stuurgroep worden de lekopeningen nu, in tegenstelling tot het vorige hoofdstuk, onderaan de deuren aangebracht. Tenzij anders vermeld, wordt uitgegaan van brandwerende, niet rookwerende deuren, met de volgende lekoppervlakten (op basis van inschattingen zoals uitgelegd in hoofdstuk 3):

- Enkele deur (kamers): 72 cm^2
- Dubbele deur (gemeenschappelijke ruimte en gang): 144 cm^2 .

Deze oppervlakten worden als constant gemodelleerd in deze studie, i.e., onafhankelijk van eventuele drukverschillen.

Lekopeningen naar de omgeving worden gemodelleerd door middel van kleine openingen (&HOLE) in de wanden. Zoals getoond in Figuur 51 heeft de gemeenschappelijke ruimte een opening van 200 cm^2 , terwijl elke kamer een opening van 100 cm^2 heeft in de buitenwand. De grootte van deze openingen werd gevarieerd om de impact hiervan op de brandveiligheid in te schatten. Om de stroming doorheen openingen goed weer te geven, werd het rekendomein uitgebreid met een afstand van 1 m nabij openingen (deuren, lekopeningen en openingen in wanden), zoals getoond in Figuur 52. Op de

randoppervlakken van het rekendomein worden omgevingscondities opgelegd door het commando &VENT SURF_ID='OPEN'.

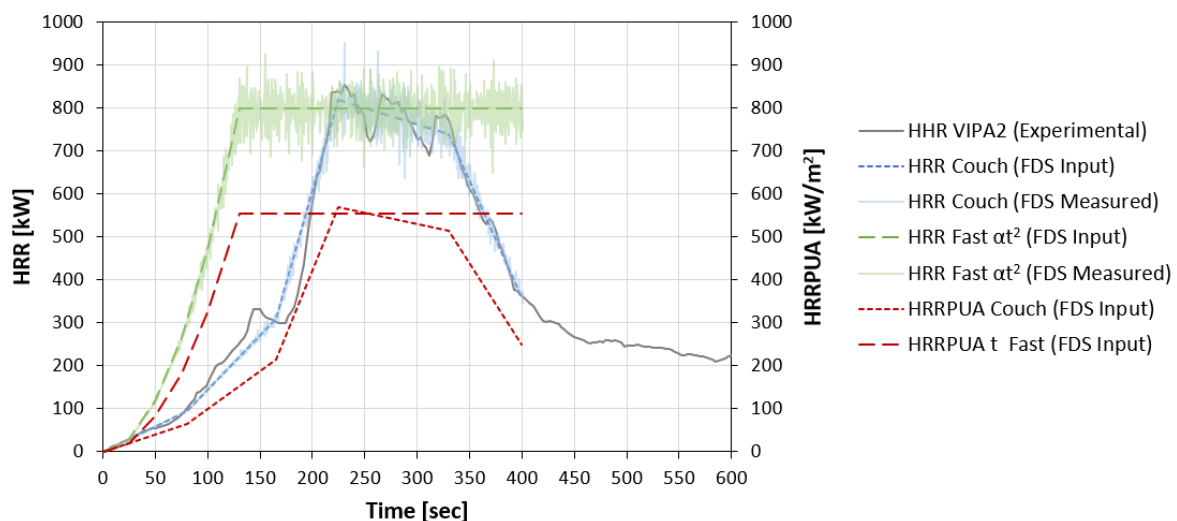
In de eerste set van aanvullende CFD-berekeningen worden de deuren als gesloten verondersteld gedurende de duur van de brand, en rook wordt verondersteld zich enkel te kunnen verspreiden doorheen (lek)openingen. Aangezien de brandhaard zich in een kamer bevindt, wordt wel verondersteld dat de bewoner(s) van die kamer vlucht(en) en de deur van Kamer 3 wordt daarom verondersteld open te zijn gedurende 30 seconden, 30 seconden na het begin van de brand (periode 00:30 – 01:00). Dit is de basisinstelling, maar de impact van een permanent open en permanent gesloten deur wordt ook onderzocht.

Ook in de aanvullende CFD-simulaties wordt uitgegaan van een brandverloop zoals getoond in Figuur 7 (i.e., een tweepersoonszetel): gelijkaardig aan een medium αt^2 -brand met maximum HRR van 800 kW. De zetel wordt opnieuw gemodelleerd m.b.v. &OBST (1.8 m x 0.8 m x 0.5 m). Het bovenoppervlak is brandbaar en de andere oppervlakken zijn inert. Pyrolyse en branduitbreiding worden niet gesimuleerd: de 'HRR Per Unit Area' (HRRPUA) wordt opgelegd met het &RAMP commando, zoals beschreven in paragraaf 4 van hoofdstuk 4. De verbranding gebeurt door het commando &REAC, met propaan als brandstof en een roetproductie van 0.1 kg/kg (SOOT_YIELD = 0.1).

Zoals aangetoond in hoofdstuk 4 speelt de HRR een heel belangrijke rol. Daarom wordt, in overleg met de stuurgroep, ook een 'fast αt^2 -brand' gesimuleerd, met hetzelfde maximum vermogen (800 kW), met het &RAMP-commando:

- time = 0 s, HRRPUA = 0.00 kW/m²
- time = 25 s, HRRPUA = 20.36 kW/m²
- time = 50 s, HRRPUA = 81.42 kW/m²
- time = 75 s, HRRPUA = 183.20 kW/m²
- time = 100 s, HRRPUA = 325.69 kW/m²
- time = 130 s, HRRPUA = 555.56 kW/m²
- time = 400 s, HRRPUA = 555.56 kW/m².

Figuur 53 toont de verschillende HRR-evoluties, alsook dat de opgelegde curve goed gevolgd wordt in FDS in brandstofgecontroleerde omstandigheden (i.e., voldoende zuurstof aanwezig).



Figuur 53 HRR-evoluties in de oorspronkelijke en aanvullende CFD-berekeningen.

De simulaties betreffen een periode van 400 seconden (&TIME T_END=400) en begin- en omgevings-temperatuur zijn 15 °C (&MISC TMPA=15.0).

De implementatie van wanden, plafond, vloer, leidingen, brandschermen en openingen is exact dezelfde als beschreven in Hoofdstuk 4 en wordt hier daarom niet herhaald.

Zoals te zien is in Figuur 51 zijn de gemeenschappelijke ruimte en een evacuatiegang rechtstreeks met elkaar verbonden, zonder een deur. Daarom wordt ook onderzocht wat de impact op de rookverspreiding zou zijn wanneer er een vast scherm wordt geplaatst. In overleg met de stuurgroep werd bepaald dat dit vaste scherm vanaf het plafond tot een hoogte van 2.1 m (i.e., minimaal vereiste rookvrije hoogte) komt. Dit wordt gemodelleerd als een obstakel in de CFD-berekeningen (commando &OBST).

De bijkomende CFD-berekeningen omvatten ook de invloed van RWA-systemen en dagdagelijkse ventilatiesystemen. De gedetailleerde configuraties en geometrieën worden in de desbetreffende paragrafen beschreven, maar de algemene principes zijn:

- Openingen voor rookextractie en ventilatie worden gemodelleerd als openingen doorheen de wanden (commando &HOLE),
- Wanden van kanalen worden gemodelleerd als obstakels (commando &OBST).

De implementatie van de rookextractie en dagdagelijkse ventilatie werd beschreven in hoofdstuk 4. Voor de rookextractie wordt de ventilator gemodelleerd als een 'VENT' aan het einde van het extractiekanaal (1.0 m² oppervlakte) en wordt het constant veronderstelde extractiedebiet opgelegd als een snelheid (&SURF VEL= 1.0 m/s). Voor de dagdagelijkse ventilatie wordt dit op dezelfde manier gedaan (met eventueel een negatieve snelheid in geval van mechanische luchttoevoer). De impact van drukveranderingen op de extractie- of toevoerdebieten wordt niet in rekening gebracht. Tenzij anders vermeld, worden de ventilatoren verondersteld om actief te zijn gedurende de volledige duur van de brand.

Voor de analyse van de resultaten worden opnieuw sensoren geplaatst en vlakken gedefinieerd, zoals beschreven in hoofdstuk 4. De FDS inputfiles worden gegeven in Appendix 1. Deze files mogen evenwel niet als algemene 'best practice' worden beschouwd.

3 Overzichtsmatrix van de aanvullende computersimulaties

De analyse van de CFD-berekeningen gebeurt in hoofdstuk 6. Tabel 2 geeft een overzichtsmatrix van de verschillende configuraties, met verschillende combinaties van brandbeveiligingsmaatregelen.

Tabel 2 Overzichtsmatrix van de bijkomende CFD-berekeningen. [GR: gemeenschappelijke ruimte.]

Onderzochte parameter	Positie brandhaard	Deuren	Opening in de kamers	Lekopening en van de deuren	Plafondhoogte	Oppervlakte van de GR	Brandscenario	Rook-Extractie-debiet	Ventilatiesysteem		Paragraaf in Hoofdstuk 6
									Configuratie	Tijdstip sluiten kleppen	
Openen van deuren	Kamer 3	Dicht	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.1
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	
	Kamer 3	Open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	
Opening in de kamers	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.2
	Kamer 3	30 s open	0.06 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	
	Kamer 3	30 s open	0.25 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	
Lekopeningen van de deuren	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.3
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Bovenaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	
Plafondhoogte	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.4
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	-	-	
Oppervlakte van de GR	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.5
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	250m ²	Zetel	-	-	-	
Brandscenario	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.6
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Fast α^2	-	-	-	
Rookextractie	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.7
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	1.0m ³ /s	-	-	
Ventilatiesysteem	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	1	-	4.8
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	2	-	
	Kamer 6	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	3	-	
	GR	Dicht	0.25 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	1	-	
	Kamer 3	30 s open	0.25 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	1	-	
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	1	120 s	
	GR	Dicht	0.02 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	1	120 s	

4 Conclusies

In dit hoofdstuk werd een antwoord gegeven op onderzoeksvraag O4: *Welke aanvullende computersimulaties moeten worden uitgevoerd om het beoordelingskader te vervolledigen?*

Figuur 51 en overzichtstabel 2 zijn het resultaat van uitgebreide besprekingen met de stuurgroep. Aan de wens om betrouwbare CFD-berekeningen uit te voeren voor configuraties met geactiveerd automatisch blussysteem kon helaas niet worden voldaan bij gebrek aan voldoende meetresultaten.

Hoofdstuk 6

Analyse van de aanvullende computersimulaties

1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een antwoord gezocht op onderzoeksvraag O5: *Wat kan geleerd worden van de resultaten van de aanvullende computersimulaties?*

De CFD-berekeningen worden uitgevoerd voor de configuraties zoals beschreven in hoofdstuk 5. Aan elke configuratie wordt een paragraaf gewijd waarin de voornaamste vaststellingen worden geduid. Hieruit worden conclusies gedestilleerd, zoals beschreven aan het einde van dit hoofdstuk. Alvorens de resultaten van de CFD-berekeningen te bespreken, worden de algemene instellingen en, zo mogelijk nog belangrijker, de beperkingen van de computersimulaties uitgelegd.

2 Beschrijving van de algemene instellingen van de computersimulaties

De beschrijving van de algemene instellingen van de CFD-simulaties werd gegeven in hoofdstuk 5. Dit wordt hier niet herhaald.

Er wordt gewerkt met FDS, versie 6.7.5, met de standaardinstellingen op vlak van modellering.

3 Beschrijving van de beperkingen van de computersimulaties

De CFD-simulaties zijn zo nauwgezet mogelijk uitgevoerd. Desalniettemin wordt erop gewezen dat geen van de CFD-berekeningen gevalideerd zijn m.b.v. meetgegevens. Het zijn zogenaamde 'blinde' simulaties. Voor de simulaties zonder ventilatiesysteem kan hoofdstuk 4 dienen als onrechtstreekse validatie, in de zin dat de betrouwbaarheid van de instellingen in de CFD-berekeningen en de nauwkeurigheid van de resultaten werden geïllustreerd. Er zijn dus redenen om aan te nemen dat de gekozen instellingen ook hier redelijk zijn.

Voor de simulaties met rookverspreiding doorheen ventilatiekanalen in het huidige hoofdstuk is voorzichtigheid geboden:

- Er zijn geen gedetailleerde stromingsberekeningen uitgevoerd in de ventilatiekanalen. Een rekenrooster met cellen van 10 cm x 10 cm x 10 cm laat zulks niet toe.
- Er is geen rekening gehouden met wandruwheid.

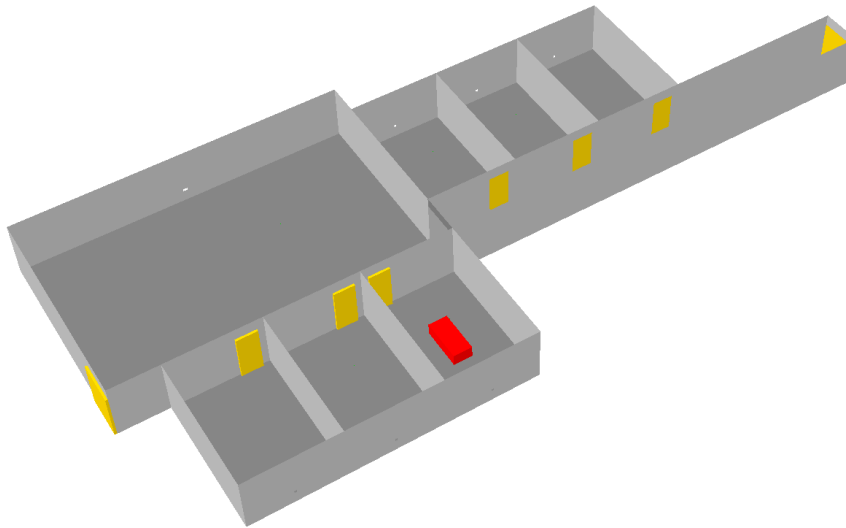
Dit betekent dat de CFD-resultaten hoogstens een kwalitatieve inschatting toelaten, geen nauwkeurig kwantitatieve becijfering van de precieze omstandigheden in de realiteit.

4 Analyse van de computersimulaties

Op basis van de kenmerken en algemene instellingen zoals beschreven in hoofdstuk 5 zijn bijkomende CFD-simulaties uitgevoerd op de configuratie zoals getoond in Figuur 51 om de impact van verschillende parameters te onderzoeken (Tabel 2). De analyse gebeurt op basis van Figuur 54, met in de basisopstelling de volgende kenmerken:

- De deur van de brandruimte wordt open verondersteld gedurende 30 seconden, 30 s na de start van de brand (00:30-01:00).
- De gemeenschappelijke ruimte heeft een opening van 200 cm² in verbinding met de omgeving, terwijl elke kamer een opening heeft van 100 cm² in verbinding met de omgeving, ter modellering van lekopeningen.
- De lekopeningen aan de deuren worden onderaan geplaatst (zie paragraaf 5.2).
- De plafondhoogte is overal 2.5 m.
- De gemeenschappelijke ruimte heeft een oppervlakte van 130 m².
- Het brandscenario is 'HRRPUA couch' (tweepersoonszetel) van Figuur 53.
- Er is geen RWA-systeem.
- Er is geen ventilatiesysteem voor dagdagelijkse ventilatie.
- Er is geen wind.

Bovengenoemde parameters/factoren worden één voor één gevarieerd in de onderhavige analyse om hun impact op de branddynamica en rookdynamica te evalueren.

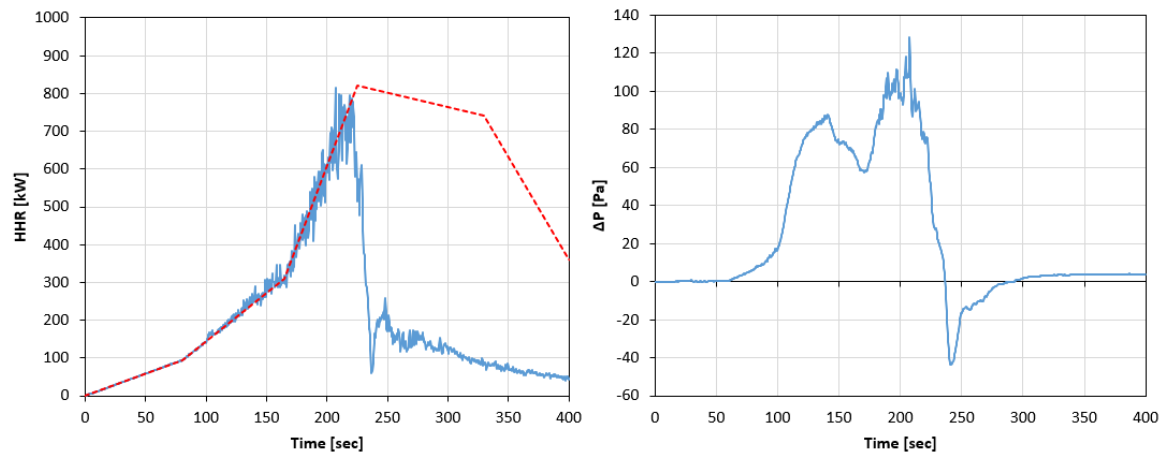


Figuur 54 Basisopstelling voor de bijkomende CFD-simulaties (SmokeView weergave).

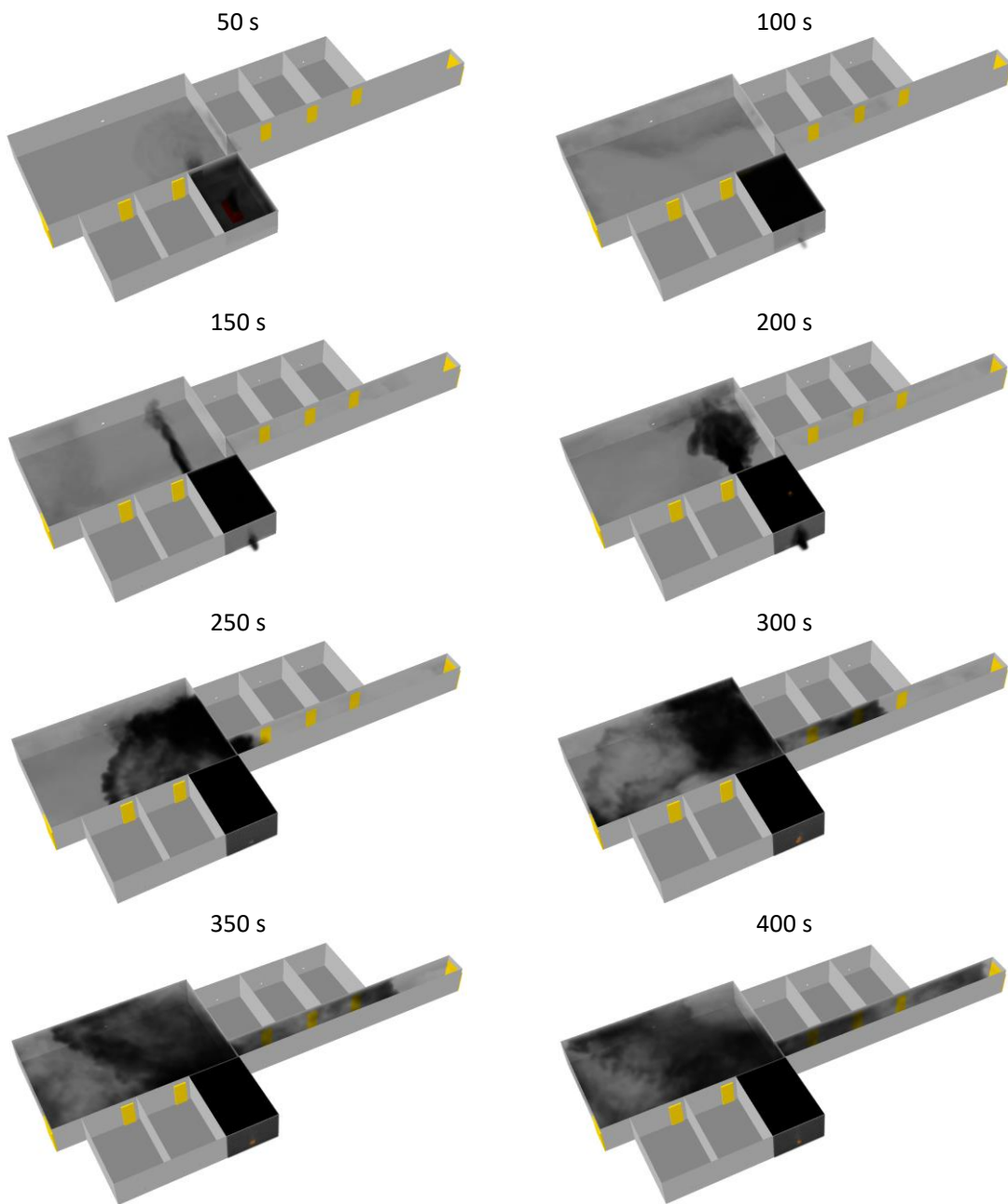
De resultaten worden voorgesteld zoals in hoofdstuk 4: evolutie van de HRR en het drukverloop in de ruimte met de brandhaard, alsook de rookverspreiding en temperaturen in een vlak op 2.1 m hoogte (i.e., de minimaal vereiste rookvrije hoogte) op verschillende tijdstappen.

Voor de basisconfiguratie tonen Figuur 55, Figuur 56 en Figuur 57 de voornaamste resultaten. Figuur 55 toont dat de HRR gevolgd wordt tot ongeveer 220 s, waarna de brand ondergeventileerd wordt door het beperkte volume van de kamer. In overeenstemming hiermee loopt de druk op (tot een waarde van 120 Pa in deze omstandigheden), gevolgd door een sterke drukval, met zelfs onderdruk, wanneer de HRR sterk daalt. Door de sterke overdruk wordt er rook geduwd naar de gemeenschappelijke ruimte doorheen de lekopening onder de deur (Figuur 56). Deze rook dringt de andere kamers niet binnen,

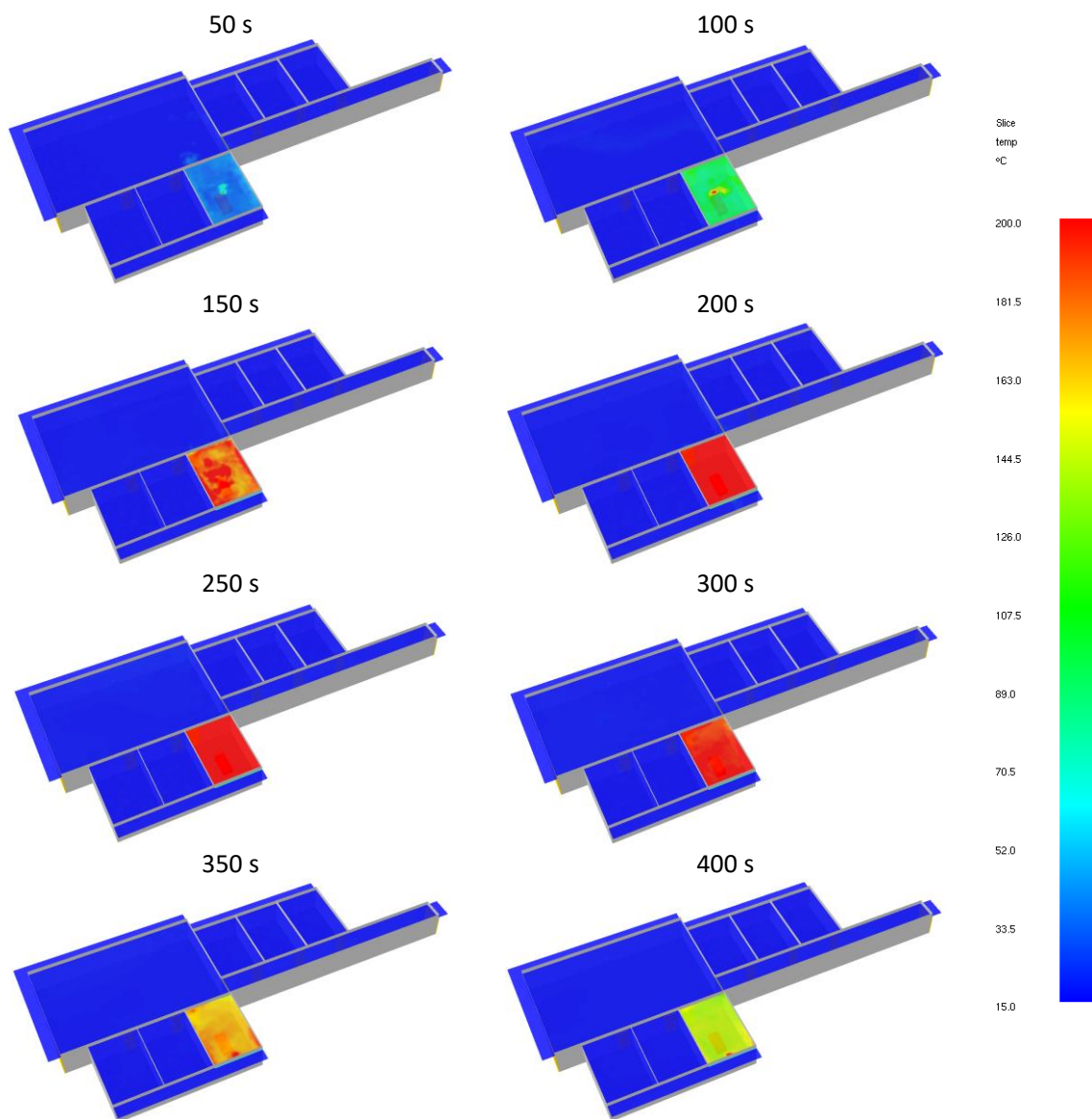
aangezien de deuren gesloten blijven en de lekopening onderaan zit. Figuur 57 toont aan dat de temperatuur op een hoogte van 2.1 m beperkt blijft, hetgeen aangeeft dat de hoeveelheid rook op die hoogte beperkt blijft.



Figuur 55 Bijkomende CFD-simulaties (basisgeval) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).

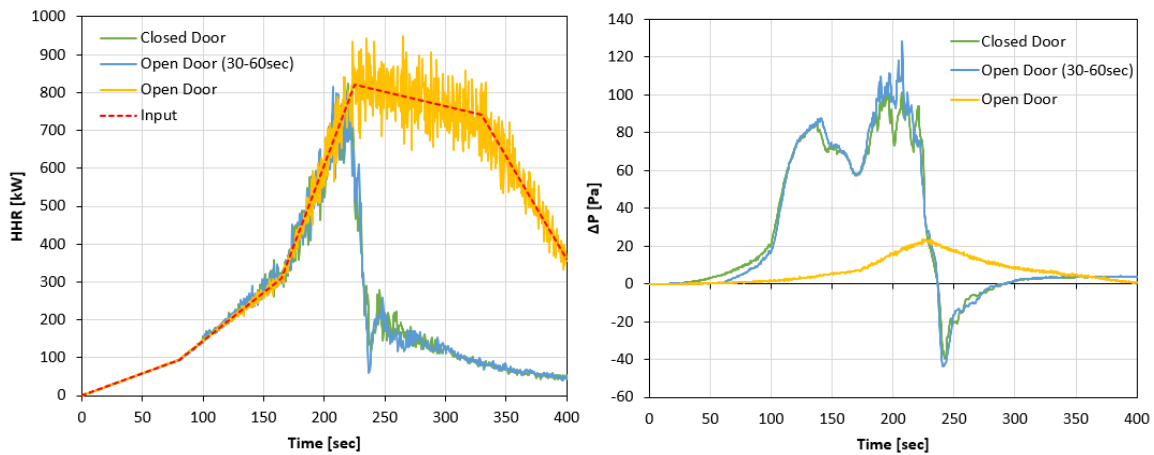


Figuur 56 Bijkomende CFD-simulaties (basisgeval) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).



Figuur 57 Bijkomende CFD-simulaties (basisgeval) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).

4.1 Impact van het openen van de deuren

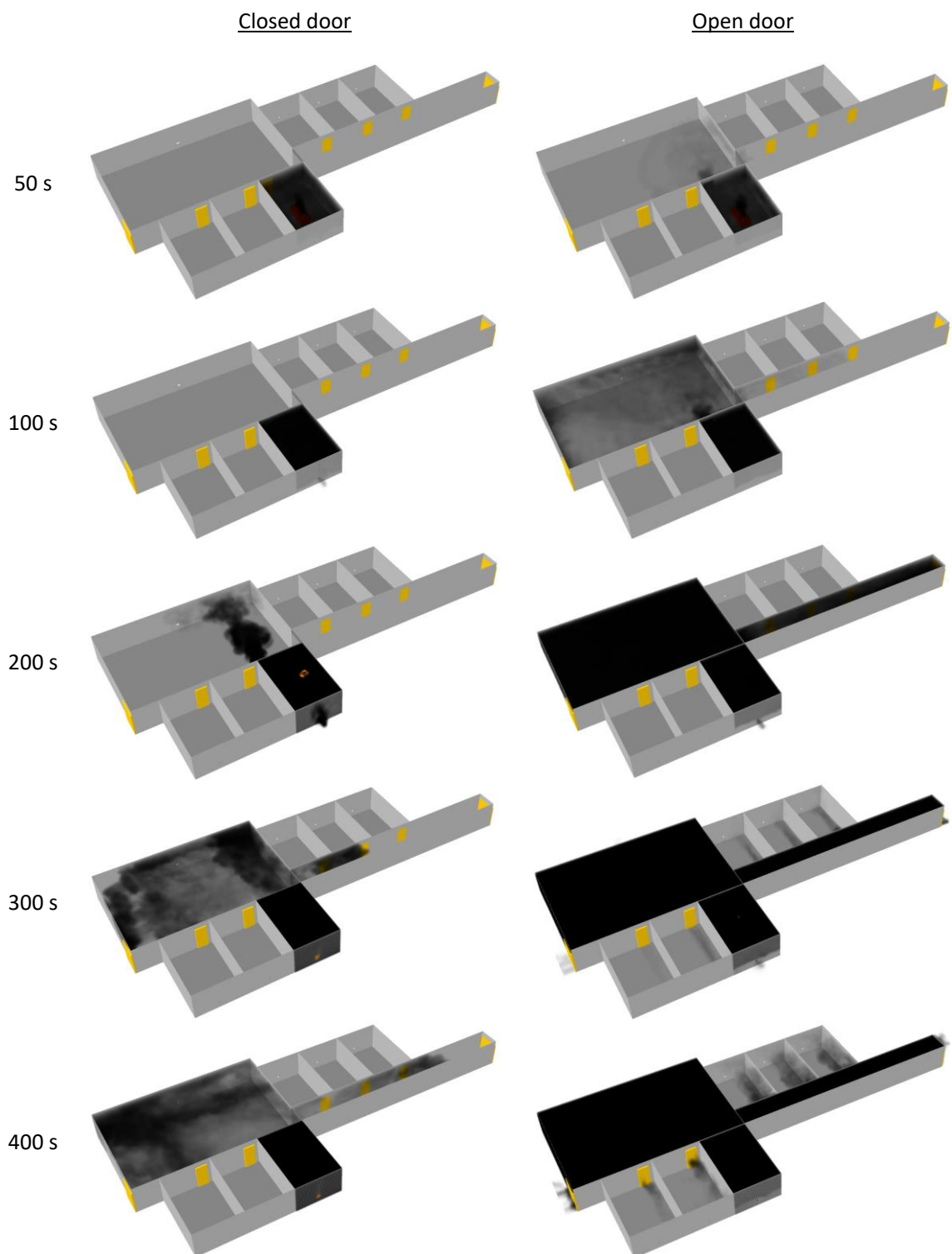


Figuur 58 Bijkomende CFD-simulaties (impact van openen van de deuren) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).

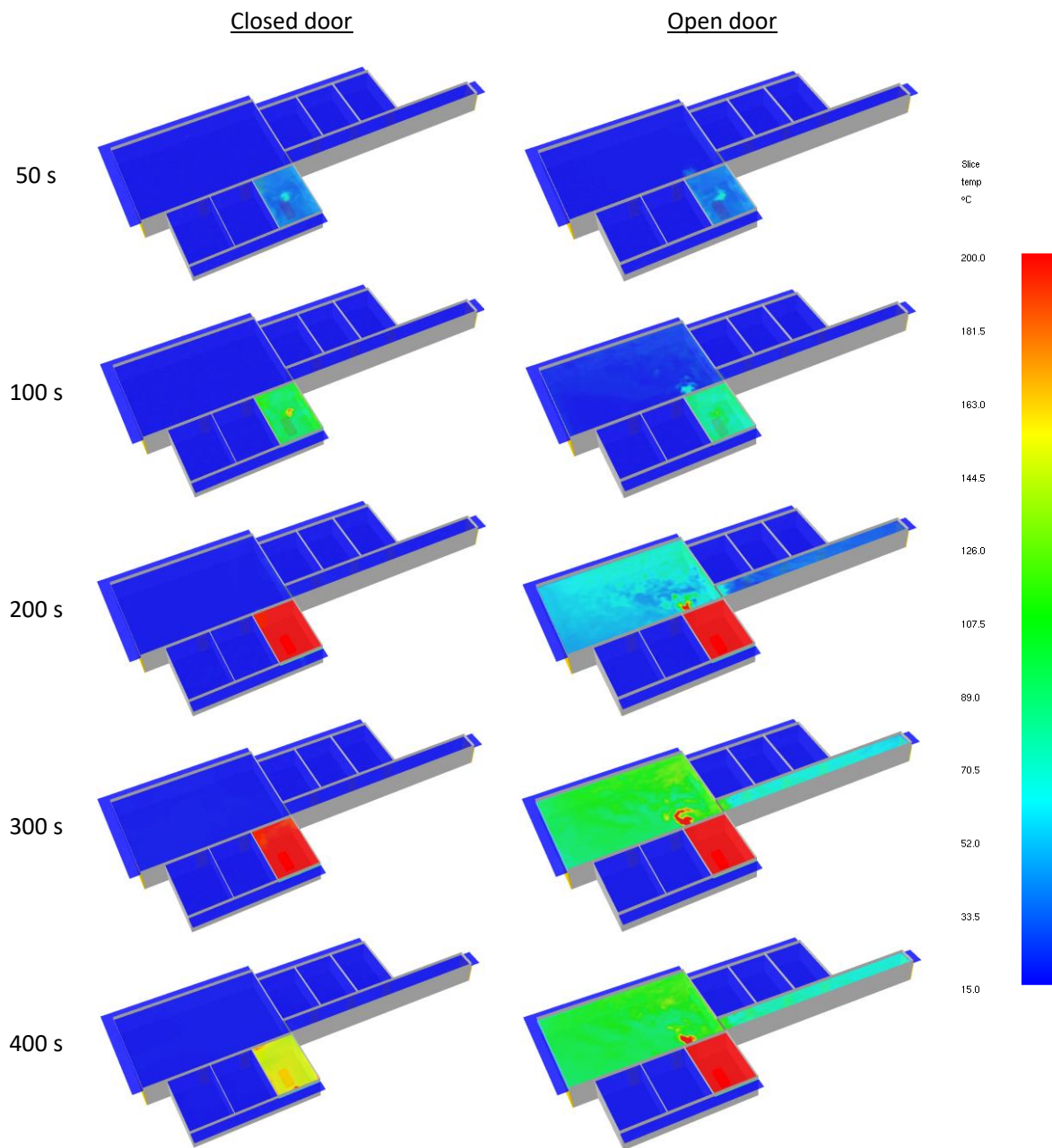
Figuur 58 toont dat de HRR en het drukverloop nagenoeg dezelfde zijn voor de situatie met een gesloten deur als wanneer de deur gedurende 30 seconden wordt geopend in de beginfase van de brand. De reden is dat de brand dan nog niet ondergeventileerd is. Wanneer de deur open blijft, blijft de brand brandstofgecontroleerd (en wordt de HRR dus bepaald door de opgelegde HRR), terwijl de druk aanzienlijk minder hoog wordt, omdat de hete rookgassen de kamer kunnen verlaten.

De rookverspreiding (Figuur 59, links) en temperatuur (Figuur 60, links) zijn ook heel gelijkaardig voor de gesloten deur als voor het basisgeval (waarbij de deur open is vanaf 30 s tot 1 minuut na de start van de brand), omdat er dan nog een beperkte rookontwikkeling en temperatuurstijging is. Zoals verwacht is er veel meer rookverspreiding en temperatuurstijging in de gemeenschappelijke ruimte, en zelfs rookverspreiding naar de andere kamers, wanneer de deur van de kamer met de brandhaard open blijft.

Dit toont het belang van het gesloten blijven van de deur van de kamer met de brandhaard. Dit toont ook aan dat wanneer er twee gesloten deuren zijn tussen de ruimte van de brandhaard en de beschouwde ruimte, de beschouwde ruimte redelijkerwijs als veilig mag worden beschouwd zo lang het vermogen van de brandhaard en de drukverschillen de hier opgelegde en bekomen waarden niet overschrijden.

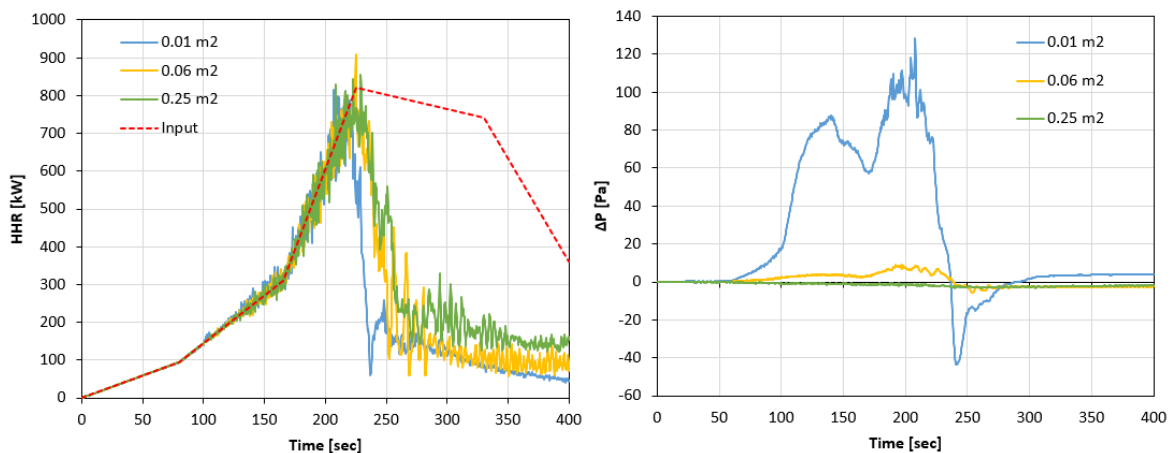


Figuur 59 Bijkomende CFD-simulaties (impact van openen van de deuren) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).



Figuur 60 Bijkomende CFD-simulaties (impact van openen van de deuren) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).

4.2 Impact van de grootte van ventilatie-openingen in de kamer met de brandhaard

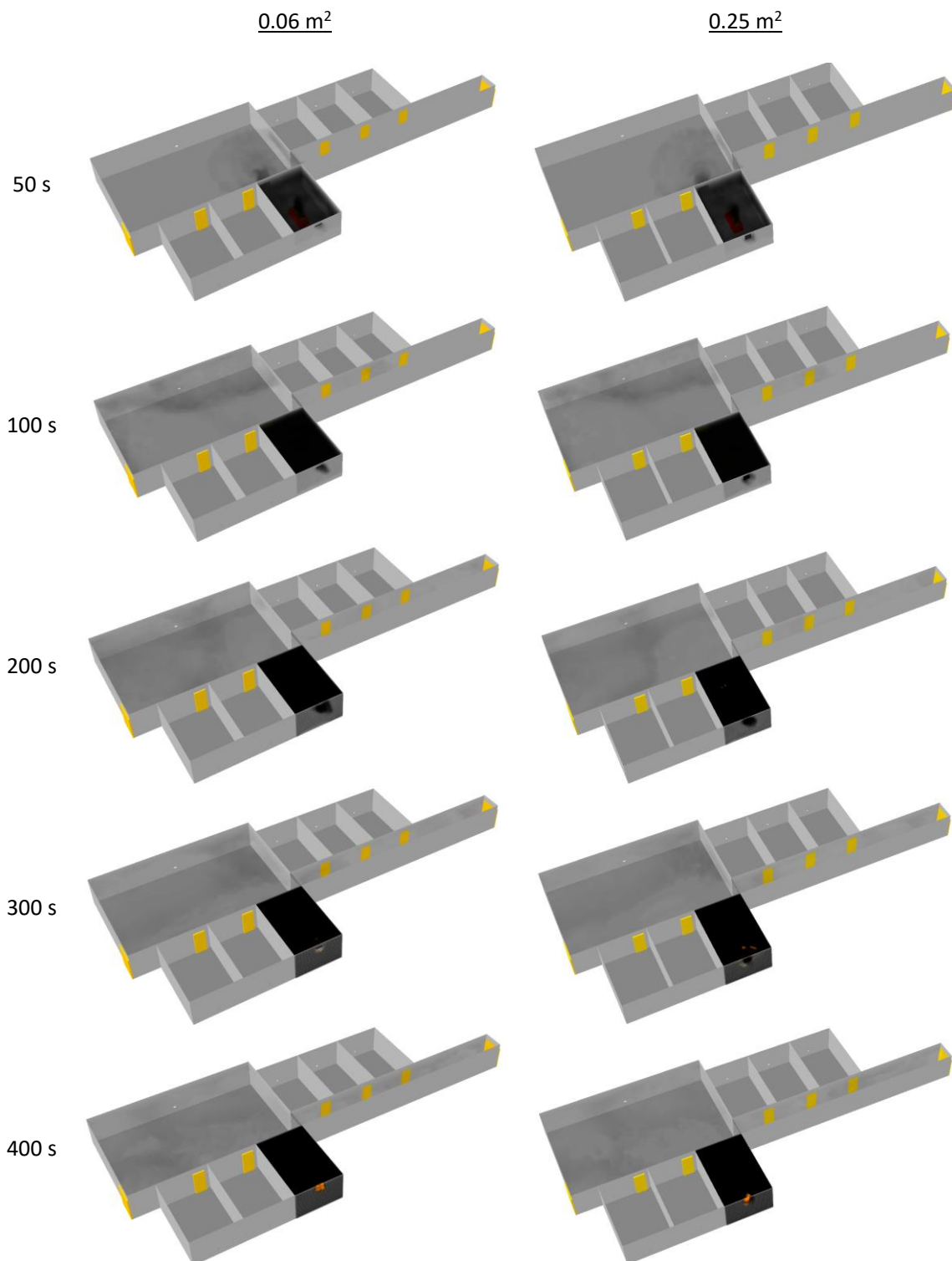


Figuur 61 Bijkomende CFD-simulaties (impact van de grootte van ventilatie-openingen in de kamer met de brandhaard) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).

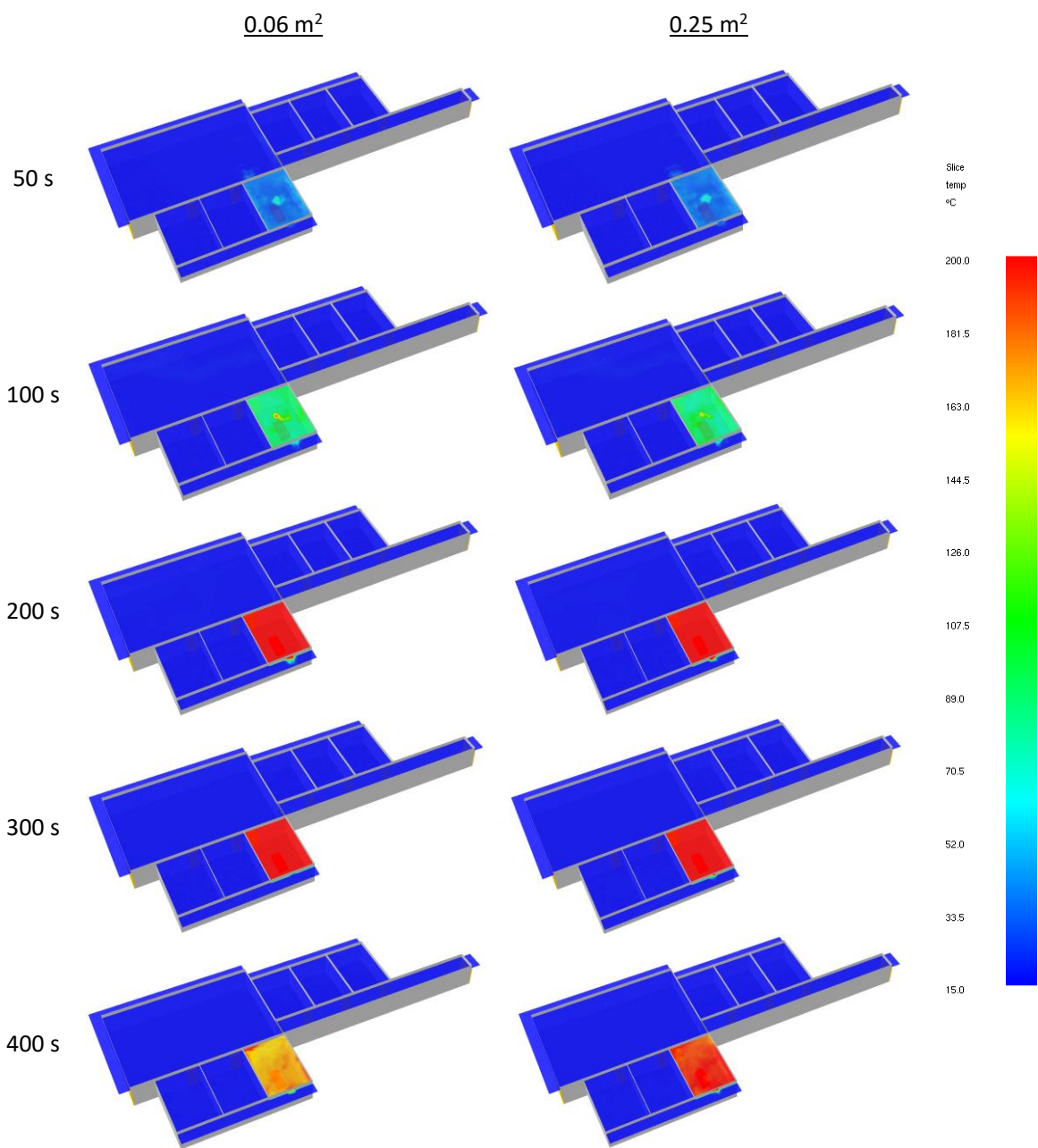
Figuur 61 (links) toont dat de brand ondergeventileerd blijft, ongeacht de grootte van de ventilatie-opening (waarbij de grootst geteste opening 0.5 m x 0.5 m groot is): de opgelegde HRR wordt niet gevolgd. De grootte van de opening bepaalt wel sterk de druk in de ruimte met de brandhaard: er is nauwelijks drukverhoging waar te nemen bij de opening van 0.5 m x 0.5 m (waarbij er wel wordt opgemerkt dat er geen wind in rekening wordt gebracht). Er is nauwelijks rookverspreiding, noch temperatuurstijging in de gemeenschappelijke ruimte (en geen rookverspreiding naar de andere kamers), zie Figuur 62, resp. Figuur 63.

Dit toont aan dat een voldoende grote ventilatie-opening, waar overdruk (door bv. wind) wordt vermeden, in de ruimte met de brandhaard, een mogelijke manier is om rookverspreiding naar de gemeenschappelijke ruimte en andere kamers te vermijden, mits dit gecombineerd wordt met een rookwerende scheiding.

Opmerking: hoewel dit niet werd gesimuleerd, kan, onder meer op basis van de bevindingen in (2) en (3), redelijkerwijs worden aangenomen dat ook een functionerend automatisch blussysteem in de ruimte met de brandhaard tot een voldoende beperking van de drukopbouw zal leiden in de ruimte met de brandhaard (en in bepaalde omstandigheden zelfs tot een onderdruk) door beperking van de HRR, zodat ook dit een mogelijke manier is om rookverspreiding naar de gemeenschappelijke ruimte en andere kamers te vermijden, mits dit gecombineerd wordt met een rookwerende scheiding. Een beperking van de drukopbouw of het creëren van een onderdruk in de ruimte met de brandhaard kan ook worden bewerkstelligd d.m.v. rookextractie in de ruimte met de brandhaard (zie sectie 4.8 voor illustraties).

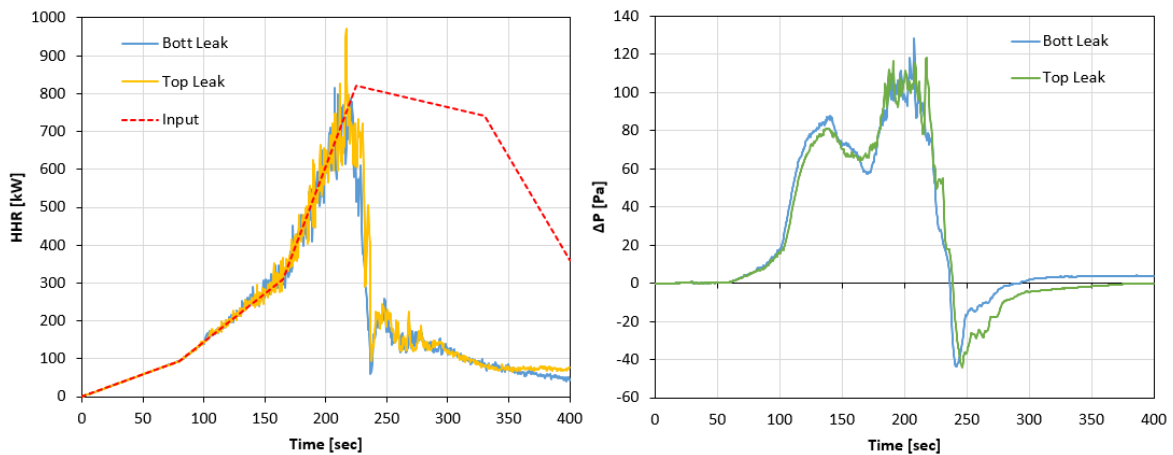


Figuur 62 Bijkomende CFD-simulaties (impact van de grootte van ventilatie-openingen in de kamer met de brandhaard) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).



Figuur 63 Bijkomende CFD-simulaties (impact van de grootte van ventilatie-openingen in de kamer met de brandhaard) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).

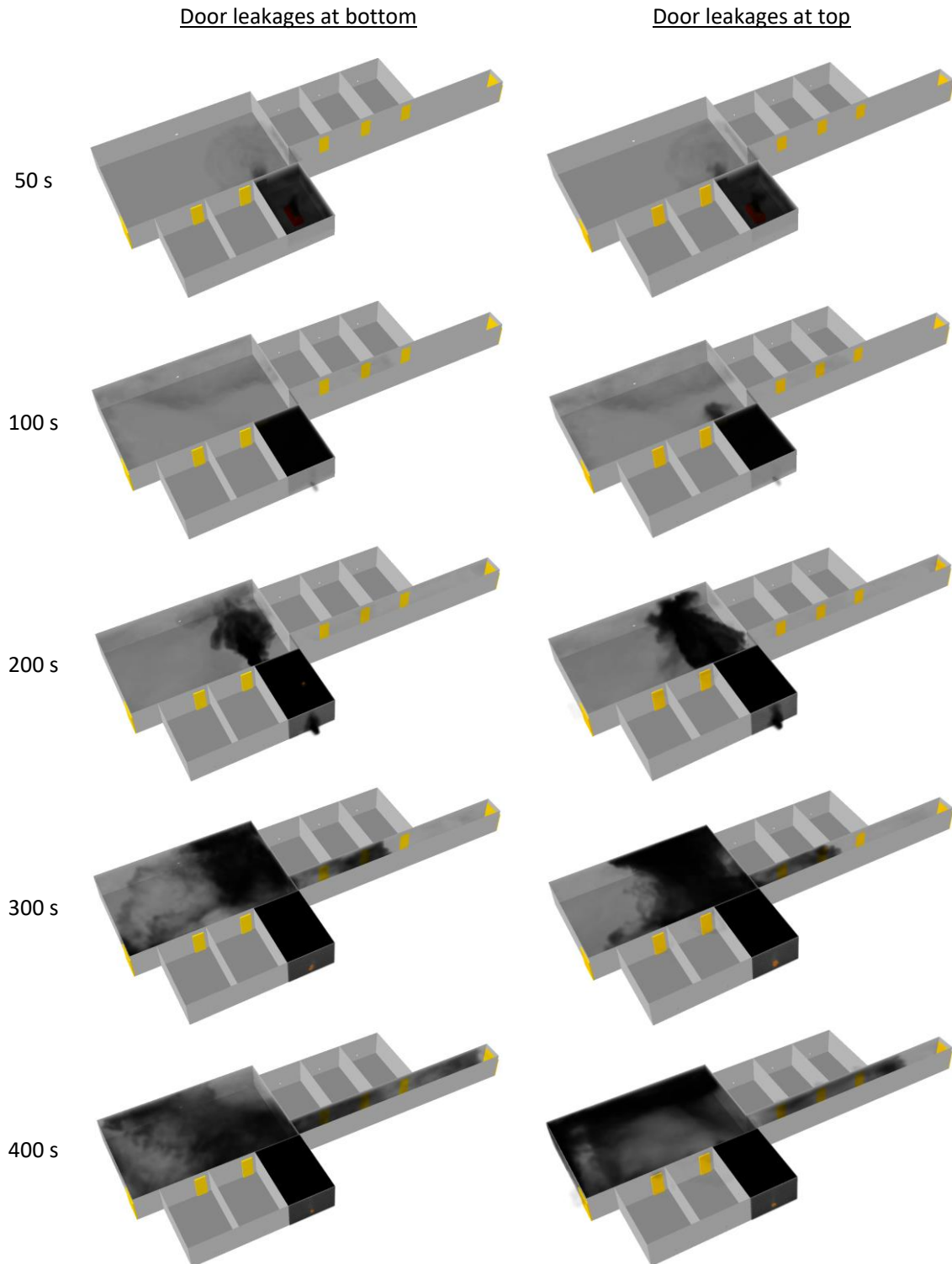
4.3 Impact van de positie van de lekopeningen in de deuren



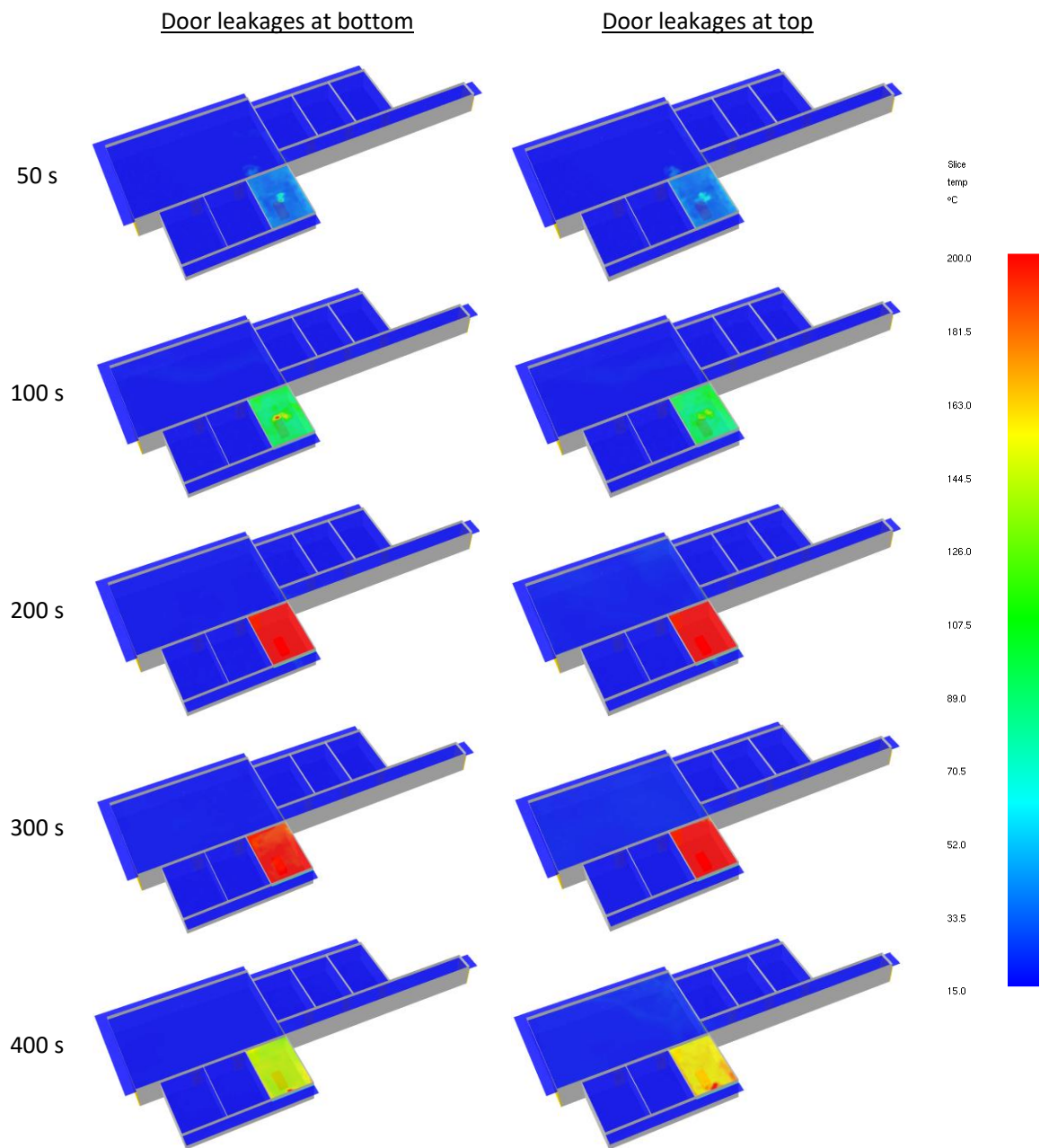
Figuur 64 Bijkomende CFD-simulaties (impact van de positie van de lekopeningen in de deuren) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).

Figuur 64 toont dat de HRR en de evolutie van de druk nauwelijks worden beïnvloed door de positie van de lekopeningen in de deuren. De rookverspreiding is wel iets sneller met de lekopeningen bovenaan (Figuur 65), maar de verschillen zijn klein. Ook in de resultaten op een hoogte van 2.1 m hoogte (Figuur 66) zijn nauwelijks verschillen te zien.

Dit geeft aan dat de precieze positie van de lekopeningen rond de deuren niet van essentieel belang is in de CFD-simulaties in geval van een ondergeventileerde brand.

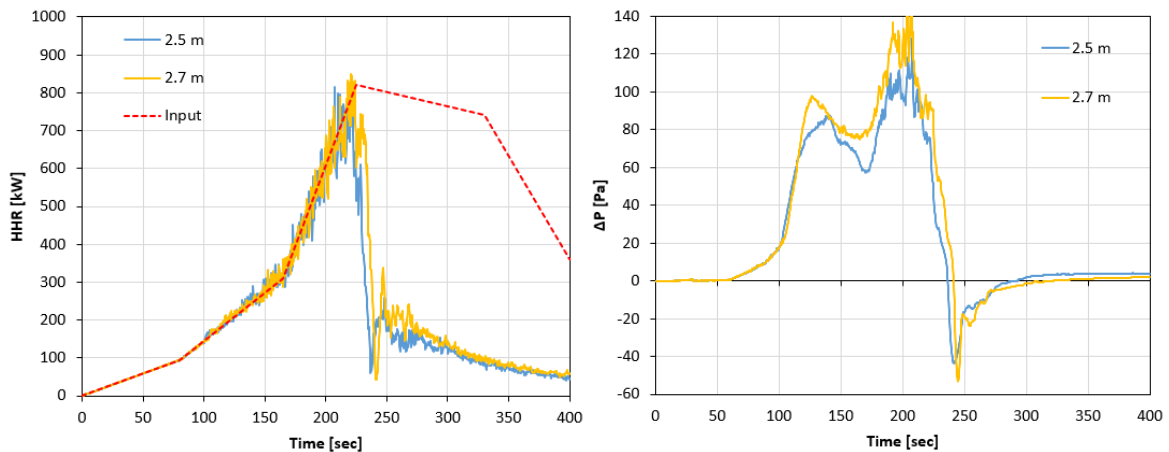


Figuur 65 Bijkomende CFD-simulaties (impact van de positie van de lekopeningen in de deuren) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).



Figuur 66 Bijkomende CFD-simulaties (impact van de positie van de lekopeningen in de deuren) –
 Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende
 tijdstippen (SmokeView weergave).

4.4 Impact van de plafondhoogte

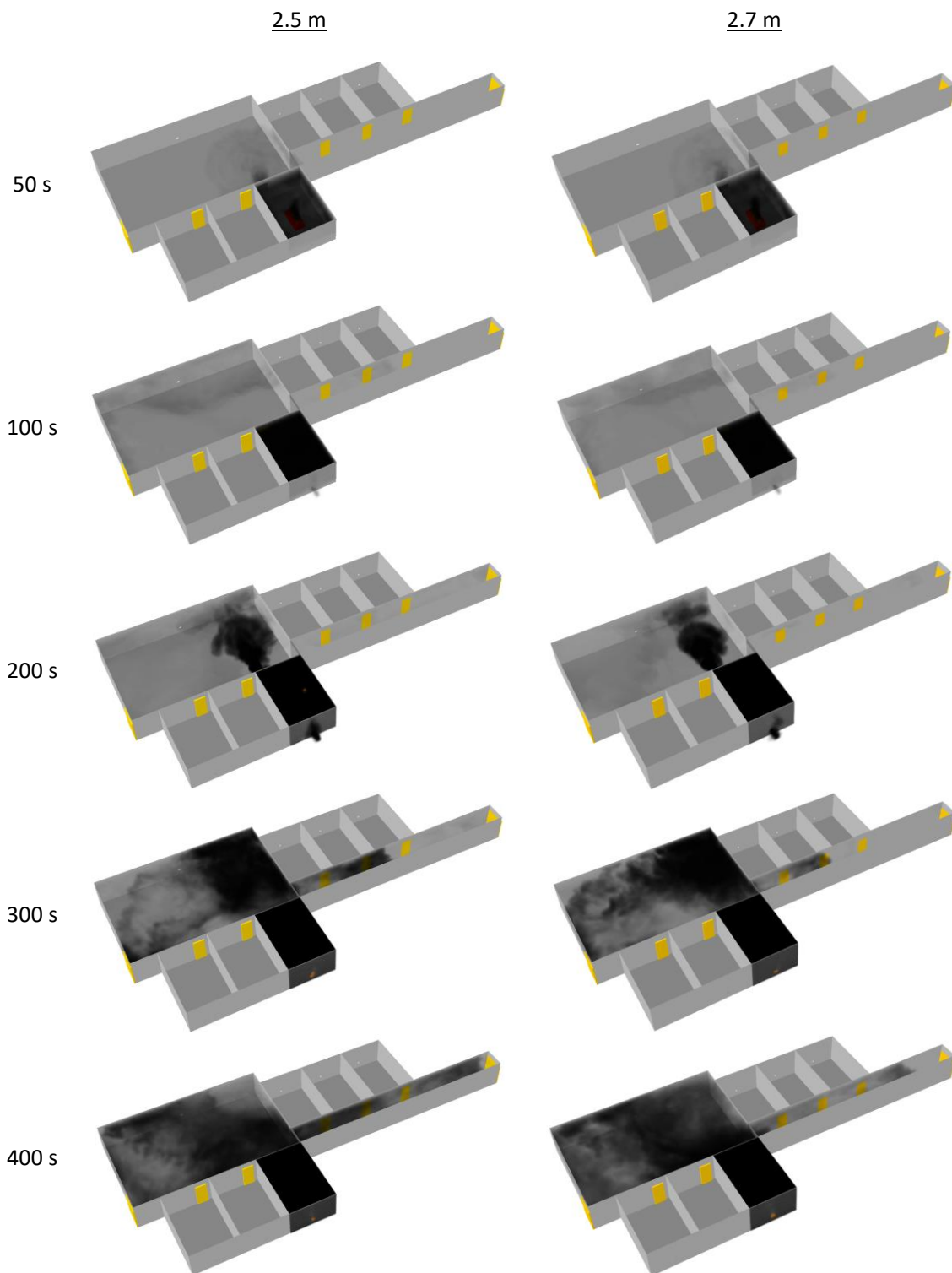


Figuur 67 Bijkomende CFD-simulaties (impact van de plafondhoogte) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).

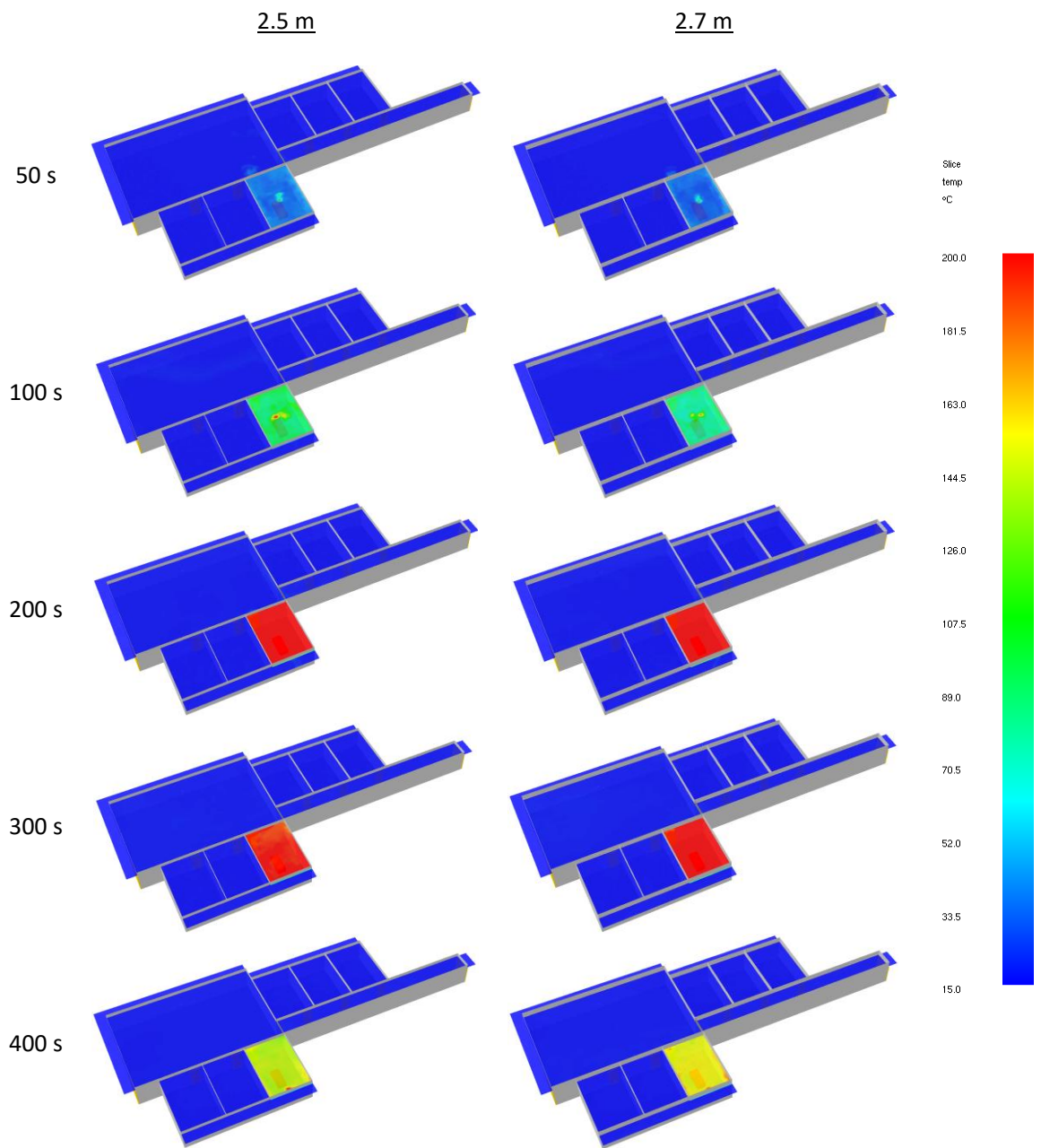
Figuur 67 (links) toont dat de HRR iets langer gevolgd kan worden en nadien ook iets hoger blijft met een hoger plafond (2.7 m i.p.v. 2.5 m), omdat er iets meer zuurstof aanwezig is als gevolg van het grotere volume. Dit leidt ook tot iets hogere drukken (Figuur 67, rechts). De invloed van de plafondhoogte op de rookverspreiding (Figuur 68 en Figuur 69) is quasi onbestaande.

Dit geeft aan dat de precieze hoogte van het plafond, zo lang er geen hoogteverschillen zijn en zo lang de hoogte beperkt blijft tot een hoogte die kan worden verwacht in een eenlagige bouweenheid, geen noemenswaardige invloed heeft op de rookverspreiding.

Opmerking: de HRR werd opgelegd in de simulaties. In werkelijkheid zal de hoogte van het plafond een invloed kunnen hebben op de ontwikkeling van de brand zelf.

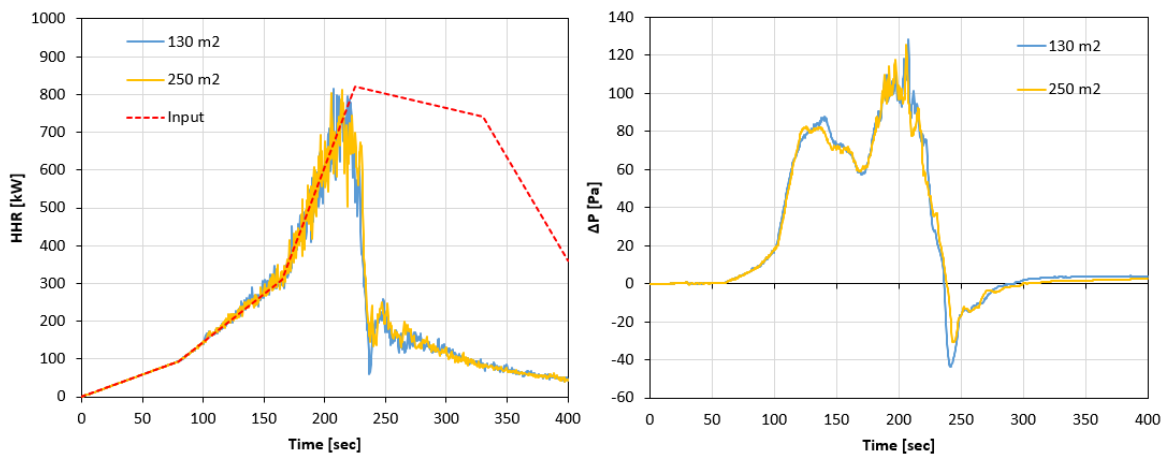


Figuur 68 Bijkomende CFD-simulaties (impact van de plafondhoogte) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).



Figuur 69 Bijkomende CFD-simulaties (impact van de positie van de lekopeningen in de deuren) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).

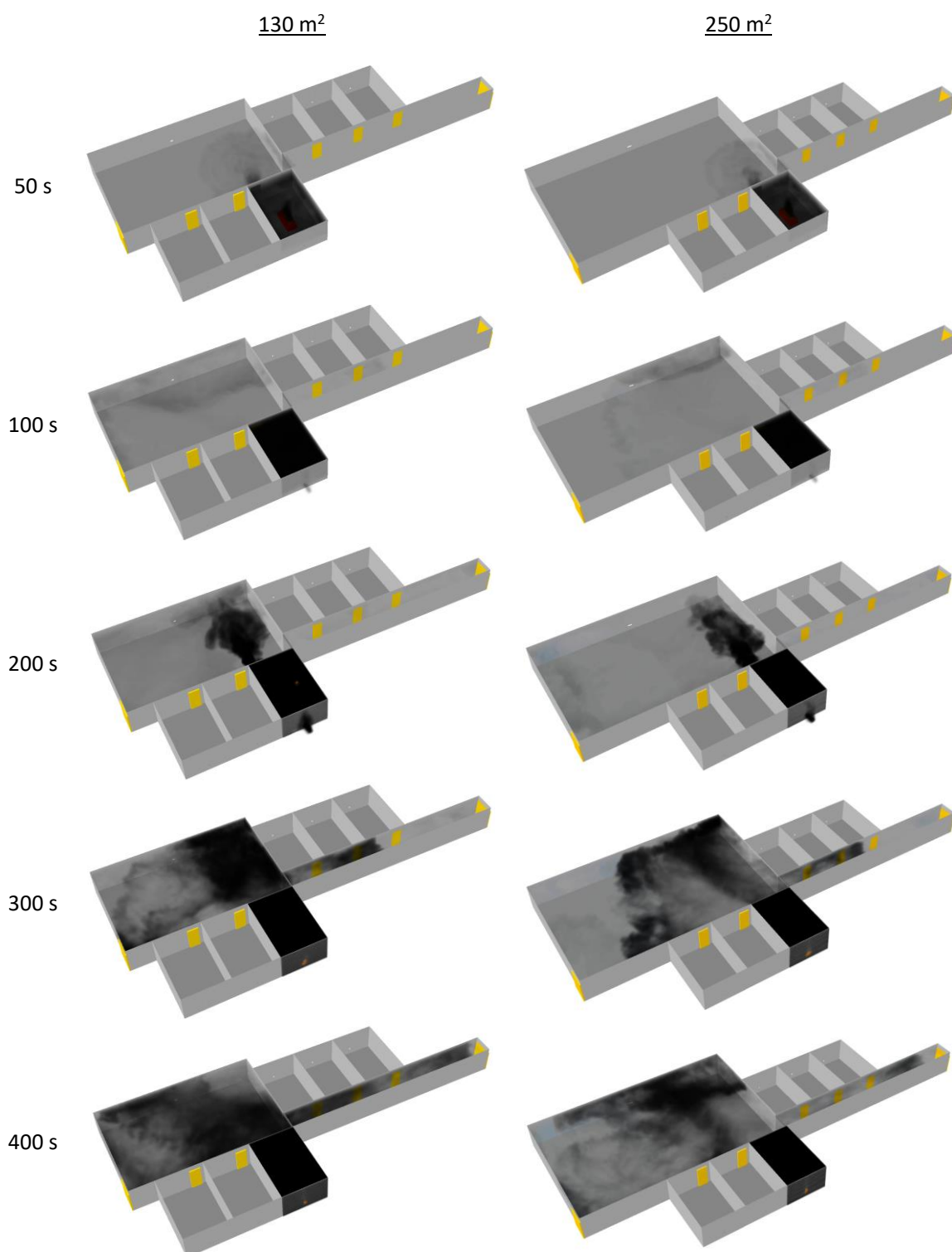
4.5 Impact van de oppervlakte van de gemeenschappelijke ruimte



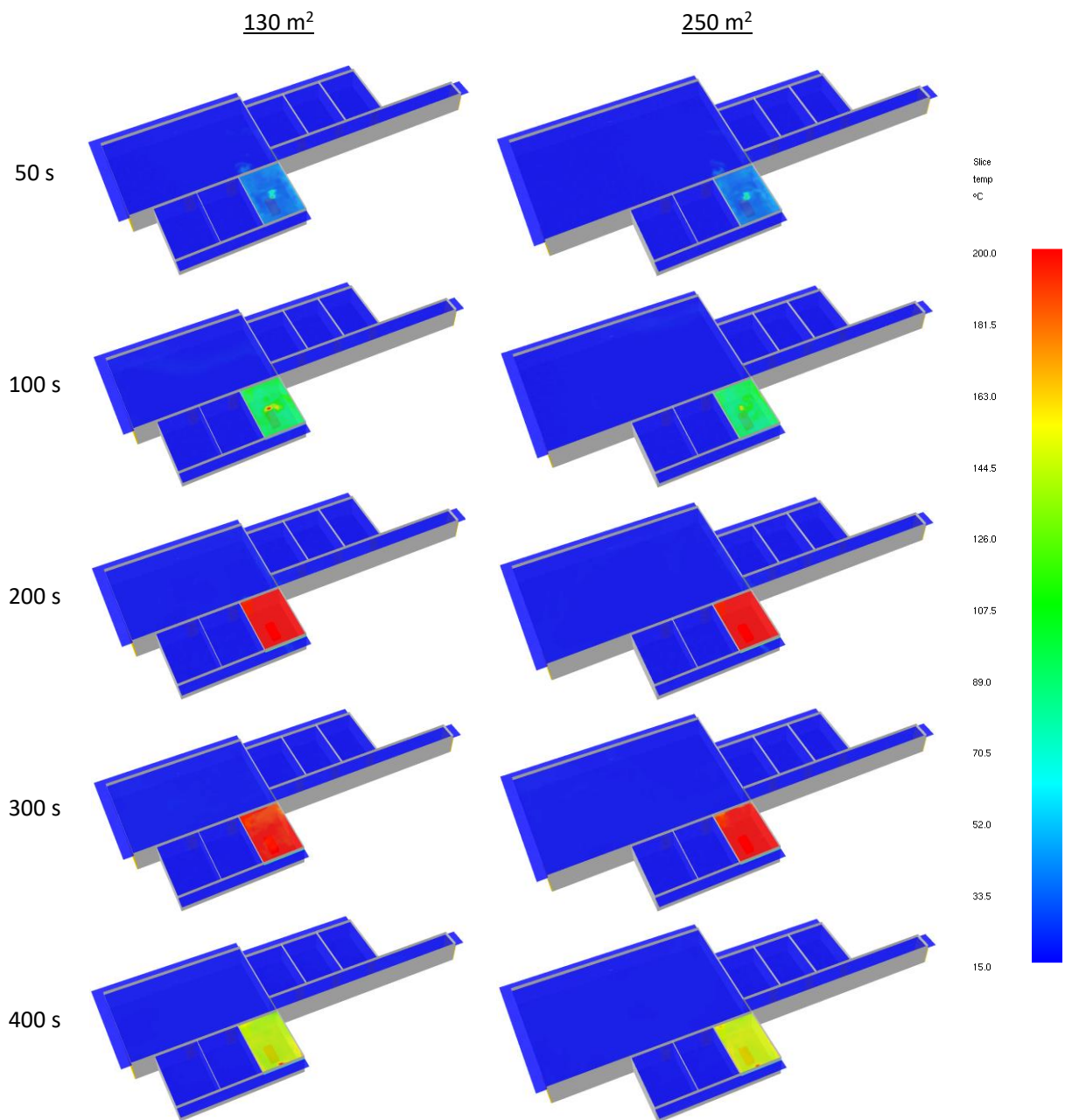
Figuur 70 Bijkomende CFD-simulaties (impact van de oppervlakte van de gemeenschappelijke ruimte) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).

Figuur 70 toont dat, zoals verwacht, de oppervlakte van de gemeenschappelijke ruimte geen enkele invloed heeft op het brand- en drukverloop in de kamer met de brandhaard. Een grotere oppervlakte van de gemeenschappelijke ruimte zorgt voor een groter reservoir voor de rook, maar heeft geen sterke invloed op de rookverspreiding (Figuur 71 en Figuur 72).

Opmerking: impliciet kan de oppervlakte van de gemeenschappelijke ruimte wel een invloed hebben op vlak van brandveiligheid in meer algemene termen, omdat een grotere oppervlakte meer, en andere, activiteiten toelaat. Dit kan aanleiding geven tot een groter brandvermogen in de gemeenschappelijke ruimte zelf. Dit aspect is evenwel niet opgenomen in deze studie.

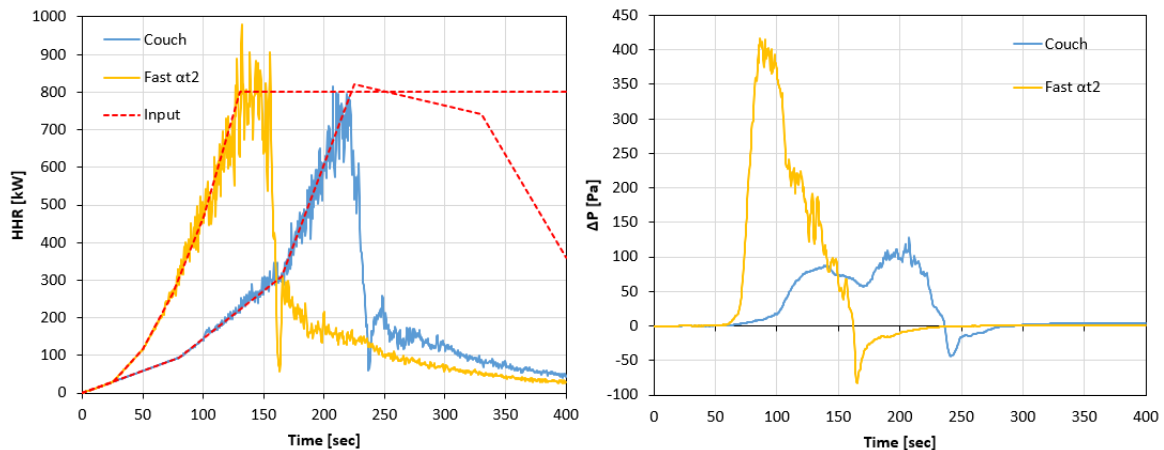


Figuur 71 Bijkomende CFD-simulaties (impact van de oppervlakte van de gemeenschappelijke ruimte) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).



Figuur 72 Bijkomende CFD-simulaties (impact van de oppervlakte van de gemeenschappelijke ruimte) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).

4.6 Impact van het brandscenario



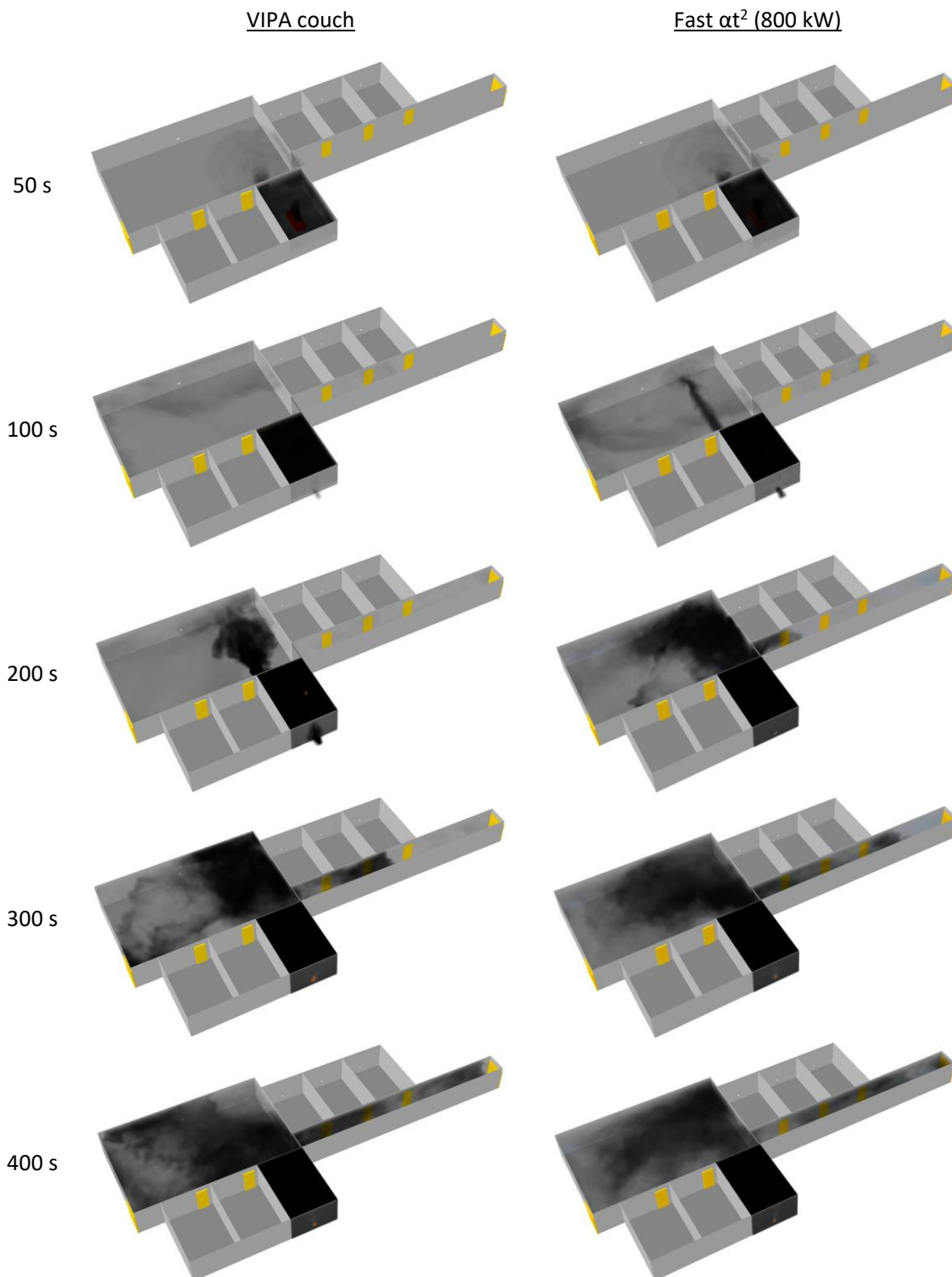
Figuur 73 Bijkomende CFD-simulaties (impact van het brandscenario) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).

Figuur 73 (links) toont dat, zoals verwacht, ook de 'fast at2'-brand ondergeventileerd wordt. De 800 kW (opgelegd als maximumwaarde nog steeds) wordt maar kortstondig aangehouden. Door de snellere toename in HRR wordt ook een aanzienlijk hoger drukniveau bereikt (400 Pa, zie Figuur 73, rechts). Dit kan leiden tot schade en zal het openen van de deur onmogelijk maken. Kwalitatief is het drukverloop wel gelijkaardig voor beide brandscenario's: drukopbouw bij stijgende HRR, een sterke daling op het moment dat de HRR daalt, en vervolgens een evolutie naar de begindruk.

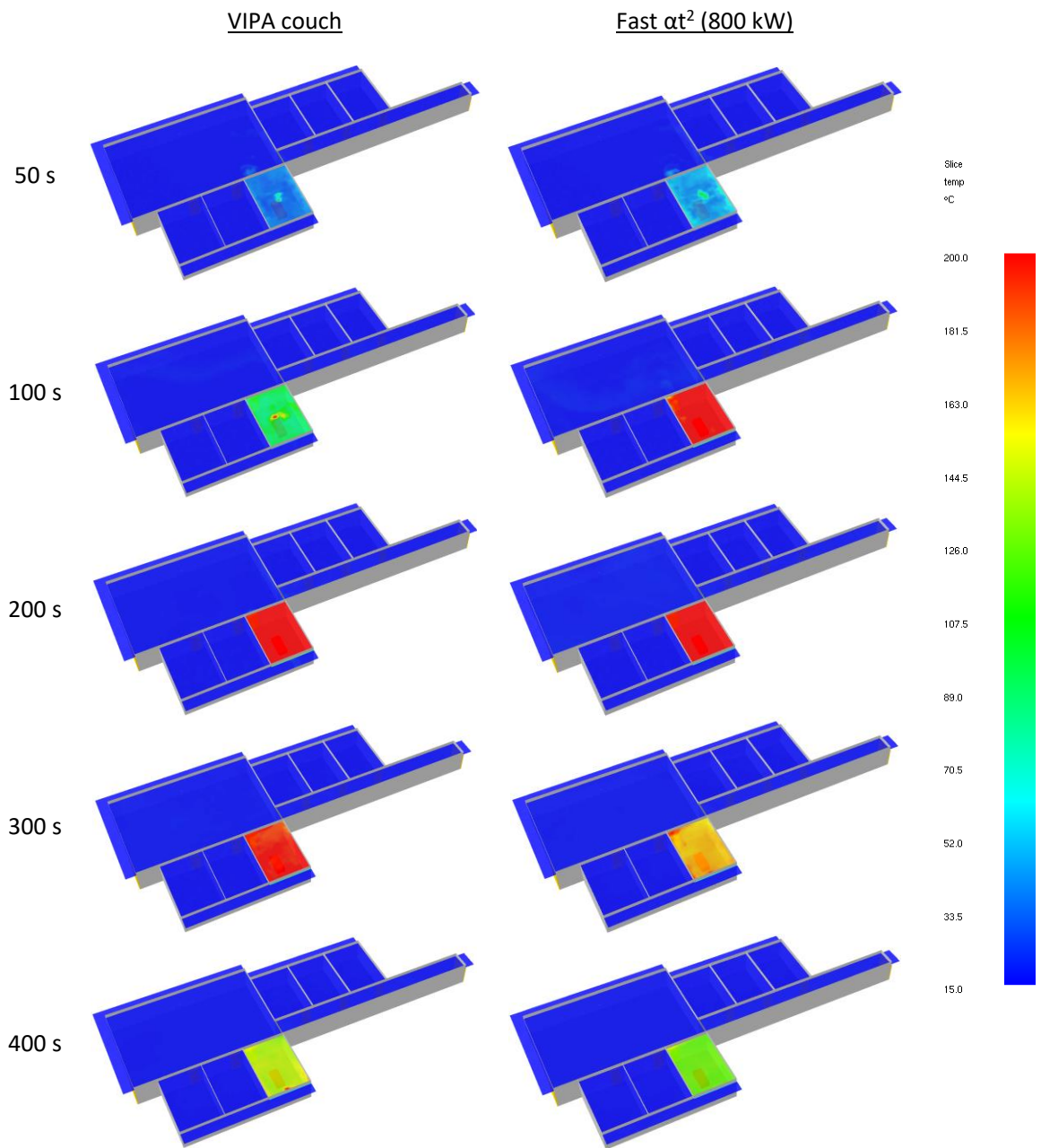
Figuur 73 toont dat, in lijn met de snellere toename in HRR, de rookverspreiding naar de gemeenschappelijke ruimte sterker is met de 'fast at2'-brand gedurende de eerste 150 seconden. Globaal is het verschil in rookverspreiding tussen beide brandscenario's evenwel beperkt (Figuur 74 en Figuur 75), omdat de brand ondergeventileerd raakt.

Dit geeft aan dat wanneer de brand ondergeventileerd is (hetgeen waarschijnlijk is bij gesloten deur en beperkte ventilatie-opening in geval van brand in een kamer) de rookverspreiding niet sterk afhangt van de precieze brandbelasting en het precieze brandverloop in de kamer.

Opmerking: voor een brand in de gemeenschappelijke ruimte zal het aanzienlijk langer duren tot de brand ondergeventileerd raakt. Hoe groter het volume van de gemeenschappelijke ruimte en hoe groter de ventilatie-openingen, hoe langer dit zal duren. Mogelijks blijft de brand zelfs brandstofgecontroleerd. Zo lang de brand brandstofgecontroleerd blijft, zullen de HRR, drukopbouw en rookverspreiding afhangen van de aanwezige brandbelasting en eventueel aanwezige actieve brandbeveiligingsmaatregelen.

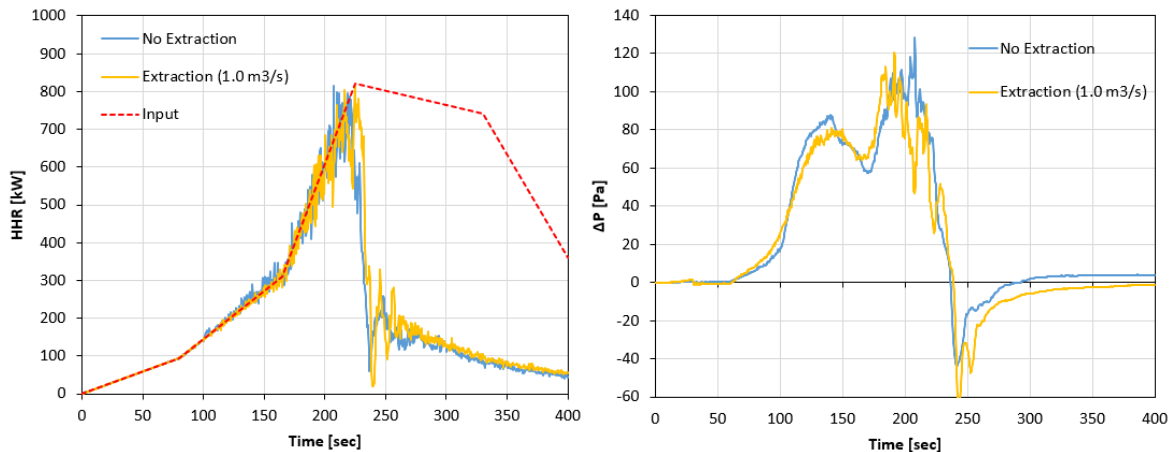


Figuur 74 Bijkomende CFD-simulaties (impact van het brandscenario) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).



Figuur 75 Bijkomende CFD-simulaties (impact van het brandscenario) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).

4.7 Impact van rookextractie

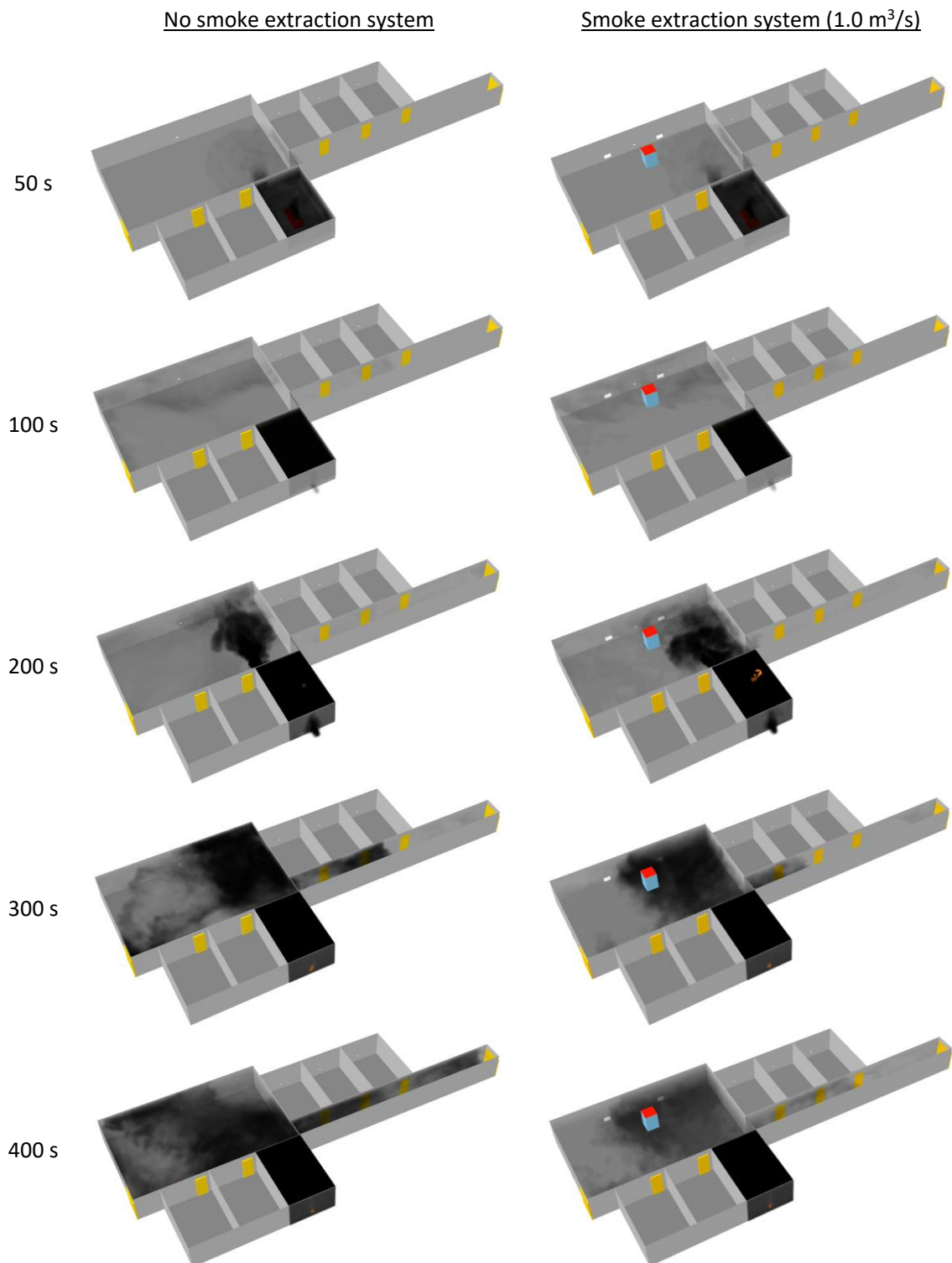


Figuur 76 Bijkomende CFD-simulaties (impact van rookextractie) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).

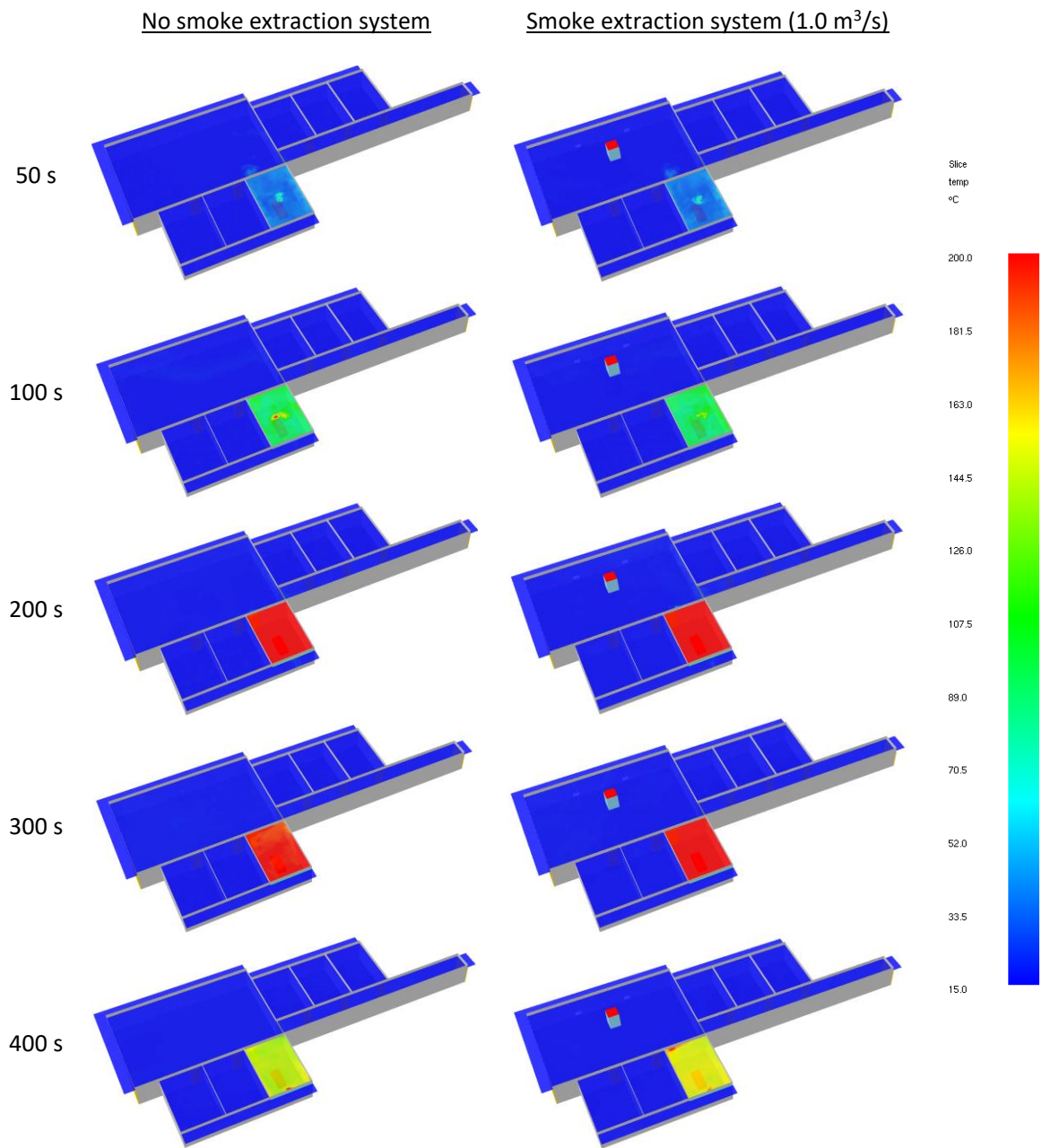
In deze simulaties wordt rook afgezogen vanuit de gemeenschappelijke ruimte met een extractiedebiet van $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ (i.e., ongeveer 10 luchtverversingen per uur). Er worden bijkomende ventilatie-openingen voorzien (ten belope van 0.72 m^2 in totaal) voor de natuurlijke aanvoer van lucht van buitenaf.

Figuur 76 (links) toont dat de impact hiervan op het brandverloop miniem is. De impact op het drukverloop in de kamer met de brandhaard (Figuur 76, rechts) is zichtbaar, met iets lagere drukken als gevolg van de extractie, maar beperkt. Dit is volgens verwachting, omdat het primaire effect van de rookextractie zich in de gemeenschappelijke ruimte zelf bevindt. Dit is zichtbaar in Figuur 77: er is minder rook in de gemeenschappelijke ruimte en de gang (al is ook de gang niet helemaal rookvrij bij dit extractiedebiet). Er is geen verschil merkbaar in Figuur 78 (temperatuur op hoogte 2.1 m).

Dit geeft aan dat een extractiedebiet van de grootteorde van 10 luchtverversingen per uur uit de gemeenschappelijke ruimte een gunstig effect heeft op de rookverspreiding, maar niet kan verhinderen dat rook zich verspreidt naar een gang die niet door een gesloten deur wordt afgescheiden van de gemeenschappelijke ruimte.



Figuur 77 Bijkomende CFD-simulaties (impact van rookextractie) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).



Figuur 78 Bijkomende CFD-simulaties (impact van rookextractie) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).

4.8 Impact van het ventilatiesysteem

4.8.1 Beschrijving van de opstelling

Deze serie van CFD-berekeningen richt zich op de kwalitatieve inschatting van de mogelijke impact van een systeem met ventilatiekanalen, gebruikt voor dagdagelijkse ventilatie, op vlak van rookverspreiding in geval van brand. Dit zal sterk afhangen van de onderlinge verbinding van kamers, gemeenschappelijke ruimte en gangen, via de ventilatiekanalen. Er wordt nogmaals op gewezen dat de resultaten van de CFD-berekeningen niet gevalideerd werden met meetgegevens. Het zijn zogenaamde 'blinde' simulaties, en voor simulaties met rookverspreiding doorheen ventilatiekanalen in het huidige hoofdstuk is dus extra voorzichtigheid geboden:

- Er zijn geen gedetailleerde stromingsberekeningen uitgevoerd in de ventilatiekanalen. Een rekenrooster met cellen van 10 cm x 10 cm x 10 cm laat zulks niet toe.
- Er is geen rekening gehouden met wandruwheid.

Dit betekent dat de CFD-resultaten hoogstens een kwalitatieve inschatting toelaten, geen nauwkeurig kwantitatieve becijfering van de precieze omstandigheden in de realiteit.

In samenspraak met de stuurgroep werden 3 configuraties geselecteerd, met verschillende soorten verbinding tussen kamers, gemeenschappelijke ruimte en gangen, via de ventilatiekanalen. Tenzij anders vermeld, worden de volgende extractiedebieten opgelegd, in overeenstemming met de afmetingen van de configuratie:

- 240 m³/h voor de gemeenschappelijke ruimte,
- 75 m³/h voor de gang,
- 75 m³/h voor elke kamer.

Tenzij anders vermeld, worden de extractiedebieten constant verondersteld. M.a.w., er wordt verondersteld dat de ventilatie niet wordt stilgelegd, noch wordt beïnvloed door de brand. Dit is niet noodzakelijk een betrouwbare weergave van de werkelijkheid, maar laat een kwalitatieve inschatting van de mogelijke rookverspreiding toe. Verschillen in massadebiet voor toevoer en afvoer, als gevolg van verschillen in temperatuur bij een gelijk volumedebiet, worden gecompenseerd door de openingen voor natuurlijke toevoer van lucht (of afvoer van rook).

In overleg met de stuurgroep werden de volgende afmetingen gebruikt voor de ventilatiekanalen:

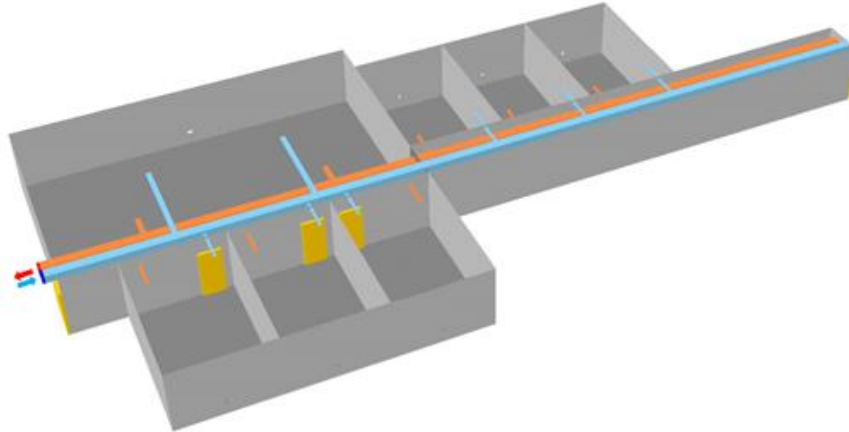
- Hoofdkanaal: afhankelijk van het geval (40 cm x 30 cm of 30 cm x 20 cm),
- Zijkanalen in de gemeenschappelijke ruimte: 20 cm x 10 cm,
- Zijkanalen in de kamers en de gang: 10 cm x 10 cm.

Deze afmetingen leiden tot lichtsnelheden van 2 m/s (of lager). Voor de natuurlijke toevoer van lucht worden openingen voorzien van 20 cm x 10 cm in elke kamer.

Configuratie 1 (Figuur 79): de toevoer- en afvoerkanalen verbinden alle ruimtes met elkaar (gemeenschappelijke ruimte, gang en kamers). De getalwaarden zijn als volgt:

- Toevoer (blauw):
 - Toevoerdebiet: 765 m³/h (240 m³/h voor de gemeenschappelijke ruimte, 75 m³/h voor de gang en 6x 75 m³/h voor de kamers).
 - Afmetingen centraal kanaal: 40 cm x 30 cm.

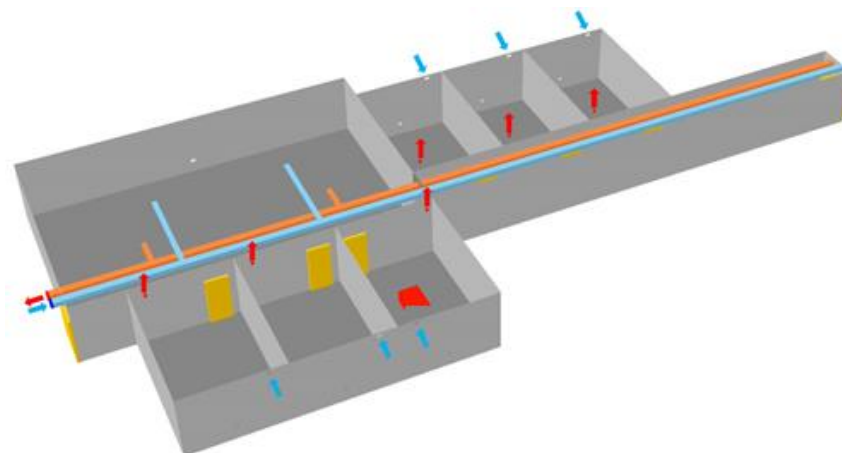
- Afvoer (oranje):
 - Extractiedebiet: 765 m³/h (240 m³/h voor de gemeenschappelijke ruimte, 75 m³/h voor de gang en 6x 75 m³/h voor de kamers).
 - Afmetingen centraal kanaal: 40 cm x 30 cm.



Figuur 79 Ventilatiesysteem: configuratie 1 (SmokeView weergave).

Configuratie 2 (Figuur 80): de toevoer- en afvoerkanalen verbinden de gemeenschappelijke ruimte en de gang, maar elke kamer heeft een onafhankelijke toevoer en afvoer (hetgeen neerkomt op verticale ventilatiekanalen; verticale rookverspreiding wordt niet beschouwd in deze studie, met de veronderstelling dat er brandkleppen, type B, op de compartimentsgrenzen aanwezig zijn die sluiten bij detectie van brand). De toevoer voor elke kamer is natuurlijk, doorheen een opening van 20 cm x 10 cm. De getalwaarden zijn als volgt:

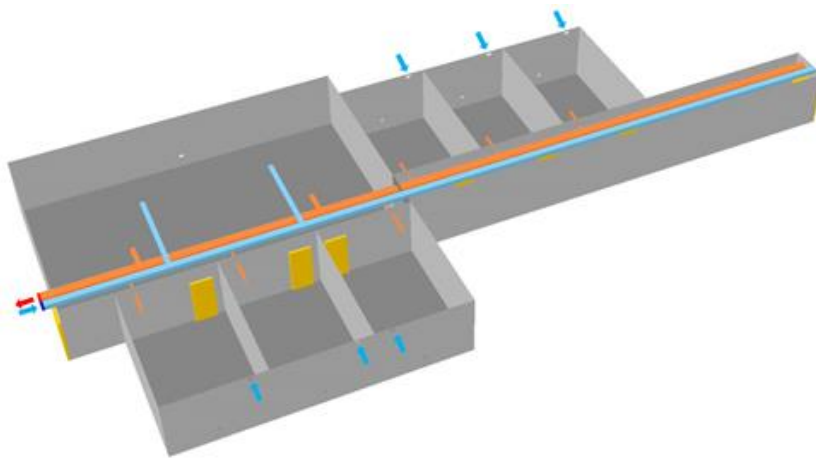
- Toevoer (blauw):
 - Toevoerdebiet: 315 m³/h (240 m³/h voor de gemeenschappelijke ruimte en 75 m³/h voor de gang).
 - Afmetingen centraal kanaal: 30 cm x 20 cm.
- Afvoer (oranje):
 - Extractiedebiet: 315 m³/h (240 m³/h voor de gemeenschappelijke ruimte en 75 m³/h voor de gang).
 - Afmetingen centraal kanaal: 30 cm x 20 cm.



Figuur 80 Ventilatiesysteem: configuratie 2 (SmokeView weergave).

Configuratie 3 (Figuur 81): de toevoerkanalen verbinden de gemeenschappelijke ruimte en de gang, maar elke kamer heeft een onafhankelijke natuurlijke toevoer (doorheen een opening van 20 cm x 10 cm), terwijl de afvoerkanalen alle ruimtes met elkaar verbinden (gemeenschappelijke ruimte, gang en kamers). De getalwaarden zijn als volgt:

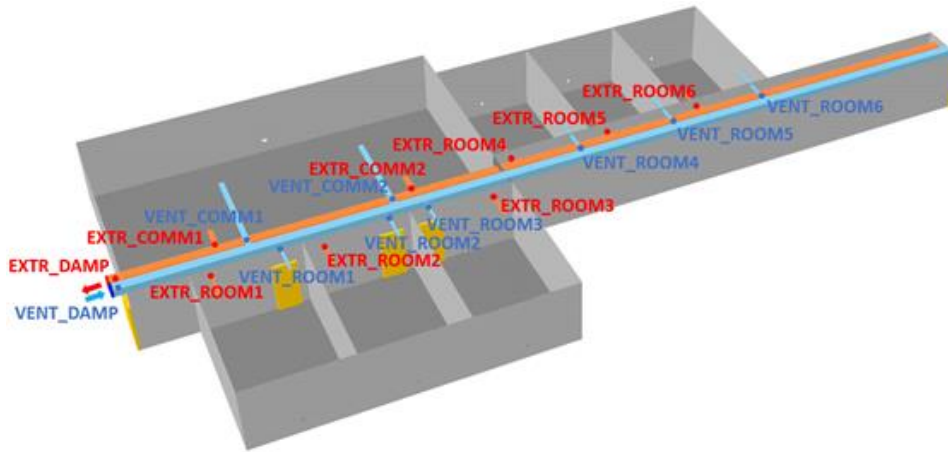
- Toevoer (blauw):
 - Toevoerdebiet: 315 m³/h (240 m³/h voor de gemeenschappelijke ruimte en 75 m³/h voor de gang).
 - Afmetingen centraal kanaal: 30 cm x 20 cm.
- Afvoer (oranje):
 - Extractiedebiet: 765 m³/h (240 m³/h voor de gemeenschappelijke ruimte, 75 m³/h voor de gang en 6x 75 m³/h voor de kamers).
 - Afmetingen centraal kanaal: 40 cm x 30 cm.



Figuur 81 Ventilatiesysteem: configuratie 3 (SmokeView weergave).

In deze simulaties werd gewerkt met een plafondhoogte van 2.7 m, zodat de ventilatiekanalen onder het plafond konden worden geplaatst. In paragraaf 4.4 werd aangetoond dat er geen wezenlijk verschil te verwachten valt ten opzichte van een plafondhoogte van 2.5 m. De ventilatoren voor toevoer en afvoer worden gemodelleerd als een 'VENT' aan het einde van het extractiekanaal en wordt het constant veronderstelde extractiedebiet opgelegd als een snelheid (&SURF VEL commando). De impact van drukveranderingen op de extractie- of toevoerdebieten wordt, zoals vermeld, niet in rekening gebracht.

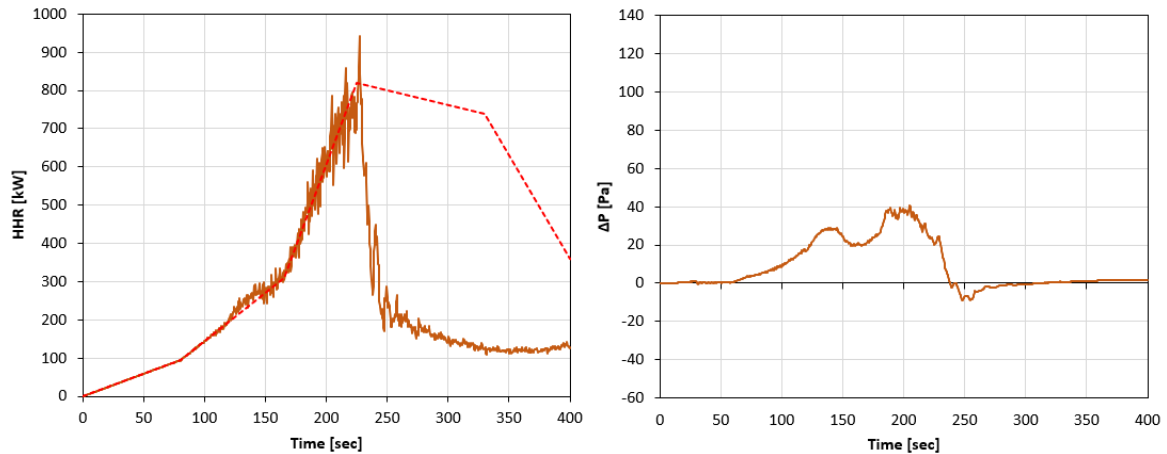
Zoals vermeld, worden de toevoer- en extractiedebieten constant verondersteld, behalve in paragrafen 4.8.7 en 4.8.8, waar het effect van het sluiten van brandkleppen op de compartimentsgrenzen wordt beschouwd. In deze simulaties worden de centrale toevoer- en extractiekanalen afgesloten op de rand van het rekendomein vanaf 120 s na de start van de brand. Voor deze gevallen zullen ook de temperaturen in de kanalen worden besproken met behulp van temperatuursensoren zoals aangegeven op Figuur 82.



Figuur 82 Ventilatiesysteem: configuratie 1 (SmokeView weergave) met instrumentatie voor temperaturen.

4.8.2 Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer

De ventilatie is configuratie 1 en de brandhaard bevindt zich in Kamer 3 (Figuur 79). De deuren zijn brandwerend (lekopening van 72 cm^2 , aangebracht onderaan de deur. Elke kamer heeft een opening van $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ om lek te simuleren.

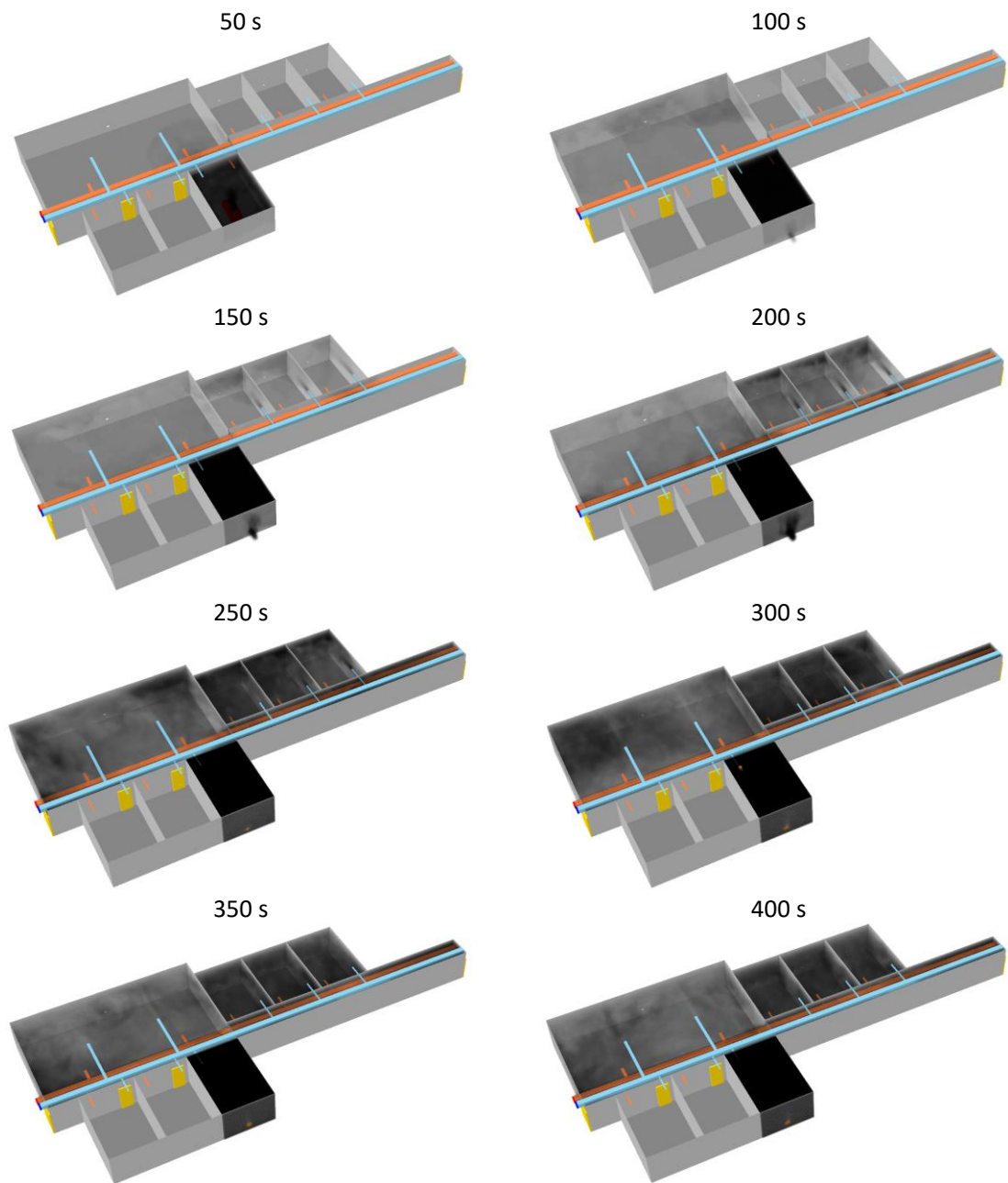


Figuur 83. Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).

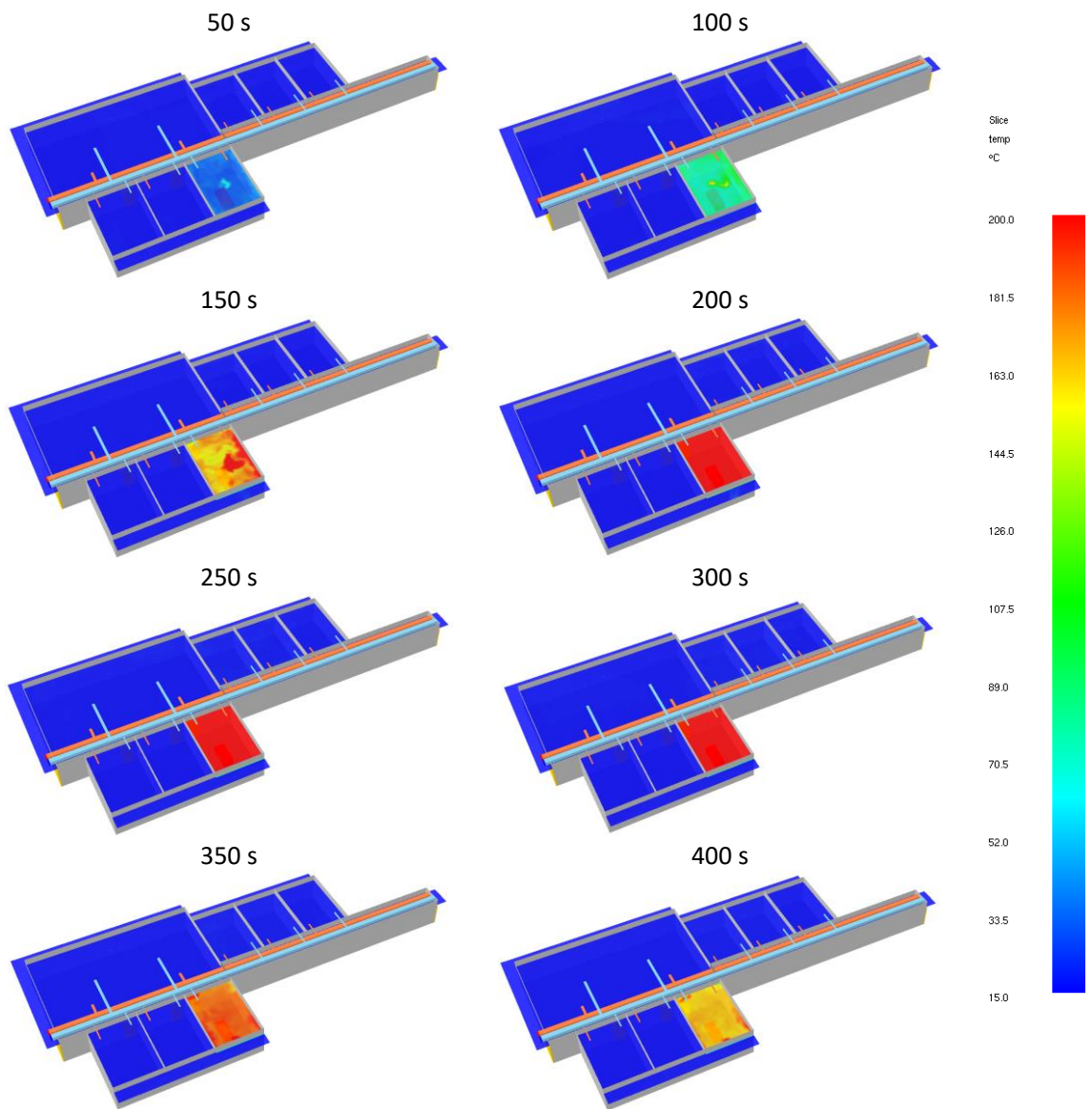
Figuur 83 toont dat de HRR iets langer gevolgd wordt dan in afwezigheid van de ventilatie (Figuur 55), maar de brand blijft ondergeventileerd door het beperkte volume van de kamer en het verloop van de HRR wordt nauwelijks beïnvloed door de ventilatie. De drukopbouw is aanzienlijk lager (tot ongeveer 40 Pa, tegenover 120 Pa in Figuur 83), omdat de ventilatiekanalen een zekere uitweg geven aan de warme gassen. Kwalitatief is het drukverloop gelijkaardig: oplopende druk met oplopende HRR, gevolgd door een sterke drukval, met zelfs onderdruk, wanneer de HRR sterk daalt.

Door de overdruk in de kamer met de brandhaard wordt er rook geduwd naar de gemeenschappelijke ruimte doorheen de lekopening onder de deur (zoals in Figuur 56), maar bijkomend wordt nu ook rook geduwd in de toevoer- en afvoerkanalen van het ventilatiesysteem (Figuur 84). Als gevolg hiervan komt er, in tegenstelling tot de situatie in Figuur 56 (waar geen ventilatiesysteem aanwezig was), rook in de kamers terecht die zich stroomafwaarts bevinden t.o.v. de kamer met de brandhaard: de rook komt via het toevoerkanaal in de andere kamers terecht. Alleen Kamer 1 en Kamer 2 blijven gevrijwaard in dit scenario, omdat ze zich stroomopwaarts bevinden. Mocht de brand zich in Kamer 1 bevinden, dan zouden alle kamers rook binnen krijgen. De situatie in de gemeenschappelijke ruimte en de gang is gelijkaardig als in Figuur 56. Figuur 85 toont aan dat de temperatuur op een hoogte van 2.1 m beperkt blijft, hetgeen aangeeft dat de hoeveelheid rook op die hoogte beperkt blijft.

Deze simulaties geven aan dat het afschermd effect van gesloten deuren (die rookverspreiding kunnen tegengaan, zoals getoond in Figuur 56) teniet kan worden gedaan door ventilatiekanalen, wanneer ruimten in verbinding komen met de ruimte met de brandhaard, wanneer rookverspreiding doorheen deze kanalen niet wordt geblokkeerd en er geen maatregelen worden genomen om overdruk te vermijden in de ruimte met de brandhaard.



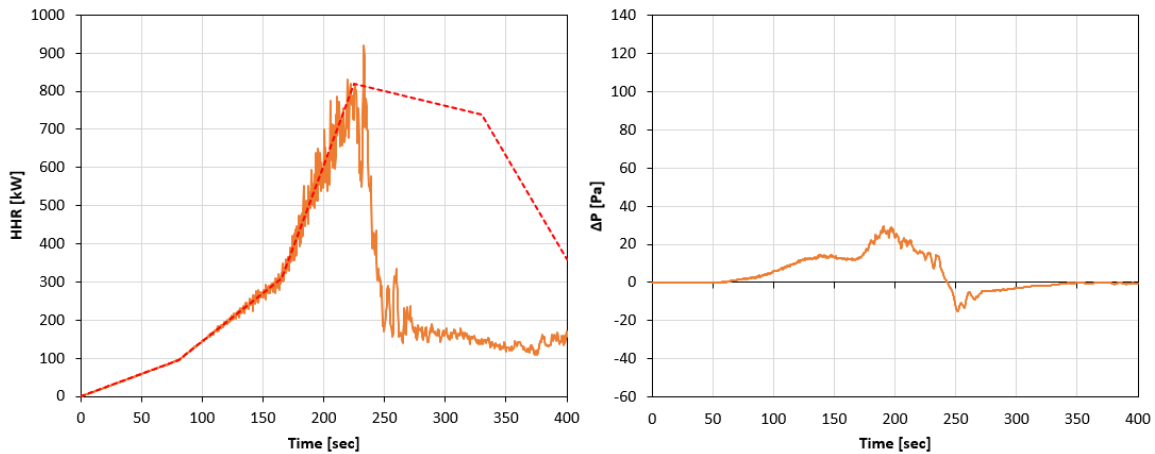
Figuur 84 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).



Figuur 85 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).

4.8.3 Ventilatieconfiguratie 2 met brand in een kamer

De ventilatie is configuratie 2 en de brandhaard bevindt zich in Kamer 3 (Figuur 80). De deuren zijn brandwerend (lekopening van 72 cm^2 , aangebracht onderaan de deur. Elke kamer heeft een opening van $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ om lek te simuleren, alsook een bijkomende opening van $20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ voor natuurlijke luchttoevoer.

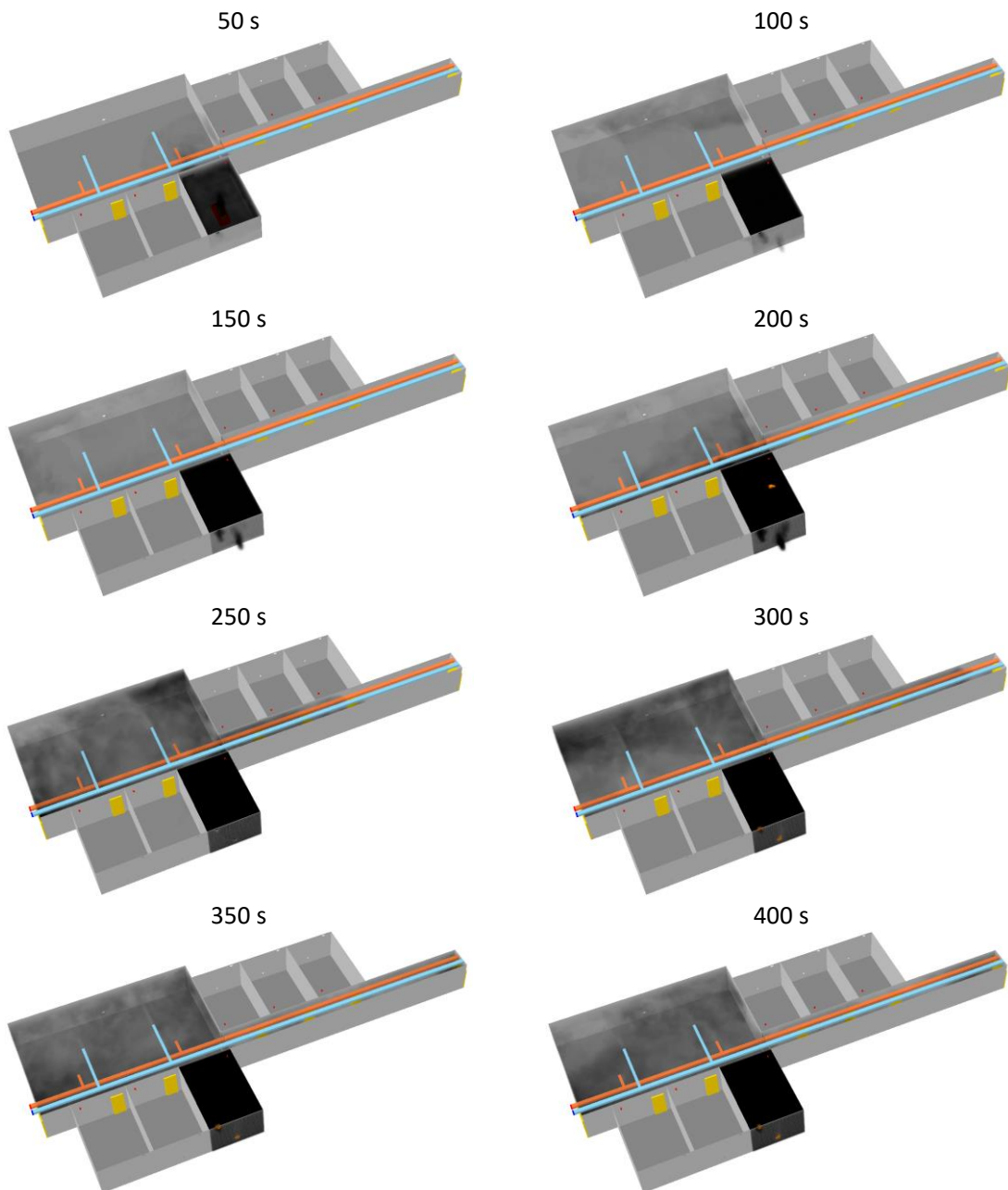


Figuur 86 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 2 met brand in een kamer) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).

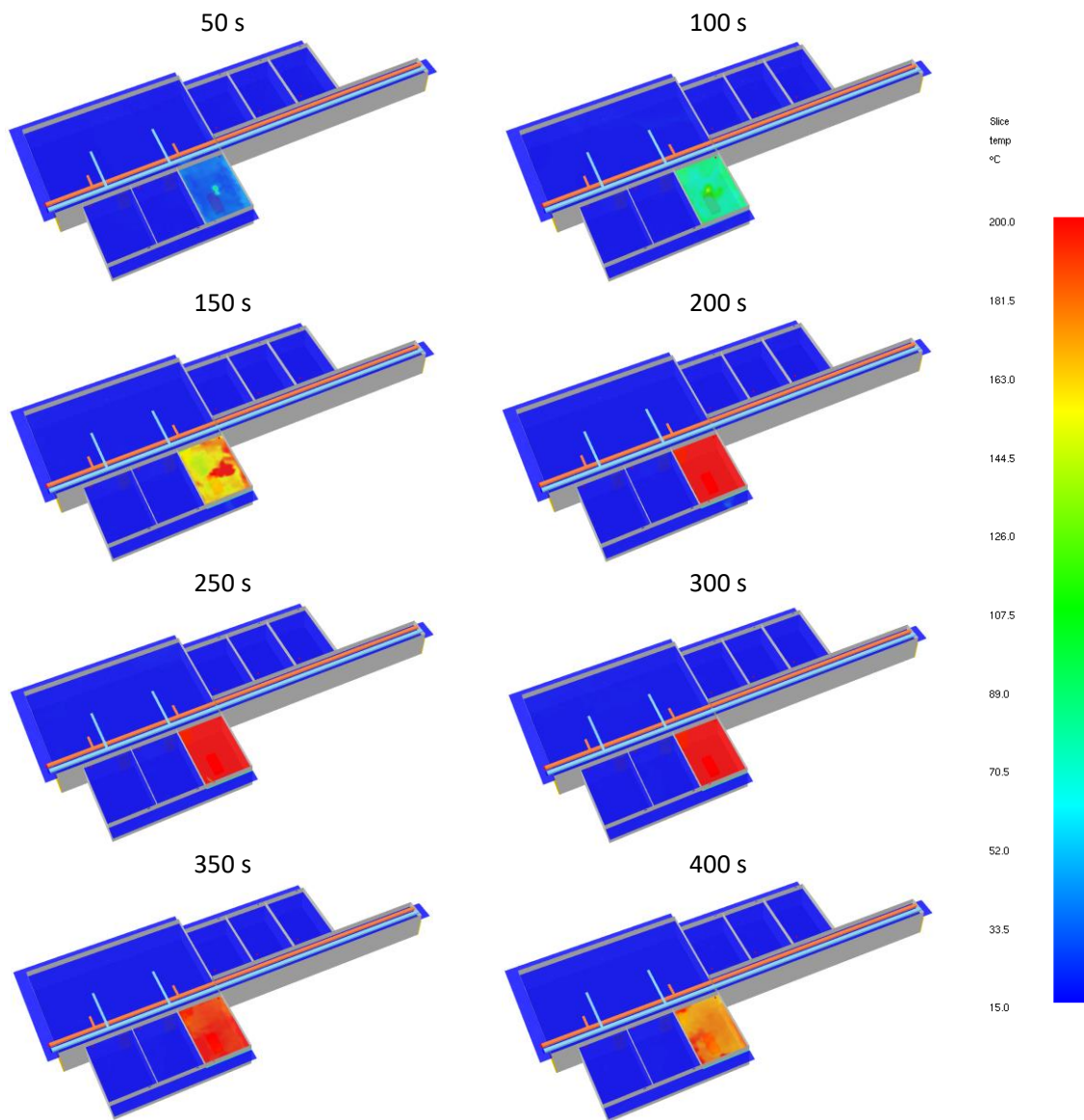
Figuur 86 toont een heel gelijkaardig beeld als Figuur 83, met nog iets lagere overdruk (30 Pa) als gevolg van de aanwezigheid van de bijkomende opening van $20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ voor natuurlijke luchttoevoer in de kamer met de brandhaard.

Figuur 87 geeft echter een fundamenteel verschillend beeld in vergelijking met Figuur 84: doordat elke kamer een afzonderlijke toevoer en afvoer heeft, is er nu geen rookverspreiding naar de andere kamers. Dit is niet verwonderlijk. Er wordt wel op gewezen dat dit neerkomt op verticale kanalen, waarbij brandkleppen, type B, verondersteld worden te sluiten op de compartimentsgrenzen. De situatie in de gemeenschappelijke ruimte en de gang is aanzienlijk beter dan bij afwezigheid van ventilatie (Figuur 56), omdat de rook wordt afgezogen.

Deze simulaties geven aan dat de extractie van rook een gunstig effect heeft op de situatie in de gemeenschappelijke ruimte en de gang in geval van brand in een kamer, en dat er geen rookverspreiding te vrezen valt naar de kamers, mits die een onafhankelijke toevoer en afvoer hebben voor ventilatie.



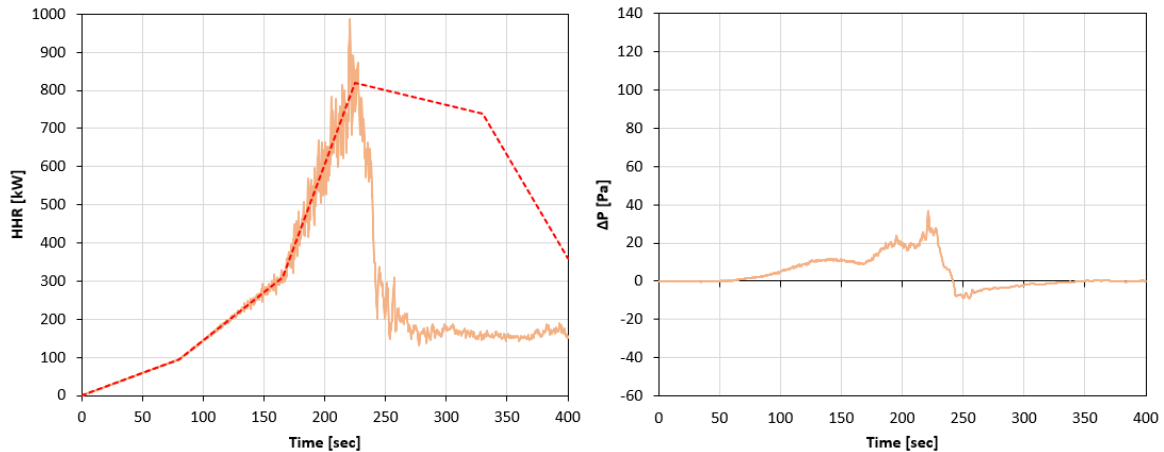
Figuur 87 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 2 met brand in een kamer) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).



Figuur 88 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 2 met brand in een kamer) –
Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende
tijdstippen (SmokeView weergave).

4.8.4 Ventilatieconfiguratie 3 met brand in een kamer

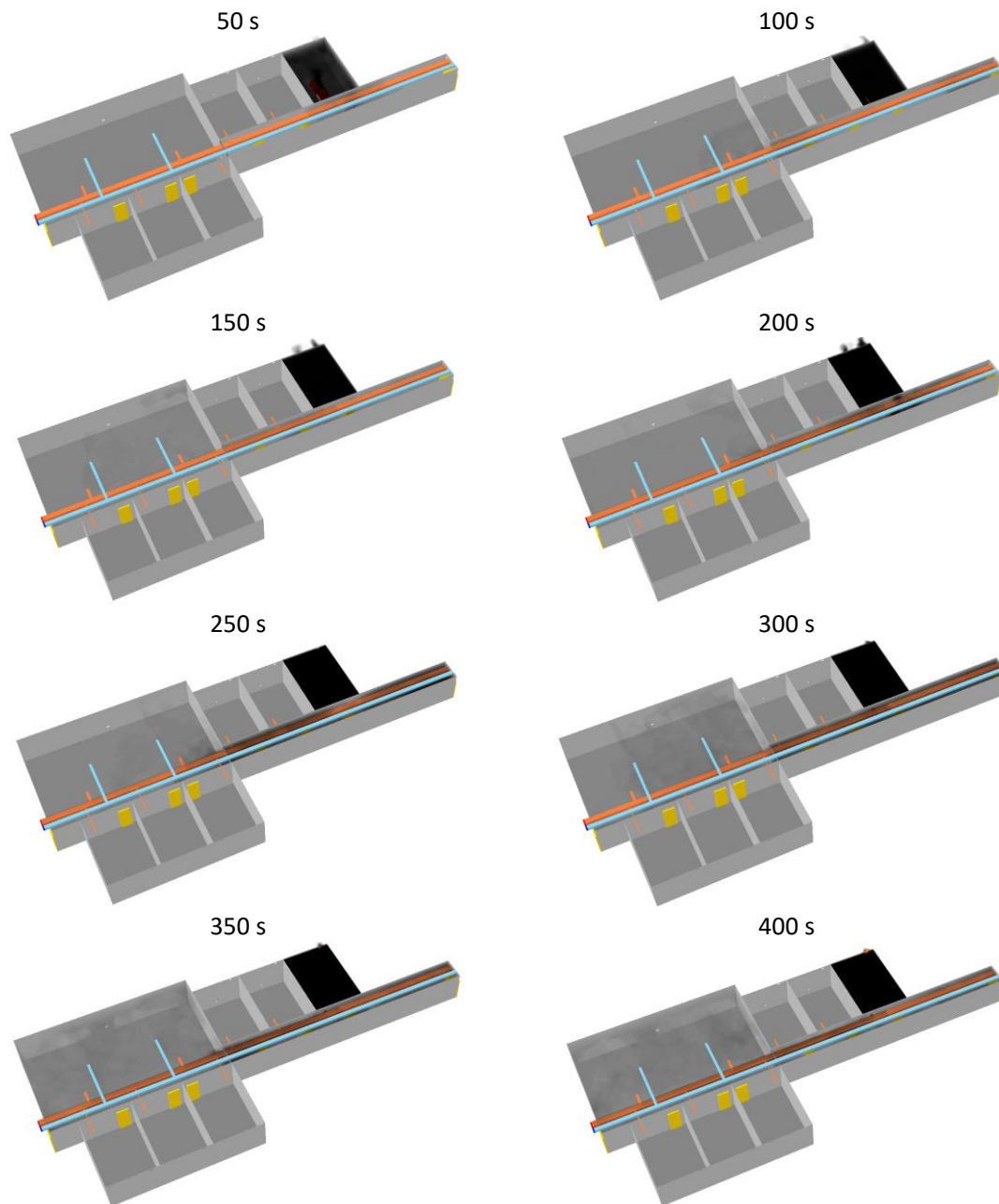
De ventilatie is configuratie 3 en de brandhaard bevindt zich in Kamer 6 (Figuur 81). De brand is verplaatst naar die kamer, omdat dit een worst case scenario voorstelt voor eventuele rookverspreiding naar andere kamers via het extractiekanaal (er is geen verbinding met het toevoerkanaal, zoals eerder beschreven). De deuren zijn brandwerend (lekopening van 72 cm^2 , aangebracht onderaan de deur. Elke kamer heeft een opening van $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ om lek te simuleren, alsook een bijkomende opening van $20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ voor natuurlijke luchttoevoer.



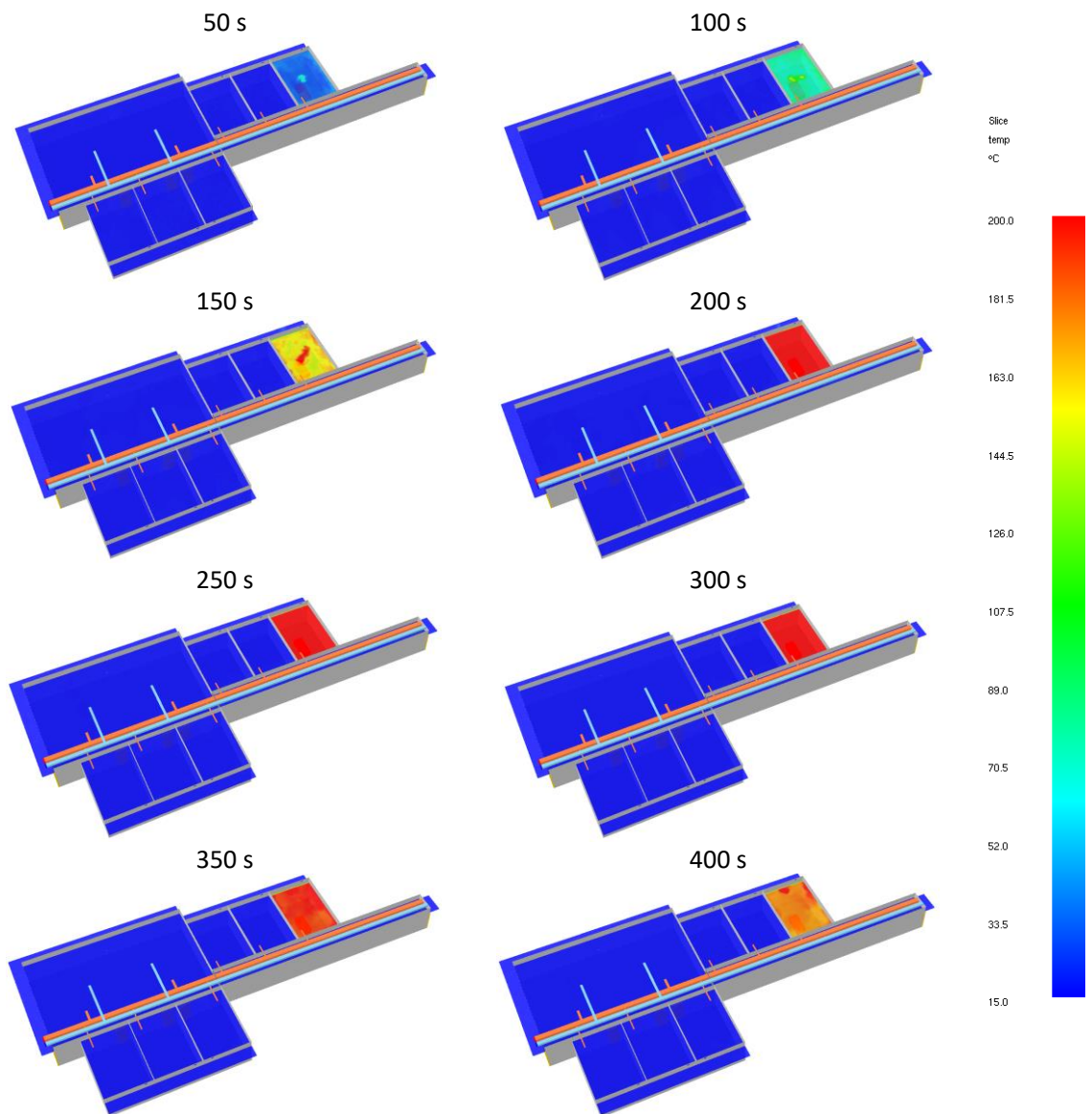
Figuur 89 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 3 met brand in een kamer) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).

Figuur 89 toont een heel gelijkaardig beeld als Figuur 87, al zijn er kleine verschillen zichtbaar als gevolg van de verbinding met het extractiekanaal. Figuur 90 toont dat er geen rookverspreiding is naar de andere kamers doorheen het extractiekanaal, ondanks de verbinding. Merk op dat er ook rook doorheen de openingen voor natuurlijke luchttoevoer stroomt uit de kamer met de brandhaard (zodat de opening fungeert als afvoer en niet als toevoer). Merk ook op dat een rechtstreekse vergelijking van de situatie in de gemeenschappelijke ruimte of de gang met Figuur 56 niet mogelijk is omdat de brand zich in een andere kamer bevindt. Mocht de brand zich in Kamer 3 bevonden hebben, dan was de situatie wellicht heel gelijkaardig geweest.

Deze simulaties geven aan dat het gevaar voor rookverspreiding vanuit de ruimte met de brandhaard naar andere ruimten doorheen een extractiekanaal veel kleiner is dan door een toevoerkanaal (mits de druk in de kamer met de brandhaard niet te hoog oploopt).



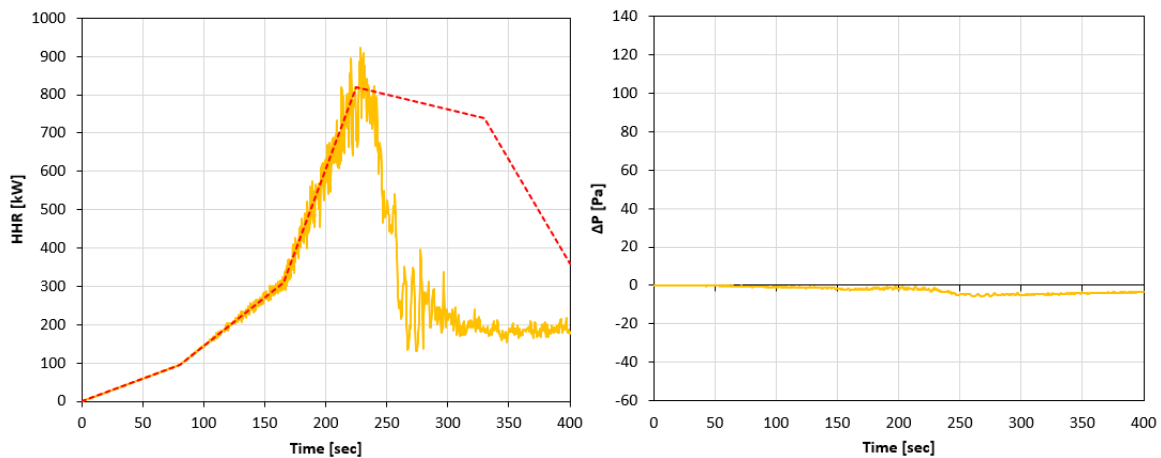
Figuur 90 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 3 met brand in een kamer) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).



Figuur 91 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 3 met brand in een kamer) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).

4.8.5 Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer met een opening van 0.25 m^2

De situatie is zoals in paragraaf 4.8.2, maar nu wordt een opening voorzien van $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ in de kamer met de brandhaard, met het oog op het vermijden van een overdruk (zoals gesuggereerd in (2) en (3)).

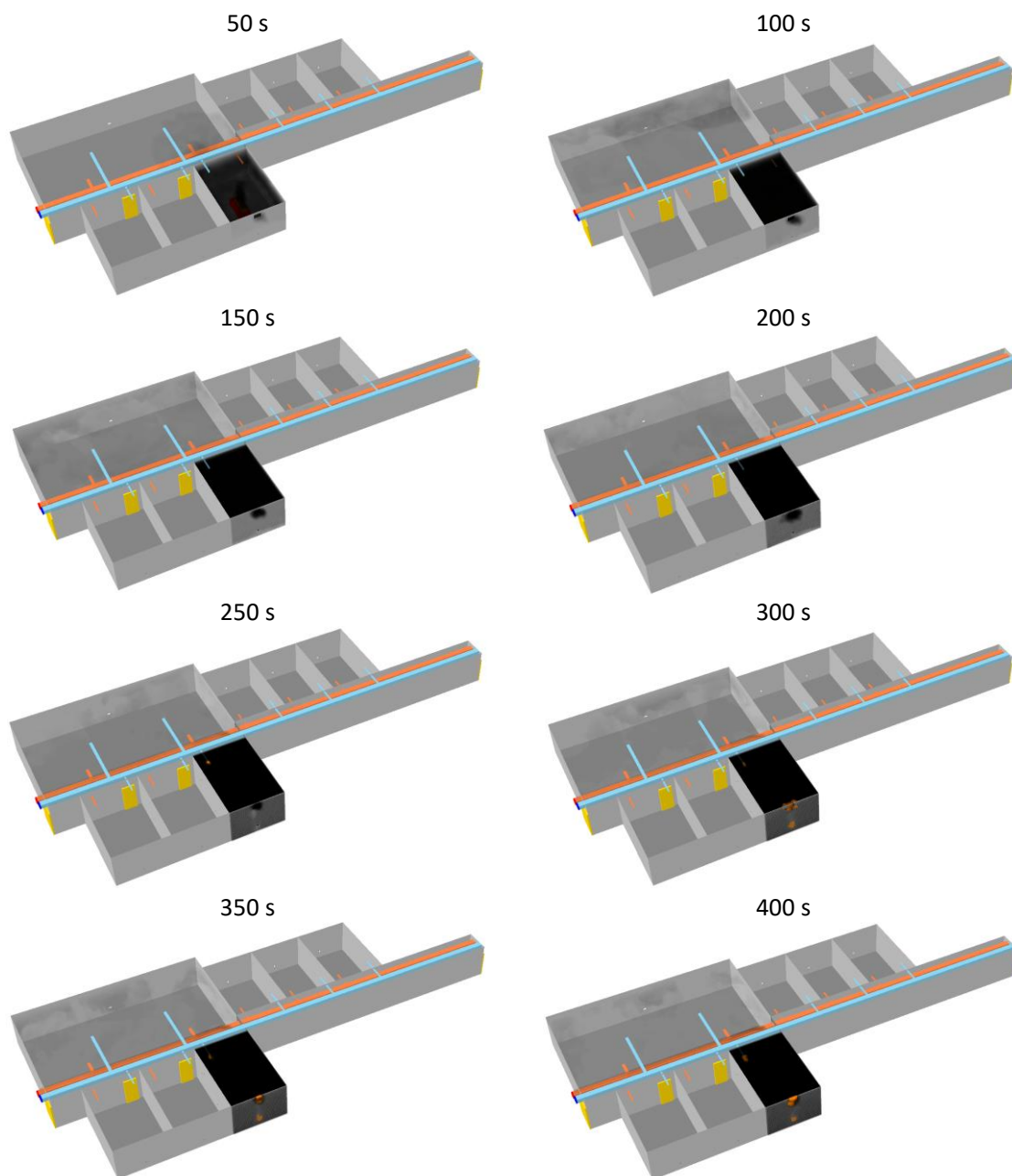


Figuur 92 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer met een opening van 0.25 m^2) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).

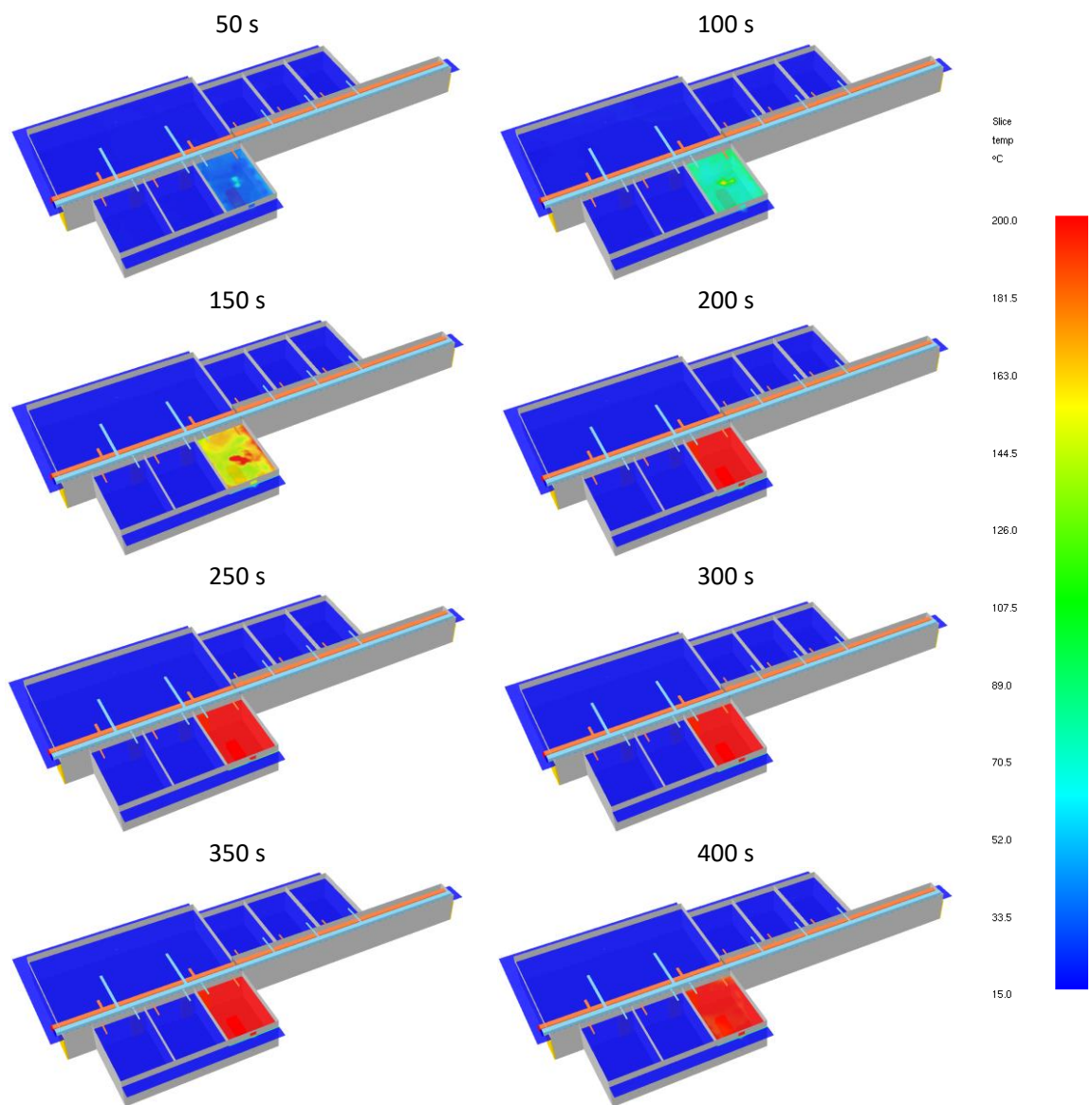
Figuur 92 geeft aan dat de overdruk inderdaad verdwijnt, terwijl de brand nog steeds ondergeventileerd is (al wordt de HRR iets langer gevolgd dan in Figuur 83). Het verdwijnen van de overdruk heeft een heel belangrijke impact op de rookverspreiding: in tegenstelling tot de situatie in Figuur 84 toont Figuur 93 geen rookverspreiding naar de andere kamers, noch naar de gemeenschappelijke ruimte of de gang (de zichtbare rook is enkel het gevolg van het openen van de deur gedurende 30 seconden).

Deze resultaten tonen aan dat ook bij aanwezigheid van ventilatiekanalen waarbij kamers (en eventueel een gemeenschappelijke ruimte en een gang) worden verbonden, een ventilatie-opening, waar overdruk (door bv. wind) wordt vermeden, in de ruimte met de brandhaard, een mogelijke manier is om rookverspreiding naar de gemeenschappelijke ruimte en andere kamers te vermijden, mits dit gecombineerd wordt met een rookwerende scheiding.

Opmerking: hoewel dit niet werd gesimuleerd, kan, onder meer op basis van de bevindingen in (2) en (3), redelijkerwijs worden aangenomen dat ook een functionerend automatisch blussysteem in de ruimte met de brandhaard tot een voldoende beperking van de drukopbouw zal leiden in de ruimte met de brandhaard (en in bepaalde omstandigheden zelfs tot een onderdruk) door beperking van de HRR, zodat ook dit een mogelijke manier is om rookverspreiding naar de gemeenschappelijke ruimte en andere kamers te vermijden, mits dit gecombineerd wordt met een rookwerende scheiding. Een beperking van de drukopbouw of het creëren van een onderdruk in de ruimte met de brandhaard kan ook worden bewerkstelligd d.m.v. rookextractie in de ruimte met de brandhaard.



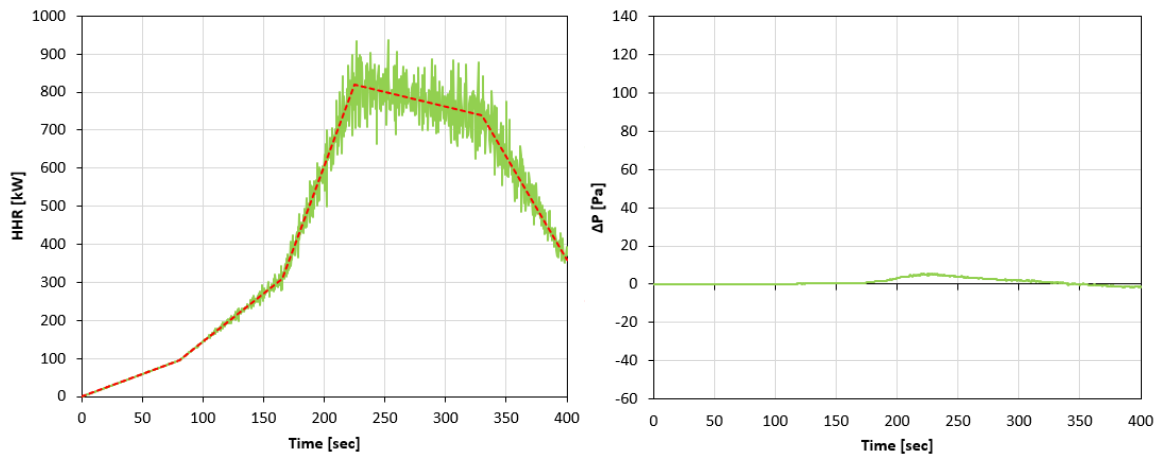
Figuur 93 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer met een opening van 0.25 m²) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).



Figuur 94 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer met een opening van 0.25 m²) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).

4.8.6 Ventilatieconfiguratie 1 met brand in de gemeenschappelijke ruimte met een opening van 0.25 m²

De situatie is zoals in paragraaf 4.8.5, maar met de brand geplaatst in de gemeenschappelijke ruimte.

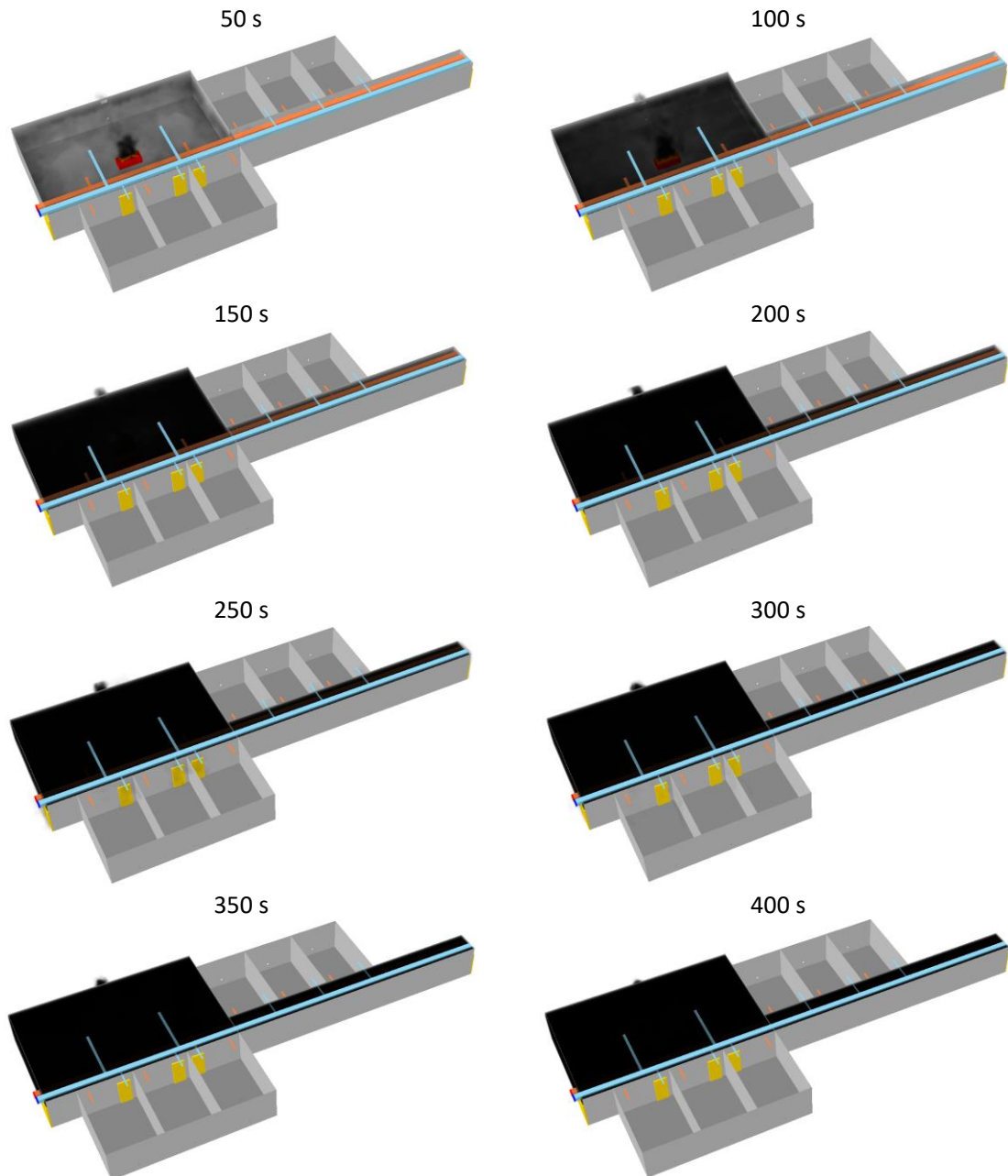


Figuur 95 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in de gemeenschappelijke ruimte met een opening van 0.25 m²) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de ruimte met de brandhaard (rechts).

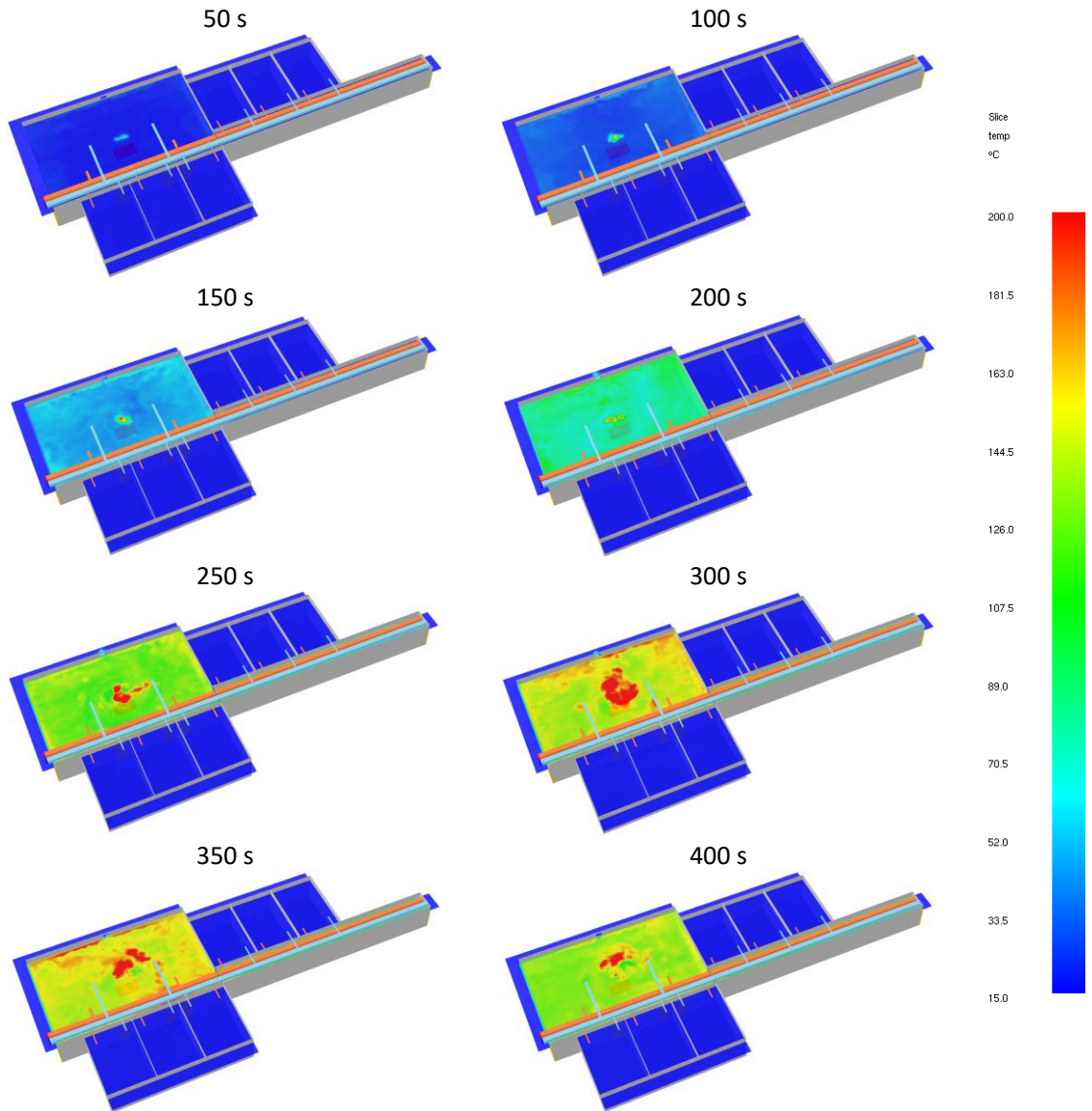
Figuur 95 toont dat de brand nu brandstofgecontroleerd blijft door het grote volume van de gemeenschappelijke ruimte. Hierdoor ontstaat een overdruk, die weliswaar beperkt blijft door de aanwezigheid van de opening van 0.25 m². Als gevolg van de beperkte overdruk blijft de rookverspreiding beperkt tot de gemeenschappelijke ruimte en de gang.

Deze resultaten tonen aan dat ook voor een brand in de gemeenschappelijke ruimte, bij aanwezigheid van ventilatiekanalen waarbij kamers (en eventueel een gemeenschappelijke ruimte en een gang) worden verbonden, een ventilatie-opening, waar overdruk (door bv. wind) wordt vermeden, in de ruimte met de brandhaard, in combinatie met het gesloten blijven van de deur van de kamers, een mogelijke manier is om rookverspreiding naar de gemeenschappelijke ruimte en andere kamers te vermijden, mits dit gecombineerd wordt met een rookwerende scheiding.

Opmerking: hoewel dit niet werd gesimuleerd, kan, onder meer op basis van de bevindingen in (2) en (3), redelijkerwijs worden aangenomen dat ook een functionerend automatisch blussysteem in de ruimte met de brandhaard tot een voldoende beperking van de drukopbouw zal leiden in de ruimte met de brandhaard (en in bepaalde omstandigheden zelfs tot een onderdruk) door beperking van de HRR, zodat ook dit een mogelijke manier is om rookverspreiding naar de gemeenschappelijke ruimte en andere kamers te vermijden, mits dit gecombineerd wordt met een rookwerende scheiding. Een beperking van de drukopbouw of het creëren van een onderdruk in de ruimte met de brandhaard kan ook worden bewerkstelligd d.m.v. rookextractie in de ruimte met de brandhaard.



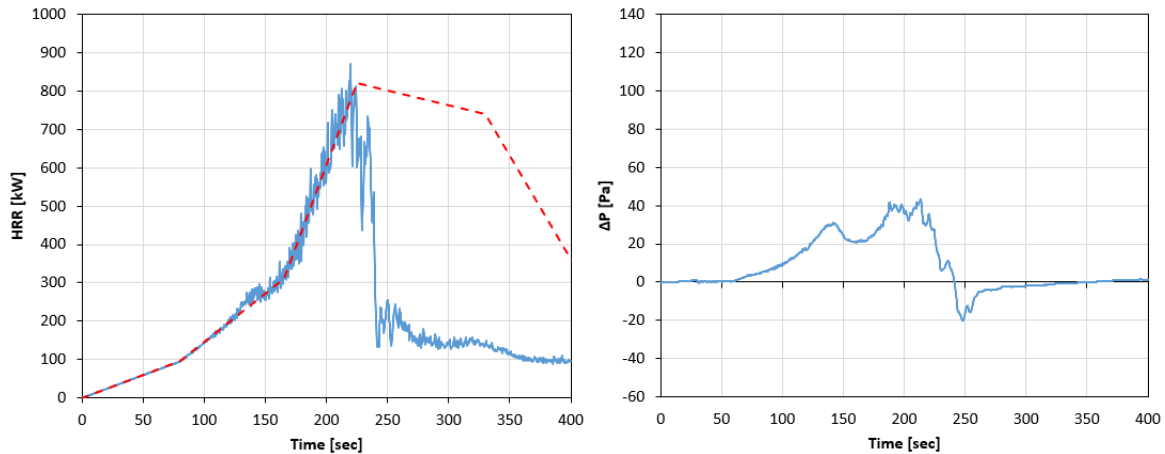
Figuur 96 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in de gemeenschappelijke ruimte met een opening van 0.25 m^2) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).



Figuur 97 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in de gemeenschappelijke ruimte met een opening van 0.25 m²) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).

4.8.7 Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer, brandkleppen gesloten op compartimentsgrenzen

Dit is de configuratie van paragraaf 4.8.2, maar na 120 s worden de ventilatiekanalen op de compartimentsgrenzen geblokkeerd.

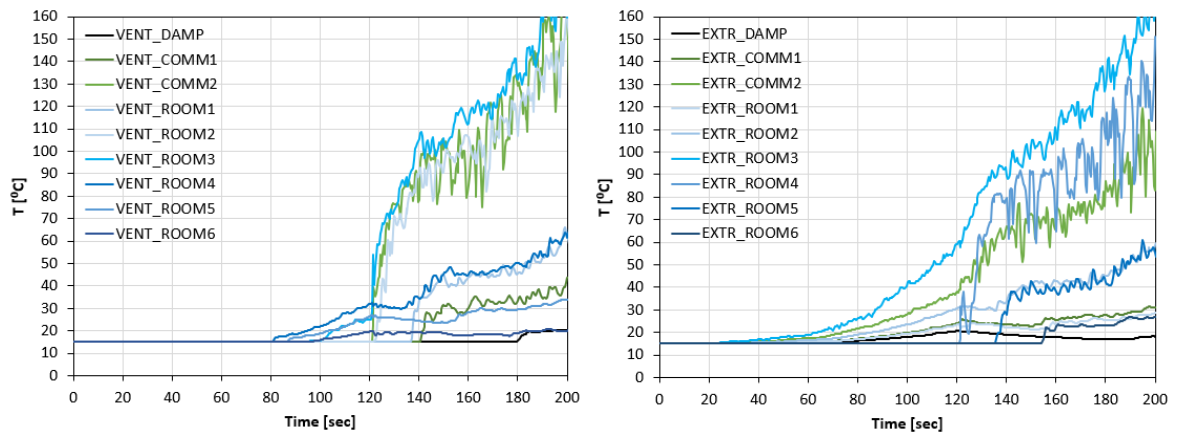


Figuur 98 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer, brandkleppen gesloten na 120 s op compartimentsgrenzen) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).

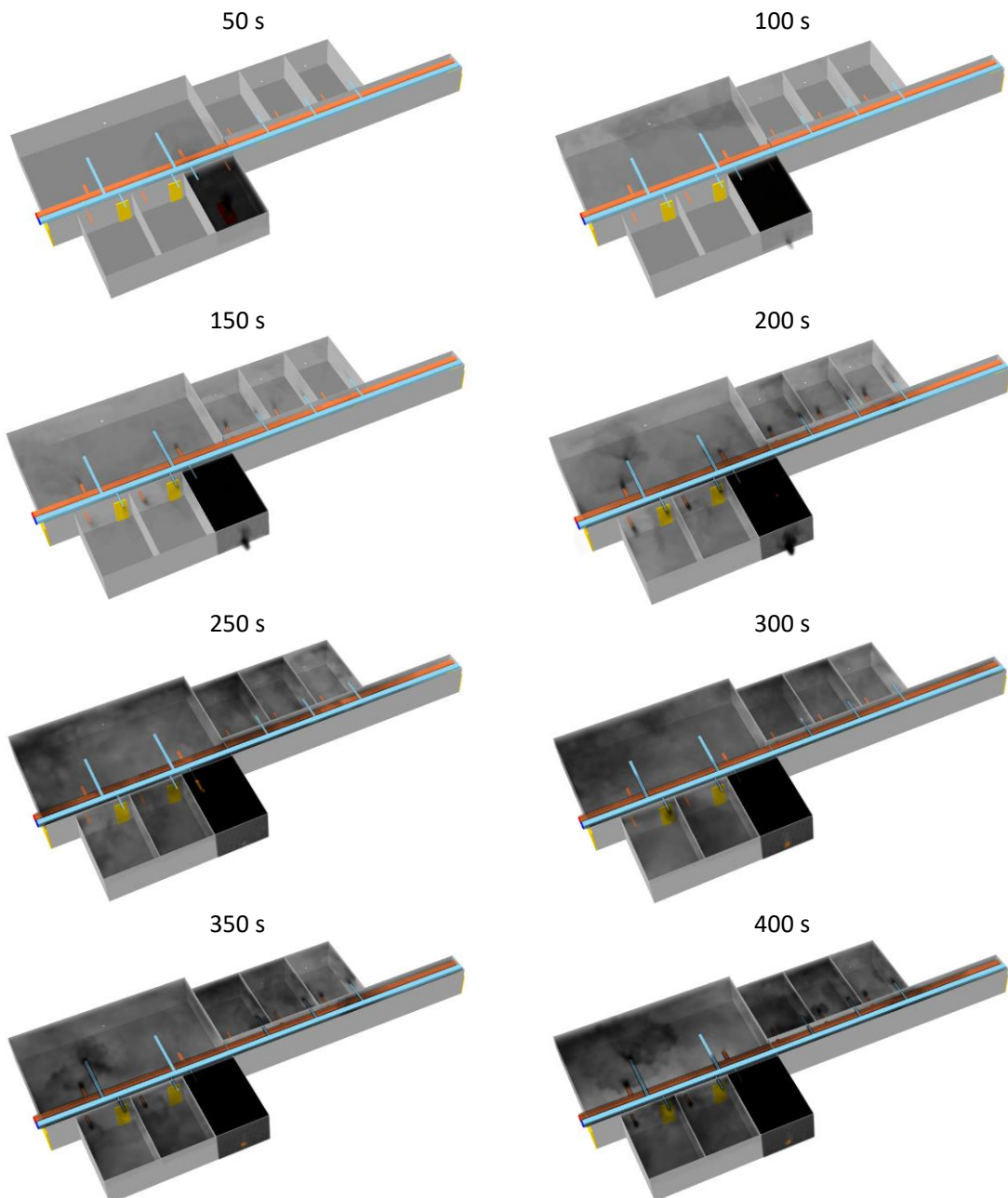
Figuur 98 toont een nagenoeg identiek verloop van de HRR en de drukopbouw als Figuur 83: de openingen en de verbindingen van de verschillende ruimten via de ventilatiekanalen zorgen voor een gelijkaardig reservoir en het sluiten van de brandkleppen op de compartimentsgrenzen heeft hierop nauwelijks een invloed. De rookverspreiding (Figuur 100) is ook heel gelijkaardig als in paragraaf 4.8.2 (Figuur 84). Alleen komt er nu ook rook in Kamer 1 en Kamer 2, omdat er geen ventilatiestroom meer is (in paragraaf 4.8.2 bevonden deze kamers zich ‘stroomopwaarts’ ten opzichte van de kamer met de brand en werden ze als dusdanig beschermd tegen rookverspreiding).

Deze simulaties geven aan dat het sluiten van enkel de brandkleppen op de compartimentsgrenzen, geen significante impact heeft op de rookverspreiding in het compartiment zelf en dat het afscherpende effect van gesloten deuren (die rookverspreiding kunnen tegengaan, zoals getoond in Figuur 56) teniet kan worden gedaan door ventilatiekanalen, wanneer rookverspreiding doorheen deze kanalen niet wordt geblokkeerd en er een overdruk is in de ruimte met de brandhaard.

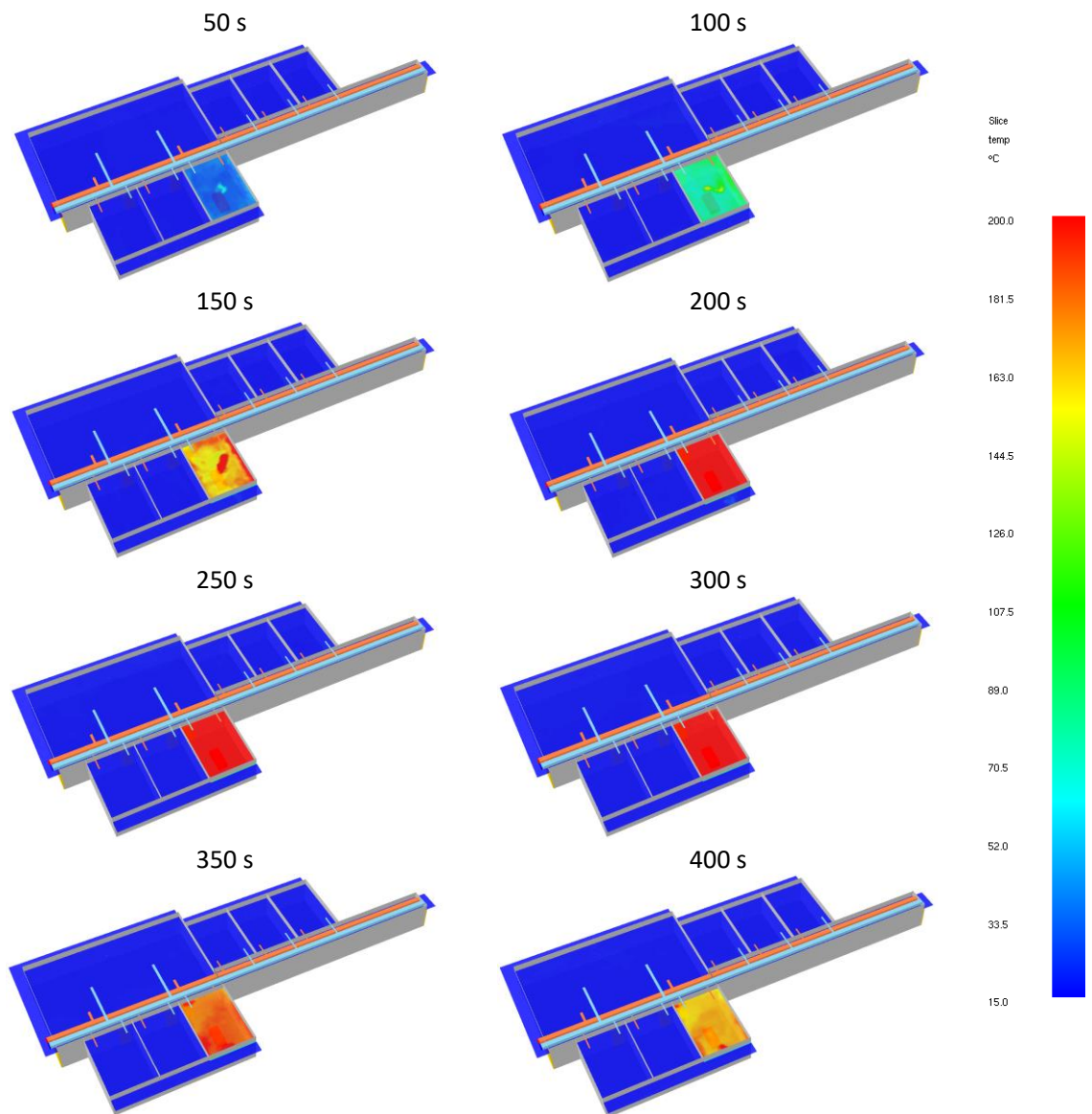
In de praktijk kunnen er brandkleppen, type A, aanwezig zijn ter hoogte van de doorvoeringen van de ventilatiekanalen aan de wanden (of vloeren of plafonds) van de kamers. Deze kleppen sluiten slechts bij voldoende hoge temperatuur. Figuur 99 suggereert dat er relatief snel voldoende hoge temperaturen zouden worden bereikt in de kamer met de brandhaard. Er wordt evenwel op gewezen dat voorzichtigheid geboden is bij de kwantitatieve analyse: deze CFD-berekeningen zijn niet gevalideerd en dienen dus vooral kwalitatief te worden beoordeeld.



Figuur 99 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer, brandkleppen gesloten na 120 s op compartimentsgrenzen) – Temperaturen in de toevoer- (links) en afvoerkanalen (rechts). Naamgeving: zie Figuur 82.



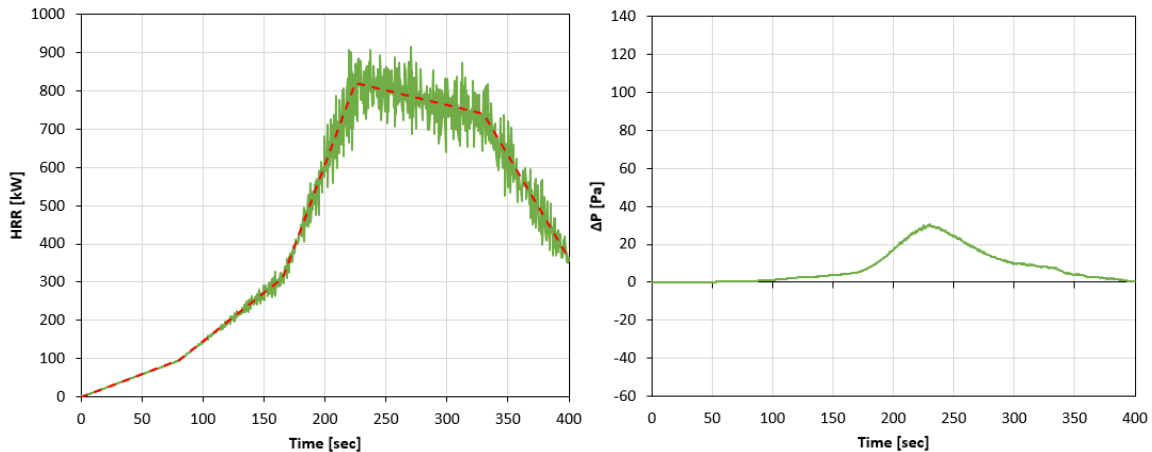
Figuur 100 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer, brandkleppen gesloten na 120 s op compartimentsgrenzen) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).



Figuur 101 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in een kamer, brandkleppen gesloten na 120 s op compartimentsgrenzen) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).

4.8.8 Ventilatieconfiguratie 1 met brand in de gemeenschappelijke ruimte, brandkleppen gesloten op compartimentsgrenzen

Deze situatie is dezelfde als in paragraaf 4.8.7, maar met de brand in de gemeenschappelijke ruimte (met lekopening 200 cm²).

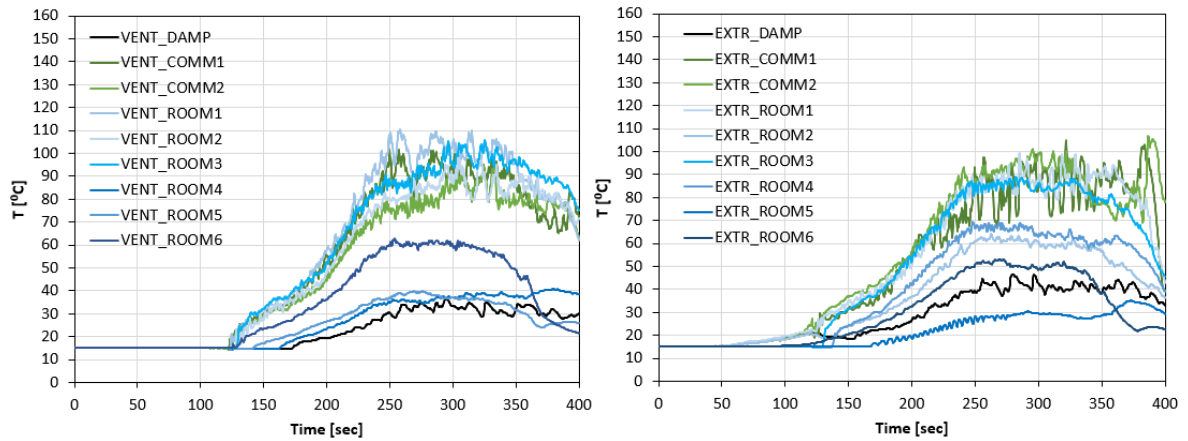


Figuur 102 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in de gemeenschappelijke ruimte, brandkleppen gesloten na 120 s op compartimentsgrenzen) – Opgelegde en gemeten HRR (links) en evolutie van de druk (op hoogte 1.5 m) in de kamer met de brandhaard (rechts).

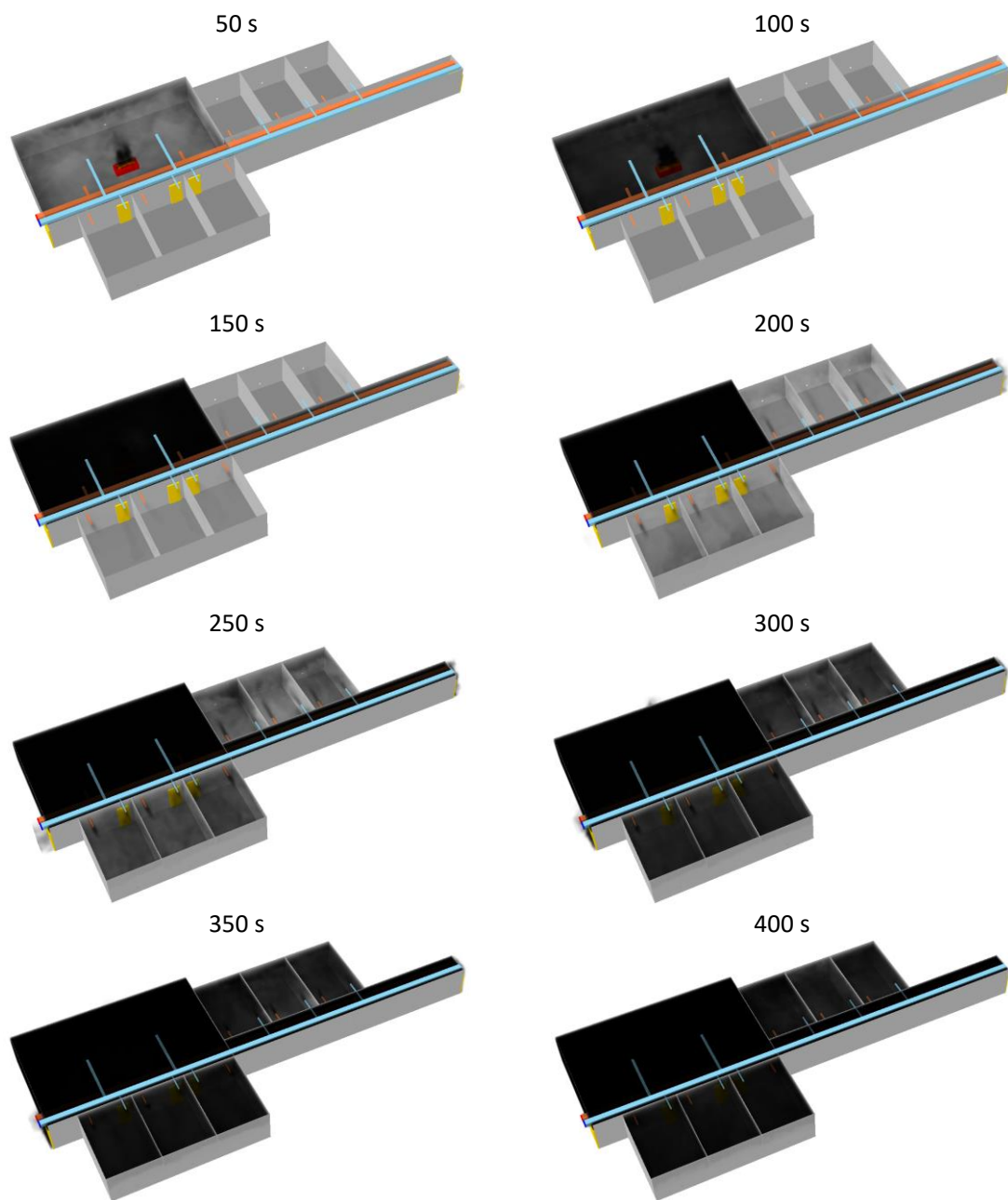
Figuur 102 toont dat de brand, net zoals in paragraaf 4.8.6 (Figuur 95), brandstofgecontroleerd blijft door het grote volume van de gemeenschappelijke ruimte. Hierdoor ontstaat een overdruk, die veel sterker oploopt dan in Figuur 95 door de afwezigheid van een opening om de druk te beperken. Als gevolg hiervan treedt er rookverspreiding op naar alle kamers, net zoals in paragraaf 4.8.7 (Figuur 100), zoals te zien valt in Figuur 104.

Deze simulaties bevestigen dat het afscherpende effect van gesloten deuren (die rookverspreiding kunnen tegengaan, zoals getoond in Figuur 56) teniet kan worden gedaan door ventilatiekanalen, wanneer rookverspreiding doorheen deze kanalen niet wordt geblokkeerd, en dat het sluiten van enkel de brandkleppen op de compartimentsgrenzen hierop geen significante impact heeft.

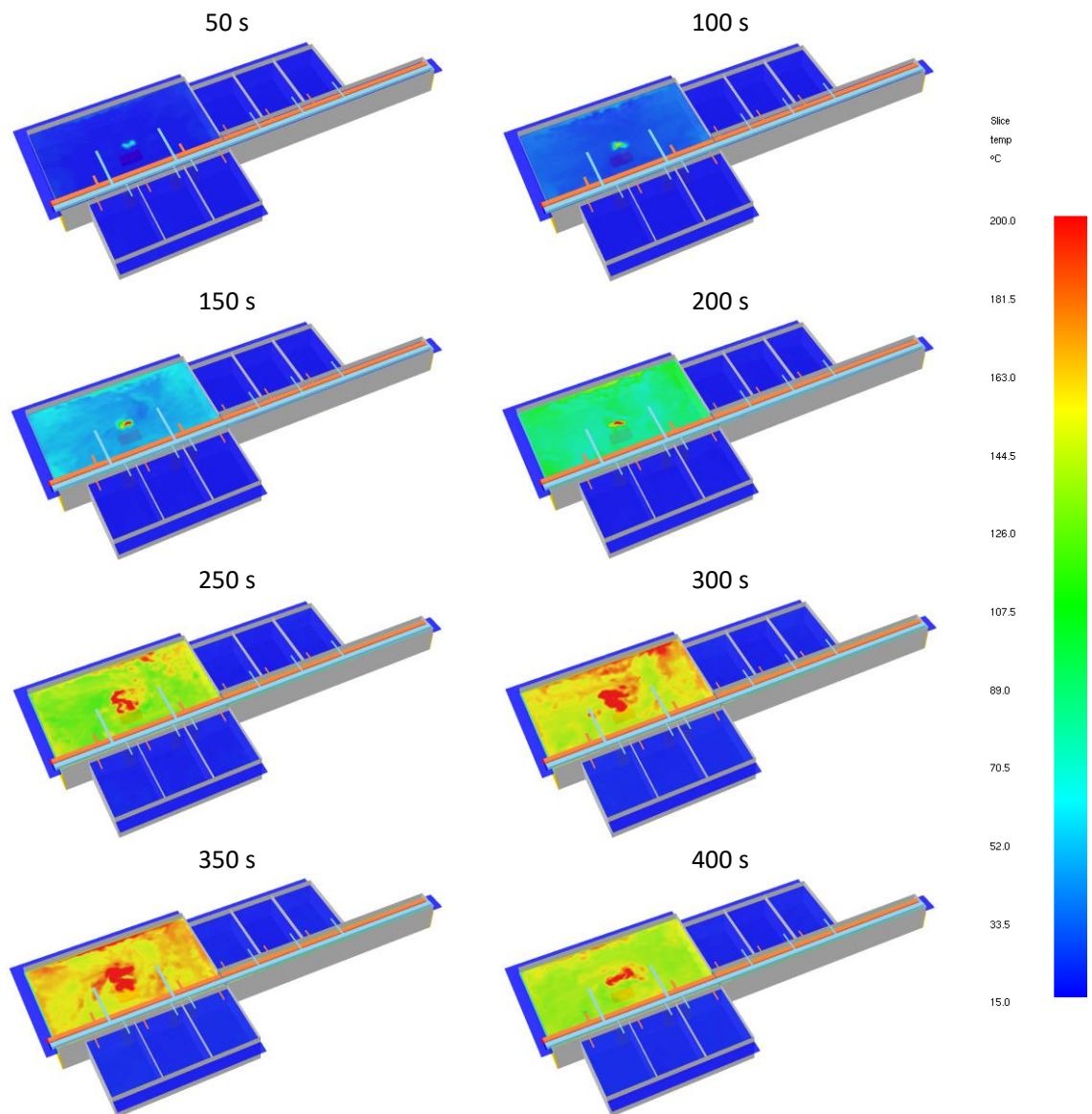
In de praktijk kunnen er brandkleppen, type A, aanwezig zijn ter hoogte van de doorvoeringen van de ventilatiekanalen aan de wanden (of vloeren of plafonds) van de kamers. Deze kleppen sluiten slechts bij voldoende hoge temperatuur. Figuur 103 geeft aan dat de temperaturen aanzienlijk minder snel stijgen en lager blijven dan bij een brand in een kamer (Figuur 99), hetgeen suggereert dat het sluiten van dergelijke kleppen minder zeker is. Er wordt evenwel op gewezen dat voorzichtigheid geboden is bij de kwantitatieve analyse: deze CFD-berekeningen zijn niet gevalideerd en dienen dus vooral kwalitatief te worden beoordeeld.



Figuur 103 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in de gemeenschappelijke ruimte, brandkleppen gesloten na 120 s op compartimentsgrenzen) – Temperaturen in de toevoer- (links) en afvoerkanalen (rechts). Naamgeving: zie Figuur 82.



Figuur 104 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in de gemeenschappelijke ruimte, brandkleppen gesloten na 120 s op compartimentsgrenzen) – Rookverspreiding op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).



Figuur 105 Bijkomende CFD-simulaties (Ventilatieconfiguratie 1 met brand in de gemeenschappelijke ruimte, brandkleppen gesloten na 120 s op compartimentsgrenzen) – Temperatuur in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m op verschillende tijdstippen (SmokeView weergave).

4.9 Impact van wind

Vanuit de stuurgroep werd gesuggereerd om ook de invloed van wind te onderzoeken. Afhankelijk van de windrichting kan wind een overdruk of een onderdruk veroorzaken op een wand. Die overdruk of onderdruk neemt kwadratisch toe met de windsnelheid, waardoor die relatief makkelijk tot enkele tientallen Pascal kan oplopen. Dit is van dezelfde grootteorde als de drukken die in de vorige paragrafen werden gerapporteerd voor bepaalde scenario's.

Wind kan weldegelijk een sterke invloed hebben op de rookverspreiding. Dit werd bevestigd in CFD-simulaties. Er is evenwel voor geopteerd om de resultaten van deze CFD-simulaties niet op te nemen in het rapport, omdat deze simulaties minder sterk gevalideerd zijn dan de simulaties van de vorige paragrafen: wind werd gesimuleerd als een uniforme snelheid, loodrecht op een wand, hetgeen een ruwe benadering is van een reëel turbulent snelheidsveld vanwege wind. CFD-simulaties van wind zijn een specialisme op zich.

Desalniettemin laten de CFD-simulaties toe om het volgende te concluderen:

Wanneer een opening wordt voorzien om drukopbouw vanwege een brandhaard te vermijden, moeten maatregelen worden genomen om te vermijden dat deze opening in overdruk kan komen te staan.

5 Conclusies

In dit hoofdstuk werd onderzoeksvraag O5 behandeld: *Wat kan geleerd worden van de resultaten van de bijkomende computersimulaties?*

De aanvullende CFD-berekeningen, zoals geanalyseerd in dit hoofdstuk, werden niet gevalideerd door experimenten. Aldus kunnen de resultaten niet a priori als kwantitatief betrouwbaar worden beschouwd. De validatie zoals geïllustreerd in hoofdstuk 4 suggereert wel een goede betrouwbaarheid van de CFD-berekeningen met de gekozen instellingen.

Kwalitatieve analyse laat toe om het volgende te concluderen:

- Het is belangrijk dat de deuren van de kamers gesloten blijven. Wanneer er twee gesloten deuren zijn tussen de ruimte van de brandhaard en de beschouwde ruimte, mag de beschouwde ruimte redelijkerwijs als veilig worden beschouwd zo lang het vermogen van de brandhaard en de drukverschillen die hier in de CFD-berekeningen opgelegde en bekomen waarden niet overschrijden.
- Het vermijden van overdruk in de ruimte met de brandhaard, is een mogelijke manier om rookverspreiding naar de andere ruimten te voorkomen, mits dit gecombineerd wordt met een rookwerende scheiding. Het vermijden van overdruk kan bewerkstelligd worden door middel van een voldoende grote ventilatie-opening (0.25 m²) wanneer overdruk (door bv. wind) aldaar wordt vermeden. Hoewel dit niet werd gesimuleerd, kan, onder meer op basis van de bevindingen in (2) en (3), redelijkerwijs worden aangenomen dat ook een functionerend automatisch blussysteem in de ruimte met de brandhaard tot een voldoende beperking van de drukopbouw zal leiden in de ruimte met de brandhaard (en in bepaalde omstandigheden zelfs tot een onderdruk) door beperking van de HRR, zodat ook dit een mogelijke manier is om rookverspreiding naar de gemeenschappelijke ruimte en andere kamers te vermijden, mits dit gecombineerd wordt met een rookwerende scheiding. Een beperking van de drukopbouw of het creëren van een onderdruk in de ruimte met de brandhaard kan ook worden bewerkstelligd d.m.v. rookextractie in de ruimte met de brandhaard.
- De precieze hoogte van het plafond heeft, zo lang er geen hoogteverschillen zijn en zo lang de hoogte beperkt blijft tot een hoogte die kan worden verwacht in een eenlagige bouweenheid, geen noemenswaardige invloed op de rookverspreiding.
- De oppervlakte van de gemeenschappelijke ruimte heeft geen significante invloed op de rookverspreiding in geval van brand in een kamer. Impliciet kan meer algemeen de oppervlakte van de gemeenschappelijke ruimte wel een invloed hebben op vlak van brandveiligheid, omdat een grotere oppervlakte meer, en andere, activiteiten toelaat. Dit kan aanleiding geven tot een groter brandvermogen in geval van brand in de gemeenschappelijke ruimte. Dit aspect is evenwel niet opgenomen in deze studie.
- Wanneer de brand ondergeventileerd is (hetgeen waarschijnlijk is bij gesloten deur en beperkte ventilatie-opening in geval van brand in een kamer), hangt de rookverspreiding niet sterk af van de precieze brandbelasting en het precieze brandverloop in de kamer. Opmerking: voor een brand in de gemeenschappelijke ruimte zal het aanzienlijk langer duren tot de brand ondergeventileerd raakt. Hoe groter het volume van de gemeenschappelijke ruimte en hoe groter de ventilatie-openingen, hoe langer dit zal duren. Mogelijks blijft de brand zelfs brandstofgecontroleerd. Zo lang de brand brandstofgecontroleerd blijft, zullen de HRR, drukopbouw en rookverspreiding afhangen van de aanwezige brandbelasting en eventueel aanwezige actieve brandbeveiligingsmaatregelen.
- Rookextractie met een extractiedebiet van de grootteorde van 10 luchtverversingen per uur uit de gemeenschappelijke ruimte, heeft een gunstig effect op de rookverspreiding in geval van brand in een kamer die met een gesloten deur op de gemeenschappelijke ruimte aansluit, maar

kan niet verhinderen dat rook zich verspreidt naar de gemeenschappelijke ruimte en een eventuele gang die niet door een gesloten deur wordt afgescheiden van de gemeenschappelijke ruimte.

- Het afscherpende effect van gesloten deuren (die rookverspreiding kunnen tegengaan) kan teniet worden gedaan door ventilatiekanalen, wanneer kamers hierdoor in verbinding staan met de ruimte met de brandhaard. Dergelijke rookverspreiding kan worden vermeden door de rookverspreiding doorheen de kanalen te blokkeren met brandkleppen, of door maatregelen te nemen die een overdruk verhinderen in de ruimte met de brandhaard.
- Er valt geen rookverspreiding te vrezen naar de kamers via de ventilatiekanalen wanneer die een onafhankelijke toevoer en afvoer hebben voor ventilatie (i.e., enkel verticale kanalen, al dan niet gecombineerd met toevoer via ramen) en mits de brandkleppen op de compartimentsgrenzen worden gesloten bij detectie van brand.
- Het gevaar voor rookverspreiding vanuit de ruimte met de brandhaard naar andere ruimten doorheen een extractiekanaal, is veel kleiner dan door een toevoerkanaal (mits de druk in de kamer met de brandhaard niet te hoog oploopt).
- Het sluiten van enkel de brandkleppen op de compartimentsgrenzen, heeft geen significante impact heeft op de rookverspreiding in het compartiment zelf. Het afscherpende effect van gesloten deuren (die rookverspreiding kunnen tegengaan) kan teniet worden gedaan door ventilatiekanalen, wanneer kamers hierdoor in verbinding staan met de ruimte met de brandhaard. Dergelijke rookverspreiding kan worden vermeden door de rookverspreiding doorheen de kanalen te blokkeren met brandkleppen, of door maatregelen te nemen die een overdruk verhinderen in de ruimte met de brandhaard.

Hoofdstuk 7

Inschatting van het brandveiligheidsniveau door combinaties van brandveiligheidsmaatregelen

1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een antwoord gezocht op onderzoeksvraag O6: *Met welke combinaties van brandveiligheidsmaatregelen kan een vooropgesteld veiligheidsniveau gerealiseerd worden voor de set van representatieve configuraties?*

Op basis van de analyses van de vorige hoofdstukken, wordt hier een analyse gemaakt van het globale effect van combinaties van brandveiligheidsmaatregelen, inclusief evacuatiestrategie, voor de bepaling van het globale brandveiligheidsniveau van zorgvoorzieningen.

2 Analyse

2.1 Vooropgestelde veiligheidsniveau

Zoals beschreven in § 3.2 van Hoofdstuk 2 worden de criteria van het veiligheidsniveau bepaald in functie van de twee evacuatiestrategieën :

- Onmiddellijke horizontale evacuatie uit de kamer (via de evacuatiewegen): Al dan niet met behulp van het aanwezige personeel worden de bewoners uit hun kamer geëvacueerd naar een veilige locatie. Afhankelijk van de aanwezigheid van rook in de evacuatieweg kan al dan niet gesproken worden van een veilige evacuatie.
- ‘Defend in place’ (de bewoner blijft in de kamer): De bewoners blijven in hun kamer (die afgesloten is) en wachten op het personeel en/of de brandweer die de evacuatie op een later tijdstip uitvoeren. Er wordt dus verondersteld dat de bewoners in hun kamer blijven totdat een evacuatie door een ‘rookvrije’ evacuatieweg mogelijk is. Afhankelijk van de aanwezigheid van rook in de kamer kan al dan niet gesproken worden van een veilige evacuatie.

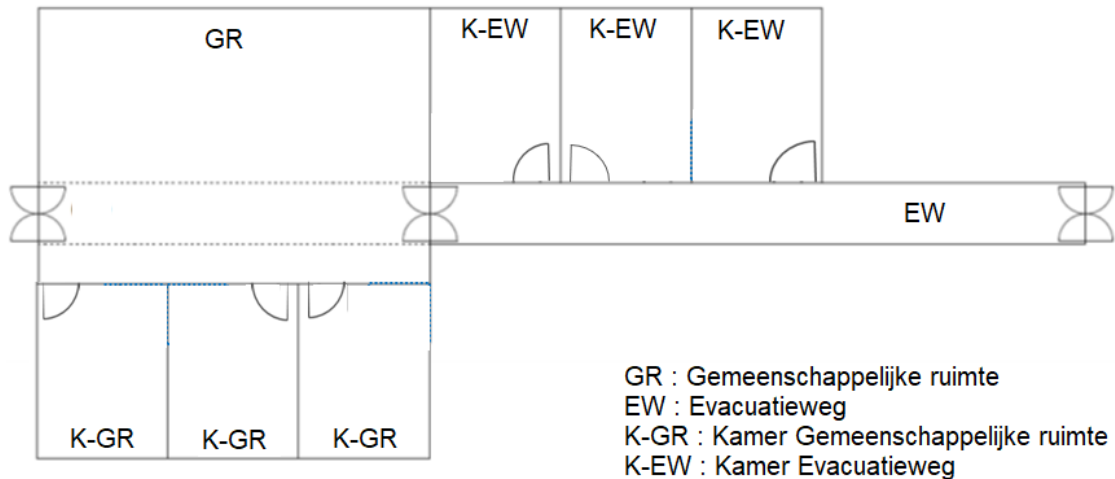
Blootstelling aan rook dient wel zo veel mogelijk vermeden te worden. Een ‘beperkte blootstelling’ aan rook kan worden toegestaan, gedefinieerd als volgt:

- De beperkte blootstelling is enkel van toepassing op zichtbare rook.
- Fysiek contact van het hoofd met de rook is niet toegestaan. Een rookvrije hoogte van minimaal 2.1 m wordt daarom vastgelegd.

Een ‘rookvrije evacuatieweg’ wordt dus gedefinieerd als een evacuatieweg met maximaal dergelijke ‘beperkte blootstelling’ tijdens de evacuatie.

2.2 Representatieve configuratie van een zorgvoorziening (basisconfiguratie)

Er is gekozen voor de indeling van Figuur 168 om combinaties van brandveiligheidsmaatregelen uit te werken. Dit wordt beschouwd als basisconfiguratie, zijnde een representatieve configuratie van een zorgvoorziening die een gemeenschappelijke ruimte bevat, al dan niet gecompartmenteerd ten opzichte van een evacuatiweg. Er zijn zowel kamers aanwezig die rechtstreeks uitgeven op de gemeenschappelijke ruimte, als kamers die uitgeven op de evacuatiweg.



Figuur 106. Schematische weergave van de basisconfiguratie van een zorgvoorziening

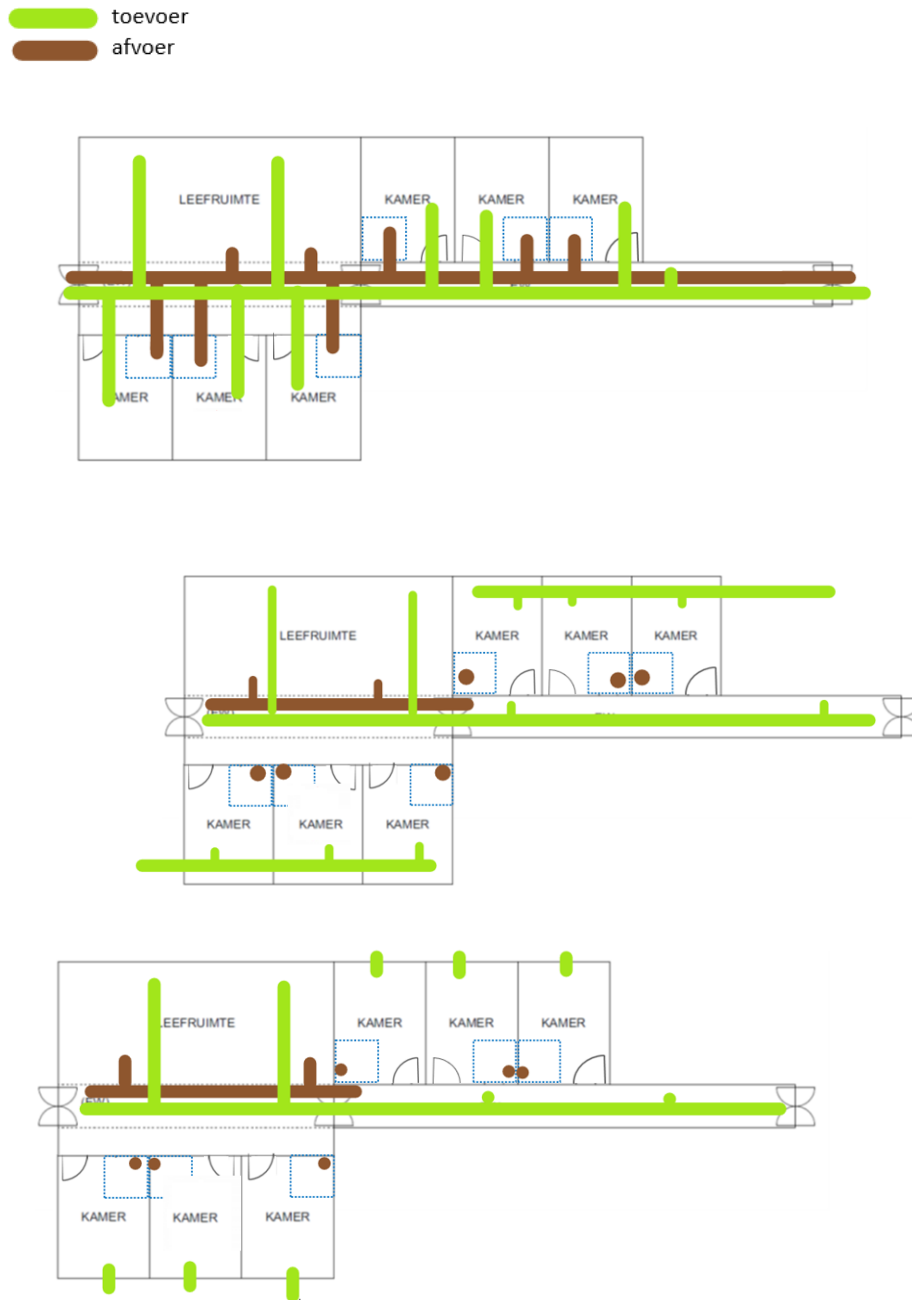
De volgende afkortingen worden voortaan gebruikt:

- Evacuatiweg (EW): route waarlangs de evacuatie gebeurt. In de evacuatiweg wordt geen brandlast verondersteld.
- Gemeenschappelijke ruimte (GR): in deze ruimte bevindt zich een brandlast en er wordt verondersteld dat de evacuatie mogelijks doorheen de GR dient te gebeuren. Indien er geen brandwerende compartimentsgrens aanwezig is tussen de GR en de EW (door bv. zelfsluitende brandwerende deur), wordt het geheel als de gemeenschappelijke ruimte aanzien.
- Kamer: uitgevend op de evacuatiweg (K-EW) of op de gemeenschappelijke ruimte (K-GR).

Verbindingen tussen bovenvermelde ruimtes zijn mogelijk onder de vorm van:

- Deuren.
- Ventilatiesysteem (dagdagelijkse ventilatie):

Enkele mogelijke configuraties werden weergegeven in Figuur 9 (hier hernomen in Figuur 169). De verschillen situeren zich vooral in de open verbindingen die de kanalen van het ventilatiesysteem kunnen hebben tussen de verschillende ruimtes (GR, EW en kamers).



Figuur 107 Verschillende configuraties van dagventilatiesystemen.

2.3 Aannames voor de scenario's

Het spreekt voor zich dat niet elk mogelijk scenario kan worden onderzocht. De huidige studie beperkt zich tot scenario's met de volgende aannames:

- De ruimte met de brandhaard ('brandruimte') bestrijkt 1 bouwlaag. Duplexen of atriumconfiguraties worden dus niet beschouwd.
- De brand ontstaat in de gemeenschappelijke ruimte of in een kamer.
- Elke deur wordt verondersteld bij brand zelfsluitend te zijn. Dit kunnen deuren zijn die sluiten d.m.v. een automatisch ontgrendelingsmechanisme, of deuren uitgerust met

deursluiters met vrijloop. Het eerste type wordt eerder toegepast bij deuren tussen verschillende ruimtes die in de meeste gevallen open zijn, terwijl het andere type vooral gebruikt wordt bij de deuren van de kamers. Tijdens de volledige brandduur wordt verondersteld dat deze deur gesloten is, met uitzondering van kortstondig openen van de deur (bv. om een kamer of een compartiment te verlaten, zie volgend puntje). Eventuele rookverspreiding hierdoor wordt verwaarloosd bij de bespreking van de combinaties van brandveiligheidsmaatregelen.

- Enkel tijdens de evacuatie worden de deuren ter plaatse van de compartimentsgrens verondersteld kortstondig open te zijn.
- Het vermogen van de brand neemt niet uitzonderlijk snel toe. Er wordt verondersteld dat de brandlast dusdanig is dat de brand zich ontwikkelt als een αt^2 -curve met 'medium' groei. Dit komt overeen met een gelijkmatige horizontale branduitbreiding, waarbij na 5 minuten een vermogen van 1 MW wordt bereikt. Er wordt bovendien verondersteld dat de brandhaard in geen geval groter wordt dan 1.5 MW. Hiertoe moeten de nodige maatregelen worden genomen. Dit kan op verschillende manieren (enkele voorbeelden zijn: de beperking van de brandlast; de aanwezigheid van een goed ontworpen automatisch blussysteem; het creëren van een situatie van ondergeventileerde brand (bv. brand in een kamer met gesloten deuren en ramen); het gebruik van meubilair met dusdanig verbeterd brandgedrag dat het brandvermogen voldoende traag toeneemt).
- Enkel de rookverspreiding tussen de verschillende ruimtes via de deuren en de ventilatiekanalen wordt beschouwd. Er wordt verondersteld dat elke andere rookverspreiding (bv. via doorvoeringen zoals stopcontacten) verwaarloosbaar is, in de veronderstelling dat deze voldoende kwaliteitsvol uitgevoerd zijn.
- In geval van 'Defend in Place' (DIP) dient de evacuatieweg rookvrij gemaakt te kunnen worden tijdens de interventie van de brandweer.
- Het ventilatiesysteem wordt uitgeschakeld bij sturing door branddetectie (los van de eventuele toepassing in het kader van rookbeheersing). Dit gebeurt ten laatste 60 seconden na detectie.
- Er wordt geen rekening gehouden met de mogelijke invloed van wind.
- Er wordt geen rekening gehouden met de mogelijke invloed van een schoorsteeneffect (dat aanwezig zal zijn in geval van meerdere bouwlagen, bv. in een trappenhuis).
- Het personeel is opgeleid om te kunnen assisteren in het geval van evacuatie en is voorbereid op eventuele brandsituaties.
- De zorgvoorziening is voorzien van een algemeen automatisch detectiesysteem.
- Brandwerende kleppen type B (klep die sluit op basis van branddetectie) worden toegepast in de ventilatiesystemen op de compartimentsgrenzen, terwijl brandwerende kleppen type A (klep die sluit op basis van temperatuur) mogen worden toegepast in de ventilatiesystemen op scheidingen tussen ruimten binnen de compartimentsgrenzen.

Disclaimer: de opties zoals beschreven in paragraaf 2.5 in dit hoofdstuk zijn gebaseerd op deze aannames. Het is mogelijk dat deze aannames niet helemaal zullen kloppen in de realiteit, bv. een deur

zou gedurende langere tijd open kunnen zijn. De kans dat aan bepaalde aannames niet voldaan is in de realiteit neemt over het algemeen toe naarmate een ruimte groter wordt (bv. het risico neemt toe op een grotere brandhaard) en naarmate het aantal kamers toeneemt (bv. als er meer deuren zijn, kan er meer fout lopen met het gesloten zijn van deze deuren). Bepaalde opties voor combinaties van brandbeveiligingsmaatregelen kunnen hier gevoeliger aan zijn.

2.4 Inzetbaarheid van brandveiligheidsmaatregelen

Op basis van de eerder uitgevoerde studies (2) en (3) en de bijkomende CFD-simulaties van deze studie kunnen de volgende conclusies getrokken worden omtrent de mogelijke inzetbaarheid van brandveiligheidsmaatregelen teneinde een rookvrije evacuatiweg te bekomen.

2.4.1 Creëren van een rookvrije evacuatiweg

De grootschalige brandproeven in de studie (2) hebben aangetoond dat een evacuatie doorheen een gemeenschappelijke ruimte met een brandhaard enkel mogelijk is indien gebruik gemaakt wordt van een rookbeheersingssysteem en een brandscherm.

Deze toepassing van het rookbeheersingssysteem kan aldus aangewend worden indien een onmiddellijke evacuatie (OE) tot de evacuatiestrategie behoort. Indien de brandruimte in verbinding is met andere compartimenten (bv. door het ventilatiesysteem, deuren, ...) kan het rookbeheersingssysteem ook voor een onderdruk in de brandruimte zorgen, zodat deze toepassing eveneens kan aangewend worden in geval van een Defend in Place (DIP).

In geval van brand zal het brandscherm naar beneden dienen te gaan, hetzij tot op de vloer, hetzij tot op een vooropgestelde hoogte boven de grond van maximaal 1 m (bv. indien obstakels aanwezig zouden kunnen zijn in de ruimte). Op die manier wordt een scheiding gecreëerd tussen de brandruimte en de evacuerende personen. Zodra het brandscherm zich in de gewenste positie bevindt, wordt het rookbeheersingssysteem geactiveerd, met als doelstelling dat de rook binnen de grenzen van de brandruimte (maar buiten de gecreëerde evacuatiweg) blijft.

De ontwerpparameters voor het rookbeheersingssysteem zijn weergegeven in de studie (2). Hier wordt enkel herhaald dat indien het brandscherm stopt op een maximale hoogte van 1 m boven de grond, is er steeds een voldoende hoge snelheid onder de opening van het brandscherm noodzakelijk om de gecreëerde evacuatiweg rookvrij te houden.

2.4.2 Verhinderen van rookverspreiding

Het verhinderen van rookverspreiding wordt vooral aangewend in geval van een Defend in Place. Rookverspreiding vanuit de brandruimte naar aanliggende compartimenten kan verhinderd worden door middel van één van onderstaande maatregelen:

- Drukopbouw in de brandruimte verhinderen + rookwerende scheiding aanbrengen
 - Drukopbouw verminderen:
 - Aanbrengen van een opening in de brandruimte:

Door het aanbrengen van een opening in de brandruimte wordt de drukopbouw sterk gereduceerd, maar deze gereduceerde drukopbouw is op zich geen garantie op volledige verhindering van rookverspreiding naar aanliggende compartimenten. In combinatie met een rookwerende scheiding zal

rookverspreiding naar aanliggende compartimenten wel verwaarloosbaar zijn. Er dienen wel maatregelen genomen te worden om te vermijden dat de opening in overdruk kan komen te staan (bv. door wind). Voor alle onderzochte ruimtes volstaat een oppervlakte van 0.25 m² als opening, maar voor kamers kan de opening kleiner zijn (bv. 0.06 m², zie paragraaf 4.2 van hoofdstuk 6).

- Toepassing van een automatische blussing in de brandruimte:

Door het toepassen van een automatische blussing kan na de activatie van de automatische blussing een onderdruk in de brandruimte gegenereerd worden, of zal minstens de drukopbouw sterk gereduceerd worden.

- Rookwerende scheiding aanbrengen:

Deur: de deur dient over een klassering S200 volgens EN 13501-2 te beschikken.

Brandklep: de brandklep dient van het type B te zijn, i.e., een brandklep die sluit in geval van branddetectie. De enige uitzondering betreft brandkleppen in ventilatiekanalen die zich niet op een compartimentsgrens bevinden en die zich in een kanaal bevinden dat een ruimte doorsteekt, zonder dat het kanaal een openingen heeft in de ruimte die wordt doorgestoken. In dat geval mogen de brandkleppen van het type A zijn op de grenzen van de ruimte die wordt doorgestoken.

- Onderdruk creëren in brandruimte

De grootschalige brandproeven in de studie (2) hebben aangetoond dat rookverspreiding (en verspreiding van andere toxische gassen) naar aanliggende compartimenten kan verhinderd worden indien gebruik gemaakt wordt van een rookbeheersingssysteem dat een onderdruk realiseert in de brandruimte. De bewoner kan dan in een rookvrije (al dan niet aanliggende) omgeving op de (uitgestelde) evacuatie wachten (Defend in Place). Het rookbeheersingssysteem zal ervoor zorgen dat de rook binnen de grenzen van de brandruimte blijft.

In geval van brand wordt het rookbeheersingssysteem geactiveerd met een vooropgesteld extractiedebiet. Bij deze toepassing kan gebruik gemaakt worden van een drukregelsysteem waarbij het extractiedebiet van het rookbeheersingssysteem zich dan aanpast aan het gemeten drukverschil in de brandruimte. De ontwerpparameters voor deze toepassing van het rookbeheersingssysteem zijn weergegeven in de studie (2).

- Twee opeenvolgende gesloten deuren (indien er geen andere verbindingen zijn tussen de ruimtes)

De grootschalige brandproeven in de studie (3) hebben aangetoond dat rookverspreiding naar aanliggende compartimenten verhinderd wordt indien de brandruimte en de betreffende ruimte van elkaar gescheiden zijn door middel van (minstens) twee opeenvolgende gesloten deuren. Deze vaststelling is enkel geldig voor zover er geen andere open verbindingen aanwezig zijn tussen de betreffende ruimtes.

2.5 Combinaties van brandveiligheidsmaatregelen voor verschillende scenario's

Op basis van het vooropgestelde veiligheidsniveau zijn combinaties van brandveiligheidsmaatregelen onderzocht voor verschillende brandscenario's voor de basisconfiguratie (Figuur 168) met mogelijks verbindingen door ventilatiekanalen (Figuur 169), en dit in functie van onderstaande parameters:

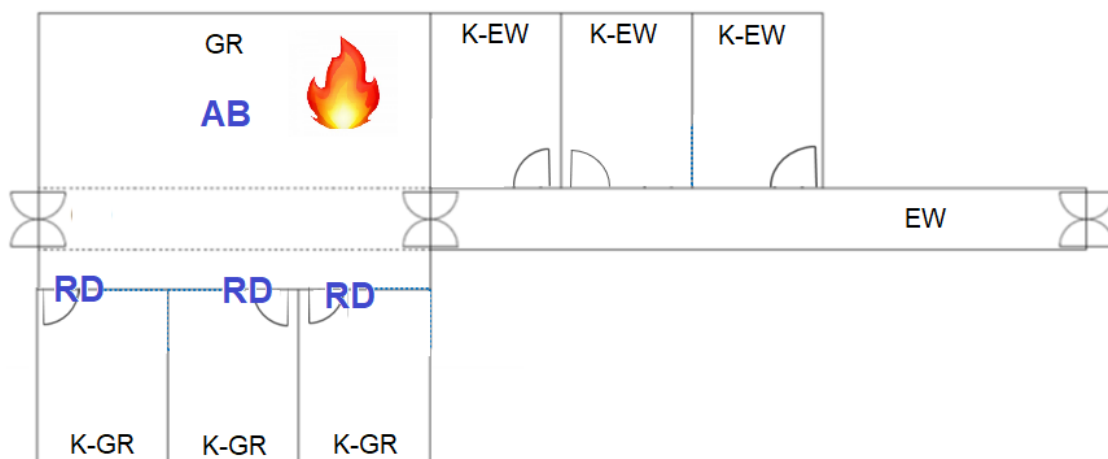
- Brand in de gemeenschappelijke ruimte of in de kamer,
- Onmiddellijke evacuatie of Defend in Place

De combinaties worden grafisch weergegeven, met een korte toelichting. Nadien worden overzichtstabellen gemaakt op basis van de beschreven scenario's (paragraaf 2.6).

Belangrijke toelichting:

In onderstaande uitwerking van de scenario's worden de huidige brandveiligheidsmaatregelen, zoals reeds opgenomen in de Basisnormen en in de Vlaamse wetgeving, niet in beschouwing genomen. Enkel combinaties van brandveiligheidsmaatregelen die kunnen leiden tot het vooropgestelde veiligheidsniveau, worden als dusdanig beschreven.

2.5.1 BRAND IN GEMEENSCHAPPELIJKE RUIMTE (GR), DEFEND IN PLACE, OPTIE DIP – AB-RD



Legende maatregelen:

- AB Automatisch blussysteem (residentiële sprinklernorm of gelijkwaardig)
 RD Rookwerende deur

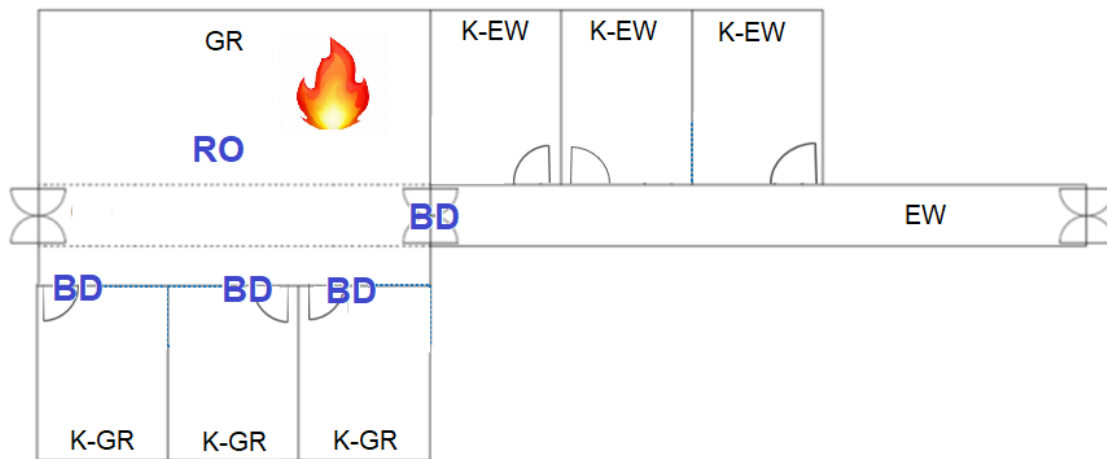
Aandachtspunten:

- Indien er via het ventilatiekanaal een rechtstreekse verbinding is tussen de gemeenschappelijke ruimte (GR) en een kamer (K-GR en/of K-EW), dient een brandwerende klep type B (klep die sluit op basis van branddetectie) in dit ventilatiekanaal aangebracht te worden zodat de rookwerende scheiding wordt gegarandeerd.

Indien een rookbeheersingssysteem toegepast wordt waarbij een onderdruk gecreëerd wordt in de gemeenschappelijke ruimte, is deze eis niet van toepassing. Het rookbeheersingssysteem mag de werking van de sprinklers niet negatief beïnvloeden.

- Indien een rookbeheersingssysteem toegepast wordt waarbij een onderdruk gecreëerd wordt in de gemeenschappelijke ruimte, dient de deur in de kamer (K-GR) niet over rookwerende eigenschappen te beschikken. Het rookbeheersingssysteem mag de werking van de sprinklers niet negatief beïnvloeden.
- Geen van de voorgestelde acties garandeert de afwezigheid van rook in de gemeenschappelijke ruimte (GR) en/of de evacuatiweg (EW). Daarom moet ervoor worden gezorgd dat de brandweer de mogelijkheid heeft om deze ruimtes rookvrij te maken tijdens hun interventie.

2.5.2 BRAND IN GEMEENSCHAPPELIJKE RUIMTE (GR), DEFEND IN PLACE, OPTIE : DIP – RO-BD



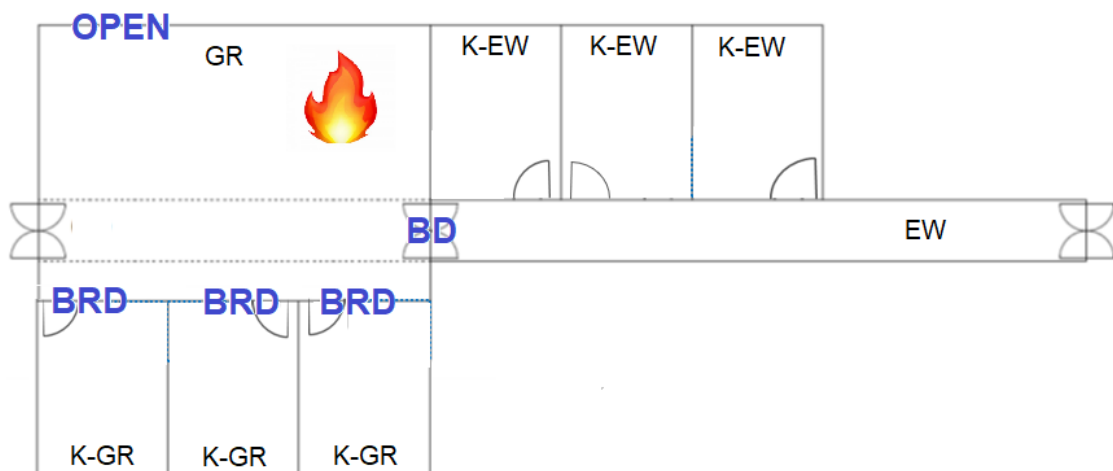
Legende maatregelen:

- | | |
|----|--|
| RO | Rookbeheersingssysteem om een onderdruk te creëren |
| BD | Brandwerende deur |

Aandachtspunten:

- Indien er via het ventilatiekanaal een rechtstreekse verbinding is tussen de gemeenschappelijke ruimte (GR) en een kamer (K-GR en/of K-EW), dient een brandwerende klep type A (klep die sluit op basis van temperatuur) in dit ventilatiekanaal aangebracht te worden zodat de brandwerende scheiding wordt gegarandeerd.
- Indien er via het ventilatiekanaal een rechtstreekse verbinding is tussen de gemeenschappelijke ruimte (GR) en de evacuatiweg (EW), dient een brandwerende klep type A (klep die sluit op basis van temperatuur) in dit ventilatiekanaal aangebracht te worden zodat de brandwerende scheiding wordt gegarandeerd.
- Geen van de voorgestelde acties garandeert de afwezigheid van rook in de gemeenschappelijke ruimte (GR). Daarom moet ervoor worden gezorgd dat de brandweer de mogelijkheid heeft om deze ruimte rookvrij te maken tijdens hun interventie.

2.5.3 BRAND IN GEMEENSCHAPPELIJKE RUIMTE (GR), DEFEND IN PLACE, OPTIE: DIP – OPEN-BRD



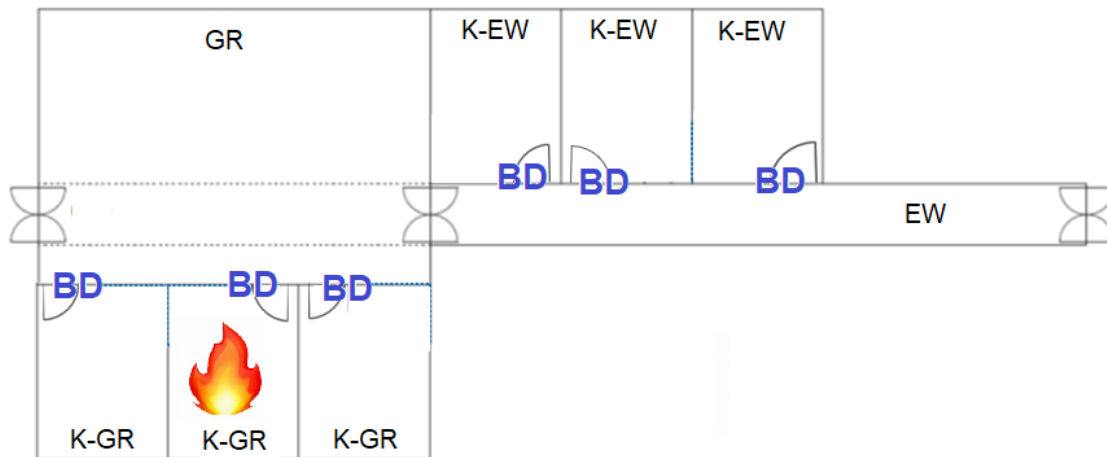
Legende maatregelen:

- OPEN Een opening (met een oppervlakte van minstens 0.25 m²) in een wand van de gemeenschappelijke ruimte
- BD Brandwerende deur
- BRD Brand- en rookwerende deur

Aandachtspunten:

- Er dienen maatregelen genomen te worden om te vermijden dat de opening in overdruk kan komen te staan.
- Indien er via het ventilatiekanaal een rechtstreekse verbinding is tussen de gemeenschappelijke ruimte (GR) en een kamer (K-GR en/of K-EW), dient een brandwerende klep type B (klep die sluit op basis van branddetectie) in dit ventilatiekanaal aangebracht te worden zodat de rookwerende scheiding wordt gegarandeerd.
- Indien er via het ventilatiekanaal een rechtstreekse verbinding is tussen de gemeenschappelijke ruimte (GR) en de evacuatieweg (EW), dient een brandwerende klep type A (klep die sluit op basis van temperatuur) in dit ventilatiekanaal aangebracht te worden zodat de brandwerende scheiding wordt gegarandeerd.
- Geen van de voorgestelde acties garandeert de afwezigheid van rook in de gemeenschappelijke ruimte (GR) en/of de evacuatieweg (EW). Daarom moet ervoor worden gezorgd dat de brandweer de mogelijkheid heeft om deze ruimtes rookvrij te maken tijdens hun interventie.

2.5.4 BRAND IN DE KAMER (K-GR OF K-EW), DEFEND IN PLACE, OPTIE: DIP - BD



Legende maatregelen:

BD Brandwerende deur

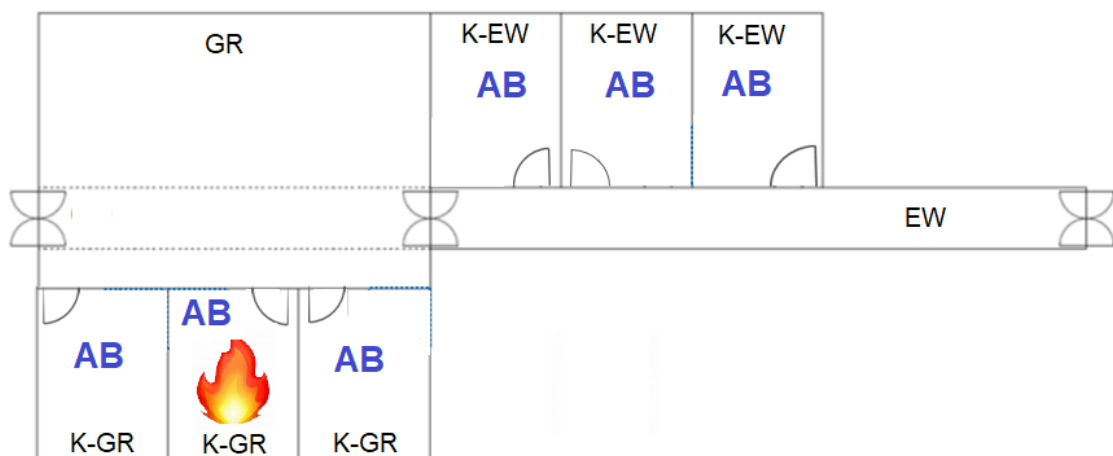
Aandachtspunten:

- Indien er via het ventilatiekanaal een rechtstreekse verbinding is tussen twee kamers (K-GR of K-EW), dient een brandwerende klep type B (klep die sluit op basis van branddetectie) in dit ventilatiekanaal aangebracht te worden zodat de rookwerende scheiding wordt gegarandeerd.

Indien een rookbeheersingssysteem toegepast wordt waarbij een onderdruk gecreëerd wordt in de brandruimte, mag dit een brandwerende klep type A (klep die sluit op basis van temperatuur) zijn zodat de brandwerende scheiding wordt gegarandeerd.

- Geen van de voorgestelde acties garandeert de afwezigheid van rook in de gemeenschappelijke ruimte (GR) en/of de evacuatieweg (EW). Daarom moet ervoor worden gezorgd dat de brandweer de mogelijkheid heeft om deze ruimtes rookvrij te maken tijdens hun interventie.

2.5.5 BRAND IN DE KAMER (K-GR OF K-EW), DEFEND IN PLACE, OPTIE: DIP - AB



Legende maatregelen:

AB Automatisch blussysteem (residentiële sprinklernorm of gelijkwaardig)

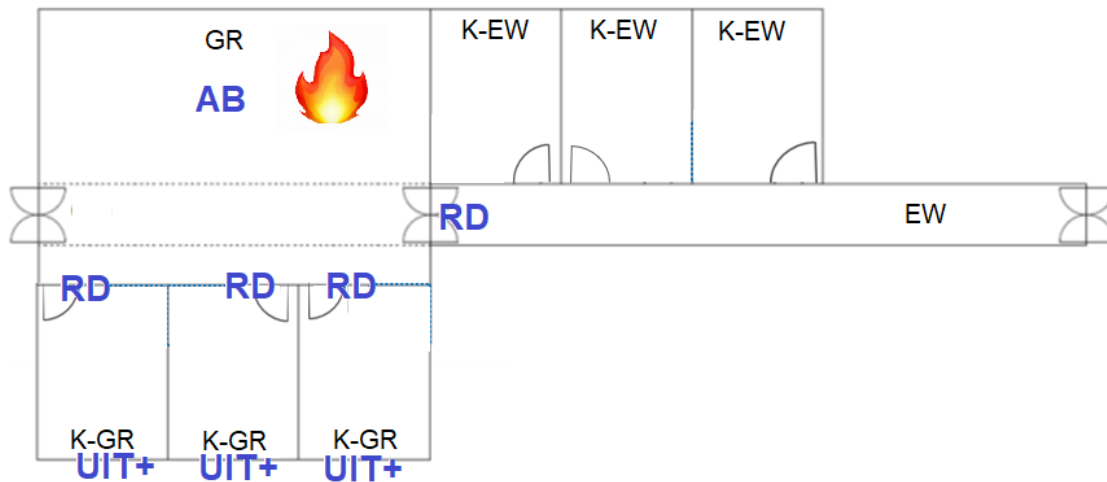
Aandachtspunten:

- Indien er via het ventilatiekanaal een rechtstreekse verbinding is tussen twee kamers (K-GR of K-EW), dient een brandwerende klep type B (klep die sluit op basis van branddetectie) in dit ventilatiekanaal aangebracht te worden zodat de rookwerende scheiding wordt gegarandeerd.

Indien een rookbeheersingssysteem toegepast wordt waarbij een onderdruk gecreëerd wordt in de brandruimte, is deze eis niet van toepassing. Het rookbeheersingssysteem mag de werking van de sprinklers niet negatief beïnvloeden.

- Geen van de voorgestelde acties garandeert de afwezigheid van rook in de gemeenschappelijke ruimte (GR) en/of de evacuatieweg (EW). Daarom moet ervoor worden gezorgd dat de brandweer de mogelijkheid heeft om deze ruimtes rookvrij te maken tijdens hun interventie.

2.5.6 BRAND IN DE GEMEENSCHAPPELIJKE RUIMTE (GR), ONMIDDELLIJKE EVACUATIE (NIET-ZELFREDZAME PERSONEN), OPTIE: OE – AB-RD-UIT+



Legende maatregelen:

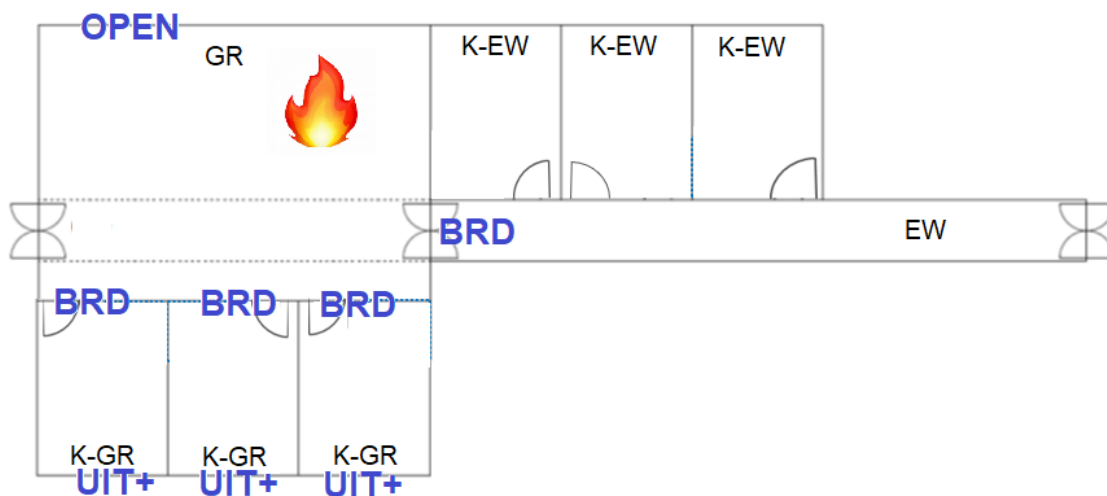
- AB Automatisch blussysteem (residentiële sprinklernorm of gelijkwaardig)
- RD Rookwerende deur
- UIT+ Bijkomende uitgang (de kamer wordt voorzien van een bijkomende volwaardige uitgang die niet uitgaat op de gemeenschappelijke ruimte)

Aandachtspunten:

- Indien er via het ventilatiekanaal een rechtstreekse verbinding is tussen de gemeenschappelijke ruimte (GR) en een kamer (K-GR en/of K-EW) of tussen de gemeenschappelijke ruimte (GR) en de evacuatieweg (EW), dient een brandwerende klep type B (klep die sluit op basis van branddetectie) in dit ventilatiekanaal aangebracht te worden zodat de rookwerende scheiding wordt gegarandeerd.

Indien een rookbeheersingssysteem toegepast wordt waarbij een onderdruk gecreëerd wordt in de gemeenschappelijke ruimte, is deze eis niet van toepassing. Het rookbeheersingssysteem mag de werking van de sprinklers niet negatief beïnvloeden.

2.5.7 BRAND IN DE GEMEENSCHAPPELIJKE RUIMTE (GR), ONMIDDELLIJKE EVACUATIE (NIET-ZELFREDZAME PERSONEN), OPTIE: OE – OPEN-BRD-UIT+



Legende maatregelen:

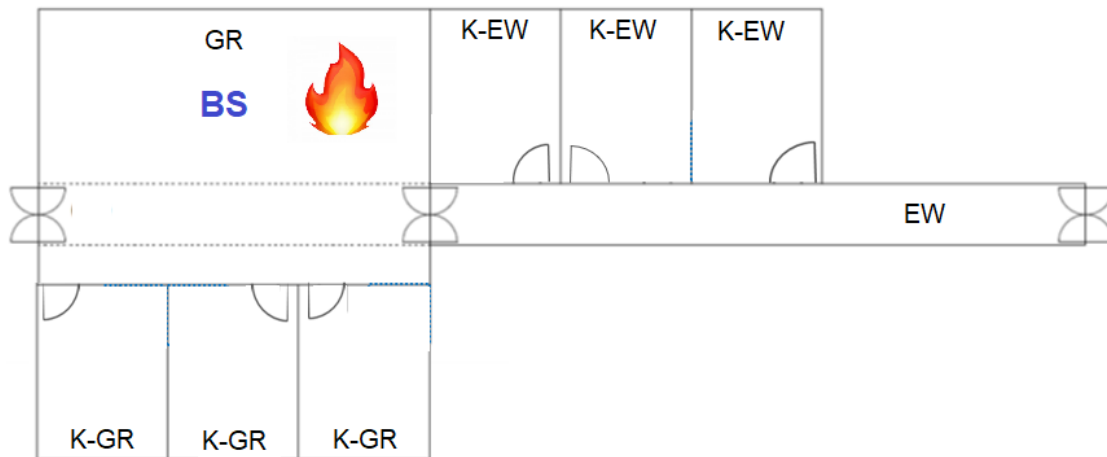
- OPEN Een opening (met een oppervlakte van minstens 0.25 m²) aanbrengen in de gemeenschappelijke ruimtes
- BRD Brand- en rookwerende deur
- UIT+ Bijkomende uitgang (de kamer wordt voorzien van een bijkomende volwaardige uitgang die niet uitgaat op de gemeenschappelijke ruimte)

Aandachtspunten:

- Er dienen maatregelen genomen te worden om te vermijden dat de opening in overdruk kan komen te staan.
- Indien er via het ventilatiekanaal een rechtstreekse verbinding is tussen de gemeenschappelijke ruimte (GR) en een kamer (K-GR en/of K-EW) of tussen de gemeenschappelijke ruimte (GR) en de evacuatiweg (EW), dient een brandwerende klep type B (klep die sluit op basis van branddetectie) in dit ventilatiekanaal aangebracht te worden zodat de rookwerende scheiding wordt gegarandeerd.

Indien een rookbeheersingssysteem toegepast wordt waarbij een onderdruk gecreëerd wordt in de gemeenschappelijke ruimte, mag dit een brandwerende klep type A (klep die sluit op basis van temperatuur) zijn zodat de brandwerende scheiding wordt gegarandeerd.

2.5.8 BRAND IN DE GEMEENSCHAPPELIJKE RUIMTE (GR), ONMIDDELLIJKE EVACUATIE (NIET-ZELFREDZAME PERSONEN), OPTIE: OE - RS



Legende maatregelen:

BS Brandscherm (creëren van een rookvrije evacuatiweg in combinatie met een rookbeheersingssysteem)

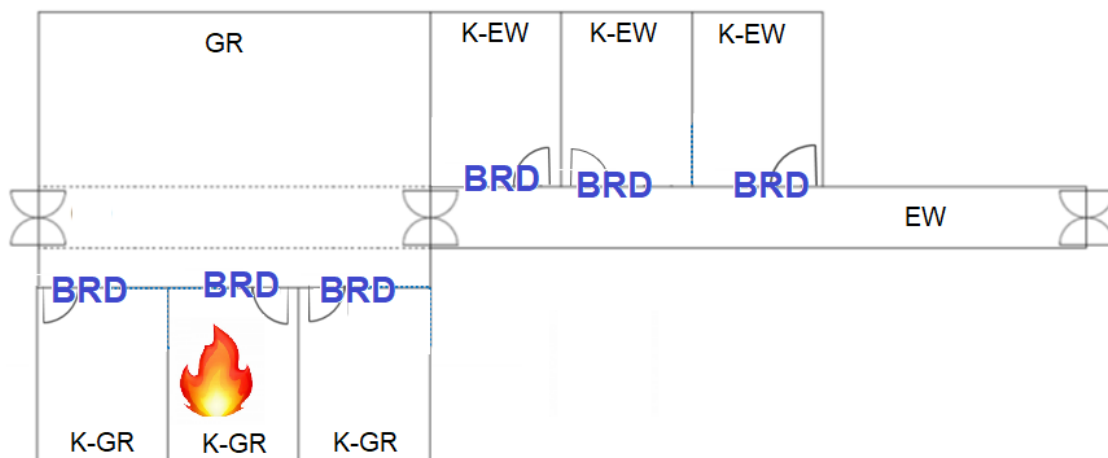
Aandachtspunten:

- Indien er via het ventilatiekanaal een rechtstreekse verbinding is tussen de gemeenschappelijke ruimte (GR) en een kamer (K-GR en/of K-EW) of tussen de gemeenschappelijke ruimte (GR) en de evacuatiweg (EW), dient een brandwerende klep type B (klep die sluit op basis van branddetectie) in dit ventilatiekanaal aangebracht te worden zodat de rookwerende scheiding wordt gegarandeerd.

Indien een rookbeheersingssysteem toegepast wordt waarbij een onderdruk gecreëerd wordt in de gemeenschappelijke ruimte, mag dit een brandwerende klep type A (klep die sluit op basis van temperatuur) zijn zodat de brandwerende scheiding wordt gegarandeerd.

- Indien een automatisch blussysteem in de gemeenschappelijke ruimte toegepast wordt, mag het rookbeheersingssysteem de werking van de sprinklers niet negatief beïnvloeden.

2.5.9 BRAND IN DE KAMER (K-GR OF K-EW), ONMIDDELLIJKE EVACUATIE (NIET-ZELFREDZAME PERSONEN), OPTIE: OE - BRD



Legende maatregelen:

BRD Brand- en rookwerende deur

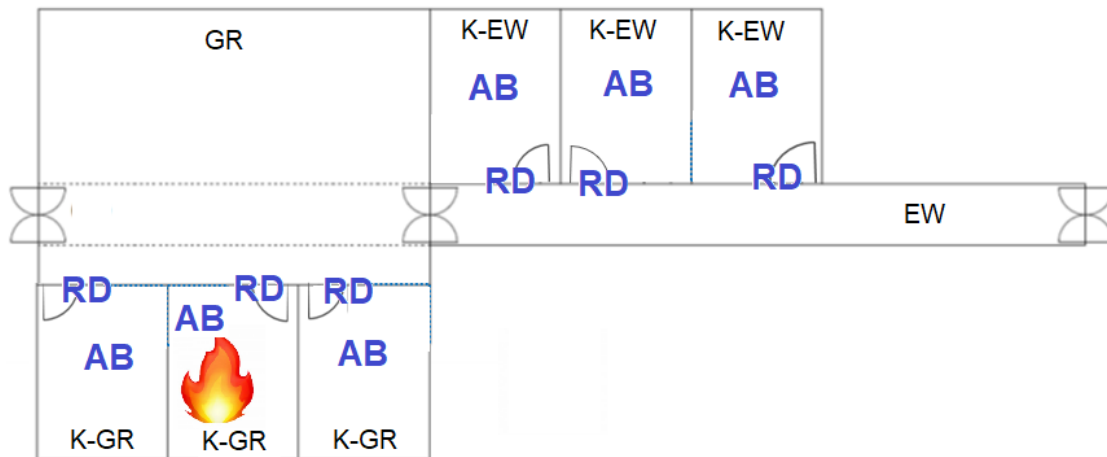
Aandachtspunten:

- Indien er via het ventilatiekanaal een rechtstreekse verbinding is tussen twee kamers (K-GR of K-EW) of tussen een kamer (K-GR en/of K-EW) en de gemeenschappelijke ruimte (GR) of de evacuatieweg (EW), dient een brandwerende klep type B (klep die sluit op basis van branddetectie) in dit ventilatiekanaal aangebracht te worden.

Indien een rookbeheersingssysteem toegepast wordt waarbij een onderdruk gecreëerd wordt in de brandruimte, mag dit een brandwerende klep type A (klep die sluit op basis van temperatuur) zijn zodat de brandwerende scheiding wordt gegarandeerd.

- Indien een rookbeheersingssysteem toegepast wordt waarbij een onderdruk gecreëerd wordt in de brandruimte, dient de deur in de kamer niet over rookwerende eigenschappen te beschikken.

2.5.10 BRAND IN DE KAMER (K-GR OF K-EW), ONMIDDELLIJKE EVACUATIE (NIET-ZELFREDZAME PERSONEN), OPTIE: OE – AB-RD



Legende maatregelen:

- AB Automatisch blussysteem (residentiële sprinklernorm of gelijkwaardig)
 RD Rookwerende deur

Aandachtspunten:

- Indien er via het ventilatiekanaal een rechtstreekse verbinding is tussen twee kamers (K-GR of K-EW) of tussen een kamer (K-GR en/of K-EW) en de gemeenschappelijke ruimte (GR) of de evacuatiweg (EW), dient een brandwerende klep type B (klep die sluit op basis van branddetectie) in dit ventilatiekanaal aangebracht te worden.

Indien een rookbeheersingssysteem toegepast wordt waarbij een onderdruk gecreëerd wordt in de brandruimte, is deze eis niet van toepassing. Het rookbeheersingssysteem mag de werking van de sprinklers niet negatief beïnvloeden.

- Indien een rookbeheersingssysteem toegepast wordt waarbij een onderdruk gecreëerd wordt in de brandruimte, dient de deur in de kamer niet over rookwerende eigenschappen te beschikken.

2.6 Overzichtstabellen voor de combinaties van brandveiligheidsmaatregelen

In deze paragraaf worden de combinaties samengevat als synthese van de verschillende scenario's zoals beschreven in paragraaf 2.5. Er wordt hierbij herinnerd aan alle aannames, zoals beschreven in paragraaf 2.3.

2.6.1 Overzichtstabel voor Defend in Place

OPTIE	BRANDVEILIGHEIDSMATREGEL			EISEN VOOR DEUREN		
	AB	RO	OPEN	K-GR	K-EW	GR-EW
AB	GR			BRD	BD	
	TOT			RD		
AB-RO	GR	GR		BD	BD	
	TOT	TOT				
RO		GR		BD	BD	BD
		TOT		BD	BD	BD
OPEN			GR	BRD	BD	BD

Opmerking: Bij 'OPEN' moet er worden over gewaakt dat de opening niet in overdruk kan staan (bv. ten gevolge van wind). Dit is niet altijd eenvoudig. Een technische oplossing is bijvoorbeeld minstens twee openingen te voorzien (met elk een oppervlakte van minstens 0.25 m²) in twee tegenoverstaande wanden en op het moment van de brand te controleren bij welke opening er geen overdruk is.

Legende:

AB	Automatisch blussysteem (residentiële sprinklernorm of gelijkwaardig)
RO	Rookbeheersingssysteem om een onderdruk te creëren
OPEN	Een opening (met een oppervlakte van minstens 0,25 m ²) aanbrengen in de gemeenschappelijke ruimte
BRD	Brand- en rookwerende deur
BD	Brandwerende deur
RD	Rookwerende deur
TOT	Totaal van gemeenschappelijke ruimte en de kamers
GR	Gemeenschappelijke ruimte
EW	Evacuatieweg
K-GR	Kamer uitgevend op de gemeenschappelijke ruimte
K-EW	Kamer uitgevend op de evacuatieweg
GR-EW	Deur tussen de gemeenschappelijke ruimte en de evacuatieweg

Eisen voor kleppen in eventueel aanwezige ventilatiekanalen:

Indien de eis voor de deur enkel een brandwerende eis is (BD), dan mag een klep van het type A (klep die sluit op basis van temperatuur) toegepast worden, behalve wanneer de klep zich op een compartimentsgrens bevindt.

Indien de eis voor de deur van het betreffende compartiment minstens een rookwerende eis is (RD of BRD), dan dient een klep van het type B (klep die sluit op basis van branddetectie) toegepast te worden.

2.6.2 Overzichtstabel voor Onmiddellijke Evacuatie

ONMIDDELLIJKE EVACUATIE (NIET-ZELFREDZAME PERSONEN)

OPTIE	BRANDVEILIGHEIDSMATREGEEL					EISEN VOOR DEUREN		
	AB	RO	OPEN	RS	UIT+	K-GR	K-EW	GR-EW
AB	GR				K-GR	BRD	BRD	RD
	TOT				K-GR	RD	RD	RD
AB-RO	GR	GR			K-GR	BRD	BRD	
	TOT	TOT			K-GR			
RO		GR			K-GR	BRD	BRD	BRD
		TOT			K-GR	BD	BD	BD
OPEN			GR		K-GR	BRD	BRD	BRD
BS				GR		BRD	BRD	BRD

Opmerkingen:

- Voor optie BS hangt een goed ontwerp sterk af van de configuratie (geometrie van het gebouw; positie van brandscherm(en); en het extractiesysteem (extractiedebiet, alsook posities van afzuigpunten en toevoerpunten). Voor de configuratie uit studie (1) (zie ook Figuur 6 van de huidige studie) wordt dit als valide beschouwd. Voor andere configuraties moet de goede werking worden aangetoond (bv. door CFD-simulaties of warme rookproeven).
- Combinaties van maatregelen zijn mogelijk. Bv. kan RO-TOT worden gecombineerd met BS, en in dat geval vervalt de eis 'UIT+' in K-GR (o.w.v. de aanwezigheid van BS), alsook de eis van rookwerendheid van de deuren (o.w.v. de aanwezigheid van RO-TOT).
- Bij 'OPEN' moet er worden over gewaakt dat de opening niet in overdruk kan staan (bv. ten gevolge van wind). Dit is niet altijd eenvoudig. Een technische oplossing is bijvoorbeeld minstens twee openingen te voorzien (met elk een oppervlakte van minstens 0.25 m²) in twee tegenoverstaande wanden en op het moment van de brand te controleren bij welke opening er geen overdruk is.

Legende:

AB	Automatisch blussysteem (residentiële sprinklernorm of gelijkwaardig)
RO	Rookbeheersingssysteem om een onderdruk te creëren
OPEN	Een opening (met een oppervlakte van minstens 0,25 m ²) aanbrengen in de gemeenschappelijke ruimte
UIT+	Bijkomende uitgang (de kamer wordt voorzien van een bijkomende volwaardige uitgang die niet uitgaat op de gemeenschappelijke ruimte)
BS	Brandscherm (creëren van een rookvrije evacuatiweg in combinatie met een rookbeheersingssysteem)
BRD	Brand- en rookwerende deur
BD	Brandwerende deur
RD	Rookwerende deur
TOT	Totaal van gemeenschappelijke ruimte en de kamers
GR	Gemeenschappelijke ruimte
EW	Evacuatiweg
K-GR	Kamer uitgaand op de gemeenschappelijke ruimte
K-EW	Kamer uitgaand op de evacuatiweg
GR-EW	Deur tussen de gemeenschappelijke ruimte en de evacuatiweg

Eisen voor kleppen in eventueel aanwezige ventilatiekanalen:

Indien de eis voor de deur enkel een brandwerende eis is (BD), dan mag een klep van het type A (klep die sluit op basis van temperatuur) toegepast worden, behalve wanneer de klep zich op een compartimentsgrens bevindt.

Indien de eis voor de deur van het betreffende compartiment minstens een rookwerende eis is (RD of BRD), dan dient een klep van het type B (klep die sluit op basis van branddetectie) toegepast te worden.

3 Conclusies

In dit hoofdstuk werd onderzoeksvraag O6 behandeld: *Met welke combinaties van brandveiligheidsmaatregelen kan een vooropgesteld veiligheidsniveau gerealiseerd worden voor de set van representatieve configuraties?*

Op basis van aannames voor de scenario's (zie paragraaf 2.3), zijn de volgende overzichtstabellen tot stand gekomen voor combinaties van brandveiligheidsmaatregelen, teneinde het vooropgestelde veiligheidsniveau te bekomen:

DEFEND IN PLACE

OPTIE	BRANDVEILIGHEIDSMATREGEL			EISEN VOOR DEUREN		
	AB	RO	OPEN	K-GR	K-EW	GR-EW
AB	GR			BRD	BD	
	TOT			RD		
AB-RO	GR	GR		BD	BD	
	TOT	TOT				
RO		GR		BD	BD	BD
		TOT		BD	BD	BD
OPEN			GR	BRD	BD	BD

ONMIDDELLIJKE EVACUATIE (NIET-ZELFREDZAME PERSONEN)

OPTIE	BRANDVEILIGHEIDSMATREGEL					EISEN VOOR DEUREN		
	AB	RO	OPEN	RS	UIT+	K-GR	K-EW	GR-EW
AB	GR				K-GR	BRD	BRD	RD
	TOT				K-GR	RD	RD	RD
AB-RO	GR	GR			K-GR	BRD	BRD	
	TOT	TOT			K-GR			
RO		GR			K-GR	BRD	BRD	BRD
		TOT			K-GR	BD	BD	BD
OPEN			GR		K-GR	BRD	BRD	BRD
BS				GR		BRD	BRD	BRD

Opmerkingen:

- Voor optie BS hangt een goed ontwerp sterk af van de configuratie (geometrie van het gebouw; positie van brandscherm(en); en het extractiesysteem (extractiedebiet, alsook posities van afzuigpunten en toevoerpunten). Voor de configuratie uit studie (1) (zie ook Figuur 6 van de

huidige studie) wordt dit als valide beschouwd. Voor andere configuraties moet de goede werking worden aangetoond (bv. door CFD-simulaties of warme rookproeven).

- Combinaties van maatregelen zijn mogelijk. Bv. kan RO-TOT worden gecombineerd met BS, en in dat geval vervalt de eis 'UIT+' in K-GR (o.w.v. de aanwezigheid van BS), alsook de eis van rookwerendheid van de deuren (o.w.v. de aanwezigheid van RO-TOT).
- Bij 'OPEN' moet er worden over gewaakt dat de opening niet in overdruk kan staan (bv. ten gevolge van wind). Dit is niet altijd eenvoudig. Een technische oplossing is bijvoorbeeld minstens twee openingen te voorzien (met elk een oppervlakte van minstens 0.25 m²) in twee tegenoverstaande wanden en op het moment van de brand te controleren bij welke opening er geen overdruk is.

Legende:

AB	Automatisch blussysteem (residentiële sprinklernorm of gelijkwaardig)
RO	Rookbeheersingssysteem om een onderdruk te creëren
OPEN	Een opening (met een oppervlakte van minstens 0,25 m ²) aanbrengen in de gemeenschappelijke ruimte
UIT+	Bijkomende uitgang (de kamer wordt voorzien van een bijkomende volwaardige uitgang die niet uitgeeft op de gemeenschappelijke ruimte)
BS	Brandscherm (creëren van een rookvrije evacuatiweg in combinatie met een rookbeheersingssysteem)
BRD	Brand- en rookwerende deur
BD	Brandwerende deur
RD	Rookwerende deur
TOT	Totaal van gemeenschappelijke ruimte en de kamers
GR	Gemeenschappelijke ruimte
EW	Evacuatiweg
K-GR	Kamer uitgevend op de gemeenschappelijke ruimte
K-EW	Kamer uitgevend op de evacuatiweg
GR-EW	Deur tussen de gemeenschappelijke ruimte en de evacuatiweg

De volgende eisen worden geformuleerd voor kleppen in eventueel aanwezige ventilatiekanalen:

- Indien de eis voor de deur enkel een brandwerende eis is (BD), dan mag een klep van het type A (klep die sluit op basis van temperatuur) toegepast worden, behalve wanneer de klep zich op een compartimentsgrens bevindt.
- Indien de eis voor de deur van het betreffende compartiment minstens een rookwerende eis is (RD of BRD), dan dient een klep van het type B (klep die sluit op basis van branddetectie) toegepast te worden.

Voor de volledigheid, en gezien hun belang, worden de aannames hier ook nog eens opgelijst:

- De ruimte met de brandhaard ('brandruimte') bestrijkt 1 bouwlaag. Duplexen of atriumconfiguraties worden dus niet beschouwd.
- De brand ontstaat in de gemeenschappelijke ruimte of in een kamer.
- Elke deur wordt verondersteld bij brand zelfsluitend te zijn. Dit kunnen deuren zijn die sluiten d.m.v. een automatisch ontgrendelingsmechanisme, of deuren uitgerust met deursluiters met vrijloop. Het eerste type wordt eerder toegepast bij deuren tussen

verschillende ruimtes die in de meeste gevallen open zijn, terwijl het andere type vooral gebruikt wordt bij de deuren van de kamers. Tijdens de volledige brandduur wordt verondersteld dat deze deur gesloten is, met uitzondering van kortstondig openen van de deur (bv. om een kamer of een compartiment te verlaten, zie volgend puntje). Eventuele rookverspreiding hierdoor wordt verwaarloosd bij de bespreking van de combinaties van brandveiligheidsmaatregelen.

- Enkel tijdens de evacuatie worden de deuren ter plaatse van de compartimentsgrens verondersteld kortstondig open te zijn.
- Het vermogen van de brand neemt niet uitzonderlijk snel toe. Er wordt verondersteld dat de brandlast dusdanig is dat de brand zich ontwikkelt als een αt^2 -curve met 'medium' groei. Dit komt overeen met een gelijkmatige horizontale branduitbreiding, waarbij na 5 minuten een vermogen van 1 MW wordt bereikt. Er wordt bovendien verondersteld dat de brandhaard in geen geval groter wordt dan 1.5 MW. Hiertoe moeten de nodige maatregelen worden genomen. Dit kan op verschillende manieren (enkele voorbeelden zijn: de beperking van de brandlast; de aanwezigheid van een goed ontworpen automatisch blussysteem; het creëren van een situatie van ondergeventileerde brand (bv. brand in een kamer met gesloten deuren en ramen); het gebruik van meubilair met dusdanig verbeterd brandgedrag dat het brandvermogen voldoende traag toeneemt).
- Enkel de rookverspreiding tussen de verschillende ruimtes via de deuren en de ventilatiekanalen wordt beschouwd. Er wordt verondersteld dat elke andere rookverspreiding (bv. via doorvoeringen zoals stopcontacten) verwaarloosbaar is, in de veronderstelling dat deze voldoende kwaliteitsvol uitgevoerd zijn.
- In geval van 'Defend in Place' (DIP) dient de evacuatieweg rookvrij gemaakt te kunnen worden tijdens de interventie van de brandweer.
- Het ventilatiesysteem wordt uitgeschakeld bij sturing door branddetectie (los van de eventuele toepassing in het kader van rookbeheersing). Dit gebeurt ten laatste 60 seconden na detectie.
- Er wordt geen rekening gehouden met de mogelijke invloed van wind.
- Er wordt geen rekening gehouden met de mogelijke invloed van een schoorsteeneffect (dat aanwezig zal zijn in geval van meerdere bouwlagen, bv. in een trappenhuis).
- Het personeel is opgeleid om te kunnen assisteren in het geval van evacuatie en is voorbereid op eventuele brandsituaties.
- De zorgvoorziening is voorzien van een algemeen automatisch detectiesysteem.
- Brandwerende kleppen type B (klep die sluit op basis van branddetectie) worden toegepast in de ventilatiesystemen op de compartimentsgrenzen, terwijl brandwerende kleppen type A (klep die sluit op basis van temperatuur) mogen worden toegepast in de ventilatiesystemen op scheidingen tussen ruimten binnen de compartimentsgrenzen.

Belangrijke opmerking: de opties zoals beschreven in de overzichtstabellen zijn gebaseerd op deze aannames. Het is mogelijk dat deze aannames niet helemaal zullen kloppen in de realiteit, bv. een deur zou gedurende langere tijd open kunnen zijn. De kans dat aan bepaalde aannames niet voldaan is in de realiteit neemt over het algemeen toe naarmate een ruimte groter wordt (bv. het risico neemt toe op een grotere brandhaard) en naarmate het aantal kamers toeneemt (bv. als er meer deuren zijn, kan er meer fout lopen met het gesloten zijn van deze deuren). Bepaalde opties voor combinaties van brandbeveiligingsmaatregelen kunnen hier gevoeliger aan zijn.

Hoofdstuk 8

Conclusies en aanbevelingen

De antwoorden op de onderzoeksvragen leiden tot de voornaamste conclusies en aanbevelingen.

O1. Wat is het gewenste veiligheidsniveau in zorggebouwen voor verschillende gebruiksgroepen?

De criteria van het veiligheidsniveau werden in functie van de twee evacuatiestrategieën bepaald:

- Onmiddellijke horizontale evacuatie uit de kamer (via de evacuatiewegen): Al dan niet met behulp van het aanwezige personeel worden de bewoners uit hun kamer geëvacueerd naar een veilige locatie. Afhankelijk van de aanwezigheid van rook in de evacuatieweg kan al dan niet gesproken worden van een veilige evacuatie.
- ‘Defend in place’ (de bewoner blijft in de kamer): De bewoners blijven in hun kamer (die afgesloten is) en wachten op het personeel en/of de brandweer die de evacuatie op een later tijdstip uitvoeren. Er wordt dus verondersteld dat de bewoners in hun kamer blijven totdat een evacuatie door een ‘rookvrije’ evacuatieweg mogelijk is. Afhankelijk van de aanwezigheid van rook in de kamer kan al dan niet gesproken worden van een veilige evacuatie.

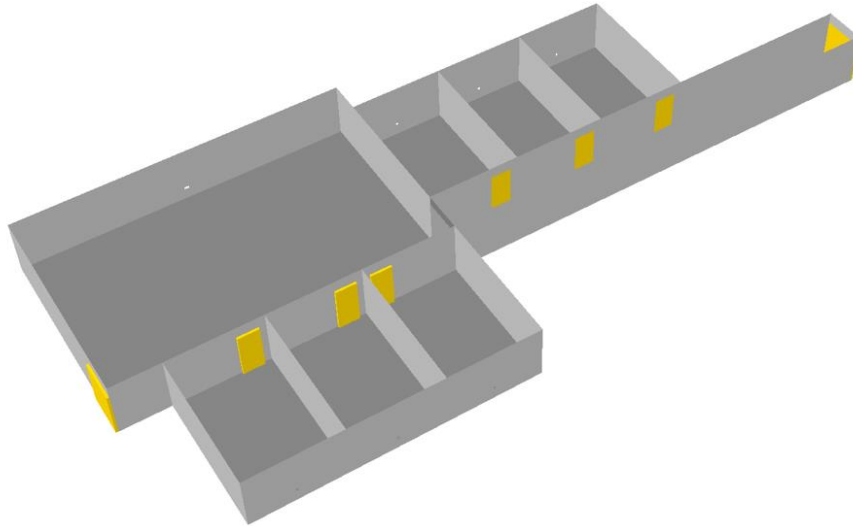
Het vermijden van elke blootstelling aan rook wordt als een te streng criterium ervaren. Blootstelling aan rook dient wel zo veel mogelijk vermeden te worden, m.a.w., een ‘beperkte blootstelling’ aan rook kan worden toegestaan, te definiëren als volgt:

- De beperkte blootstelling is enkel van toepassing op zichtbare rook.
- Fysiek contact van het hoofd met de rook is niet toegestaan. Een rookvrije hoogte van minimaal 2.1 m wordt daarom vastgelegd.

Een ‘rookvrije evacuatieweg’ wordt gedefinieerd als een evacuatieweg met maximaal dergelijke ‘beperkte blootstelling’ tijdens de evacuatie.

O2. Wat is een set van representatieve settings als basis voor de structuur van een beoordelingskader?

Scenario’s werden gedefinieerd om kwalitatief de invloed van verschillende factoren te bestuderen d.m.v. CFD-berekeningen, rekening houdend met de studies van (1) en (3). Figuur 8 toont de configuratie, bestaande uit een gemeenschappelijke ruimte van ongeveer 130 m², 3 kamers die hier rechtstreeks op uitgeven met enkele deuren, een evacuatiegang en 3 kamers die hier rechtstreeks op uitgeven met enkele deuren. Elke kamer heeft dezelfde oppervlakte (6 m x 4 m) en de plafondhoogte is 2.5 m. Aan het einde van de gang, en aan 1 zijde van de gemeenschappelijke ruimte, is er een dubbele deur. Deze generieke configuratie werd als representatief beschouwd voor het doel van de studie.



Aangezien de studie in (3) zich voornamelijk richtte op een brandscenario in de gemeenschappelijke ruimte, werd in de huidige studie veel aandacht besteed aan de analyse van het effect van brandbeveiligingsmaatregelen wanneer de brandhaard zich in een kamer bevindt. Hierbij wordt uitgegaan van een tweepersoonszetel als brandhaard.

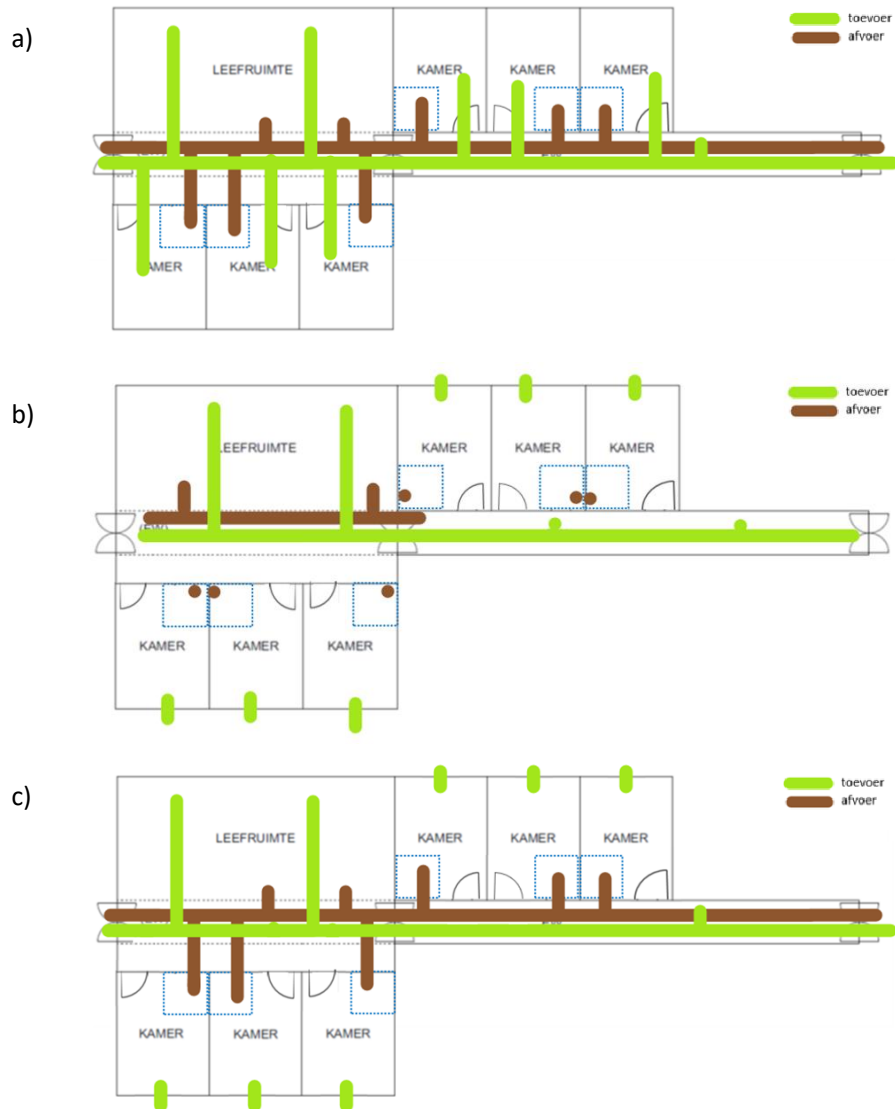
De CFD-berekeningen verschaffen inzicht in de impact van de volgende aspecten:

- Het openen van deuren,
- Openingen/lek in kamerwanden,
- Lek rond deuren,
- Plafondhoogte,
- Grondoppervlakte van de gemeenschappelijke ruimte,
- Brandscenario,
- RWA-systeem (met een constant volumedebiet van 10 luchtverversingen per uur).

Bovendien werden verschillende configuraties van ventilatiesystemen bestudeerd (Figuur 9):

- Toevoer- en afvoerkanalen die alle kamers, gemeenschappelijke ruimte en gang met elkaar verbinden;
- Toevoer- en afvoerkanalen die de gemeenschappelijke ruimte en gang met elkaar verbinden, maar afzonderlijke toevoer en afvoer voor de kamers;
- Toevoerkanalen die de gemeenschappelijke ruimte en gang met elkaar verbinden en afvoerkanalen die alle kamers, gemeenschappelijke ruimte en gang met elkaar verbinden, maar afzonderlijke luchttoevoer per kamer.

Voor deze configuraties werd het effect bestudeerd van de afmetingen van de kanalen. Er werd ook bestudeerd wat het effect is op rookverspreiding wanneer de ventilatoren worden afgeschakeld.



O3: Wat kan geleerd worden van de resultaten van brandproeven op ware grootte?

De analyses van de brandproeven zoals voorgesteld in (1) werden verrijkt met behulp van CFD (Computational Fluid Dynamics), met onder meer:

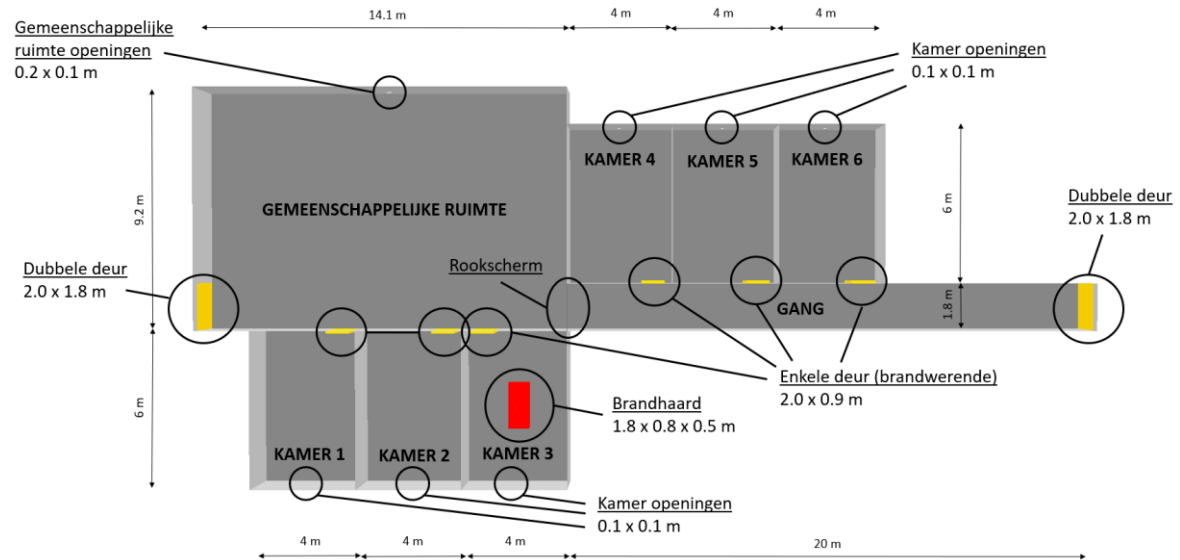
- De visuele weergave van de rookverspreiding in functie van de tijd.
- De weergave van temperatuursverdelingen in een horizontaal vlak op een hoogte van 2.1 m (i.e., de vooropgestelde minimale rookvrije hoogte) in functie van de tijd. Een temperatuurstijging is een indicatie voor de aanwezigheid van rook op die plaats.

De meetresultaten van de brandproeven werden gebruikt ter validatie van de CFD-berekeningen, terwijl de resultaten van de CFD-berekeningen bijkomende informatie opleverden om de meetgegevens van de brandproeven te interpreteren.

Er werd geconcludeerd dat, mits aangepaste instellingen, een goede overeenkomst wordt bereikt van de resultaten van de CFD-berekeningen met de meetresultaten van (1). Deze goede overeenkomst laat toe om met vertrouwen de resultaten van de bijkomende CFD-simulaties (zie O4) als kwalitatief betrouwbaar te analyseren (O5), ter ondersteuning van de ontwikkeling van een beoordelingskader (O6).

04: Welke aanvullende computersimulaties moeten worden uitgevoerd om het beoordelingskader te vervolledigen?

Figuur 51 en overzichtstabel 2 zijn het resultaat van uitgebreide besprekingen met de stuurgroep. Er werden geen CFD-berekeningen uitgevoerd voor configuraties met geactiveerd automatisch blussysteem, bij gebrek aan voldoende meetresultaten ter validatie.



Onderzochte parameter	Positie brandhaard	Deuren	Opening in de kamers	Lekopeningen van de deuren	Plafondhoogte	Oppervlakte van de GR	Brandscenario	Rook-Extractie-debiet	Ventilatiesysteem		Paragraaf in Hoofdstuk 6
									Configuratie	Tijdstip sluiten kleppen	
Openen van deuren	Kamer 3	Dicht	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.1
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	
	Kamer 3	Open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	
Opening in de kamers	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.2
	Kamer 3	30 s open	0.06 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	
	Kamer 3	30 s open	0.25 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	
Lekopeningen van de deuren	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.3
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Bovenaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	
Plafondhoogte	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.4
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	-	-	
Oppervlakte van de GR	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.5
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	250m ²	Zetel	-	-	-	
Brandscenario	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.6
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Fast α^2	-	-	-	
Rookextractie	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	-	-	-	4.7
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.5m	130m ²	Zetel	1.0m ³ /s	-	-	
Ventilatiesysteem	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	1	-	4.8
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	2	-	
	Kamer 6	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	3	-	
	GR	Dicht	0.25 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	1	-	
	Kamer 3	30 s open	0.25 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	1	-	
	Kamer 3	30 s open	0.01 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	1	120 s	
	GR	Dicht	0.02 m ²	Onderaan	2.7m	130m ²	Zetel	-	1	120 s	

O5: Wat kan geleerd worden van de resultaten van de bijkomende computersimulaties?

De aanvullende CFD-berekeningen konden niet worden gevalideerd door experimenten. Aldus kunnen de resultaten niet a priori als kwantitatief betrouwbaar worden beschouwd. De validatie zoals geïllustreerd voor onderzoeksvraag O3 suggereert wel een goede betrouwbaarheid van de CFD-berekeningen met de gekozen instellingen.

Kwalitatieve analyse laat toe om het volgende te concluderen:

- Het is belangrijk dat de deuren van de kamers gesloten blijven. Wanneer er twee gesloten deuren zijn tussen de ruimte van de brandhaard en de beschouwde ruimte, mag de beschouwde ruimte redelijkerwijs als veilig worden beschouwd zo lang het vermogen van de brandhaard en de drukverschillen de hier in de CFD-berekeningen opgelegde en bekomen waarden niet overschrijden.
- Het vermijden van overdruk in de ruimte met de brandhaard, is een mogelijke manier om rookverspreiding naar de andere ruimten te voorkomen, mits dit gecombineerd wordt met een rookwerende scheiding. Het vermijden van overdruk kan bewerkstelligd worden door middel van een voldoende grote ventilatie-opening (minstens 0.25 m² voor een gemeenschappelijke ruimte, minstens 0.06 m² voor een kamer) wanneer overdruk (door bv. wind) aldaar wordt vermeden. Hoewel dit niet werd gesimuleerd, kan, onder meer op basis van de bevindingen in (2) en (3), redelijkerwijs worden aangenomen dat ook een functionerend automatisch blussysteem in de ruimte met de brandhaard tot een voldoende beperking van de drukopbouw zal leiden in de ruimte met de brandhaard (en in bepaalde omstandigheden zelfs tot een onderdruk) door beperking van de HRR, zodat ook dit een mogelijke manier is om rookverspreiding naar de gemeenschappelijke ruimte en andere kamers te vermijden, mits dit gecombineerd wordt met een rookwerende scheiding. Een beperking van de drukopbouw of het creëren van een onderdruk in de ruimte met de brandhaard kan ook worden bewerkstelligd d.m.v. rookextractie in de ruimte met de brandhaard.
- De precieze hoogte van het plafond heeft, zo lang er geen hoogteverschillen zijn en zo lang de hoogte beperkt blijft tot een hoogte die kan worden verwacht in een eenlagige bouweenheid, geen noemenswaardige invloed op de rookverspreiding.
- De oppervlakte van de gemeenschappelijke ruimte heeft geen significante invloed op de rookverspreiding in geval van brand in een kamer. *[Impliciet kan meer algemeen de oppervlakte van de gemeenschappelijke ruimte wel een invloed hebben op vlak van brandveiligheid, omdat een grotere oppervlakte meer, en andere, activiteiten toelaat. Dit kan aanleiding geven tot een groter brandvermogen in geval van brand in de gemeenschappelijke ruimte. Dit aspect is evenwel niet opgenomen in deze studie.]*
- Wanneer de brand ondergeventileerd is (hetgeen waarschijnlijk is bij gesloten deur en beperkte ventilatie-opening in geval van brand in een kamer), hangt de rookverspreiding niet sterk af van de precieze brandbelasting en het precieze brandverloop in de kamer. *[Opmerking: voor een brand in de gemeenschappelijke ruimte zal het aanzienlijk langer duren tot de brand ondergeventileerd raakt. Hoe groter het volume van de gemeenschappelijke ruimte en hoe groter de ventilatie-openingen, hoe langer dit zal duren. Mogelijks blijft de brand zelfs brandstofgecontroleerd. Zo lang de brand brandstofgecontroleerd blijft, zullen de HRR, drukopbouw en rookverspreiding afhangen van de aanwezige brandbelasting en eventueel aanwezige actieve brandbeveiligingsmaatregelen.]*
- Rookextractie met een extractiedebiet van de grootteorde van 10 luchtverversingen per uur uit de gemeenschappelijke ruimte, heeft een gunstig effect op de rookverspreiding in geval van brand in een kamer die met een gesloten deur op de gemeenschappelijke ruimte aansluit, maar kan niet verhinderen dat rook zich verspreidt naar de gemeenschappelijke ruimte en een

eventuele gang die niet door een gesloten deur wordt afgescheiden van de gemeenschappelijke ruimte.

- Het afscherpende effect van gesloten deuren (die rookverspreiding kunnen tegengaan) kan teniet worden gedaan door ventilatiekanalen, wanneer kamers hierdoor in verbinding staan met de ruimte met de brandhaard. Dergelijke rookverspreiding kan worden vermeden door de rookverspreiding doorheen de kanalen te blokkeren met brandkleppen, of door maatregelen te nemen die een overdruk verhinderen in de ruimte met de brandhaard.
- Er valt geen rookverspreiding te vrezen naar de kamers via de ventilatiekanalen wanneer die een onafhankelijke toevoer en afvoer hebben voor ventilatie (i.e., enkel verticale kanalen, al dan niet gecombineerd met toevoer via ramen) en mits de brandkleppen op de compartimentsgrenzen worden gesloten bij detectie van brand.
- Het gevaar voor rookverspreiding vanuit de ruimte met de brandhaard naar andere ruimten doorheen een extractiekanaal, is veel kleiner dan door een toevoerkanaal (mits de druk in de kamer met de brandhaard niet te hoog oploopt).
- Het sluiten van enkel de brandkleppen op de compartimentsgrenzen, heeft geen significante impact op de rookverspreiding in het compartiment zelf. Het afscherpende effect van gesloten deuren (die rookverspreiding kunnen tegengaan) kan teniet worden gedaan door ventilatiekanalen, wanneer kamers hierdoor in verbinding staan met de ruimte met de brandhaard. Dergelijke rookverspreiding kan worden vermeden door de rookverspreiding doorheen de kanalen te blokkeren met brandkleppen, of door maatregelen te nemen die een overdruk verhinderen in de ruimte met de brandhaard.

06. Met welke combinaties van brandveiligheidsmaatregelen kan een vooropgesteld veiligheidsniveau gerealiseerd worden voor de set van representatieve cases?

Op basis van aannames voor de scenario's (zie hieronder), zijn de volgende overzichtstabellen tot stand gekomen voor combinaties van brandveiligheidsmaatregelen, teneinde het vooropgestelde veiligheidsniveau te bekomen:

DEFEND IN PLACE

OPTIE	BRANDVEILIGHEIDSMATREGEL			EISEN VOOR DEUREN		
	AB	RO	OPEN	K-GR	K-EW	GR-EW
AB	GR			BRD	BD	
	TOT			RD		
AB-RO	GR	GR		BD	BD	
	TOT	TOT				
RO		GR		BD	BD	BD
		TOT		BD	BD	BD
OPEN			GR	BRD	BD	BD

ONMIDDELLIJKE EVACUATIE (NIET-ZELFREDZAME PERSONEN)

OPTIE	BRANDVEILIGHEIDSMATREGEN					EISEN VOOR DEUREN		
	AB	RO	OPEN	RS	UIT+	K-GR	K-EW	GR-EW
AB	GR				K-GR	BRD	BRD	RD
	TOT				K-GR	RD	RD	RD
AB-RO	GR	GR			K-GR	BRD	BRD	
	TOT	TOT			K-GR			
RO		GR			K-GR	BRD	BRD	BRD
		TOT			K-GR	BD	BD	BD
OPEN			GR		K-GR	BRD	BRD	BRD
BS				GR		BRD	BRD	BRD

Opmerkingen:

- Voor optie BS hangt een goed ontwerp sterk af van de configuratie (geometrie van het gebouw; positie van brandscherm(en); en het extractiesysteem (extractiedebiet, alsook posities van afzuigpunten en toevoerpunten). Voor de configuratie uit studie (1) (zie ook Figuur 6 van het rapport) wordt dit als valide beschouwd. Voor andere configuraties moet de goede werking worden aangetoond (bv. door CFD-simulaties of warme rookproeven).
- Combinaties van maatregelen zijn mogelijk. Bv. kan RO-TOT worden gecombineerd met BS, en in dat geval vervalt de eis 'UIT+' in K-GR (o.w.v. de aanwezigheid van BS), alsook de eis van rookwerendheid van de deuren (o.w.v. de aanwezigheid van RO-TOT).
- Bij 'OPEN' moet er worden over gewaakt dat de opening niet in overdruk kan staan (bv. ten gevolge van wind). Dit is niet altijd eenvoudig. Een technische oplossing is bijvoorbeeld minstens twee openingen te voorzien (met elk een oppervlakte van minstens 0.25 m²) in twee tegenoverstaande wanden en op het moment van de brand te controleren bij welke opening er geen overdruk is.

Legende:

AB	Automatisch blussysteem (residentiële sprinklernorm of gelijkwaardig)
RO	Rookbeheersingssysteem om een onderdruk te creëren
OPEN	Een opening (met een oppervlakte van minstens 0,25 m ²) aanbrengen in de gemeenschappelijke ruimte
UIT+	Bijkomende uitgang (de kamer wordt voorzien van een bijkomende volwaardige uitgang die niet uitgaat op de gemeenschappelijke ruimte)
BS	Brandscherm (creëren van een rookvrije evacuatiweg in combinatie met een rookbeheersingssysteem)
BRD	Brand- en rookwerende deur
BD	Brandwerende deur
RD	Rookwerende deur
TOT	Totaal van gemeenschappelijke ruimte en de kamers
GR	Gemeenschappelijke ruimte
EW	Evacuatiweg

K-GR	Kamer uitgevend op de gemeenschappelijke ruimte
K-EW	Kamer uitgevend op de evacuatiweg
GR-EW	Deur tussen de gemeenschappelijke ruimte en de evacuatiweg

De volgende eisen worden geformuleerd voor kleppen in eventueel aanwezige ventilatiekanalen:

- Indien de eis voor de deur enkel een brandwerende eis is (BD), dan mag een klep van het type A (klep die sluit op basis van temperatuur) toegepast worden, behalve wanneer de klep zich op een compartimentsgrens bevindt.
- Indien de eis voor de deur van het betreffende compartiment minstens een rookwerende eis is (RD of BRD), dan dient een klep van het type B (klep die sluit op basis van branddetectie) toegepast te worden.

De aannames voor de scenario's, op basis waarvan bovenstaande tabellen zijn ontwikkeld, zijn als volgt:

- De ruimte met de brandhaard ('brandruimte') bestrijkt 1 bouwlaag. Duplexen of atriumconfiguraties worden dus niet beschouwd.
- De brand ontstaat in de gemeenschappelijke ruimte of in een kamer.
- Elke deur wordt verondersteld bij brand zelfsluitend te zijn. Dit kunnen deuren zijn die sluiten d.m.v. een automatisch ontgrendelingsmechanisme, of deuren uitgerust met deursluiters met vrijloop. Het eerste type wordt eerder toegepast bij deuren tussen verschillende ruimtes die in de meeste gevallen open zijn, terwijl het andere type vooral gebruikt wordt bij de deuren van de kamers. Tijdens de volledige brandduur wordt verondersteld dat deze deur gesloten is, met uitzondering van kortstondig openen van de deur (bv. om een kamer of een compartiment te verlaten, zie volgend puntje). Eventuele rookverspreiding hierdoor wordt verwaarloosd bij de bespreking van de combinaties van brandveiligheidsmaatregelen.
- Enkel tijdens de evacuatie worden de deuren ter plaatse van de compartimentsgrens verondersteld kortstondig open te zijn.
- Het vermogen van de brand neemt niet uitzonderlijk snel toe. Er wordt verondersteld dat de brandlast dusdanig is dat de brand zich ontwikkelt als een αt^2 -curve met 'medium' groei. Dit komt overeen met een gelijkmatige horizontale branduitbreiding, waarbij na 5 minuten een vermogen van 1 MW wordt bereikt. Er wordt bovendien verondersteld dat de brandhaard in geen geval groter wordt dan 1.5 MW. Hiertoe moeten de nodige maatregelen worden genomen. Dit kan op verschillende manieren [enkele voorbeelden zijn: de beperking van de brandlast; de aanwezigheid van een goed ontworpen automatisch blussysteem; het creëren van een situatie van ondergeventileerde brand (bv. brand in een kamer met gesloten deuren en ramen); het gebruik van meubilair met dusdanig verbeterd brandgedrag dat het brandvermogen voldoende traag toeneemt].
- Enkel de rookverspreiding tussen de verschillende ruimtes via de deuren en de ventilatiekanalen wordt beschouwd. Er wordt verondersteld dat elke andere rookverspreiding (bv. via doorvoeringen zoals stopcontacten) verwaarloosbaar is, in de veronderstelling dat deze voldoende kwaliteitsvol uitgevoerd zijn.

- In geval van 'Defend in Place' (DIP) dient de evacuatieweg rookvrij gemaakt te kunnen worden tijdens de interventie van de brandweer.
- Het ventilatiesysteem wordt uitgeschakeld bij sturing door branddetectie (los van de eventuele toepassing in het kader van rookbeheersing). Dit gebeurt ten laatste 60 seconden na detectie.
- Er wordt geen rekening gehouden met de mogelijke invloed van wind.
- Er wordt geen rekening gehouden met de mogelijke invloed van een schoorsteeneffect (dat aanwezig zal zijn in geval van meerdere bouwlagen, bv. in een trappenhuis).
- Het personeel is opgeleid om te kunnen assisteren in het geval van evacuatie en is voorbereid op eventuele brandsituaties.
- De zorgvoorziening is voorzien van een algemeen automatisch detectiesysteem.
- Brandwerende kleppen type B (klep die sluit op basis van branddetectie) worden toegepast in de ventilatiesystemen op de compartimentsgrenzen, terwijl brandwerende kleppen type A (klep die sluit op basis van temperatuur) mogen worden toegepast in de ventilatiesystemen op scheidingen tussen ruimten binnen de compartimentsgrenzen.

Belangrijke opmerking: de opties zoals beschreven in de overzichtstabellen zijn gebaseerd op deze aannames. Het is mogelijk dat deze aannames niet helemaal zullen kloppen in de realiteit, bv. een deur zou gedurende langere tijd open kunnen zijn. De kans dat aan bepaalde aannames niet voldaan is in de realiteit neemt over het algemeen toe naarmate een ruimte groter wordt (bv. het risico neemt toe op een grotere brandhaard) en naarmate het aantal kamers toeneemt (bv. als er meer deuren zijn, kan er meer fout lopen met het gesloten zijn van deze deuren). Bepaalde opties voor combinaties van brandbeveiligingsmaatregelen kunnen hier gevoeliger aan zijn.

Bronnen

1. VIPA/2019/64 - Innovatieve toepassing van rookbeheersing in woonzorggebouwen: Brandproeven en analyse. 2021.
2. <https://codex.vlaanderen.be/Portals/Codex/documenten/1021327.html>. [Online]
3. VIPA/2014/BVO - Brandveiligheid in ouderenvoorzieningen: Onderzoek naar de doelmatigheid van alternatieve brandveiligheidsmaatregelen in nieuwe zorgconcepten. 2014.
4. Instituut Fysieke Veiligheid (IFV). Rookverspreiding in woongebouwen. Hoofdrapport van de praktijkexperimenten in een woongebouw met inpandige gangen. s.l. : Brandweeracademie, 2020.
5. Beoordelingskader voor brandveiligheid in de zorgsector - Eindverslag Behoeftanalyse. 2018.
6. <https://pages.nist.gov/fds-smv/>. [Online]
7. FOD Binnenlandse Zaken, Algemene Directie Veiligheid en Preventie, Directie Brandveiligheid.
8. NIST. Fire Dynamics Simulator - User's Guide (6th Edition). 2020.
9. ISO 9972:2015 Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method.
10. Li, Junyi, et al. Experimental and numerical study of pool fire dynamics in an air-tight compartment focusing on pressure variation. s.l. : Fire Safety Journal, 2020.

Bijlagen

1 FDS Input Files

Test 1: brandproof zonder ventilatie

&HEAD CHID='VIPAStudy2-1', TITLE='VIPA2 Study - Test 1' /

/ MESH =====

&MESH ID='COMMON AREA1', IJK= 88, 60, 25, XB= -4.9, 3.9, -6.0, 0.0, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm
&MESH ID='COMMON AREA2', IJK= 88, 88, 25, XB= -4.9, 3.9, 0.0, 8.8, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm
&MESH ID='GANG1' , IJK= 28,130, 25, XB= -4.9, -2.1,-19.0, -6.0, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm
&MESH ID='GANG2' , IJK=110, 28, 25, XB= 3.9, 14.9, 6.0, 8.8, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm
&MESH ID='ROOM1' , IJK= 60, 40, 25, XB= -2.1, 3.9,-18.0,-14.0, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm
&MESH ID='ROOM2' , IJK= 50, 60, 25, XB= 3.9, 8.9, 0.0, 6.0, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm
&MESH ID='ROOM3' , IJK= 50, 60, 25, XB= 3.9, 8.9, -6.0, 0.0, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm

/ GENERAL =====

&MISC TMPA=15.0 /

&TIME T_END=400.0 /

/ PRESSURE ZONE AND LEAKAGES =====

&SURF ID='LEAK' /
&VENT XB= -3.9, -3.9,-17.0, 5.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='LEAK', ID='VENT1' /
&VENT XB= 3.9, 3.9, 0.3, 1.2, 2.2, 2.3, SURF_ID='LEAK', ID='VENT2a' /
&VENT XB= 4.0, 4.0, 0.3, 1.2, 2.2, 2.3, SURF_ID='LEAK', ID='VENT2b' /
&VENT XB= 3.9, 3.9, -0.3, -1.2, 2.2, 2.3, SURF_ID='LEAK', ID='VENT3a' /
&VENT XB= 4.0, 4.0, -0.3, -1.2, 2.2, 2.3, SURF_ID='LEAK', ID='VENT3b' /
&VENT XB= -3.5, -2.5,-18.0,-18.0, 1.9, 2.0, SURF_ID='LEAK', ID='VENT4a' /
&VENT XB= -3.5, -2.5,-18.1,-18.1, 1.9, 2.0, SURF_ID='LEAK', ID='VENT4b' /
&VENT XB= 13.9, 13.9, 6.0, 7.8, 1.9, 2.0, SURF_ID='LEAK', ID='VENT5a' /
&VENT XB= 14.0, 14.0, 6.0, 7.8, 1.9, 2.0, SURF_ID='LEAK', ID='VENT5b' /
&HVAC ID='WALL_COMM', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='VENT1', VENT2_ID='AMBIENT', AREA=0.0269, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /
&HVAC ID='DOOR_ROOM2', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='VENT2a', VENT2_ID='VENT2b', AREA=0.0003, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /
&HVAC ID='DOOR_ROOM3', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='VENT3a', VENT2_ID='VENT3b', AREA=0.0072, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /
&HVAC ID='DOOR_GANG1', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='VENT4a', VENT2_ID='VENT4b', AREA=0.0069, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /
&HVAC ID='DOOR_GANG2', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='VENT5a', VENT2_ID='VENT5b', AREA=0.0049, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /

/ FIRE =====

&REAC FUEL='PROPANE', SOOT_YIELD=0.1/
&SURF ID='COUCH', HRRPUA=1, COLOR='RED', RAMP_Q='HRR_ramp' /
&OBST XB= 1.1, 1.9, -0.9, 0.9, 0.0, 0.5, COLOR='RED', SURF_IDS='COUCH', 'INERT', 'INERT' /

&RAMP ID='HRR_ramp', T= 0.0, F= 0.00 /
&RAMP ID='HRR_ramp', T= 80.0, F= 65.97 /
&RAMP ID='HRR_ramp', T=165.0, F=215.28 /
&RAMP ID='HRR_ramp', T=225.0, F=569.44 /
&RAMP ID='HRR_ramp', T=330.0, F=513.89 /
&RAMP ID='HRR_ramp', T=400.0, F=250.00 /

/ MATERIAL PROPERTIES =====

&MATL ID = 'CALCIUM SILICATE'
DENSITY = 900.0
CONDUCTIVITY = 0.175
SPECIFIC_HEAT = 0.80
EMISSIVITY = 0.80 /

&MATL ID = 'CONCRETE'
DENSITY = 600.0
CONDUCTIVITY = 0.19
SPECIFIC_HEAT = 0.84
EMISSIVITY = 0.90 /

/ COMPARTMENT BOUNDARIES =====

&SURF ID = 'CEILING',
 MATL_ID = 'CALCIUM SILICATE', 'CONCRETE'
 THICKNESS = 0.010, 0.150 /

&SURF ID = 'WALL'
 MATL_ID = 'CALCIUM SILICATE', 'CONCRETE', 'CALCIUM SILICATE'
 THICKNESS = 0.010, 0.150, 0.010 /

&SURF ID = 'DOOR'
 MATL_ID = 'CALCIUM SILICATE'
 THICKNESS = 0.100 /

&SURF ID = 'FLOOR'
 MATL_ID = 'CONCRETE'
 THICKNESS = 0.150 /

&SURF ID = 'DUCT'
 MATL_ID = 'CALCIUM SILICATE'
 THICKNESS = 0.030 /

/ COMPARTMENT BOUNDARIES & HOLES =====

&OBST XB= -3.9, 3.9, -6.0, 7.8, 2.5, 2.5, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CEILING' / Common Area, Ceiling
 &OBST XB= -4.0, -3.9,-18.0, 7.8, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Common Area & Gang1, Left wall
 &OBST XB= -3.9, 13.9, 7.8, 7.8, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Common Area & Gang2, Top wall

&OBST XB= 3.9, 3.9, 1.2, 6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Common Area, Right wall
 &OBST XB= 3.9, 3.9, -0.3, 0.3, 0.0, 2.3, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Common Area, Right wall
 &OBST XB= 3.9, 3.9, -1.2, 1.2, 2.3, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Common Area, Right wall
 &OBST XB= 3.9, 3.9, -6.0, -1.2, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Common Area, Right wall
 &OBST XB= 3.9, 4.0, 0.3, 1.2, 0.0, 2.3, COLOR='GOLD ', SURF_ID='DOOR' / Common Area, Door Room2
 &OBST XB= 3.9, 4.0, -1.2, -0.3, 0.0, 2.3, COLOR='GOLD ', SURF_ID='DOOR' / Common Area, Door Room3
 &OBST XB= -2.1, 3.9, -6.0, -6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Common Area, Bottom wall
 &OBST XB= -3.9, 3.9, -6.0, 7.8, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY ', SURF_ID='FLOOR' / Common Area, Floor

&OBST XB= -3.9, -2.1,-18.0, -6.0, 2.5, 2.5, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CEILING' / Gang1, Ceiling
 &OBST XB= -3.9, -3.5,-18.0,-18.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Gang1, Bottom wall
 &OBST XB= -2.5, 3.9,-18.0,-18.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Gang1, Bottom wall
 &OBST XB= -3.5, -2.5,-18.0,-18.0, 2.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Gang1, Bottom wall
 &OBST XB= -3.5, -2.5,-18.1,-18.0, 0.0, 2.0, COLOR='GOLD ', SURF_ID='DOOR' / Gang1, Door
 &OBST XB= -2.1, -2.1,-18.0, -6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Gang1, Right wall
 &OBST XB= -3.9, -2.1,-18.0, -6.0, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY ', SURF_ID='FLOOR' / Gang1, Floor

&OBST XB= 3.9, 13.9, 6.0, 7.8, 2.5, 2.5, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CEILING' / Gang2, Ceiling
 &OBST XB= 3.9, 13.9, 6.0, 6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Gang2 & Room1, Bottom wall
 &OBST XB= 13.9, 14.0, 6.0, 6.9, 0.0, 2.0, COLOR='GOLD ', SURF_ID='DOOR' / Gang2, Door(Half)
 &OBST XB= 13.9, 13.9, 6.0, 7.8, 2.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Gang2, Right wall
 &OBST XB= 3.9, 13.9, 6.0, 7.8, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY ', SURF_ID='FLOOR' / Gang2, Floor

&OBST XB= -2.1, 3.9,-18.0,-14.0, 2.5, 2.5, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CEILING' / Room1, Ceiling
 &OBST XB= 3.9, 3.9,-18.0,-14.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Room1, Right wall
 &OBST XB= -2.1, 3.9,-14.0,-14.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Room1, Top wall
 &OBST XB= -2.1, 3.9,-18.0,-14.0, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY ', SURF_ID='FLOOR' / Room1, Floor
 &HOLE XB= -2.2, -1.8,-14.4,-15.4, 0.0, 2.0 / Room1, Door

&OBST XB= 3.9, 7.9, -6.0, 6.0, 2.5, 2.5, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CEILING' / Room2 & Room3, Ceiling
 &OBST XB= 7.9, 7.9, -6.0, 6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Room2 & Room3, Right wall
 &OBST XB= 3.9, 7.9, 0.0, 0.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Room2 & Room3, Middle wall
 &OBST XB= 3.9, 7.9, -6.0, -6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Room3, Bottom wall
 &OBST XB= 3.9, 7.9, -6.0, 6.0, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY ', SURF_ID='FLOOR' / Room2 & Room3, Floor
 &HOLE XB= 7.7, 8.1, 5.4, 5.6, 0.5, 0.6 / Room2, Opening
 &HOLE XB= 7.7, 8.1, -5.6, -5.4, 0.5, 0.6 / Room3, Opening

&OBST XB= 13.9, 14.0, 6.9, 7.8, 0.0, 2.0, COLOR='GOLD', SURF_ID='DOOR', CTRL_ID='ctrl_timer' / Gang2, Door(Half)
 &DEVC ID='TIMER', XYZ= 13.9, 7.4, 1.0, QUANTITY='TIME' /
 &CTRL ID='ctrl_timer', FUNCTION_TYPE='CUSTOM', INPUT_ID='TIMER', RAMP_ID='cycle' /
 &RAMP ID='cycle', T= 0.0, F= 1 /
 &RAMP ID='cycle', T=269.0, F= 1 /
 &RAMP ID='cycle', T=270.0, F=-1 /
 &RAMP ID='cycle', T=300.0, F=-1 /
 &RAMP ID='cycle', T=301.0, F= 1 /
 &RAMP ID='cycle', T=600.0, F= 1 /

/ OPEN BOUNDARIES =====

&VENT XB= -4.9, -4.9, -19.0, 8.8, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Left Boundary
 &VENT XB= -4.9, -3.9, -18.0, 7.8, 2.5, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Left Boundary

&VENT XB= -4.9, 14.9, 8.8, 8.8, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top Boundary
 &VENT XB= -4.9, 13.9, 7.8, 8.8, 2.5, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top Boundary

&VENT XB= 14.9, 14.9, 6.0, 8.8, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top-Right Boundary
 &VENT XB= 13.9, 14.9, 6.0, 8.8, 2.5, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top-Right Boundary
 &VENT XB= 13.9, 14.9, 6.0, 6.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top-Right Boundary

&VENT XB= 8.9, 8.9, -6.0, 6.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Right Boundary
 &VENT XB= 7.9, 8.9, -6.0, 6.0, 2.5, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Right Boundary
 &VENT XB= 7.9, 8.9, -6.0, -6.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Right Boundary

&VENT XB= -4.9, -2.1, -19.0, -19.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Bottom Boundary
 &VENT XB= -4.9, -2.1, -19.0, -18.0, 2.5, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Bottom Boundary
 &VENT XB= -2.1, -2.1, -19.0, -18.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Bottom Boundary

/ OPENINGS (NATURAL VENTILATION) =====

/ EXTRACTION SYSTEM =====

/ FIRE SCREEN =====

/ SPRINKLER SYSTEM =====

/ SLICE FILES =====

&SLCF PBX= 1.5, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE /
 &SLCF PBX= 1.5, QUANTITY='VELOCITY' , VECTOR=.TRUE /
 &SLCF PBX= 1.5, QUANTITY='PRESSURE' , VECTOR=.TRUE /

&SLCF PBX= -3.0, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE /
 &SLCF PBX= -3.0, QUANTITY='VELOCITY' , VECTOR=.TRUE /
 &SLCF PBX= -3.0, QUANTITY='PRESSURE' , VECTOR=.TRUE /

&SLCF PBY= 0.0, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE /
 &SLCF PBY= 0.0, QUANTITY='VELOCITY' , VECTOR=.TRUE /
 &SLCF PBY= 0.0, QUANTITY='PRESSURE' , VECTOR=.TRUE /

&SLCF PBY= 6.9, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE /
 &SLCF PBY= 6.9, QUANTITY='VELOCITY' , VECTOR=.TRUE /
 &SLCF PBY= 6.9, QUANTITY='PRESSURE' , VECTOR=.TRUE /

&SLCF PBZ= 2.1, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE /
 &SLCF PBZ= 2.1, QUANTITY='VELOCITY' , VECTOR=.TRUE /
 &SLCF PBZ= 2.1, QUANTITY='PRESSURE' , VECTOR=.TRUE /

&SLCF PBZ= 2.2, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE /
 &SLCF PBZ= 2.2, QUANTITY='VELOCITY' , VECTOR=.TRUE /
 &SLCF PBZ= 2.2, QUANTITY='PRESSURE' , VECTOR=.TRUE /

/ DEVICES (EXP) =====

&DEVC ID='TT_COMM1', POINTS=12, XB = 0.1, 0.1, 4.8, 4.8, 2.4, 0.2, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
 &DEVC ID='TT_COMM2', POINTS=12, XB = -0.9, -0.9, -3.0, -3.0, 2.4, 0.2, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
 &DEVC ID='TT_ROOM2', POINTS=12, XB = 6.4, 6.4, 2.5, 2.5, 2.4, 0.2, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
 &DEVC ID='TT_ROOM3', POINTS=12, XB = 6.4, 6.4, -2.5, -2.5, 2.4, 0.2, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./

&DEVC ID='TC_COMM-01', XYZ= 3.8, 5.0, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
 &DEVC ID='TC_COMM-02', XYZ= 3.8, -0.1, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
 &DEVC ID='TC_COMM-03', XYZ= 3.8, -0.1, 2.0, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
 &DEVC ID='TC_COMM-05', XYZ= 3.8, -5.0, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
 &DEVC ID='PR_COMM-01', XYZ= 3.9, 5.0, 2.3, QUANTITY='PRESSURE'/
 &DEVC ID='PR_COMM-02', XYZ= 3.9, -0.1, 2.3, QUANTITY='PRESSURE'/
 &DEVC ID='PR_COMM-03', XYZ= 3.9, -0.1, 2.0, QUANTITY='PRESSURE'/
 &DEVC ID='PR_COMM-04', XYZ= 3.9, -0.1, 0.2, QUANTITY='PRESSURE'/
 &DEVC ID='PR_COMM-05', XYZ= 3.9, -5.0, 2.3, QUANTITY='PRESSURE'/

&DEVC ID='TC_ROOM1-01', XYZ= 0.9, -14.1, 2.4, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
 &DEVC ID='TC_ROOM1-02', XYZ= 0.9, -14.1, 2.0, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
 &DEVC ID='TC_GANG1-01', XYZ= -3.0, -17.9, 2.4, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./

&DEVC ID='TC_GANG2-01', XYZ= 13.8, 6.9, 2.4, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./

/ DEVICES (EXTRA) =====

&DEVC ID='LEAKMASS_WALL_COMM ', QUANTITY='DUCT MASS FLOW', DUCT_ID='WALL_COMM '/
 &DEVC ID='LEAKMASS_DOOR_ROOM2', QUANTITY='DUCT MASS FLOW', DUCT_ID='DOOR_ROOM2'/
 &DEVC ID='LEAKMASS_DOOR_ROOM3', QUANTITY='DUCT MASS FLOW', DUCT_ID='DOOR_ROOM3'/
 &DEVC ID='LEAKMASS_DOOR_GANG1', QUANTITY='DUCT MASS FLOW', DUCT_ID='DOOR_GANG1'/
 &DEVC ID='LEAKMASS_DOOR_GANG2', QUANTITY='DUCT MASS FLOW', DUCT_ID='DOOR_GANG2'/

&DEVC ID='LEAKVOL_WALL_COMM ', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='WALL_COMM '/
 &DEVC ID='LEAKVOL_DOOR_ROOM2', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='DOOR_ROOM2'/
 &DEVC ID='LEAKVOL_DOOR_ROOM3', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='DOOR_ROOM3'/
 &DEVC ID='LEAKVOL_DOOR_GANG1', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='DOOR_GANG1'/
 &DEVC ID='LEAKVOL_DOOR_GANG2', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='DOOR_GANG2'/

/ =====

&TAIL /

Test 2: Brandproef met constante rookextractie en een brandscherm tot op 1 m hoogte van de vloer

&HEAD CHID='VIPASTudy2-2', TITLE='VIPA2 Study - Test 2' /

/ MESH =====

&MESH ID='COMMON AREA1', IJK= 88, 60, 25, XB= -4.9, 3.9, -6.0, 0.0, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm
 &MESH ID='COMMON AREA2', IJK= 88, 88, 25, XB= -4.9, 3.9, 0.0, 8.8, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm
 &MESH ID='GANG1', IJK= 28,130, 25, XB= -4.9, -2.1,-19.0, -6.0, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm
 &MESH ID='GANG2', IJK=110, 28, 25, XB= 3.9, 14.9, 6.0, 8.8, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm
 &MESH ID='ROOM1', IJK= 60, 40, 25, XB= -2.1, 3.9,-18.0,-14.0, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm
 &MESH ID='ROOM2', IJK= 50, 60, 25, XB= 3.9, 8.9, 0.0, 6.0, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm
 &MESH ID='ROOM3', IJK= 50, 60, 25, XB= 3.9, 8.9, -6.0, 0.0, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm
 &MESH ID='EXTRACTION', IJK=132, 36, 20, XB= -1.3, 5.3, -7.8, -6.0, 1.4, 2.4 / cell size = 5 cm

/ GENERAL =====

&MISC TMPA=15.0 /

&TIME T_END=400.0 /

/ PRESSURE ZONE AND LEAKAGES =====

&SURF ID='LEAK' /
 &VENT XB= -3.9, -3.9,-17.0, 5.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='LEAK', ID='VENT1' /
 &VENT XB= 3.9, 3.9, 0.3, 1.2, 2.2, 2.3, SURF_ID='LEAK', ID='VENT2a' /
 &VENT XB= 4.0, 4.0, 0.3, 1.2, 2.2, 2.3, SURF_ID='LEAK', ID='VENT2b' /
 &VENT XB= 3.9, 3.9, -0.3, -1.2, 2.2, 2.3, SURF_ID='LEAK', ID='VENT3a' /
 &VENT XB= 4.0, 4.0, -0.3, -1.2, 2.2, 2.3, SURF_ID='LEAK', ID='VENT3b' /
 &VENT XB= -3.5, -2.5,-18.0,-18.0, 1.9, 2.0, SURF_ID='LEAK', ID='VENT4a' /
 &VENT XB= -3.5, -2.5,-18.1,-18.1, 1.9, 2.0, SURF_ID='LEAK', ID='VENT4b' /
 &VENT XB= 13.9, 13.9, 6.0, 7.8, 1.9, 2.0, SURF_ID='LEAK', ID='VENT5a' /
 &VENT XB= 14.0, 14.0, 6.0, 7.8, 1.9, 2.0, SURF_ID='LEAK', ID='VENT5b' /
 &HVAC ID='WALL_COMM ', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='VENT1', VENT2_ID='AMBIENT', AREA=0.0269, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /
 &HVAC ID='DOOR_ROOM2', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='VENT2a', VENT2_ID='VENT2b', AREA=0.0003, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /
 &HVAC ID='DOOR_ROOM3', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='VENT3a', VENT2_ID='VENT3b', AREA=0.0072, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /
 &HVAC ID='DOOR_GANG1', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='VENT4a', VENT2_ID='VENT4b', AREA=0.0069, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /
 &HVAC ID='DOOR_GANG2', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='VENT5a', VENT2_ID='VENT5b', AREA=0.0049, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /

/ FIRE =====

&REAC FUEL='PROPANE', SOOT_YIELD=0.1/
 &SURF ID='COUCH', HRRPUA=1, COLOR='RED', RAMP_Q='HRR_ramp' /
 &OBST XB= 1.1, 1.9, -0.9, 0.9, 0.0, 0.5, COLOR='RED', SURF_IDS='COUCH', 'INERT', 'INERT' /

&RAMP ID='HRR_ramp', T= 0.0, F= 0.00 /
 &RAMP ID='HRR_ramp', T= 80.0, F= 65.97 /
 &RAMP ID='HRR_ramp', T=165.0, F=215.28 /
 &RAMP ID='HRR_ramp', T=225.0, F=569.44 /
 &RAMP ID='HRR_ramp', T=330.0, F=513.89 /
 &RAMP ID='HRR_ramp', T=400.0, F=250.00 /

/ MATERIAL PROPERTIES =====

```
&MATL ID = 'CALCIUM SILICATE'
  DENSITY = 900.0
  CONDUCTIVITY = 0.175
  SPECIFIC_HEAT = 0.80
  EMISSIVITY = 0.80 /
```

```
&MATL ID = 'CONCRETE'
  DENSITY = 600.0
  CONDUCTIVITY = 0.19
  SPECIFIC_HEAT = 0.84
  EMISSIVITY = 0.90 /
```

/ BOUNDARIES PROPERTIES =====

```
&SURF ID = 'CEILING',
  MATL_ID = 'CALCIUM SILICATE', 'CONCRETE'
  THICKNESS = 0.010, 0.150 /
```

```
&SURF ID = 'WALL'
  MATL_ID = 'CALCIUM SILICATE', 'CONCRETE', 'CALCIUM SILICATE'
  THICKNESS = 0.010, 0.150, 0.010 /
```

```
&SURF ID = 'DOOR'
  MATL_ID = 'CALCIUM SILICATE'
  THICKNESS = 0.100 /
```

```
&SURF ID = 'FLOOR'
  MATL_ID = 'CONCRETE'
  THICKNESS = 0.150 /
```

```
&SURF ID = 'DUCT'
  MATL_ID = 'CALCIUM SILICATE'
  THICKNESS = 0.030 /
```

/ COMPARTMENT BOUNDARIES & HOLES =====

```
&OBST XB= -3.9, 3.9, -6.0, 7.8, 2.5, 2.5, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CEILING' / Common Area, Ceiling
&OBST XB= -4.0, -3.9, -18.0, 7.8, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Common Area & Gang1, Left wall
&OBST XB= -3.9, 13.9, 7.8, 7.8, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Common Area & Gang2, Top wall
```

```
&OBST XB= 3.9, 3.9, 1.2, 6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Common Area, Right wall
&OBST XB= 3.9, 3.9, -0.3, 0.3, 0.0, 2.3, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Common Area, Right wall
&OBST XB= 3.9, 3.9, -1.2, 1.2, 2.3, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Common Area, Right wall
&OBST XB= 3.9, 3.9, -6.0, -1.2, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Common Area, Right wall
&OBST XB= 3.9, 4.0, 0.3, 1.2, 0.0, 2.3, COLOR='GOLD ', SURF_ID='DOOR' / Common Area, Door Room2
&OBST XB= 3.9, 4.0, -1.2, -0.3, 0.0, 2.3, COLOR='GOLD ', SURF_ID='DOOR' / Common Area, Door Room3
&OBST XB= -2.1, 3.9, -6.0, -6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Common Area, Bottom wall
&OBST XB= -3.9, 3.9, -6.0, 7.8, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY ', SURF_ID='FLOOR' / Common Area, Floor
```

```
&OBST XB= -3.9, -2.1, -18.0, -6.0, 2.5, 2.5, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CEILING' / Gang1, Ceiling
&OBST XB= -3.9, -3.5, -18.0, -18.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Gang1, Bottom wall
&OBST XB= -2.5, 3.9, -18.0, -18.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Gang1, Bottom wall
&OBST XB= -3.5, -2.5, -18.0, -18.0, 2.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Gang1, Bottom wall
&OBST XB= -3.5, -2.5, -18.1, -18.0, 0.0, 2.0, COLOR='GOLD ', SURF_ID='DOOR' / Gang1, Door
&OBST XB= -2.1, -2.1, -18.0, -6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Gang1, Right wall
&OBST XB= -3.9, -2.1, -18.0, -6.0, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY ', SURF_ID='FLOOR' / Gang1, Floor
```

```
&OBST XB= 3.9, 13.9, 6.0, 7.8, 2.5, 2.5, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CEILING' / Gang2, Ceiling
&OBST XB= 3.9, 13.9, 6.0, 6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Gang2 & Room1, Bottom wall
&OBST XB= 13.9, 14.0, 6.0, 6.9, 0.0, 2.0, COLOR='GOLD ', SURF_ID='DOOR' / Gang2, Door(Half)
&OBST XB= 13.9, 14.0, 6.9, 7.8, 0.0, 2.0, COLOR='GOLD ', SURF_ID='DOOR', / Gang2, Door(Half)
&OBST XB= 13.9, 13.9, 6.0, 7.8, 2.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Gang2, Right wall
&OBST XB= 3.9, 13.9, 6.0, 7.8, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY ', SURF_ID='FLOOR' / Gang2, Floor
```

```
&OBST XB= -2.1, 3.9, -18.0, -14.0, 2.5, 2.5, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CEILING' / Room1, Ceiling
&OBST XB= 3.9, 3.9, -18.0, -14.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Room1, Right wall
&OBST XB= -2.1, 3.9, -14.0, -14.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Room1, Top wall
&OBST XB= -2.1, 3.9, -18.0, -14.0, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY ', SURF_ID='FLOOR' / Room1, Floor
&HOLE XB= -2.2, -1.8, -14.4, -15.4, 0.0, 2.0 / Room1, Door
```

```
&OBST XB= 3.9, 7.9, -6.0, 6.0, 2.5, 2.5, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CEILING' / Room2 & Room3, Ceiling
&OBST XB= 7.9, 7.9, -6.0, 6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Room2 & Room3, Right wall
&OBST XB= 3.9, 7.9, 0.0, 0.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Room2 & Room3, Middle wall
&OBST XB= 3.9, 7.9, -6.0, -6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Room3, Bottom wall
&OBST XB= 3.9, 7.9, -6.0, 6.0, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY ', SURF_ID='FLOOR' / Room2 & Room3, Floor
&HOLE XB= 7.7, 8.1, 5.4, 5.6, 0.5, 0.6 / Room2, Opening
```

Bijlagen

```
&HOLE XB= 7.7, 8.1, -5.6, -5.4, 0.5, 0.6 / Room3, Opening

/ OPEN BOUNDARIES =====
&VENT XB= -4.9, -4.9, -19.0, 8.8, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Left Boundary
&VENT XB= -4.9, -3.9, -18.0, 7.8, 2.5, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Left Boundary

&VENT XB= -4.9, 14.9, 8.8, 8.8, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top Boundary
&VENT XB= -4.9, 13.9, 7.8, 8.8, 2.5, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top Boundary

&VENT XB= 14.9, 14.9, 6.0, 8.8, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top-Right Boundary
&VENT XB= 13.9, 14.9, 6.0, 8.8, 2.5, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top-Right Boundary
&VENT XB= 13.9, 14.9, 6.0, 6.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top-Right Boundary

&VENT XB= 8.9, 8.9, -6.0, 6.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Right Boundary
&VENT XB= 7.9, 8.9, -6.0, 6.0, 2.5, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Right Boundary
&VENT XB= 7.9, 8.9, -6.0, -6.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Right Boundary

&VENT XB= -4.9, -2.1, -19.0, -19.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Bottom Boundary
&VENT XB= -4.9, -2.1, -19.0, -18.0, 2.5, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Bottom Boundary
&VENT XB= -2.1, -2.1, -19.0, -18.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Bottom Boundary

/ OPENINGS (NATURAL VENTILATION) =====
&HOLE XB= -4.1, -3.7, -16.3, -15.7, 0.2, 0.6 / Gang1, Opening 4
&HOLE XB= -2.4, -1.4, 7.6, 8.0, 1.9, 2.4 / Gang2, Opening 6
&HOLE XB= 6.6, 7.6, 7.6, 8.0, 1.9, 2.4 / Gang2, Opening 7
&HOLE XB= 11.3, 12.3, 7.6, 8.0, 1.9, 2.4 / Gang2, Opening 8

/ EXTRACTION SYSTEM =====
&HOLE XB= 2.1, 3.1, -6.2, -5.8, 1.9, 2.4 / Extraction, Left Opening
&HOLE XB= 0.4, 1.4, -6.2, -5.8, 1.9, 2.4 / Extraction, Middle Opening
&HOLE XB= -1.3, -0.3, -6.2, -5.8, 1.9, 2.4 / Extraction, Right Opening
&OBST XB= 3.1, 3.1, -6.8, -6.0, 1.9, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Left Duct
&OBST XB= 2.1, 2.1, -6.8, -6.0, 1.9, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Left Duct
&OBST XB= 2.1, 3.1, -6.8, -6.0, 1.9, 1.9, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Left Duct
&OBST XB= 2.1, 3.1, -6.8, -6.0, 2.4, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Left Duct
&OBST XB= 1.4, 1.4, -6.8, -6.0, 1.9, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Middle Duct
&OBST XB= 0.4, 0.4, -6.8, -6.0, 1.9, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Middle Duct
&OBST XB= 0.4, 1.4, -6.8, -6.0, 1.9, 1.9, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Middle Duct
&OBST XB= 0.4, 1.4, -6.8, -6.0, 2.4, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Middle Duct
&OBST XB= -0.3, -0.3, -6.8, -6.0, 1.9, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Right Duct
&OBST XB= -1.3, -1.3, -7.8, -6.0, 1.9, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Right Duct
&OBST XB= -1.3, -0.3, -6.8, -6.0, 1.9, 1.9, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Right Duct
&OBST XB= -1.3, -0.3, -6.8, -6.0, 2.4, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Right Duct
&OBST XB= -0.3, 0.4, -6.8, -6.8, 1.9, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Main Duct
&OBST XB= 1.4, 2.1, -6.8, -6.8, 1.9, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Main Duct
&OBST XB= 3.1, 5.3, -6.8, -6.8, 1.9, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Main Duct
&OBST XB= -1.3, 5.3, -7.8, -7.8, 1.9, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Main Duct
&OBST XB= -1.3, 5.3, -7.8, -6.8, 2.4, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Main Duct
&OBST XB= -1.3, 5.3, -7.8, -6.8, 1.9, 1.9, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Main Duct

&OBST XB= 5.3, 5.3, -7.8, -6.8, 1.9, 2.4, COLOR='RED ', THICKEN=.TRUE. / Extraction, Main Duct
&SURF ID='EXTRACTION', COLOR = 'RED', VEL=14.0 /
&VENT XB= 5.3, 5.3, -7.8, -6.8, 1.9, 2.4, COLOR='RED', SURF_ID='EXTRACTION', DEVC_ID='EXTRACTION' /
&DEVC XYZ= 5.3, -7.3, 2.2, ID='EXTRACTION', SETPOINT=110.0, QUANTITY='TIME', INITIAL_STATE=.FALSE. /

/ FIRE SCREEN =====
&OBST XB= -3.9, -3.1, 6.0, 6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Fire Screen, Wall
&OBST XB= -3.1, 3.9, 6.0, 6.0, 0.9, 2.5, COLOR='GRAY ', DEVC_ID='FIRE SCREEN' / Fire Screen
&DEVC XYZ= 0.4, 6.0, 1.8, ID='FIRE SCREEN', SETPOINT= 90.0, QUANTITY='TIME', INITIAL_STATE=.FALSE. /

/ SPRINKLER SYSTEM =====

/ SLICE FILES =====
&SLCF PBX= 1.5, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBX= 1.5, QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBX= 1.5, QUANTITY='PRESSURE', VECTOR=.TRUE /

&SLCF PBX= -3.0, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBX= -3.0, QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBX= -3.0, QUANTITY='PRESSURE', VECTOR=.TRUE /
```

```
&SLCF PBY= 0.0, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBY= 0.0, QUANTITY='VELOCITY' , VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBY= 0.0, QUANTITY='PRESSURE' , VECTOR=.TRUE /

&SLCF PBY= 6.9, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBY= 6.9, QUANTITY='VELOCITY' , VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBY= 6.9, QUANTITY='PRESSURE' , VECTOR=.TRUE /

&SLCF PBZ= 2.1, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBZ= 2.1, QUANTITY='VELOCITY' , VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBZ= 2.1, QUANTITY='PRESSURE' , VECTOR=.TRUE /

&SLCF PBZ= 2.2, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBZ= 2.2, QUANTITY='VELOCITY' , VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBZ= 2.2, QUANTITY='PRESSURE' , VECTOR=.TRUE /

/ DEVICES (EXP) =====

&DEVC ID='TT_COMM1', POINTS=10, XB = 0.1, 0.1, 3.8, 3.8, 2.4, 0.6, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TT_COMM2', POINTS=10, XB = 0.1, 0.1, -3.0, -3.0, 2.4, 0.6, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TT_ROOM2', POINTS= 8, XB = 6.4, 6.4, 2.5, 2.5, 2.4, 1.0, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TT_ROOM3', POINTS= 8, XB = 6.4, 6.4, -2.5, -2.5, 2.4, 1.0, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./

&DEVC ID='TC_COMM-01', XYZ= 3.8, 5.0, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_COMM-02', XYZ= 3.8, -0.1, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_COMM-03', XYZ= 3.8, -0.1, 2.0, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_COMM-05', XYZ= 3.8, -5.0, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='PR_GANG2-01', XYZ= 4.2, 6.0, 2.3, QUANTITY='PRESSURE'/
&DEVC ID='PR_COMM-02', XYZ= 3.9, -0.1, 2.3, QUANTITY='PRESSURE'/
&DEVC ID='PR_COMM-03', XYZ= 3.9, -0.1, 2.0, QUANTITY='PRESSURE'/
&DEVC ID='PR_COMM-04', XYZ= 3.9, -0.1, 0.2, QUANTITY='PRESSURE'/
&DEVC ID='PR_COMM-05', XYZ= 3.9, -5.0, 2.3, QUANTITY='PRESSURE'/

&DEVC ID='TC_ROOM1-01', XYZ= 0.9,-14.1, 2.4, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_ROOM1-02', XYZ= 0.9,-14.1, 2.0, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_GANG1-01', XYZ= -3.0,-17.9, 2.4, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_GANG2-01', XYZ= 13.8, 6.9, 2.4, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_GANG2-02', XYZ= -0.5, 7.7, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_GANG2-03', XYZ= 2.6, 7.7, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./

/ DEVICES (EXTRA) =====

&DEVC ID='TC_EXTR-L01', XYZ= 2.6, -6.0, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_EXTR-L02', XYZ= 2.6, -6.0, 2.1, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_EXTR-M01', XYZ= 0.9, -6.0, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_EXTR-M02', XYZ= 0.9, -6.0, 2.1, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_EXTR-R01', XYZ= -0.8, -6.0, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_EXTR-R02', XYZ= -0.8, -6.0, 2.1, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_EXTR-VEN', XYZ= 5.2, -7.3, 2.2, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./

&DEVC ID='EXTRMASS_L+', XB= 2.1, 3.1, -6.0, -6.0, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW +' /
&DEVC ID='EXTRMASS_L-', XB= 2.1, 3.1, -6.0, -6.0, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW -' /
&DEVC ID='EXTRMASS_M+', XB= 0.4, 1.4, -6.0, -6.0, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW +' /
&DEVC ID='EXTRMASS_M-', XB= 0.4, 1.4, -6.0, -6.0, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW -' /
&DEVC ID='EXTRMASS_R+', XB= -1.3, -0.3, -6.0, -6.0, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW +' /
&DEVC ID='EXTRMASS_R-', XB= -1.3, -0.3, -6.0, -6.0, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW -' /
&DEVC ID='EXTRMASS_TOT+', XB= 5.2, 5.2, -7.8, -6.8, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW +' /
&DEVC ID='EXTRMASS_TOT-', XB= 5.2, 5.2, -7.8, -6.8, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW -' /

&DEVC ID='EXTRVOL_L', XB= 2.1, 3.1, -6.0, -6.0, 1.9, 2.4, QUANTITY='VOLUME FLOW' /
&DEVC ID='EXTRVOL_M', XB= 0.4, 1.4, -6.0, -6.0, 1.9, 2.4, QUANTITY='VOLUME FLOW' /
&DEVC ID='EXTRVOL_R', XB= -1.3, -0.3, -6.0, -6.0, 1.9, 2.4, QUANTITY='VOLUME FLOW' /
&DEVC ID='EXTRVOL_TOT', XB= 5.2, 5.2, -7.8, -6.8, 1.9, 2.4, QUANTITY='VOLUME FLOW' /

&DEVC ID='TC_O4', XYZ= -3.9,-16.0, 0.5, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE. /
&DEVC ID='TC_O6', XYZ= -1.9, 7.8, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE. /
&DEVC ID='TC_O7', XYZ= 7.1, 7.8, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE. /
&DEVC ID='TC_O8', XYZ= 11.8, 7.8, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE. /

&DEVC ID='VENTMASS_O4+', XB= -3.9, -3.9, -16.3, -15.7, 0.2, 0.6, QUANTITY='MASS FLOW +' /
&DEVC ID='VENTMASS_O4-', XB= -3.9, -3.9, -16.3, -15.7, 0.2, 0.6, QUANTITY='MASS FLOW -' /
&DEVC ID='VENTMASS_O6+', XB= -2.4, -1.4, 7.8, 7.8, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW +' /
&DEVC ID='VENTMASS_O6-', XB= -2.4, -1.4, 7.8, 7.8, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW -' /
&DEVC ID='VENTMASS_O7+', XB= 6.6, 7.6, 7.8, 7.8, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW +' /
&DEVC ID='VENTMASS_O7-', XB= 6.6, 7.6, 7.8, 7.8, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW -' /
```

```
&DEVC ID='VENTMASS_O8+', XB= 11.3, 12.3, 7.8, 7.8, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW +' /
&DEVC ID='VENTMASS_O8-', XB= 11.3, 12.3, 7.8, 7.8, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW -' /

&DEVC ID='VENTVOL_O4', XB= -3.9, -3.9, -16.3, -15.7, 0.2, 0.6, QUANTITY='VOLUME FLOW' /
&DEVC ID='VENTVOL_O6', XB= -2.4, -1.4, 7.8, 7.8, 1.9, 2.4, QUANTITY='VOLUME FLOW' /
&DEVC ID='VENTVOL_O7', XB= 6.6, 7.6, 7.8, 7.8, 1.9, 2.4, QUANTITY='VOLUME FLOW' /
&DEVC ID='VENTVOL_O8', XB= 11.3, 12.3, 7.8, 7.8, 1.9, 2.4, QUANTITY='VOLUME FLOW' /

&DEVC ID='LEAKMASS_WALL_COMM', QUANTITY='DUCT MASS FLOW', DUCT_ID='WALL_COMM' /
&DEVC ID='LEAKMASS_DOOR_ROOM2', QUANTITY='DUCT MASS FLOW', DUCT_ID='DOOR_ROOM2' /
&DEVC ID='LEAKMASS_DOOR_ROOM3', QUANTITY='DUCT MASS FLOW', DUCT_ID='DOOR_ROOM3' /
&DEVC ID='LEAKMASS_DOOR_GANG1', QUANTITY='DUCT MASS FLOW', DUCT_ID='DOOR_GANG1' /
&DEVC ID='LEAKMASS_DOOR_GANG2', QUANTITY='DUCT MASS FLOW', DUCT_ID='DOOR_GANG2' /

&DEVC ID='LEAKVOL_WALL_COMM', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='WALL_COMM' /
&DEVC ID='LEAKVOL_DOOR_ROOM2', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='DOOR_ROOM2' /
&DEVC ID='LEAKVOL_DOOR_ROOM3', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='DOOR_ROOM3' /
&DEVC ID='LEAKVOL_DOOR_GANG1', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='DOOR_GANG1' /
&DEVC ID='LEAKVOL_DOOR_GANG2', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='DOOR_GANG2' /
```

```
/ =====
&TAIL /
```

Test 3: Brandproef met constante rookextractie en een brandscherm tot op de vloer

```
&HEAD CHID='VIPASTudy2-3', TITLE='VIPA2 Study - Test 3' /
```

```
/ MESH =====
&MESH ID='COMMON AREA1', IJK= 88, 60, 25, XB= -4.9, 3.9, -6.0, 0.0, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm
&MESH ID='COMMON AREA2', IJK= 88, 88, 25, XB= -4.9, 3.9, 0.0, 8.8, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm
&MESH ID='GANG1', IJK= 28, 130, 25, XB= -4.9, -2.1, -19.0, -6.0, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm
&MESH ID='GANG2', IJK= 110, 28, 25, XB= 3.9, 14.9, 6.0, 8.8, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm
&MESH ID='ROOM1', IJK= 60, 40, 25, XB= -2.1, 3.9, -18.0, -14.0, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm
&MESH ID='ROOM2', IJK= 50, 60, 25, XB= 3.9, 8.9, 0.0, 6.0, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm
&MESH ID='ROOM3', IJK= 50, 60, 25, XB= 3.9, 8.9, -6.0, 0.0, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm
&MESH ID='EXTRACTION', IJK= 132, 36, 20, XB= -1.3, 5.3, -7.8, -6.0, 1.4, 2.4 / cell size = 5 cm
```

```
/ GENERAL =====
```

```
&MISC TMPA=15.0 /
```

```
&TIME T_END=400.0 /
```

```
/ PRESSURE ZONE AND LEAKAGES =====
```

```
&SURF ID='LEAK' /
&VENT XB= -3.9, -3.9, -17.0, 5.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='LEAK', ID='VENT1' /
&VENT XB= 3.9, 3.9, 0.3, 1.2, 2.2, 2.3, SURF_ID='LEAK', ID='VENT2a' /
&VENT XB= 4.0, 4.0, 0.3, 1.2, 2.2, 2.3, SURF_ID='LEAK', ID='VENT2b' /
&VENT XB= 3.9, 3.9, -0.3, -1.2, 2.2, 2.3, SURF_ID='LEAK', ID='VENT3a' /
&VENT XB= 4.0, 4.0, -0.3, -1.2, 2.2, 2.3, SURF_ID='LEAK', ID='VENT3b' /
&VENT XB= -3.5, -2.5, -18.0, -18.0, 1.9, 2.0, SURF_ID='LEAK', ID='VENT4a' /
&VENT XB= -3.5, -2.5, -18.1, -18.1, 1.9, 2.0, SURF_ID='LEAK', ID='VENT4b' /
&VENT XB= 13.9, 13.9, 6.0, 7.8, 1.9, 2.0, SURF_ID='LEAK', ID='VENT5a' /
&VENT XB= 14.0, 14.0, 6.0, 7.8, 1.9, 2.0, SURF_ID='LEAK', ID='VENT5b' /
&HVAC ID='WALL_COMM', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='VENT1', VENT2_ID='AMBIENT', AREA=0.0269, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /
&HVAC ID='DOOR_ROOM2', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='VENT2a', VENT2_ID='VENT2b', AREA=0.0003, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /
&HVAC ID='DOOR_ROOM3', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='VENT3a', VENT2_ID='VENT3b', AREA=0.0072, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /
&HVAC ID='DOOR_GANG1', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='VENT4a', VENT2_ID='VENT4b', AREA=0.0069, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /
&HVAC ID='DOOR_GANG2', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='VENT5a', VENT2_ID='VENT5b', AREA=0.0049, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /
```

```
/ FIRE =====
```

```
&REAC FUEL='PROPANE', SOOT_YIELD=0.1 /
&SURF ID='COUCH', HRRPUA=1, COLOR='RED', RAMP_Q='HRR_ramp' /
&OBST XB= 1.1, 1.9, -0.9, 0.9, 0.0, 0.5, COLOR='RED', SURF_IDS='COUCH', 'INERT', 'INERT' /
```

```
&RAMP ID='HRR_ramp', T= 0.0, F= 0.00 /
&RAMP ID='HRR_ramp', T= 80.0, F= 65.97 /
&RAMP ID='HRR_ramp', T=165.0, F=215.28 /
&RAMP ID='HRR_ramp', T=225.0, F=569.44 /
&RAMP ID='HRR_ramp', T=330.0, F=513.89 /
```


&RAMP ID='HRR_ramp', T=400.0, F=250.00 /

/ MATERIAL PROPERTIES =====

&MATL ID = 'CALCIUM SILICATE'
 DENSITY = 900.0
 CONDUCTIVITY = 0.175
 SPECIFIC_HEAT = 0.80
 EMISSIVITY = 0.80 /

&MATL ID = 'CONCRETE'
 DENSITY = 600.0
 CONDUCTIVITY = 0.19
 SPECIFIC_HEAT = 0.84
 EMISSIVITY = 0.90 /

/ BOUNDARIES PROPERTIES =====

&SURF ID = 'CEILING',
 MATL_ID = 'CALCIUM SILICATE', 'CONCRETE'
 THICKNESS = 0.010, 0.150 /

&SURF ID = 'WALL'
 MATL_ID = 'CALCIUM SILICATE', 'CONCRETE', 'CALCIUM SILICATE'
 THICKNESS = 0.010, 0.150, 0.010 /

&SURF ID = 'DOOR'
 MATL_ID = 'CALCIUM SILICATE'
 THICKNESS = 0.100 /

&SURF ID = 'FLOOR'
 MATL_ID = 'CONCRETE'
 THICKNESS = 0.150 /

&SURF ID = 'DUCT'
 MATL_ID = 'CALCIUM SILICATE'
 THICKNESS = 0.030 /

/ COMPARTMENT BOUNDARIES & HOLES =====

&OBST XB= -3.9, 3.9, -6.0, 7.8, 2.5, 2.5, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CEILING' / Common Area, Ceiling
 &OBST XB= -4.0, -3.9, -18.0, 7.8, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Common Area & Gang1, Left wall
 &OBST XB= -3.9, 13.9, 7.8, 7.8, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Common Area & Gang2, Top wall

&OBST XB= 3.9, 3.9, 1.2, 6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Common Area, Right wall
 &OBST XB= 3.9, 3.9, -0.3, 0.3, 0.0, 2.3, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Common Area, Right wall
 &OBST XB= 3.9, 3.9, -1.2, 1.2, 2.3, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Common Area, Right wall
 &OBST XB= 3.9, 3.9, -6.0, -1.2, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Common Area, Right wall
 &OBST XB= 3.9, 4.0, 0.3, 1.2, 0.0, 2.3, COLOR='GOLD', SURF_ID='DOOR' / Common Area, Door Room2
 &OBST XB= 3.9, 4.0, -1.2, -0.3, 0.0, 2.3, COLOR='GOLD', SURF_ID='DOOR' / Common Area, Door Room3
 &OBST XB= -2.1, 3.9, -6.0, -6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Common Area, Bottom wall
 &OBST XB= -3.9, 3.9, -6.0, 7.8, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY', SURF_ID='FLOOR' / Common Area, Floor

&OBST XB= -3.9, -2.1, -18.0, -6.0, 2.5, 2.5, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CEILING' / Gang1, Ceiling
 &OBST XB= -3.9, -3.5, -18.0, -18.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Gang1, Bottom wall
 &OBST XB= -2.5, 3.9, -18.0, -18.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Gang1, Bottom wall
 &OBST XB= -3.5, -2.5, -18.0, -18.0, 2.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Gang1, Bottom wall
 &OBST XB= -3.5, -2.5, -18.1, -18.0, 0.0, 2.0, COLOR='GOLD', SURF_ID='DOOR' / Gang1, Door
 &OBST XB= -2.1, -2.1, -18.0, -6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Gang1, Right wall
 &OBST XB= -3.9, -2.1, -18.0, -6.0, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY', SURF_ID='FLOOR' / Gang1, Floor

&OBST XB= 3.9, 13.9, 6.0, 7.8, 2.5, 2.5, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CEILING' / Gang2, Ceiling
 &OBST XB= 3.9, 13.9, 6.0, 6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Gang2 & Room1, Bottom wall
 &OBST XB= 13.9, 14.0, 6.0, 6.9, 0.0, 2.0, COLOR='GOLD', SURF_ID='DOOR' / Gang2, Door(Half)
 &OBST XB= 13.9, 14.0, 6.9, 7.8, 0.0, 2.0, COLOR='GOLD', SURF_ID='DOOR', / Gang2, Door(Half)
 &OBST XB= 13.9, 13.9, 6.0, 7.8, 2.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Gang2, Right wall
 &OBST XB= 3.9, 13.9, 6.0, 7.8, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY', SURF_ID='FLOOR' / Gang2, Floor

&OBST XB= -2.1, 3.9, -18.0, -14.0, 2.5, 2.5, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CEILING' / Room1, Ceiling
 &OBST XB= 3.9, 3.9, -18.0, -14.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Room1, Right wall
 &OBST XB= -2.1, 3.9, -14.0, -14.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Room1, Top wall
 &OBST XB= -2.1, 3.9, -18.0, -14.0, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY', SURF_ID='FLOOR' / Room1, Floor
 &HOLE XB= -2.2, -1.8, -14.4, -15.4, 0.0, 2.0 / Room1, Door

&OBST XB= 3.9, 7.9, -6.0, 6.0, 2.5, 2.5, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CEILING' / Room2 & Room3, Ceiling
 &OBST XB= 7.9, 7.9, -6.0, 6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Room2 & Room3, Right wall

```
&OBST XB= 3.9, 7.9, 0.0, 0.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Room2 & Room3, Middle wall
&OBST XB= 3.9, 7.9, -6.0, -6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Room3, Bottom wall
&OBST XB= 3.9, 7.9, -6.0, 6.0, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY ', SURF_ID='FLOOR' / Room2 & Room3, Floor
&HOLE XB= 7.7, 8.1, 5.4, 5.6, 0.5, 0.6 / Room2, Opening
&HOLE XB= 7.7, 8.1, -5.6, -5.4, 0.5, 0.6 / Room3, Opening
```

/ OPEN BOUNDARIES =====

```
&VENT XB= -4.9, -4.9, -19.0, 8.8, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Left Boundary
&VENT XB= -4.9, -3.9, -18.0, 7.8, 2.5, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Left Boundary
```

```
&VENT XB= -4.9, 14.9, 8.8, 8.8, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top Boundary
&VENT XB= -4.9, 13.9, 7.8, 8.8, 2.5, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top Boundary
```

```
&VENT XB= 14.9, 14.9, 6.0, 8.8, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top-Right Boundary
&VENT XB= 13.9, 14.9, 6.0, 8.8, 2.5, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top-Right Boundary
&VENT XB= 13.9, 14.9, 6.0, 6.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top-Right Boundary
```

```
&VENT XB= 8.9, 8.9, -6.0, 6.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Right Boundary
&VENT XB= 7.9, 8.9, -6.0, 6.0, 2.5, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Right Boundary
&VENT XB= 7.9, 8.9, -6.0, -6.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Right Boundary
```

```
&VENT XB= -4.9, -2.1, -19.0, -19.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Bottom Boundary
&VENT XB= -4.9, -2.1, -19.0, -18.0, 2.5, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Bottom Boundary
&VENT XB= -2.1, -2.1, -19.0, -18.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Bottom Boundary
```

/ OPENINGS (NATURAL VENTILATION) =====

```
&HOLE XB= -4.1, -3.7, -15.6, -15.0, 2.0, 2.4 / Gang1, Opening 1
&HOLE XB= -4.1, -3.7, -3.6, -3.0, 2.0, 2.4 / Gang2, Opening 2
&HOLE XB= -4.1, -3.7, 1.7, 2.3, 2.0, 2.4 / Gang2, Opening 3
```

/ EXTRACTION SYSTEM =====

```
&HOLE XB= 2.1, 3.1, -6.2, -5.8, 1.9, 2.4 / Extraction, Left Opening
&HOLE XB= 0.4, 1.4, -6.2, -5.8, 1.9, 2.4 / Extraction, Middle Opening
&HOLE XB= -1.3, -0.3, -6.2, -5.8, 1.9, 2.4 / Extraction, Right Opening
&OBST XB= 3.1, 3.1, -6.8, -6.0, 1.9, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Left Duct
&OBST XB= 2.1, 2.1, -6.8, -6.0, 1.9, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Left Duct
&OBST XB= 2.1, 3.1, -6.8, -6.0, 1.9, 1.9, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Left Duct
&OBST XB= 2.1, 3.1, -6.8, -6.0, 2.4, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Left Duct
&OBST XB= 1.4, 1.4, -6.8, -6.0, 1.9, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Middle Duct
&OBST XB= 0.4, 0.4, -6.8, -6.0, 1.9, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Middle Duct
&OBST XB= 0.4, 1.4, -6.8, -6.0, 1.9, 1.9, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Middle Duct
&OBST XB= 2.1, 1.4, -6.8, -6.0, 2.4, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Middle Duct
&OBST XB= -0.3, -0.3, -6.8, -6.0, 1.9, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Right Duct
&OBST XB= -1.3, -1.3, -7.8, -6.0, 1.9, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Right Duct
&OBST XB= -1.3, -0.3, -6.8, -6.0, 1.9, 1.9, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Right Duct
&OBST XB= -1.3, -0.3, -6.8, -6.0, 2.4, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Right Duct
&OBST XB= -0.3, 0.4, -6.8, -6.8, 1.9, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Main Duct
&OBST XB= 1.4, 2.1, -6.8, -6.8, 1.9, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Main Duct
&OBST XB= 3.1, 5.3, -6.8, -6.8, 1.9, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Main Duct
&OBST XB= -1.3, 5.3, -7.8, -7.8, 1.9, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Main Duct
&OBST XB= -1.3, 5.3, -7.8, -6.8, 2.4, 2.4, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Main Duct
&OBST XB= -1.3, 5.3, -7.8, -6.8, 1.9, 1.9, COLOR='SKY BLUE ', SURF_ID='DUCT' / Extraction, Main Duct
```

```
&OBST XB= 5.3, 5.3, -7.8, -6.8, 1.9, 2.4, COLOR='RED ', THICKEN=.TRUE. / Extraction, Main Duct
&SURF ID='EXTRACTION', COLOR = 'RED', VEL=10.0 /
&VENT XB= 5.3, 5.3, -7.8, -6.8, 1.9, 2.4, COLOR='RED', SURF_ID='EXTRACTION', DEVC_ID='EXTRACTION' /
&DEVC XYZ= 5.3, -7.3, 2.2, ID='EXTRACTION', SETPOINT=110.0, QUANTITY='TIME', INITIAL_STATE=.FALSE. /
```

/ FIRE SCREEN =====

```
&OBST XB= -3.9, -3.1, 6.0, 6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Fire Screen, Wall
&OBST XB= -3.1, 3.9, 6.0, 6.0, 0.0, 2.5, COLOR='GRAY ', / Fire Screen
```

/ SPRINKLER SYSTEM =====

/ SLICE FILES =====

```
&SLCF PBX= 1.5, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBX= 1.5, QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBX= 1.5, QUANTITY='PRESSURE', VECTOR=.TRUE /
```

```
&SLCF PBX= -3.0, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE /
```

```

&SLCF PBX= -3.0, QUANTITY='VELOCITY' , VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBX= -3.0, QUANTITY='PRESSURE' , VECTOR=.TRUE /

&SLCF PBY= 0.0, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBY= 0.0, QUANTITY='VELOCITY' , VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBY= 0.0, QUANTITY='PRESSURE' , VECTOR=.TRUE /

&SLCF PBZ= 6.9, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBZ= 6.9, QUANTITY='VELOCITY' , VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBZ= 6.9, QUANTITY='PRESSURE' , VECTOR=.TRUE /

&SLCF PBZ= 2.1, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBZ= 2.1, QUANTITY='VELOCITY' , VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBZ= 2.1, QUANTITY='PRESSURE' , VECTOR=.TRUE /

&SLCF PBZ= 2.2, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBZ= 2.2, QUANTITY='VELOCITY' , VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBZ= 2.2, QUANTITY='PRESSURE' , VECTOR=.TRUE /

/ DEVICES (EXP) =====
&DEVC ID='TT_COMM1', POINTS=10, XB = 0.1, 0.1, 3.8, 3.8, 2.4, 0.6, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TT_COMM2', POINTS=10, XB = 0.1, 0.1, -3.0, -3.0, 2.4, 0.6, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TT_ROOM2', POINTS= 8, XB = 6.4, 6.4, 2.5, 2.5, 2.4, 1.0, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TT_ROOM3', POINTS= 8, XB = 6.4, 6.4, -2.5, -2.5, 2.4, 1.0, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./

&DEVC ID='TC_COMM-01', XYZ= 3.8, 5.0, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_COMM-02', XYZ= 3.8, -0.1, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_COMM-03', XYZ= 3.8, -0.1, 2.0, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_COMM-05', XYZ= 3.8, -5.0, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='PR_GANG2-01', XYZ= 4.2, 6.0, 2.3, QUANTITY='PRESSURE'/
&DEVC ID='PR_COMM-02', XYZ= 3.9, -0.1, 2.3, QUANTITY='PRESSURE'/
&DEVC ID='PR_COMM-03', XYZ= 3.9, -0.1, 2.0, QUANTITY='PRESSURE'/
&DEVC ID='PR_COMM-04', XYZ= 3.9, -0.1, 0.2, QUANTITY='PRESSURE'/
&DEVC ID='PR_COMM-05', XYZ= 3.9, -5.0, 2.3, QUANTITY='PRESSURE'/

&DEVC ID='TC_ROOM1-01', XYZ= 0.9,-14.1, 2.4, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_ROOM1-02', XYZ= 0.9,-14.1, 2.0, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_GANG1-01', XYZ= -3.0,-17.9, 2.4, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_GANG2-01', XYZ= 13.8, 6.9, 2.4, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_GANG2-02', XYZ= -0.5, 7.7, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_GANG2-03', XYZ= 2.6, 7.7, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./

/ DEVICES (EXTRA) =====
&DEVC ID='TC_EXTR-L01', XYZ= 2.6, -6.0, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_EXTR-L02', XYZ= 2.6, -6.0, 2.1, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_EXTR-M01', XYZ= 0.9, -6.0, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_EXTR-M02', XYZ= 0.9, -6.0, 2.1, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_EXTR-R01', XYZ= -0.8, -6.0, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_EXTR-R02', XYZ= -0.8, -6.0, 2.1, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./
&DEVC ID='TC_EXTR-VEN', XYZ= 5.2, -7.3, 2.2, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE./

&DEVC ID='EXTRMASS_L+', XB= 2.1, 3.1, -6.0, -6.0, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW +' /
&DEVC ID='EXTRMASS_L-', XB= 2.1, 3.1, -6.0, -6.0, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW -' /
&DEVC ID='EXTRMASS_M+', XB= 0.4, 1.4, -6.0, -6.0, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW +' /
&DEVC ID='EXTRMASS_M-', XB= 0.4, 1.4, -6.0, -6.0, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW -' /
&DEVC ID='EXTRMASS_R+', XB= -1.3, -0.3, -6.0, -6.0, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW +' /
&DEVC ID='EXTRMASS_R-', XB= -1.3, -0.3, -6.0, -6.0, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW -' /
&DEVC ID='EXTRMASS_TOT+', XB= 5.2, 5.2, -7.8, -6.8, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW +' /
&DEVC ID='EXTRMASS_TOT-', XB= 5.2, 5.2, -7.8, -6.8, 1.9, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW -' /

&DEVC ID='EXTRVOL_L', XB= 2.1, 3.1, -6.0, -6.0, 1.9, 2.4, QUANTITY='VOLUME FLOW' /
&DEVC ID='EXTRVOL_M', XB= 0.4, 1.4, -6.0, -6.0, 1.9, 2.4, QUANTITY='VOLUME FLOW' /
&DEVC ID='EXTRVOL_R', XB= -1.3, -0.3, -6.0, -6.0, 1.9, 2.4, QUANTITY='VOLUME FLOW' /
&DEVC ID='EXTRVOL_TOT', XB= 5.2, 5.2, -7.8, -6.8, 1.9, 2.4, QUANTITY='VOLUME FLOW' /

&DEVC ID='TC_O1', XYZ= -3.9,-15.3, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE. /
&DEVC ID='TC_O2', XYZ= -3.9, -3.3, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE. /
&DEVC ID='TC_O3', XYZ= -3.9, 2.0, 2.3, QUANTITY='TEMPERATURE', TIME_HISTORY=.TRUE. /

&DEVC ID='VENTMASS_O1+', XB= -3.9, -3.9, -15.6, -15.0, 2.0, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW +' /
&DEVC ID='VENTMASS_O1-', XB= -3.9, -3.9, -15.6, -15.0, 2.0, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW -' /
&DEVC ID='VENTMASS_O2+', XB= -3.9, -3.9, -3.6, -3.0, 2.0, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW +' /
&DEVC ID='VENTMASS_O2-', XB= -3.9, -3.9, -3.6, -3.0, 2.0, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW -' /
&DEVC ID='VENTMASS_O3+', XB= -3.9, -3.9, 1.7, 2.3, 2.0, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW +' /

```

&DEVC ID='VENTMASS_O3-', XB= -3.9, -3.9, 1.7, 2.3, 2.0, 2.4, QUANTITY='MASS FLOW' -' /

&DEVC ID='VENTVOL_O1', XB= -3.9, -3.9,-15.6,-15.0, 2.0, 2.4, QUANTITY='VOLUME FLOW' /

&DEVC ID='VENTVOL_O2', XB= -3.9, -3.9, -3.6, -3.0, 2.0, 2.4, QUANTITY='VOLUME FLOW' /

&DEVC ID='VENTVOL_O3', XB= -3.9, -3.9, 1.7, 2.3, 2.0, 2.4, QUANTITY='VOLUME FLOW' /

&DEVC ID='LEAKMASS_WALL_COMM ', QUANTITY='DUCT MASS FLOW', DUCT_ID='WALL_COMM' /

&DEVC ID='LEAKMASS_DOOR_ROOM2', QUANTITY='DUCT MASS FLOW', DUCT_ID='DOOR_ROOM2' /

&DEVC ID='LEAKMASS_DOOR_ROOM3', QUANTITY='DUCT MASS FLOW', DUCT_ID='DOOR_ROOM3' /

&DEVC ID='LEAKMASS_DOOR_GANG1', QUANTITY='DUCT MASS FLOW', DUCT_ID='DOOR_GANG1' /

&DEVC ID='LEAKMASS_DOOR_GANG2', QUANTITY='DUCT MASS FLOW', DUCT_ID='DOOR_GANG2' /

&DEVC ID='LEAKVOL_WALL_COMM ', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='WALL_COMM' /

&DEVC ID='LEAKVOL_DOOR_ROOM2', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='DOOR_ROOM2' /

&DEVC ID='LEAKVOL_DOOR_ROOM3', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='DOOR_ROOM3' /

&DEVC ID='LEAKVOL_DOOR_GANG1', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='DOOR_GANG1' /

&DEVC ID='LEAKVOL_DOOR_GANG2', QUANTITY='DUCT VOLUME FLOW', DUCT_ID='DOOR_GANG2' /

/ =====

&TAIL /

Aanvullende computersimulaties (baseline)

&HEAD CHID='VIPASStudy1', TITLE='VIPA1 Configuration' /

/ MESH =====

&MESH ID='COMMON AREA1', IJK= 91,102, 25, XB= -3.1, 6.0, 0.0, 10.2, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm

&MESH ID='COMMON AREA2', IJK= 60,102, 25, XB= 6.0, 12.0, 0.0, 10.2, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm

&MESH ID='ROOM1' , IJK= 40, 70, 25, XB= 0.0, 4.0, -7.0, 0.0, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm

&MESH ID='ROOM2' , IJK= 40, 70, 25, XB= 4.0, 8.0, -7.0, 0.0, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm

&MESH ID='ROOM3' , IJK= 40, 70, 25, XB= 8.0, 12.0, -7.0, 0.0, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm

&MESH ID='ROOM4' , IJK= 40, 70, 25, XB= 12.0, 16.0, 1.8, 8.8, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm

&MESH ID='ROOM5' , IJK= 40, 70, 25, XB= 16.0, 20.0, 1.8, 8.8, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm

&MESH ID='ROOM6' , IJK= 40, 70, 25, XB= 20.0, 24.0, 1.8, 8.8, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm

&MESH ID='GANG' , IJK=210, 18, 25, XB= 12.0, 33.0, 0.0, 1.8, 0.0, 2.5 / cell size = 10 cm

/ GENERAL =====

&MISC TMPA=15.0 /

LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /

&TIME T_END=400.0 /

/ PRESSURE ZONE AND LEAKAGES =====

&SURF ID='LEAKAGE' /

&VENT XB= -2.1, -2.1, 0.0, 1.8, 0.0, 0.1, SURF_ID='LEAKAGE', ID='COMMa' /

&VENT XB= -2.2, -2.2, 0.0, 1.8, 0.0, 0.1, SURF_ID='LEAKAGE', ID='COMMb' /

&HVAC ID='DOOR_COMM', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='COMMa', VENT2_ID='COMMb', AREA=0.0144, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /

&VENT XB= 32.0, 32.0, 0.0, 1.8, 0.0, 0.1, SURF_ID='LEAKAGE', ID='GANGa' /

&VENT XB= 32.1, 32.1, 0.0, 1.8, 0.0, 0.1, SURF_ID='LEAKAGE', ID='GANGb' /

&HVAC ID='DOOR_GANG', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='GANGa', VENT2_ID='GANGb', AREA=0.0144, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /

&VENT XB= 2.8, 3.7, 0.0, 0.0, 0.0, 0.1, SURF_ID='LEAKAGE', ID='ROOM1a' /

&VENT XB= 2.8, 3.7, -0.1, -0.1, 0.0, 0.1, SURF_ID='LEAKAGE', ID='ROOM1b' /

&HVAC ID='DOOR_ROOM1', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='ROOM1a', VENT2_ID='ROOM1b', AREA=0.0072, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /

&VENT XB= 6.8, 7.7, 0.0, 0.0, 0.0, 0.1, SURF_ID='LEAKAGE', ID='ROOM2a' /

&VENT XB= 6.8, 7.7, -0.1, -0.1, 0.0, 0.1, SURF_ID='LEAKAGE', ID='ROOM2b' /

&HVAC ID='DOOR_ROOM2', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='ROOM2a', VENT2_ID='ROOM2b', AREA=0.0072, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /

&VENT XB= 8.3, 9.2, 0.0, 0.0, 0.0, 0.1, SURF_ID='LEAKAGE', ID='ROOM3a' /

&VENT XB= 8.3, 9.2, -0.1, -0.1, 0.0, 0.1, SURF_ID='LEAKAGE', ID='ROOM3b' /

&HVAC ID='DOOR_ROOM3', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='ROOM3a', VENT2_ID='ROOM3b', AREA=0.0072, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /

&VENT XB= 14.8, 15.7, 1.8, 1.8, 0.0, 0.1, SURF_ID='LEAKAGE', ID='ROOM4a' /

&VENT XB= 14.8, 15.7, 1.9, 1.9, 0.0, 0.1, SURF_ID='LEAKAGE', ID='ROOM4b' /

&HVAC ID='DOOR_ROOM4', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='ROOM4a', VENT2_ID='ROOM4b', AREA=0.0072, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /

&VENT XB= 18.8, 19.7, 1.8, 1.8, 0.0, 0.1, SURF_ID='LEAKAGE', ID='ROOM5a' /

&VENT XB= 18.8, 19.7, 1.9, 1.9, 0.0, 0.1, SURF_ID='LEAKAGE', ID='ROOM5b' /

&HVAC ID='DOOR_ROOM5', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='ROOM5a', VENT2_ID='ROOM5b', AREA=0.0072, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /

&VENT XB= 22.8, 23.7, 1.8, 1.8, 0.0, 0.1, SURF_ID='LEAKAGE', ID='ROOM6a' /

&VENT XB= 22.8, 23.7, 1.9, 1.9, 0.0, 0.1, SURF_ID='LEAKAGE', ID='ROOM6b' /

&HVAC ID='DOOR_ROOM6', TYPE_ID='LEAK', VENT_ID='ROOM6a', VENT2_ID='ROOM6b', AREA=0.0072, LEAK_ENTHALPY=.TRUE. /

```

/ FIRE =====
&REAC FUEL='PROPANE', SOOT_YIELD=0.1/
&SURF ID='COUCH', HRRPUA=1, COLOR='RED', RAMP_Q='HRR_ramp' /
&OBST XB= 9.6, 10.4, -3.9, -2.1, 0.0, 0.5, COLOR='RED', SURF_IDS='COUCH', 'INERT', 'INERT' /

&RAMP ID='HRR_ramp', T= 0.0, F= 0.00 /
&RAMP ID='HRR_ramp', T= 80.0, F= 65.97 /
&RAMP ID='HRR_ramp', T=165.0, F=215.28 /
&RAMP ID='HRR_ramp', T=225.0, F=569.44 /
&RAMP ID='HRR_ramp', T=330.0, F=513.89 /
&RAMP ID='HRR_ramp', T=400.0, F=250.00 /

/ MATERIAL PROPERTIES =====
&MATL ID   = 'CALCIUM SILICATE'
  DENSITY   = 900.0
  CONDUCTIVITY = 0.175
  SPECIFIC_HEAT = 0.80
  EMISSIVITY  = 0.80 /

&MATL ID   = 'CONCRETE'
  DENSITY   = 600.0
  CONDUCTIVITY = 0.19
  SPECIFIC_HEAT = 0.84
  EMISSIVITY  = 0.90 /

/ COMPARTMENT BOUNDARIES =====
&SURF ID   = 'CEILING',
  MATL_ID   = 'CALCIUM SILICATE', 'CONCRETE'
  THICKNESS = 0.010, 0.150 /

&SURF ID   = 'WALL'
  MATL_ID   = 'CALCIUM SILICATE', 'CONCRETE', 'CALCIUM SILICATE'
  THICKNESS = 0.010, 0.150, 0.010 /

&SURF ID   = 'DOOR'
  MATL_ID   = 'CALCIUM SILICATE'
  THICKNESS = 0.100 /

&SURF ID   = 'FLOOR'
  MATL_ID   = 'CONCRETE'
  THICKNESS = 0.150 /

/ COMPARTMENT BOUNDARIES & HOLES =====
&OBST XB= -2.1, 12.0, 0.0, 9.2, 2.5, 2.5, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CEILING' / Common Area, Ceiling
&OBST XB= -2.1, 12.0, 0.0, 9.2, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY', SURF_ID='FLOOR' / Common Area, Floor
&OBST XB= -2.1, 12.0, 9.2, 9.2, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Common Area, Top wall
&OBST XB= 12.0, 12.0, 1.8, 9.2, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Common Area, Left wall
&OBST XB= -2.1, -2.1, 1.8, 9.2, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Common Area, Left wall
&OBST XB= -2.1, -2.1, 0.0, 1.8, 2.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Common Area, Left wall
&OBST XB= -2.2, -2.1, 0.0, 1.8, 0.0, 2.0, COLOR='GOLD', SURF_ID='DOOR' / Common Area, Double Door
&OBST XB= -2.1, 12.0, 0.0, 0.0, 2.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Common Area, Bottom wall
&OBST XB= -2.1, 2.8, 0.0, 0.0, 0.0, 2.0, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Common Area, Bottom wall
&OBST XB= 2.8, 3.7, -0.1, 0.0, 0.0, 2.0, COLOR='GOLD', SURF_ID='DOOR' / Room1, Door
&OBST XB= 3.7, 6.8, 0.0, 0.0, 0.0, 2.0, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Common Area, Bottom wall
&OBST XB= 6.8, 7.7, -0.1, 0.0, 0.0, 2.0, COLOR='GOLD', SURF_ID='DOOR' / Room2, Door
&OBST XB= 7.7, 8.3, 0.0, 0.0, 0.0, 2.0, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Common Area, Bottom wall
&OBST XB= 9.2, 12.0, 0.0, 0.0, 0.0, 2.0, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Common Area, Bottom wall

&OBST XB= 0.0, 12.0, -6.0, 0.0, 2.5, 2.5, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CEILING' / Room1+Room2+Room3, Ceiling
&OBST XB= 0.0, 12.0, -6.0, 0.0, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY', SURF_ID='FLOOR' / Room1+Room2+Room3, Floor
&OBST XB= 0.0, 12.0, -6.0, -6.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Room1+Room2+Room3, Bottom wall
&OBST XB= 0.0, 0.0, -6.0, 0.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Room1, Left wall
&OBST XB= 4.0, 4.0, -6.0, 0.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Room1-Room2 wall
&OBST XB= 8.0, 8.0, -6.0, 0.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Room2-Room3 wall
&OBST XB= 12.0, 12.0, -6.0, 0.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Room3, Right wall

&OBST XB= 12.0, 24.0, 1.8, 7.8, 2.5, 2.5, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CEILING' / Room4+Room5+Room6, Ceiling
&OBST XB= 12.0, 24.0, 1.8, 7.8, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY', SURF_ID='FLOOR' / Room4+Room5+Room6, Floor
&OBST XB= 12.0, 24.0, 7.8, 7.8, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Room4+Room5+Room6, Top wall
&OBST XB= 16.0, 16.0, 1.8, 7.8, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Room4-Room5 wall
&OBST XB= 20.0, 20.0, 1.8, 7.8, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Room5-Room6 wall
&OBST XB= 24.0, 24.0, 1.8, 7.8, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER', SURF_ID='WALL' / Room6, Right wall

```

```

&OBST XB= 12.0,32.0, 0.0, 1.8, 2.5, 2.5, COLOR='INVISIBLE', SURF_ID='CEILING' / Gang, Ceiling
&OBST XB= 12.0,32.0, 0.0, 1.8, 0.0, 0.0, COLOR='GRAY ', SURF_ID='FLOOR' / Gang, Floor
&OBST XB= 12.0,32.0, 0.0, 0.0, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Gang, Bottom wall
&OBST XB= 32.0,32.0, 0.0, 1.8, 2.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Gang, Right wall
&OBST XB= 32.0,32.1, 0.0, 1.8, 0.0, 2.0, COLOR='GOLD ', SURF_ID='DOOR' / Gang, Double Door
&OBST XB= 12.0,24.0, 1.8, 1.8, 2.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Gang, Top wall
&OBST XB= 12.0,14.8, 1.8, 1.8, 0.0, 2.0, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Common Area, Bottom wall
&OBST XB= 14.8,15.7, 1.8, 1.9, 0.0, 2.0, COLOR='GOLD ', SURF_ID='DOOR' / Room4, Door
&OBST XB= 15.7,18.8, 1.8, 1.8, 0.0, 2.0, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Common Area, Bottom wall
&OBST XB= 18.8,19.7, 1.8, 1.9, 0.0, 2.0, COLOR='GOLD ', SURF_ID='DOOR' / Room5, Door
&OBST XB= 19.7,22.8, 1.8, 1.8, 0.0, 2.0, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Common Area, Bottom wall
&OBST XB= 22.8,23.7, 1.8, 1.9, 0.0, 2.0, COLOR='GOLD ', SURF_ID='DOOR' / Room6, Door
&OBST XB= 23.7,24.0, 1.8, 1.8, 0.0, 2.0, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Common Area, Bottom wall
&OBST XB= 24.0,32.0, 1.8, 1.8, 0.0, 2.5, COLOR='SILVER ', SURF_ID='WALL' / Gang, Top wall

&HOLE XB= 4.9, 5.1, 9.0, 9.4, 0.5, 0.6 / Common Area, Opening
&HOLE XB= 1.9, 2.0,-5.8,-6.2, 0.5, 0.6 / Room1, Opening
&HOLE XB= 5.9, 6.0,-5.8,-6.2, 0.5, 0.6 / Room2, Opening
&HOLE XB= 9.9,10.0,-5.8,-6.2, 0.5, 0.6 / Room3, Opening
&HOLE XB= 13.9,14.0, 7.6, 8.0, 0.5, 0.6 / Room4, Opening
&HOLE XB= 17.9,18.0, 7.6, 8.0, 0.5, 0.6 / Room5, Opening
&HOLE XB= 21.9,22.0, 7.6, 8.0, 0.5, 0.6 / Room6, Opening

&OBST XB= 8.3, 9.2,-0.1, 0.0, 0.0, 2.0, COLOR='GOLD', SURF_ID='DOOR', CTRL_ID='ctrl_timer' / Room3, Door
&DEVC ID='TIMER', XYZ= 8.7, 0.0, 1.0, QUANTITY='TIME' /
&CTRL ID='ctrl_timer', FUNCTION_TYPE='CUSTOM', INPUT_ID='TIMER', RAMP_ID='cycle' /
&RAMP ID='cycle', T= 0.0, F= 1 /
&RAMP ID='cycle', T= 29.0, F= 1 /
&RAMP ID='cycle', T= 30.0, F=-1 /
&RAMP ID='cycle', T= 60.0, F=-1 /
&RAMP ID='cycle', T= 61.0, F= 1 /
&RAMP ID='cycle', T=600.0, F= 1 /

/ OPEN BOUNDARIES =====
&VENT XB= -3.1, -3.1, 0.0, 10.2, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Left Boundary
&VENT XB= -3.1, -2.1, 0.0, 0.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Left Boundary
&VENT XB= -3.1, -2.1, 0.0, 10.2, 2.5, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Left Boundary

&VENT XB= -3.1, 12.0, 10.2, 10.2, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top Boundary
&VENT XB= 12.0, 12.0, 9.2, 10.2, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top Boundary
&VENT XB= -2.1, 12.0, 9.2, 10.2, 2.5, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top Boundary

&VENT XB= 12.0, 24.0, 8.8, 8.8, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top Boundary
&VENT XB= 24.0, 24.0, 7.8, 8.8, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top Boundary
&VENT XB= 12.0, 24.0, 7.8, 8.8, 2.5, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Top Boundary

&VENT XB= 33.0, 33.0, 0.0, 1.8, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Right Boundary
&VENT XB= 32.0, 33.0, 0.0, 0.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Right Boundary
&VENT XB= 32.0, 33.0, 1.8, 1.8, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Right Boundary
&VENT XB= 32.0, 33.0, 0.0, 1.8, 2.5, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Right Boundary

&VENT XB= 0.0, 12.0, -7.0, -7.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Bottom Boundary
&VENT XB= 0.0, 0.0, -7.0, -6.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Bottom Boundary
&VENT XB= 12.0, 12.0, -7.0, -6.0, 0.0, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Bottom Boundary
&VENT XB= 0.0, 12.0, -7.0, -6.0, 2.5, 2.5, SURF_ID='OPEN' / Bottom Boundary

/ OPENINGS (NATURAL VENTILATION) =====

/ EXTRACTION SYSTEM =====

/ FIRE SCREEN =====

&OBST XB= 12.0,12.0, 0.0, 1.8, 2.1, 2.5, COLOR='GRAY ', SURF_ID='WALL' / Smoke Screen, Gang

/ SPRINKLER SYSTEM =====

/ SLICE FILES =====

&SLCF PBX= 0.9, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBX= 0.9, QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE /
&SLCF PBX= 0.9, QUANTITY='PRESSURE', VECTOR=.TRUE /

```

```
&SLCF PBZ= 2.1, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE /  
&SLCF PBZ= 2.1, QUANTITY='VELOCITY' , VECTOR=.TRUE /  
&SLCF PBZ= 2.1, QUANTITY='PRESSURE' , VECTOR=.TRUE /
```

```
/ DEVICES (EXP) =====
```

```
/ DEVICES (EXTRA) =====
```

```
&DEVC ID='PR_COMM' , XYZ= 7.0, 4.6, 1.5, QUANTITY='PRESSURE'/  
&DEVC ID='PR_GANG' , XYZ= 22.0, 0.9, 1.5, QUANTITY='PRESSURE'/  
&DEVC ID='PR_ROOM1' , XYZ= 2.0, -3.0, 1.5, QUANTITY='PRESSURE'/  
&DEVC ID='PR_ROOM2' , XYZ= 6.0, -3.0, 1.5, QUANTITY='PRESSURE'/  
&DEVC ID='PR_ROOM3' , XYZ= 10.0, -3.0, 1.5, QUANTITY='PRESSURE'/  
&DEVC ID='PR_ROOM4' , XYZ= 14.0, 4.8, 1.5, QUANTITY='PRESSURE'/  
&DEVC ID='PR_ROOM5' , XYZ= 18.0, 4.8, 1.5, QUANTITY='PRESSURE'/  
&DEVC ID='PR_ROOM6' , XYZ= 22.0, 4.8, 1.5, QUANTITY='PRESSURE'/
```

```
/ =====
```

```
&TAIL /
```

