

INNOVATIEVE TOEPASSING VAN ROOKBEHEERSING IN WOONZORGGEBOUWEN: BRANDPROEVEN EN ANALYSE

PROJECT nr. VIPA/2019/64



STUDIE UITGEVOERD DOOR

WFRGENT NV
OTTERGEMSESTEENWEG-ZUID 711
9000 GENT

warringtonfire
Proud to be part of 

IN OPDRACHT VAN

HET VLAAMS INFRASTRUCTUURFONDS VOOR
PERSOONSgebonden AANGELEGENHEDEN (VIPA)
&
DEPARTEMENT ECONOMIE, WETENSCHAP & INNOVATIE (EWI)

 **Vlaanderen**
is zorgzaam samenleven

IN SAMENWERKING MET

 **etex** inspiring ways
of living

 **theuma**
doors & frames



 BELGIAN FIRE
SPRINKLER NETWORK

 **Kingspan**
Light + Air

 **Verenigde
Sprinkler Industrie**
vereniging van sprinklerproducenten

 **LYBOVER**
and the world of technology
Keller Bauwille

 EUROPEAN FIRE
SPRINKLER NETWORK

INHOUD

1	Inleiding.....	5
1.1	Eerste VIPA-studie.....	5
1.2	Noodzaak voor bijkomend onderzoek.....	5
1.3	Doelstelling van deze studie.....	7
1.4	Onderzoeksmethodologie.....	7
1.5	Werking en samenstelling van de stuurgroep.....	8
1.6	Werking en samenstelling van de projectgroep.....	9
1.7	Dankwoord.....	10
2	Rookbeheersing.....	11
2.1	Vooropgestelde veiligheidsniveau.....	11
2.2	Definitie van ‘Rookbeheersing’.....	12
2.3	Creëren van een rookvrije evacuatiweg in de brandruimte.....	13
2.4	Verhinderen van rookverspreiding (en verspreiding van andere toxische gassen) naar aanliggende compartimenten.....	16
2.5	Rookvrij maken van de brandruimte (= evacuatiweg).....	18
2.6	Opbouw rookbeheersingssysteem (= residentieel rookbeheersingssysteem).....	20
3	Proefopstelling van de grootschalige brandproeven.....	23
3.1	Algemene proefopstelling.....	23
3.2	Brandhaard.....	26
3.3	Actieve brandveiligheidsmaatregelen.....	28
3.4	Passieve brandveiligheidsmaatregelen.....	35
3.5	Metingen.....	36
3.6	Luchtdichtheid.....	39
4	Grootschalige brandproeven.....	41
4.1	Proef 1: “Nulproef”.....	41
4.2	Proef 2: Toepassing van een brandschermb (tot 0,9 m boven de grond).....	50
4.3	Proef 3: Toepassing van een brandschermb (volledig naar beneden).....	58
4.4	Proef 4: Toepassing van een regelbaar rookbeheersingssysteem.....	67
4.5	Proef 5: Toepassing van een automatische blussing.....	77
5	Bijkomende CFD-simulaties.....	89

5.1	Inleiding.....	89
5.2	Rookbeheersingssysteem teneinde rookverspreiding te verhinderen	90
5.3	Rookbeheersingssysteem gebruik makend van een brandschermbreedte tot op een hoogte van max. 1 m.....	127
5.4	Duidelijke scheiding tussen de rooklaag en de omgevingslucht (= rookvrije hoogte)	135
6	Conclusies.....	140
6.1	Rookbeheersing.....	140
6.2	Invloed van de luchtdichtheid van de brandruimte op de rookverspreiding.....	141
6.3	Evacuatie doorheen een brandruimte	142
6.4	Verhinderen van rookverspreiding (en verspreiding van andere toxische gassen) naar aanliggende compartimenten	143
6.5	Rookvrij maken van de brandruimte	144
7	Bronnen.....	145
8	Bijlagen (Metingen tijdens de grootschalige brandproeven).....	146
8.1	Proef 1: “Nulproef”	146
8.2	Proef 2: Toepassing van een brandschermbreedte (tot 0,9 m boven de grond)	149
8.3	Proef 3: Toepassing van een brandschermbreedte (volledig naar beneden)	153
8.4	Proef 4: Toepassing van een regelbaar rookbeheersingssysteem	158
8.5	Proef 5: Toepassing van een automatische blussing	163

1 INLEIDING

1.1 EERSTE VIPA-STUDIE

In 2014 werd een studie uitgeschreven door het Vlaams Infrastructuurfonds voor Persoonsgebonden Aangelegenheden (VIPA) met als onderwerp “Brandveiligheid in ouderenvoorzieningen: Onderzoek naar de doelmatigheid van alternatieve brandveiligheidsmaatregelen bij nieuwe zorgconcepten” ([link website](#) [1]).

Deze eerste VIPA-studie werd uitgevoerd door WFRGent nv en Universiteit Gent en had tot doel na te gaan welke invloed actieve en passieve brandveiligheidsmaatregelen hebben op de rookverspreiding in het geval van een brand in een gemeenschappelijke ruimte die open is naar de evacuatieweg. De actuele voorschriften vereisen immers een brandwerende scheiding tussen de gemeenschappelijke ruimte en de evacuatieweg.

Op basis van de resultaten van grootschalige proeven, aangevuld met bijkomende CFD-simulaties (CFD: Computational Fluid Dynamics), werden de brandveiligheidsmaatregelen voorgesteld in functie van de locatie van de individuele kamers en van de evacuatiestrategie (die ofwel een (onmiddellijke) evacuatie uit de kamer ofwel een “Defend in Place” (= uitgestelde evacuatie) is). Zowel kamers uitgevend op de gemeenschappelijke ruimte als kamers uitgevend op een van de brand gecompartmenteerde evacuatieweg werden onderzocht.

De studie heeft aldus geresulteerd in het opstellen van een beoordelingskader (zie § 6.6 en § 7.4 in bovenvermelde studie [2]) gebaseerd op bovengenoemd wetenschappelijk onderzoek, dat door de Vlaamse overheid aangewend wordt als onderbouwing voor het toekennen van afwijkingen op de wetgeving i.v.m. ouderenvoorzieningen.

1.2 NOODZAAK VOOR BIJKOMEND ONDERZOEK

1.2.1 Behoeften van de zorgsector inzake brandveiligheid

Na de (eerste) VIPA-studie werd een bijkomende studie uitgevoerd in opdracht van het Programma Innovatieve Overheidsopdrachten (PIO) met als titel “Beoordelingskader voor brandveiligheid in de zorgsector – Eindverslag Behoeftanalyse”.

Tijdens bovenvermelde studie werd een behoeftenanalyse uitgevoerd en werd er duidelijk in kaart gebracht op welke maatregelen of technologieën de verschillende stakeholders (ontwerpers, uitbaters van zorgcentra, brandweer,...) het meest willen inzetten inzake brandveiligheid, los van de bestaande regelgeving. De scores van verschillende case studies werden gepresenteerd aan de hand van een overzichtstabel, met een indeling volgens type bewoner en type gebouw. Bij de conclusies hiervan werd bij rookbeheersing telkens hoog gescoord, omdat dit – volgens deze bijkomende studie - een belangrijke technologie is om beide evacuatiestrategieën (onmiddellijke evacuatie of “Defend in place”) succesvol te laten verlopen.

Een tweede score-categorie werd gebruikt om de maatregelen te evalueren waar men graag meer zou op inzetten, maar waar er twijfels zijn over de technische haalbaarheid en betaalbaarheid van de case studies. Ook rookbeheersing scoorde hier opnieuw hoog.

Zo werd duidelijk dat er rond rookbeheersing heel veel interesse is. Verder onderzoek rond de effectiviteit van deze maatregelen zou – volgens deze bijkomende studie – dus zeker van groot nut zijn.

1.2.2 “Defend in Place” strategie: altijd toepasbaar?

Na de voltooiing van de eerste VIPA-studie werden talrijke lezingen gegeven in zowel Vlaanderen (Fire Forum Congres (Brussel – 24/11/2016), Infodag VIPA (Leuven – 08/03/2017), PREBES PRENNE (Edegem – 21/09/2017) en BFSN-studiedag (Asse – 12/10/2017)) als in Nederland (IFV Fire Safety & Science Congres – (Arnhem – 08/11/2017 en 14/11/2018)) waarbij telkens kon vastgesteld worden dat er een enorme interesse was omtrent de resultaten en conclusies van deze studie.

Één van de meest gestelde vragen/bemerkingen tijdens deze lezingen was hoe een “Defend in Place” strategie kan gegarandeerd worden, m.a.w. hoe kan gegarandeerd worden dat een persoon gedurende minstens 15 à 20 minuten in zijn/haar kamer zal blijven in geval van een brand(alarm) en dat deze zal wachten tot de brandweer hem/haar komt halen. Hierbij moet bovendien de brandruimte rookvrij gemaakt worden door de brandweer of moet de evacuatie van buiten uit gebeuren.

Indien deze garantie niet kan gegeven worden, gezien de onvoorspelbaarheid van het menselijke gedrag in geval van brand, is een evacuatie doorheen de brandruimte de enige manier om te evacueren en is er dus een rookvrije evacuatieweg noodzakelijk.

Bovengenoemde vraag i.v.m. de haalbaarheid van een “Defend in Place” strategie werd zowel in Vlaanderen als in Nederland gesteld.

1.3 DOELSTELLING VAN DEZE STUDIE

Deze (tweede) VIPA-studie dient gezien te worden als onderdeel van een grootschalige studie [3] waarbij een totaal brandveiligheidsconcept van woonzorggebouwen uitgewerkt zal worden en dit in functie van de gekozen evacuatiestrategie en van het type bewoner aanwezig in het woonzorggebouw.

Het finale beoordelingskader hiervoor zal niet enkel aangewend kunnen worden voor woonzorggebouwen, maar evengoed voor alle zorgfaciliteiten met gelijkaardige configuraties, nl. gemeenschappelijke ruimtes die zich in een evacuatieweg bevinden. Evenzo wordt dan niet enkel de brandveiligheid in geval van ouderen bekeken, maar kan dit eveneens op alle types bewoners (met name zelfredzamen of niet-zelfredzamen, jongeren, volwassenen en ouderen) toegepast worden.

Teneinde een adequaat beoordelingskader te kunnen opstellen, is het noodzakelijk de doeltreffendheid van maatregelen voor rookbeheersing in kaart te brengen. Tijdens deze studie zullen aldus verschillende innovatieve toepassingen van rookbeheersing onderzocht worden en zal bepaald worden voor welke evacuatiestrategieën ze al dan niet kunnen ingezet worden.

1.4 ONDERZOEKSMETHODOLOGIE

In de eerste fase van de studie zullen vijf grootschalige brandproeven uitgevoerd worden. Tijdens deze grootschalige proeven zal het effect van de systemen/technieken omtrent rookbeheersing onderzocht worden op een nagebouwde situatie in labo-omstandigheden, waarbij een op voorhand gedefinieerd brandscenario in de praktijk getest wordt.

Deze proeven zijn noodzakelijk teneinde de doeltreffendheid van de actieve en passieve brandveiligheidssystemen te onderzoeken. Tijdens de grootschalige proeven zal – ter aanvulling van de (eerste) VIPA-studie – de doelmatigheid van een rookbeheersingssysteem (al dan niet in combinatie met een automatisch blussysteem) onderzocht worden. Bovendien zal de doeltreffendheid van rookwerende deuren – in geval van een grote overdruk - in de praktijk onderzocht worden.

In een tweede fase zullen CFD-simulaties (CFD: Computational Fluid Dynamics) uitgevoerd worden. Aangezien niet alle mogelijke configuraties van het rookbeheersingssysteem in de praktijk kunnen getest worden, zullen CFD-simulaties uitgevoerd worden om enerzijds de invloed op de te onderzoeken parameters (bv. drukverschil, zichtbaarheid,...) te onderzoeken en anderzijds vast te leggen onder welke randvoorwaarden het rookbeheersingssysteem kan aangewend worden.

In een derde en laatste fase zal het toepassingsdomein van het rookbeheersingssysteem gedefinieerd worden. Dit zal gebeuren op basis van de resultaten bekomen tijdens de grootschalige brandproeven en van de CFD-simulaties. In deze fase zal ook toegelicht worden welke parameters een invloed hebben op de doeltreffendheid van het rookbeheersingssysteem.

1.5 WERKING EN SAMENSTELLING VAN DE STUURGROEP

Het onderzoek is begeleid door de aanbestedende overheden (VIPA en EWI), bijgestaan door een stuurgroep.

Het brandprogramma (i.e. de finale set-up en de brandscenario's), de scope en validatie van de bijkomende CFD-simulaties evenals het ontwerpeindrapport zijn voor advies voorgelegd aan de stuurgroep die samengeroepen en samengesteld is door de aanbestedende overheden.

De samenstelling van de stuurgroep wordt hieronder weergegeven:

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

1.6 WERKING EN SAMENSTELLING VAN DE PROJECTGROEP

De taak van de projectgroep bestaat erin systemen/technieken te ontwerpen om rookbeheersing in woonzorggebouwen mogelijk te maken. Hierbij zal rekening gehouden worden met het feit dat er voor de componenten en/of de configuratie van de aangewende brandveiligheidssystemen gerefereerd kan worden naar bestaande Belgische en/of Europese normen/voorschriften. Bovendien zal er vermeden worden dat voor het systeem/de techniek slechts één aanbieder beschikbaar is en wordt er uiteraard ook rekening gehouden met de specifieke context van een woonzorggebouw.

De projectgroep is in eerste instantie samengesteld uit een brede vertegenwoordiging van bedrijven actief op het gebied van rookbeheersing. Aangezien dit vooral bedrijven betreft die gespecialiseerd zijn in het ontwerpen en/of plaatsen van Rook- en Warmte-Afvoersystemen, is dus vooral de RWA-industrie hierin vertegenwoordigd, zoals hieronder weergegeven:

- Etex Building Performance (producent);
- Keller (ontwerper en installateur);
- Kingspan Light & Air (ontwerper en installateur);
- Rf-Technologies (producent).

Eveneens is beroep gedaan op een brede vertegenwoordiging van bedrijven actief op het gebied van sprinklersystemen en dit in het kader van de grootschalige brandproef waarbij een rookbeheersingssysteem in combinatie met een sprinklersysteem getest is. De betreffende bedrijven worden hieronder weergegeven:

- het Belgian Fire Sprinkler Network (BFSN);
- Het European Fire Sprinkler Network (EFSN);
- de Federatie Veilig Nederland sectie Verenigde Sprinklerindustrie (VSI).

Bovenvermelde bedrijven vormen dan ook de projectgroep van deze studie.

1.7 DANKWOORD

WFRGent nv wenst uitdrukkelijk onderstaande partijen te bedanken voor hun essentiële bijdrage aan dit grootschalig project:

- alle leden van de projectgroep, voor hun financiële en materiële bijdrage aan deze studie:
 - Etex Building Performance;
 - Keller;
 - Kingspan Light & Air;
 - Rf-Technologies;
 - het Belgian Fire Sprinkler Network (BFSN);
 - het European Fire Sprinkler Network (EFSN);
 - de Federatie Veilig Nederland sectie Verenigde Sprinklerindustrie (VSI).
- Theuma nv, voor het leveren van alle deuren die onderdeel uitmaakten van de studie;
- Etex Building Performance, voor het aanleveren van de platen noodzakelijk voor de opbouw van de proefopstelling;
- het personeel van WFRGent, voor het voorbereiden en uitvoeren van de grootschalige brandproeven.

2 ROOKBEHEERSING

2.1 VOOROPGESTELDE 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.

Het bepalen van het vooropgestelde veiligheidsniveau is eveneens behandeld in de studie [3], waarbij de stuurgroep in deze studie van mening is dat een dergelijke tabel niet zal aangewend worden 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 [2], is de stuurgroep van de studie [3] van mening dat het vermijden van elke blootstelling een te streng criterium is. Blootstelling aan rook dient wel zo veel mogelijk vermeden dient 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 sprinklersysteem 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 assistierend personeel en de brandweer. Dergelijke gassen zijn bovendien niet altijd zichtbaar.

Conclusie:

Op basis van bovenstaande heeft de stuurgroep van de studie [3] 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 evacuatiweg’ wordt gedefinieerd als een evacuatiweg met maximaal dergelijke ‘beperkte blootstelling’ tijdens de evacuatie.

2.2 DEFINITIE VAN ‘ROOKBEHEERSING’

Tijdens een evacuatie dient er steeds voor gezorgd te worden dat de evacuerende personen niet blootgesteld worden aan de gevolgen van een brand, in het bijzonder blootstelling aan rook en andere toxische componenten van de brandhaard.

Deze evacuatie kan op twee manieren gebeuren:

- *onmiddellijke evacuatie*: de evacuatie begint onmiddellijk van zodra het brandalarm gegeven wordt;
- *uitgestelde evacuatie of Defend in Place*: van zodra het brandalarm gegeven 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.

Ter info: In Nederland is ‘Defend in Place’ beter gekend als het ‘Stay in Place’ principe.

In de context van deze studie en het vooropgestelde veiligheidsniveau kan rookbeheersing aldus gedefinieerd worden als *het garanderen van een rookvrije evacuatie door middel van actieve en/of passieve brandveiligheidsmaatregelen*.

In functie van de gekozen evacuatiestrategie, i.e. een onmiddellijke evacuatie of een Defend in Place, zullen verschillende brandveiligheidsmaatregelen toegepast worden.

In deze VIPA-studie zal rookbeheersing onderzocht worden in het kader van onderstaande drie toepassingen:

- Creëren van een rookvrije evacuatiweg in de brandruimte
Deze toepassing van rookbeheersing kan aangewend worden in geval van een onmiddellijke evacuatie indien de kamer van de bewoner uitgaat op de brandruimte.
Indien de brandruimte in verbinding is met andere compartimenten, kan deze toepassing eveneens aangewend worden in geval van een Defend in Place.
Deze toepassing wordt in detail besproken in § 2.3.
- Verhindern van rookverspreiding (en verspreiding van andere toxische gassen) naar aanliggende compartimenten
Deze toepassing van rookbeheersing kan aangewend worden in geval van een Defend in Place.
Deze toepassing wordt in detail besproken in § 2.4.
- Rookvrij maken van de brandruimte (= evacuatiweg)
Deze toepassing van rookbeheersing kan aangewend worden in geval van een Defend in Place.
Deze toepassing wordt in detail besproken in § 2.5.

2.3 CREËREN VAN EEN ROOKVRIJE EVACUATIEWEG IN DE BRANDRUIMTE

2.3.1 Principe

De praktijktesten in de eerste VIPA-studie hebben aangetoond dat - in geval van brand - de gemeenschappelijke ruimte (= de brandruimte) zeer snel gevuld wordt met een enorme hoeveelheid rook. Om die reden kan - rekening houdend met het vooropgestelde veiligheidsniveau - geen onmiddellijke evacuatie bekomen worden indien de kamer van de bewoner rechtstreeks uitgaat op deze gemeenschappelijke ruimte.

Teneinde een rookvrije evacuatiweg in de gemeenschappelijke ruimte (= de brandruimte) te bekomen, zal gebruik gemaakt worden van een brandscherm (dat aangebracht is in het plafond). In geval van brand zal dit brandscherm naar beneden gaan en kan deze ofwel stoppen op een vooropgestelde hoogte boven de grond (bv. indien obstakels aanwezig zijn in de ruimte) ofwel volledig naar beneden gaan.

Op die manier wordt een (rookvrije) scheiding gecreëerd tussen de gemeenschappelijke ruimte (= de brandruimte) en de kamer van de bewoner, waardoor het voor deze laatste mogelijk is om te evacueren tijdens een brand in de gemeenschappelijke ruimte.

Het rookbeheersingssysteem zal ervoor zorgen dat de rook binnen de grenzen van de brandruimte (maar buiten de gecreëerde evacuatiweg) blijft.

2.3.2 Werking

Afhankelijk van de positie van het brandscherm ten opzichte van de grond zal de rookvrije evacuatiweg als volgt bekomen worden:

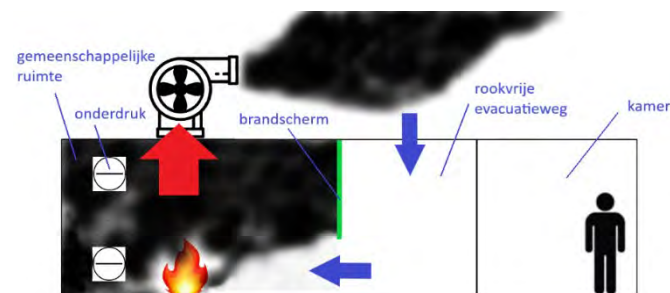
- Brandscherm tot op een hoogte boven de grond

Nadat het brandscherm in zijn finale positie geplaatst is, wordt het rookbeheersingssysteem geactiveerd. In deze toepassing bevinden toevoeropeningen zich in de gecreëerde evacuatiweg en afvoeropeningen in de gemeenschappelijke ruimte (= brandruimte). Hierdoor wordt een luchtstroom gegenereerd die de rook in de brandruimte houdt. De toevoeropeningen kunnen zowel in het plafond als in de muur toegepast worden. De afvoeropeningen kunnen zowel in het plafond als bovenaan in de muur toegepast worden.

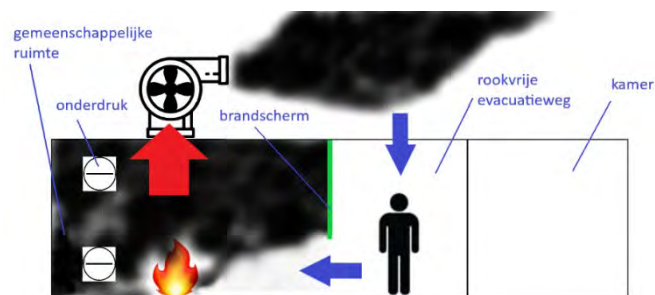
Deze toepassing van het rookbeheersingssysteem wordt schematisch weergegeven in de onderstaande figuren:



Gemeenschappelijke ruimte (= brandruimte) volledig gevuld met rook: een onmiddellijke evacuatie uit de kamer is niet mogelijk



Creëren van een rookvrije evacuatiweg door activatie van het brandscherm en het rookbeheersingssysteem



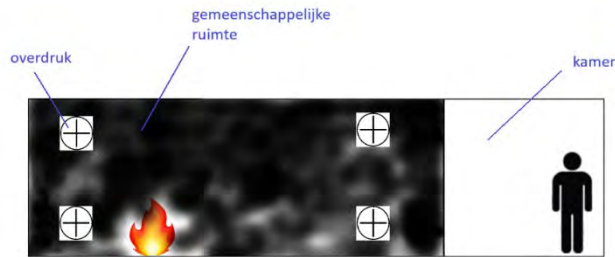
Evacuatie uit de kamer doorheen de gecreëerde rookvrije evacuatiweg

Figuur 1: Schematische voorstelling van de toepassing van een brandscherm tot op een hoogte boven de grond

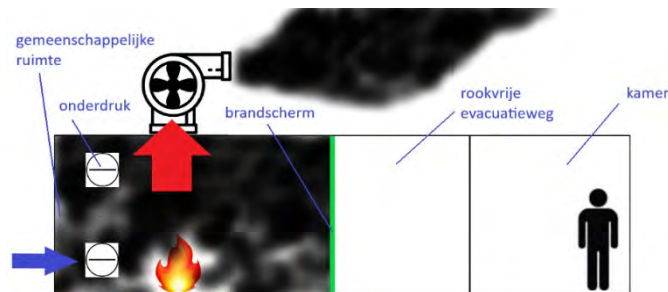
- Brandscherm volledig naar beneden

Nadat het brandscherm in zijn finale positie geplaatst is, wordt het rookbeheersingssysteem geactiveerd. In deze toepassing bevinden zowel de toevoer- als de afvoeropeningen zich in de gemeenschappelijke ruimte (= brandruimte). De toevoeropeningen kunnen zowel in het plafond als onderaan/bovenaan in de muur toegepast worden. De afvoeropeningen kunnen zowel in het plafond als bovenaan in de muur toegepast worden.

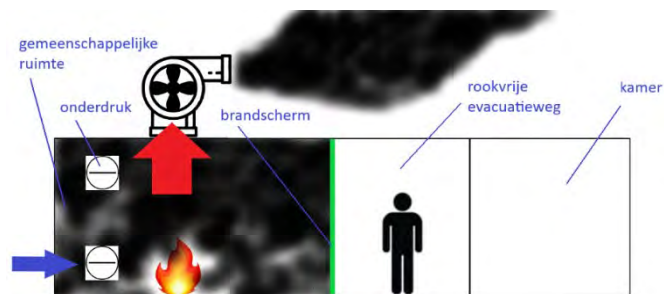
Deze toepassing van het rookbeheersingssysteem wordt schematisch weergegeven in de onderstaande figuren:



Gemeenschappelijke ruimte (= brandruimte) volledig gevuld met rook: een onmiddellijke evacuatie uit de kamer is niet mogelijk



Creëren van een rookvrije evacuatiweg door activatie van het brandscherm en het rookbeheersingssysteem



Evacuatie uit de kamer doorheen de gecreëerde rookvrije evacuatiweg

Figuur 2: Schematische voorstelling van de toepassing van een brandscherm volledig tot beneden

2.3.3 Evacuatiestrategie

Door het creëren van een rookvrije evacuatieweg in de gemeenschappelijke ruimte (= brandruimte), kan deze toepassing van het rookbeheersingssysteem aangewend worden in geval van een onmiddellijke evacuatie indien de kamer van de bewoner uitgaat op de gemeenschappelijke ruimte.

Indien de gemeenschappelijke ruimte (= brandruimte) in verbinding is met andere compartimenten (bv. door het ventilatiesysteem, deuren, ...) kan het rookbeheersingssysteem voor een onderdruk in de brandruimte zorgen (zie § 2.4), zodat deze toepassing eveneens kan aangewend worden in geval van een Defend in Place.

2.4 VERHINDEREN VAN ROOKVERSPREIDING (EN VERSPREIDING VAN ANDERE TOXISCHE GASSEN) NAAR AANLIGGENDE COMPARTIMENTEN

2.4.1 Principe

De praktijktesten in de eerste VIPA-studie hebben eveneens aangetoond dat elke overdruk in de brandruimte zal resulteren in rookverspreiding naar een aanliggend compartiment. De grootte van het drukverschil zal bepalen met welke snelheid de rook zich zal verspreiden. Zo is aangetoond dat veel grotere overdrukken bekomen worden in zeer luchtdichte gebouwen in vergelijking met minder luchtdichte gebouwen.

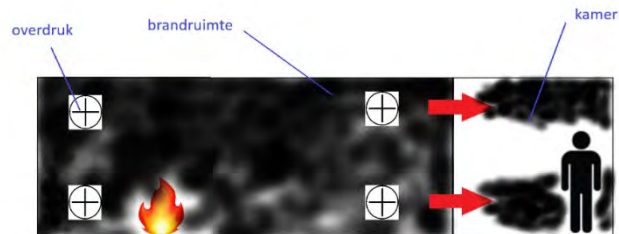
Dergelijke rookverspreiding is uiteraard nefast voor de bewoners die in de kamer dienen te blijven indien een Defend in Place als evacuatiestrategie toegepast wordt.

Om dergelijke rookverspreiding te verhinderen, dient een onderdruk in de brandruimte gerealiseerd te worden. Op die manier is er geen rookverspreiding naar aanliggende compartimenten mogelijk en kan de bewoner in een rookvrije omgeving op de evacuatie wachten.

Het rookbeheersingssysteem zal ervoor zorgen dat de rook binnen de grenzen van de brandruimte blijft.

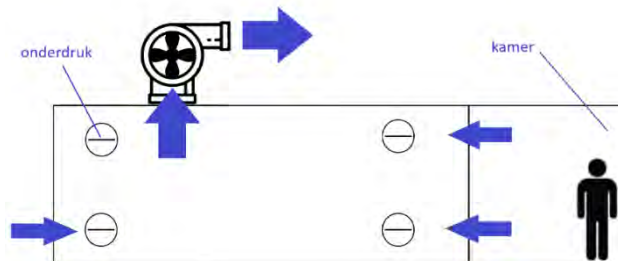
2.4.2 Werking

Onder invloed van een brand wordt een overdruk (= positief drukverschil) in de brandruimte t.o.v. een aanliggend compartiment gerealiseerd zoals hieronder weergegeven. Hierdoor wordt rook uit de brandruimte naar aanliggende compartimenten “geduwd” ter plaatse van de openingen tussen beide ruimtes.



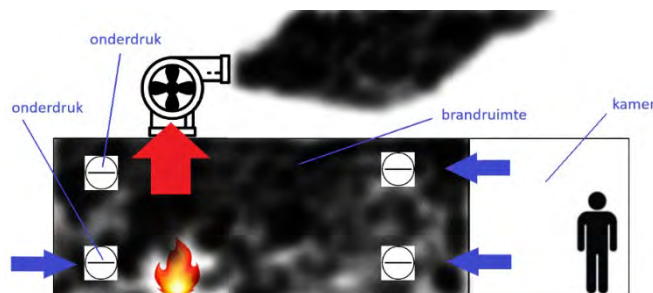
Figuur 3: Rookverspreiding vanuit de brandruimte naar aanliggende compartimenten onder invloed van overdruk (= positief drukverschil)

Door de toepassing van een rookbeheersingssysteem wordt in de ruimte een onderdruk (= negatief drukverschil) gerealiseerd zoals hieronder weergegeven. Hierdoor wordt verhinderd dat de lucht in de ruimte naar de aanliggende compartimenten verplaatst wordt.



Figuur 4: Creëren van een onderdruk in de ruimte door toepassing van een rookbeheersingssysteem

Door de toepassing van een rookbeheersingssysteem tijdens een brand, wordt er dus naar gestreefd om een onderdruk in de ruimte te creëren, waardoor de rook in de brandruimte blijft en niet naar aanliggende compartimenten zal geduwd worden. Dit wordt meer in detail behandeld in § 5.2.



Figuur 5: Toepassing van een rookbeheersingssysteem dat in geval van brand een onderdruk creëert in de volledige ruimte

2.4.3 Evacuatiestrategie

Door het verhinderen van rookverspreiding vanuit de brandruimte naar aanliggende compartimenten, kan deze toepassing van het rookbeheersingssysteem aangewend worden in geval van een Defend in Place.

2.5 ROOKVRIJ MAKEN VAN DE BRANDRUIMTE (= EVACUATIEWEG)

2.5.1 Principe

In functie van de fase van een brand kan rook zich in een ruimte op twee manieren manifesteren:

- In de beginfase van een brand is de rookontwikkeling en het brandvermogen eerder gering waardoor het mogelijk is om duidelijke scheiding te bekomen tussen een uniforme “toxische” rooklaag bovenaan en de onderliggende “zuivere” omgevingslucht.

Indien in deze fase van de brand een rookbeheersingssysteem toegepast wordt, zal dus vooral getracht worden om een constante minimale rookvrije hoogte te bekomen in de brandruimte.

- Tijdens de verdere ontwikkeling van de brand zal de toenemende rookontwikkeling – in combinatie met een lage gebruikshoogte - er echter voor zorgen dat de ruimte zich snel zal vullen met rook.

In deze fase van de brand zal de toepassing van een rookbeheersingssysteem niet kunnen verhinderen dat de zuivere omgevingslucht gemengd wordt met de rooklaag. Enkel indien er geen rookproductie meer plaatsvindt (i.e. de brand is volledig geblust), kan een rookbeheersingssysteem er voor zorgen dat de aanwezige verontreinigde lucht (toxische gassen en verbrandingsstoffen) binnen een vooropgestelde tijd (bv. na 3 à 5 minuten) ververst wordt door “schone” lucht.

2.5.2 Werking

Indien de rookontwikkeling en het brandvermogen eerder gering zijn, kan een rookbeheersingssysteem er voor zorgen dat een minimale rookvrije hoogte bekomen wordt.

Indien de brand volledig geblust is, kan door het opleggen van een bepaald verversingsdebiet bekomen worden dat een ruimte snel rookvrij kan gemaakt worden.

Indien de brand niet volledig geblust is en er dus nog een (geringe) rookproductie plaatsvindt, kan een rookbeheersingssysteem er voor zorgen dat enerzijds de brandruimte (= evacuatie weg) in onderdruk geplaatst wordt (zie ook § 2.4) zodat de actie van de brandweer tijdens hun interventie – in geval van een (zeer) luchtdichte brandruimte - geen verdere rookverspreiding zal veroorzaken (zie verder in § 2.5.3), maar ook anderzijds dat de zichtbaarheid in de brandruimte verbeterd wordt zodat de brandweer de brand volledig kan blussen.

2.5.3 Evacuatiestrategie

In geval van een Defend in Place is een interventie van de brandweer essentieel in het bekomen van een succesvolle evacuatie. De toepassing van een rookbeheersingssysteem kan een belangrijk hulpmiddel zijn voor de brandweer tijdens hun interventie indien de evacuatiweg rookvrij dient gemaakt te worden.

Ter info :

Tijdens de grootschalige brandproeven uitgevoerd tijdens de IFV-studie [4] is vastgesteld dat - in geval van een zeer luchtdichte brandruimte (= brandruimte) - elke actie van de brandweer verdere rookverspreiding kan veroorzaken. Niet alleen het lopen door een met rook gevulde ruimte, maar ook het openen en sluiten van deuren evenals blusacties kunnen allemaal in bepaalde mate leiden tot rookverspreiding naar aanliggende compartimenten. Vooral het gebruik van een overdrukventilator om de rook uit de brandruimte te verwijderen, is bijna altijd verantwoordelijk voor het verder verspreiden van rook (en andere toxische gassen) naar aanliggende compartimenten. Dergelijke situatie is uiteraard nefast in geval van een Defend in Place.

2.6 OPBOUW ROOKBEHEERSINGSSYSTEEM (= RESIDENTIEEL ROOKBEHEERSINGSSYSTEEM)

2.6.1 RWA-installatie

Een RWA-installatie (RWA: Rook en Warmte-Afvoer) heeft als doel de rook en warmte afkomstig van een brand af te voeren. Deze installatie kan bestaan uit RWA-ventilatoren en hun kanaalwerk, uit natuurlijke of mechanische luchttoevoeropeningen en uit (automatische) rook- of brandschermen.

De hoofdbedoeling van een RWA-installatie voor deze toepassing, i.e. in de context van een woonzorggebouw, is om de veilige ontruiming van de bewoners te verzekeren. Deze installatie kan eveneens ook een ondersteuning bieden aan de brandweer tijdens hun interventie.

Voor het ontwerp van een RWA-systeem zijn de volgende normen van toepassing (niet-exhaustieve lijst):

- NBN S21-208-1 Brandbeveiliging van gebouwen - Ontwerp en berekening van rook- en warmteafvoerinstallaties (RWA) - Deel 1: Grote onverdeelde ruimten met een bouwlaag;
- NBN EN 12101-1 Smoke and heat control systems – Part 1 : Specification for smoke barriers;
- NBN EN 12101-2 Smoke and heat control systems – Part 2 : Specification for natural smoke and heat exhaust ventilators;
- NBN EN 12101-3 Smoke and heat control systems – Part 3 : Specification for powered smoke and heat exhaust ventilators;
- NBN CEN/TR 12101-4 Smoke and heat control systems – Part 4 : Installed SHEVS systems for smoke and heat ventilation;
- CEN/TR 12101-5 Smoke and heat control systems – Part 5 : Guidelines on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat exhaust ventilators;
- NBN EN 12101-6 Smoke and heat control systems – Part 6 : Pressure differential systems - kits;
- NBN EN 12101-7 Smoke and heat control systems – Part 7 : Smoke duct sections;
- NBN EN 12101-8 Smoke and heat control systems – Part 8 : Smoke control dampers.

2.6.2 Ventilatiesysteem

Een ventilatiesysteem heeft als doel de lucht in een ruimte, die om wat voor reden dan ook vervuild of verontreinigd is, te vervangen door zuivere lucht. Het vervangen van de lucht kan op natuurlijke of mechanische manier te gebeuren. In woonzorggebouwen wordt er vooral gewerkt met systeem C (natuurlijk/mechanische toevoer – mechanische afvoer) of systeem D (mechanische toevoer – mechanische afvoer).

Voor het ontwerp van een ventilatiesysteem zijn de volgende normen van toepassing (niet-exhaustieve lijst):

- EPB-regelgeving: Bijlage X Ventilatievoorzieningen in niet-residentiële gebouwen: bepalingsmethode en eisen (Bijlage HVNR)
- NBN EN 16798-1 Energy performance of buildings – Ventilation for buildings – Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics – Module M1-6;
- CEN/TR 16798-2 Energy performance of buildings – Ventilation for buildings – Part 2: Interpretation of the requirements in EN 16798-1 - Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics – Module M1-6;
- NBN EN 16798-5-1 Energy performance of buildings – Ventilation for buildings – Part 5-1: Calculation methods for energy requirements of ventilation and air conditioning systems (Modules M5-6, M5-8, M6-5, M6-8, M7-5, M7-8)– Method 1: Distribution and generation;
- NBN EN 16798-5-2 Energy performance of buildings – Ventilation for buildings – Part 5-2: Calculation methods for energy requirements of ventilation systems ((Modules M5-6, M5-8, M6-5, M6-8, M7-5, M7-8)– Method 2: Distribution and generation.

2.6.3 Opbouw van het rookbeheersingssysteem (= “residentieel rookbeheersingssysteem”)

RWA-systemen zijn opgebouwd uit onderdelen die bestand zijn tegen hoge temperaturen en zijn vooral bedoeld om een duidelijke scheiding tussen de zuivere lucht en de rooklaag, i.e. een rookvrije hoogte, te bewerkstelligen.

Ventilatiesystemen zijn opgebouwd uit onderdelen die niet (altijd) bestand zijn tegen hoge temperaturen en zijn vooral bedoeld om een uniforme gecontroleerde verversing van verontreinigde lucht in een ruimte te bewerkstelligen.

De onderzochte configuraties van een woonzorggebouw kenmerken zich vooral door de geringe gebruikshoogte van de mogelijke brandruimte (= gemeenschappelijke ruimte - 1 bouwlaag). Door deze geringe gebruikshoogte bevinden de in deze studie toegepaste rookbeheersingssystemen zich buiten de scope van de bovenvermelde ontwerpnormen. Deze rookbeheersingssystemen zijn dus innovatief waardoor de geldende ontwerpnormensets hiervoor niet kunnen aangewend worden.

Om bovenstaande redenen en eveneens om duidelijk te maken dat deze toepassing van een rookbeheersingssysteem verschillend is ten opzichte van de gekende toepassingen van rookbeheersingssystemen (i.e. atria, industriegebouwen en parkeergarages), wordt het in deze studie toegepaste rookbeheersingssysteem eveneens “residentieel rookbeheersingssysteem” genoemd.

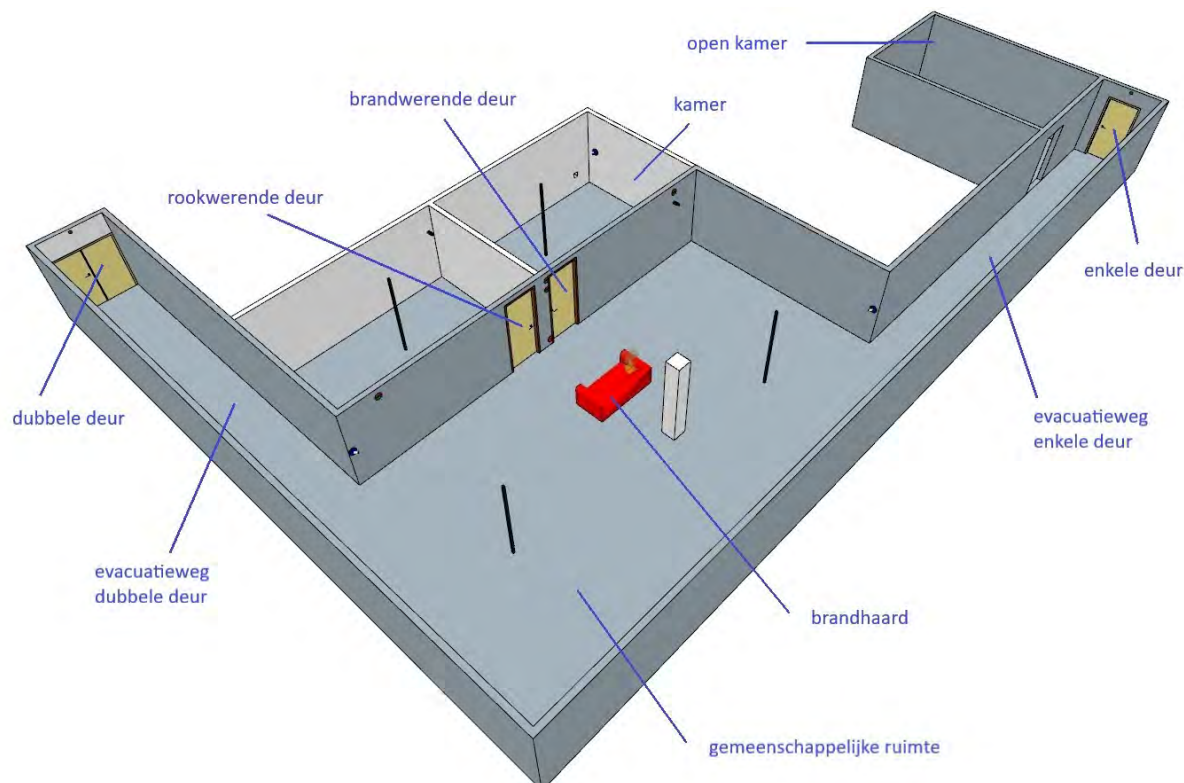
Voor het rookbeheersingssysteem wordt gebruik gemaakt van een natuurlijke toevoer en een mechanische afvoer.

Tijdens de studie zal onderzocht worden of er een interactie tussen beide systemen, i.e. een RWA-systeem en een ventilatiesysteem mogelijk is.

3 PROEFOPSTELLING VAN DE GROOTSCHALIGE BRANDPROEVEN

3.1 ALGEMENE PROEFOPSTELLING

De algemene proefopstelling van de grootschalige proeven is schematisch weergegeven in de onderstaande figuur:



Figuur 6: Schematische weergave van de proefopstelling

De algemene proefstelling is opgebouwd uit onderstaande ruimtes:

- een gemeenschappelijke ruimte (afmetingen: ca. 13,8 m x 7,8 m);
- een evacuatiweg (afmetingen: ca. 1,8 m x 10 m), aan het uiteinde voorzien van een dubbele deur;
- een evacuatiweg (afmetingen: ca. 1,8 m x 12 m), aan het uiteinde voorzien van een enkele deur. Een open kamer (afmetingen: ca. 6 m x 4 m) is in verbinding met deze evacuatiweg door middel van een opening (breedte x hoogte: ca. 1 m x 2 m) in de muur;
- twee kamers (afmetingen: ca. 6 m x 4 m), met de gemeenschappelijke ruimte verbonden door middel van ofwel een brandwerende ofwel een rookwerende deur. Elke kamer is voorzien van een opening (oppervlakte: ca. 265 cm²) naar de buitenomgeving toe. Deze opening bevindt zich op een afstand van 0,5 m boven de grond.

De proefopstelling is opgebouwd uit onderstaande materialen:

- de muren zijn opgebouwd uit cellenbeton (dikte: 150 mm), aan de zichtzijde voorzien van calciumsilicaatplaten (dikte: 10 mm);
- het opgehangen plafond is opgebouwd uit een houten raamwerk en calciumsilicaatplaten (dikte: 15 mm) en is aangebracht tussen de muren, zodat een gebruikshoogte van ca. 2,5 m gerealiseerd wordt;
- de deuren aan de uiteinden van de evacuatiewegen zijn standaard houten schilderdeuren. Aan het uiteinde van de ene evacuatieweg is een enkele deur (breedte x hoogte: ca. 0,9 m x 2 m) aangebracht, aan het uiteinde van de andere evacuatieweg een dubbele deur (breedte x hoogte: ca. 2 x 0,9 m x 2 m);
- in de kamers is ofwel een brandwerende deur ofwel een rookwerende deur aangebracht. Het grote verschil tussen beide deuren (breedte x hoogte: ca. 0,9 m x 2,3 m) is dat er bij de rookwerende deur een valdorpel onderaan de deurvleugel evenals een rubberen afdichting tussen de omlijsting en de deurvleugel aangebracht is;



Figuur 7: Rookwerende deur (valdorpel – links; rubberen afdichting – rechts)

- de brandhaard is centraal t.o.v. de rookwerende en de brandwerende deur geplaatst op een afstand van ca. 2 m van de muur (met de rookwerende en de brandwerende deur).

Enkele foto's van de proefopstelling zijn hieronder weergegeven:



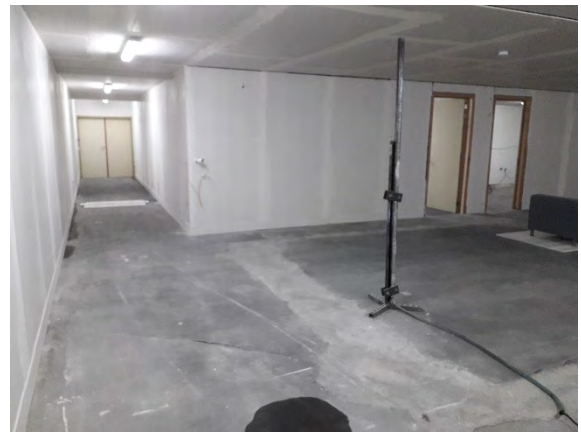
Gemeenschappelijke ruimte



Gemeenschappelijke ruimte



Gemeenschappelijke ruimte



Evacuatie weg met dubbele deur aan het uiteinde

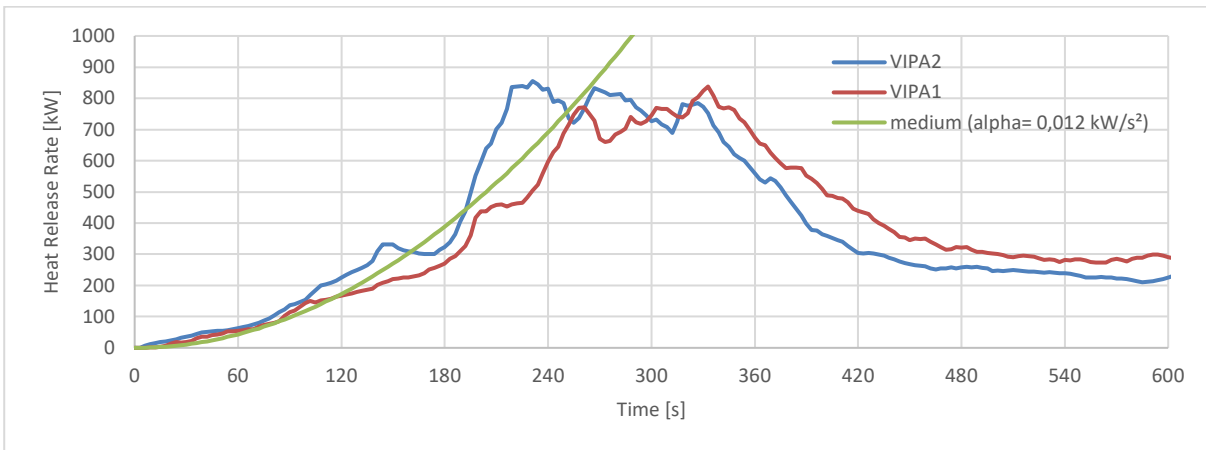
Figuur 8: Foto's van de proefopstelling

3.2 BRANDHAARD

Een tweezitsbank van het type KLIPPAN (lengte x breedte x hoogte: ca. 180 x 88 x 66 cm) is toegepast als brandhaard. De zetel is opgebouwd uit een houten kader, een vulling uit polyetherschuim, stalen veren en een hoes uit polyester. Als ontstekingsbron zijn zes in heptaan gedrenkte lage dichtheid vezelplaatblokjes gebruikt (ontstekingsbron zoals beschreven in de Europese beproevingsnorm CEN/TS 1187-3).

Om een inschatting te kunnen maken van de Heat Release Rate (HRR of "brandvermogen") van de brandhaard is - net zoals bij de eerste VIPA-studie (in onderstaande grafiek VIPA1 genoemd) - de zetel voorafgaand aan de praktijktesten in brand gestoken onder een afzuigkap zoals beschreven in de internationale norm ISO 9705 (Room Corner Test).

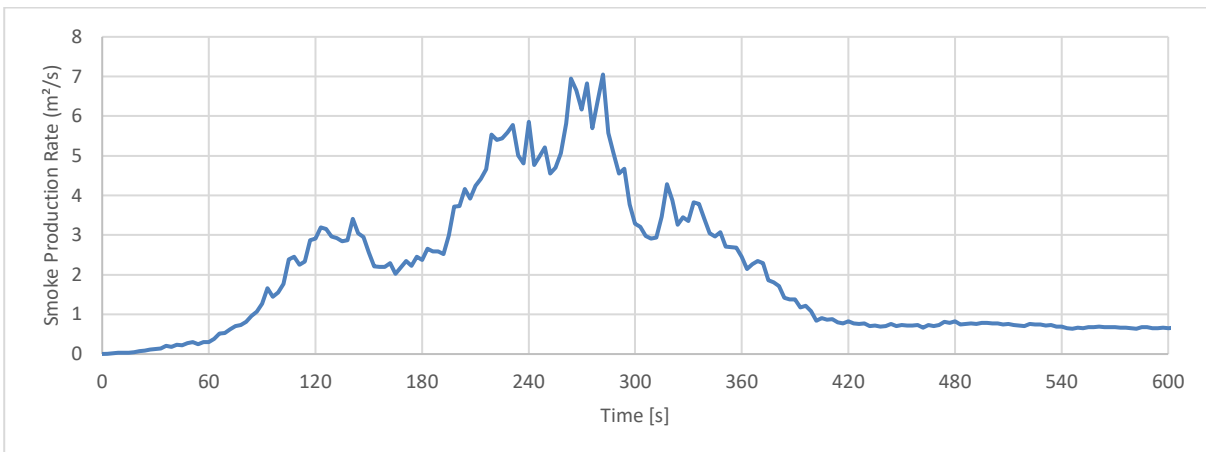
De gemeten Heat Release Rate van de zetel toegepast in de eerste VIPA-studie (in onderstaande grafiek VIPA1) en deze in de huidige VIPA-studie (in onderstaande grafiek VIPA2) zijn weergegeven in de onderstaande grafiek:



Figuur 9: Vergelijking tussen het brandvermogen van de zetels van VIPA1 en VIPA2

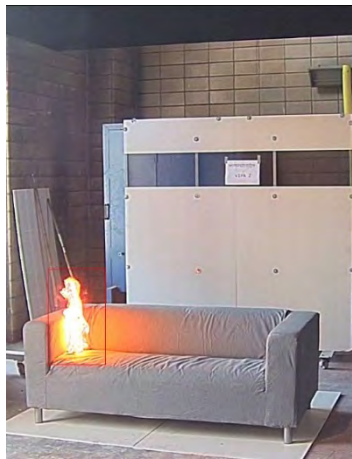
Uit de bovenstaande figuur kan afgeleid worden dat het brandvermogen van de zetels dicht aanleunt bij een medium αt^2 -curve, met een maximaal brandvermogen van ca. 800 kW.

De rookproductie van de zetel toegepast tijdens de huidige VIPA-studie is hieronder weergegeven:



Figuur 10: Rookproductie van de zetel van de huidige VIPA-studie

Het brandverloop van de zetel van de huidige VIPA-studie is weergegeven in de onderstaande figuren:



Na 0' 02''



Na 1' 00''



Na 2' 00''



Na 3' 00''



Na 4' 00''



Na 5' 00''



Na 6' 00''



Na 7' 00''



Na 8' 00''

Figuur 11: Brandverloop van de zetel van de huidige VIPA-studie

3.3 ACTIEVE BRANDVEILIGHEIDSMATREGELEN

3.3.1 Rookmelders

Tijdens de proeven zijn autonome optische rookmelders toegepast. In de praktijk zullen de rookmelders uiteraard gekoppeld worden aan een brandcentrale, doch tijdens de grootschalige brandproeven is het vooral de bedoeling om na te gaan na welke tijd de rookmelder geactiveerd wordt. De positie van de rookmelders is bepaald zoals voorgeschreven in de betreffende norm. Hierbij zijn twee rookmelders aangebracht in de gemeenschappelijke ruimte en telkens één in beide kamers.

Tijdens de eerste grootschalige brandproef (Proef 1 "Nulproef") zijn overal dezelfde rookmelders toegepast, nl. optische rookmelders van het type Alecto SA-19/1. Vanaf de tweede grootschalige brandproef is een ander type rookmelder in de gemeenschappelijke ruimte toegepast, nl. optische rookmelders van het type FHB-150 Midi.

De toegepaste rookmelders zijn weergegeven in de onderstaande figuur:

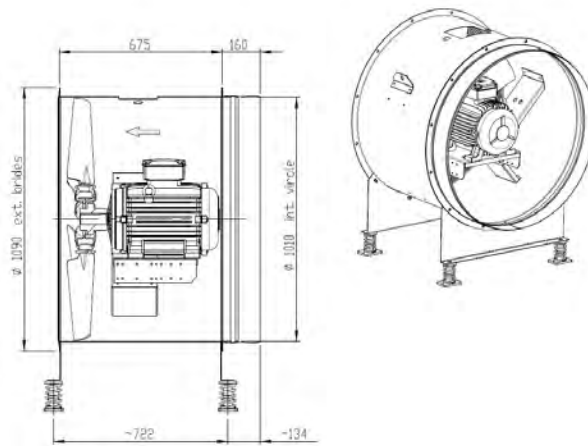


Figuur 12: Optische rookmelders van het type FHB-150 Midi (links op elke foto) en SA-19/1 (rechts op elke foto)

3.3.2 Rookbeheersingssysteem

Het rookbeheersingssysteem, aangewend tijdens de grootschalige brandproeven, is opgebouwd als volgt:

- een rechthoekig luchtkanaal (binnenafmetingen: ca. 1000 x 500 mm; lengte: ca. 8 m), opgebouwd uit PROMATECT-L 500 platen (dikte: 30 mm). Net vóór de aansluiting met de ventilator is een overgang voorzien teneinde binnenafmetingen te bekomen van 1000 x 1000 mm;
- een axiaal ventilator van het type 1000/6-9/31°/AL/4NALL (Ø 1000 mm; max. debiet (bij statisch drukverlies van 154 Pa): ca. 45.200 m³/h), zoals weergegeven in de onderstaande figuur:



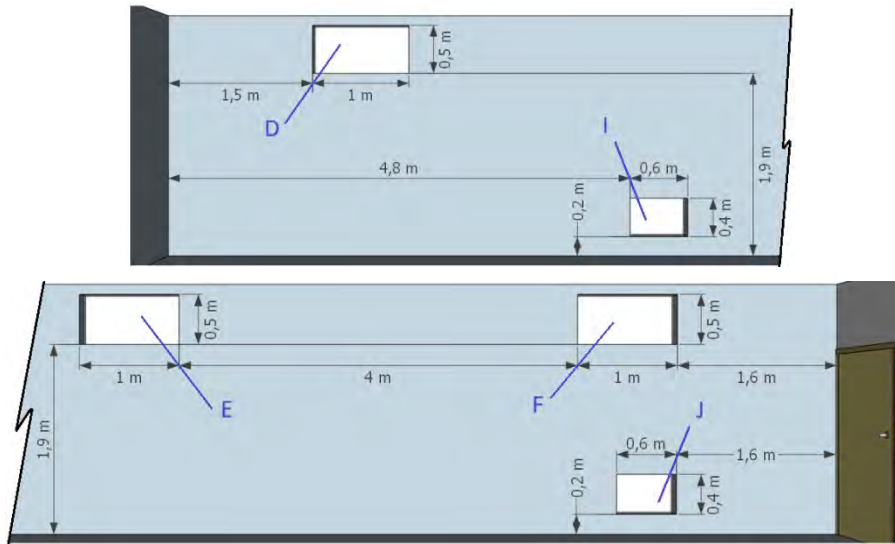
Figuur 13: Axiaal ventilator toegepast tijdens de grootschalige brandproeven

Axiaal ventilatoren worden vooral toegepast in RWA-systemen, omdat deze enorme hoeveelheden lucht kunnen verplaatsen. Dit laatste is belangrijk omdat de rook/temperatuur zoveel mogelijk dient afgevoerd te worden. Een belangrijk aandachtspunt van dit type ventilatoren is - in het kader van drukbeheersing - echter de gevoeligheid van het volumedebiet (= extractiedebiet) ten opzichte van het aanwezige drukverschil, nl. hoe groter het drukverschil, hoe kleiner het extractiedebiet. Dit hangt uiteraard af van de keuze van de ventilator en de gekozen helling van de werkingscurve;

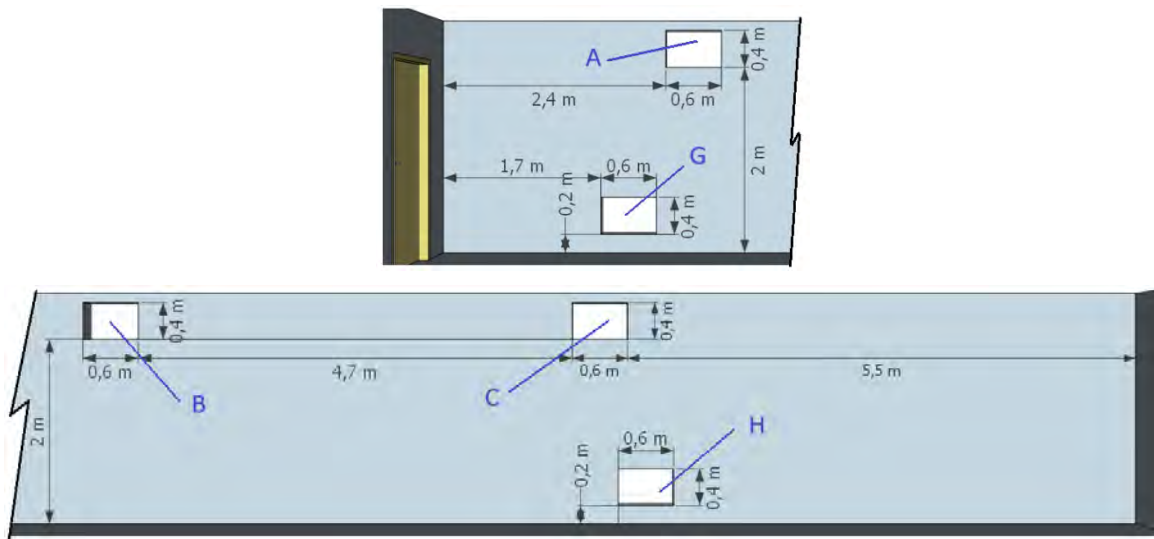
- een cirkelvormig gegalvaniseerd stalen kanaal (Ø 1000 mm; lengte: ca. 8 m), dat aangesloten is op de andere zijde van de ventilator.

Voor het rookbeheersingssysteem is gebruik gemaakt van een natuurlijke toevoer en een mechanische afvoer.

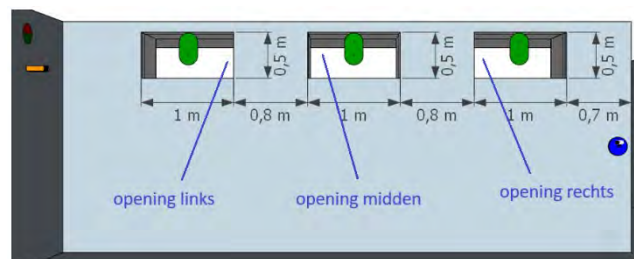
Afhankelijk van de proef zijn toevoer- en afvoeropeningen op verschillende locaties aangebracht. Een overzicht van alle openingen die toegepast zullen worden, zijn weergegeven in de onderstaande figuren.



Figuur 14: Toevoeropeningen in de muur van de evacuatiweg aan het uiteinde voorzien van de dubbele deur



Figuur 15: Toevoeropeningen in de muur van de evacuatiweg aan het uiteinde voorzien van de enkele deur



Figuur 16: Afvoeropeningen (de groene cirkels zijn posities van de temperatuurmetingen) – zie ook Figuur 31

Enkele foto's van het rookbeheersingssysteem zijn hieronder weergegeven:



Rechthoekig kanaal



Overgang rechthoekig kanaal naar ventilator



Detail rechthoekig kanaal – ventilator – cirkelvormig kanaal



Afvoeropeningen in de gemeenschappelijke ruimte

Figuur 17: Rookbeheersingssysteem

3.3.3 Brandscherm

De brandschermconfiguratie beschikt over zowel een EW90 als een S200-klassering (voorheen S_m-klassering) volgens de Europese norm EN 13501-2.

Het brandscherm (breedte: ca. 7000 mm) is toegepast tussen stalen zijgeleiders die op de muur aangebracht zijn. De stalen omkasting (hoogte: ca. 200 mm) waarin de as van het brandscherm zich bevindt, is tegen het plafond bevestigd.

De brandschermconfiguratie is geplaatst volgens de plaatsingsvoorschriften van de fabrikant.

Enkele foto's van de brandschermconfiguratie zijn hieronder weergegeven:



Zijgeleider



Omkasting en zijgeleider



Brandscherm tot op een hoogte van ca. 0,9 m



Omkasting

Figuur 18: Brandschermconfiguratie

3.3.4 Automatisch blussysteem

Het automatisch blussysteem is door de projectgroep ontworpen en dit volgens de Europese norm *NBN EN 16925 Fixed firefighting systems – Automatic residential sprinkler systems – Design, installation and maintenance*.

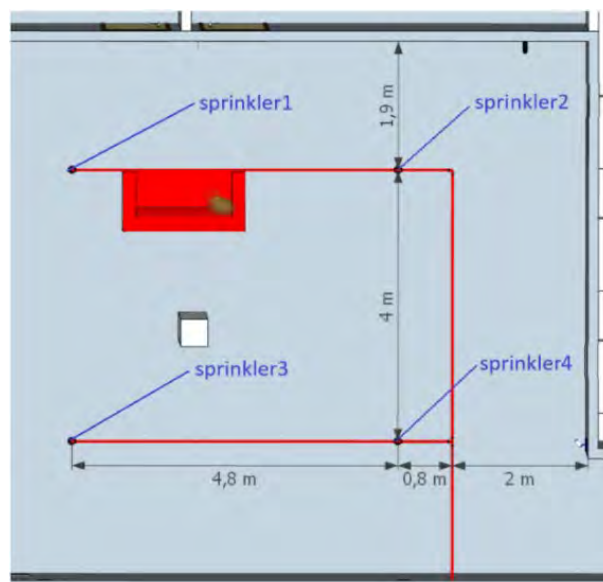
Door de stuurgroep is beslist dat de brandhaard niet centraal t.o.v. twee sprinklers dient gepositioneerd te worden, maar eerder dichterbij de sprinklerkop die zich het meest luchtstroomopwaarts (“koudere” lucht) bevindt. Tijdens de grootschalige brandproef zal immers eerst het rookbeheersingssysteem geactiveerd worden, welke een luchtstroom zal creëren. Het is mogelijk dat deze luchtstroom niet de dichtstbijzijnde sprinklerkop zal activeren maar eerder een sprinklerkop die verder gelegen is en zich luchtstroomafwaarts in de “warmere” lucht bevindt aangezien de warmte van de brandhaard in die richting afgevoerd wordt. Hierdoor kan de brandhaard zich op een grotere afstand bevinden van de geactiveerde sprinkler in vergelijking met een centrale positionering tussen twee sprinklers.

Aangezien de positie van de brandhaard voor alle grootschalige brandproeven dezelfde dient te zijn, is dus op uitdrukkelijke vraag van de stuurgroep afgeweken van bovenstaand ontwerp op volgende punten:

- De afstand van de sprinklerkoppen tot aan de muur voorzien van de afvoeropeningen bedraagt ca. 2,8 m i.p.v. ca. 1,9 m.
- De dekking van het automatisch blussysteem beperkt zich tot de omgeving van de brandhaard. Hierdoor zijn slechts vier sprinklerkoppen toegepast en geen zes sprinklerkoppen.

Alle overige details van het automatisch blussysteem zijn conform uitgevoerd zoals ontworpen door de projectgroep en beschreven in de betreffende norm.

Er zijn derhalve vier residentiële sprinklers ($K = 70,6 \text{ lpm/bar}^{1/2}$; sproei oppervlakte: $4 \times 4,8 \text{ m}$; werkingstemperatuur: 68°C ; afstand tot plafond (als gevolg van constructieve beperkingen): $0,2 \text{ m}$) aangebracht, zoals weergegeven in de onderstaande figuur:

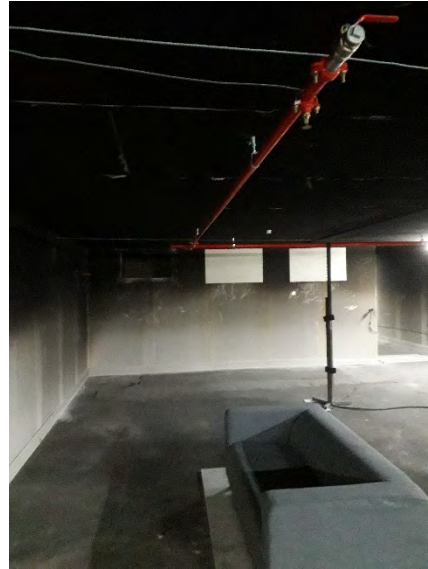


Figuur 19: Detail van het automatisch blussysteem (Proef 5)

Enkele foto's van het automatisch blussysteem zijn hieronder weergegeven:



Detail residentiële sprinklerkop



Locatie sprinklerkop t.o.v. de brandhaard



Locatie sprinklerkop t.o.v. de brandhaard



Locatie sprinklerkop t.o.v. de brandhaard

Figuur 20: Automatisch blussysteem

3.4 PASSIEVE BRANDVEILIGHEIDSMATREGELEN

De hoogte van de geteste deuren is uitzonderlijk groot gekozen, nl. ca. 2,3 m (i.p.v. ca. 2 m welke gebruikelijk is voor standaard deuren). Deze hoogte is specifiek toegepast om na te gaan of de ceiling jet (zie ook § 5.2.2) afkomstig van de brandhaard in combinatie met een gebruikshoogte van ca. 2,5 m een invloed zou kunnen hebben op de rookverspreiding naar de kamers.

Bovendien zijn beide deuren recht tegenover de brandhaard aangebracht zodat deze op dezelfde manier blootgesteld zijn.

3.4.1 Brandwerende deur

De toegepaste brandwerende deur is voorzien van een Benor/Atg-goedkeuring (brandwerendheid 30 minuten) en is geplaatst volgens de voorschriften ervan. De conforme plaatsing van deze deur is geverifieerd door ISIB-werfcontroleurs.

Ter info:

De lekoppervlakte van een brandwerende deur is niet uniform ter plaatse van alle randen van de deurvleugel en situeert zich vooral aan de onderzijde van de deurvleugel. Aan de onderzijde van de deurvleugel is immers geen aanslag aanwezig en bevindt zich dan ook de grootste speling. De lekoppervlakte van de geteste deur, zoals berekend in § 3.6, is bovendien enkel geldig voor het type toegepaste deur, i.e. een draaideur. De waarden van de lekoppervlakte zullen groter zijn in geval van zwaaiendeuren aangezien bij dit type van deuren de deurvleugel niet aansluit tegen de omlijsting waardoor een grotere speling aanwezig is.

3.4.2 Rookwerende deur

De toegepaste rookwerende deur is voorzien van een Benor/Atg-goedkeuring (brandwerendheid 30 minuten), en beschikt bovendien over een S200-klassering (voorheen S_m -klassering) volgens de Europese norm EN 13501-2, en is geplaatst volgens de voorschriften ervan. De conforme plaatsing van deze deur is geverifieerd door ISIB-werfcontroleurs.

Ter info:

Op basis van de Europese beproevingsnorm EN 1634-3 kan de rookwerendheid van een deurgeheel bepaald worden. Om een S200-klassering (volgens de Europese norm EN 13501-2) te bekomen, mag het normvolumedebiet van de lucht doorheen de spelingen (incl. de speling van de dopel) maximaal 20 m³/h bedragen in het geval van enkele deuren en 30 m³/h in het geval van dubbele deuren. In dit geval worden de proeven uitgevoerd bij een temperatuur van 20°C en 200°C en een overdruk van 10, 25 en 50 Pa.

Het lekdebet van de rookwerende deur, zoals berekend in § 3.6, is kleiner dan 20 m³/h zoals hierboven beschreven. In tegenstelling tot een brandwerende deur kan het lekoppervlakte van een rookwerende deur wel evenredig verdeeld worden ter plaatse van de randen van de deurvleugel.

3.5 METINGEN

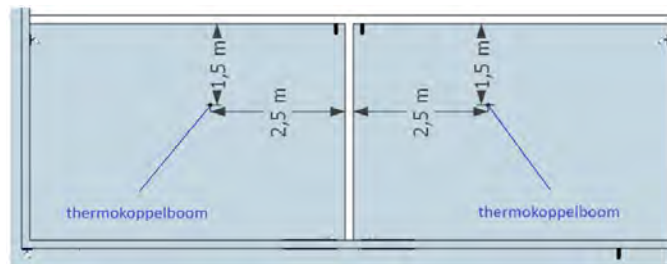
3.5.1 Temperatuur (meetapparatuur van WFRGent nv)

De meetapparatuur voor de temperatuur is binnen het door de Belgische accreditatie-instelling BELAC bewaakte kwaliteitssysteem overeenkomstig ISO 17025 van WFRGent nv identificeerbaar, geijkt en traceerbaar.

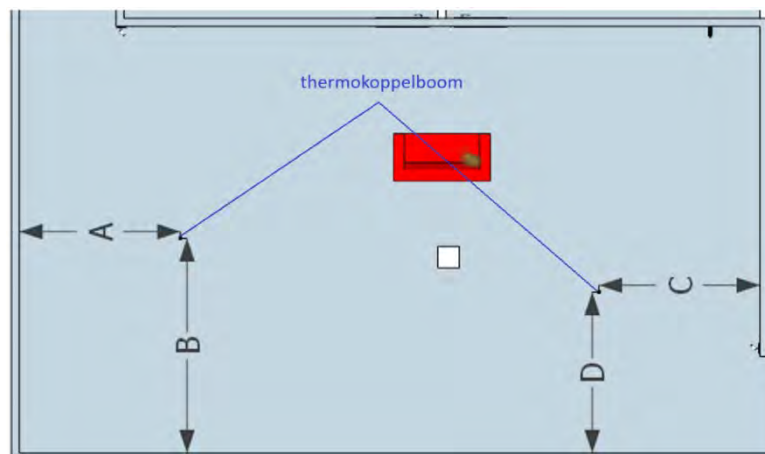
De temperatuur is gemeten met behulp van thermokoppels type K (0 - 1000°C).

Op vier verschillende plaatsen zijn thermokoppelbomen geplaatst (zie ook onderstaande figuren). Deze zijn gebruikt om op eenzelfde plaats over de volledige hoogte de temperatuur te meten. Hiervoor zijn thermokoppels aangebracht op de volgende hoogtes: 0,2 m - 0,4 m - 0,6 m - 0,8 m - 1,0 m - 1,2 m - 1,4 m - 1,6 m - 1,8 m - 2,0 m - 2,1 m - 2,2 m - 2,3 m en 2,4 m. Per boom zijn dus 14 thermokoppels aangebracht.

De posities van deze thermokoppelbomen zijn weergegeven in de onderstaande figuren:



Figuur 21: Posities van de thermokoppelbomen in de kamers

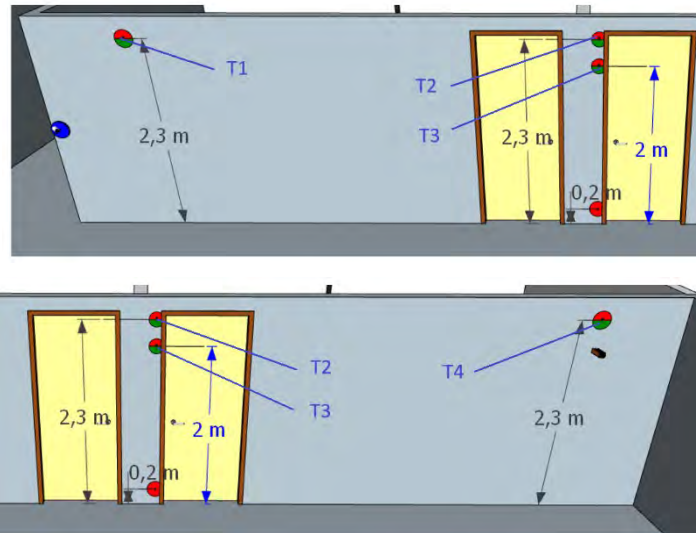


Afstand	A	B	C	D
Proef 1	3 m	4 m	3 m	3 m
Proef 2, 3, 4 en 5	4 m	4 m	4 m	3 m

Figuur 22: Posities van de thermokoppelbomen in de gemeenschappelijke ruimte

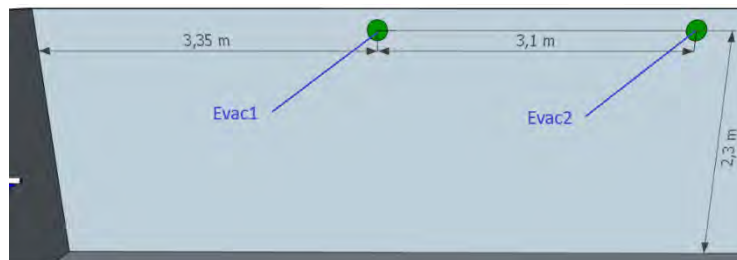
De volgende thermokoppels zijn eveneens aangebracht:

- in de open kamer: op een hoogte van ca. 2 m en ca. 2,4 m;
- aan de uiteinden van de evacuatiewegen: boven de deuren op een hoogte van ca. 2,4 m;
- in de afvoeropeningen op een hoogte van ca. 2 m en ca. 2,3 m (zie Figuur 16 in § 3.3.2);
- in het cirkelvormig gegalvaniseerd stalen kanaal, op een afstand van ca. 6 m van de ventilator;
- recht tegenover de brandhaard zoals weergegeven in de onderstaande figuren:



Figuur 23: Temperatuursmetingen recht tegenover de brandhaard

- tegen de muur in de evacuatieweg aan het uiteinde voorzien van de dubbele deur (zie ook onderstaande figuur:



Figuur 24: Temperatuursmetingen tegen de muur in de evacuatieweg aan het uiteinde voorzien van de dubbele deur

3.5.2 CO-gehalte

Het CO-gehalte is gemeten aan de hand van een mobiel apparaat van het type Testo 440 met CO-sonde (meetbereik: 0 – 500 ppm; nauwkeurigheid: ± 5 ppm).

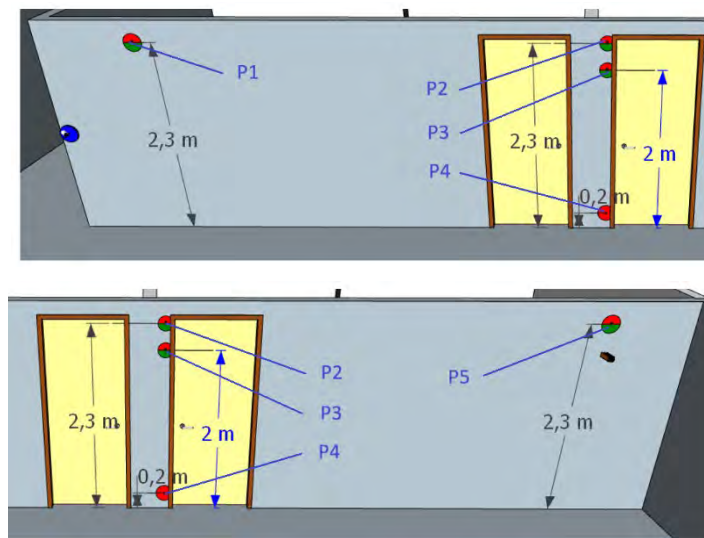
De CO-sondes zijn op een hoogte van ca. 2 m geplaatst.

3.5.3 Drukverschil

Het drukverschil (ten opzichte van de start van de brandproef) is gemeten aan de hand van een mobiel apparaat van het type Testo 440 dP (meetbereik: -150 hPa + 150 hPa; nauwkeurigheid: ± 5 Pa). De resultaten van deze metingen zijn weergegeven als gemiddelde waarden over 10 seconden.

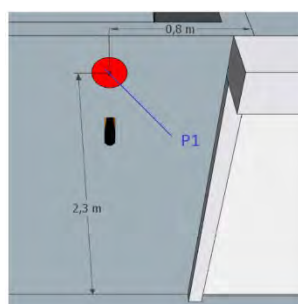
Tijdens Proef 1 is het drukverschil tussen de gemeenschappelijke ruimte en de buitenomgeving gemeten. Tijdens alle andere proeven is het drukverschil tussen de gemeenschappelijke ruimte en de kamers gemeten.

Het drukverschil is op onderstaande posities in de gemeenschappelijke ruimte gemeten:



Figuur 25: Drukmetingen recht tegenover de brandhaard

Tijdens Proef 3, Proef 4 en Proef 5 is de positie van P1 verplaatst naar de evacuatieweg die uitgaat op de dubbele deur zoals weergegeven in de onderstaande figuur:



Figuur 26: Drukmeting in de evacuatieweg aan het uiteinde voorzien van een dubbele deur

3.5.4 Camera's

Er zijn in totaal zes camera's van het type Hikvision DS-2CD2043G0-I 4 MP gebruikt. Deze camera's zijn op een hoogte tussen ca. 1 m en ca. 1,2 m tegen de muur gepositioneerd.

3.6 LUCHTDICHTHEID

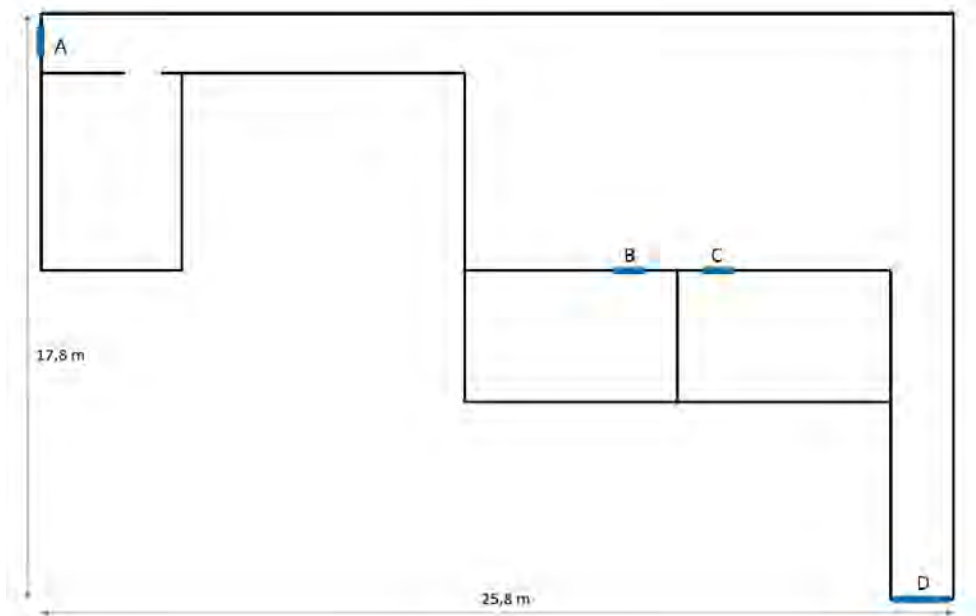
Voorafgaand aan de proeven is de luchtdichtheid van het gebouw (binnenvolume: ca. 430 m³) bepaald.

De bepaling van de luchtdoorlatendheid is uitgevoerd conform de norm NBN EN ISO 9972 *Thermische eigenschappen van gebouwen – Bepaling van de luchtdoorlatendheid van gebouwen – Overdrukmethode met ventilator (ISO 9972:2015)*.

De bepaling ervan is uitgevoerd door middel van een luchtverplaatsingsapparaat geplaatst in één van de openingen van het gebouw. Vervolgens zijn de aanwezige deuren één voor één afgedicht teneinde de lekoppervlakte van elke opening te kunnen bepalen.

Voor de proefopstelling heeft dit betrekking op onderstaande openingen (zie ook onderstaande figuur):

- Opening A: enkele standaard deur aan de ene ingang.
- Opening B: brandwerende deur ter plaatste van de kamer.
- Opening C: rookwerende deur ter plaatste van de kamer.
- Opening D: dubbele standaard deur aan de andere ingang.



Figuur 27: Schematische voorstelling openingen luchtdichtheid

De luchtdichtheidsmetingen zijn uitgevoerd door het WTCB (Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf).

De resultaten van deze metingen zijn weergegeven in de onderstaande tabel.

Afgedichte openingen	Positie ventilator	Gemiddeld lekdebiet bij 50 Pa [m ³ /h]	Infiltratievoud bij 50 Pa [1/h]	Effectieve lekoppervlakte [cm ²]	Ref. proefverslag
Geen	A	1741	4,05	392,7	HVAC-20-004-01/NL
B	A	1411,4	3,28	321,1	HVAC-20-004-02/NL
B+C	A	1401,8	3,26	318,1	HVAC-20-004-03/NL
B+C+D	A	1208,1	2,81	269,4	HVAC-20-004-04/NL
A+B+C	D	1197	2,78	267,8	HVAC-20-004-05/NL
B+C	D	1452	3,38	336,5	HVAC-20-004-06/NL

Op basis van bovenstaande zijn de lekoppervlaktes voor de verschillende openingen bepaald:

Opening	Lekdebiet (bij 50 Pa) [m ³ /h]	Lekoppervlakte [cm ²]
Enkele deur (opening A)	255	69
Brandwerende deur (opening B)	330	72
Rookwerende deur (opening C)	10	3
Dubbele deur (opening D)	194	49
Buitenschil gebouw (gemiddeld)	1203	269
TOTAAL	1990	461

Met een binnenvolume van ca. 430 m³ en een lekdebiet (bij 50 Pa) van ca. 1203 m³/h, heeft de buitenschil van het proefopstelling een infiltratievoud van ca. 2,8/h (bij 50 Pa) en kan dus als een normaal luchtdichte ruimte (= normale lekoppervlakte) beschouwd worden.

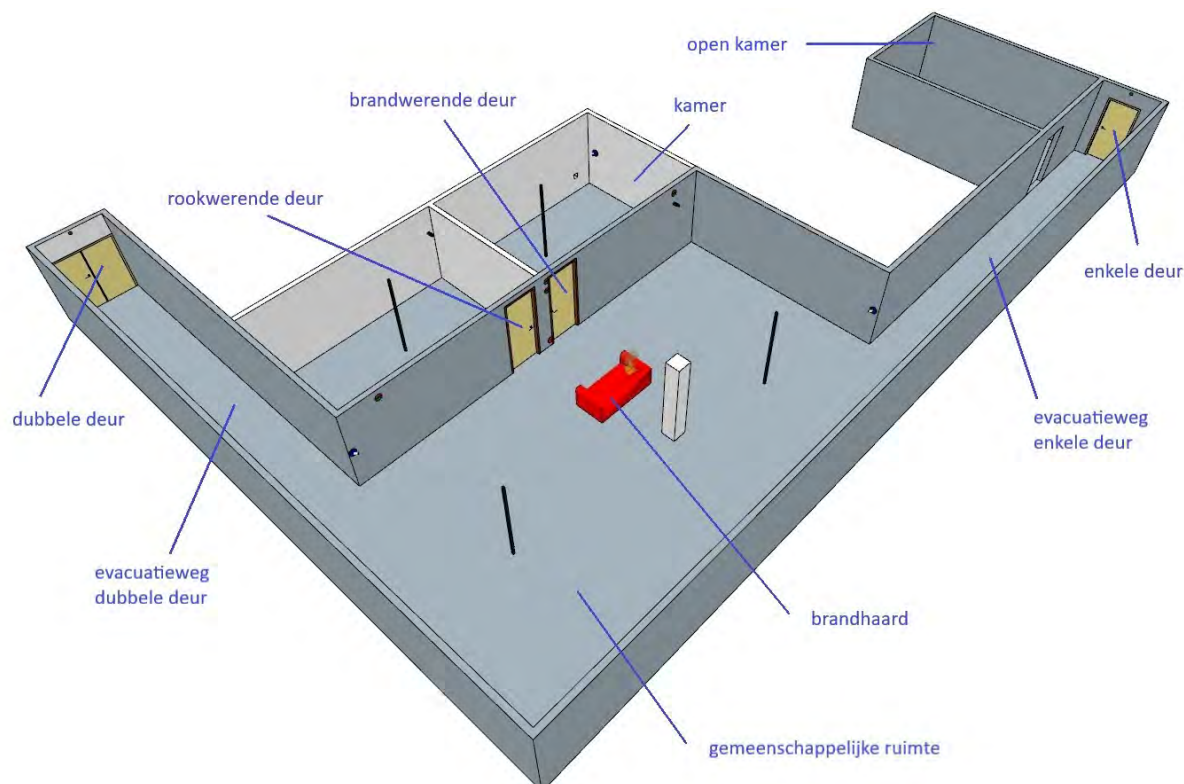
4 GROOTSCHALIGE BRANDPROEVEN

4.1 PROEF 1: "NULPROEF"

4.1.1 Proefopstelling

Proef 1 is uitgevoerd op 13 oktober 2020.

De proefopstelling is schematisch weergegeven in de onderstaande figuur:



Figuur 28: Schematische weergave van Proef 1

De opbouw en configuratie van deze proefopstelling is identiek aan deze beschreven in § 3.1.

De locaties van de metingen (temperatuur, druk en CO) zijn beschreven in § 3.5.

4.1.2 Doel van de proef

Het doel van deze proef bestaat erin het verschil in efficiëntie tussen een brandwerende en een rookwerende deur aan te tonen in geval van een (relatief grote) overdruk.

Dergelijke (relatief grote) overdruk wordt veroorzaakt door de brandhaard en wordt vooral bekomen in luchtdichte ruimtes. Om die reden zijn er geen openingen in de brandruimte naar de buitenomgeving aanwezig in deze proef.

4.1.3 Waarnemingen tijdens de proef

Tijdens de proef zijn onderstaande waarnemingen gedaan:

Tijd	Waarneming
0' 00"	Start van de proef.
0' 50"	Eerste rookmelder in de gemeenschappelijke ruimte geactiveerd.
1' 00"	Tweede rookmelder in de gemeenschappelijke ruimte geactiveerd.
2' 00" tot 4' 00"	De rooklaag is zichtbaar en zakt snel.
3' 00"	Rookmelder in de kamer met de brandwerende deur geactiveerd.
4' 00"	Meer en meer rook in de kamer met de brandwerende deur.
4' 30"	Mobiele deurvleugel van de dubbele deur aan het uiteinde van de evacuatiweg vliegt open (*).
5' 00"	Mobiele deurvleugel van de dubbele deur aan het uiteinde van de evacuatiweg is terug gesloten. Bij het sluiten van de deur wordt een drukgolf gecreëerd waardoor een lichte rookpluim doorheen de rookwerende deur kan vastgesteld worden. In de kamer met de brandwerende deur is dit minder visueel vast te stellen gezien de reeds aanwezige rook in deze kamer.
5' 00" tot 7' 00"	De brand dooft zichzelf door zuurstoftekort.
7' 15"	Rookmelder in de kamer met de rookwerende deur geactiveerd.
13' 00"	Mobiele deurvleugel van de dubbele deur aan het uiteinde van de evacuatiweg is geopend teneinde de gemeenschappelijke ruimte te ontroken.
15' 00"	Enkele deur aan het uiteinde van de andere evacuatiweg is geopend teneinde de gemeenschappelijke ruimte verder te ontroken.
17' 00"	Vaste deurvleugel van de dubbele deur aan het uiteinde van de evacuatiweg is geopend teneinde de gemeenschappelijke ruimte verder te ontroken.

(*) De dubbele deur aan het uiteinde van de evacuatiweg is steeds rechtstreeks in contact met de (vochtige) buitenomgeving. Aangezien het een houten deur betreft, is deze enorm gevoelig voor vocht. Bij aanvang van de proef is vastgesteld dat deze deurvleugel uitgezet was onder invloed van het opgenomen vocht waardoor de mobiele deurvleugel niet meer in het slot kon. Om die reden is de mobiele deurvleugel tegen de vaste deurvleugel geklemd, zonder gesloten te zijn.

4.1.4 Resultaten van de proef

4.1.4.1 Metingen

De resultaten van de uitgevoerde metingen (temperatuur, druk en CO-gehalte) zijn opgenomen in Bijlage 8.1.

4.1.4.2 Videobeelden

Onderstaande beelden zijn genomen in de gemeenschappelijke ruimte:



Na 2'00"



Na 3'00"



Na 4'00"



Na 5'00"



Na 6'00"



Na 10'00"

Onderstaande beelden zijn eveneens genomen in de gemeenschappelijke ruimte:



Na 2'00"



Na 3'00"



Na 4'00"



Na 5'00"



Na 6'00"



Na 10'00"

Onderstaande beelden zijn genomen in beide kamers. In de linker kolom betreft het de kamer met de rookwerende deur, in de rechter kolom de kamer met de brandwerende deur:

Kamer met rookwerende deur



Na 2'00"



Na 3'00"



Na 4'00"



Na 5'00"

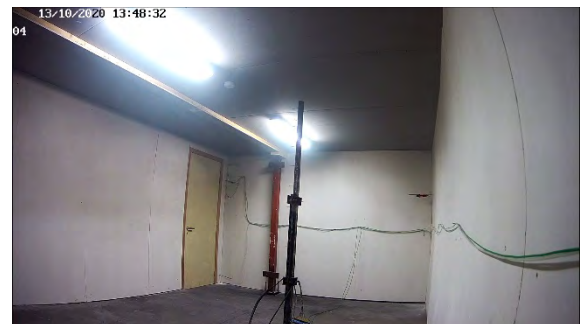
Kamer met brandwerende deur



Na 2'00"



Na 3'00"



Na 4'00"

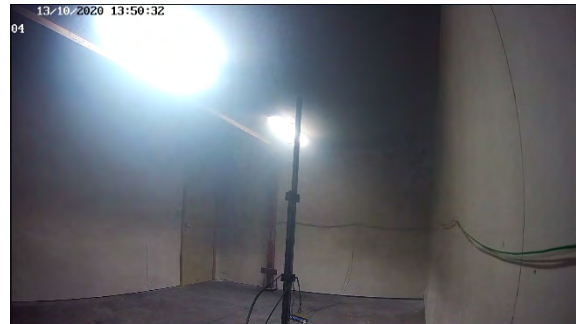
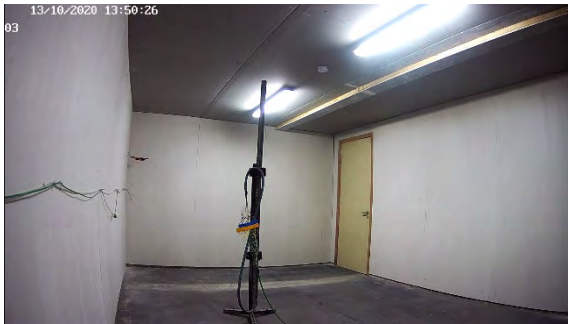


Na 5'00"

Onderstaande beelden zijn genomen in beide kamers. In de linker kolom betreft het de kamer met de rookwerende deur, in de rechter kolom de kamer met de brandwerende deur:

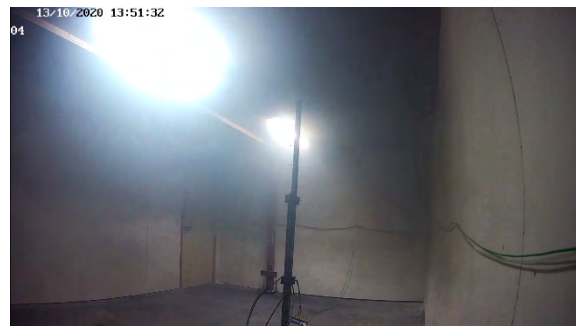
Kamer met rookwerende deur

Kamer met brandwerende deur



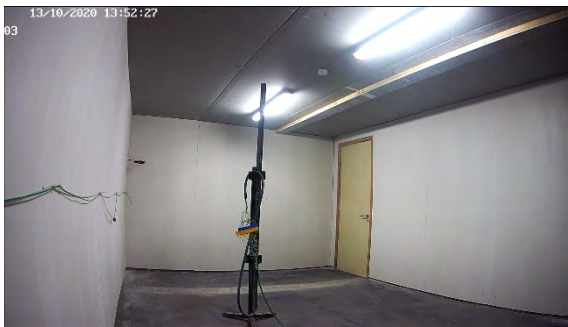
Na 6'00"

Na 6'00"



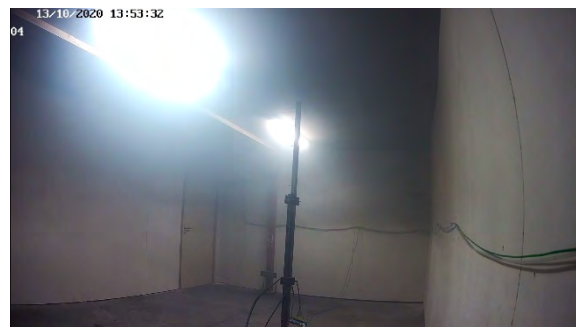
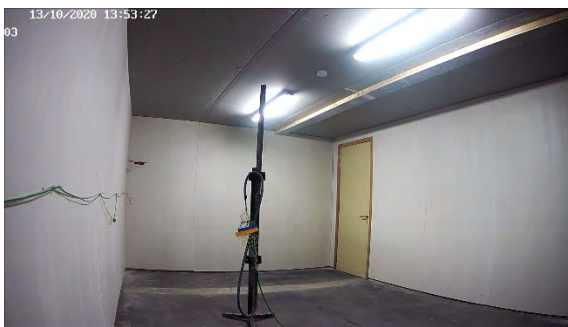
Na 7'00"

Na 7'00"



Na 8'00"

Na 8'00"



Na 9'00"

Na 9'00"

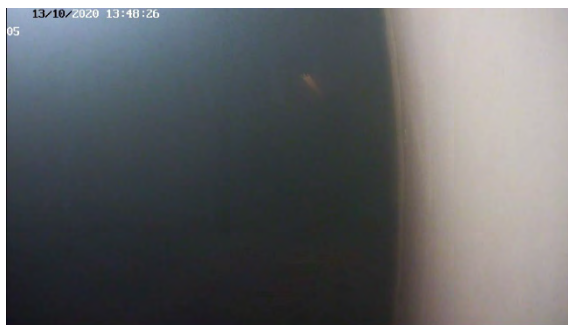
Onderstaande beelden zijn genomen in de evacuatieweg aan het uiteinde voorzien van de dubbele deur:



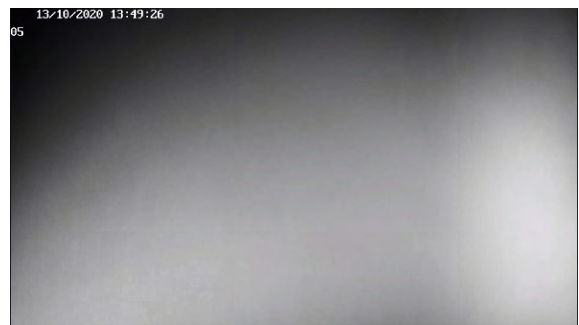
Na 2'00"



Na 3'00"



Na 4'00"



Na 5'00"

Onderstaande beelden zijn genomen in de evacuatieweg aan het uiteinde voorzien van de enkele deur:



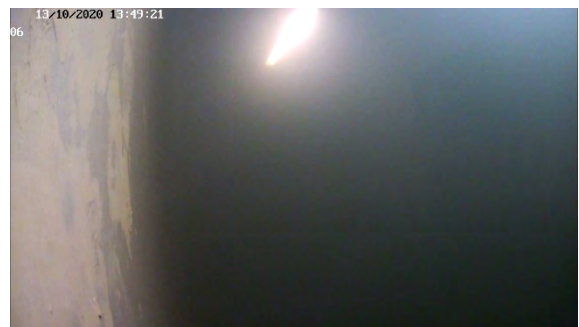
Na 2'00"



Na 3'00"



Na 4'00"



Na 5'00"

4.1.5 Vaststellingen na de proef

De volgende vaststellingen zijn gedaan:

- In de kamer met de brandwerende deur is een grote hoeveelheid rook waargenomen.
- In de kamer met de rookwerende deur is een verwaarloosbare hoeveelheid rook waargenomen.
- Het schuim (en de hoes) van de zetel is volledig opgebrand, behalve aan één zijkant, zoals weergegeven in de onderstaande figuur:



Figuur 29: Foto van de zetel na Proef 1

- De roetafgifte ter plaatse van de aanslag van de deur is meer uitgesproken bij de brandwerende deur dan bij de rookwerende deur, zoals weergegeven in de onderstaande figuren:



*Rookwerende deur
("propere" omlijsting links naast aanslag)*



*Brandwerende deur
("zwarte" omlijsting rechts naast aanslag)*

Figuur 30: Foto's van de deuren na Proef 1 (verschil in roetafgifte)

4.1.6 Analyse van de resultaten van de metingen

De configuratie van Proef 1, i.e. drukopbouw in een relatief luchtdichte brandruimte, is reeds uitvoerig onderzocht in de eerste VIPA-studie en andere studies. Het is geweten dat de grootte van de overdruk afhankelijk is van de stijging van de Heat Release Rate en/of de grootte van de openingen. Hoe sneller de stijging van de Heat Release Rate en/of hoe kleiner de openingen, hoe groter de overdruk. Van zodra er geen stijging van Heat Release Rate meer is, daalt de overdruk (zeer snel).

Om die reden zullen de resultaten van de metingen niet geanalyseerd worden in deze studie, aangezien deze niet relevant zijn voor het doel van deze proef, nl. het verschil in efficiëntie aantonen tussen een rookwerende en een brandwerende deur in geval van een (relatieve grote) overdruk.

4.1.7 Conclusies van de proef

De volgende conclusies kunnen worden gemaakt:

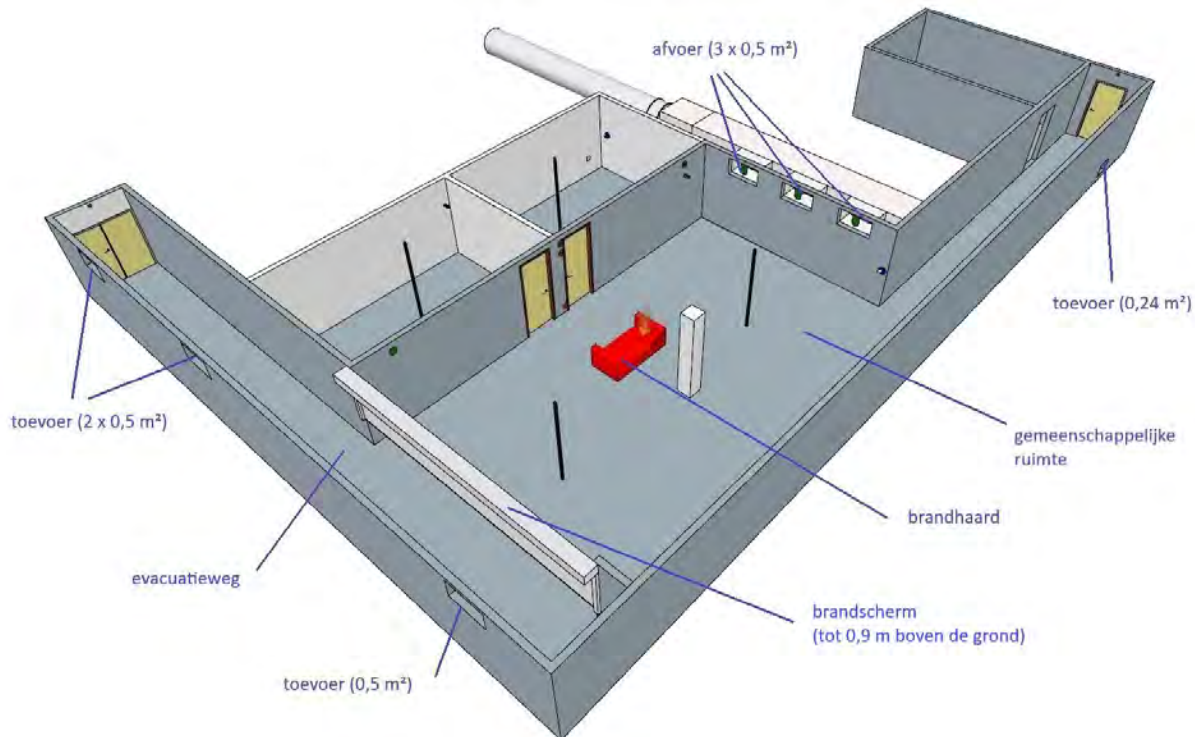
- De ruimte vult zich zeer snel met rook. Alhoewel het een grote ruimte betreft (430 m³) heeft de rooklaag ca. 4 à 5 minuten na aanvang van de brand de vloer bereikt.
- Zelfs in geval van een normaal luchtdichte ruimte (= normale lekoppervlakte), is er een grote overdruk (max. 120 Pa) vastgesteld. Indien deze ruimte nog luchtdichter zou uitgevoerd zijn, zou de grootte van deze overdruk nog groter zijn.
- Aangezien de hoeveelheid rook doorheen een opening - en bij een gegeven drukverschil - afhankelijk is van de grootte van deze opening, is het logisch dat er meer rook vastgesteld is in de kamer met de brandwerende deur. De lekoppervlakte van de brandwerende deur is immers veel groter dan deze van de rookwerende deur. Er dient wel benadrukt te worden dat de vastgestelde rookverspreiding gelinkt is aan de geteste types deuren en niet zondermeer kan veralgemeend worden (zie ook § 3.4).
- Aangezien de hoeveelheid zuurstof in de brandruimte beperkt is, zal de brandhaard zich niet ten volle kunnen manifesteren en kunnen we spreken van een ondergeventileerde brand. De onvolledige verbranding zal (steeds) resulteren in een meer toxische samenstelling van de rook en in andere (toxische en irriterende) gassen die aanwezig kunnen zijn in de brandruimte.
- Er dient rekening gehouden te worden met het feit dat de aanwezige rook in een ruimte naar aanliggende ruimtes kan "geduwd" wordt onder invloed van een drukstoot, i.e. een zeer plotse drukverhoging. Dit kan bijvoorbeeld zijn door het sluiten van deuren, m.a.w. de rookverspreiding ten gevolge van een drukopbouw wordt niet enkel veroorzaakt door de brandhaard zelf (zie ook § 2.5.1).

4.2 PROEF 2: TOEPASSING VAN EEN BRANDSCHERM (TOT 0,9 M BOVEN DE GROND)

4.2.1 Proefopstelling

Proef 2 is uitgevoerd op 30 oktober 2020.

De proefopstelling is schematisch weergegeven in de onderstaande figuur:



Figuur 31: Schematische weergave van Proef 2

De opbouw en configuratie van deze proefopstelling is identiek aan deze beschreven in § 3.1 mits toevoeging van een rookbeheersingssysteem (zie § 3.3.2) en een brandscherm (zie § 3.3.3).

De locaties van de metingen (temperatuur, druk en CO) zijn beschreven in § 3.5.

Het brandscherm bevindt zich bij aanvang van de proef helemaal bovenaan. Bij activatie (= 90 seconden na de start van de proef) zakt dit brandscherm tot een hoogte van ca. 0,9 m boven de grond.

Het rookbeheersingssysteem is manueel aangezet 110 seconden na de start van de proef.

Het extractiedebiet is constant en is ingesteld op ca. $7 \text{ m}^3/\text{s}$ (= ca. $25.000 \text{ m}^3/\text{h}$).

Onderstaande openingen zijn aangebracht in functie van het rookbeheersingssysteem (zie ook § 3.3.2):

- drie afvoeropeningen (breedte x hoogte (per opening): $1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$);
- drie toevoeropeningen (breedte x hoogte (per opening): $1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$) bovenaan in de muur in de evacuatieweg aan het uiteinde voorzien van de dubbele deur. Een vierde toevoeropening (breedte x hoogte: $0,6 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}$) is aangebracht onderaan in de muur in de evacuatieweg aan het uiteinde voorzien van de enkele deur.

4.2.2 Doel van de proef

Het doel van deze proef bestaat erin een (nieuwe) rookvrije evacuatiweg te creëren in de gemeenschappelijke ruimte (= brandruimte). Hierbij wordt gebruik gemaakt van een brandscherm dat op het moment van het brandalarm naar beneden gaat en stopt op een hoogte van ca. 0,9 m boven de grond. Van zodra het brandscherm zich in de gewenste positie bevindt, wordt het rookbeheersingssysteem geactiveerd. Het principe van deze proef is toegelicht in § 2.3.

De proef is geslaagd, m.a.w. het rookbeheersingssysteem is doeltreffend, indien geen rook in de gecreëerde evacuatiweg waargenomen wordt.

Deze toepassing van een rookbeheersingssysteem kan dus aangewend worden indien een onmiddellijke evacuatie doorheen de gemeenschappelijke ruimte (= brandruimte) tot de evacuatiestrategie behoort.

Alhoewel de beide kamers geen deel uitmaken van de te creëren veilige zone, zal bijkomend onderzocht worden of rookverspreiding naar aanliggende compartimenten kan vermeden worden met behulp van deze toepassing van het rookbeheersingssysteem.

4.2.3 Waarnemingen tijdens de proef

Tijdens de proef zijn onderstaande waarnemingen gedaan:

Tijd	Waarneming
0' 00"	Start van de proef
1' 11"	Eerste rookmelder in de gemeenschappelijke ruimte geactiveerd. De activatie van de tweede detector in de gemeenschappelijke ruimte is niet gehoord tijdens de proef.
1' 30"	Brandscherm is manueel geactiveerd. Er is reeds een kleine hoeveelheid rook waarneembaar in de evacuatiweg.
1' 50"	Rookbeheersingssysteem is manueel geactiveerd.
2' 00" tot 3' 00"	De rooklaag in de gemeenschappelijke ruimte is zichtbaar. De hoeveelheid rook in de evacuatiweg is verdwenen. De evacuatiweg is volledig rookvrij.
4' 00" tot 6' 00"	De dikte van de rooklaag in de gemeenschappelijke ruimte blijft constant en bedraagt ca. 1 m.
10' 00"	De rooklaag verdwijnt en de zichtbaarheid in de gemeenschappelijke ruimte neemt toe.
25' 00"	Bijna geen rook meer waarneembaar in de gemeenschappelijke ruimte.

4.2.4 Resultaten van de proef

4.2.4.1 Metingen

De resultaten van de uitgevoerde metingen (temperatuur, druk, en CO-gehalte) zijn opgenomen in Bijlage 8.2.

4.2.4.2 Videobeelden

Onderstaande beelden zijn genomen in de gemeenschappelijke ruimte:



Na 2'00"



Na 4'00"



Na 6'00"



Na 8'00"



Na 10'00"



Na 15'00"



Na 20'00"



Na 25'00"

Onderstaande beelden zijn eveneens genomen in de gemeenschappelijke ruimte:



Na 2'00"



Na 4'00"



Na 6'00"



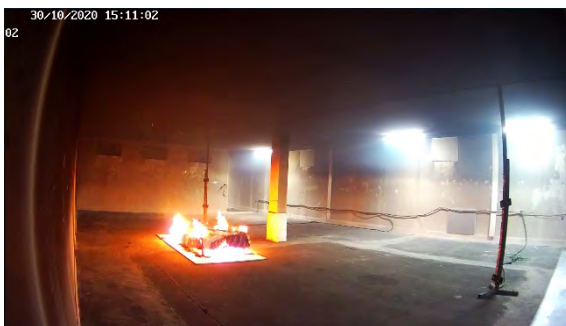
Na 8'00"



Na 10'00"



Na 15'00"



Na 20'00"



Na 25'00"

Onderstaande beelden zijn genomen in de gecreëerde evacuatieweg:



Na 1'00"



Na 1'30"



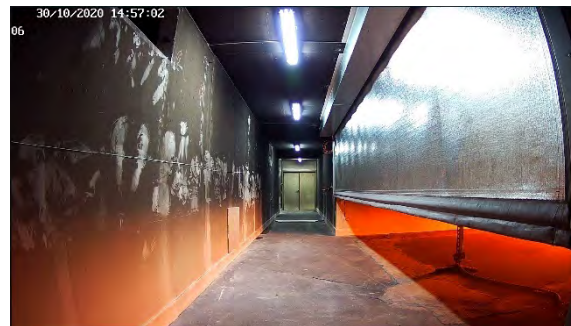
Na 2'00"



Na 3'00"



Na 4'00"



Na 6'00"



Na 8'00"



Na 10'00"

Onderstaande beelden zijn eveneens genomen in de gecreëerde evacuatiweg:



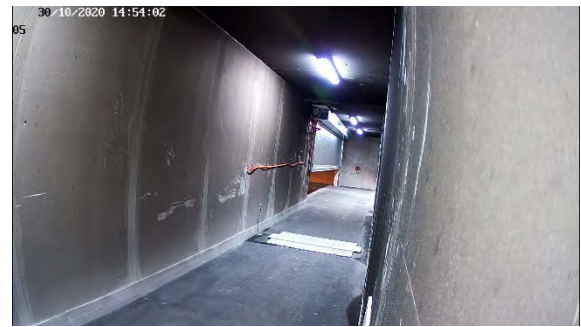
Na 1'00"



Na 1'30"



Na 2'00"



Na 3'00"



Na 4'00"



Na 6'00"



Na 8'00"



Na 10'00"

Onderstaande beelden zijn genomen in beide kamers. In de linker kolom betreft het de kamer met de rookwerende deur, in de rechter kolom de kamer met de brandwerende deur:

Kamer met rookwerende deur

Kamer met brandwerende deur



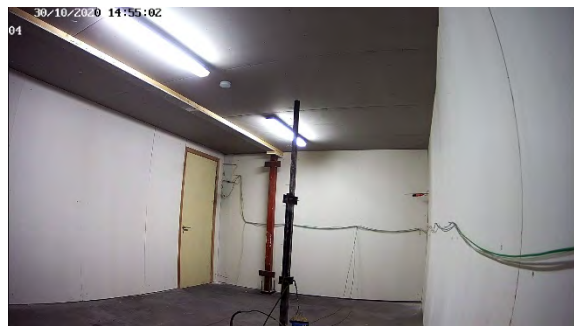
Na 2'00"



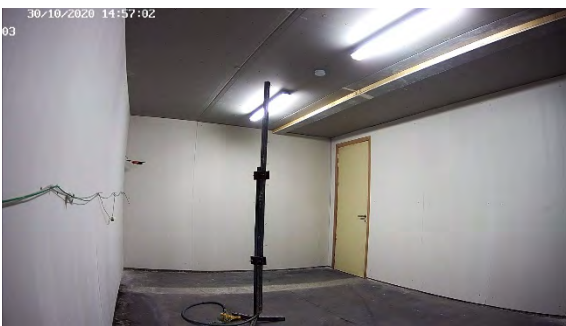
Na 2'00"



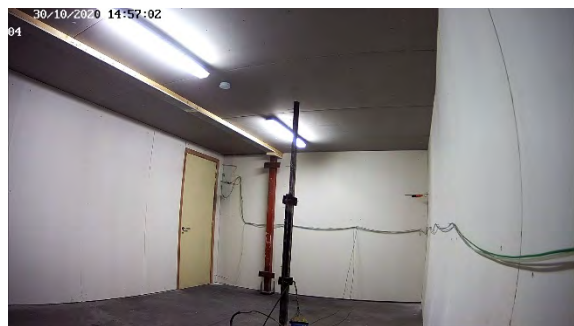
Na 4'00"



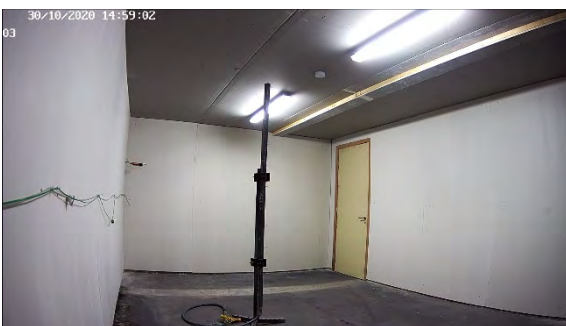
Na 4'00"



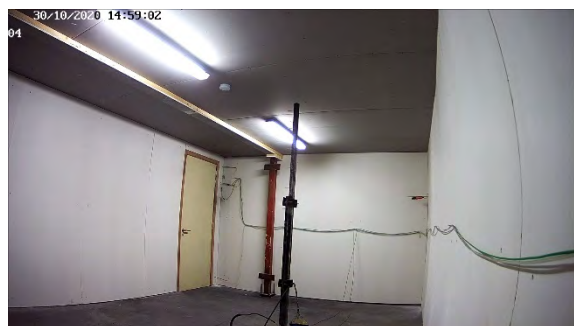
Na 6'00"



Na 6'00"



Na 8'00"



Na 8'00"

4.2.5 Vaststellingen na de proef

De volgende vaststellingen zijn gedaan:

- In de gecreëerde evacuatiweg is – na activatie van het rookbeheersingssysteem – geen rook meer waargenomen.
- In beide kamers is geen rook waargenomen.
- De zetel is volledig uitgebrand.

4.2.6 Analyse van de resultaten van de metingen

Een analyse van de resultaten van de metingen omtrent de druk en temperatuur worden meer in detail besproken aan de hand van bijkomende CFD-simulaties (zie § 5.2).

4.2.7 Conclusies van de proef

De volgende conclusies kunnen worden gemaakt:

- Door de combinatie van een rookbeheersingssysteem en een brandscherm (tot 0,9 m boven de grond) kan een (nieuwe) rookvrije evacuatiweg in de gemeenschappelijke ruimte (= brandruimte) bekomen worden. Hierdoor is een onmiddellijke evacuatie mogelijk voor elke bewoner wiens kamer op deze gecreëerde evacuatiweg uitkomt.
- Indien zich rook in de evacuatiweg bevindt, zal de luchtstroom ervoor zorgen dat deze rook mee afgevoerd wordt naar de extractieopeningen (in de brandruimte). Hierdoor blijft de evacuatiweg rookvrij.
- Door bijkomend een onderdruk te creëren in de gemeenschappelijke ruimte (= brandruimte) is er geen rookverspreiding naar de aanliggende kamers. Hierdoor kan deze toepassing van het rookbeheersingssysteem ook aangewend worden in geval van een Defend in Place strategie.
- Het rookbeheersingssysteem kan niet verhinderen dat omringend meubilair (of ander brandbaar materiaal) in de directe nabijheid van de brandhaard kan bijdragen aan een branduitbreiding (zie ook conclusie Proef 3, vermeld in § 4.6.6 van de studie [2]).

Het rookbeheersingssysteem is wel in staat om de temperatuur in de ruimte laag genoeg te houden zodat spontane ontbranding van meubilair (of ander brandbaar materiaal) verder weg van de brandhaard, vermeden wordt.

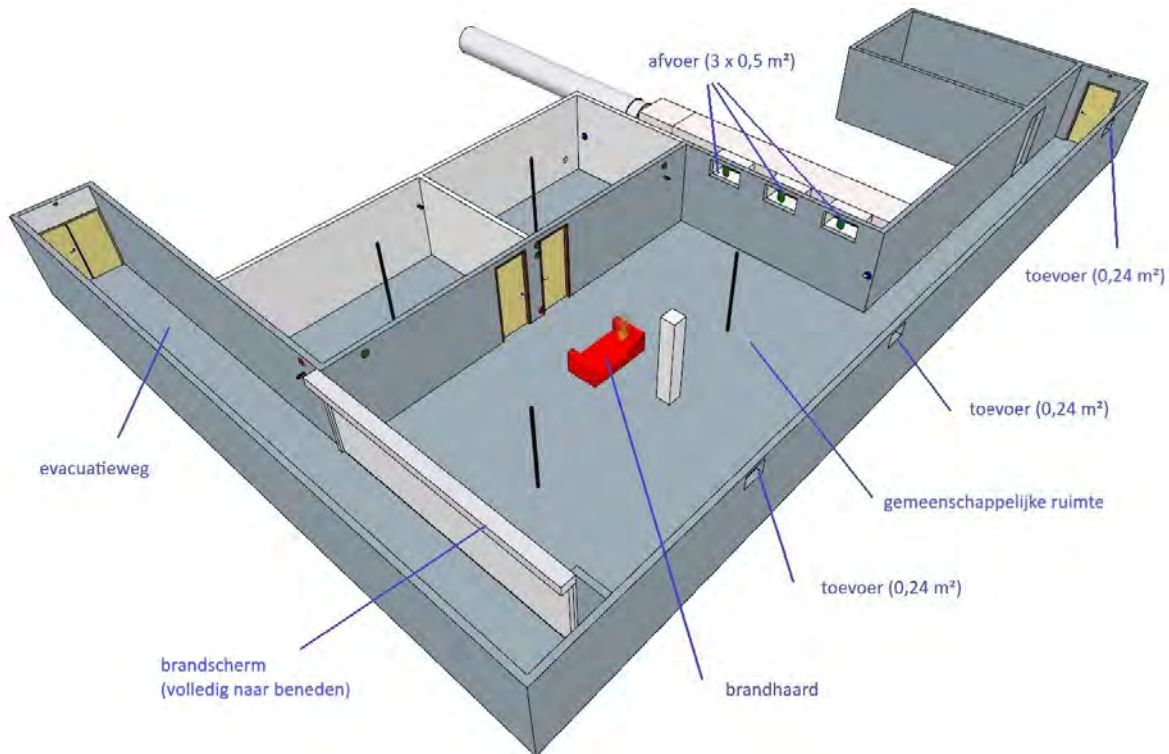
- Deze toepassing van het rookbeheersingssysteem is doeltreffend gebleken bij de toegepaste brandhaard, een specifiek extractiedebiet en vastgelegde toevoeropeningen. Het toepassingsdomein van deze toepassing van het rookbeheersingssysteem, i.e. onder welke randvoorwaarden kan eenzelfde doeltreffendheid bekomen worden, zal in detail besproken worden in § 5.3.

4.3 PROEF 3: TOEPASSING VAN EEN BRANDSCHERM (VOLLEDIG NAAR BENEDEN)

4.3.1 Configuratie

Proef 3 is uitgevoerd op 17 november 2020.

De proefopstelling is schematisch weergegeven in de onderstaande figuur:



Figuur 32: Schematische weergave van Proef 3

De opbouw en configuratie van deze proefopstelling is identiek aan deze beschreven in § 3.1 mits toevoeging van een rookbeheersingssysteem (zie § 3.3.2) en een brandscherm (zie § 3.3.3).

De locaties van de metingen (temperatuur, druk en CO) zijn beschreven in § 3.5.

Het brandscherm bevindt zich bij aanvang van de proef helemaal bovenaan, maar in tegenstelling tot de vorige proef is het brandscherm reeds geactiveerd enkele seconden na de aanvang van de proef in plaats van 90 seconden na de start van de proef. Tijdens de vorige proef is immers vastgesteld dat er zich reeds rook in de evacuatieweg bevond vóór activatie van het brandscherm. Bij de vorige proef is de aanwezige rook in de gecreëerde evacuatieweg (snel) afgevoerd naar de extractieopeningen in de gemeenschappelijke ruimte.

In deze proef is er echter geen verbinding tussen de gecreëerde evacuatieweg en de gemeenschappelijke ruimte aangezien het brandscherm volledig naar beneden gelaten wordt. Hierdoor is het niet mogelijk om na te gaan of de aanwezige rook in de evacuatieweg enkel afkomstig is van vóór de activatie van het brandscherm. Om die reden is het brandscherm reeds naar beneden gedaan bij aanvang van de proef. In de praktijk dient uiteraard steeds een verbinding voorzien te worden tussen de evacuatieweg en de gemeenschappelijke ruimte teneinde de mogelijks aanwezige rook af te voeren.

Het rookbeheersingssysteem is manueel aangezet 110 seconden na de start van de proef.

Het extractiedebiet is constant en is ingesteld op ca. $5 \text{ m}^3/\text{s}$ (= ca. $18.000 \text{ m}^3/\text{h}$).

Onderstaande openingen zijn aangebracht in functie van het rookbeheersingssysteem (zie ook § 3.3.2):

- drie afvoeropeningen (breedte x hoogte (per opening): $1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$);
- drie toevoeropeningen (breedte x hoogte (per opening): $0,6 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}$) bovenaan in de muur in de evacuatiweg aan het uiteinde voorzien van de enkele deur.

4.3.2 Doel van de proef

Het doel van deze proef bestaat erin een (nieuwe) rookvrije evacuatiweg te creëren in de gemeenschappelijke ruimte (= brandruimte). Hierbij wordt gebruik gemaakt van een brandscherm dat op het moment van het brandalarm volledig naar beneden gaat. Van zodra het brandscherm zich in de gewenste positie bevindt, wordt het rookbeheersingssysteem geactiveerd. Het principe van deze proef is toegelicht in § 2.3.

De proef is geslaagd, m.a.w. het rookbeheersingssysteem is doeltreffend, indien geen rook in de gecreëerde evacuatiweg waargenomen wordt na activatie van het rookbeheersingssysteem.

Deze toepassing van een rookbeheersingssysteem kan dus aangewend worden indien een onmiddellijke evacuatie doorheen de gemeenschappelijke ruimte (= brandruimte) tot de evacuatiestrategie behoort.

Alhoewel de beide kamers geen deel uitmaken van de te creëren veilige zone, zal bijkomend onderzocht worden of rookverspreiding naar aanliggende compartimenten kan vermeden worden met behulp van deze toepassing van het rookbeheersingssysteem.

4.3.3 Waarnemingen tijdens de proef

Tijdens de proef zijn onderstaande waarnemingen gedaan:

Tijd	Waarneming
0' 00"	Start van de proef.
0' 05"	Brandscherm is manueel geactiveerd.
1' 08"	Eerste rookmelder in de gemeenschappelijke ruimte geactiveerd.
1' 24"	Tweede rookmelder in de gemeenschappelijke ruimte geactiveerd.
1' 50"	Rookbeheersingssysteem is manueel geactiveerd.
2' 00" tot 7' 00"	Zichtbaarheid in de gemeenschappelijke ruimte is nihil.
10' 00"	Zichtbaarheid in de gemeenschappelijke ruimte is bijna nihil.
20' 00"	Zichtbaarheid in de gemeenschappelijke ruimte is verbeterd.
25' 00"	Bijna geen rook meer waarneembaar in de gemeenschappelijke ruimte.

4.3.4 Resultaten van de proef

4.3.4.1 Metingen

De resultaten van de uitgevoerde metingen (temperatuur, druk, en CO-gehalte) zijn opgenomen in Bijlage 8.3.

4.3.4.2 Videobeelden

Onderstaande beelden zijn genomen in de gemeenschappelijke ruimte:



Na 2'00"



Na 4'00"



Na 6'00"



Na 8'00"



Na 10'00"



Na 15'00"



Na 20'00"



Na 25'00"

Onderstaande beelden zijn eveneens genomen in de gemeenschappelijke ruimte:



Na 2'00"



Na 4'00"



Na 6'00"



Na 8'00"



Na 10'00"



Na 15'00"



Na 20'00"



Na 25'00"

Onderstaande beelden zijn genomen in de gecreëerde evacuatiweg:



Na 2'00"



Na 4'00"

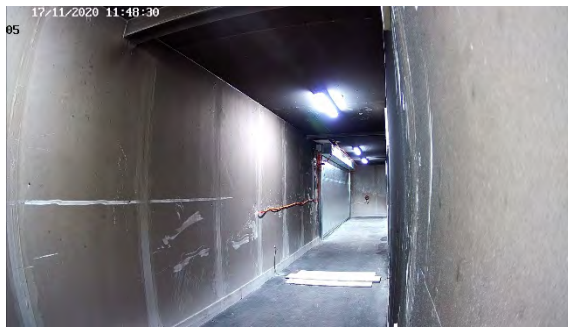


Na 6'00"



Na 8'00"

Onderstaande beelden zijn eveneens genomen in de gecreëerde evacuatiweg:



Na 2'00"



Na 4'00"



Na 6'00"



Na 8'00"

Onderstaande beelden zijn genomen in beide kamers. In de linker kolom betreft het de kamer met de rookwerende deur, in de rechter kolom de kamer met de brandwerende deur:

Kamer met rookwerende deur

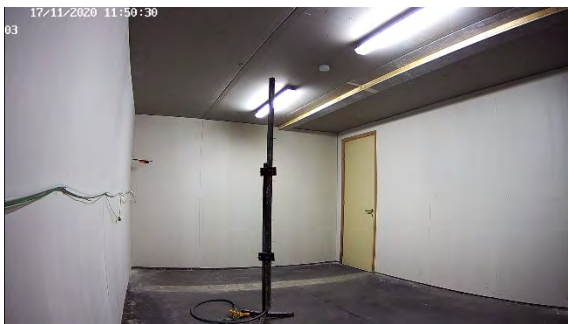
Kamer met brandwerende deur



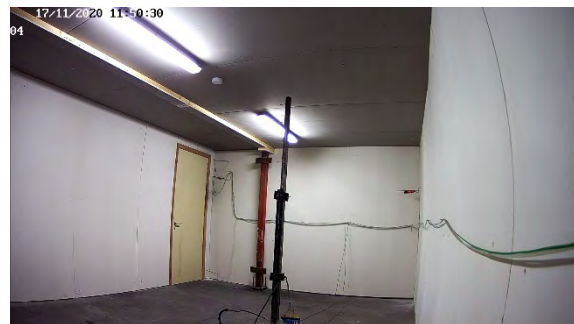
Na 2'00"



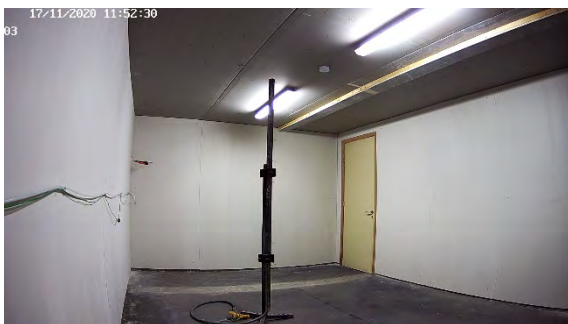
Na 2'00"



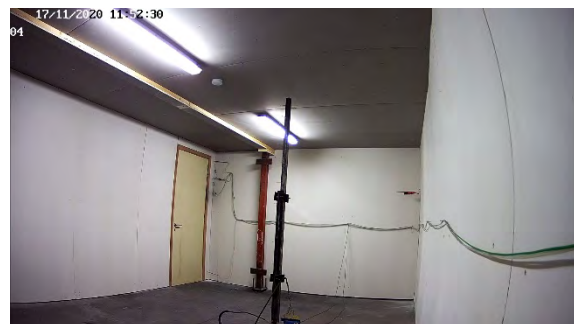
Na 4'00"



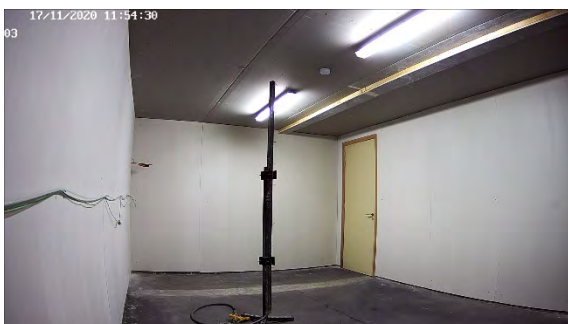
Na 4'00"



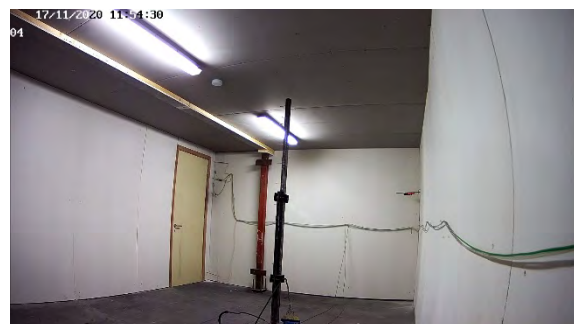
Na 6'00"



Na 6'00"



Na 8'00"



Na 8'00"

4.3.5 Vaststellingen na de proef

De volgende vaststellingen zijn gedaan:

- In de gecreëerde evacuatiweg is geen rook waargenomen.
- In beide kamers is geen rook waargenomen.
- De zetel is volledig uitgebrand.
- De bovenste helft van de brandwerende en de rookwerende deur is zwartgeblakerd.

4.3.6 Analyse van de resultaten van de metingen

Een analyse van de resultaten van de metingen omtrent de druk en temperatuur worden meer in detail besproken aan de hand van bijkomende CFD-simulaties (zie § 5.2).

4.3.7 Conclusies van de proef

De volgende conclusies kunnen worden gemaakt:

- Door de combinatie van een rookbeheersingssysteem en een brandscherm (volledig naar beneden) kan een (nieuwe) rookvrije evacuatiweg in de gemeenschappelijke ruimte (= brandruimte) bekomen worden. Hierdoor is een onmiddellijke evacuatie mogelijk voor elke bewoner wiens kamer op deze gecreëerde evacuatiweg uitkomt.
- Er dient een maatregel genomen te worden teneinde een mogelijke rookverspreiding naar de gecreëerde evacuatiweg te verhinderen. Deze rook is afkomstig van de beginnende brand en kan in de gecreëerde evacuatiweg aanwezig vóór de activatie van het brandscherm.

Enkele mogelijke maatregelen zijn hieronder weergegeven:

- een buffering (hoogte: min. 25 cm; bv. brandscherm in opbouw, downstand,...) aan de randen van de brandruimte voorzien die er voor zorgt dat de rook afkomstig van de beginnende brand in de brandruimte blijft tot op het moment dat het brandscherm geactiveerd wordt;
- een verbinding voorzien die de rook in de gecreëerde evacuatiweg afvoert naar de extractieopeningen in de brandruimte.
- Door bijkomend een onderdruk te creëren in de gemeenschappelijke ruimte (= brandruimte) is er geen rookverspreiding naar de aanliggende kamers. Hierdoor kan deze toepassing van het rookbeheersingssysteem ook aangewend worden in geval van een Defend in Place strategie.

- Het rookbeheersingssysteem kan niet verhinderen dat omringend meubilair (of ander brandbaar materiaal) in de directe nabijheid van de brandhaard kan bijdragen aan een branduitbreiding (zie ook conclusie Proef 3, vermeld in § 4.6.6 van de studie [2]).

Het rookbeheersingssysteem is wel in staat om de temperatuur in de ruimte laag genoeg te houden zodat spontane ontbranding van meubilair (of ander brandbaar materiaal) verder weg van de brandhaard, vermeden wordt.

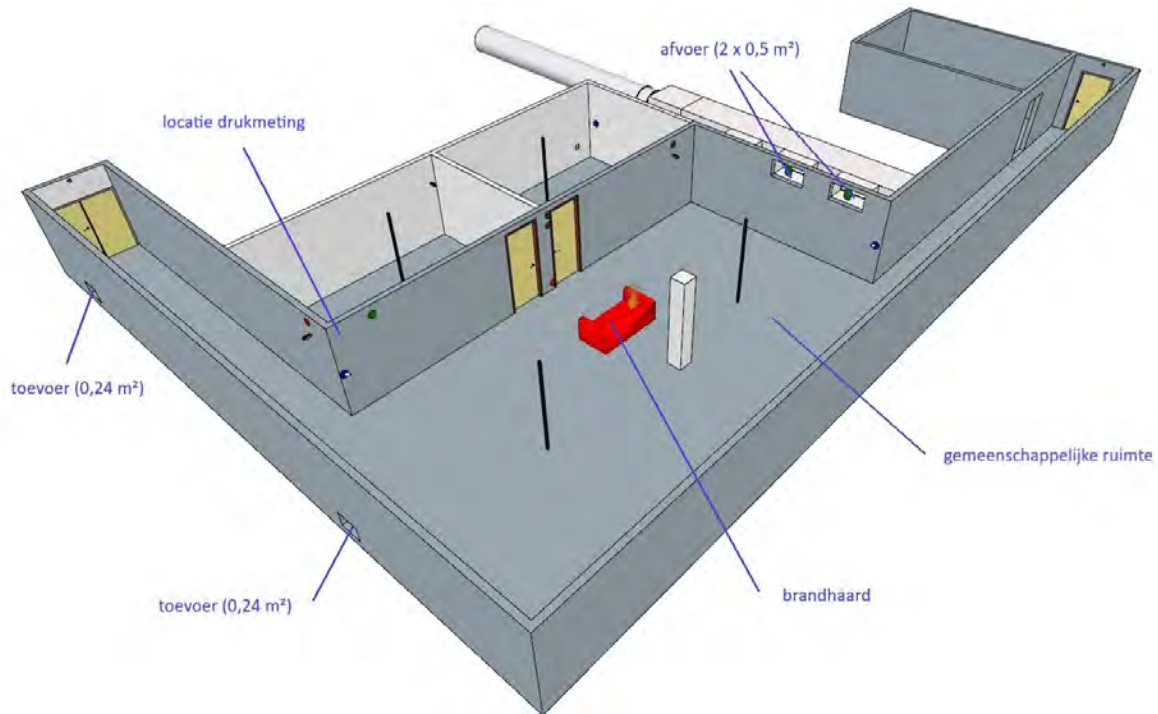
- Deze toepassing van het rookbeheersingssysteem is doeltreffend gebleken bij de toegepaste brandhaard, een specifiek extractiedebiet en vastgelegde toevoeropeningen. Het toepassingsdomein van deze toepassing van het rookbeheersingssysteem, i.e. onder welke randvoorwaarden kan eenzelfde doeltreffendheid bekomen worden, zal in detail besproken worden in § 5.2.

4.4 PROEF 4: TOEPASSING VAN EEN REGELBAAR ROOKBEHEERSINGSSYSTEEM

4.4.1 Configuratie

Proef 4 is uitgevoerd op 24 november 2020.

De proefopstelling is schematisch weergegeven in de onderstaande figuur:



Figuur 33: Schematische weergave van Proef 4

De opbouw en configuratie van deze proefopstelling is identiek aan deze beschreven in § 3.1 mits toevoeging van een rookbeheersingssysteem (zie § 3.3.2).

De locaties van de metingen (temperatuur, druk en CO) zijn beschreven in § 3.5.

In tegenstelling tot de vorige proeven is het extractiedebiet niet constant ingesteld, maar is dit variabel in functie van het gemeten drukverschil in de gemeenschappelijke ruimte. Dit drukverschil is gemeten op een hoogte van ca. 2,4 m en bevindt zich op de locatie weergegeven in bovenstaande figuur (ter plaatse van de muur met de rookwerende en brandwerende deur). Tijdens de proef is een te behalen onderdruk van ca. 25 Pa ingesteld.

Het rookbeheersingssysteem is manueel aangezet 90 seconden na de start van de proef. Vanaf dat moment is het extractiedebiet bepaald door het gemeten drukverschil en wordt het gestuurd door het drukregelsysteem.

Onderstaande openingen zijn aangebracht in functie van het rookbeheersingssysteem (zie ook § 3.3.2):

- twee afvoeropeningen (breedte x hoogte (per opening): 1 m x 0,5 m);
- twee toevoeropeningen (breedte x hoogte (per opening): 0,6 m x 0,4 m) onderaan in de muur in de evacuatieweg aan het uiteinde voorzien van de dubbele deur.

4.4.2 Doel van de proef

Het doel van deze proef bestaat erin rookverspreiding naar aanliggende compartimenten te verhinderen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een drukregelsysteem waarbij het extractiedebiet van het rookbeheersingssysteem zich aanpast aan het gemeten drukverschil in de ruimte.

De proef is geslaagd, m.a.w. het rookbeheersingssysteem is doeltreffend, indien geen rook in de kamers waargenomen wordt en het extractiedebiet geregeld wordt door het drukregelsysteem.

Deze toepassing van een rookbeheersingssysteem kan dus aangewend worden indien een Defend in Place strategie tot de evacuatiestrategie behoort.

4.4.3 Waarnemingen tijdens de proef

Tijdens de proef zijn onderstaande waarnemingen gedaan:

Tijd	Waarneming
0' 00"	Start van de proef.
1' 10"	Eerste rookmelder in de gemeenschappelijke ruimte geactiveerd.
1' 20"	Tweede rookmelder in de gemeenschappelijke ruimte geactiveerd.
1' 30"	Rookbeheersingssysteem is manueel geactiveerd.
2' 00" tot 7' 00"	Zichtbaarheid in de gemeenschappelijke ruimte is nihil.
10' 00"	Zichtbaarheid in de gemeenschappelijke ruimte is nihil.
20' 00"	Zichtbaarheid in de gemeenschappelijke ruimte is lichtjes verbeterd.
25' 00"	Zichtbaarheid in de gemeenschappelijke ruimte is sterk verbeterd.

Opmerking:

Nadat de brandhaard zo goed als uitgedoofd was, is besloten om de proefruimte te betreden terwijl het rookbeheersingssysteem nog steeds actief was. Door het openen van de (enkele) deur werd een bijkomende opening gecreëerd waardoor de grootte van de gerealiseerde onderdruk zeer sterk verkleinde. Door het drukregelsysteem werd het extractiedebiet vervolgens verhoogd, maar aangezien de oppervlakte van de nieuwe opening (zeer) groot was, draaide de ventilator op dat moment op maximaal vermogen. Hierbij werd vastgesteld dat het niet altijd evident was om een deur, die naar de ruimte opendraait, gemakkelijk te sluiten. Bij het vastleggen van de maximale te behalen onderdruk in de ontwerpparameters zal hiermee aldus rekening gehouden worden.

4.4.4 Resultaten van de proef

4.4.4.1 Metingen

De resultaten van de uitgevoerde metingen (temperatuur, druk, en CO-gehalte) zijn opgenomen in Bijlage 8.4.

4.4.4.2 Videobeelden

Onderstaande beelden zijn genomen in de gemeenschappelijke ruimte:



Na 2'00"



Na 4'00"



Na 6'00"



Na 8'00"



Na 10'00"



Na 15'00"



Na 20'00"



Na 25'00"

Onderstaande beelden zijn eveneens genomen in de gemeenschappelijke ruimte:



Na 2'00"



Na 4'00"



Na 6'00"



Na 8'00"



Na 10'00"



Na 15'00"



Na 20'00"



Na 25'00"

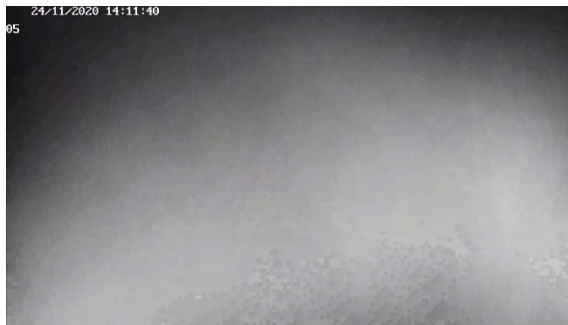
Onderstaande beelden zijn genomen in de evacuatieweg aan het uiteinde voorzien van de dubbele deur:



Na 2'00"



Na 4'00"



Na 6'00"



Na 8'00"



Na 10'00"



Na 15'00"



Na 20'00"



Na 25'00"

Onderstaande beelden zijn genomen in de evacuatiweg aan het uiteinde voorzien van de enkele deur:



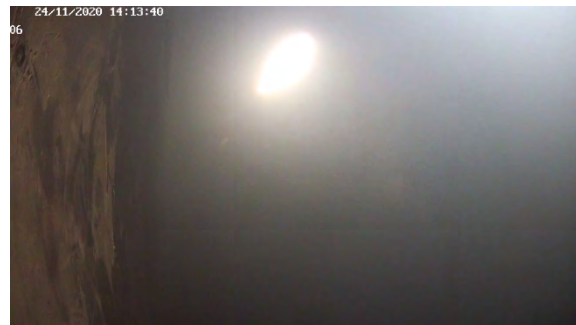
Na 2'00''



Na 4'00''



Na 6'00''



Na 8'00''



Na 10'00''



Na 15'00''



Na 20'00''

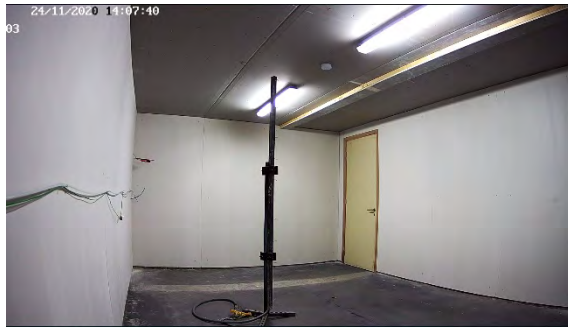


Na 25'00''

Onderstaande beelden zijn genomen in beide kamers. In de linker kolom betreft het de kamer met de rookwerende deur, in de rechter kolom de kamer met de brandwerende deur:

Kamer met rookwerende deur

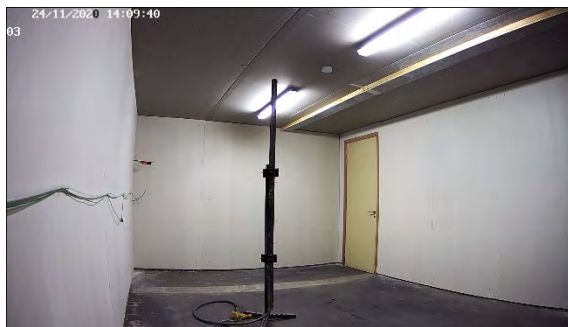
Kamer met brandwerende deur



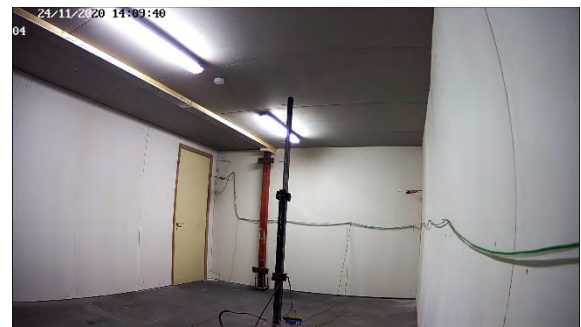
Na 2'00"



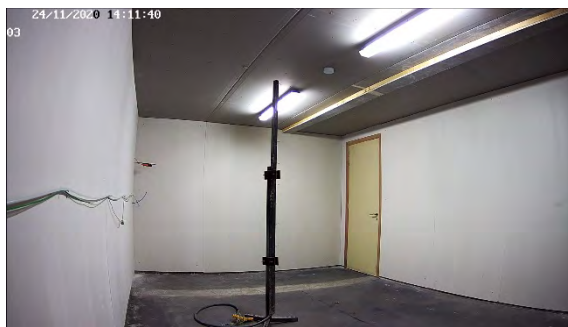
Na 2'00"



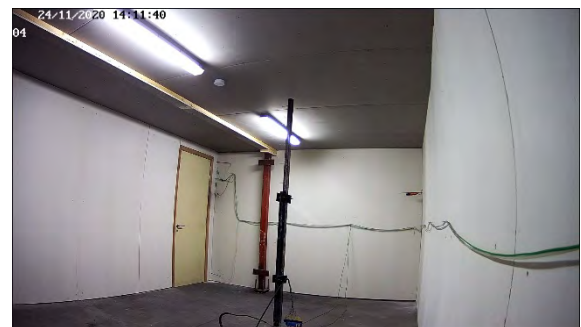
Na 4'00"



Na 4'00"



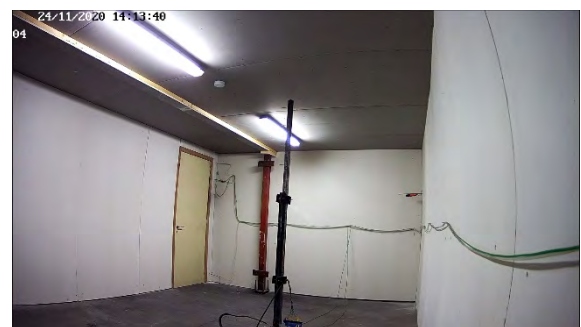
Na 6'00"



Na 6'00"



Na 8'00"



Na 8'00"

4.4.5 Vaststellingen na de proef

De volgende vaststellingen zijn gedaan:

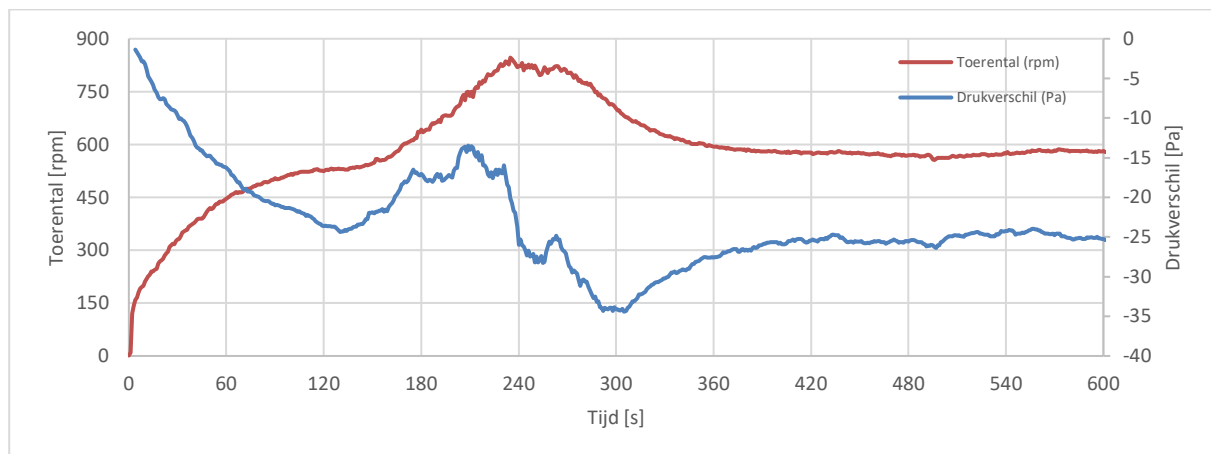
- In beide kamers is geen rook waargenomen.
- De zetel is volledig uitgebrand.
- De bovenste helft van de brandwerende en de rookwerende deur is zwartgeblakerd.

4.4.6 Analyse van de resultaten van de metingen

Voor deze proef zal geen analyse van de resultaten van de metingen gedaan worden, aangezien het tijdens deze proef enkel de bedoeling is om de werking van het drukregelsysteem aan te tonen.

Om die reden zijn tijdens deze proef – naast de metingen vermeld in § 3.5 – ook het toerental van de ventilator evenals het bijhorende gemeten drukverschil in de gemeenschappelijke ruimte (= brandruimte) geregistreerd.

De resultaten van deze metingen zijn weergegeven in de onderstaande grafiek:



Figuur 34: Toerental van de ventilator in functie van het gemeten drukverschil – Proef 4

Uit bovenstaande grafiek is af te leiden dat in het begin van de proef logischerwijs een grotere onderdruk gegenereerd wordt op het moment dat het toerental (= extractiedebiet) toeneemt. Deze toename van onderdruk is uiteraard noodzakelijk om tot de ingestelde onderdruk van ca. 25 Pa te komen.

Echter tussen ca. 120 seconden en 200 seconden na de activatie (i.e. tussen ca. 210 seconden en 290 seconden na de start van de proef) heeft een toename van het toerental (= extractiedebiet) een afname van de overdruk tot gevolg. Deze evolutie is niet zoals verwacht, maar kan te maken hebben met een verminderde efficiënte van het rookbeheersingssysteem in deze fase van de brand.

Een mogelijk verklaring hiervoor zou de verhouding tussen de toevoer- en afvoeropeningen kunnen zijn (en dus ook het verschil in snelheid aan de toevoer- en afvoeropeningen). Het is geweten dat bij een natuurlijke RWA de totale aerodynamische oppervlakte van de toevoeropening minstens zo groot dient te zijn als de totale aerodynamische oppervlakte van de afvoeropeningen teneinde een efficiënte rookafvoer te kunnen bewerkstelligen (zie ook de Belgische norm NBN S21-208-1). Het is dus ook mogelijk dat deze vaststelling tevens van toepassing is op een systeem bestaande uit natuurlijke toevoer en mechanische afvoer.

Om de invloed van de verhouding tussen de toevoeropening ten opzichte van de afvoeropening te onderzoeken is om die reden een bijkomende “koude” proef (= proef zonder brandhaard) uitgevoerd. Tijdens deze proef is gebruik gemaakt van slechts één afvoeropening (breedte x hoogte: 1 m x 0,5 m) en wordt de snelheid op halve hoogte van het afvoerpunt (op drie plaatsen) gemeten terwijl de oppervlakte van de toevoeropeningen varieerde. Het toerental van het rookbeheersingssysteem is constant ingesteld en is laag genoeg gehouden teneinde geen al te grote drukverliezen te realiseren ter plaatse van de toevoeropening (zie ook § 3.3.2).

De resultaten van de snelheidsmetingen in de afvoeropening zijn weergegeven in de onderstaande tabel:

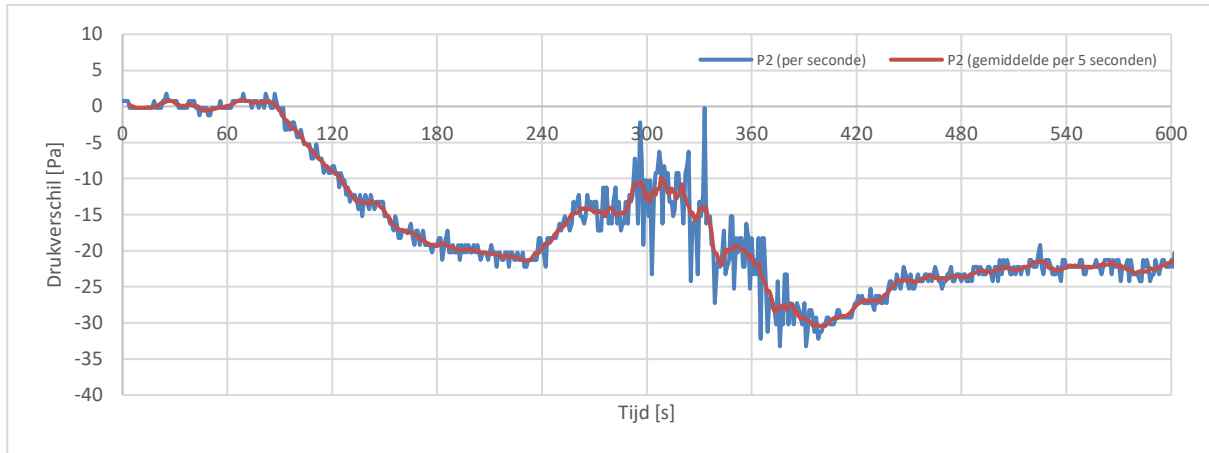
Totale oppervlakte toevoer [m²]	Oppervlakte afvoer [m²]	Verhouding oppervlakte toevoer/afvoer [-]	Gemiddelde gemeten snelheid [m/s]	Gemeten drukverschil [Pa]
0,25	0,5	0,5	2,8	-12
0,50	0,5	1,0	3,3	-8
0,75	0,5	1,5	3,5	-6
1,00	0,5	2,0	3,9	-3
1,50	0,5	3,0	4,0	-2

Uit bovenstaande tabel kan afgeleid worden dat – bij een constant ingesteld toerental van de ventilator – het extractiedebiet enorm kan variëren in functie van de verhouding van de toevoer- en afvoeropeningen. Dergelijke vaststelling is iets waarmee rekening zal gehouden worden bij het opstellen van de ontwerpparameters van het rookbeheersingssysteem (zie ook § 5.2).

Wat het drukregelsysteem betreft, is het best om deze af te stellen op basis van een gemiddeld drukverschil, gemeten over 5 seconden.

Tijdens de proef is immers per seconde gemeten. Hierdoor zijn grote schommelingen mogelijk waardoor het drukregelsysteem te “bruusk” zou kunnen reageren teneinde het extractiedebiet te bepalen.

Deze schommelingen zijn weergegeven in de onderstaande grafiek:



Figuur 35: Gemeten drukverschil (ter plaatse van positie P2) tijdens Proef 4

4.4.7 Conclusies van de proef

De volgende conclusies kunnen worden gemaakt:

- Door continu een onderdruk te creëren in de gemeenschappelijke ruimte (= brandruimte) is er geen rookverspreiding naar de aanliggende kamers mogelijk. Hierdoor kan deze toepassing van het rookbeheersingssysteem aangewend worden in geval van een Defend in Place strategie.
- De vooropgestelde onderdruk dient best niet te groot genomen te worden zodat het openen en sluiten van deuren die verbonden zijn met de ruimte, hanteerbaar blijft. Immers zolang er een onderdruk in de ruimte aanwezig is (hoe klein ook), is rookverspreiding naar aanliggende compartimenten niet mogelijk.
- De proef heeft aangetoond dat het extractiedebiet van het rookbeheersingssysteem kan geregeld worden in functie van het aanwezige drukverschil. Echter dient rekening gehouden te worden met de verhouding van de toevoer- en afvoeropening teneinde de efficiëntie van het rookbeheersingssysteem te kunnen garanderen.
- Het rookbeheersingssysteem kan niet verhinderen dat omringend meubilair (of ander brandbaar materiaal) in de directe nabijheid van de brandhaard kan bijdragen aan een branduitbreiding (zie ook conclusie Proef 3, vermeld in § 4.6.6 van de studie [2]).

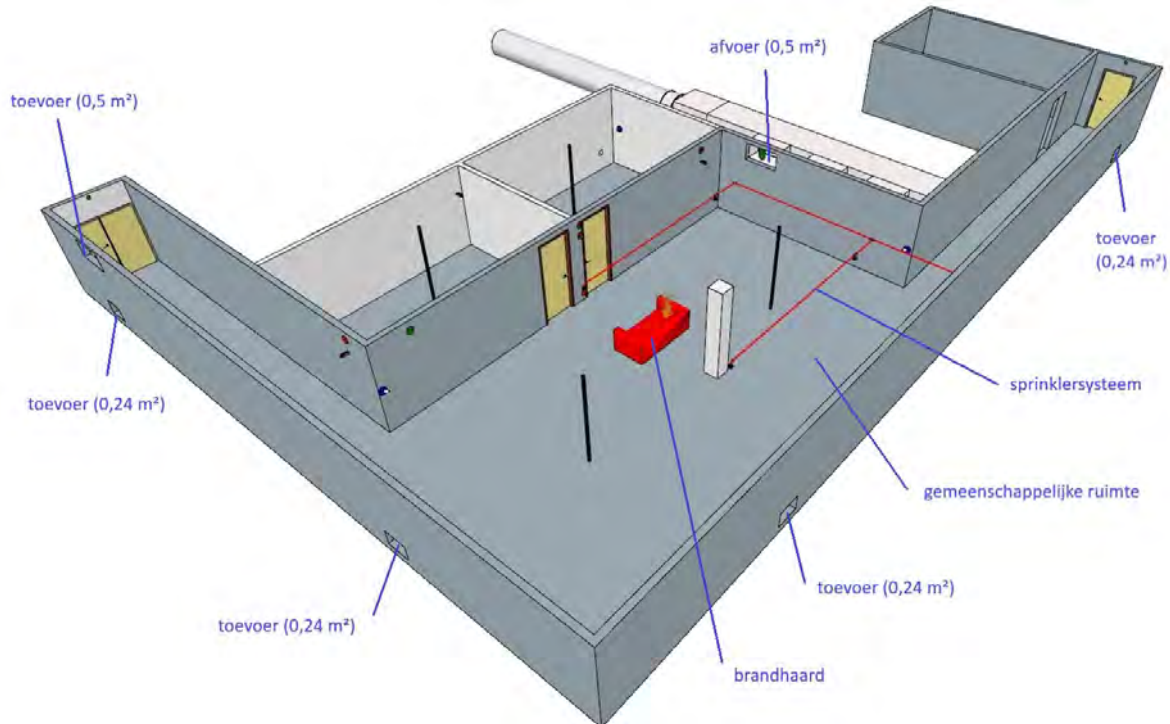
Het rookbeheersingssysteem is wel in staat om de temperatuur in de ruimte laag genoeg te houden zodat spontane ontbranding van meubilair (of ander brandbaar materiaal) verder weg van de brandhaard, vermeden wordt.

4.5 PROEF 5: TOEPASSING VAN EEN AUTOMATISCHE BLUSSING

4.5.1 Configuratie

Proef 5 is uitgevoerd op 15 december 2020.

De proefopstelling is schematisch weergegeven in de onderstaande figuur:



Figuur 36: Schematische weergave van Proef 5

De opbouw en configuratie van deze proefopstelling is identiek aan deze beschreven in § 3.1, mits toevoeging van een rookbeheersingssysteem (zie § 3.3.2) en een automatisch blussysteem (zie § 3.3.4).

De locaties van de metingen (temperatuur, druk en CO) zijn beschreven in § 3.5.

Het rookbeheersingssysteem is manueel aangezet 90 seconden na de start van de proef.

Het extractiedebiet is constant en is ingesteld op ca. $2,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (= ca. $8.000 \text{ m}^3/\text{h}$).

Onderstaande openingen zijn aangebracht in functie van het rookbeheersingssysteem (zie ook § 3.3.2):

- één afvoeropening (breedte x hoogte: $1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$);
- twee toevoeropeningen (breedte x hoogte (per opening): $0,6 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}$) onderaan en één toevoeropening (breedte x hoogte: $1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$) bovenaan in de muur in de evacuatieweg aan het uiteinde voorzien van de dubbele deur. Twee toevoeropeningen (breedte x hoogte (per opening): $0,6 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}$) zijn aangebracht onderaan in de muur in de evacuatieweg aan het uiteinde voorzien van de enkele deur.

4.5.2 Doel van de proef

Het doel van deze proef bestaat erin na te gaan of onmiddellijke evacuatie doorheen een brandruimte mogelijk is door gebruik te maken van een rookbeheersingssysteem en een automatisch blussysteem.

Het extractiedebiet van het rookbeheersingssysteem is laag ingesteld aangezien het de goede werking van het automatisch blussysteem niet negatief mag beïnvloeden. Bovendien is er ook voor gekozen om voldoende toevoeropeningen aan te brengen. Hierdoor zal de snelheid ter plaatse van de toevoeropeningen laag zijn.

Er zal bijkomend onderzocht worden of het mogelijk is om een rooklaag te creëren vóór de activatie van de sprinklers. Dit kan nuttig zijn indien het een brand betreft die eerder rook dan warmte produceert en een evacuatie onder de rooklaag in beschouwing genomen wordt.

De proef is geslaagd, m.a.w. het rookbeheersingssysteem is doeltreffend, indien geen rook in de gemeenschappelijke ruimte waargenomen wordt na de activatie van beide systemen en indien de brand onder controle gehouden wordt door het automatisch blussysteem.

Deze toepassing van een rookbeheersingssysteem kan dus aangewend worden indien een onmiddellijke evacuatie doorheen de gemeenschappelijke ruimte (= brandruimte) tot de evacuatiestrategie behoort.

Alhoewel de beide kamers geen deel uitmaken van de te creëren veilige zone, zal bijkomend onderzocht worden of rookverspreiding naar aanliggende compartimenten kan vermeden worden met behulp van deze toepassing van het rookbeheersingssysteem.

4.5.3 Waarnemingen tijdens de proef

Tijdens de proef zijn onderstaande waarnemingen gedaan:

Tijd	Waarneming
0' 00"	Start van de proef.
1' 08"	Eerste rookmelder in de gemeenschappelijke ruimte geactiveerd. De activatie van de tweede rookmelder in de gemeenschappelijke ruimte is niet gehoord tijdens de proef.
1' 30"	Rookbeheersingssysteem is manueel geactiveerd.
2' 00" tot 3' 00"	De rooklaag in de gemeenschappelijke ruimte is zichtbaar.
3' 21"	Activatie sprinkler1. Intensiteit vlammen brandhaard neemt toe.
3' 32"	Activatie sprinkler2.
3' 38"	Activatie sprinkler4.
5' 00"	Brandhaard onder controle door het automatisch blussysteem.
6' 00" tot 10' 00"	Zichtbaarheid in brandruimte is verbeterd.
11' 00"	Heropflakking van de brandhaard.
11' 30" tot 20' 00"	Zichtbaarheid in brandruimte is bijna nihil.
25' 00"	Zichtbaarheid in brandruimte is verbeterd.

Opmerking:

Zoals beschreven in de waarnemingen is – net als in de eerste VIPA-studie - een heropflakking van de brandhaard vastgesteld. Ook hier flakkerde het vuur opnieuw op aangezien de zetel als het ware een afscherming vormde zodat de brandende druppels van het schuim onder de zetel niet volledig konden uitgedoofd worden.

Er dient benadrukt te worden dat deze heropflakking eigen is aan de toegepaste brandhaard en testcondities.

4.5.4 Resultaten van de proef

4.5.4.1 Metingen

De resultaten van de uitgevoerde metingen (temperatuur, druk, en CO-gehalte) zijn opgenomen in Bijlage 8.5.

4.5.4.2 Videobeelden

Onderstaande beelden zijn genomen in de gemeenschappelijke ruimte:



Na 2'00"



Na 3'00"



Na 3'22" (activatie 1^e sprinkler)



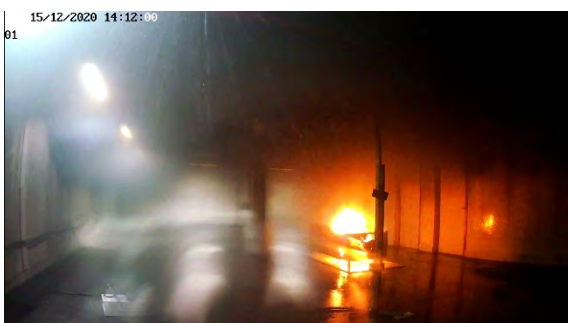
Na 3'31" (activatie 2^e sprinkler)



Na 3'37" (activatie 3^e sprinkler)



Na 3'45"



Na 4'00"



Na 5'00"



Na 7'00"



Na 10'00"



Na 15'00"



Na 20'00"



Na 25'00"



Na 30'00"

Onderstaande beelden zijn eveneens genomen in de gemeenschappelijke ruimte:



Na 2'00"



Na 3'00"



Na 3'22" (activatie 1^e sprinkler)



Na 3'31" (activatie 2^e sprinkler)



Na 3'37" (activatie 3^e sprinkler)



Na 3'45"



Na 4'00"



Na 5'00"



Na 10'00"



Na 11'00"



Na 11'40"



Na 13'00"



Na 15'00"



Na 20'00"



Na 25'00"



Na 30'00"

Onderstaande beelden zijn genomen in de evacuatiweg aan het uiteinde voorzien van de dubbele deur:



Na 2'00"



Na 3'00"



Na 4'00"



Na 5'00"



Na 10'00"



Na 15'00"



Na 20'00"



Na 25'00"

Onderstaande beelden zijn genomen in de evacuatieweg aan het uiteinde voorzien van de enkele deur:



Na 2'00"



Na 3'00"



Na 4'00"



Na 5'00"



Na 10'00"



Na 15'00"



Na 20'00"



Na 25'00"

Onderstaande beelden zijn genomen in beide kamers. In de linker kolom betreft het de kamer met de rookwerende deur, in de rechter kolom de kamer met de brandwerende deur:

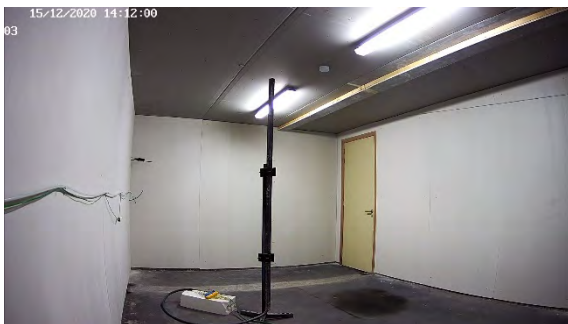
Kamer met rookwerende deur

Kamer met brandwerende deur



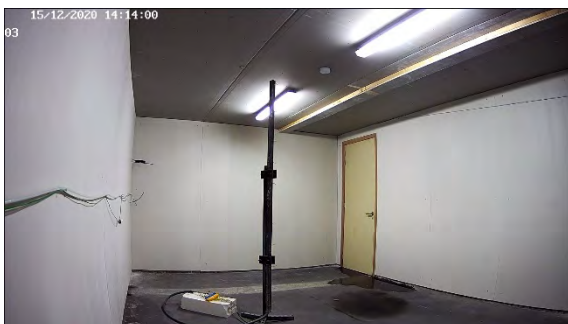
Na 2'00"

Na 2'00"



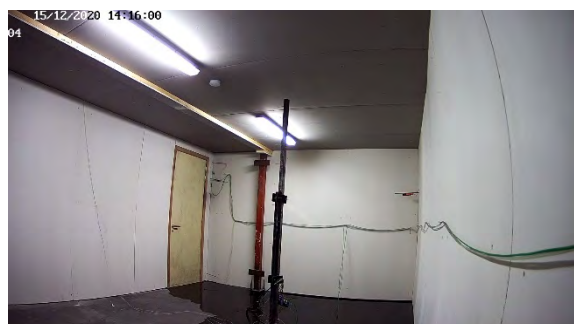
Na 4'00"

Na 4'00"



Na 6'00"

Na 6'00"



Na 8'00"

Na 8'00"

4.5.5 Vaststellingen na de proef

De volgende vaststellingen zijn gedaan:

- In beide kamers is geen rook waargenomen.
- Het schuim (en de hoes) van de zetel is volledig opgebrand, behalve aan één zijkant.

4.5.6 Analyse van de resultaten van de metingen

Voor deze proef zal geen analyse van de resultaten van de metingen gedaan worden, aangezien het tijdens deze proef de bedoeling is om aan te tonen dat een automatisch blussysteem kan toegepast worden in combinatie met een rookbeheersingssysteem.

De vorming van een rookvrije hoogte, i.e. een duidelijke scheiding tussen een rooklaag en de omgevingslucht, wordt behandeld in § 5.4.

4.5.7 Conclusies van de proef

De volgende conclusies kunnen worden gemaakt:

- De combinatie van een rookbeheersingssysteem en een sprinklersysteem heeft ervoor gezorgd dat er geen rookverspreiding is naar de aanliggende kamers. Hierdoor kan deze toepassing van het rookbeheersingssysteem aangewend worden in geval van een Defend in Place strategie.
- De combinatie van een rookbeheersingssysteem en een sprinklersysteem kan echter niet aangewend worden in geval van een onmiddellijke evacuatie doorheen de brandruimte (= evacuatieweg) aangezien geen “beperkte blootstelling”, zoals gedefinieerd in § 2.1 (Vooropgestelde veiligheidsniveau), kan bekomen worden.
- Het vooropgestelde extractiedebiet van het rookbeheersingssysteem is te laag ingesteld om de geproduceerde rook tijdens een eventuele heropflakking van de brandhaard af te voeren. Hierdoor is de zichtbaarheid slecht en kan deze toepassing van het rookbeheersingssysteem met het te laag ingestelde extractiedebiet dus niet aangewend worden indien een onmiddellijke evacuatie tot de evacuatiestrategie behoort.

Indien - na de activatie van het automatisch blussysteem - een hoger extractiedebiet zou ingesteld worden, is een betere afvoer van de rook mogelijk (zodat de zichtbaarheid snel terug beter is) doch hierbij is het belangrijk om voldoende toevoeropeningen te voorzien. Hierdoor wordt immers minder turbulentie in de ruimte gecreëerd en is de zichtbaarheid beter (zie ook § 5.4).

- Deze toepassing van het rookbeheersingssysteem kan wel aangewend worden tijdens een interventie van de brandweer bij een Defend in Place strategie. Indien de brand niet volledig geblust is en er dus nog een (geringe) rookproductie plaatsvindt, kan een rookbeheersingssysteem er immers voor zorgen dat enerzijds de brandruimte (= evacuatieweg) in onderdruk geplaatst wordt zodat de actie van de brandweer tijdens hun interventie – in geval van een (zeer) luchtdichte brandruimte - geen verdere rookverspreiding zal veroorzaken, maar ook anderzijds dat de zichtbaarheid verbeterd wordt zodat de brandweer de brand volledig kan blussen.

- Het automatisch blussysteem houdt de brand onder controle, zelfs bij een eventuele heropflakking ervan.

Door de directe omgeving van de brandhaard te bevochtigen, verhindert het automatisch blussysteem dat omringend meubilair (of ander brandbaar materiaal) in de directe nabijheid van de brandhaard spontaan gaat ontbranden.

- Door grotere toevoeringen aan te brengen (en aldus de snelheid aan de toevoeringen laag te houden), is tijdens de beginfase van de brand een duidelijke rookvrije hoogte gerealiseerd.

5 BIJKOMENDE CFD-SIMULATIES

5.1 INLEIDING

Aangezien om praktische en financiële redenen niet elke configuratie kan getest worden, wordt aan de hand van bijkomende CFD-simulaties de potentiële invloed van gewijzigde parameters op de efficiëntie van het rookbeheersingssysteem onderzocht.

Het doel van de CFD-simulaties is eerder een kwalitatief dan een kwantitatief onderzoek aangezien de CFD-simulaties slechts een inschatting van de werkelijkheid zijn. Resultaten bekomen tijdens de CFD-simulaties kunnen dus nooit aangenomen worden als resultaten die in de werkelijkheid zullen bekomen worden. Tijdens de CFD-simulaties kan echter wel de invloed van een gewijzigde parameter op de efficiëntie van het systeem onderzocht worden.

Voor de CFD-simulaties is gebruikgemaakt van het programma FDS (FDS: Fire Dynamics Simulator). Dit programma (versie 6.6.0) is een LES-model (LES: Large Eddy Simulations), wat betekent dat het de turbulente wervels expliciet berekent en dat de wervels die te klein zijn ten opzichte van de celgrootte (grid size) benaderd worden. De invloed van de celgrootte (grid size) op de inmenging van lucht in de rookpluim is dus zeer belangrijk. Hoe fijner de grid size, i.e. hoe kleiner de celgrootte, hoe beter de turbulentie weergegeven wordt.

Tijdens de simulaties met FDS zijn de standaardinstellingen van het programma toegepast en is de celgrootte (grid size) vastgelegd op $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$. De thermische eigenschappen van de wanden en het plafond in de simulaties zijn gebaseerd op deze toegepast tijdens de grootschalige brandproeven, teneinde ook rekening te houden met de warmteverliezen doorheen de grenzen van de brandruimte.

5.2 ROOKBEHEERSINGSSYSTEEM TENEINDE ROOKVERSPREIDING TE VERHINDEREN

5.2.1 Inleiding

Aangezien er geen empirische formules voorhanden zijn voor het berekenen van het drukverschil in de brandruimte o.i.v. een brandhaard en een rookbeheersingssysteem, zijn voorafgaandelijk aan de grootschalige brandproeven, CFD-simulaties uitgevoerd teneinde een inschatting te hebben van het te verwachten drukverschil onder de brandvoorwaarden eigen aan elke proef (i.e. Proef 4 en Proef 5).

De grootschalige brandproeven hebben aangetoond dat het rookbeheersingssysteem doeltreffend is voor de betreffende brandhaard, de specifieke ventilatiecondities, het vastgelegde extractiedebiet en de afmetingen van de brandruimte.

Tijdens deze bijkomende CFD-simulaties wordt de invloed van onderstaande variërende parameters (t.o.v. de grootschalige brandproeven) op het drukverschil in de brandruimte onderzocht:

- de locatie van de toevoer- en afvoeropeningen;
- de locatie van de brandhaard;
- de Heat Release Rate en Heat Release Rate curve;
- de grootte van de toevoeropeningen;
- de extractiedebieten;
- de afmetingen van de brandruimte.

5.2.2 Eerst een beetje theorie

Om de grafieken van de bijkomende CFD-simulaties beter te begrijpen, wordt eerst toegelicht hoe deze grafieken dienen geïnterpreteerd te worden. Daarom dus eerst een beetje theorie.

Aangezien een luchtstroom zich steeds van een hoog naar een laag drukgebied manifesteert, is rookverspreiding naar aanliggende ruimtes niet mogelijk indien een onderdruk (= laag drukgebied) in een brandruimte gerealiseerd wordt.

Om de grootte van deze onderdruk te bepalen wordt beroep gedaan op onderstaande vergelijking van Bernoulli betreffende het stromingsgedrag van vloeistoffen en gassen:

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z = \text{const.}$$

met:

p	druk [Pa]
ρ	massadichtheid [kg/m ³]
v	snelheid [m/s]
g	gravitatieversnelling [m/s ²]
z	hoogte [m]

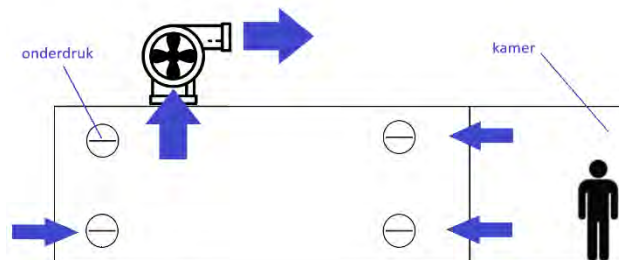
Op basis van deze vergelijking kan, in geval van een stroom doorheen een opening, onderstaande formule toegepast worden om het volumedebiet doorheen deze opening te bepalen:

$$V = C_d A \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (1)$$

met:

V	volumedebiet [m ³ /s]
C _d	contractiecoëfficiënt [-]
A	oppervlakte van de opening [m ²]
Δp	drukverschil [Pa]
ρ	massadichtheid [kg/m ³]

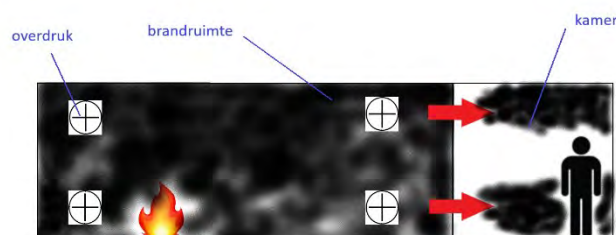
Uit bovenstaande vergelijking kan de onderdruk in een ruimte dus bepaald worden op basis van de aerodynamische oppervlakte (= A x C_d) van de toevoeropeningen en het volumedebiet (van de ventilator). Uit bovenstaande vergelijking blijkt ook dat hoe kleiner de aerodynamische oppervlakte van de toevoeropeningen is, hoe kleiner het volumedebiet dient te zijn om hetzelfde drukverschil te bekomen; evenals dat bij een constant volumedebiet, steeds eenzelfde drukverschil bekomen wordt. Het principe om door middel van een rookbeheersingssysteem een onderdruk in een ruimte (zonder een brand) te creëren wordt schematisch weergegeven in de onderstaande figuur:



Figuur 37: Creëren van een onderdruk in een ruimte door middel van een rookbeheersingssysteem

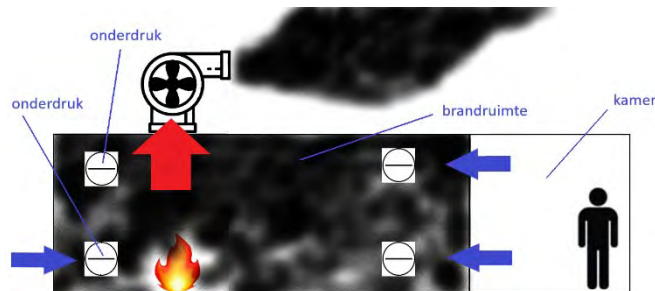
Een brand in een ruimte zal echter steeds een overdruk creëren in deze ruimte. De grootte van deze overdruk is (vooral) afhankelijk van de grootte van de openingen in de brandruimte (i.e. hoe kleiner de openingen, hoe groter de overdruk).

Het principe waarbij een overdruk in een ruimte door de brandhaard gecreëerd wordt, is hieronder schematisch weergegeven:



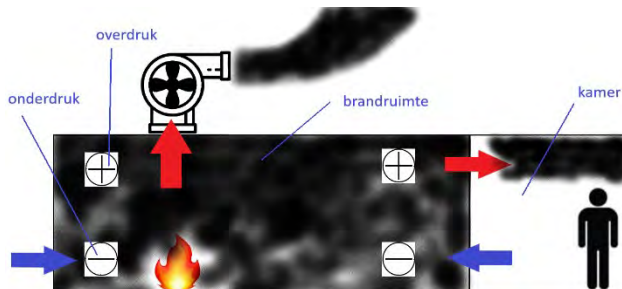
Figuur 38: Creëren van een overdruk in een ruimte onder invloed van een brandhaard

Bij een constant volumedebiet zal de oorspronkelijk bekomen onderdruk niet constant blijven, maar beïnvloed worden door de brandhaard. Afhankelijk van de grootte van het volumedebiet en de Heat Release Rate (van de brandhaard) kan in de ruimte een onderdruk in de gehele ruimte bekomen worden, zoals hieronder schematisch weergegeven:



Figuur 39: Toepassing van een rookbeheersingssysteem dat in geval van brand een onderdruk creëert in de gehele ruimte

Door een (te) laag extractiedebiet en/of een (te) hoge Heat Release Rate is het echter mogelijk dat niet overal in de ruimte een onderdruk kan bekomen worden, zoals hieronder schematisch weergegeven:



Figuur 40: Toepassing van een rookbeheersingssysteem dat in geval van brand (toch) een overdruk creëert bovenaan de ruimte

Op basis van bovenstaande is het dus interessant om te onderzoeken welke parameters het drukverschil in de ruimte het meest beïnvloeden.

Veronderstel daarom een constante toevoeropening (i.e. $A \times C_d = \text{constant}$) evenals een constante temperatuur van de toevoerlucht (i.e. $\rho = \text{constant}$) tijdens een brandproef waarbij een rookbeheersingssysteem toegepast wordt. Dan kan uit Vergelijking (1) afgeleid worden dat gedurende het verloop van de brandproef, onderstaande vergelijking van toepassing is ter plaatse van de toevoeropening:

$$\frac{V_1^2}{\Delta p_1} = \frac{V_2^2}{\Delta p_2} \leftrightarrow \frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2}}$$

met:

- V_1 constant volumedebiet doorheen de toevoeropening indien geen brandhaard aanwezig (= extractiedebiet) [m^3/s]
- Δp_1 drukverschil horend bij V_1 [Pa]
- V_2 volumedebiet doorheen de toevoeropening tijdens de brandproef [m^3/s]
- Δp_2 drukverschil horend bij V_2 [Pa]

Op basis van bovenstaande kan het drukverschil tijdens de brandproef als volgt berekend worden:

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 \leftrightarrow \Delta p_2 = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 \Delta p_1 \quad (2)$$

Op basis van deze vergelijking kan geconcludeerd worden dat het drukverschil tijdens een brandproef afhankelijk is van het volumedebiet doorheen de toevoeropening, dat varieert tijdens de brandproef.

Nu dient nog bepaald te worden wat een invloed kan hebben op het volumedebiet doorheen de toevoeropening tijdens de brandproef. Om dit te bepalen wordt er verondersteld dat de massa lucht die in de brandruimte binnengebracht wordt (= m_{in}) ongeveer gelijk is aan de uitgaande massa lucht (= m_{uit}), zoals hieronder weergegeven:

$$m_{in} \approx m_{uit} \leftrightarrow V_{in}\rho_{in} \approx V_{uit}\rho_{uit} \leftrightarrow V_{in} \frac{353}{T_{in}} \approx V_{uit} \frac{353}{T_{uit}} \leftrightarrow \frac{V_{in}}{V_{uit}} \approx \frac{T_{in}}{T_{uit}} \quad (3)$$

met:

m_{in}	massadebiet van de lucht doorheen de toevoeropening [kg/s]
V_{in}	volumedebiet van de lucht doorheen de toevoeropening [m ³ /s]
ρ_{in}	massadichtheid van de lucht doorheen de toevoeropening [kg/m ³]
T_{in}	temperatuur van de lucht doorheen de toevoeropening [K]
m_{uit}	massadebiet van de lucht doorheen de afvoeropening [kg/s]
V_{uit}	volumedebiet van de lucht doorheen de afvoeropening [m ³ /s]
ρ_{uit}	massadichtheid van de lucht doorheen de afvoeropening [kg/m ³]
T_{uit}	temperatuur van de lucht doorheen de afvoeropening [K]

Aangezien verondersteld wordt dat het extractiedebiet constant is (i.e. $V_{uit} = \text{constant}$) dan kan V_{uit} gelijkgesteld worden aan V_1 (= constant volumedebiet) in de Vergelijking (2). Bovendien kan ook gesteld worden dat V_{in} kan gelijkgesteld worden aan V_2 aangezien deze beide betrekking hebben op de volumedebieten doorheen de toevoeropening.

Op basis hiervan kan Vergelijking (2) als volgt herschreven worden:

$$\Delta p_2 = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 \Delta p_1 \rightarrow \Delta p_2 = \left(\frac{V_{in}}{V_{uit}}\right)^2 \Delta p_1$$

of ook

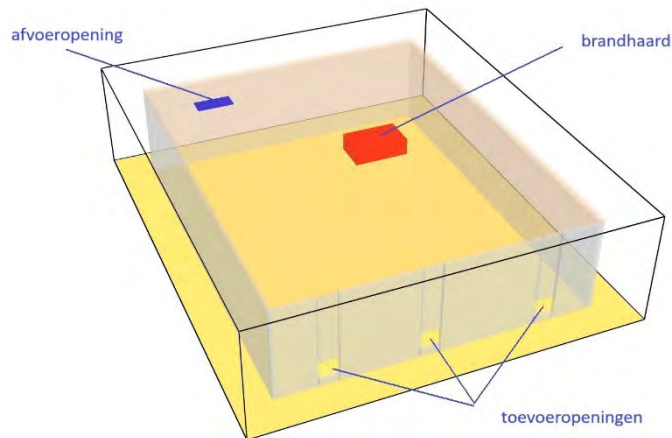
$$\Delta p_2 \approx \left(\frac{T_{in}}{T_{uit}}\right)^2 \Delta p_1 \quad (4)$$

Uit deze laatste vergelijking kan afgeleid worden dat het drukverschil tijdens een brand dus ook afhankelijk is van de temperatuur in de afvoeropening (opgelet: de temperatuur wordt uitgedrukt in Kelvin en niet Celsius!).

Hoe hoger de temperatuur van de lucht in de afvoeropening, hoe kleiner het drukverschil.

Bovenstaande theoretische uiteenzetting wordt hieronder toegelicht aan de hand van twee simulaties (één met een brandhaard in de ruimte en één zonder een brandhaard).

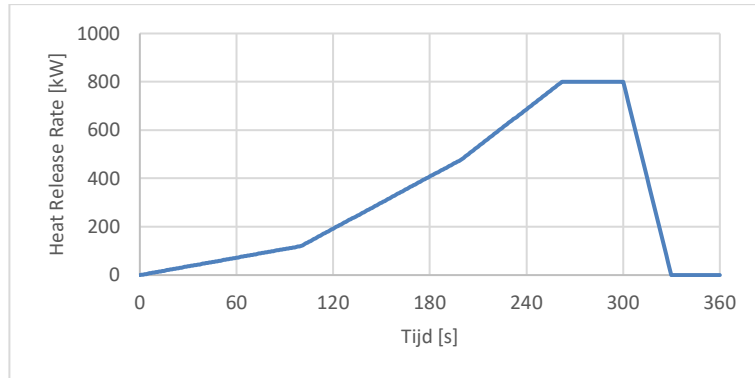
De basisconfiguratie voor de simulaties is een rechthoekig compartiment (lengte x breedte x hoogte: 8 x 10 x 2,5 m), voorzien van een brandhaard (indien van toepassing), één afvoeropening in het plafond en drie toevoeropeningen onderaan in de muur zoals weergegeven in de onderstaande figuur:



Figuur 41: Basisconfiguratie simulatie – theoretische uiteenzetting

Tijdens deze simulaties zijn onderstaande aannames gedaan:

- Het brandvermogen (vermogensdichtheid: 500 kW/m²) is gebaseerd op een medium αt^2 -curve (i.e. $\alpha = 0,0117$ kW/s²) met een maximaal vermogen van 800 kW, zoals weergegeven in de onderstaande figuur:



Figuur 42: Brandvermogen (max. 800 kW)

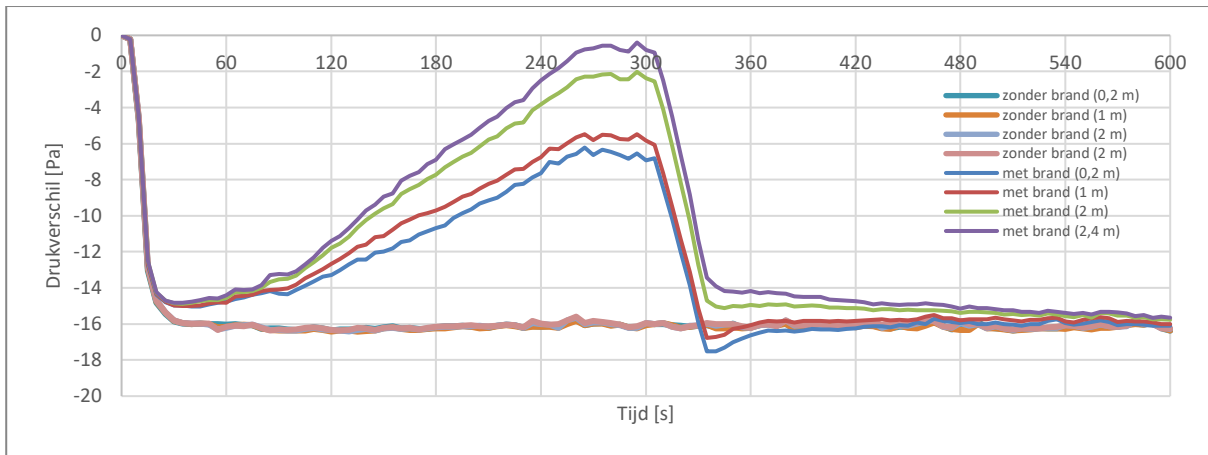
Bovenstaande curve is specifiek gekozen om de invloed van een groeiende brandhaard aan te tonen, maar eveneens de invloed van een brand die zeer snel uitdooft.

- De omgevingstemperatuur bedraagt 20 °C.
- Er wordt één afvoeropening (afmetingen: 1 m x 0,5 m; extractiedebiet: 3 m³/s) in het plafond aangebracht. Na 10 seconden wordt de extractie geactiveerd.
- Er worden drie toevoeropeningen (afmetingen: 0,5 x 0,5 m) op een hoogte van 0,2 m van de vloer in de muur aangebracht.
- De afstand van de brandhaard tot de dichtstbijzijnde muur bedraagt 1 m.

Onderstaande metingen worden tijdens de simulaties gedaan:

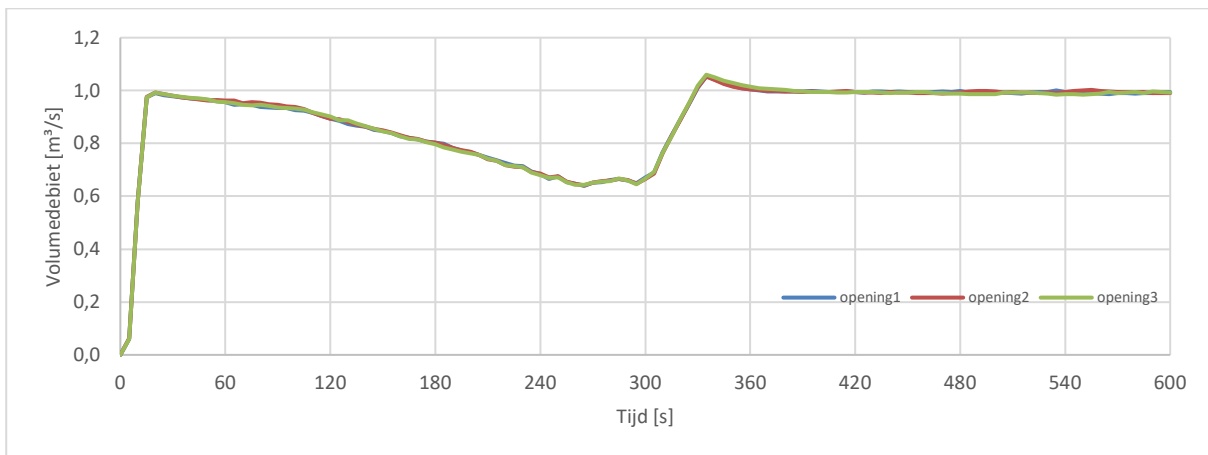
- Metingen van druk/temperatuur op een hoogte 0,2 m, 1 m, 2 m en 2,4 m.
Deze metingen zijn gedaan op een locatie ver weg van de brandhaard (ter plaatse van de “linkse” toevoeropening) en een locatie dichtbij de brandhaard (ter plaatse van de muur recht tegenover de brandhaard).
- Metingen van het volumedebiet doorheen de toevoeropeningen.

De resultaten bekomen voor het drukverschil (op verschillende hoogtes) ter plaatse van de opening ver weg van de brandhaard worden hieronder weergegeven (simulaties zowel met als zonder brand):



Figuur 43: Drukverloop in de brandruimte (simulaties met en zonder brandhaard)

De resultaten bekomen voor de volumedebieten doorheen de toevoeropeningen worden hieronder weergegeven (simulatie met brand):



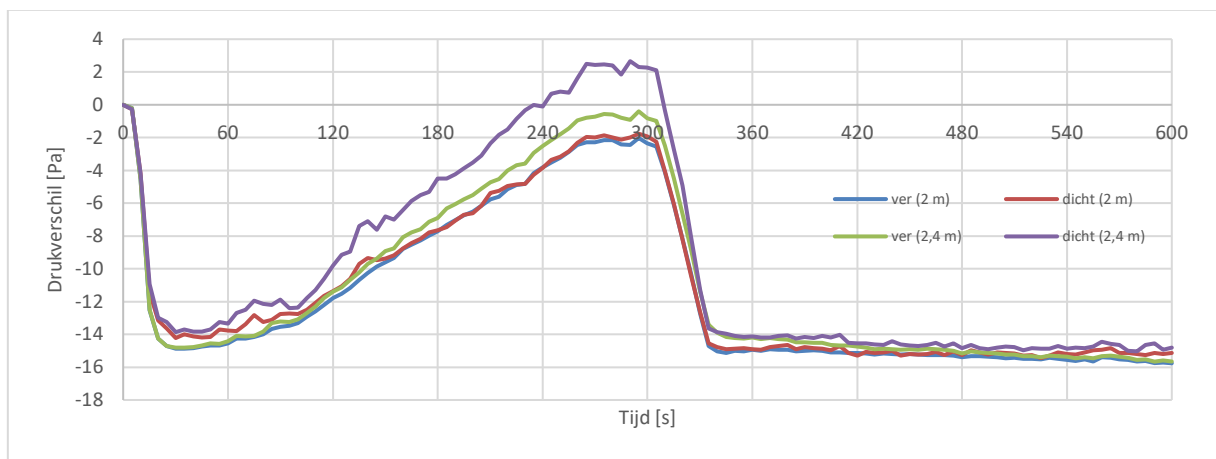
Figuur 44: Volumedebiet doorheen de toevoeropeningen (simulatie met brandhaard)

Uit bovenstaande grafieken kan het volgende afgeleid worden:

- Reeds van bij activatie van de extractie is er een verschil in grootte van drukverschil. Indien er geen brand aanwezig is in de ruimte, bedraagt het drukverschil ca. 16 Pa (onderdruk), terwijl het drukverschil in geval van een brand in de ruimte ca. 15 Pa (onderdruk) bedraagt. Dit verschil is niet groot, maar toont toch aan dat reeds enkele tientallen seconden na de start van de brand, er een invloed van de brand is op het drukverloop in de ruimte.
- In geval van een brand in de ruimte, vermindert het volumedebiet doorheen de toevoeropeningen naar gelang de brandproef langer duurt. Dit is logisch aangezien de temperatuur in de ruimte verhoogt, en aldus ook de temperatuur in de afvoeropening (zie ook Vergelijking [4]). Van zodra de brand volledig uit is (i.e. Heat Release Rate = 0), bedraagt het volumedebiet doorheen de toevoeropening zeer snel het oorspronkelijke volumedebiet (i.e. zonder aanwezigheid van een brandhaard in de ruimte).

- Het drukverschil in de ruimte zonder brand is bijna onafhankelijk van de hoogte. In geval van een brand in de ruimte is de grootte van de onderdruk wel afhankelijk van de hoogte. Ook dit is logisch aangezien de temperatuur bovenaan de ruimte hoger is dan deze onderaan de ruimte.
- Op het einde van de proef (i.e. wanneer het vuur volledig uitgedoofd is) is er geen verschil meer in drukverschil tussen de beide simulaties. Dit is zo omdat alle aanwezige warmte in de ruimte afgevoerd is en de temperatuur van de ventilator opnieuw de oorspronkelijke luchttemperatuur heeft.

Bovenstaande grafieken zijn gebaseerd op metingen ter plaatse van de toevoeropening. Indien we de drukverschillen gaan bekijken op de muur recht tegenover de brandhaard en deze vergelijken met deze hierboven bekomen, krijgen we onderstaande grafiek (enkel voor metingen op een hoogte van 2 m en 2,4 m):

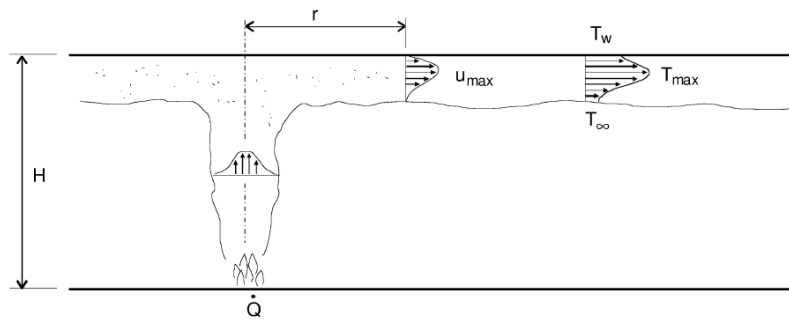


Figuur 45: Drukverloop in de ruimte (ver weg of dichtbij de brandhaard)

Indien dus enkel de drukverschillen ver weg van de brandhaard beschouwd worden, is over de gehele hoogte een onderdruk aanwezig (zie Figuur 43). Dit zou impliceren dat er geen rookverspreiding mogelijk is in die zone.

Echter indien we dichtbij de brand gaan kijken, valt op dat het drukverschil daar op een hoogte van 2,4 m een overdruk kan creëren (zie Figuur 45).

Deze grotere overdruk is te wijten aan de ceiling jet genereerd door de brandhaard zoals hieronder weergegeven:



Figuur 46: Hogere temperaturen dichtbij het plafond ten gevolge van de ceiling jet [5]

Deze ceiling jet zorgt net onder het plafond voor hogere temperaturen en hogere snelheden, waarbij deze laatste verminderen naarmate de afstand tot de brandhaard vergroot.

Indien een muur zich dus dicht genoeg bij de brandhaard bevindt, zal zich daar een verhoging van het drukverschil manifesteren. Door dit bijkomend drukverschil (ca. 4 à 5 Pa) is het dus mogelijk dat daar een overdruk kan bekomen worden waardoor rookverspreiding op die locatie (= op een hoogte van 2,4 m) mogelijk is. En dit terwijl op alle overige plaatsen van de ruimte een onderdruk aanwezig is op die hoogte.

De invloed van een ceiling jet op het drukverschil situeert zich dus vooral in de bovenste zone van de brandruimte (i.e. ca. bovenste 50 cm van de gebruikshoogte) aangezien de drukverschillen vanaf 2 m (en lager) gelijklopend zijn voor de twee verschillende locaties van metingen (zie ook Figuur 45). Dit is ook vastgesteld tijdens de grootschalige brandproeven.

5.2.3 Basisconfiguratie en aannames

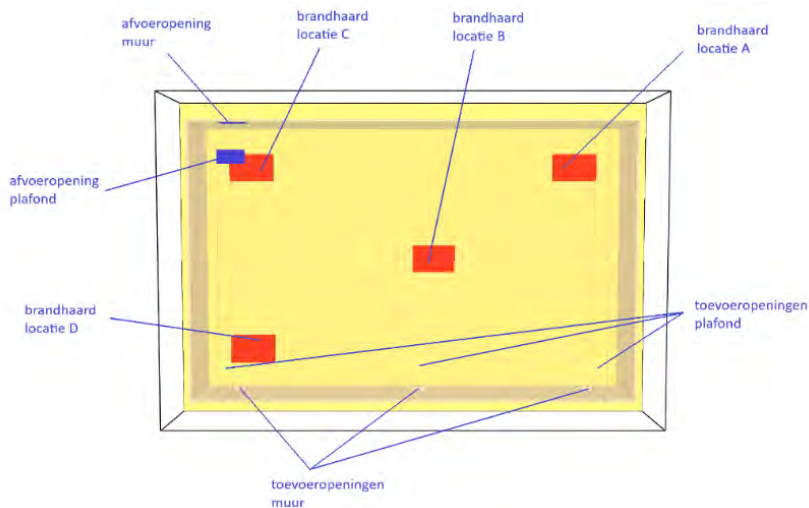
Tenzij anders aangegeven, is de basisconfiguratie voor de bijkomende simulaties om de potentiële invloed van gewijzigde parameters op de efficiëntie van het rookbeheersingssysteem te onderzoeken, een rechthoekig compartiment (lengte x breedte x hoogte: 16 x 10 x 2,5 m) met onderstaande kenmerken:

- een brandhaard op één van onderstaande locaties:
 - locatie A: in de hoek van de brandruimte (dus zo ver mogelijk weg van de luchtstroom tussen toevoer- en afvoeropeningen);
 - locatie B: in het midden van de brandruimte;
 - locatie C: vlak voor (of vlak onder) de afvoeropening;
 - locatie D: vlak voor (of vlak onder) een toevoeropening;
 - met uitzondering van locatie B bedraagt de afstand van de brandhaard tot de muur ca. 1 m;
- drie toevoeropeningen (afmetingen (breedte x hoogte) per opening: 0,5 m x 0,5 m);
 - ofwel onderaan de muur: de onderzijde van de toevoeropeningen bevindt zich 0,2 m boven de vloer;
 - ofwel in het plafond;
 - de toevoeropeningen bevinden zich recht tegenover de afvoeropening;
- een afvoeropening (afmetingen (breedte x hoogte): 1 m x 0,5 m):
 - ofwel bovenaan de muur: de bovenzijde van de afvoeropening bevindt zich 0,2 m onder het plafond;
 - ofwel in het plafond.

In de grafieken van deze paragraaf, zijn de locaties van de openingen als volgt voorgesteld:

- muur – muur (*mm*): de toevoeropeningen bevinden zich onderaan de muur, de afvoeropening bevindt zich bovenaan de (overstaande) muur;
- muur – plafond (*mp*): de toevoeropeningen bevinden zich onderaan de muur, de afvoeropening bevindt zich in het plafond;
- plafond – plafond (*pp*): de toevoeropeningen bevinden zich in het plafond, de afvoeropening bevindt zich in het plafond.

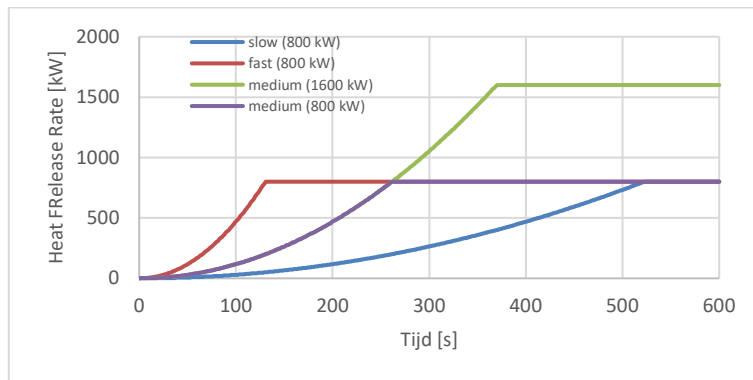
De basisconfiguratie is schematisch weergegeven in de onderstaande figuur:



Figuur 47: Basisconfiguratie simulaties - Verhinderen rookverspreiding

Tijdens deze simulaties worden onderstaande aannames gedaan:

- Het brandvermogen (vermogensdichtheid: 500 kW/m²) is een medium αt^2 -curve (i.e. $\alpha = 0,0117$ kW/s²) met een maximaal vermogen van 800 kW of 1600 kW, zoals weergegeven in de onderstaande figuur:



Figuur 48: Medium αt^2 -curve met maximaal brandvermogen van 800 kW of 1600 kW

Zoals kan afgeleid worden uit de bovenstaande figuur wordt de medium αt^2 -curve met een maximaal vermogen van 800 kW afgetopt na 262 seconden, terwijl deze met een maximaal vermogen van 1600 kW afgetopt wordt na 370 seconden.

Bij het maximaal brandvermogen van 800 kW wordt de invloed van een slow αt^2 -curve (i.e. $\alpha = 0,00293$ kW/s²; afgetopt op 523 seconden) en een fast αt^2 -curve (i.e. $\alpha = 0,0469$ kW/s²; afgetopt op 131 seconden) eveneens onderzocht (zie ook § 5.2.4.3).

- Alle simulaties zijn uitgevoerd met effectieve openingen in het compartiment, m.a.w. er is geen gebruik gemaakt van “pressure zones” in FDS. Dit laatste wordt vooral toegepast indien de afmetingen van de opening beduidend kleiner zijn dan de afmetingen van de cellen. Er zijn minstens 5 cellen per afmetingen van de opening aanwezig.
- Aangezien gebruik gemaakt wordt van effectieve openingen in het compartiment, is het belangrijk om een inschatting te hebben van de contractiecoëfficiënt van de openingen (i.e. C_d). In deze studie is deze waarde bepaald op basis van Vergelijking (1) en de resultaten van de CFD-simulaties (i.e. gemeten volumedebiet en drukverschil). Hieruit blijkt dat voor de toegepaste toevoeropeningen in de simulaties een waarde van ca. 0,77 à 0,82 bekomen wordt, m.a.w. $C_{d,FDS} = 0,77 \text{ à } 0,82$.
- De vermogensdichtheid is vastgelegd op 500 kW/m^2 . Deze waarde is terug te vinden in de literatuur voor ontwerpbranden op plaatsen waarbij een grote brandlast aanwezig is.
- Het rookbeheersingssysteem is voorgesteld als een opening op de grenzen van de brandruimte waardoor een vooropgesteld extractiedebiet gaat. Er wordt dus geen gebruik gemaakt van een kanaalwerk zoals dit in de werkelijkheid zal uitgevoerd worden.

Bovendien is het extractiedebiet constant ingesteld, m.a.w. het extractiedebiet is hier niet afhankelijk van het drukverschil aanwezig in de brandruimte. In de werkelijkheid is dit wel het geval en kan/zal het extractiedebiet beïnvloed worden door dit drukverschil. Deze invloed zal echter wel in rekening gebracht worden bij het bepalen van de ontwerpparameters van het rookbeheersingssysteem.

Onderstaande metingen worden tijdens de simulaties gedaan:

- Metingen van het drukverschil op een hoogte van 0,2 m, 1 m, 2 m en 2,4 m.

Deze metingen zijn op verschillende locaties in de brandruimte gedaan. Bij de weergave van de resultaten zullen echter enkel de waarden van een “referentiepunt” weergegeven worden.

Dit referentiepunt wordt beschouwd als de gemiddelde waarde (op een bepaalde hoogte) bekomen voor de volledige ruimte en bevindt zich ver genoeg van de brandhaard. Zoals beschreven in § 5.2.2 zal het drukverschil dichtbij de brandhaard immers een beetje groter zijn bovenaan de brandruimte omwille van de ceiling jet.

Tenzij anders vermeld is het drukverschil van het referentiepunt gemeten op een hoogte van 2,4 m, aangezien er verondersteld wordt dat er zich openingen kunnen bevinden tot die hoogte (bv. ventilatiekanalen).

Verduidelijking:

- Met ‘startdrukverschil’ wordt het drukverschil bedoeld bij activatie van het extractiedebiet.
- Met ‘einddrukverschil’ wordt het drukverschil bedoeld dat bekomen wordt nadat de Heat Release Rate zijn maximum bereikt heeft. Indien de Heat Release Rate op dat moment terug vermindert, kan het ‘einddrukverschil’ ook beschouwd worden als het ‘minimale drukverschil’.
- Met ‘drukverschilcurve’ wordt de curve tussen het startdrukverschil en het einddrukverschil bedoeld.

- Metingen van volumedebieten doorheen de toevoeropeningen.

In de hierna volgende grafieken wordt steeds het totale volumedebiet doorheen de toevoeropeningen weergegeven.

- Metingen van de gemiddelde luchttemperatuur over een hoogte van de bovenste 40 cm van de brandruimte en over de volledige hoogte van de brandruimte.

De weergegeven resultaten van de luchttemperatuur zijn de gemiddelde waarden gemeten over de laatste 50 seconden van de simulatietijd.

De resultaten van de bovenste 40 cm zijn vooral belangrijk om na te gaan of een branduitbreiding in de rest van de brandruimte via deze warme luchtlaag mogelijk is.

5.2.4 Simulaties

5.2.4.1 Invloed van de locatie van de toevoer- en afvoeropeningen en de locatie van de brandhaard

Tijdens deze simulaties wordt onderzocht wat de invloed van de locatie van de (toevoer- en afvoer)openingen en de locatie van de brandhaard is op het (eind)drukverschil.

Tijdens deze simulaties is de maximale Heat Release Rate (medium αt^2 -curve) ingesteld op 800 kW.

Het extractiedebiet bedraagt 5 m³/s.

De oppervlakte (breedte x hoogte) van elke toevoeropening bedraagt 0,5 m x 0,5 m.

De locaties van de (toevoer- en afvoer)openingen zijn *mm* (muur - muur), *mp* (muur – plafond) en *pp* (plafond – plafond).

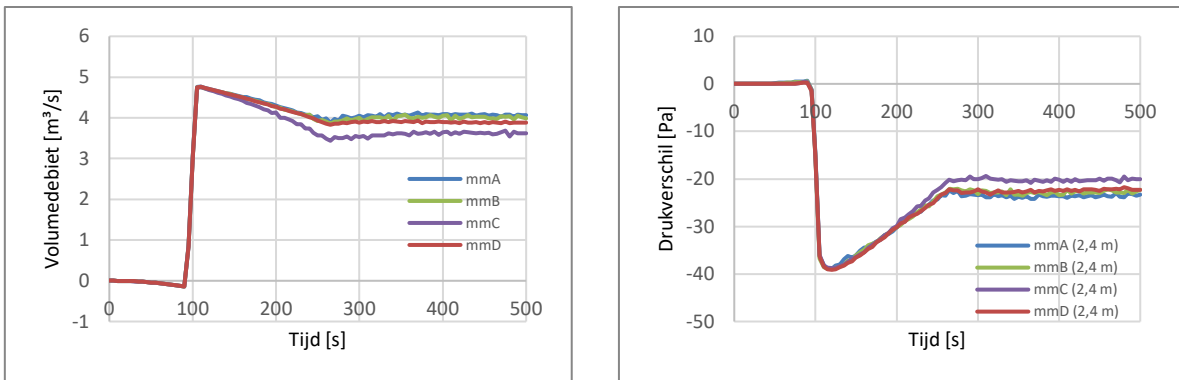
De resultaten van de gemiddelde luchttemperatuur in de bovenste 40 cm van de brandruimte en deze van de gemiddelde luchttemperatuur in de volledige brandruimte zijn weergegeven in de onderstaande tabel:

Gemiddelde luchttemperatuur in de brandruimte (enkel bovenste 40 cm)				
Locatie openingen	Locatie brandhaard			
	A (in de hoek)	B (in het midden)	C (t.p.v. afvoer)	D (t.p.v. toevoer)
muur – muur (<i>mm</i>)	162 °C	160 °C	109 °C	150 °C
muur – plafond (<i>mp</i>)	159 °C	153 °C	72 °C	148 °C
plafond – plafond (<i>pp</i>)	159 °C	151 °C	43 °C	132 °C
Gemiddelde luchttemperatuur in de brandruimte (volledige hoogte)				
Locatie openingen	Locatie brandhaard			
	A (in de hoek)	B (in het midden)	C (t.p.v. afvoer)	D (t.p.v. toevoer)
muur – muur (<i>mm</i>)	102 °C	104 °C	66 °C	87 °C
muur – plafond (<i>mp</i>)	100 °C	99 °C	49 °C	85 °C
plafond – plafond (<i>pp</i>)	88 °C	85 °C	32 °C	95 °C

Uit bovenstaande tabel kan afgeleid worden dat de laagste luchttemperaturen in de brandruimte bekomen worden in geval van brandhaardlocatie C. Dit is logisch aangezien de brandhaard zich net onder (of net voor) het (enige) afvoerpunt in de brandruimte bevindt. Hierdoor wordt de warmte afkomstig van de brandhaard onmiddellijk afgevoerd waardoor de lucht in de brandruimte minder zal opwarmen in vergelijking met de andere locaties van de brandhaard.

Hieruit kan ook besloten worden dat de temperatuur in de afvoeropening in geval van brandhaardlocatie C het hoogst zal zijn in vergelijking met de andere beschouwde brandhaardlocaties.

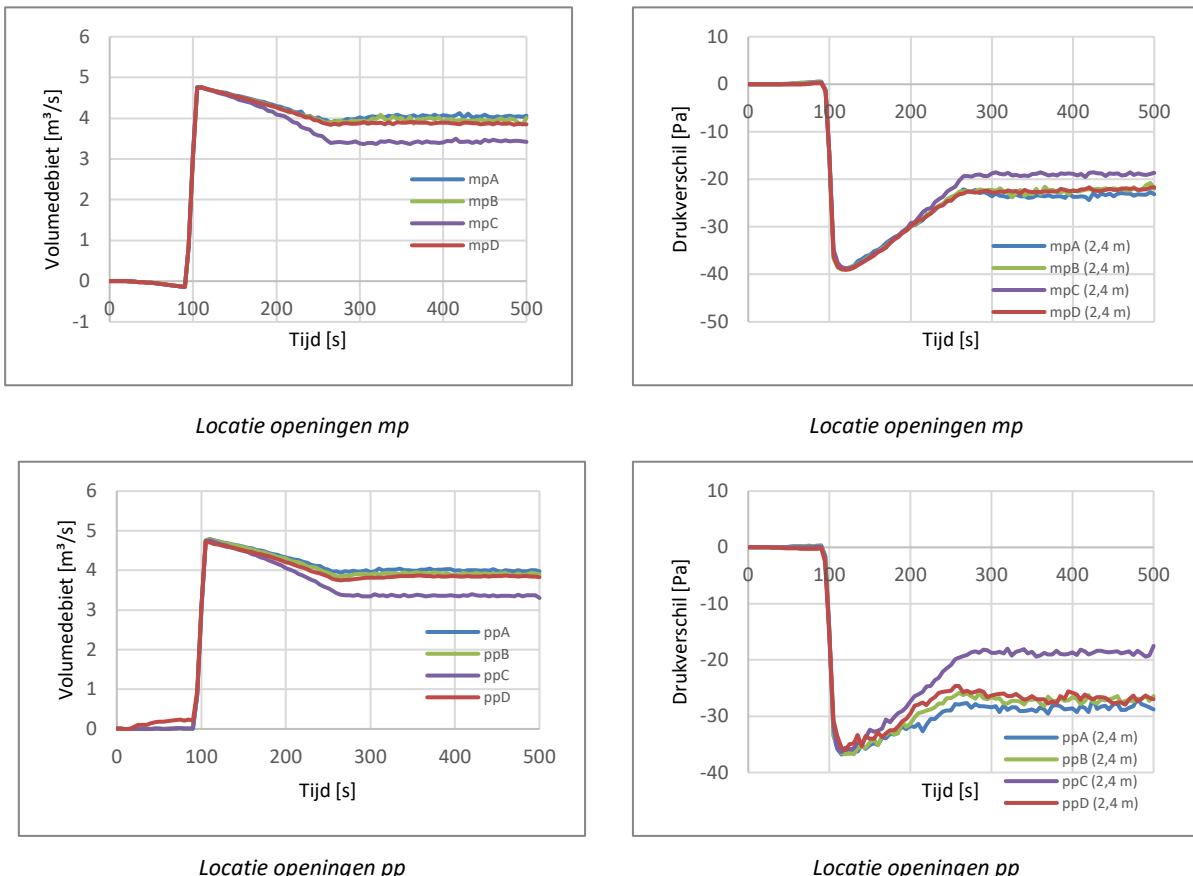
De resultaten van het totale volumedebiet doorheen de toevoeropeningen en het drukverschil ter plaatse van het referentiepunt (op een hoogte van 2,4 m) zijn hieronder weergegeven in het geval van de locatie van de openingen *mm* (muur – muur):



Figuur 49: Invloed van de locatie van de brandhaard (locatie A, B C of D) bij dezelfde locaties van de openingen, nl. muur – muur (mm)

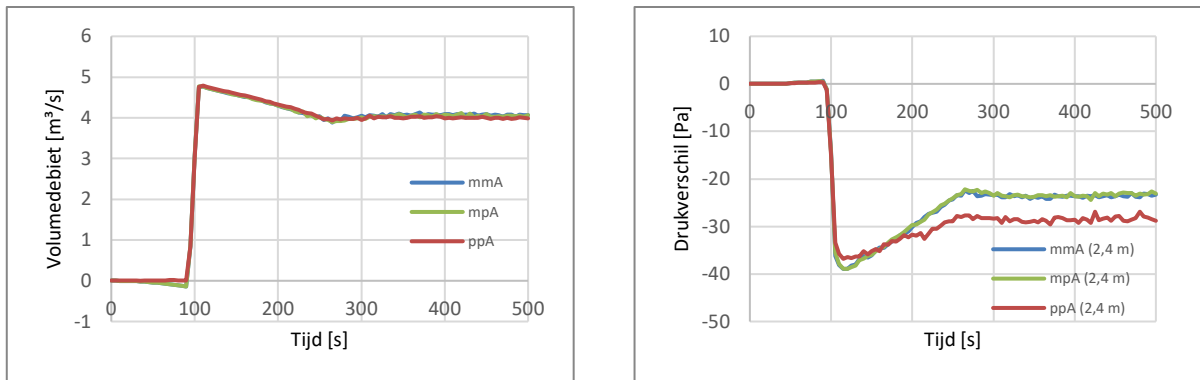
Uit bovenstaande grafieken kan duidelijk afgeleid worden dat hoe lager het volumedebiet is, hoe kleiner het (eind)drukverschil (vergelijk *mmA* en *mmC* in bovenstaande grafieken). Dit is logisch gezien de verhouding tussen beide zoals vermeld in § 5.2.2 (Vergelijking (1)).

Dit is ook vast te stellen in de overige simulaties met andere locaties van de openingen zoals weergegeven in de onderstaande grafieken:



Locatie openingen mp
Locatie openingen mp
Locatie openingen pp
Locatie openingen pp
Figuur 50: Invloed van de locatie van de brandhaard (locatie A, B C of D) bij dezelfde locaties van de openingen, nl. muur – plafond (mp) of plafond – plafond (pp)

Indien we enkel de invloed van de locatie van de openingen ten opzichte van een vaste brandhaardlocatie bekijken, bekomen we onderstaande grafieken voor de brandhaardlocatie A (in de hoek van de brandruimte - ver weg van een luchtstroom tussen toevoer- en afvoeropening):



Figuur 51: Invloed van de locatie van de brandhaard (locatie A) bij verschillende locaties van de openingen, nl. muur – muur (mm), muur – plafond (mp) of plafond – plafond (pp)

De aandachtige lezer heeft uiteraard opgemerkt dat de eerdere genomen conclusie omtrent de verhouding tussen het volumedebiet en het (eind)drukverschil in bovenstaande grafieken hier niet opgaat. In deze grafieken is immers het volumedebiet hetzelfde in geval van de drie verschillende locaties van de openingen, wat zou veronderstellen dat het (eind)drukverschil in dat geval ook dezelfde zal zijn.

Uit bovenstaande (rechtse) grafiek is er echter een duidelijk verschil in het drukverschil waarneembaar (vergelijk *mmA* (of *mpA*) met *ppA*).

Voor de heel aandachtige lezer echter is bovenstaande vaststelling niet zo verwonderlijk aangezien de verhouding tussen het volumedebiet en het drukverschil enkel van toepassing is ter plaatse van de locatie van de toevoeropening (zie § 5.2.2).

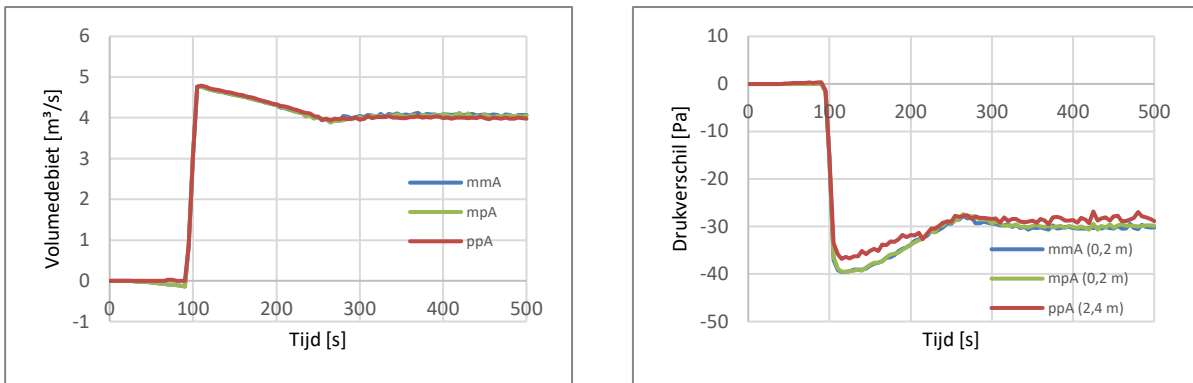
Dit impliceert dat voor de locaties *mmA* (toevoer in muur) en *mpA* (toevoer in muur) het drukverschil dient weergegeven worden op een hoogte van ca. 0,2 m (positie toevoeropening) eerder dan op een hoogte van ca. 2,4 m. Voor de locatie *ppA* (toevoer in plafond) kan het drukverschil op een hoogte van 2,4 m toegepast worden.

Nota:

De locatie van de hierboven beschreven drukverschilmeting is niet volledig correct teneinde Vergelijking (1) te kunnen toepassen. Zo zou enerzijds voor de toevoeropening in het plafond een hoogte van 2,5 m dienen genomen te worden (en niet 2,4 m) en is anderzijds voor de toevoeropening in de muur het drukverschil afhankelijk van de hoogte (en dus niet constant).

Er wordt echter gebruik gemaakt van de metingen op een hoogte van 0,2 m en 2,4 m, aangezien deze het dichtst in de buurt liggen van de effectieve locatie.

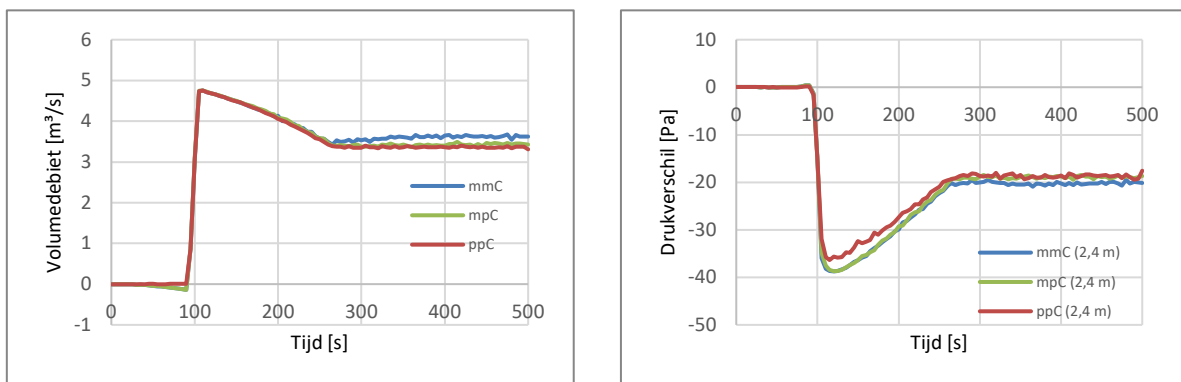
Indien het drukverschil voor de brandhaardlocatie A weergegeven wordt ter plaatse van de hoogte van de toevoeropeningen, worden onderstaande grafieken bekomen:



Figuur 52: Invloed van de locatie van de brandhaard (locatie A) bij verschillende locaties van de openingen, nl. muur – muur (mm), muur – plafond (mp) of plafond – plafond (pp)

Uit deze grafieken is de verhouding tussen het volumedebiet en het (eind)drukverschil meer in lijn met de vooropgestelde verhouding tussen beide, m.a.w. de (eind)drukverschillen zijn voor de drie locaties van openingen eveneens ongeveer dezelfde.

Indien we enkel de invloed van de locatie van de openingen ten opzichte van de brandhaardlocatie C (dichtbij de afvoeropening) bekijken, bekomen we onderstaande grafieken:



Figuur 53: Invloed van de locatie van de brandhaard (locatie C) bij verschillende locaties van de openingen, nl. muur – muur (mm), muur – plafond (mp) of plafond – plafond (pp)

Uit bovenstaande grafieken is af te leiden dat het verschil in (eind)drukverschil bij de verschillende locaties van openingen niet zo groot is in vergelijking met deze bekomen voor de brandhaardlocatie A.

Bijkomende nota:

In alle bovenstaande simulaties is er geen verschil in volumedebiet doorheen de toevoeropeningen, m.a.w. het volumedebiet doorheen elke toevoeropening is even groot. Bovendien zijn alle toevoeropeningen op eenzelfde hoogte toegepast. Dit is zo gedaan omdat het hierdoor ook “gemakkelijk” is om de verhouding tussen de volumedebieten en de drukverschillen te onderzoeken.

In de praktijk zal dit in sommige situaties niet zo zijn:

- de snelheid ter plaatse van toevoeropeningen aanwezig in eenzelfde kanaal is nooit dezelfde (indien de sectie van het kanaal ongewijzigd is en er zijn geen regelkleppen), de snelheid ter plaatse van de eerste toevoeropening zal steeds groter zijn dan ter plaatse van de tweede etc.;
- de toevoeropeningen kunnen zich op verschillende hoogtes bevinden, bv. een opening in het plafond en een opening onderaan een muur;
- de toevoeropeningen kunnen zich in meerdere muren bevinden.

Om die reden zijn er eveneens verschillende simulaties uitgevoerd waarbij de drie verticale toevoeropeningen anders “verspreid” waren, zoals hieronder verduidelijkt:

- drie toevoeropeningen (op dezelfde hoogte) in drie verschillende muren;
- een toevoeropening onderaan de muur en de twee andere bovenaan een aanliggende muur;
- drie toevoeropening in dezelfde muur maar op verschillende hoogtes.

De resultaten van deze CFD-simulaties zijn niet opgenomen in deze studie, maar er kan meegedeeld worden dat de invloed van de verschillende locaties van de toevoeropeningen op het (eind)drukverschil van dezelfde grootteorde is als deze bekomen tijdens de overige simulaties.

Conclusies:

Op basis van de uitgevoerde simulaties kunnen de volgende conclusies genomen worden:

- De invloed van de locatie van de (toevoer- en afvoer)openingen, evenals de locatie van de brandhaard op het drukverschil is niet verwaarloosbaar. Uit de simulaties is gebleken dat de waarde van het (eind) drukverschil tot ca. 50 % verschillend kan zijn.

Het “beste” resultaat voor het drukverschil (i.e. de grootste waarde van het (eind)drukverschil) wordt bekomen in geval van de locatie van de openingen *pp*, i.e. zowel toevoer- als afvoeropeningen in het plafond. Met “beste” resultaat wordt bedoeld dat hierbij een drukverschil bekomen wordt dat het dichtst aanleunt bij het startdrukverschil.

- De “beste” resultaten voor het drukverschil worden bekomen indien de brandhaard zich zo ver mogelijk van de luchtstroom tussen de toevoer- en afvoeropeningen bevindt, i.e. brandhaardlocatie A. In dit geval zijn wel de hoogste luchttemperaturen in de brandruimte bekomen.

De “slechtste” resultaten voor drukverschil worden bekomen indien de brandhaard zich zo dicht mogelijk bij de afvoeropening bevindt, i.e. brandhaardlocatie C. In dit geval zijn wel de laagste luchttemperaturen in de brandruimte bekomen.

Voor de volgende CFD-simulaties worden daarom enkel de brandhaardlocaties A en C weerhouden.

5.2.4.2 Invloed van de Heat Release Rate

Tijdens deze simulaties wordt onderzocht wat de invloed van de Heat Release Rate is op het (eind)drukverschil.

Tijdens de grootschalige brandproeven is een maximaal brandvermogen van 800 kW toegepast. Uiteraard kan in de praktijk meer brandbaar materiaal voorhanden zijn, waarbij door branduitbreiding het maximaal brandvermogen groter kan zijn.

Tijdens deze simulaties is de maximale Heat Release Rate (medium αt^2 -curve) ingesteld op 1600 kW (zie Figuur 48).

Het extractiedebiet bedraagt 5 m³/s.

De oppervlakte (breedte x hoogte) van elke toevoeropening bedraagt 0,5 m x 0,5 m.

De locaties van de brandhaard zijn A en C.

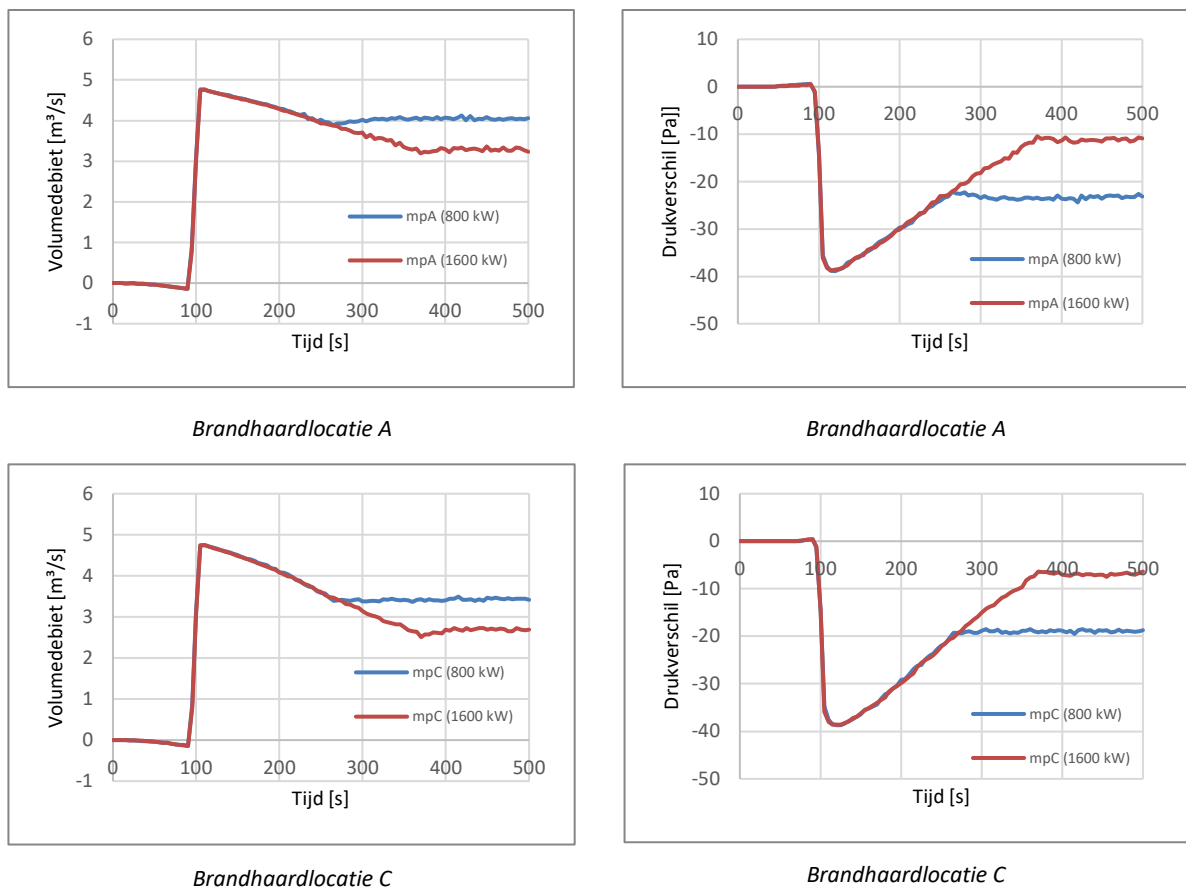
De locaties van de openingen zijn *mp* (muur – plafond) en *pp* (plafond – plafond).

De resultaten van de gemiddelde luchttemperatuur in de bovenste 40 cm van de brandruimte en deze van de gemiddelde luchttemperatuur in de volledige brandruimte zijn weergegeven in de onderstaande tabel:

Gemiddelde luchttemperatuur in de brandruimte (enkel bovenste 40 cm)				
Locatie openingen	Brandhaardlocatie A (in de hoek)		Brandhaardlocatie C (t.p.v. afvoer)	
	800 kW	1600 kW	800 kW	1600 kW
muur – plafond (<i>mp</i>)	159 °C	253 °C	72 °C	196 °C
plafond – plafond (<i>pp</i>)	159 °C	255 °C	43 °C	186 °C
Gemiddelde luchttemperatuur in de brandruimte (volledige hoogte)				
Locatie openingen	Brandhaardlocatie A (in de hoek)		Brandhaardlocatie C (t.p.v. afvoer)	
	800 kW	1600 kW	800 kW	1600 kW
muur – plafond (<i>mp</i>)	100 °C	144 °C	49 °C	113 °C
plafond – plafond (<i>pp</i>)	88 °C	145 °C	32 °C	105 °C

Uit bovenstaande tabel kan logischer wijze afgeleid worden dat de luchttemperaturen in de brandruimte hoger zijn indien de Heat Release Rate groter is.

De resultaten van het totale volumedebiet doorheen de toevoeropeningen en het drukverschil ter plaatse van het referentiepunt (op een hoogte van 2,4 m) voor de locatie van de openingen *mp*, zijn hieronder weergegeven:

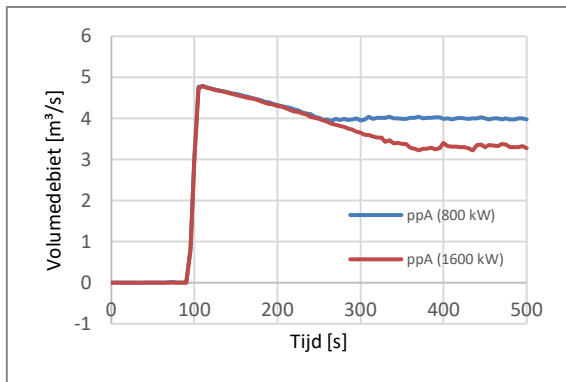


Figuur 54: Invloed van de Heat Release Rate bij dezelfde locatie van de openingen, nl. muur – plafond (*mp*) en brandhaardlocaties A en C

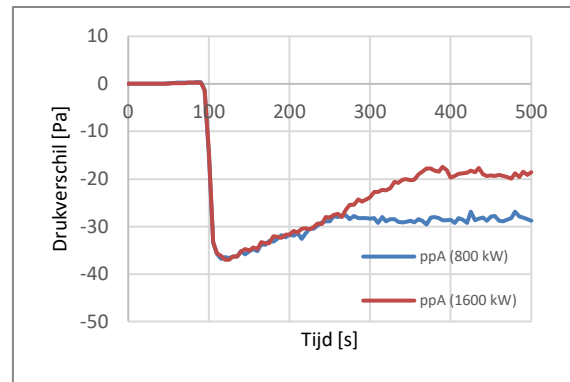
Uit bovenstaande grafieken is af te leiden dat een verhoging van de Heat Release Rate een lager einddrukverschil oplevert. De “helling” van de drukverschilcurve is ongeveer dezelfde voor beide Heat Release Rate, maar wordt voor beiden op een ander tijdstip afgetopt, i.e. op het moment dat de Heat Release Rate curve zijn maximum bereikt.

De helling van de drukverschilcurve is niet perfect lineair maar zeker niet kwadratisch zoals de Heat Release Rate-curve.

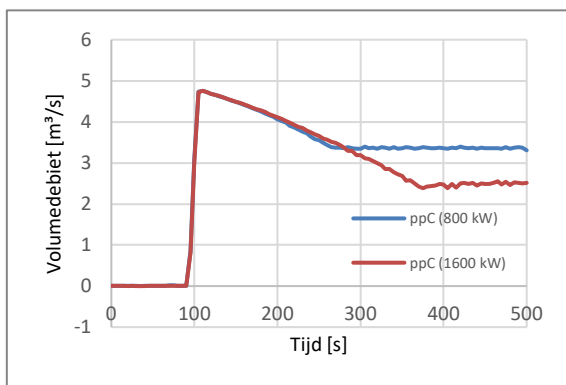
De resultaten van het totale volumedebiet doorheen de toevoeropeningen en het drukverschil ter plaatse van het referentiepunt (op een hoogte van 2,4 m) voor de locatie van de openingen *pp*, zijn hieronder weergegeven:



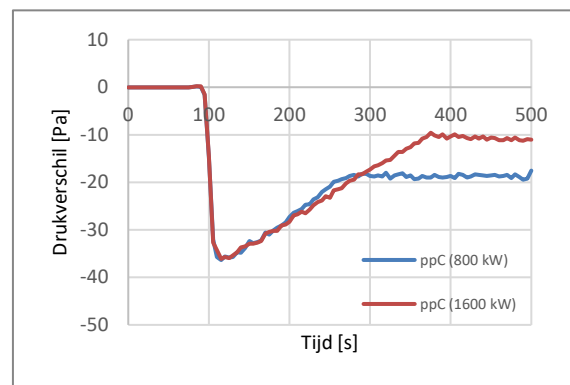
Brandhaardlocatie A



Brandhaardlocatie A



Brandhaardlocatie C



Brandhaardlocatie C

Figuur 55: Invloed van de Heat Release Rate bij dezelfde locatie van de openingen, nl. plafond – plafond (*pp*) en brandhaardlocaties A en C

Conclusies:

Op basis van de uitgevoerde simulaties kunnen de volgende conclusies genomen worden:

- Een verhoging van de Heat Release Rate heeft tot gevolg dat het verloop van het drukverschilcurve op een later tijdstip afgetopt wordt. In deze simulaties is dit logisch aangezien de maximale waarde van de Heat Release Rate op een later tijdstip bekomen wordt. Deze conclusie is dus enkel van toepassing indien de vermogensdichtheid evenals de curve dezelfde zijn voor beide Heat Release Rate.
- Ook hier wordt het “beste” resultaat voor het drukverschil (i.e. de grootste waarde van het drukverschil) bekomen in geval van de locatie van openingen *pp*, i.e. zowel toevoer- als afvoeropeningen in het plafond.

5.2.4.3 Invloed van de αt^2 -curve

Tijdens deze simulaties wordt onderzocht wat de invloed van de αt^2 -curve is op het (eind)drukverschil.

Tijdens de vorige simulaties is een medium αt^2 -curve (i.e. $\alpha = 0,0117 \text{ kW/s}^2$) toegepast. In deze simulaties worden de slow αt^2 -curve (i.e. $\alpha = 0,00293 \text{ kW/s}^2$) evenals de fast αt^2 -curve (i.e. $\alpha = 0,0469 \text{ kW/s}^2$) toegepast.

Tijdens deze simulaties is de maximale Heat Release Rate (slow en fast αt^2 -curve) ingesteld op 800 kW (zie ook Figuur 48).

Het extractiedebiet bedraagt $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

De oppervlakte (breedte x hoogte) van elke toevoeropening bedraagt $0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$.

De locatie van de brandhaard is A.

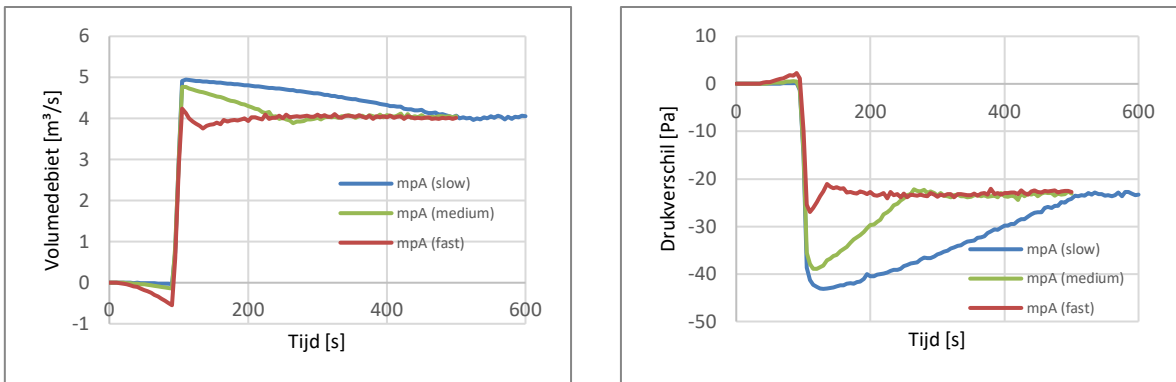
De locatie van de openingen is *mp* (muur – plafond).

De resultaten van de gemiddelde luchttemperatuur in de bovenste 40 cm van de brandruimte en deze van de gemiddelde luchttemperatuur in de volledige brandruimte zijn weergegeven in de onderstaande tabel:

Brandhaardlocatie A - Heat Release Rate 800 kW			
Gemiddelde luchttemperatuur in de brandruimte (enkel bovenste 40 cm)			
Locatie openingen	slow	medium	fast
muur – plafond (<i>mp</i>)	150 °C	159 °C	162 °C
Gemiddelde luchttemperatuur in de brandruimte (volledige hoogte)			
Locatie openingen	slow	medium	fast
muur – plafond (<i>mp</i>)	93 °C	100 °C	101 °C

Uit bovenstaande tabel kan afgeleid worden dat de luchttemperaturen in de brandruimte zeer gelijkaardig zijn. Uiteraard worden bij de slow αt^2 -curve de laagste temperaturen vastgesteld aangezien deze curve zijn maximum op een veel later tijdstip bereikt.

De resultaten van het totale volumedebiet doorheen de toevoeropeningen en het drukverschil ter plaatse van het referentiepunt (op een hoogte van 2,4 m) voor de locatie van de openingen *mp*, zijn hieronder weergegeven:



Figuur 56: Invloed van de αt^2 -curve bij dezelfde locatie van de openingen, nl. muur – plafond (*mp*) en brandhaardlocatie A

Conclusies:

Op basis van de uitgevoerde simulaties kunnen de volgende conclusies genomen worden:

- De αt^2 -curve heeft (bijna) geen invloed op het einddrukverschil. Enkel het moment wanneer het einddrukverschil bekomen wordt, is verschillend voor de drie onderzochte types αt^2 -curve.
- De “helling” van drukverschilcurve is verschillend voor de onderzochte types αt^2 -curve. Het einddrukverschil wordt het snelst bereikt in geval van een fast αt^2 -curve (en het langzaamst in geval van een slow αt^2 -curve).

5.2.4.4 Invloed van de oppervlakte van de toevoeropeningen

Tijdens deze simulaties wordt onderzocht wat de invloed van de oppervlakte van de toevoeropeningen is op het (eind)drukverschil.

Tijdens deze simulaties is de maximale Heat Release Rate (medium αt^2 -curve) ingesteld op 800 kW of 1600 kW (zie ook Figuur 48)

Het extractiedebiet bedraagt 5 m³/s.

De oppervlakte (breedte x hoogte) van elke toevoeropening bedraagt 0,5 m x 0,5 m of 1 m x 0,5 m.

De locaties van de brandhaard zijn A en C.

De locaties van de openingen zijn *mp* (muur – plafond) en *pp* (plafond – plafond).

De resultaten van de gemiddelde luchttemperatuur in de bovenste 40 cm van de brandruimte en deze van de gemiddelde luchttemperatuur in de volledige brandruimte (voor een Heat Release Rate van 800 kW) zijn weergegeven in de onderstaande tabel:

Heat Release Rate 800 kW				
Gemiddelde luchttemperatuur in de brandruimte (enkel bovenste 40 cm)				
Locatie openingen	Brandhaardlocatie A (in de hoek)		Brandhaardlocatie C (t.p.v. afvoer)	
	0,75 m ²	1,50 m ²	0,75 m ²	1,50 m ²
muur – plafond (<i>mp</i>)	159 °C	160 °C	72 °C	59 °C
plafond – plafond (<i>pp</i>)	159 °C	161 °C	43 °C	40 °C
Gemiddelde luchttemperatuur in de brandruimte (volledige hoogte)				
Locatie openingen	Brandhaardlocatie A (in de hoek)		Brandhaardlocatie C (t.p.v. afvoer)	
	0,75 m ²	1,50 m ²	0,75 m ²	1,50 m ²
muur – plafond (<i>mp</i>)	100 °C	80 °C	49 °C	39 °C
plafond – plafond (<i>pp</i>)	88 °C	84 °C	32 °C	29 °C

Uit bovenstaande tabel kan afgeleid worden dat voor beide brandhaardlocaties een grotere oppervlakte van de toevoeropeningen vooral in geval van de toevoeropening onderaan in de muur een meer uitgesproken daling van de gemiddelde luchttemperatuur tot gevolg heeft in vergelijking met de toevoeropening in het plafond.

De grootte van de toevoeropening heeft voor brandhaardlocatie A een verwaarloosbare invloed op de luchttemperatuur van de bovenste 40 cm.

De resultaten van de gemiddelde luchttemperatuur in de bovenste 40 cm van de brandruimte en deze van de gemiddelde luchttemperatuur in de volledige brandruimte (voor een Heat Release Rate van 1600 kW) zijn weergegeven in de onderstaande tabel:

Heat Release Rate 1600 kW				
Gemiddelde luchttemperatuur in de brandruimte (enkel bovenste 40 cm)				
Locatie openingen	Brandhaardlocatie A (in de hoek)		Brandhaardlocatie C (t.p.v. afvoer)	
	0,75 m²	1,50 m²	0,75 m²	1,50 m²
muur – plafond (<i>mp</i>)	253 °C	250 °C	196 °C	201 °C
plafond – plafond (<i>pp</i>)	255 °C	252 °C	186 °C	153 °C
Gemiddelde luchttemperatuur in de brandruimte (volledige hoogte)				
Locatie openingen	Brandhaardlocatie A (in de hoek)		Brandhaardlocatie C (t.p.v. afvoer)	
	0,75 m²	1,50 m²	0,75 m²	1,50 m²
muur – plafond (<i>mp</i>)	144 °C	133 °C	113 °C	111 °C
plafond – plafond (<i>pp</i>)	145 °C	144 °C	105 °C	88 °C

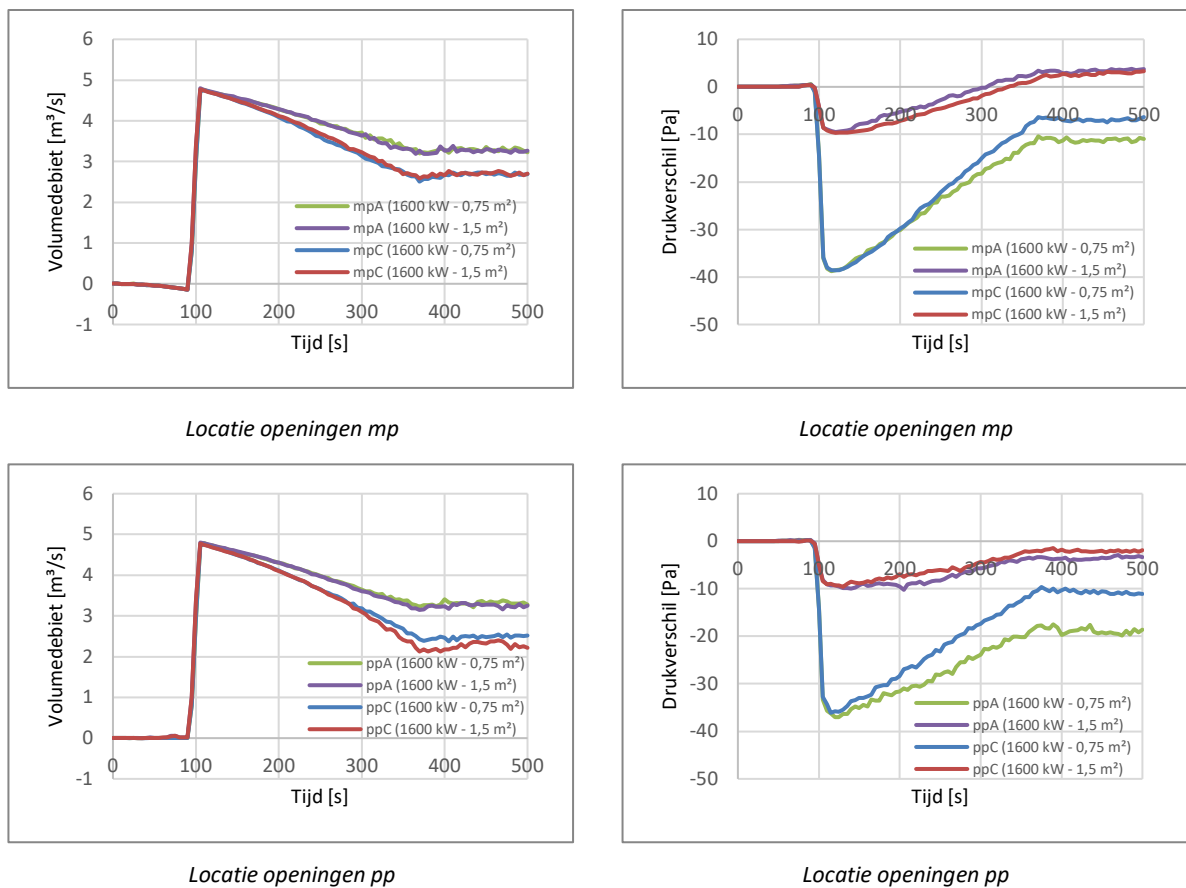
Uit bovenstaande tabel kan eenzelfde conclusie voor de brandhaardlocatie A als eerder genomen worden, i.e. dat een grotere oppervlakte van de toevoeropeningen vooral in geval van de toevoeropening onderaan in de muur een meer uitgesproken daling van de gemiddelde luchttemperatuur tot gevolg heeft in vergelijking met de toevoeropening in het plafond.

In geval van brandhaardlocatie C is dit bij een grotere Heat Release Rate nu echter omgekeerd.

De grootte van de toevoeropening heeft voor brandhaardlocatie A een verwaarloosbare invloed op de luchttemperatuur van de bovenste 40 cm.

Aangezien in § 5.2.4.2 aangetoond is dat een verhoging van de Heat Release Rate enkel een latere aftopping van de drukverschilcurve tot gevolg heeft, wordt in de onderstaande grafieken enkel de Heat Release Rate van 1600 kW weergegeven.

De resultaten van het totale volumedebiet doorheen de toevoeropeningen en het drukverschil ter plaatse van het referentiepunt (op een hoogte van 2,4 m) voor de locaties van de openingen *mp* en *pp*, zijn hieronder weergegeven:



Figuur 57: Invloed van de oppervlakte van de toevoeropeningen bij dezelfde locaties van de openingen, nl. muur – plafond (*mp*) en plafond – plafond (*pp*) en brandhaardlocaties A en C

Uit bovenstaande grafieken is af te leiden dat het vergroten van de oppervlakte in eerste instantie een lager startdrukverschil tot gevolg heeft. Dit is logisch gezien de verhouding tussen de aerodynamische oppervlakte van de opening en het drukverschil zoals besproken in Vergelijking (1).

Er kan eveneens vastgesteld worden dat de “helling” van de drukverschilcurve minder steil is in geval van een grotere oppervlakte van de toevoeropening. Dit impliceert dat de invloed van de brandhaard (i.e. de curve van de Heat Release Rate) kleiner is indien de toevoeropeningen groter zijn. In bepaalde mate is dit logisch aangezien de helling van de overdruk ten gevolge van een brand (in een ruimte zonder rookbeheersingssysteem) ook kleiner is indien de openingen in de ruimte groter zijn.

Tot slot kan vastgesteld worden dat bij grotere toevoeropeningen een overdruk bekomen wordt indien de toevoeropening onderaan in de muur zit en nog steeds een onderdruk indien de toevoeropening in het plafond zit. Zelfs ter plaatse van de brandhaard (waar er invloed van de ceiling jet is) is in deze configuratie (i.e. plafond – plafond (*pp*)) geen overdruk waarneembaar (deze resultaten zijn wel niet weergegeven in deze studie).

Conclusies:

Op basis van de uitgevoerde simulaties kunnen de volgende conclusies genomen worden:

- Indien de oppervlakte van de toevoeropeningen groter is, is de maximale te realiseren onderdruk in de brandruimte altijd kleiner (in geval van een constant extractiedebiet). Echter door deze grotere oppervlakte verloopt de helling van de drukverschilcurve minder steil.
- Door de lage startwaarde van de onderdruk in de brandruimte is het mogelijk dat – in geval van een hoge Heat Release Rate - de onderdruk kan overgaan in een overdruk aangezien de helling van de drukverschilcurve ongeveer constant blijft.

Hierbij is het bovendien mogelijk dat in het geval dat de toevoeropening zich onderaan in de muur bevindt, dit resulteert in een overdruk, terwijl indien de toevoeropening zich in het plafond bevindt, de onderdruk in de ruimte steeds behouden blijft.

- Indien de oppervlakte van de toevoeropening klein is, is slechts een klein extractiedebiet nodig om een onderdruk te bekomen. Echter deze kleine opening kan een grote invloed hebben op de helling van de drukverschilcurve waardoor na verloop van tijd toch (sneller) een overdruk kan bekomen worden.

5.2.4.5 Invloed van het extractiedebiet

Tijdens deze simulaties wordt onderzocht wat de invloed van het extractiedebiet is op het (eind)drukverschil.

Tijdens deze simulaties is de maximale Heat Release Rate (medium αt^2 -curve) ingesteld op 800 kW (zie ook Figuur 48).

Het extractiedebiet bedraagt 2 m³/s, 3 m³/s, 4 m³/s, 5 m³/s of 6 m³/s.

De oppervlakte (breedte x hoogte) van elke toevoeropening bedraagt 0,5 m x 0,5 m.

De locatie van de brandhaard is A.

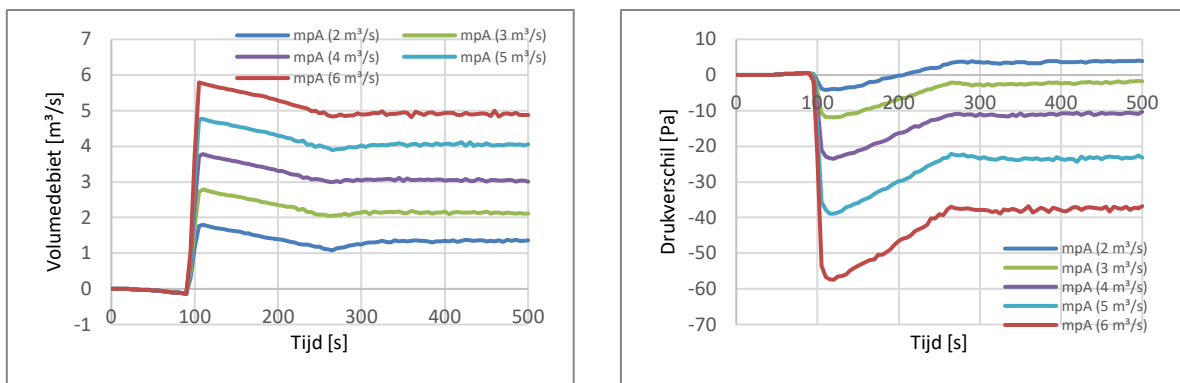
De locatie van de openingen is *mp* (muur – plafond).

De resultaten van de gemiddelde luchttemperatuur in de bovenste 40 cm van de brandruimte en deze van de gemiddelde luchttemperatuur in de volledige brandruimte zijn weergegeven in de onderstaande tabel:

Brandhaardlocatie A – Heat Release Rate 800 kW					
Gemiddelde luchttemperatuur in de brandruimte (enkel bovenste 40 cm)					
Locatie openingen	2 m ³ /s	3 m ³ /s	4 m ³ /s	5 m ³ /s	6 m ³ /s
muur – plafond (<i>mp</i>)	198 °C	179 °C	168 °C	159 °C	140 °C
Gemiddelde luchttemperatuur in de brandruimte (volledige hoogte)					
Locatie openingen	2 m ³ /s	3 m ³ /s	4 m ³ /s	5 m ³ /s	6 m ³ /s
muur – plafond (<i>mp</i>)	110 °C	95 °C	93 °C	100 °C	93 °C

Uit bovenstaande tabel kan afgeleid worden dat een verhoging van het extractiedebiet niet altijd resulteert in een lagere gemiddelde luchttemperatuur in de brandruimte. Dit is afhankelijk van de luchtstromen in de brandruimte en kan in elke configuratie anders zijn. Het is dus niet mogelijk om hieromtrent een eenduidige conclusie te nemen.

De resultaten van het totale volumedebiet doorheen de toevoeropeningen en het drukverschil ter plaatse van het referentiepunt (op een hoogte van 2,4 m) voor de locatie van de openingen *mp*, zijn hieronder weergegeven:



Figuur 58: Invloed van het extractiedebiet bij dezelfde locatie van de openingen, nl. muur – plafond (mp) en brandhaardlocatie A

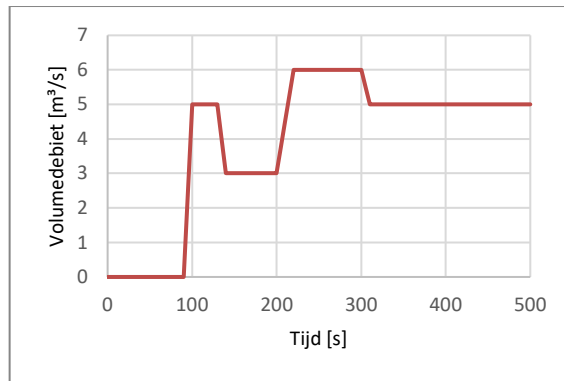
Uit bovenstaande grafieken is af te leiden dat een lager extractiedebiet een lager startdrukverschil tot gevolg heeft. Dit is logisch gezien de verhouding tussen het volumedebiet (= extractiedebiet) en het drukverschil zoals besproken in § 5.2.2.

Er kan eveneens vastgesteld worden dat de “helling” van de drukverschilcurve minder steil is in geval van een lager extractiedebiet. In tegenstelling tot § 5.2.4.4, waar de invloed van de oppervlakte van de toevoeropeningen onderzocht is, is deze helling dus niet afhankelijk van de oppervlakte van de toevoeropening maar van de snelheid doorheen de toevoeropening.

Bij alle extractiedebieten wordt de drukverschilcurve afgetopt op het moment dat de maximale waarde van de Heat Release Rate bereikt is.

Bij te lage extractiedebieten is het mogelijk dat een overdruk bekomen wordt (zie extractiedebiet 2 m³/s).

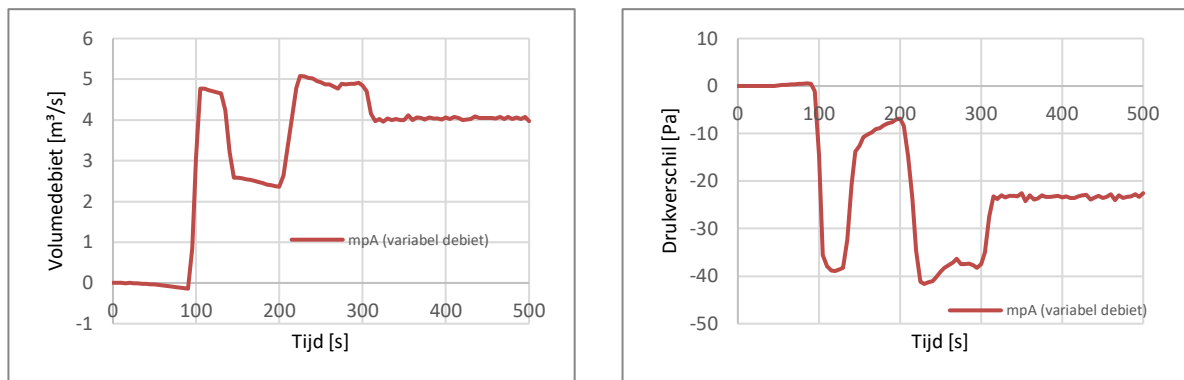
Bovenvermelde simulaties zijn uitgevoerd met een constant extractiedebiet. Veronderstel nu dat het extractiedebiet varieert in functie van de tijd, zoals hieronder weergegeven:



Figuur 59: Variabel extractiedebiet

Er wordt dus na 90 seconden gestart met 5 m³/s, om vervolgens eerst 3 m³/s en dan 6 m³/s te bekomen. Tot slot wordt opnieuw overgegaan naar de oorspronkelijke 5 m³/s. De overgangen naar de andere extractiedebieten gebeuren allemaal vooraleer de Heat Release Rate zijn maximale waarde bereikt (i.e. 800 kW op 262 seconden).

De resultaten van het totale volumedebiet doorheen de toevoeropeningen en het drukverschil ter plaatse van het referentiepunt (op een hoogte van 2,4 m) voor de locatie van de openingen *mp*, zijn hieronder weergegeven:

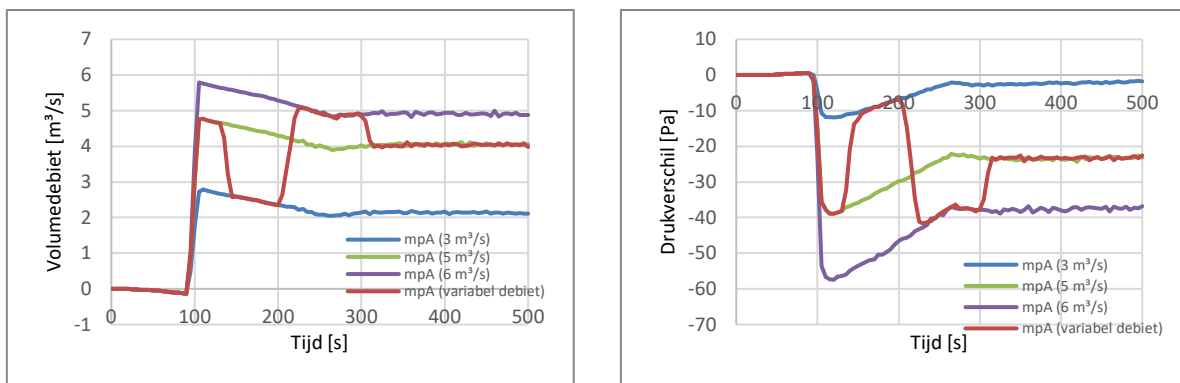


Figuur 60: Invloed van een variabel extractiedebiet bij dezelfde locatie van de openingen, nl. muur – plafond (*mp*) en brandhaardlocatie A

Uit bovenstaande grafieken kan afgeleid worden dat de curve van het volumedebiet doorheen de toevoeropeningen zeer gelijkaardig is aan de curve van het opgelegde extractiedebiet. De waarde van het volumedebiet verschilt uiteraard aangezien een temperatuurstijging in de afvoeropening resulteert in lager volumedebiet doorheen de toevoeropeningen (zie § 5.2.2).

Wat de drukverschillen betreft, is vast te stellen dat de drukverschilcurve eerder door de opgelegde extractiedebieten bepaald wordt dan door de Heat Release Rate. Op 200 seconden is de Heat Release Rate nog steeds aan het stijgen maar wordt een extractiedebiet van 6 m³/s geactiveerd. Op dat moment is een enorme stijging in de waarde van de onderdruk waarneembaar (en dit terwijl de temperatuur blijft oplopen).

Bovenstaande vaststelling wordt duidelijker indien we de grafieken van de extractiedebieten van 3 m³/s, 5 m³/s en 6 m³/s (uit Figuur 58) in deze van het variabel extractiedebiet toevoegen, zoals hieronder weergegeven:



Figuur 61: Vergelijking tussen de resultaten bekomen voor een variabel en een vast extractiedebiet bij dezelfde locatie van de openingen, nl. muur – plafond (mp) en brandhaardlocatie A

Uit bovenstaande grafieken kan afgeleid worden dat - in geval van een variërend extractiedebiet - het drukverschil steeds de curve van het betreffende extractiedebiet zal volgen. M.a.w. het drukverschil past zich zeer snel aan aan het nieuwe extractiedebiet. Dit verloop van drukverschil lijkt bijna onafhankelijk te gebeuren van de Heat Release Rate.

Conclusies:

Op basis van de uitgevoerde simulaties kunnen de volgende conclusies genomen worden:

- De "helling" van de drukverschilcurve is minder steil in geval van een lager extractiedebiet. In tegenstelling tot § 5.2.4.4, waar de invloed van de oppervlakte van de toevoeropeningen onderzocht is, is deze helling dus niet enkel afhankelijk van de oppervlakte van de toevoeropening maar eveneens van de snelheid doorheen de toevoeropening.
- Bij alle extractiedebieten wordt de drukverschilcurve afgetopt op het moment dat de maximale waarde van de Heat Release Rate bereikt is.
- De drukverschilcurve wordt in grotere mate bepaald door de opgelegde extractiedebieten eerder dan de Heat Release Rate. In de simulatie is de Heat Release Rate op bv. 200 seconden nog steeds aan het stijgen, maar wordt een extractiedebiet van 6 m³/s geactiveerd. Op dat moment is een enorme stijging in de waarde van de onderdruk waarneembaar (en dit terwijl de temperatuur blijft oplopen).

Belangrijke toelichting:

Bovenstaande vaststelling, i.e. de (grote) invloed van het extractiedebiet op het drukverschil, bevestigt het vermoeden dat in Proef 3 (Toepassing van een brandschermb – volledig naar beneden) het extractiedebiet niet constant was in de beginperiode van de proef (aangezien de aerodynamische oppervlakte van de toevoeropeningen kleiner was dan deze van de afvoeropeningen).

Uit de grafiek van het drukverschil (zie § 8.3) is immers af te leiden dat een verhoging van het drukverschil reeds begint na ca. 240 seconden, en dit terwijl de temperaturen overal in de ruimte blijven stijgen tot ca. 300 à 330 seconden. Indien het extractiedebiet constant zou zijn, zou deze verhoging pas optreden van zodra de temperaturen in de ruimte dalen (zie § 8.2). Dit laatste is vastgesteld tijdens Proef 2 (Toepassing van een brandschermb – tot 0,9 m boven de grond) waarbij een verhoging van het drukverschil waargenomen is op het moment dat de temperaturen in de omgeving van de brandhaard aan het dalen waren.

5.2.4.6 Invloed van de oppervlakte van de brandruimte

Tijdens deze simulaties wordt onderzocht wat de invloed van de oppervlakte van de brandruimte is op het (eind)drukverschil.

Tijdens deze simulaties is de maximale Heat Release Rate (medium αt^2 -curve) ingesteld op 800 kW (zie ook Figuur 48).

Het extractiedebiet bedraagt 5 m³/s.

De oppervlakte van de brandruimte bedraagt 80 m² (klein), 160 m² (normaal) of 320 m² (groot).

De oppervlakte (breedte x hoogte) van elke toevoeropening bedraagt 0,5 m x 0,5 m.

De locaties van de brandhaard zijn A en C.

De locatie van de openingen is *mp* (muur – plafond).

De resultaten van de gemiddelde luchttemperatuur in de bovenste 40 cm van de brandruimte en deze van de gemiddelde luchttemperatuur in de volledige brandruimte zijn weergegeven in de onderstaande tabel:

Gemiddelde luchttemperatuur in de brandruimte (enkel bovenste 40 cm)						
Locatie openingen	Brandhaardlocatie A (in de hoek)			Brandhaardlocatie C (t.p.v. afvoer)		
	klein (80 m ²)	normaal (160 m ²)	groot (320 m ²)	klein (80 m ²)	normaal (160 m ²)	groot (320 m ²)
muur – plafond (<i>mp</i>)	180 °C	159 °C	120 °C	104 °C	72 °C	70 °C
Gemiddelde luchttemperatuur in de brandruimte (volledige hoogte)						
Locatie openingen	Brandhaardlocatie A (in de hoek)			Brandhaardlocatie C (t.p.v. afvoer)		
	klein (80 m ²)	normaal (160 m ²)	groot (320 m ²)	klein (80 m ²)	normaal (160 m ²)	groot (320 m ²)
muur – plafond (<i>mp</i>)	116 °C	100 °C	77 °C	53 °C	49 °C	38 °C

Uit bovenstaande tabel kan afgeleid worden dat een kleiner volume (= kleinere oppervlakte) steeds zal resulteren in hogere luchttemperaturen voor de brandhaardlocatie A.

In geval van brandhaardlocatie C is de invloed op de luchttemperatuur geringer aangezien de meeste warmte direct afgevoerd wordt.

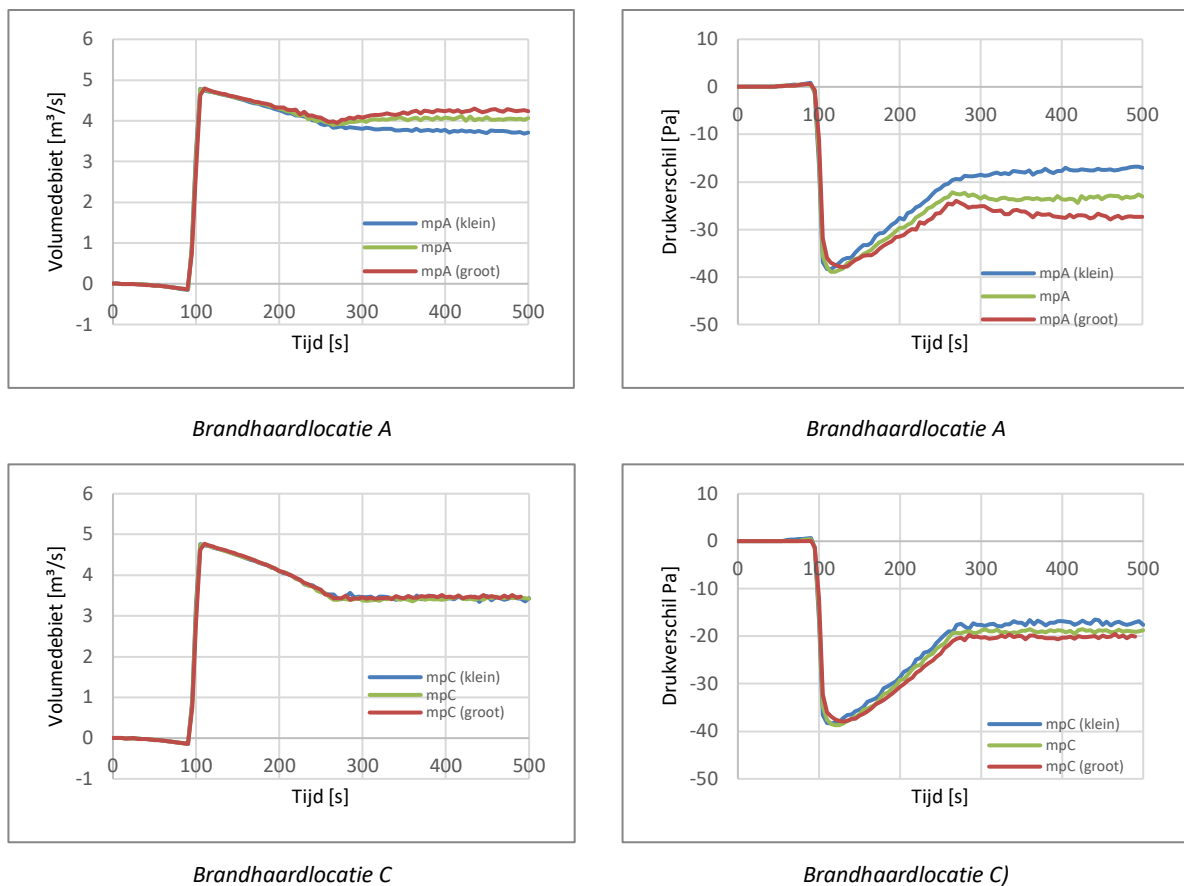
Ter info :

Een bijkomende simulatie (brandhaardlocatie A – in de hoek) werd uitgevoerd voor de kleine oppervlakte van de brandruimte (= 80 m²) waarbij de maximale Heat Release Rate 1600 kW bedroeg in plaats van de hierboven beschreven 800 kW.

Tijdens deze simulatie werden de volgende luchttemperaturen bekomen:

- gemiddelde luchttemperatuur in de brandruimte (enkel bovenste 40 cm): 316 °C;
- gemiddelde luchttemperatuur in de brandruimte (volledige hoogte): 181 °C.

De resultaten van het totale volumedebiet doorheen de toevoeropeningen en het drukverschil ter plaatse van het referentiepunt (op een hoogte van 2,4 m) voor de locatie van de openingen *mp*, zijn hieronder weergegeven:



Figuur 62: Invloed van de oppervlakte van de brandruimte bij dezelfde locatie van de openingen, nl. muur – plafond (*mp*) en brandhaardlocaties A en C

Op basis van bovenstaande grafieken kan duidelijk afgeleid worden dat een verhoging van de oppervlakte van de brandruimte zal resulteren in hogere extractiedebieten (i.e. lagere luchttemperaturen), waardoor een groter (eind)drukverschil bekomen wordt. Bovendien is het mogelijk dat een te kleine brandruimte niet in staat is om de geproduceerde warmte op tijd af te voeren. De thermische eigenschappen van de compartimentsgrenzen spelen hier uiteraard een zeer belangrijke rol, nl. hoe beter geïsoleerd, hoe minder snel de warmte kan afgevoerd worden en dus ook hoe meer het extractiedebiet in waarde zal verlagen.

Conclusies:

Op basis van de uitgevoerde simulaties kunnen de volgende conclusies genomen worden:

- Hoe kleiner het volume van de brandruimte, hoe minder menging ontstaat tussen de warme luchtlaag en de koude toevoerlucht, waardoor de luchttemperatuur hoger wordt.
- Bovenstaande conclusie is ook van toepassing indien de hoogte vergroot. Deze simulatie is in deze studie niet opgenomen, maar de drukverschillen in dergelijk geval (i.e. zelfde oppervlakte maar grotere hoogte) zijn gelijkaardig aan de oorspronkelijke “normale” configuratie.

5.2.5 Conclusies

Op basis van de uitgevoerde simulaties kunnen de volgende conclusies genomen worden:

- Het drukverschil wordt enerzijds bepaald door (de snelheid doorheen en oppervlakte van) de toevoeropeningen en anderzijds door (de temperatuur in) de afvoeropening, waarbij de volgende eigenschappen vastgesteld zijn:
 - Hoe hoger de snelheid (= volumedebiet/aerodynamische oppervlakte) doorheen de toevoeropening, hoe groter het startdrukverschil (= het drukverschil na activatie van het extractiedebiet).
 - Hoe hoger de temperatuur in de afvoeropening, hoe kleiner het einddrukverschil (= drukverschil op het moment van maximale waarde van de Heat Release Rate).
 - Hoe kleiner de oppervlakte van de toevoeropeningen, hoe steiler de drukverschilcurve.
 - Hoe hoger de snelheid doorheen de toevoeropeningen, hoe steiler de drukverschilcurve.
- De Heat Release Rate curve heeft bijna geen invloed op het einddrukverschil, enkel op de helling van de drukverschilcurve.
- De drukverschilcurve wordt meer beïnvloed door het extractiedebiet dan door de Heat Release Rate.
- De “beste” resultaten voor het drukverschil (i.e. de grootste waarde van het (eind)drukverschil) worden bekomen indien de toevoer- en afvoeropeningen zich in het plafond bevinden. Met “beste” resultaat wordt bedoeld dat hierbij een drukverschil bekomen wordt dat het dichtst aanleunt bij het startdrukverschil.

5.2.6 Ontwerpparameters

Rekening houdend met de hierboven beschreven conclusies en deze omtrent de verhouding tussen de toevoer- en afvoeropeningen (zie § 4.4.6), zijn onderstaande ontwerpparameters van het rookbeheersingssysteem opgesteld teneinde een onderdruk te realiseren in een brandruimte:

- De gebruikshoogte van de brandruimte bedraagt min. 2,5 m.
- De aerodynamische oppervlakte van de toevoeropening(en) is groter dan of gelijk aan de aerodynamische oppervlakte van de afvoeropening(en), i.e. $A_{in} \times C_{d,in} \geq A_{uit} \times C_{d,uit}$.
Hierdoor wordt ervoor gezorgd dat de efficiëntie van het rookbeheersingssysteem niet negatief beïnvloed wordt.

- Het extractiedebiet is gelegen tussen $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ en $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Een drukregelsysteem zorgt ervoor dat een vooropgesteld drukverschil bekomen wordt door het extractiedebiet te laten variëren in functie van het gemeten drukverschil in de brandruimte.

Het vooropgestelde drukverschil bedraagt -5 Pa (onderdruk) op een hoogte van de bovenkant van de openingen in de ruimte. Hierdoor wordt gewaarborgd dat er steeds onderdruk ter plaatse van lager gelegen openingen is.

De waarde van het vooropgesteld drukverschil wordt laag gehouden zodat een plotse verhogingen in extractiedebieten vermeden wordt indien openingen gecreëerd worden.

Indien een drukregelsysteem toegepast wordt, bedraagt het minimale extractiedebiet $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Van zodra het rookbeheersingssysteem geactiveerd wordt, wordt er dus gestart met een extractiedebiet van $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Het maximale extractiedebiet bedraagt $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Indien geen drukregelsysteem toegepast wordt, bedraagt het extractiedebiet $5 \text{ m}^3/\text{s}$.
- De snelheid aan de toevoeropening bedraagt max. 5 m/s (bij het startextractiedebiet).

Hierdoor wordt ervoor gezorgd dat de efficiëntie van het rookbeheersingssysteem niet negatief beïnvloed wordt door te grote drukverliezen ter plaatse van de toevoeropeningen.

In het geval van toepassing van het regelbaar druksysteem, zal het maximale extractiedebiet pas bereikt worden op het moment dat de temperatuur in de afvoeropeningen reeds hoog is. Op dat moment (i.e. bij maximaal of hoger extractiedebiet) is de snelheid doorheen de toevoeropening kleiner dan deze in vergelijking zonder brand, waardoor de bijkomende drukverliezen (ten gevolge van de hogere extractiedebieten) ter plaatse van de toevoeropening beperkt blijven.
- De minimale aerodynamische oppervlakte van de toevoeropening(en) bedraagt $0,5 \text{ m}^2$, i.e. $A_{in} \times C_{d,in} = \text{min. } 0,5 \text{ m}^2$.

Hierdoor wordt er – in eerste instantie - voor gezorgd dat de invloed van de brandhaard op de drukverschilcurve geminimaliseerd wordt, m.a.w. de helling van de drukverschil is minder steil.

Een bijkomende reden voor deze minimale waarde is de link tussen het minimale extractiedebiet ($= 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$) en de maximale snelheid doorheen de toevoeropening ($= 5 \text{ m/s}$).

Bovenstaande simulaties zijn uitgevoerd met één afvoeropening. Indien meerdere afvoeropeningen toegepast worden, zal de gemiddelde temperatuur in de afvoeropeningen lager zijn aangezien er meer menging ontstaat van de warme luchtlaag met de koudere toevoerlucht. Een lagere temperatuur in de afvoeropeningen heeft een groter einddrukverschil tot gevolg.

De openingen van een ventilatiesysteem kunnen hierbij eventueel passief aangewend worden als toevoeropening van het rookbeheersingssysteem.

- De Heat Release Rate van de brandhaard bedraagt max. 1,5 MW.
Bovenvermelde ontwerpparameters zijn opgesteld in geval van een maximale Heat Release Rate van ca. 1,5 MW. Deze maximale waarde kan enkel gegarandeerd worden indien aan één van onderstaande voorwaarden voldaan is:
 - Ofwel door de hoeveelheid brandlast te beperken:
Uit de bijkomende CFD-simulaties is gebleken dat het vooral de maximale waarde van de Heat Release Rate (in kW) bepalend is voor het minimale bekomen drukverschil. Niet alleen een beperking in brandbelasting (MJ/m^2), zoals toegepast in Bijlage 6 van de Basisnormen (KB van 07/07/94 en latere wijzigingen), kan dus toegepast worden om de toegelaten hoeveelheid brandlast te kwantificeren, maar er dient dus best ook rekening gehouden te worden met de vermogensdichtheid (kW/m^2) van de brandhaard.
Ter info: De brandbelasting van de brandhaard (maximale HRR: 800 kW; oppervlakte: ca. $1,6 \text{ m}^2$) tijdens deze studie bedraagt ca. $260 \text{ MJ}/\text{m}^2$.
 - Ofwel door toepassing van een automatisch blussysteem:
Indien het rookbeheersingssysteem eerst geactiveerd dient te worden om de eventueel reeds aanwezige rook te kunnen afvoeren, dient de snelheid ter plaatse van de afvoeropeningen laag genoeg te zijn teneinde de goede werking van het automatisch blussysteem niet negatief te beïnvloeden.
De combinatie van een rookbeheersingssysteem en een automatisch blussysteem is in deze studie echter niet verder uitgewerkt, maar het is vanzelfsprekend dat de hierboven beschreven extractiedebieten kleiner zullen zijn in geval van de toepassing van een automatisch blussysteem. In dit laatste geval, i.e. na activatie van het automatisch blussysteem, zal het rookbeheersingssysteem dus vooral aangewend worden om de brandruimte zo snel mogelijk rookvrij te maken.

5.3 ROOKBEHEERSINGSSYSTEEM GEBRUIK MAKEND VAN EEN BRANDSCHEM TOT OP EEN HOOGTE VAN MAX. 1 M

5.3.1 Inleiding

Proef 2 (Toepassing van een brandschermbreedte tot 0,9 m boven de grond) heeft aangetoond dat het mogelijk is om - met behulp van een rookbeheersingssysteem en een brandschermbreedte - een rookvrije evacuatieweg te creëren in de brandruimte.

Ter voorbereiding van de grootschalige brandproef is het extractiedebiet bepaald in functie van de gekende Heat Release Rate (i.e. de zetel) en een vooropgestelde rookvrije hoogte (die ca. 0,5 m groter is dan de hoogte van de opening onder het brandschermbreedte). Hiervoor kunnen de beschikbare ontwerpnormen voor RWA-systemen aangewend worden, aangezien de proefopstelling als het ware een toepassing is van de combinatie van een RWA-systeem en een brandschermbreedte, maar dan op veel kleinere schaal. De snelheid onder het brandschermbreedte is tijdens de brandproef laag gehouden teneinde een duidelijke scheiding tussen de rooklaag en de omgevingslucht te bekomen.

Om dezelfde rookvrije hoogte te bekomen, dient - in geval van een hogere Heat Release Rate dan deze toegepast tijdens de grootschalige brandproef – enerzijds het extractiedebiet verhoogd te worden, maar anderzijds dienen er ook voldoende grote afvoeropeningen (met lage volumedebieten) aanwezig te zijn teneinde plug-holing te vermijden. Ten gevolge van dit laatste – waarbij eerder omgevingslucht dan rook afgevoerd wordt – zou de rooklaag verder dan de onderzijde van het brandschermbreedte kunnen zakken. Aangezien de snelheid onder het brandschermbreedte kleiner wordt ten gevolge van de hogere luchttemperatuur in de afvoeropening (zie ook § 5.2.5), kan de rooklaag onder het brandschermbreedte komen, waardoor rookverspreiding in de gecreëerde evacuatieweg plaatsvindt. Dit laatste is uiteraard nefast voor de evacuatie.

Bij het opstellen van de ontwerpparameters van deze toepassing van het rookbeheersingssysteem is daarom vooropgesteld om een minimale snelheid onder het brandschermbreedte te garanderen zodat geen luchtstroom van de brandruimte naar de gecreëerde evacuatieweg mogelijk is. Op basis van de voorgaande paragraaf (i.e. § 5.2) waarbij vastgesteld is dat de snelheid aan de toevoeropening vermindert indien de luchttemperatuur in de afvoeropening verhoogt, is het dus belangrijk dat een minimale snelheid gedurende de volledige brandproef gegarandeerd wordt. Er zal in deze paragraaf onderzocht worden of een beginsnelheid van 1,25 m/s onder het brandschermbreedte hiervoor voldoende is.

De grootschalige brandproef heeft aangetoond dat deze toepassing van het rookbeheersingssysteem doeltreffend is voor de betreffende brandhaard, de specifieke ventilatiecondities, het vastgelegde extractiedebiet en de afmetingen van de brandruimte.

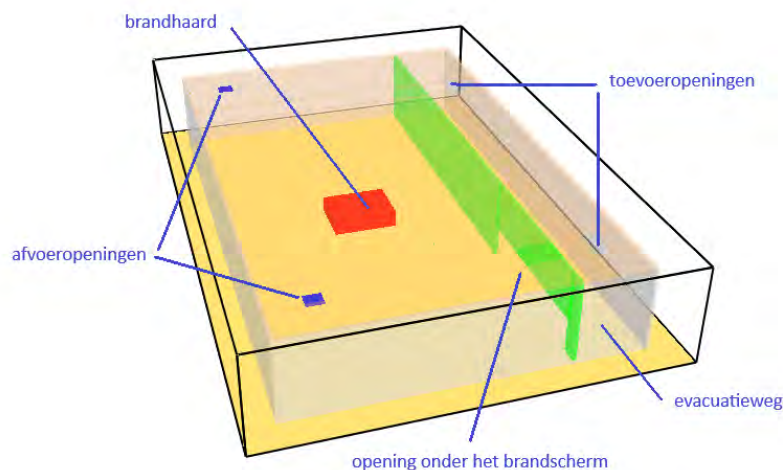
Tijdens deze bijkomende CFD-simulaties wordt de invloed van onderstaande variërende parameters (t.o.v. de grootschalige brandproeven) op de efficiëntie van deze toepassing van het rookbeheersingssysteem onderzocht:

- de breedte (en hoogte) van de opening onder het brandscherf;
- het extractiedebiet;
- de Heat Release Rate;
- de locatie van de toevoeropeningen ten opzichte van de opening onder het brandscherf;
- de grootte van de toevoeropeningen;
- de breedte van de evacuatiweg;
- de afmetingen van de brandruimte.

5.3.2 Basisconfiguratie en aannames

De basisconfiguratie voor de simulaties is een rechthoekig compartiment (lengte x breedte x hoogte: 16 x 10 x 2,5 m) met onderstaande kenmerken:

- een brandhaard in het midden van de brandruimte;
- een opening onder het brandscherf (breedte: 2,5 m, 5 m of 10 m; hoogte: 0,8 m of 1 m);
- een evacuatiweg (breedte: 2 m of 4 m);
- minstens twee toevoeropeningen (met verschillende afmetingen) in het plafond van de evacuatiweg, waarbij de toevoeropeningen zich ter plaatse van de opening onder het brandscherf kunnen bevinden en/of op een afstand ervan;
- twee afvoeropeningen (afmetingen: 0,5 x 0,5 m of 1 m x 1 m), die zich in het plafond bevinden.



Figuur 63: Basisconfiguratie simulatie – toepassing van een brandscherf tot op een hoogte van max. 1 m

Tijdens deze simulaties zijn onderstaande aannames gedaan:

- Het brandvermogen (vermogensdichtheid: 500 kW/m²) is een medium α^2 -curve (i.e. $\alpha = 0,0117$ kW/s²; afgetopt na 370 seconden) met een maximaal vermogen van 1600 kW (zie ook Figuur 48).
- De omgevingstemperatuur bedraagt 20 °C.
- Alle simulaties zijn uitgevoerd met effectieve openingen in het compartiment, m.a.w. er is geen gebruik gemaakt van “pressure zones” in FDS. Dit laatste wordt vooral toegepast indien de afmetingen van de opening beduidend kleiner zijn dan de afmetingen van de cellen. Er zijn minstens 5 cellen per afmetingen van de opening aanwezig.
- Aangezien gebruik gemaakt wordt van effectieve openingen in het compartiment, is het belangrijk om een inschatting te hebben van de contractiecoëfficiënt van de toevoeropeningen (i.e. C_d). In deze studie is deze waarde bepaald op basis van Vergelijking (1) en de resultaten van de CFD-simulaties (i.e. gemeten volumedebiet en drukverschil). Hieruit blijkt dat voor de toegepaste toevoeropeningen in de simulaties een waarde van ca. 0,77 à 0,82 bekomen wordt, m.a.w. $C_{d,FDS} = 0,77$ à 0,82.
- De vermogensdichtheid is vastgelegd op 500 kW/m². Deze waarde is terug te vinden in de literatuur voor ontwerpbranden op plaatsen waarbij een grote brandlast aanwezig is.
- Het rookbeheersingssysteem is voorgesteld als een opening op de grenzen van de brandruimte waardoor een vooropgesteld extractiedebiet gaat. Er wordt dus geen gebruik gemaakt van een kanaalwerk zoals dit in de werkelijkheid zal uitgevoerd worden.

Bovendien is het extractiedebiet constant ingesteld, m.a.w. het extractiedebiet is hier niet afhankelijk van het drukverschil aanwezig in de brandruimte. In de werkelijkheid is dit wel het geval en kan/zal het extractiedebiet beïnvloed worden door dit drukverschil. Deze invloed zal echter wel in rekening gebracht worden bij het bepalen van de ontwerpparameters van het rookbeheersingssysteem.

Onderstaande metingen worden tijdens de simulaties gedaan:

- Metingen van het volumedebiet onder het brandscherf.

De metingen van het volumedebiet onder het brandscherf tonen aan in welke richting de luchtstroom zich onder het brandscherf zal begeven. Indien er zich een luchtstroom vanuit de brandruimte naar de evacuatiweg manifesteert, kan dit wijzen op rookverspreiding naar de evacuatiweg. Deze luchtstroom dient ten allen tijden vermeden te worden.

De weergegeven resultaten van de volumedebieten zijn de gemiddelde waarden gemeten over de laatste 100 seconden van de simulatietijd.

- Metingen van het drukverschil (in de brandruimte) op een hoogte van 0,2 m, 1 m, 2 m en 2,4 m.

De metingen van het drukverschil zijn uitgevoerd maar niet weergegeven in deze paragraaf aangezien ze – onder gelijkaardige randvoorwaarden (i.e. Heat Release Rate, extractiedebiet, toevoeropeningen) - in dezelfde grootteorde liggen als deze gemeten tijdens de bijkomende CFD-simulaties in § 5.2.

- Metingen van de gemiddelde luchttemperatuur over een hoogte van de bovenste 40 cm van de brandruimte en over de volledige hoogte van de brandruimte.

De metingen van de gemiddelde luchttemperaturen zijn uitgevoerd maar niet weergegeven in deze paragraaf aangezien ze – onder gelijkaardige randvoorwaarden (i.e. Heat Release Rate, extractiedebiet, toevoeropeningen) - in dezelfde grootteorde liggen als deze gemeten tijdens de bijkomende CFD-simulaties in § 5.2.

5.3.3 Simulaties

Tijdens deze simulaties wordt onderzocht welke parameters een invloed kunnen hebben op de luchtstroom onder het brandscherf.

Tijdens deze simulaties is de maximale Heat Release Rate (medium αt^2 -curve) ingesteld op 1600 kW.

Een overzicht van de resultaten van de volumedebieten door de opening onder het brandscherf van de uitgevoerde simulaties wordt weergegeven in onderstaande tabel:

Referentie simulatie	Extractie-debiet [m ³ /s]	Toevoeropening				Opening onder scherm (b x h) [m x m]	Volumedebiet t.o.v. evacuatieweg [m ³ /s]	
		Oppervlakte [m ²] Positie t.o.v. opening onder scherm		Afstand tot opening onder scherm [m]	Snelheid [m/s]		uit	in
		onder	naast					
Scherf1	5	0,5	0,5	8	5	2,5 x 1	2,931	0,003
Scherf2	5	0,5	0,5	7,5	5	5 x 0,8	3,026	0,070
Scherf3	5	0	0,5 en 0,5	1,5 en 6,5	5	5 x 0,8	2,963	0,009
Scherf4	5	0,7	0,7	6,5	3,57	5 x 0,8	3,007	0,037
Scherf5	5	0,7	0,7	2,5 en 9	3,57	5 x 0,8	2,824	0,003
Scherf6	5	0,7	0,7 en 2	6,5 en 11	1,47	5 x 0,8	2,936	0,010
Scherf7	5	1	1	6,5	2,5	5 x 0,8	3,000	0,034
Scherf8	6,25	0,5	0,25 en 0,5	1,5 en 6,5	5	5 x 1	4,041	0,112
Scherf9	6,25	0,7	1,3	6,5	3,13	5 x 1	3,987	0,043
Scherf10	10	0,6 en 0,6	0,8	1,5	5	10 x 0,8	7,463	0,199
Scherf11	10	1 en 1	2	1,5	2,5	10 x 0,8	7,318	0,030
Scherf12	10	1	3	1,5	2,5	10 x 0,8	7,339	0,015
Scherf13	12,5	0,78 en 0,78	0,98	2,8	4,9	10 x 1	10,032	0,317

Ter info (afwijkende configuraties ten opzichte van de basisconfiguratie):

Simulatie "Scherf5" is dezelfde als "Scherf4", maar waarbij de breedte van de evacuatieweg 4 m i.p.v. 2 m bedraagt. Hierdoor is de oppervlakte van de brandruimte ook kleiner.

Simulatie "Scherf6" is dezelfde als "Scherf4", maar met een opening (2 m²) onderaan in de muur van de evacuatieweg.

Uit bovenstaande tabel kan in eerste instantie afgeleid worden dat er steeds een zeer beperkte luchtstroom (= volumedebiet) vanuit de brandruimte naar de evacuatieweg plaatsvindt. Deze luchtstroom is reeds vanaf de activatie van het rookbeheersingssysteem aanwezig en wordt veroorzaakt door het feit dat het niet mogelijk is om een luchtstroom te creëren over de volledige (relatief grote) oppervlakte van de opening onder het brandscherf (i.e. 2,5 m² tot 10 m²).

Deze luchtstroom is dus onafhankelijk van de brandhaard en heeft tot gevolg dat in het geval dat de rook de volledige brandruimte omvat, deze via deze luchtstroom kan terugstromen naar de evacuatieweg. Indien het volumedebiet van deze luchtstroom klein genoeg is, zal de hoofdluchtstroom (= luchtstroom van de evacuatieweg naar de brandruimte) er steeds voor zorgen dat de rook terug afgevoerd wordt naar de brandruimte waardoor de evacuatieweg rookvrij gehouden wordt. Zo is bv. tijdens de simulaties *Scherf 8*, *Scherf 10* en *Scherf 13* een zeer kortstondige en zeer geringe rookverspreiding naar de evacuatieweg waarneembaar, doch deze rook wordt onmiddellijk naar de brandruimte terug afgevoerd zodat de evacuatieweg rookvrij blijft.

De grootte van de luchtstroom van de brandruimte naar de evacuatieweg is groter indien de afstand van de toevoeropening tot de opening onder het brandscherf kleiner is en ook indien de snelheid ter plaatse van de toevoeropening groter is. In beide gevallen wordt de snelheid van de initiële luchtstroom aan de toevoeropeningen te weinig verdeeld over de oppervlakte van de opening onder het brandscherf waardoor er toch een luchtstroom van de brandruimte naar de evacuatieweg mogelijk is.

5.3.4 Conclusies

Op basis van de uitgevoerde simulaties kunnen de volgende conclusies genomen worden:

- Hoe kleiner de snelheid aan de toevoeropeningen (dus hoe groter de oppervlakte ervan) of hoe verder de toevoeropeningen verwijderd zijn van de opening onder het brandscherf, hoe kleiner de luchtstroom van de brandruimte naar de evacuatieweg toe.
- Indien gestart wordt met een minimale snelheid van 1,25 m/s onder het brandscherf, kan rookverspreiding naar de evacuatieweg vermeden worden. Door het brandscherf te verlagen (i.e. verkleinen van de oppervlakte van de opening) kan eenzelfde snelheid bekomen worden met een lager extractiedebiet dan oorspronkelijk voorzien.

De snelheid onder het brandscherf wordt kleiner indien de luchttemperatuur in de afvoeropeningen groter wordt (zie ook § 5.2.5).

- De maximale hoogte van de opening onder het brandscherf bedraagt 1 m. Deze hoogte wordt vooropgesteld aangezien het voor zeer grote oppervlaktes van de opening moeilijk wordt om een luchtstroom over de volledige oppervlakte ervan te realiseren.
- Het is eveneens mogelijk om een onderdruk in de brandruimte te realiseren. Hierbij zijn de conclusies beschreven in § 5.2.5 van toepassing.

5.3.5 Ontwerpparameters

Rekening houdend met de hierboven beschreven conclusies en deze omtrent de verhouding tussen de toevoer- en afvoeropeningen (zie § 4.4.6), zijn onderstaande ontwerpparameters van het rookbeheersingssysteem opgesteld teneinde een rookvrije evacuatiweg te kunnen garanderen:

- De gebruikshoogte van de brandruimte bedraagt min. 2,5 m.
- De aerodynamische oppervlakte van de toevoeropening(en) is groter dan of gelijk aan de aerodynamische oppervlakte van de afvoeropening(en), i.e. $A_{in} \times C_{d,in} \geq A_{uit} \times C_{d,uit}$.

Hierdoor wordt ervoor gezorgd dat de efficiëntie van het rookbeheersingssysteem niet negatief beïnvloed wordt.

- In eerste instantie wordt het brandscherm naar beneden gelaten, vervolgens wordt het rookbeheersingssysteem geactiveerd. Het extractiedebiet wordt bepaald op basis van de minimale nodige snelheid onder het brandscherm.
- De gemiddelde snelheid onder het brandscherm bedraagt min. 1,25 m/s (bepaald onder omgevingsvoorwaarden, i.e. situatie zonder brand).

Hierdoor wordt ervoor gezorgd dat de resterende minimale snelheid onder het brandscherm voldoende is om de luchtstroom - over de volledige oppervlakte onder het brandscherm - naar de brandruimte te blijven garanderen.

- De snelheid aan de toevoeropening bedraagt max. 5 m/s.

Indien de toevoeropening zich ter plaatse van de opening onder het brandscherm bevindt of binnen een (horizontaal geprojecteerde) afstand kleiner dan 1 m, is deze snelheid beperkt tot 3 m/s.

Hierdoor wordt de snelheid van de initiële luchtstroom aan de toevoeropeningen goed verdeeld over de oppervlakte van de opening onder het brandscherm.

De openingen van een ventilatiesysteem kunnen hierbij eventueel passief aangewend worden als toevoeropening van het rookbeheersingssysteem.

- Er zijn minstens twee toevoeropeningen en minstens twee afvoeropeningen aanwezig, waarbij de afstand tussen twee toevoeropeningen min. 3 m en max. 10 m bedraagt.

- De hoogte onder het brandscherm bedraagt max. 1 m.

De hoogte onder het brandscherm is enkel gelimiteerd door de aanwezigheid van eventuele obstakels waardoor het brandscherm niet verder kan zakken. Dus indien mogelijk kan het brandscherm nog meer naar beneden gelaten worden teneinde een lager extractiedebiet te kunnen toepassen bij een bepaalde breedte van het brandscherm.

Een brandscherm dat tot op een bepaalde hoogte gepositioneerd wordt, kan steeds gecombineerd worden met brandschermen die volledig tot beneden gaan. Het is dus niet noodzakelijk om alle brandschermen in dezelfde positie aan te brengen.

- De Heat Release Rate van de brandhaard bedraagt max. 1,5 MW.
Bovenvermelde ontwerpparameters zijn opgesteld in geval van een maximale Heat Release Rate van ca. 1,5 MW. Deze maximale waarde kan enkel gegarandeerd worden indien aan één van onderstaande voorwaarden voldaan is:
 - Ofwel door de hoeveelheid brandlast te beperken:
Uit de bijkomende CFD-simulaties is gebleken dat het vooral de maximale waarde van de Heat Release Rate (in kW) bepalend is voor de minimale bekomen snelheid onder het brandscherm. Niet alleen een beperking in brandbelasting (MJ/m^2), zoals toegepast in Bijlage 6 van de Basisnormen (KB van 07/07/94 en latere wijzigingen), kan dus toegepast worden om de toegelaten hoeveelheid brandlast te kwantificeren, maar er dient dus best ook rekening gehouden te worden met de vermogensdichtheid (kW/m^2) van de brandhaard.
Ter info: De brandbelasting van de brandhaard (maximale HRR: 800 kW; oppervlakte: ca. $1,6 \text{ m}^2$) tijdens deze studie bedraagt ca. $260 \text{ MJ}/\text{m}^2$.
 - Ofwel door toepassing van een automatisch blussysteem:
Indien het rookbeheersingssysteem eerst geactiveerd dient te worden om de eventueel reeds aanwezige rook te kunnen afvoeren, dient de snelheid ter plaatse van de afvoeropeningen laag genoeg te zijn teneinde de goede werking van het automatisch blussysteem niet negatief te beïnvloeden.
De combinatie van een rookbeheersingssysteem en een automatisch blussysteem is in deze studie echter niet verder uitgewerkt, maar het is vanzelfsprekend dat de hierboven beschreven extractiedebieten kleiner zullen zijn in geval van de toepassing van een automatisch blussysteem. In dit laatste geval, i.e. na activatie van het automatisch blussysteem, zal het rookbeheersingssysteem dus vooral aangewend worden om de brandruimte zo snel mogelijk rookvrij te maken.

5.4 DUIDELIJKE SCHEIDING TUSSEN DE ROOKLAAG EN DE OMGEVINGSLUCHT (= ROOKVRIJE HOOGTE)

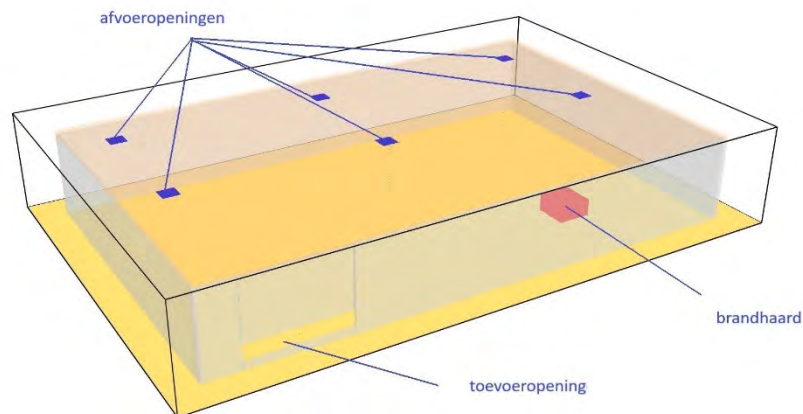
5.4.1 Inleiding

Proef 5 (combinatie van een rookbeheersingssysteem en een sprinklersysteem) heeft aangetoond dat het mogelijk is om – in de beginfase van een brand - een rookvrije hoogte in de brandruimte te realiseren met behulp van een rookbeheersingssysteem. Dit kan eventueel belangrijk zijn in geval van kleine branden waarbij niet echt warmte maar eerder rookontwikkeling geproduceerd wordt.

In deze paragraaf zal onderzocht worden onder welke voorwaarden een duidelijke rookvrije hoogte kan bekomen worden voor branden met een klein brandvermogen.

5.4.2 Basisconfiguratie en aannames

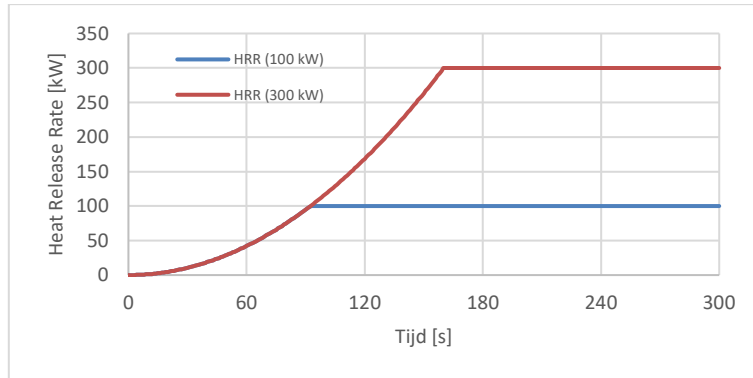
De basisconfiguratie voor de simulaties is een rechthoekig compartiment (lengte x breedte x hoogte: 8 x 10 x 2,5 m), voorzien van een brandhaard en één opening in de muur zoals weergegeven in de onderstaande figuur:



Figuur 64: Basisconfiguratie simulatie – duidelijke scheiding tussen de rooklaag en de omgevingslucht

Tijdens deze simulaties zijn onderstaande aannames gedaan:

- Het brandvermogen (vermogensdichtheid: 500 kW/m²) is een medium αt^2 -curve (i.e. $\alpha = 0,0117$ kW/s²) met een maximaal vermogen van 100 kW of 300 kW zoals weergegeven in de onderstaande figuur:



Figuur 65: Medium αt^2 -curve met maximaal brandvermogen van 100 kW en 300 kW

Zoals kan afgeleid worden uit de bovenstaande figuur wordt de medium αt^2 -curve met een maximaal vermogen van 100 kW afgetopt na 93 seconden, terwijl deze met een maximaal vermogen van 300 kW afgetopt wordt na 160 seconden.

De brandhaard wordt niet voor de opening geplaatst.

- De omgevingstemperatuur bedraagt 20 °C.
- De waarde van de “soot yield” (= roetgehalte) wordt vastgelegd op 0,1, d.w.z. dat er 0,1 kg roet geproduceerd wordt in de rooklaag per kg massaverlies van de brandstof.
- Er zijn zes gelijkmatige verdeelde afvoeropeningen (afmetingen (per opening): 0,5 x 0,5 m; extractiedebiet per opening: 0,5 m³/s) in het plafond aangebracht. Het totale extractiedebiet bedraagt dus 3 m³/s. Na 90 seconden wordt de extractie geactiveerd.
- De toevoeropening (hoogte: 0,5 m) is onderaan de muur aangebracht. De breedte van deze opening bedraagt 3 m, 6 m of 12 m, zodat respectievelijke oppervlaktes van toevoeropeningen van 1,5 m², 3 m² en 6 m² onderzocht zullen worden.

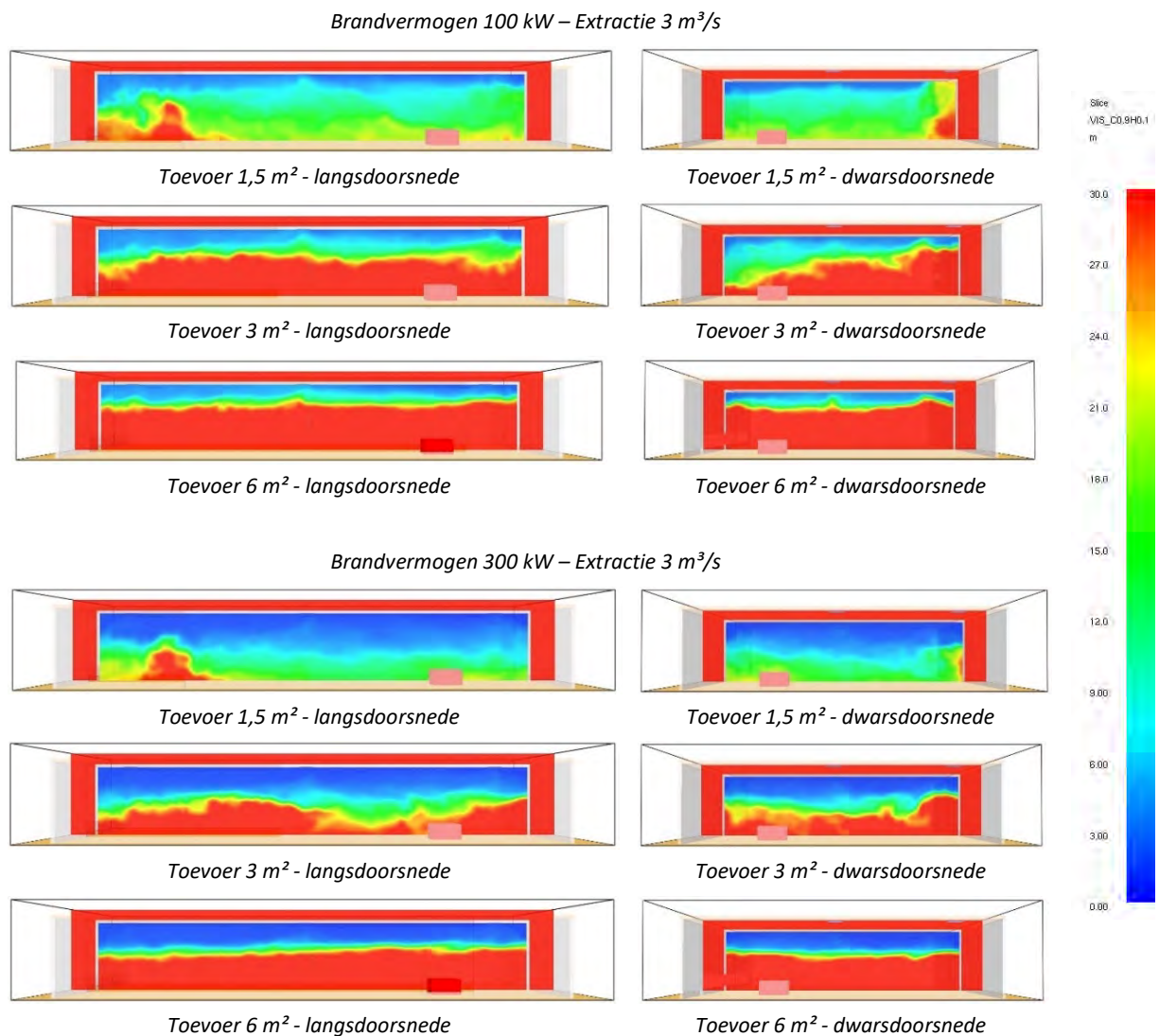
Onderstaande metingen worden tijdens de simulaties gedaan:

- Zichtbaarheid
- Rookvrije hoogte

De rookvrije hoogte wordt in FDS berekend op basis van de temperaturen gemeten op zes verschillende posities in de ruimte, waarbij de verder weergegeven waarde van de rookvrije hoogte het gemiddelde is van deze zes waarden.

5.4.3 Simulaties

De resultaten voor de zichtbaarheid worden weergegeven in de onderstaande figuren. De gradatie van de zichtbaarheid wordt weergegeven door de volgende oplopende kleuren: rood (zeer goede zichtbaarheid) – geel - groen – blauw (zeer slechte zichtbaarheid).

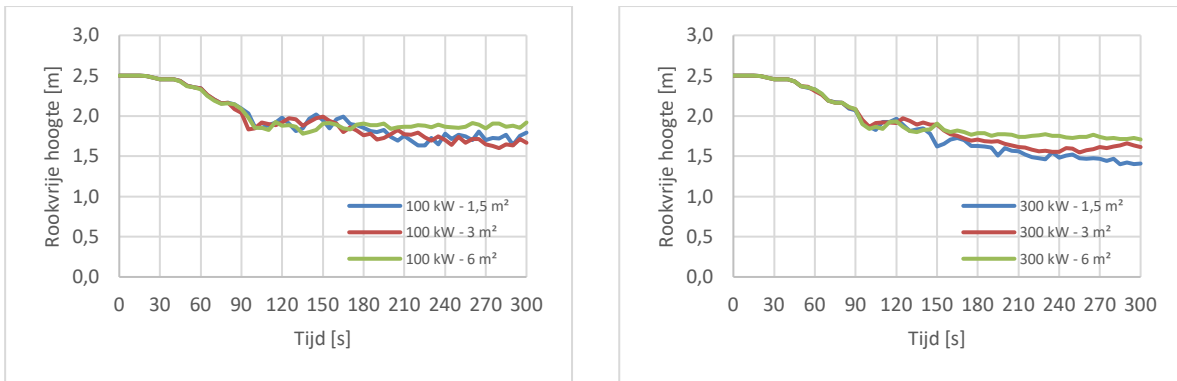


Figuur 66: Zichtbaarheid in geval van brandvermogens van 100 kW en 300 kW

Uit bovenstaande grafieken is duidelijk vast te stellen dat hoe groter de toevoering (of hoe kleiner de snelheid doorheen de opening), hoe beter een scheiding tussen de rooklaag en de omgevingslucht, i.e. een rookvrije hoogte, bekomen wordt.

Indien de toevoering te klein is (of de snelheid doorheen de opening te groot), is er veel turbulentie in de ruimte waarneembaar en wordt aldus de rooklaag met de omgevingslucht gemengd waardoor de zichtbaarheid vermindert.

De resultaten bekomen voor de rookvrije hoogte worden weergegeven in de onderstaande grafieken:



Figuur 67: Rookvrije hoogte in geval van brandvermogens van 100 kW en 300 kW

Uit bovenstaande grafieken zou kunnen geconcludeerd worden dat de grootte van de toevoeropeningen een geringe invloed heeft op de rookvrije hoogte. Echter zoals de grafieken van de zichtbaarheid (zie Figuur 66) aangetoond hebben, is dit niet het geval.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat de berekening van de rookvrije hoogte op basis van de temperatuursverschillen over de hoogte, best niet kan toegepast worden in geval van een geringe gebruikshoogte en een kleine Heat Release Rate.

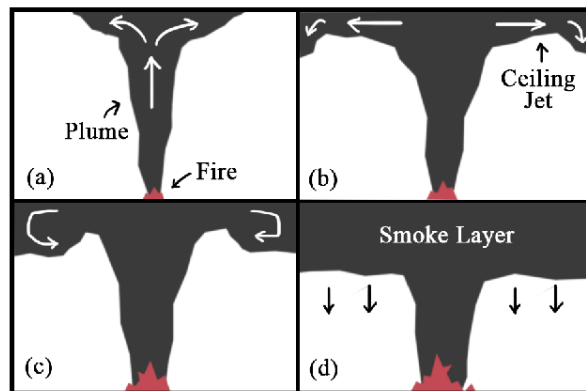
5.4.4 Conclusies

Op basis van de uitgevoerde simulaties kunnen de volgende conclusies genomen worden:

- In geval van een beperkte gebruikshoogte en een klein brandvermogen, is de berekende rookvrije hoogte (in FDS) geen goede parameter om de rookvrije hoogte te evalueren. Deze is immers gebaseerd op temperatuursverschillen in de ruimte.

Het is dus belangrijk steeds ook de zichtbaarheid te onderzoeken. Op basis van de berekende rookvrije hoogte alleen zou immers kunnen geconcludeerd worden dat er geen grote invloed is van de grootte van de toevoeropeningen op de rookvrije hoogte. Dit is echter duidelijk niet het geval zoals aangetoond door de grafieken van de zichtbaarheid.

- Bij een brandvermogen van 100 kW is zelfs in de meest ideale omstandigheden (zes extractieopeningen) steeds een rooklaag van ca. 0,8 à 1 m aanwezig. Deze minimale dikte van de rooklaag wordt veroorzaakt door de ceiling jet, zoals hieronder weergegeven:



Figuur 68: Vorming van een stabiele rooklaag onder invloed van de ceiling jet [6]

Uit bovenstaande figuur kan afgeleid worden dat er zich eerst een stabiele rooklaag dient te vormen vooraleer de rooklaag groter kan worden. Deze stabiele rooklaag zal dus steeds een minimale dikte hebben, zelfs bij kleine brandvermogens.

- De snelheid aan de toevoeropeningen heeft een zeer grote invloed op de vorming van een duidelijke scheiding tussen de rooklaag en de omgevingslucht. Hoe groter deze snelheid, hoe turbulenter de stroming in de ruimte en aldus hoe meer de rooklaag en de omgevingslucht met elkaar vermengd worden.

De scheiding tussen rooklaag en omgevingslucht is meer uitgesproken bij de simulaties met een grotere verhouding van toevoer/afvoeropening.

Het is geenszins de bedoeling om met bovenstaande simulaties te bepalen hoeveel een rookvrije hoogte zal bedragen.

Het is enkel de bedoeling om aan te tonen welke invloed enerzijds toevoersnelheden kunnen hebben op de vorming van een duidelijke scheiding tussen de rooklaag en de omgevingslucht, maar anderzijds ook om aan te tonen dat – zelfs met een klein brandvermogen - elke rooklaag een minimale dikte heeft (en dit ten gevolge van de ceiling jet gegenereerd door de brandhaard).

6 CONCLUSIES

6.1 ROOKBEHEERSING

Zowel tijdens een onmiddellijke evacuatie als tijdens een uitgestelde evacuatie (Defend in Place) dient er steeds voor gezorgd te worden dat de evacuerende personen niet blootgesteld worden aan de gevolgen van een brand, in het bijzonder de blootstelling aan de rook en andere toxische componenten van de brandhaard.

In de context van deze studie en het vooropgestelde veiligheidsniveau in woonzorggebouwen wordt rookbeheersing aldus gedefinieerd als *het garanderen van een rookvrije evacuatie door middel van actieve en/of passieve brandveiligheidsmaatregelen*.

Het principe van rookbeheersing bestaat erin de rook (en andere toxische gassen) binnen de grenzen van de brandruimte te houden (bv. door het creëren van een onderdruk in de brandruimte) eerder dan ervoor te zorgen dat de aanliggende te beschermen compartimenten de rook “tegenhouden” (bv. door het creëren van een overdruk in de aanliggende compartimenten). Immers eens de rook zich buiten de grenzen van de brandruimte bevindt, is de verspreiding ervan naar de rest van het gebouw onvoorspelbaar gezien de drukverschillen die in het gebouw op dat moment kunnen aanwezig zijn door bv. de aanwezigheid van ventilatiesystemen, de weersinvloeden, de hoogte van het gebouw, etc, evenals de mogelijke interactie met de brandweer tijdens hun interventie.

Het toepassingsdomein evenals de ontwerpparameters van het rookbeheersingssysteem zijn bovendien niet altijd dezelfde aangezien deze afhankelijk zijn van de gekozen evacuatiestrategie.

Gezien het innovatieve karakter van het rookbeheersingssysteem, i.e. er zijn geen ontwerpparameters voor de verschillende toepassingen van het systeem voorhanden, is in deze studie getracht om deze ontwerpparameters op een pragmatische manier op te stellen. De conclusies van de grootschalige brandproeven, evenals deze van de bijkomende CFD-simulaties, hebben hierbij als basis gediend.

Om duidelijk te maken dat deze toepassing van een rookbeheersingssysteem verschillend is ten opzichte van de gekende toepassingen van rookbeheersingssystemen (i.e. atria, industriegebouwen en parkeergarages), wordt het in deze studie toegepaste rookbeheersingssysteem eveneens “residentieel rookbeheersingssysteem” genoemd.

6.2 INVLOED VAN DE LUCHTDICHTHEID VAN DE BRANDRUIMTE OP DE ROOKVERSPREIDING

Hoe luchtdichter de ruimte (= geringe lekoppervlaktes), hoe groter de overdrukken in deze ruimte kunnen oplopen in geval van brand, en dus ook hoe meer rookverspreiding naar aanliggende compartimenten mogelijk is. De duurtijd van deze rookverspreiding wordt hierbij bepaald door de grootte van de brandruimte (= hoeveelheid beschikbare zuurstof om de brandhaard te onderhouden), daar waar de hoeveelheid rookverspreiding (= volumedebiet van de rook) bepaald wordt door de grootte van de overdruk in de brandruimte. Een groot volume (bv. gemeenschappelijk ruimte) kan resulteren in hoge drukverschillen die relatief lang kunnen oplopen gezien de hoeveelheid zuurstof in de ruimte, terwijl een klein volume (bv. kamer) eveneens hoge drukverschillen kan opleveren maar waarbij deze minder lang duren.

Bij een luchtdichte ruimte is het drukverschil minder afhankelijk van de hoogte, i.e. een overdruk is aanwezig over de volledige hoogte. In dit geval zal elke opening (= verbinding met een aanliggend compartiment) in de ruimte onderhevig zijn aan een overdruk en resulteren in rookverspreiding naar het aanliggend compartiment.

Door de brandruimte minder luchtdicht te maken (= creëren van bijkomende openingen), is het dus mogelijk dat er een overdruk aanwezig is bovenaan de ruimte, terwijl er onderaan de ruimte een onderdruk is. In dergelijk geval is de positie van de openingen (= verbinding met een aanliggend compartiment) belangrijk. Rookverspreiding is dus niet enkel afhankelijk van de overdruk in de brandruimte, maar eveneens van de locatie van de openingen ten opzichte van deze overdruk. Indien de openingen zich in de zone van de onderdruk bevinden, is een overdruk in de brandruimte dus perfect mogelijk zonder rookverspreiding te hebben naar de aanliggende compartimenten.

Vervolgens is de oppervlakte van de openingen (= verbindingen) tussen de brandruimte en een aanliggende compartiment bepalend voor de hoeveelheid rook die doorheen deze opening gaat. Zo is tijdens de grootschalige brandproeven aangetoond dat een rookwerende deur veel efficiënter is in het verhinderen van rookverspreiding dan een brandwerende deur gezien de heel geringe lekoppervlakte van de rookwerende deur.

Tot slot dient er ook rekening gehouden te worden met het feit dat de aanwezige rook in een luchtdichte brandruimte naar aanliggende ruimtes kan “geduwd” wordt onder invloed van een drukstoot, i.e. een zeer plotse drukverhoging. Dit kan bijvoorbeeld zijn door het sluiten van deuren, m.a.w. de rookverspreiding ten gevolge van een drukopbouw wordt niet enkel veroorzaakt door de brandhaard zelf.

6.3 EVACUATIE DOORHEEN EEN BRANDRUIMTE

De grootschalige brandproeven hebben aangetoond dat een evacuatie doorheen een brandruimte enkel mogelijk is indien gebruik gemaakt wordt van een residentieel rookbeheersingssysteem en een brandscherm.

Deze toepassing van het rookbeheersingssysteem kan aldus aangewend worden indien een onmiddellijke evacuatie tot de evacuatiestrategie behoort.

Indien de gemeenschappelijke ruimte (= brandruimte) in verbinding is met andere compartimenten (bv. door het ventilatiesysteem, deuren, ...) kan het rookbeheersingssysteem ook voor een onderdruk in de brandruimte zorgen (zie § 6.4), zodat deze toepassing eveneens kan aangewend worden in geval van een Defend in Place.

In geval van brand zal het brandscherm naar beneden gaan en kan deze ofwel stoppen op een vooropgestelde hoogte boven de grond (bv. indien obstakels aanwezig zouden kunnen zijn in de ruimte) ofwel volledig naar beneden gaan. Op die manier wordt een scheiding gecreëerd tussen de brandruimte en de evacuerende persoon. Van zodra het brandscherm zich in de gewenste positie bevindt, wordt het rookbeheersingssysteem geactiveerd en zal deze ervoor zorgen dat de rook binnen de grenzen van de brandruimte (maar buiten de gecreëerde evacuatiweg) blijft. Deze (nieuwe) rookvrije evacuatiweg dient te voldoen aan de algemeen geldende eisen van toepassing op evacuatiwegen.

De ontwerpparameters voor het residentieel rookbeheersingssysteem waarbij het brandscherm stopt op een maximale hoogte van 1 m boven de grond, zijn weergegeven in § 5.3.5. Bij deze toepassing van het rookbeheersingssysteem is er steeds een minimale snelheid onder de opening van het brandscherm noodzakelijk om de gecreëerde evacuatiweg rookvrij te houden. Bovendien is het belangrijk dat de afstand van de toevoeropeningen tot de opening onder het brandscherm groot genoeg is en/of dat de snelheid door de toevoeropeningen beperkt is, teneinde geen terugstroom (van rook) te hebben van de brandruimte naar de gecreëerde evacuatiweg.

De ontwerpparameters voor het residentieel rookbeheersingssysteem waarbij het brandscherm volledig naar beneden gaat, zijn weergegeven in § 5.2.6. Bij deze toepassing van het rookbeheersingssysteem dient er wel een maatregel genomen te worden teneinde een mogelijke rookverspreiding naar de gecreëerde evacuatiweg (afkomstig van de beginnende brand en in de evacuatiweg aanwezig vóór de activatie van het brandscherm) te verhinderen (zie ook § 4.3.7).

Met uitzondering van de hierboven weergegeven ontwerpparameters, wordt het residentieel rookbeheersingssysteem opgebouwd volgens de van toepassing zijnde normen voor RWA-systemen beschreven in § 2.6.1 waarbij de openingen van een ventilatiesysteem eventueel passief kunnen aangewend worden als toevoeropening van het rookbeheersingssysteem.

Gezien het zeer innovatieve karakter van dit rookbeheersingssysteem is het echter aangeraden om een document op te stellen die een goed ontwerp en keuring van het systeem toelaat.

6.4 VERHINDEREN VAN ROOKVERSPREIDING (EN VERSPREIDING VAN ANDERE TOXISCHE GASSEN) NAAR AANLIGGENDE COMPARTIMENTEN

De grootschalige brandproeven hebben aangetoond dat rookverspreiding (en verspreiding van andere toxische gassen) naar aanliggende compartimenten kan verhinderd worden indien gebruik gemaakt wordt van een residentieel rookbeheersingssysteem.

Deze toepassing van het rookbeheersingssysteem kan aldus aangewend worden indien een Defend in Place tot de evacuatiestrategie behoort.

Om dergelijke rookverspreiding te verhinderen, wordt een onderdruk in de brandruimte gerealiseerd en kan de bewoner in een rookvrije (aanliggende) omgeving op de (uitgestelde) evacuatie wachten. 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 (laag) 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 residentieel rookbeheersingssysteem zijn weergegeven in § 5.2.6.

Op basis van de bijkomende CFD-simulaties is vastgesteld dat het drukverschil in de brandruimte niet alleen beïnvloed wordt door de openingen (in de brandruimte) en het extractiedebiet, maar ook door de luchttemperatuur in de afvoeropeningen.

De eerste twee parameters (i.e. openingen en extractiedebiet) hebben vooral een invloed op de maximaal te realiseren onderdruk in die brandruimte (= startdrukverschil), terwijl de luchttemperatuur in de afvoeropening een grote invloed heeft op het drukverschil (= een minimale onderdruk of eventueel zelf een overdruk) in de brandruimte.

Tot slot is het belangrijk om een minimale opening in de brandruimte te hebben teneinde de drukopbouw ten gevolge van de brandhaard te neutraliseren.

Met uitzondering van de hierboven weergegeven ontwerpparameters, wordt het residentieel rookbeheersingssysteem opgebouwd volgens de van toepassing zijnde normen voor RWA-systemen beschreven in § 2.6.1 waarbij de openingen van een ventilatiesysteem eventueel passief kunnen aangewend worden als toevoeropening van het rookbeheersingssysteem.

Gezien het zeer innovatieve karakter van dit rookbeheersingssysteem is het echter aangeraden om een document op te stellen die een goed ontwerp en keuring van het systeem toelaat.

6.5 ROOKVRIJ MAKEN VAN DE BRANDRUIMTE

Enkel indien de snelheden ter plaatse van de toevoeropeningen van een rookbeheersingssysteem klein zijn, is het mogelijk om een duidelijke scheiding tussen een uniforme rooklaag en de onderliggende omgevingslucht (= minimale rookvrije hoogte) te realiseren in geval van een smeulende brand of een brandhaard met een klein brandvermogen. Er dient wel rekening mee gehouden te worden dat de rooklaag steeds een minimale dikte van ca. 1 m zal hebben.

In de situatie waarbij de snelheden ter plaatse van de toevoeropeningen te groot zijn, kan er echter geen duidelijke rooklaag gecreëerd worden. Een rookbeheersingssysteem kan in dit geval dus niet zorgen voor een rookvrije evacuatiweg.

Indien de brand volledig geblust is, kan door het opleggen van een bepaald verversingsdebiet bekomen worden dat een ruimte snel rookvrij kan gemaakt worden.

Indien de brand niet volledig geblust is en er dus nog een (geringe) rookproductie plaatsvindt, kan een residentieel rookbeheersingssysteem er voor zorgen dat enerzijds de brandruimte (= evacuatiweg) in onderdruk geplaatst wordt (zie ook § 2.4) zodat de actie van de brandweer tijdens hun interventie – in geval van een (zeer) luchtdichte brandruimte - geen verdere rookverspreiding zal veroorzaken (zie verder in § 2.5.3), maar ook anderzijds dat de zichtbaarheid in de brandruimte verbeterd wordt zodat de brandweer de brand volledig kan blussen.

Indien een Defend in Place tot de evacuatiestrategie behoort, is de interventie van de brandweer essentieel in het bekomen van een succesvolle evacuatie. Bovenvermelde toepassing van het residentieel rookbeheersingssysteem kan een belangrijk hulpmiddel zijn voor de brandweer tijdens hun interventie indien de evacuatiweg rookvrij dient gemaakt te worden.

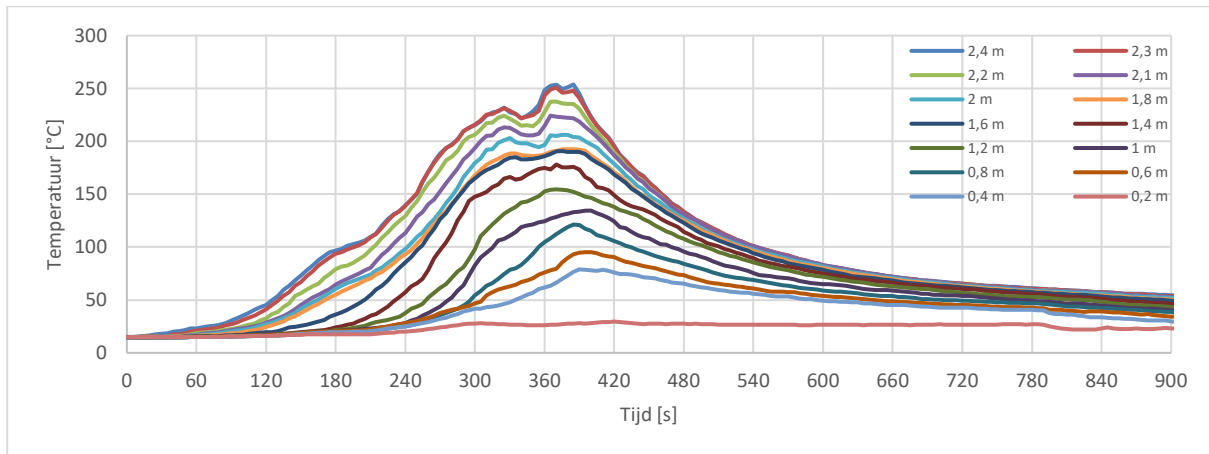
7 BRONNEN

- [1] „https://www.departementwvg.be/sites/default/files/media/documenten/VIPA_Brandveiligheid_in_ouderenvoorzieningen.pdf,” [Online].
- [2] „VIPA/2014/BVO - Brandveiligheid in ouderenvoorzieningen: Onderzoek naar de doelmatigheid van alternatieve brandveiligheidsmaatregelen in nieuwe zorgconcepten,” 2014.
- [3] Steunpunt Welzijn, Volksgezondheid en Gezin, *Analyse van experimenten en numerieke simulaties van brandproeven voor de ontwikkeling van een beoordelingskader voor brandveiligheid in zorggebouwen*, 2021.
- [4] Instituut Fysieke Veiligheid (IFV), *Rookverspreiding in woongebouwen. Hoofdrapport van de praktijkexperimenten in een woongebouw met inpandige gangen*, 16 september 2020.
- [5] Björn Karlsson & James G. Quintière, *Enclosure Fire Dynamics*, 2000.
- [6] O. Hasaniah & L. Viney, *Smoke Models For Buildings*, 2018.

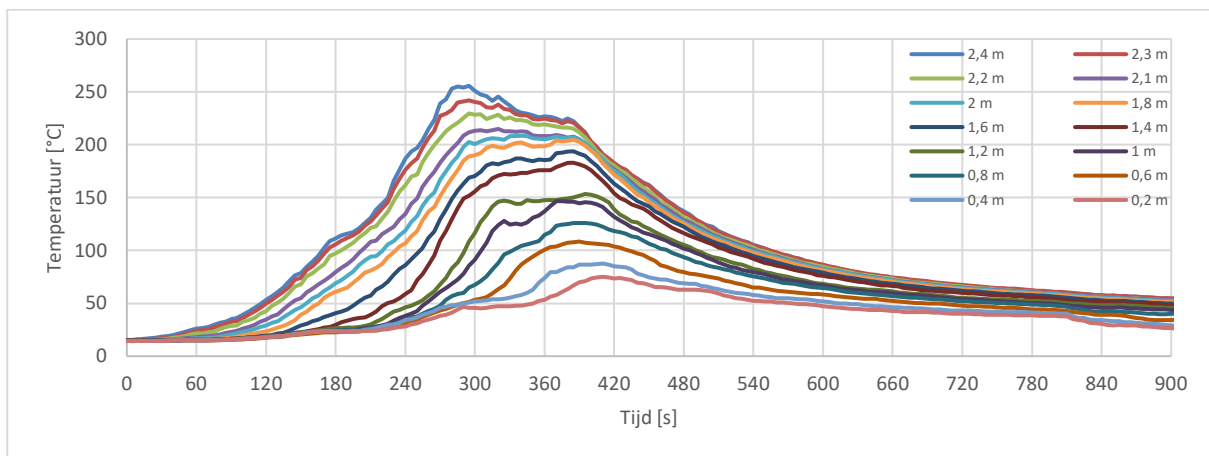
8 BIJLAGEN (METINGEN TIJDENS DE GROOTSCHALIGE BRANDPROEVEN)

8.1 PROEF 1: "NULPROEF"

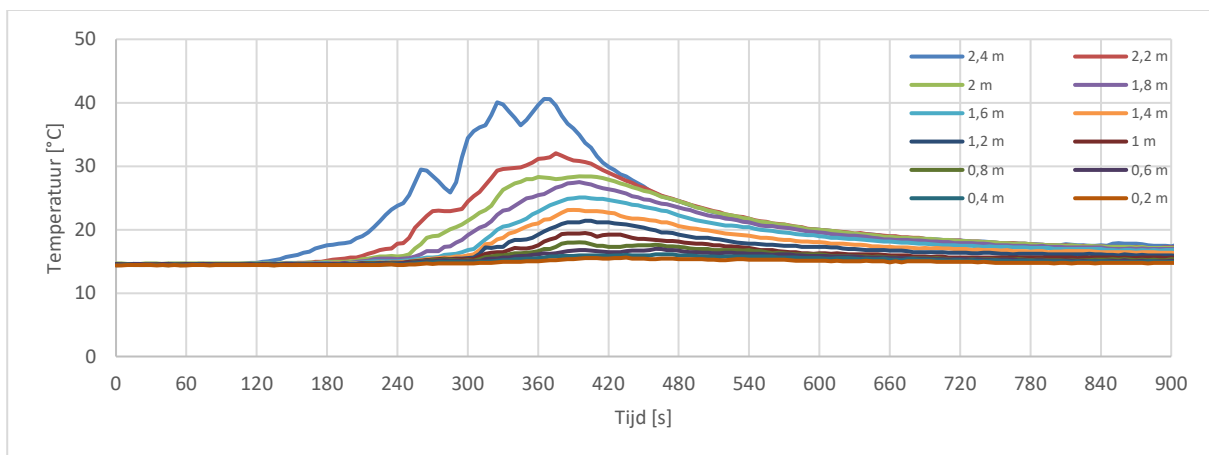
De resultaten van de metingen (temperatuur, CO en druk) zijn hieronder weergegeven:



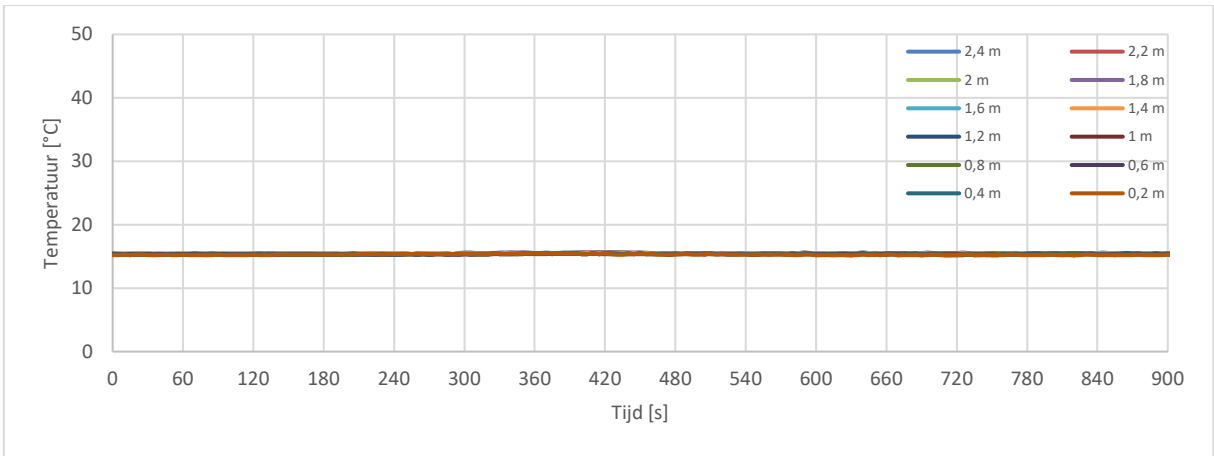
Temperaturen gemeten in de gemeenschappelijke ruimte (verder weg van de brandhaard)



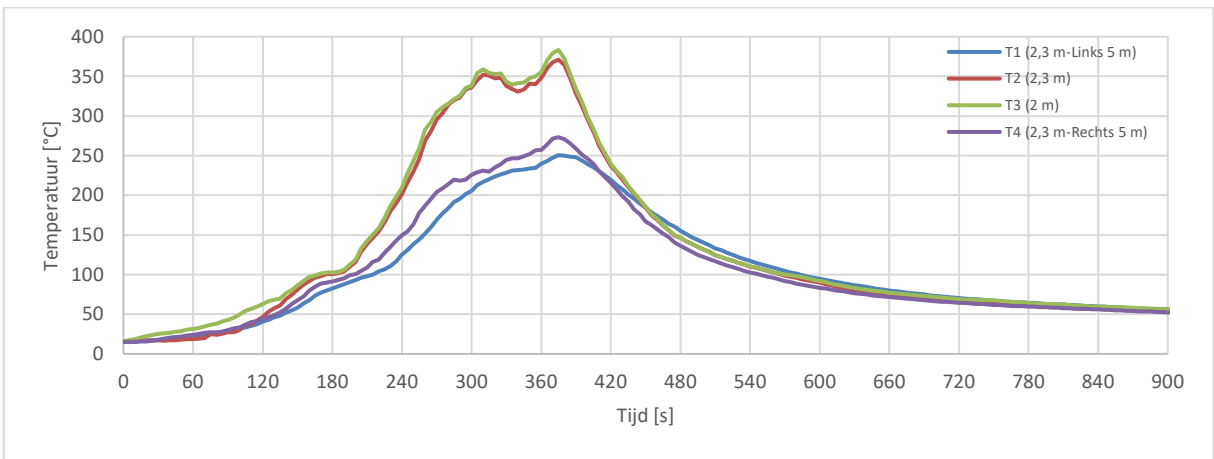
Temperaturen gemeten in de gemeenschappelijke ruimte (dichter bij de brandhaard)



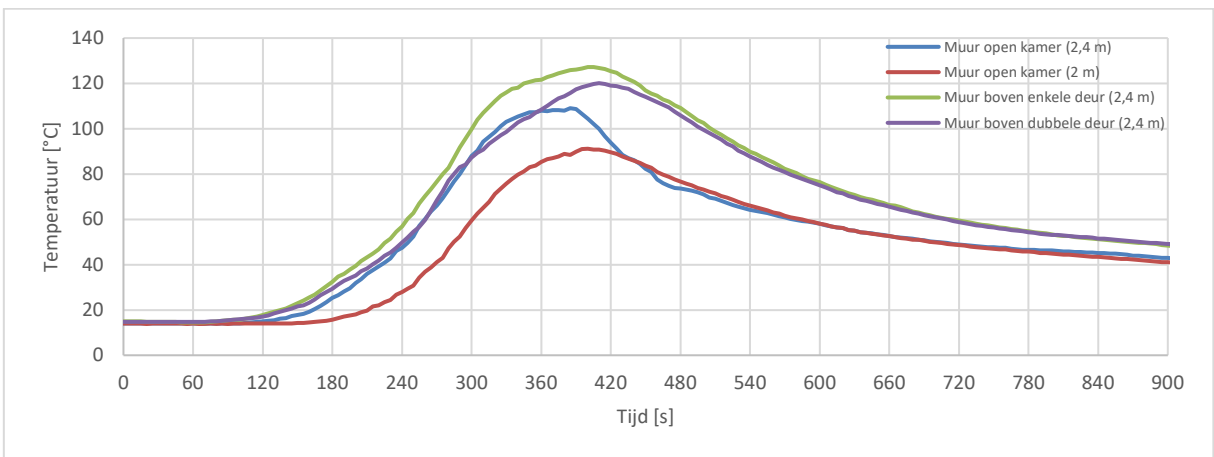
Temperaturen gemeten in de kamer voorzien van een brandwerende deur



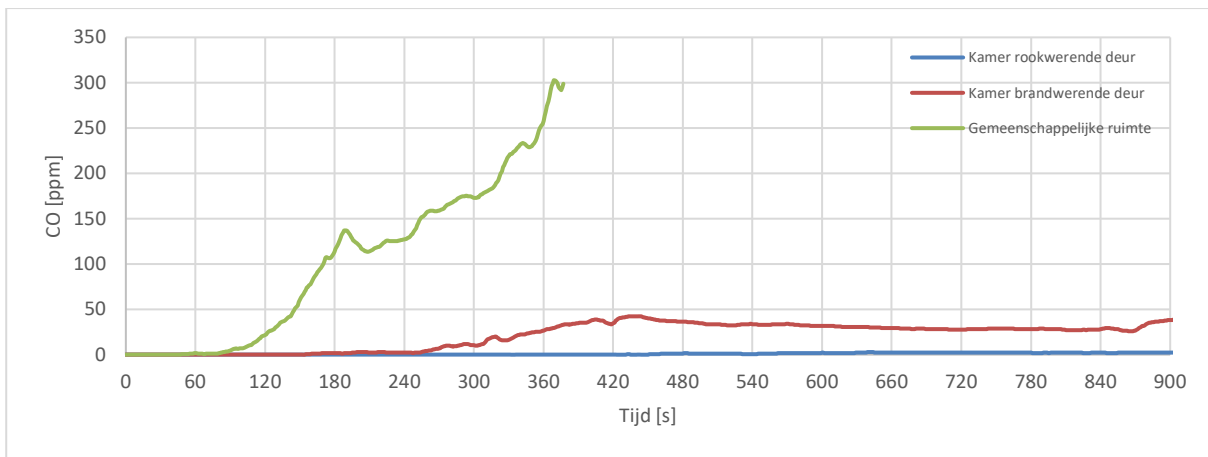
Temperaturen gemeten in de kamer voorzien van een rookwerende deur



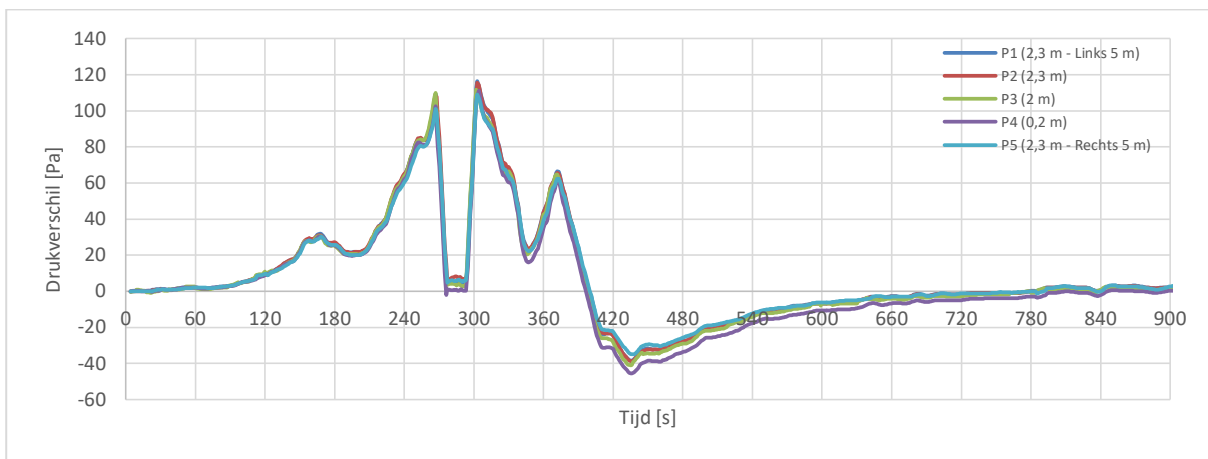
Temperaturen gemeten aan de muur recht tegenover de brandhaard



Temperaturen gemeten op verschillende locaties in de brandruimte



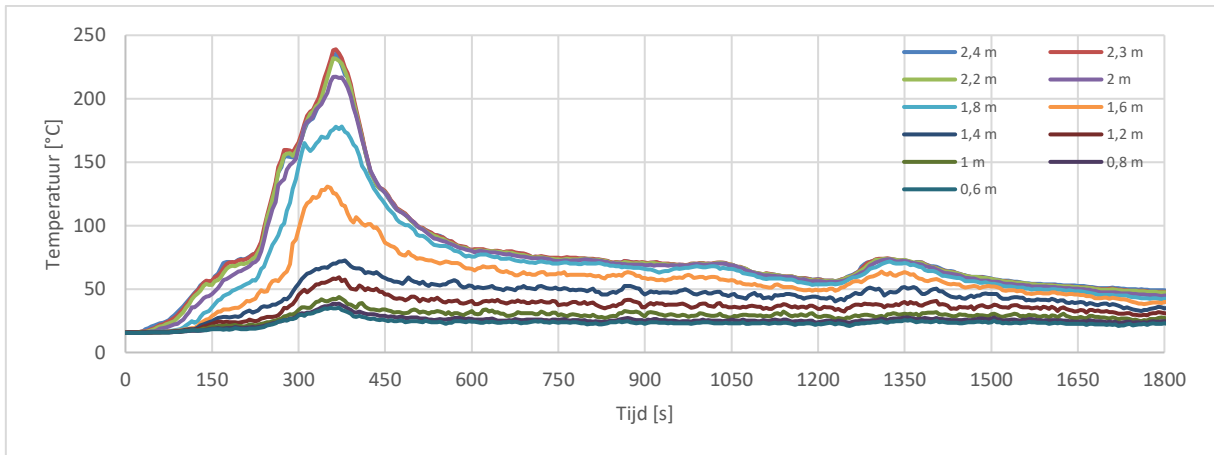
CO-gehalte in de kamers en de gemeenschappelijke ruimte (bovengrens meting: 500 ppm)



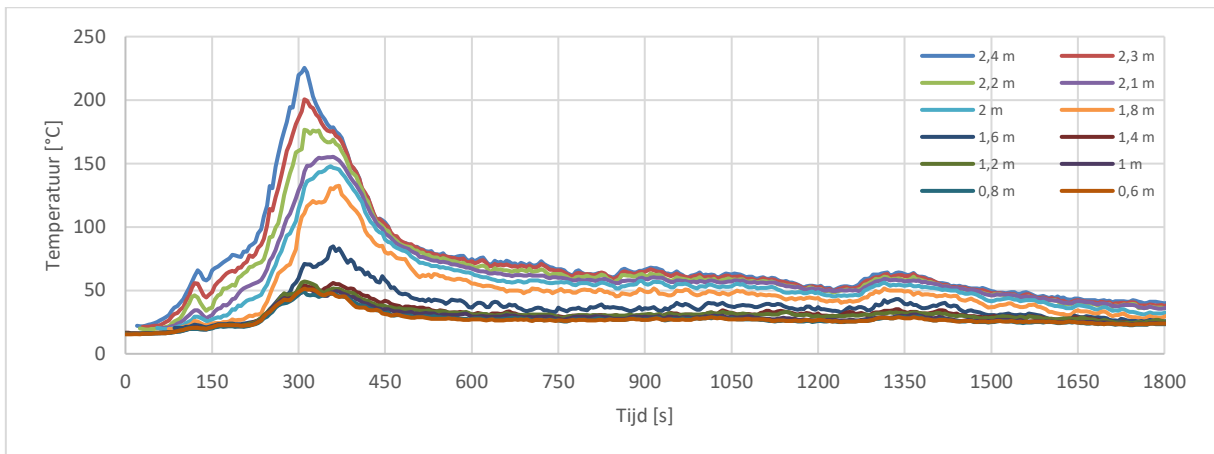
Drukverschil in de gemeenschappelijke ruimte

8.2 PROEF 2: TOEPASSING VAN EEN BRANDSCHERM (TOT 0,9 M BOVEN DE GROND)

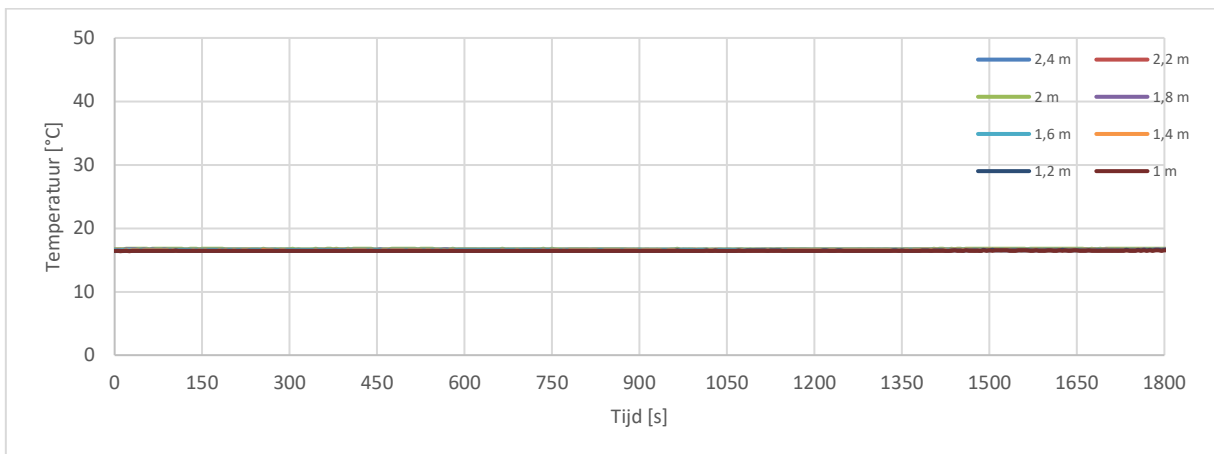
De resultaten van de metingen (temperatuur, CO en druk) zijn hieronder weergegeven:



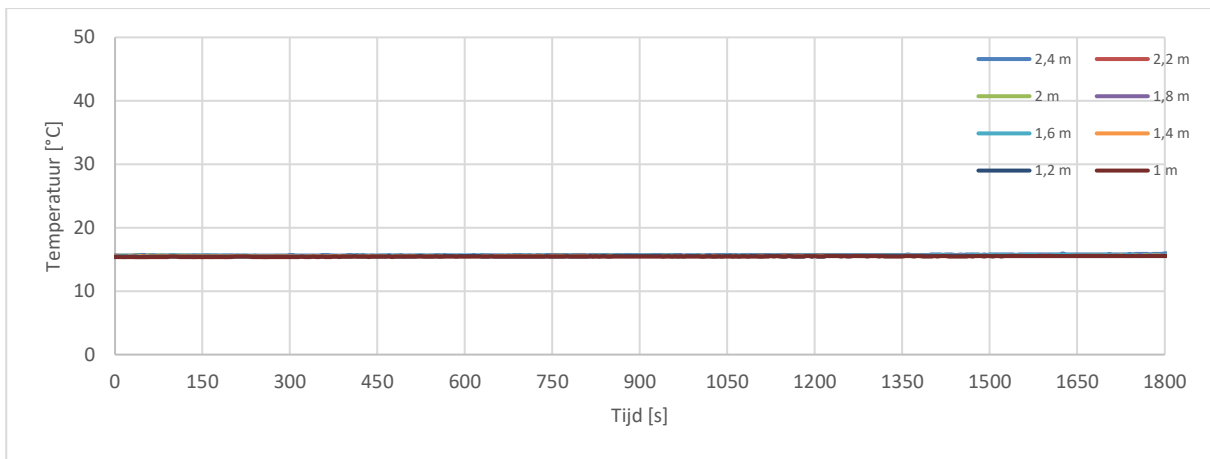
Temperaturen gemeten in de gemeenschappelijke ruimte (verder weg van de afvoeropeningen)



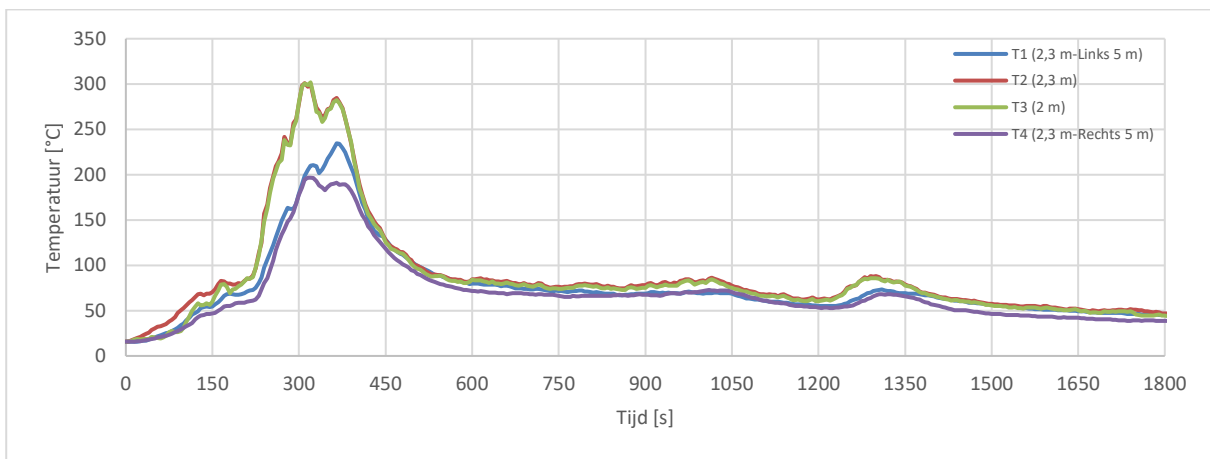
Temperaturen gemeten in de gemeenschappelijke ruimte (dichter bij de afvoeropeningen)



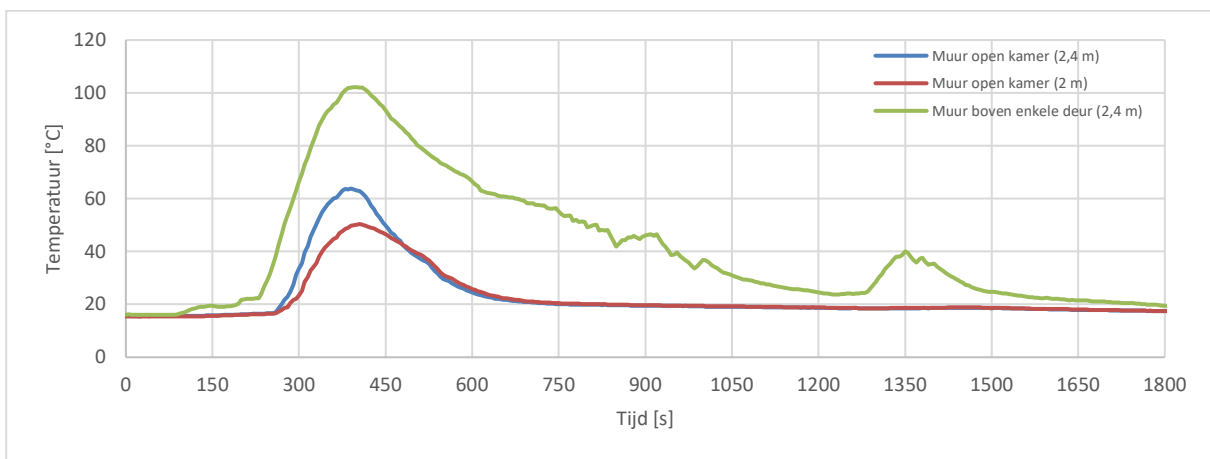
Temperaturen gemeten in de kamer voorzien van een brandwerende deur



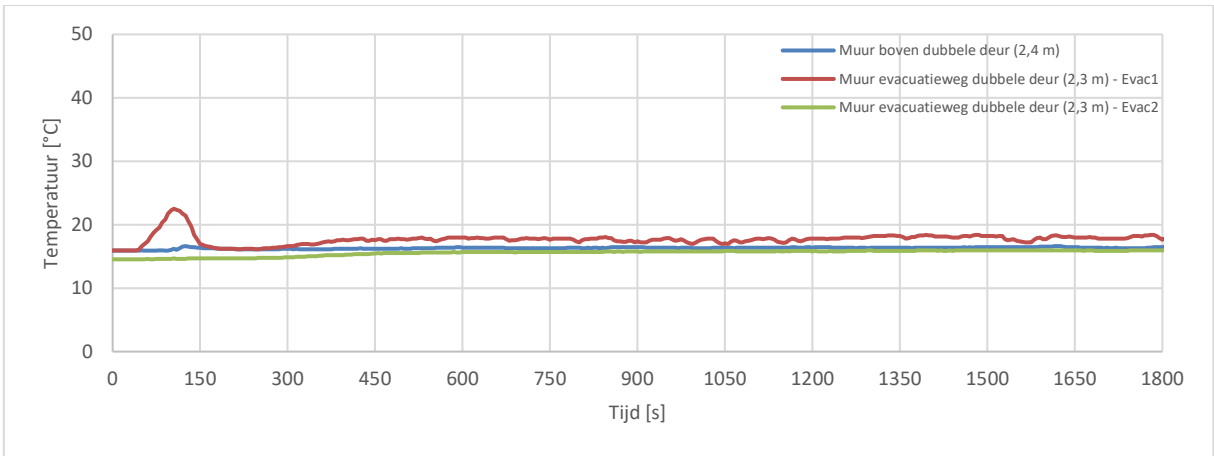
Temperaturen gemeten in de kamer voorzien van een rookwerende deur



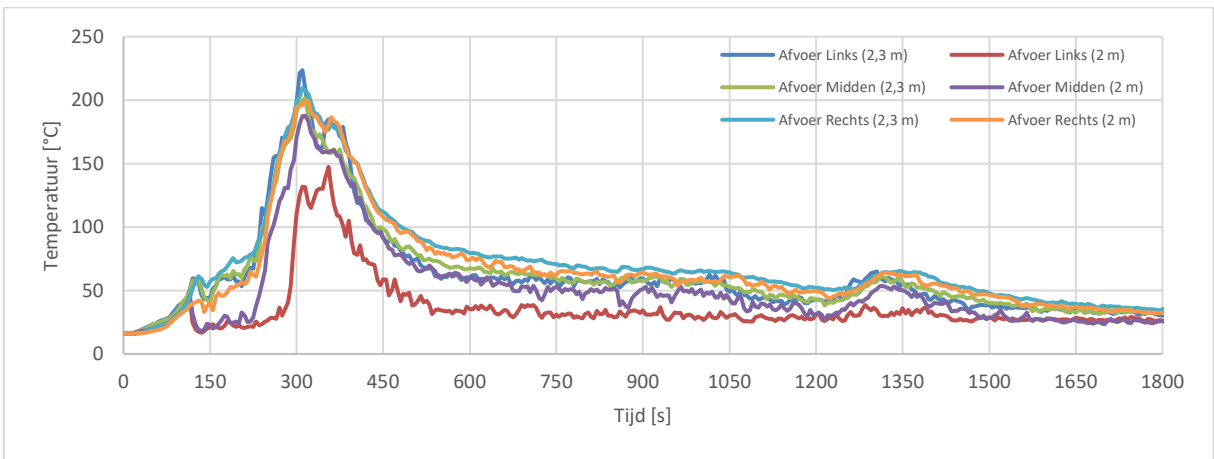
Temperaturen gemeten aan de muur recht tegenover de brandhaard



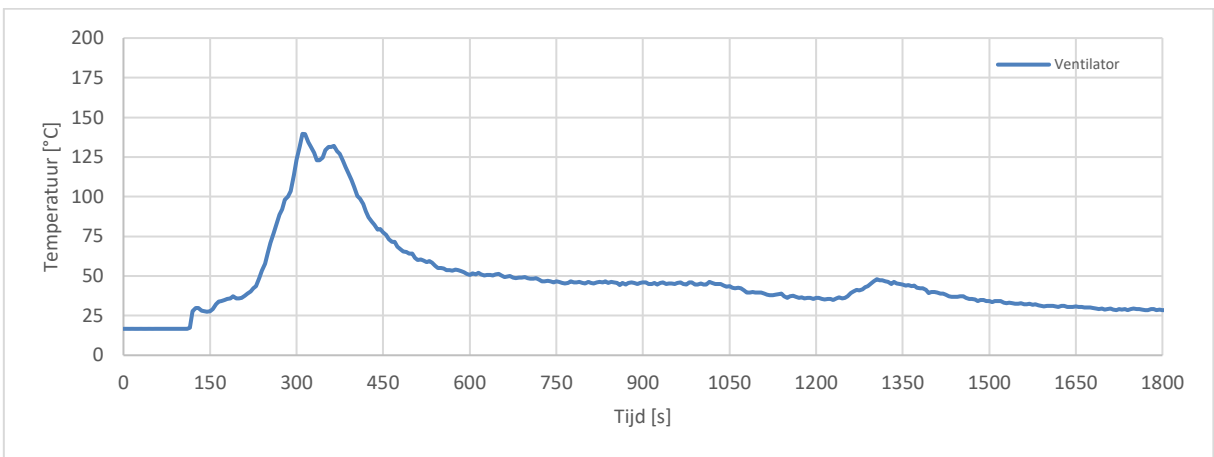
Temperaturen gemeten op verschillende locaties in de brandruimte



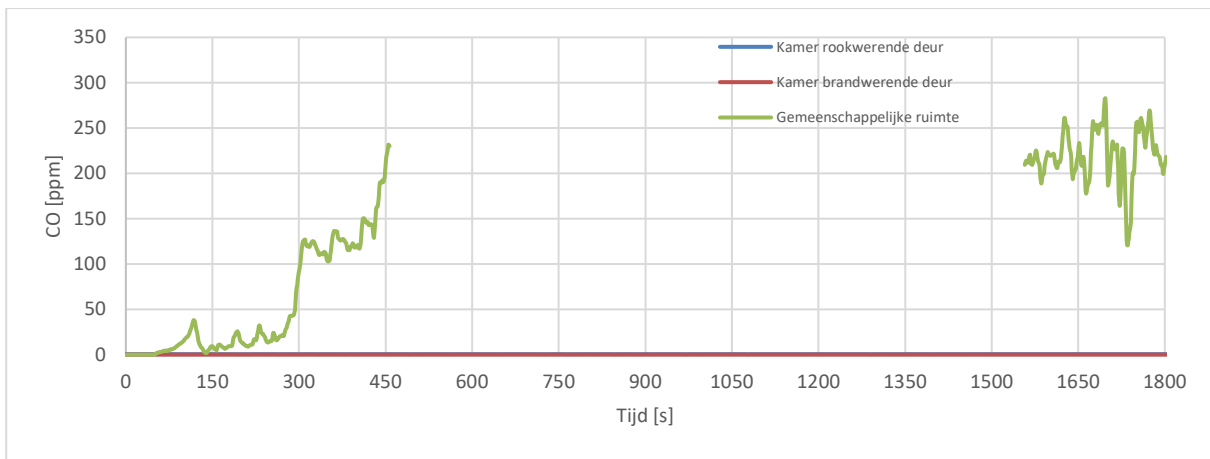
Temperaturen gemeten op verschillende locaties in de brandruimte



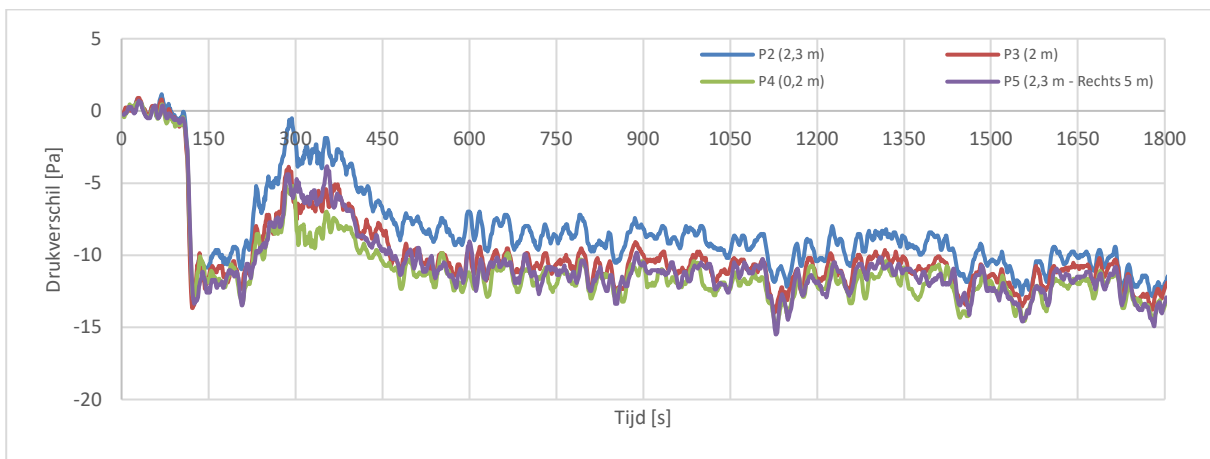
Temperaturen gemeten in de afvoeropeningen van het rookbeheersingssysteem



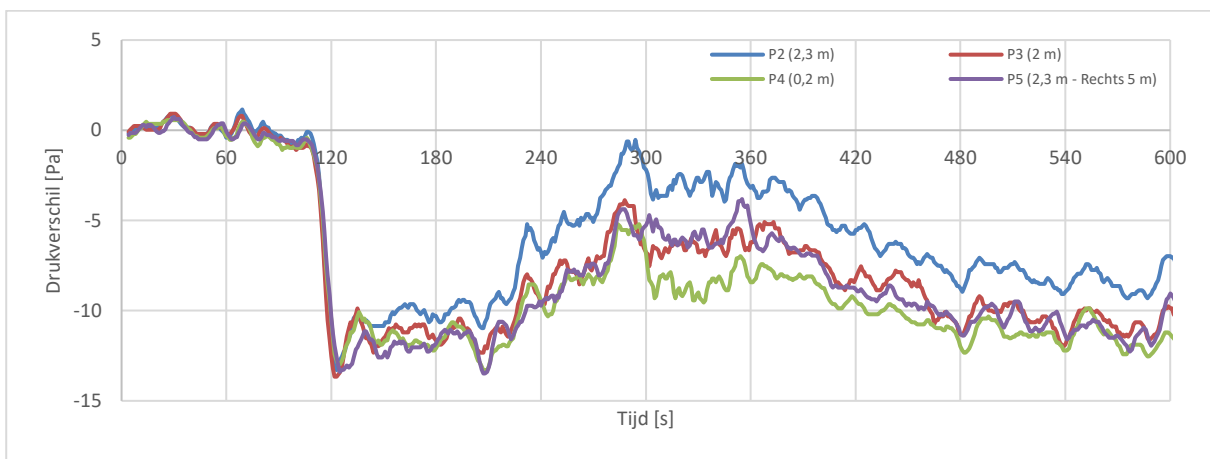
Temperaturen gemeten in het kanaal van het rookbeheersingssysteem



CO-gehalte in de kamers en de gemeenschappelijke ruimte (bovengrens meting: 500 ppm)



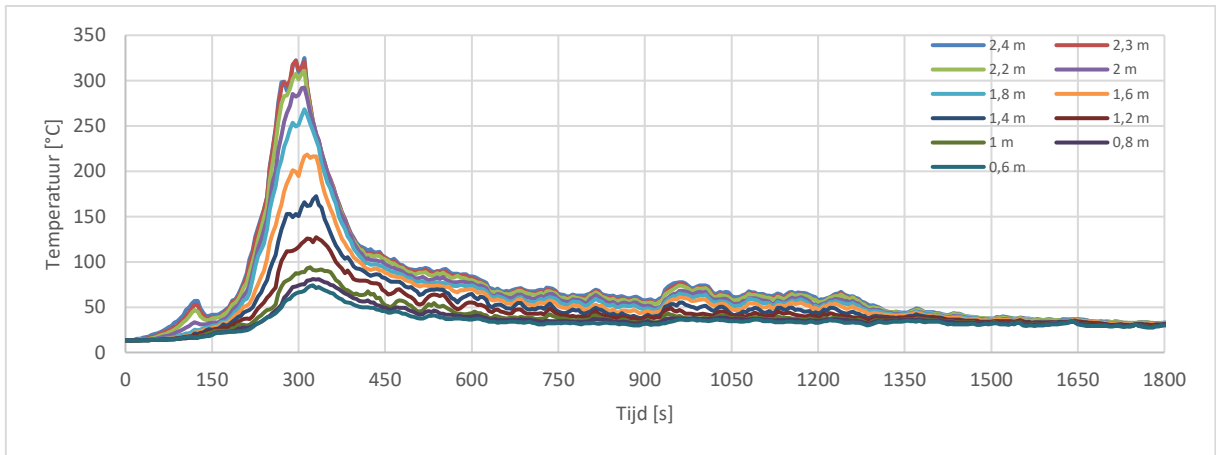
Drukverschil in de gemeenschappelijke ruimte



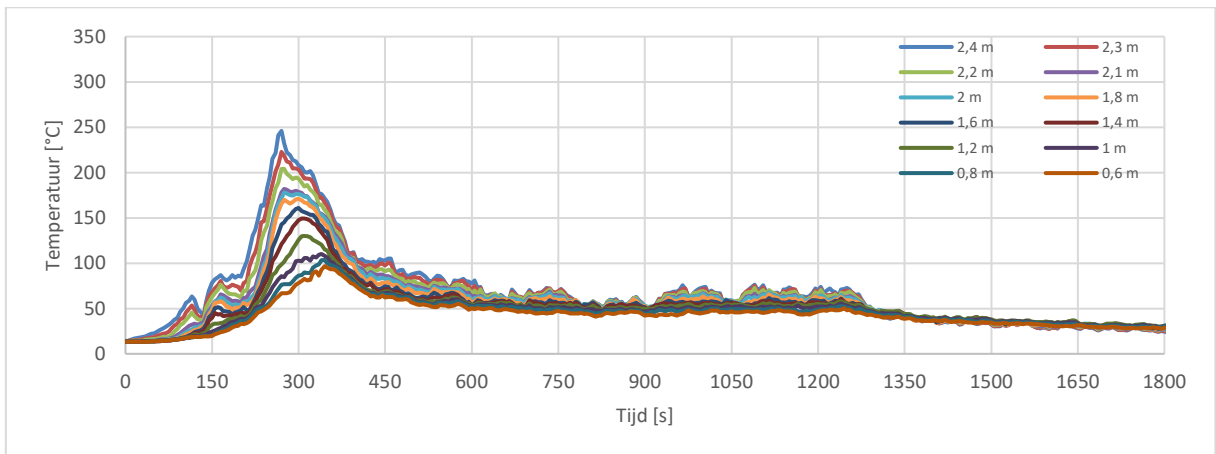
Drukverschil in de gemeenschappelijke ruimte (eerste 10 minuten)

8.3 PROEF 3: TOEPASSING VAN EEN BRANDSCHERM (VOLLEDIG NAAR BENEDEN)

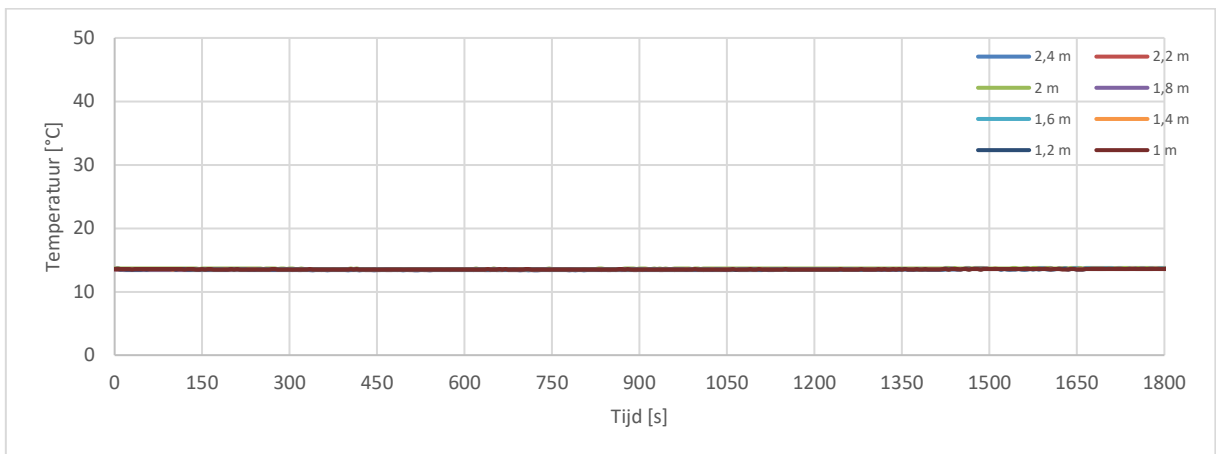
De resultaten van de metingen (temperatuur, CO en druk) zijn hieronder weergegeven:



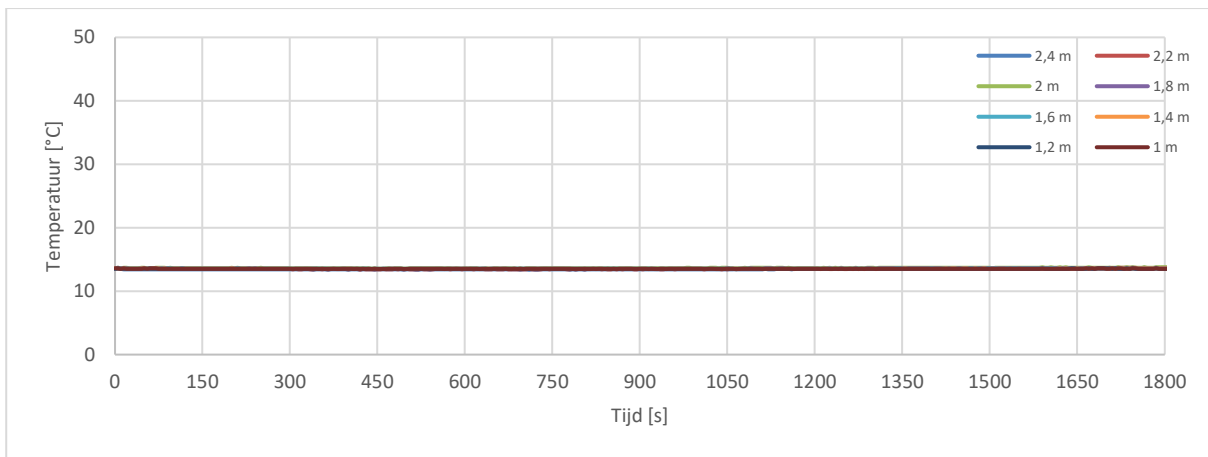
Temperaturen gemeten in de gemeenschappelijke ruimte (verder weg van de afvoeropeningen)



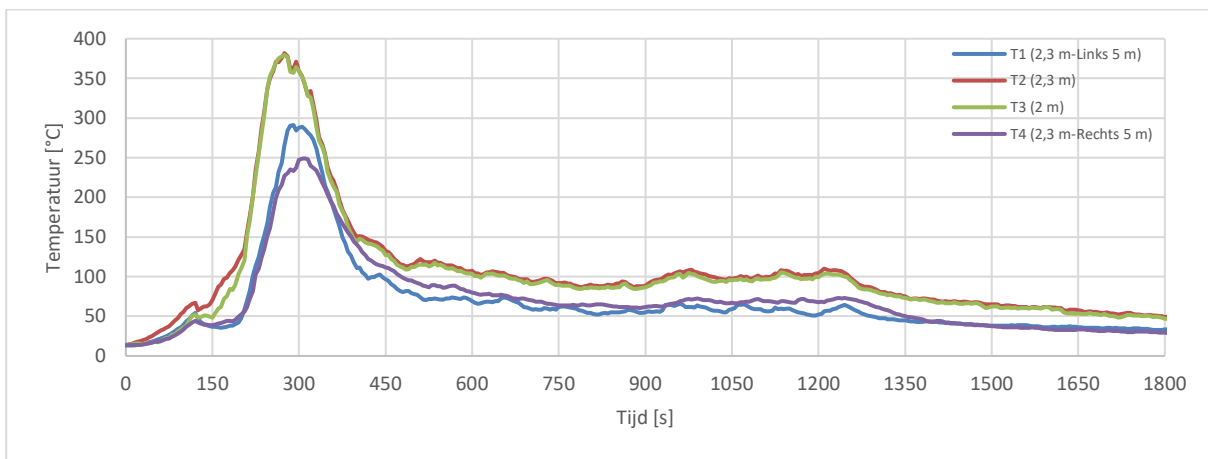
Temperaturen gemeten in de gemeenschappelijke ruimte (dichter bij de afvoeropeningen)



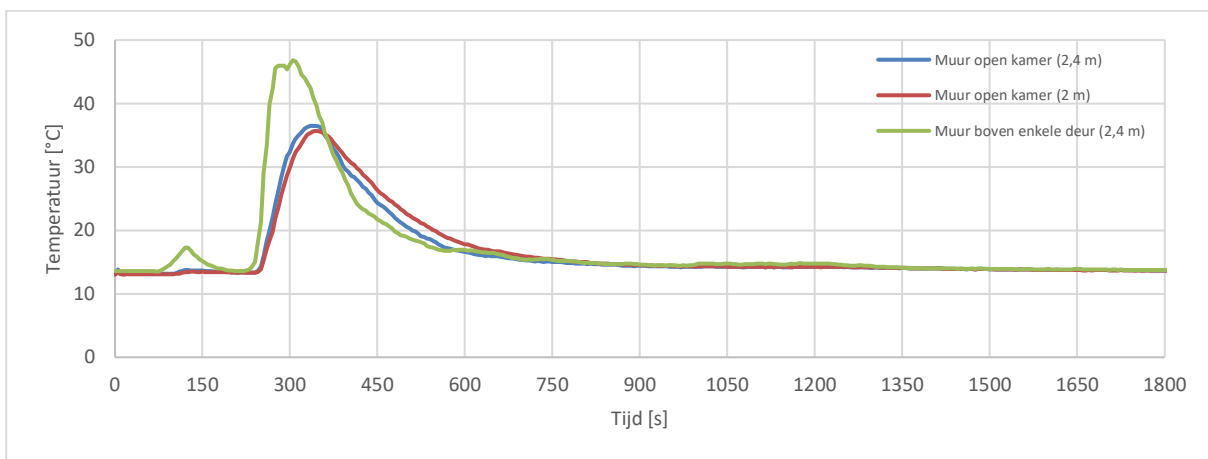
Temperaturen gemeten in de kamer voorzien van een brandwerende deur



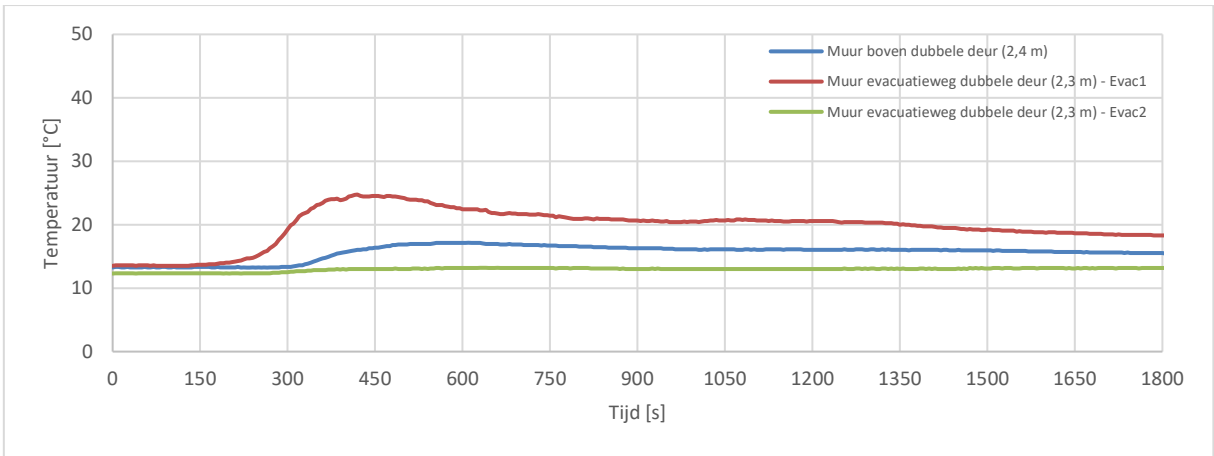
Temperaturen gemeten in de kamer voorzien van een rookwerende deur



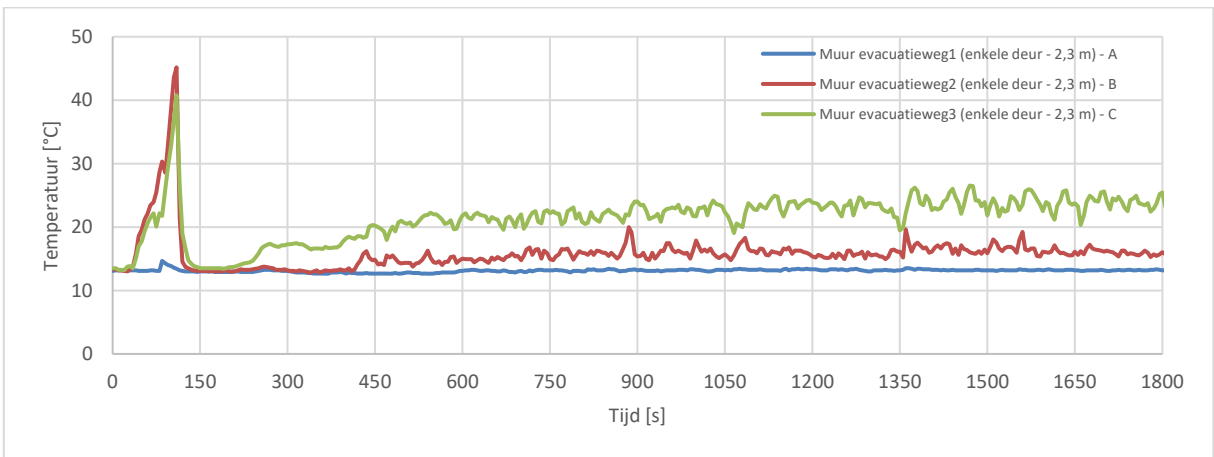
Temperaturen gemeten aan de muur recht tegenover de brandhaard



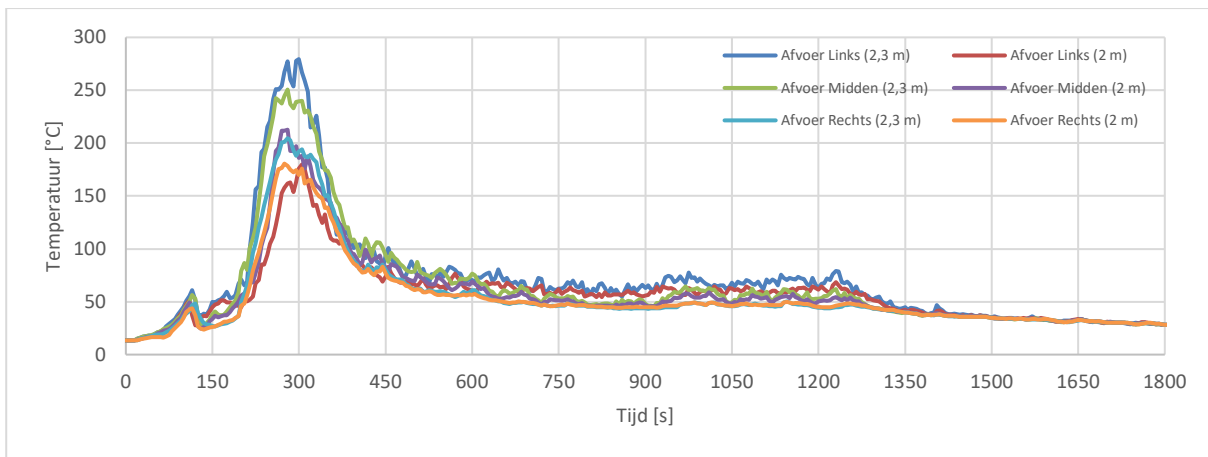
Temperaturen gemeten op verschillende locaties in de brandruimte



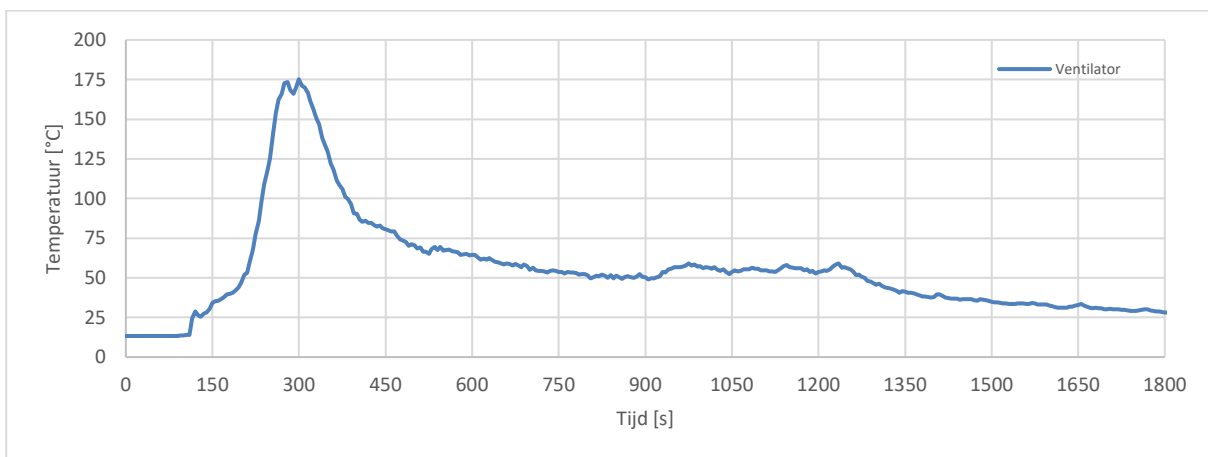
Temperaturen gemeten in de rookvrije evacuatiweg



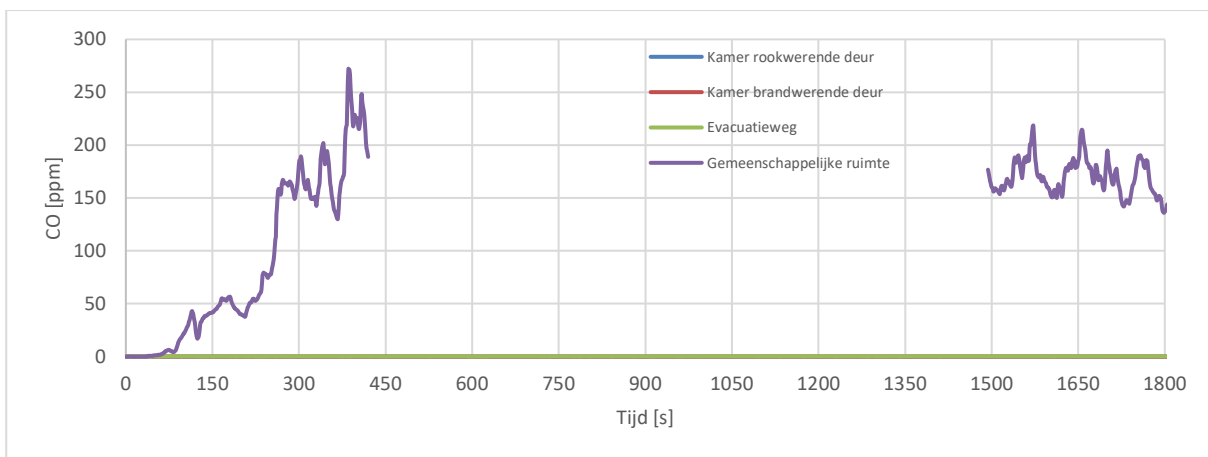
Temperaturen gemeten in de toevoeringen



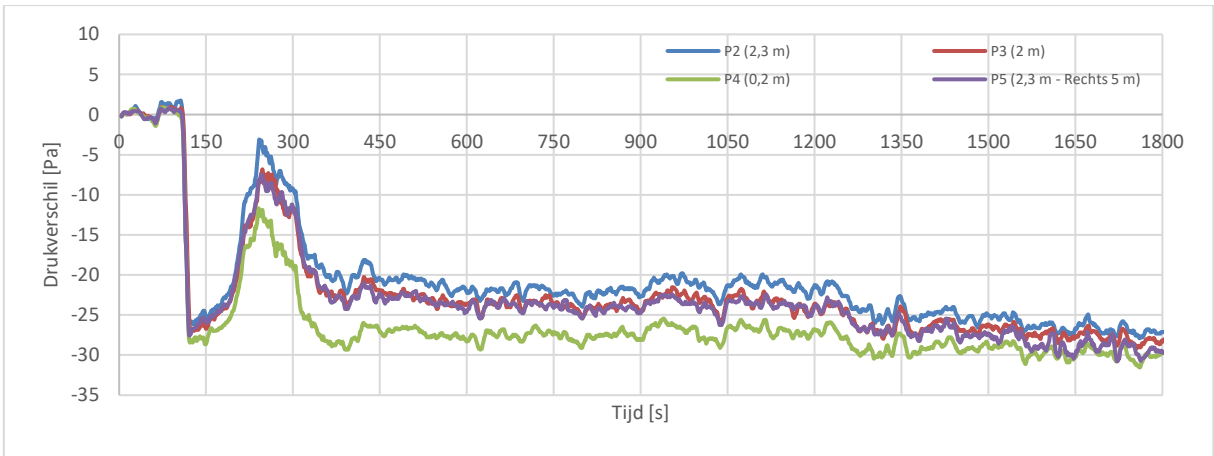
Temperaturen gemeten in de afvoeropeningen van het rookbeheersingssysteem



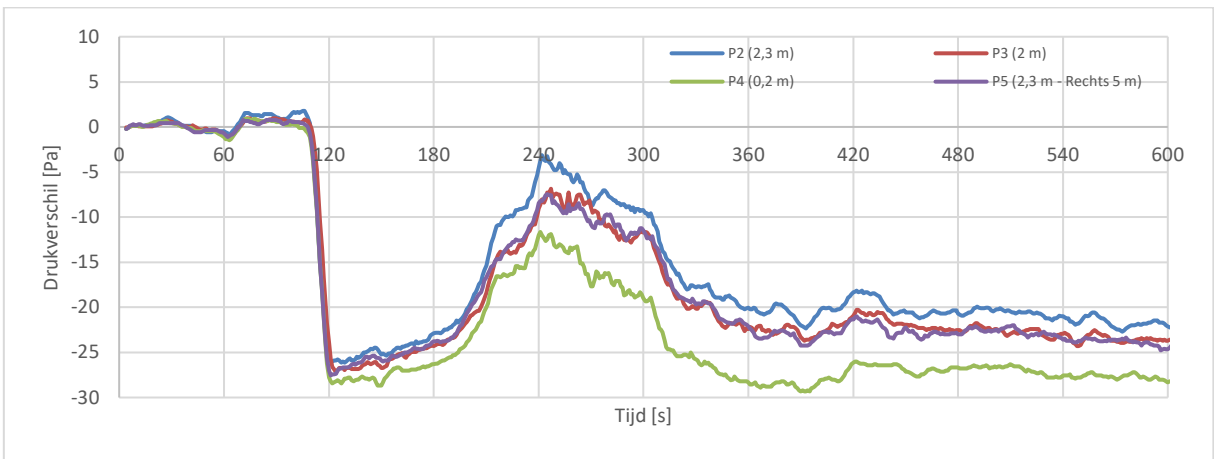
Temperaturen gemeten in het kanaal van het rookbeheersingssysteem



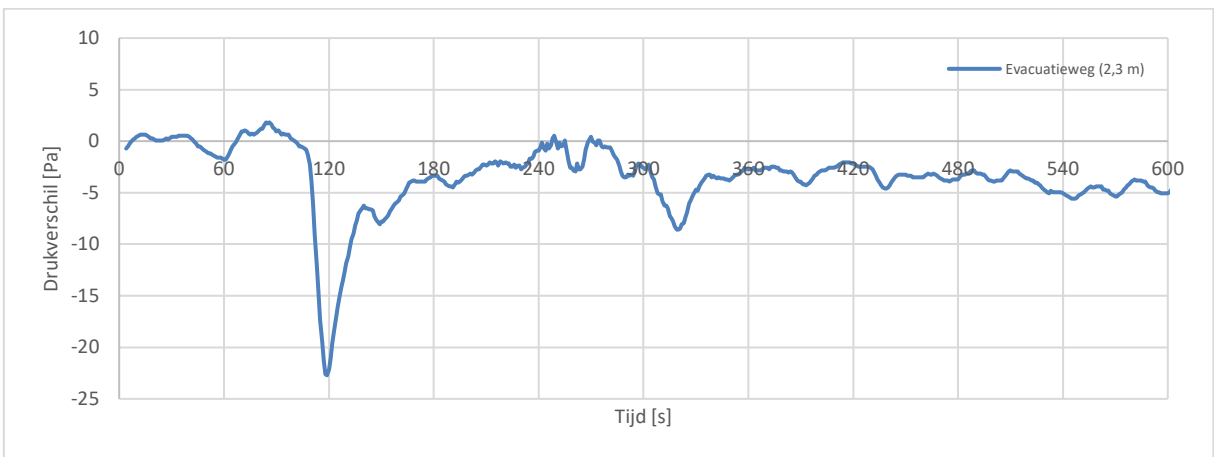
CO-gehalte in de kamers en de gemeenschappelijke ruimte (bovengrens meting: 500 ppm)



Drukverschil in de gemeenschappelijke ruimte



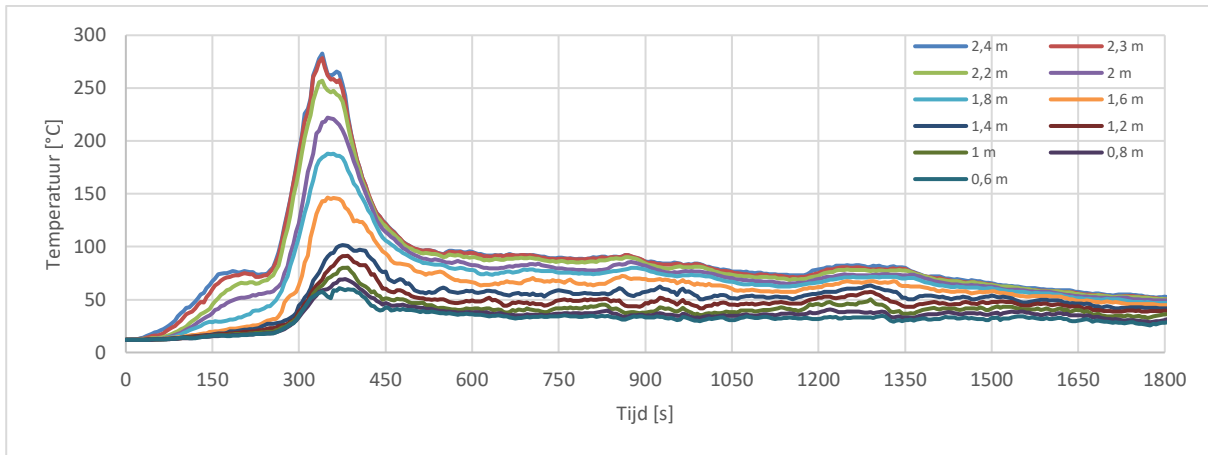
Drukverschil in de gemeenschappelijke ruimte (eerste 10 minuten)



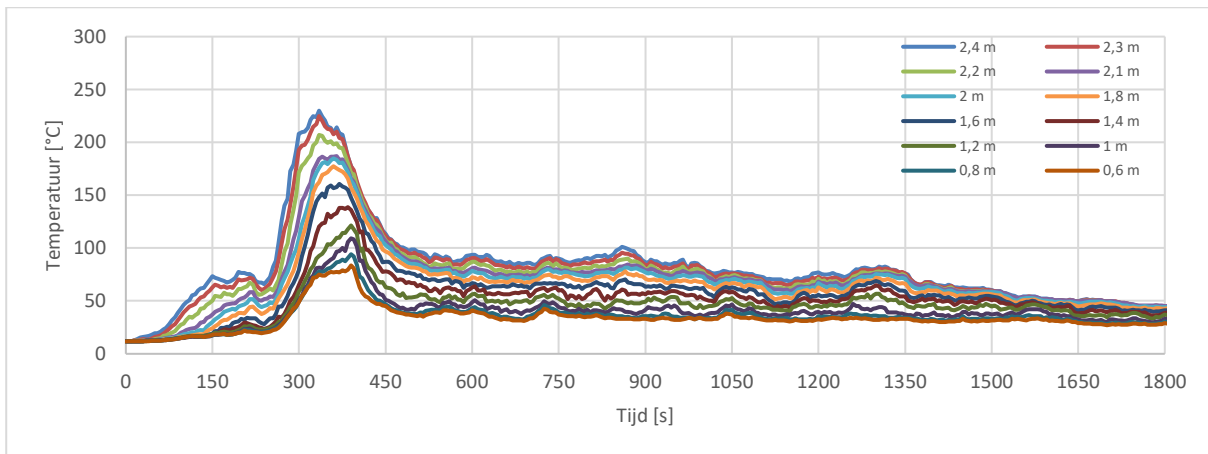
Drukverschil in de evacuatieweg

8.4 PROEF 4: TOEPASSING VAN EEN REGELBAAR ROOKBEHEERSINGSSYSTEEM

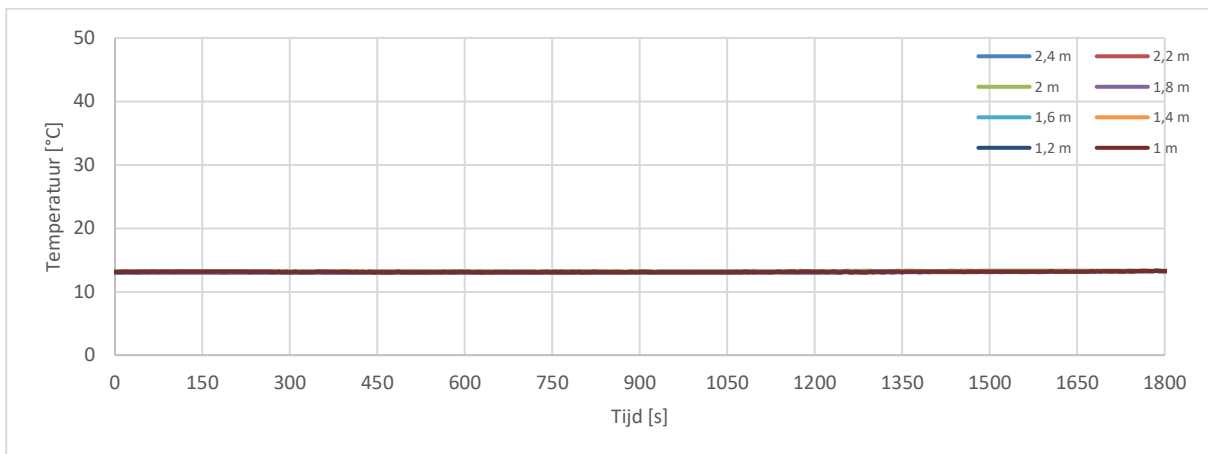
De resultaten van de metingen (temperatuur, CO en druk) zijn hieronder weergegeven:



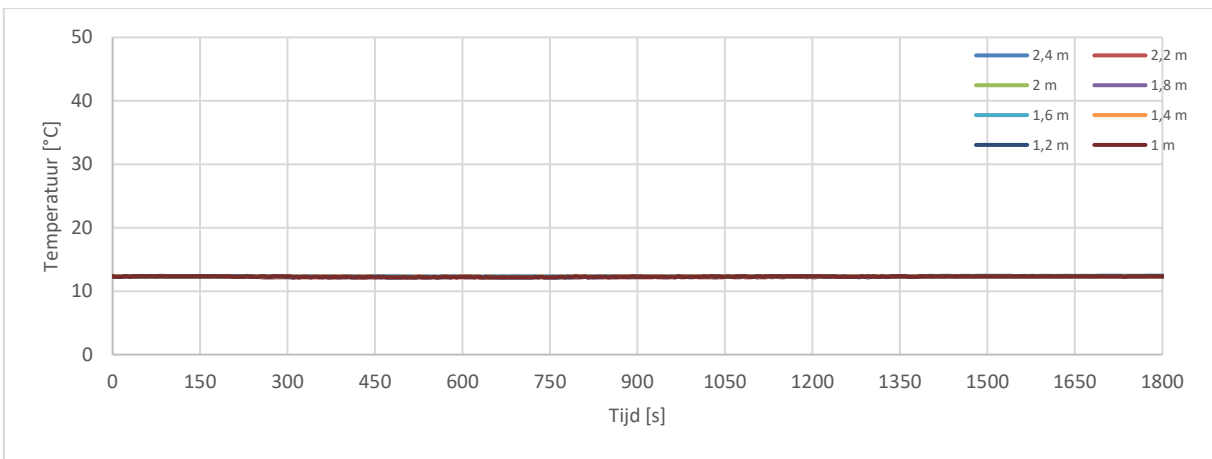
Temperaturen gemeten in de gemeenschappelijke ruimte (verder weg van de afvoeropeningen)



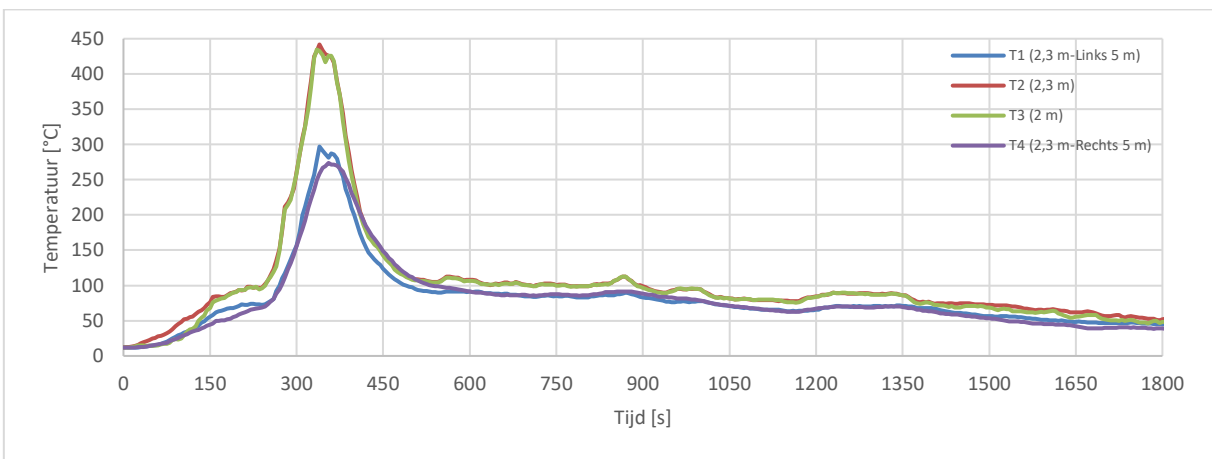
Temperaturen gemeten in de gemeenschappelijke ruimte (dichter bij de afvoeropeningen)



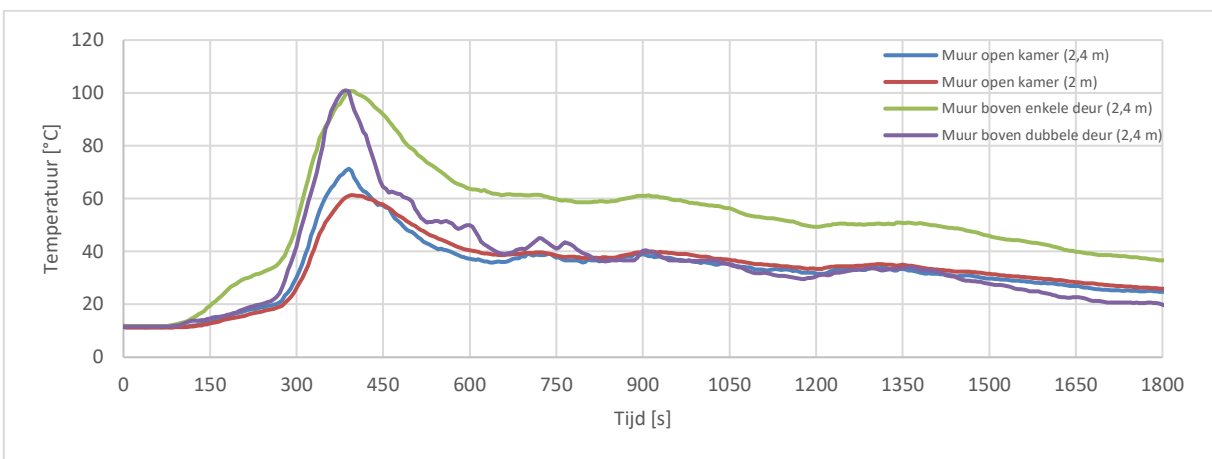
Temperaturen gemeten in de kamer voorzien van een brandwerende deur



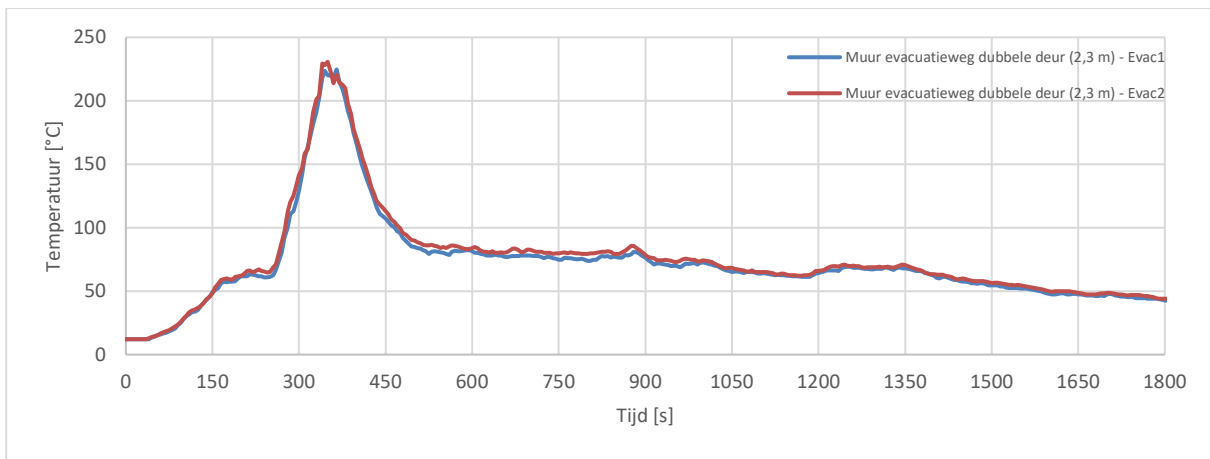
Temperaturen gemeten in de kamer voorzien van een rookwerende deur



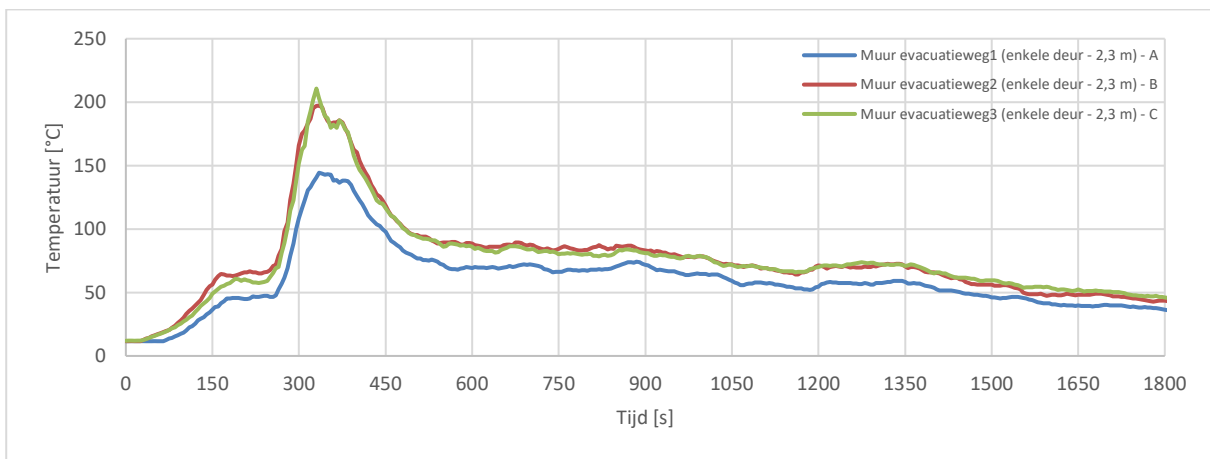
Temperaturen gemeten aan de muur recht tegenover de brandhaard



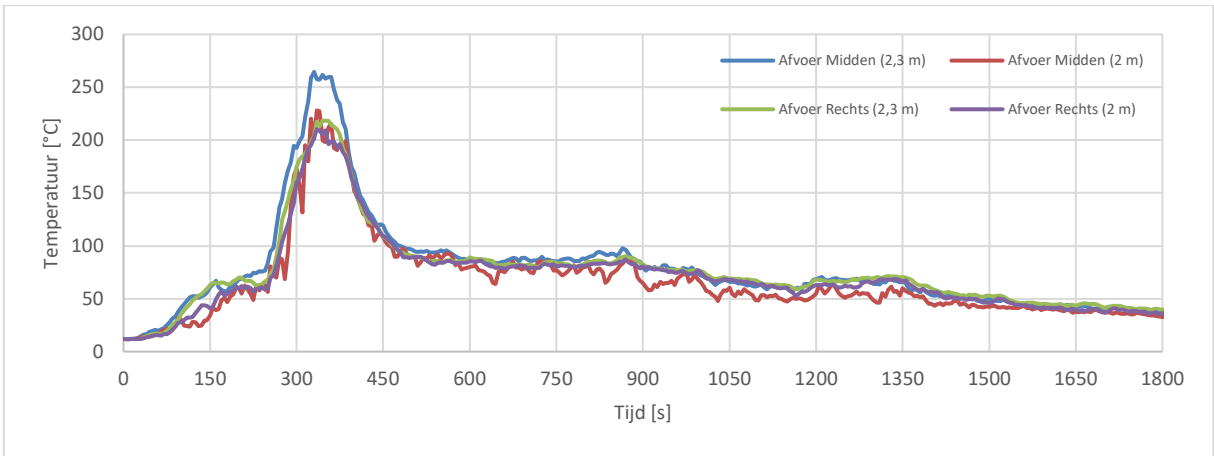
Temperaturen gemeten op verschillende locaties in de brandruimte



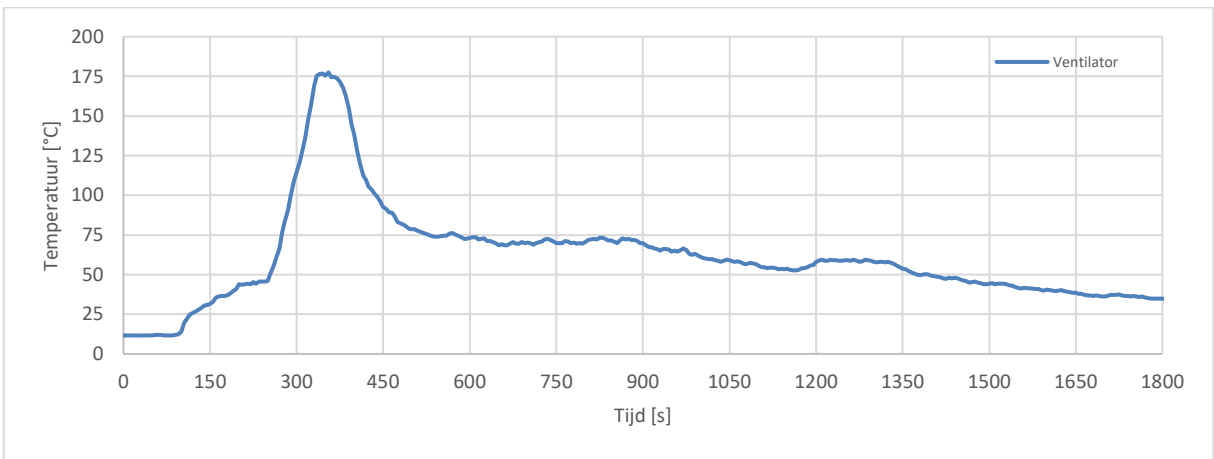
Temperaturen gemeten op verschillende locaties in de brandruimte



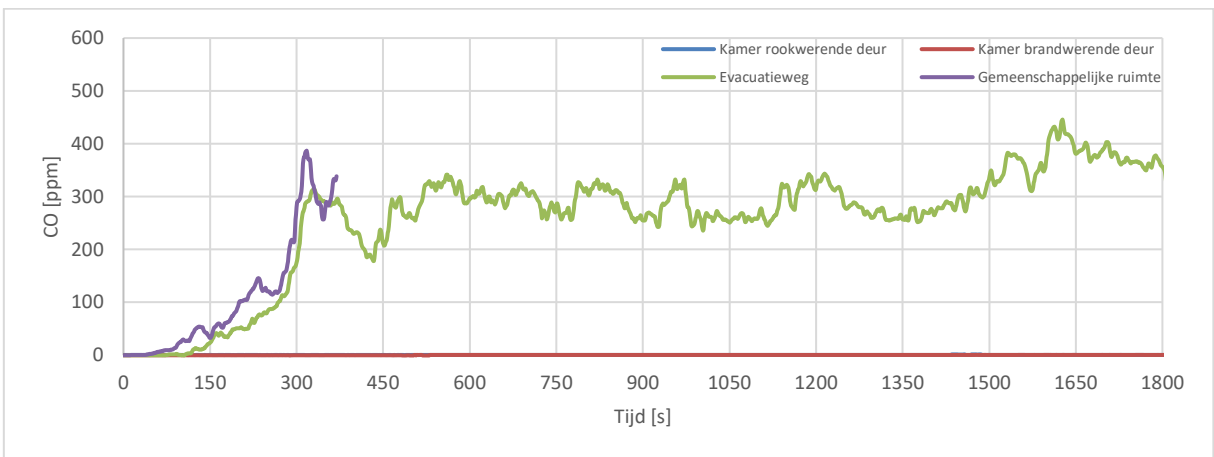
Temperaturen gemeten op verschillende locaties in de brandruimte



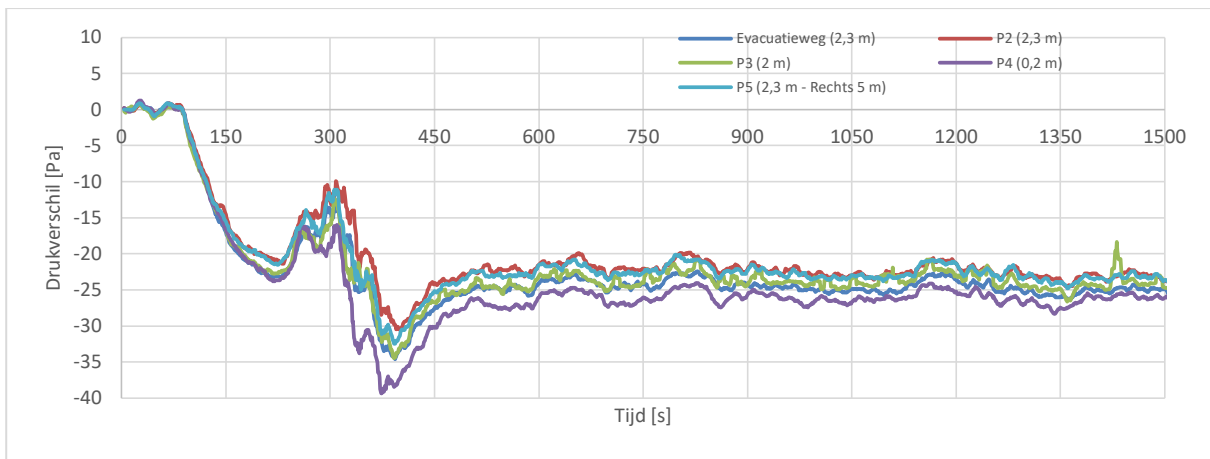
Temperaturen gemeten in de afvoeropeningen van het rookbeheersingssysteem



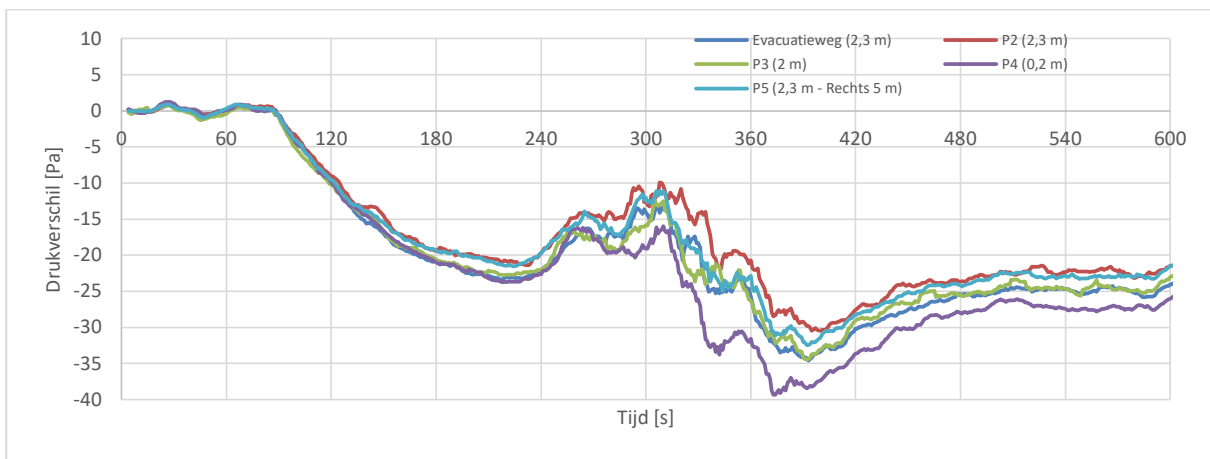
Temperaturen gemeten in het kanaal van het rookbeheersingssysteem



CO-gehalte in de kamers en de gemeenschappelijke ruimte (bovengrens meting: 500 ppm)



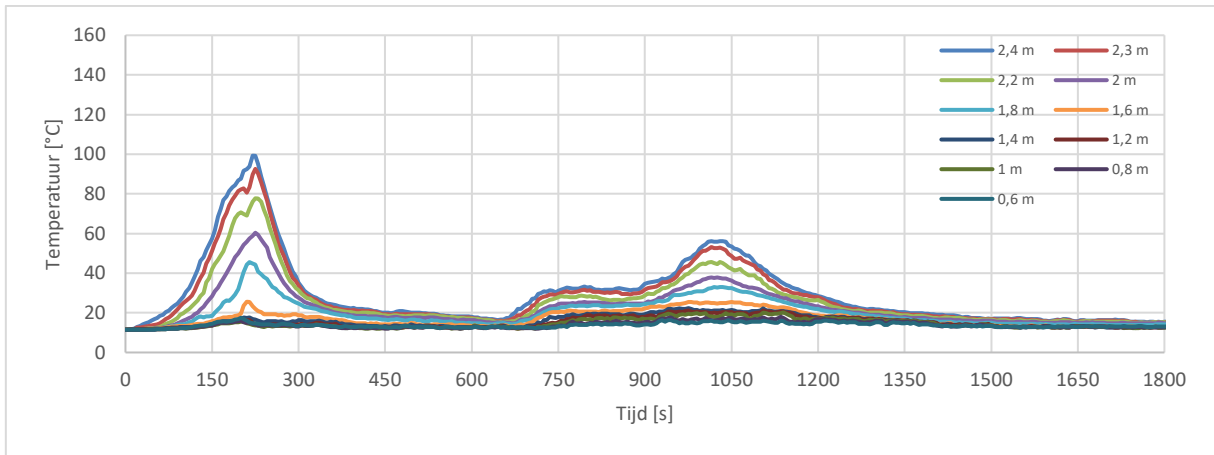
Drukverschil in de gemeenschappelijke ruimte



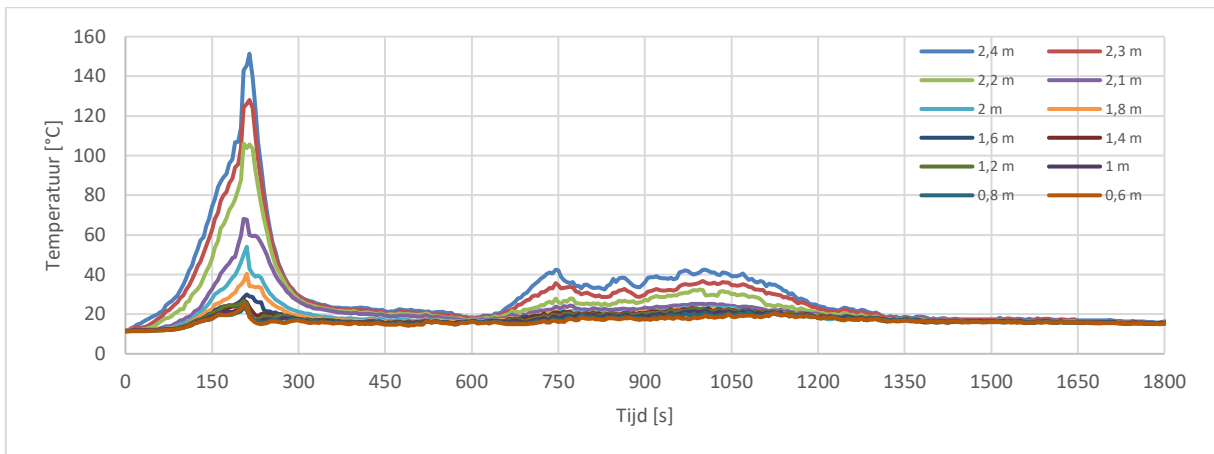
Drukverschil in de gemeenschappelijke ruimte (eerste 10 minuten)

8.5 PROEF 5: TOEPASSING VAN EEN AUTOMATISCHE BLUSSING

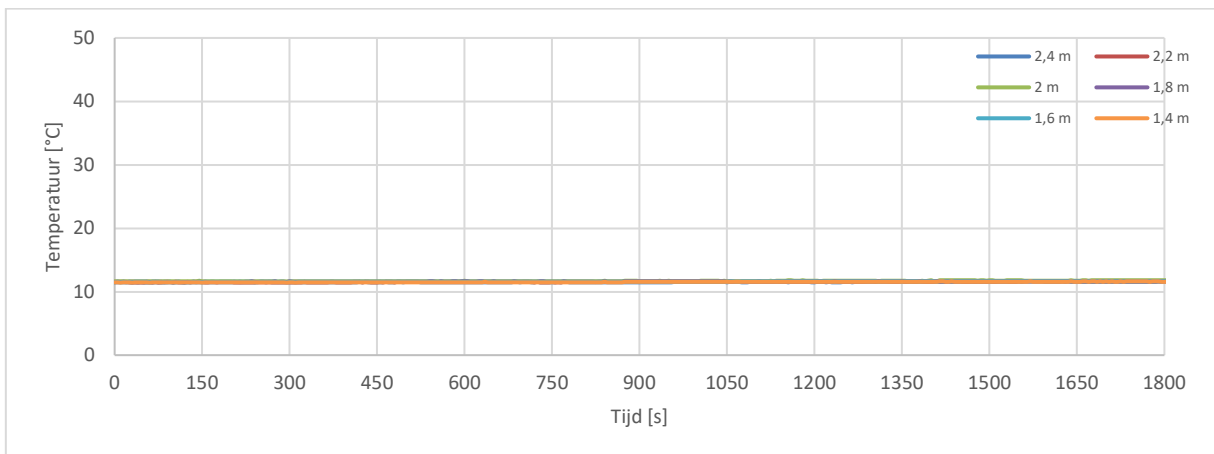
De resultaten van de metingen (temperatuur, CO en druk) zijn hieronder weergegeven:



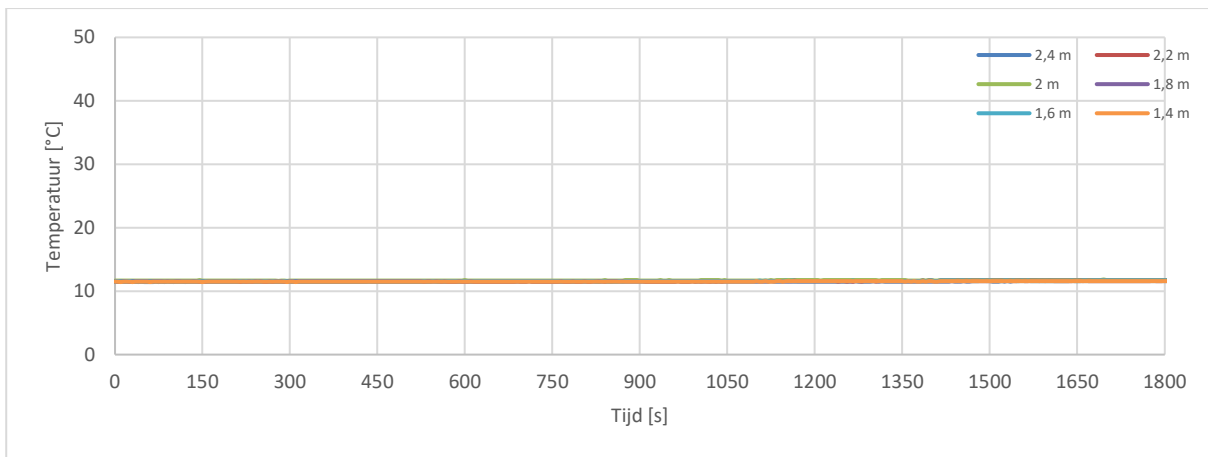
Temperaturen gemeten in de gemeenschappelijke ruimte (verder weg van de afvoeropeningen)



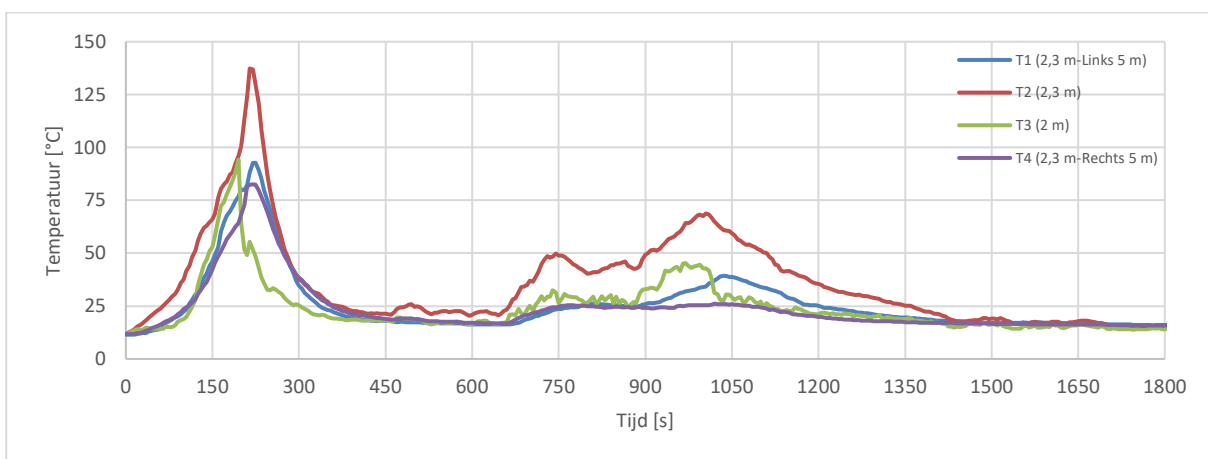
Temperaturen gemeten in de gemeenschappelijke ruimte (dichter bij de afvoeropeningen)



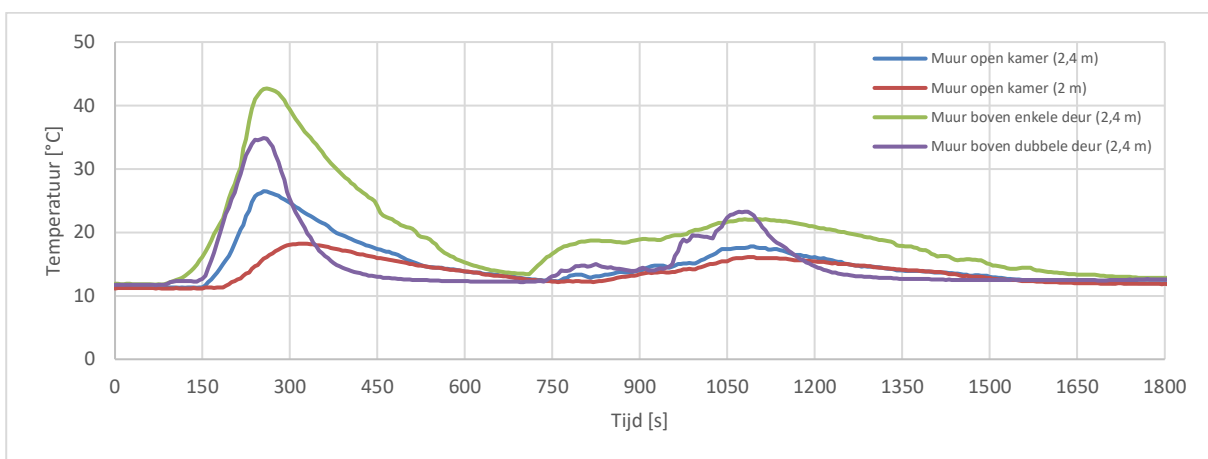
Temperaturen gemeten in de kamer voorzien van een brandwerende deur



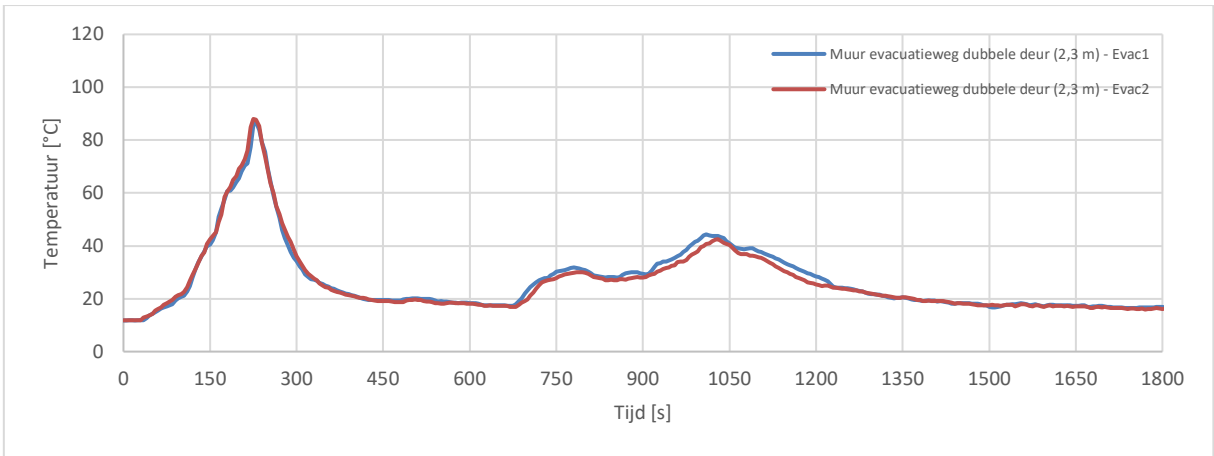
Temperaturen gemeten in de kamer voorzien van een rookwerende deur



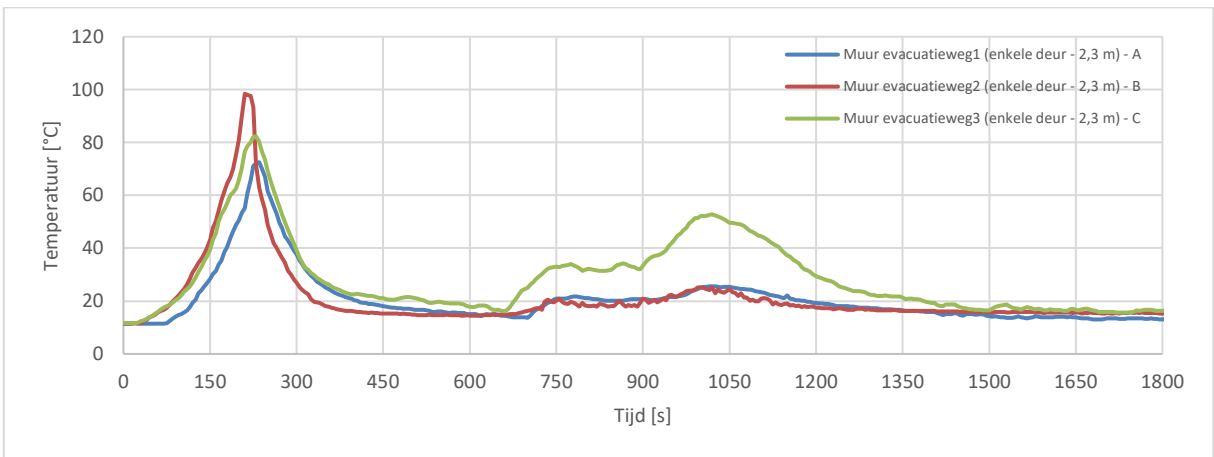
Temperaturen gemeten aan de muur recht tegenover de brandhaard



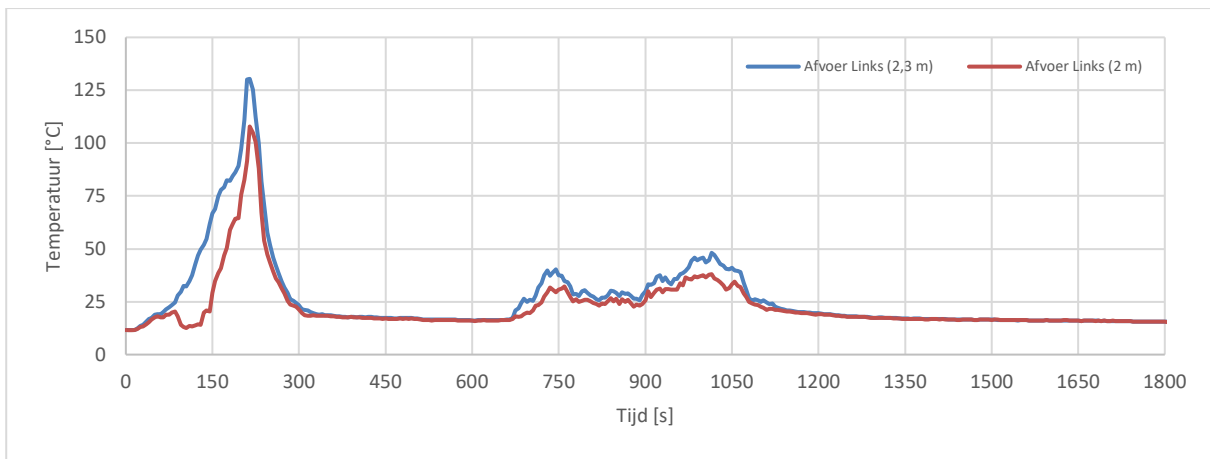
Temperaturen gemeten op verschillende locaties in de brandruimte



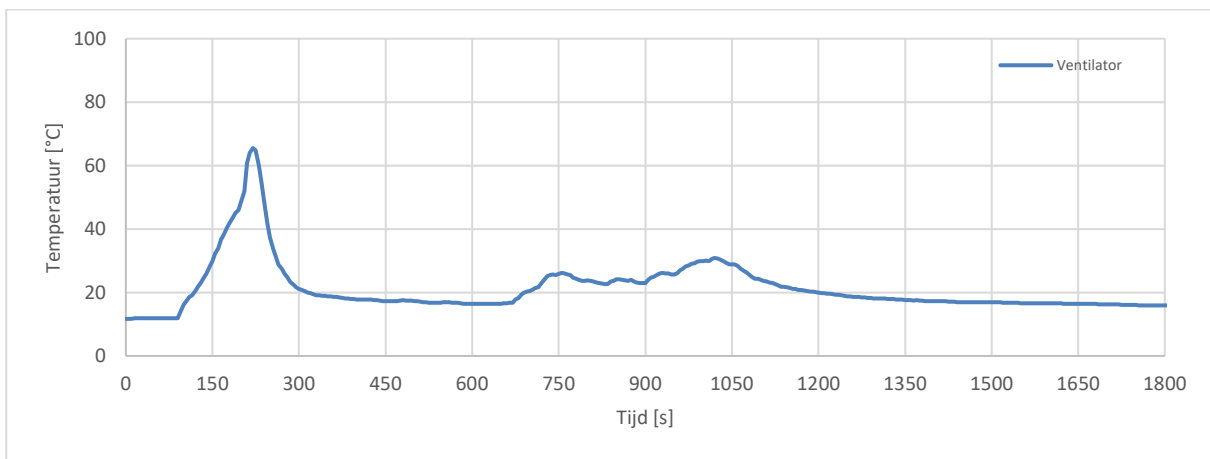
Temperaturen gemeten op verschillende locaties in de brandruimte



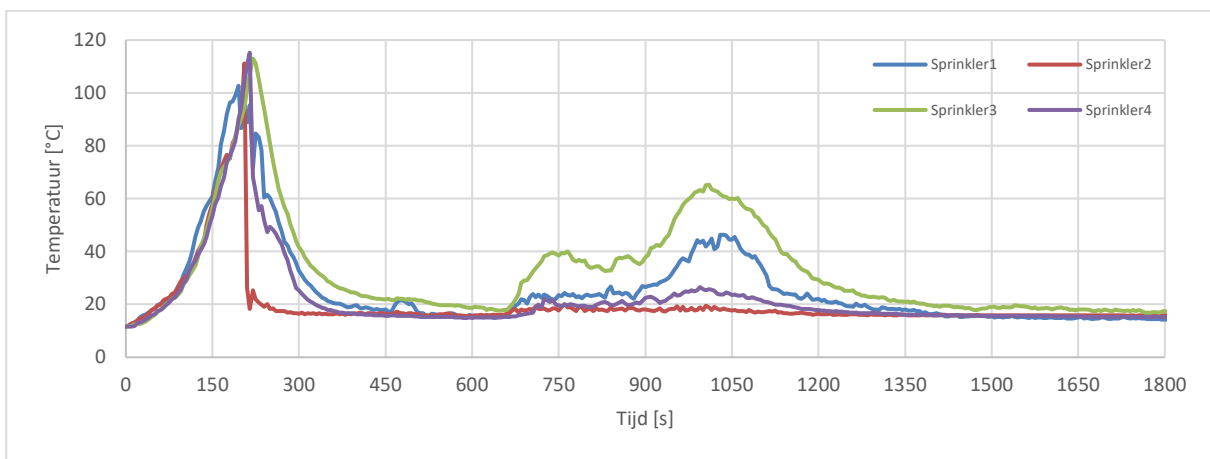
Temperaturen gemeten op verschillende locaties in de brandruimte



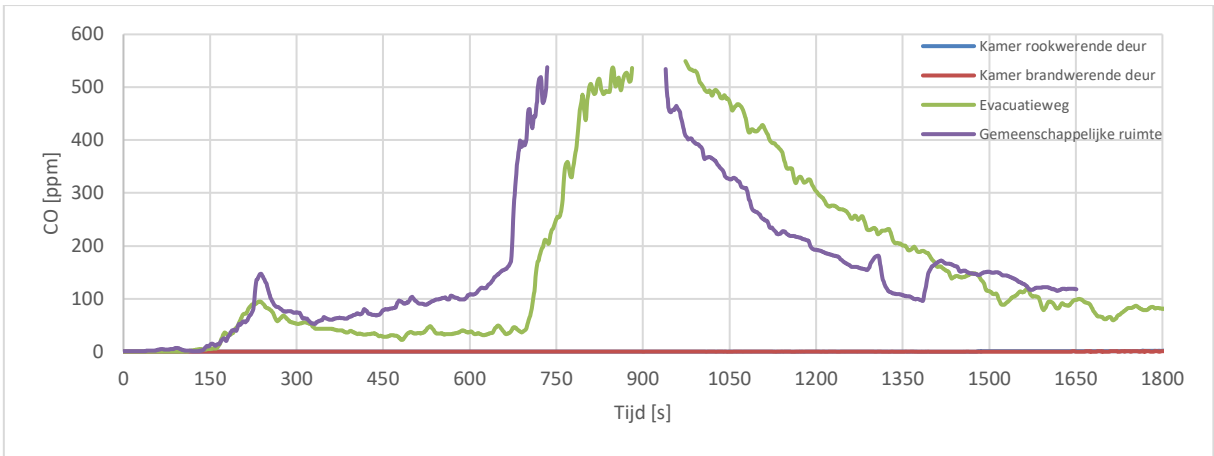
Temperaturen gemeten in de afvoeropening van het rookbeheersingssysteem



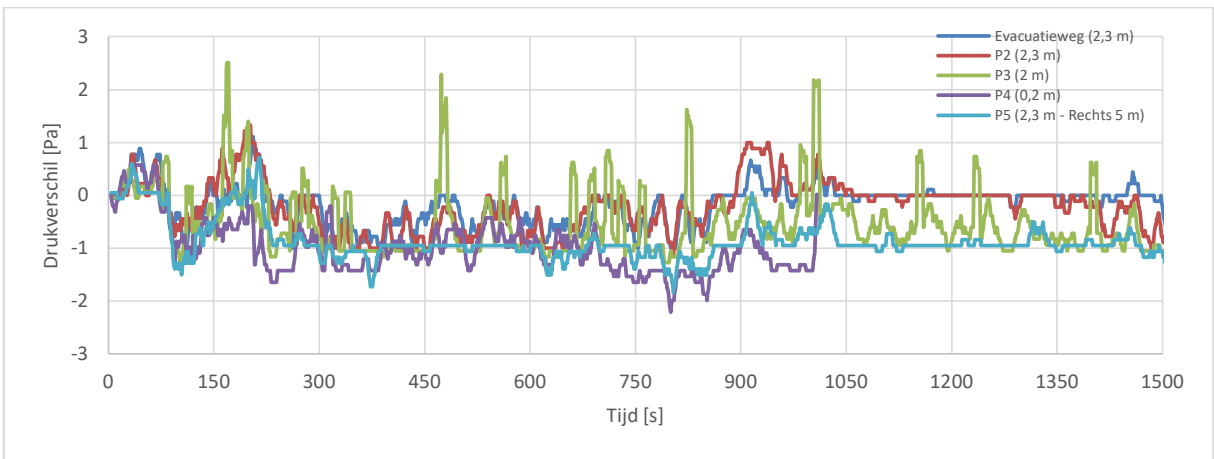
Temperaturen gemeten in het kanaal van het rookbeheersingssysteem



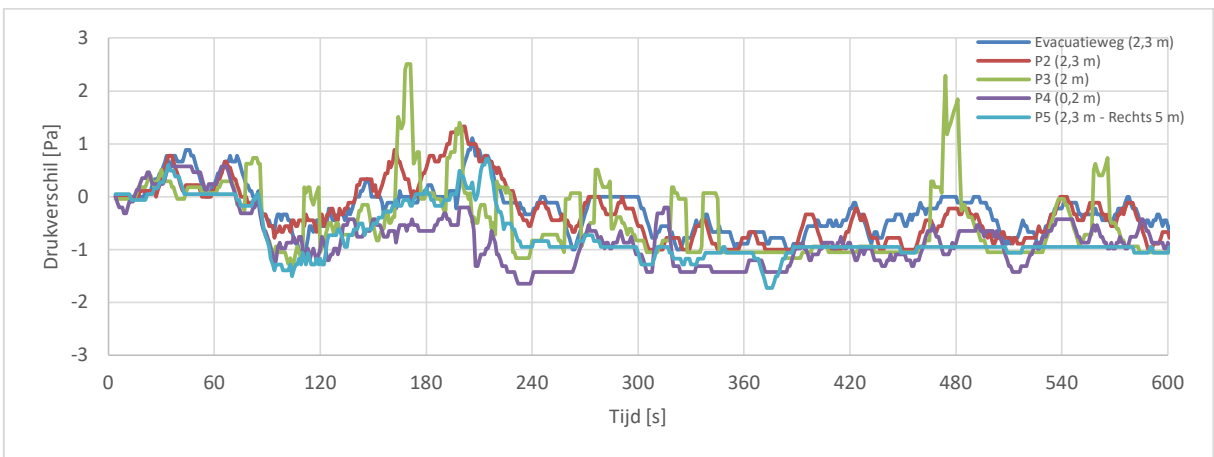
Temperaturen gemeten ter plaatse van de sprinklers



CO-gehalte in de kamers en gemeenschappelijke ruimte (bovengrens meting: 500 ppm)



Drukverschil in de gemeenschappelijke ruimte



Drukverschil in de gemeenschappelijke ruimte (eerste 10 minuten)