



# BRANDWEER

Brandweeracademie

## De offensieve buiteninzet, compleet of complex?

*Een onderzoek naar het effect van coldcutter, nevelkogel, fognails, repressieve ventilatie, drukluchtschuim, hoge druk en lage druk als offensieve buiteninzettechnieken in een gebouw met meerdere ruimten.*



Instituut Fysieke Veiligheid  
Brandweeracademie  
Postbus 7010  
6801 HA Arnhem  
www.ifv.nl  
info@ifv.nl  
026 355 24 00

### **Colofon**

Contactpersoon: Ing. R. van den Dikkenberg MCDM  
Titel: De offensieve buiteninzet, compleet of complex?  
Datum: 6 november 2015  
Status: Definitief  
Versie: 5  
Auteurs: Ing. R. van den Dikkenberg MCDM, projectleider  
Drs. K. Groenewegen-ter Morsche, onderzoeker  
Dr. Ir. M. Kobes, onderzoeker  
Dr. Ir. R. Weewer, lector Brandweerkunde  
Review: Expertgroep Brandweerdoctrine  
Eindverantwoordelijk: Dhr. W. Beckmann MEd, manager Brandweeracademie

# Managementsamenvatting

Brandweer Nederland en de Brandweeracademie houden zich momenteel bezig met de ontwikkeling van het kwadrantenmodel. Een (nieuwe) inzetactiek binnen dit model is de 'offensieve buiteninzet'. Met deze inzetactiek is het doel om van buiten het gebouw de brand te blussen of in elk geval een veilige situatie te creëren ter voorbereiding op een offensieve binneninzet. Voor deze nieuwe inzetactiek zijn nog geen beproefde technieken voor handen, of het effect is onvoldoende bekend. Deze technieken coldcutter, nevelkogel, fognails, represieve ventilatie, drukluchtschuim, hogedruk (HD) en lagedruk (LD) zijn in dit project onderzocht.

Uit een literatuurstudie, die voorafging aan het uitvoeren van de praktijkexperimenten, bleek dat er weliswaar veelvuldig onderzoek is gedaan naar inzettechnieken, maar dat er weinig specifiek onderzoek is gedaan naar de offensieve buiteninzet.

Het onderzoek is een vervolg op het eerder uitgevoerde onderzoek OBI 1, waarbij experimenten zijn gedaan in een grote loods bestaande uit één ruimte, waarbij de vuurhaard rechtstreeks benaderd kon worden. De praktijkexperimenten van het voorliggende onderzoek (OBI 2/3) zijn uitgevoerd in een gebouw dat bestaat uit meerdere ruimten. De vuurhaard was niet direct bereikbaar. Er was sprake van een relatief hogere vuurlast.

In de praktijkexperimenten is gekeken naar de mogelijkheden van de technieken om van buitenaf de temperatuur in alle ruimten voldoende te koelen (onder de 150°C) zodat er een veilige route naar de brandruimte ontstaat om deze af te blussen, de brand van buitenaf te blussen en de omstandigheden voor slachtoffers te verbeteren.

De inzettechnieken zijn uitgevoerd door brandweermensen uit deelnemende regio's die zijn opgeleid en getraind voor de toepassing van de betreffende techniek. De techniek is toegepast zoals bij de regio's gebruikelijk is. Tijdens de experimenten zijn temperatuur, tijden, waterverbruik en het visueel beeld vastgelegd. Er is naar gestreefd de brand telkens op identieke wijze te laten ontwikkelen.

De eerste inzet vond plaats van buitenaf op een gebouw met vier ruimten, waarbij de binnendeuren open stonden. Er werd een minuut ingezet. Het doel was de temperatuur in de brandruimte onder de 150°C te brengen. Deze temperatuur wordt verondersteld als grenswaarde voor veilig binnentreden. Bij onvoldoende resultaat werd vervolgens gekeken in welke configuratie de techniek wel effectief was. Om die vraag te beantwoorden werden de experimenten voortgezet met dezelfde branden om te bezien in welke eenvoudigere gebouwconfiguraties wel alle ruimten met een inzet van buitenaf (buiteninzet technieken) onder de 150 °C kon worden gebracht. Daarbij waren drie gebouwconfiguraties mogelijk, namelijk gebouw II, III en IV, waarbij het gebouw telkens één ruimte minder had dan het gebouw met het voorgaande nummer. Deze 'gebouwen' werden gecreëerd door de deur van de voorgaande ruimte(n) open te laten en deze ruimte(n) te ventileren. Daardoor werd een nieuwe inzetlocatie gecreëerd die als 'buiten' beschouwd kon worden. Er ontstond dus een eenvoudiger gebouw met minder ruimten waarop de inzet werd herhaald. De keuze op welk gebouw werd ingezet, was afhankelijk van de effecten van de eerste inzet op gebouw A. Er werd telkens ingezet op de eerstvolgende ruimte waar de temperatuur na de eerste minuut inzetten boven de 150 °C was, met een maximum van drie pogingen per ruimte. Daarna werd het experiment beëindigd.

Het onderzoek kent, net als ieder ander, een aantal beperkingen. De belangrijkste is dat het onderzoek slechts in één configuratie, met één vuurlast en één inzetwijze is onderzocht, waarbij sprake was van een niet uitbreidbare vuurlast en een stalen container. Andere configuraties, vuurlasten, objecten of inzetwijzen kunnen tot andere conclusies leiden. De resultaten en conclusies gelden daarom binnen de gekozen onderzoeksopzet, toegepaste technieken en werkwijzen, en scenario's.

De centrale onderzoeksvraag '**Wat is het effect van offensieve buiteninzet technieken bij branden in een gebouw met meerdere ruimten onder realistische omstandigheden indien niet direct in de brandruimte wordt ingezet?**' wordt beantwoord aan de hand van drie hypothesen.

***Hypothese 1: Met een offensieve buiteninzet kan een veilige situatie<sup>1</sup> worden gecreëerd in het gebouw waardoor brandweermensen de brandhaard kunnen benaderen (rookgaskoeling);***

Voor het gebouw met vier ruimten bij inzet vanaf de voordeur dient deze hypothese voor alle technieken te worden verworpen: geen enkele techniek is in staat om de temperatuur in alle ruimten onder de 150°C te brengen of de brand te blussen. De coldcutter blijkt uitsluitend effectief in een rechte lijn vanaf de inzetdeur, en niet om een hoek. Repressieve ventilatie koelt ruimten, ook om een hoek, maar niet de brandruimte zelf. Drukluchtschuim koelt met name effectief in de eerste ruimte waarop wordt ingezet. In de brandruimte zelf zijn drie pogingen nodig om de temperatuur onder de grenswaarde te brengen.

Fognails, HD, LD en de nevelkogel zijn bij de toegepaste methoden alleen in de staat om de ruimte direct achter de deur waarop wordt ingezet te koelen. Samengevat, lijken repressieve ventilatie en de coldcutter het meest kansrijk voor een offensieve buiteninzet bij een brand die zich verderop in een gebouw met meerdere ruimten bevindt.

Voor de gebouwen met minder dan vier ruimten is de effectiviteit van een offensieve buiteninzet niet met zekerheid vast te stellen, omdat deze inzetten aanvullend gedaan zijn met gebruikmaking van dezelfde brand als die van het gebouw met de vier ruimten. De eerdere inzet op dezelfde brand kan mogelijk invloed hebben gehad op het verloop van de aanvullende testen.

***Hypothese 2: Met een offensieve buiteninzet kan een brand worden geblust ook als die zich in een andere ruimte bevindt dan waar deze wordt ingezet.***

Voor het gebouw met vier ruimten bij inzet van buitenaf dient deze hypothese voor alle technieken te worden verworpen: geen enkele techniek is in staat om bij de inzet gedurende een minuut vanaf de buitendeur in het gebouw met vier ruimten de brand te blussen.

Voor de gebouwen met minder dan vier ruimten is de effectiviteit van een offensieve buiteninzet voor blussing niet met zekerheid vast te stellen, omdat deze inzetten aanvullend gedaan zijn met gebruikmaking van dezelfde brand als die van het gebouw met de vier ruimten.

***Hypothese 3: Met een offensieve buiteninzet kan een overleefbare situatie in het gebouw worden gecreëerd voor eventuele slachtoffers.***

Bij het gebouw met vier ruimten stijgt de temperatuur op leefniveau over het algemeen licht, maar overschrijdt men in het algemeen niet de kritische grens van 120°C. Er is niet aangetoond dat een offensieve buiteninzet met de geteste technieken een overleefbare situatie creëert voor eventuele slachtoffers, eerder een beperkte verslechtering. De hypothese moet daarom worden verworpen voor wat betreft temperatuur. Andere parameters voor overleefbaarheid zijn niet gemeten.

---

<sup>1</sup> Onder een veilige situatie wordt verstaan een temperatuur van de rookgaslaag die lager is dan 150 graden Celsius.

De titel van dit rapport luidt: 'Offensieve buiteninzet, compleet of complex?'. Deze vraag refereert naar de mate waarin de brandweer in staat is om in allerlei situaties een effectieve offensieve buiteninzet te doen. In dat geval zou het inzicht in de mogelijkheden van een offensieve buiteninzet compleet zijn. Echter, uit het onderzoek is gebleken dat de brandweer in een gebouw met meerdere ruimten, waarbij de brandhaard niet direct bereikbaar is, met de onderzochte technieken niet in staat is de drie doelen van de offensieve buiteninzet in de brandruimte te bereiken. Het antwoord op de titel is dan ook 'complex'. Aanvullende technieken of tactieken, gebaseerd op onderzoek, zijn nodig om in dergelijke situaties te kunnen inzetten.

# Voorwoord

Voor u ligt de rapportage van een vergelijkend onderzoek naar de effectiviteit van een aantal technieken bij het uitvoeren van de offensieve buiteninzet.

Dit onderzoek is uitgevoerd als tweede fase van het onderzoeksprogramma voor de Brandweerdoctrine, dat uiteindelijk uit vier fasen bestaat. Het onderzoek kon worden uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Veiligheid en Justitie en de Wetenschappelijke Raad Brandweer, en medefinanciering van:

- > Brandweeroefencentrum Troned Safety Campus, door het leveren van de testruimte en ondersteunend personeel.
- > De brandweerregio's die experts en materieel beschikbaar hebben gesteld, te weten:
  - Amsterdam-Amstelland
  - Brabant Noord
  - Brabant Zuidoost
  - Groningen
  - Haaglanden
  - Limburg-Zuid
  - Midden en West Brabant
  - Noord-Holland Noord
  - Rotterdam-Rijnmond
  - Twente
  - Utrecht
  - Zaanstreek-Waterland
- > Brandweeracademie (IFV).

Ik ben bijzonder verheugd dat Brandweer Nederland weer een volgende stap heeft gezet op het pad van verwerving van robuuste, betrouwbare kennis voor het brandweerveld op het gebied van brand, brandverloop en brandbestrijding.

Na een eerste verkennend onderzoek naar blustechnieken voor de offensieve buiteninzet in 2011 en een vergelijkend onderzoek naar het rookgas koelend vermogen van verschillende blustechnieken voor de offensieve buiteninzet in 2012, is er nu uitgebreider onderzoek gedaan naar (innovatieve) technieken om handelingsperspectief te bieden voor de offensieve buiteninzet.

Het uitvoeren van dit soort praktijkexperimenten is een leerproces, waar we gaandeweg meer ervaring in krijgen. Er zullen hopelijk nog vele onderzoeken volgen waarin we samenwerken met buitenlandse onderzoekers, maar waarbij wij vooral ook de expertise die in Nederland aanwezig is benutten en betrekken.

Ik wil graag de financiers van dit onderzoek bedanken voor hun steun om blijvende kennisontwikkeling van, mét en voor het brandweerveld uit te kunnen voeren. Kennisontwikkeling die een must is om te kunnen innoveren. Ik wil ook de deelnemers aan het expertteam bedanken. Het was een leerzaam, maar ook leuk proces om samen het onderzoek te ontwerpen, uit te voeren en de conclusies te trekken. Vakmanschap in verbinding met wetenschap.

Ricardo Weewer  
Lector Brandweerkunde

# Inhoud

<b>Managementsamenvatting</b>	<b>3</b>
<b>Voorwoord</b>	<b>6</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1 Aanleiding en achtergrond	9
1.2 Doel en onderzoeksvragen	9
1.3 Afbakening	10
1.4 Betrokkenheid van het brandweerveld	11
1.5 Definities	11
<b>2 Verkenning eerder onderzoek</b>	<b>12</b>
2.1 Inleiding	12
2.2 Coldcutter	12
2.3 Nevelkogel	15
2.4 Fognails	16
2.5 Repressieve ventilatie	17
2.6 Drukluchtschuim	19
2.7 Hoge druk (HD) en lage druk (LD)	22
2.8 Conclusie	22
<b>3 Onderzoeksopzet</b>	<b>23</b>
3.1 Inleiding	23
3.2 Onderzochte blustechnieken	23
3.3 Gemeten grootheden	25
3.4 Onderzoeksubject	27
3.5 Vuurlast en startcriterium	28
3.6 Testprotocol	29
3.7 Uniformiteit van de testcondities	31
3.8 Wijze van data-analyse	33
<b>4 Resultaten</b>	<b>34</b>
4.1 Inleiding	34
4.2 Coldcutter	36
4.3 Nevelkogel	39
4.4 Fognails	43
4.5 Repressieve ventilatie	47
4.6 Drukluchtschuim	50
4.7 Hoge druk	54
4.8 Lage druk	58
4.9 Vergelijking tussen de technieken bij inzet op een gebouw met vier ruimten	62
<b>5 Conclusie</b>	<b>68</b>
5.1 Conclusies deelvragen	68
5.2 Conclusies centrale onderzoeksvraag en hypothesen	71
<b>6 Discussie</b>	<b>73</b>

<b>Literatuurlijst</b>	<b>75</b>
<b>Bijlage A</b>	<b>77</b>
De brand tijdens de experimenten	77
<b>Bijlage B</b>	<b>79</b>
Reproduceerbaarheid van de experimenten	79
Reproduceerbaarheid van de brandontwikkeling	79
Reproduceerbaarheid van de inzetten in gebouw I	81
<b>Bijlage C</b>	<b>85</b>



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en achtergrond

Brandweer Nederland en de Brandweeracademie houden zich momenteel bezig met de verdere ontwikkeling van het kwadrantenmodel. Dit kwadrantenmodel maakt onderdeel uit van de brandweerdoctrine en voorziet in een viertal inzet tactieken voor gebouwbrandbestrijding. Een (nieuwe) inzet tactiek is de 'offensieve buiteninzet'. Met deze inzet tactiek is het doel om van buiten het gebouw de brand te blussen of in elk geval een veilige situatie te creëren ter voorbereiding op een offensieve binneninzet. Voor deze nieuwe inzet tactiek zijn nog geen beproefde technieken voor handen, of het effect is onvoldoende bekend. Dit onderzoek is gericht op het onderzoeken *of* en *hoe* de offensieve buiteninzet effectief kan worden uitgevoerd, welke technieken zich hiervoor lenen en hoe die technieken het beste kunnen worden toegepast. Er bestaan een aantal (oude en nieuwe) technieken waarvan wordt verondersteld dat ze effectief ingezet zouden kunnen worden bij een offensieve buiteninzet. Deze technieken – de coldcutter, nevelkogel, fognails, repressieve ventilatie, drukluchtschuim, HD en LD- worden in dit project onderzocht.

In 2011 is een eerste verkennend onderzoek uitgevoerd (OBI 1, Van den Dikkenberg & Groenewegen, 2012) waarbij een aantal technieken voor de offensieve buiteninzet – te weten de coldcutter, fognails, nevelkogel, drukluchtschuim en HD (offensieve binneninzet) – zijn onderzocht ten opzichte van elkaar in één scenario. Het scenario betrof destijds een loods bestaande uit één ruimte waarin een brandhaard was geënceneerd. De technieken werden dus direct in de ruimte waar de brand zich bevond ingezet. Het onderzoek riep echter ook vervolgvragen op. Hierbij kon gedacht worden aan de volgende experimenten:

- > Experimenten waarbij sprake is van een minder eenvoudig gebouw: grotere afstand tot de vuurhaard, L- of Z-vormig verloop van de ruimte, ruimte met grote obstakels, meerdere ruimten, et cetera.
- > Experimenten waarbij sprake is van een grotere vuurbelasting/hogere temperatuur.
- > Experimenten waarbij ook luchtvochtigheid en zuurstofpercentage worden gemeten op verschillende hoogten in de ruimte, als parameter van het creëren van een overleefbare situatie.

In het kader van het onderzoeksprogramma Brandweerdoctrine is een aantal onderzoeken gepland om de mogelijke technieken voor de offensieve buiteninzet verder te onderzoeken in andere gebouwconfiguraties en met andere brandlasten. Dit onderzoek (OBI 2/3) maakt onderdeel uit van dat programma. In dit onderzoek wordt onderzocht hoe de technieken werken in een gebouw waarin meerdere ruimten aanwezig zijn (vergelijkbaar met een woning). Het verschil met de eerdere experimenten is dat de blustechnieken niet direct in de brandruimte worden ingezet.

## 1.2 Doel en onderzoeksvragen

Dit project is gericht op het onderzoeken in hoeverre met de onderzochte technieken een effectieve offensieve buiteninzet (dus vanuit de buitenzijde van het pand) kan worden uitgevoerd. Het uitgangspunt daarbij is dat de techniek op een willekeurige plaats kan worden ingezet, ongeacht de locatie van de brand in het gebouw, dat uit meerdere ruimten bestaat.

De centrale onderzoeksvraag is:

*Wat is het effect<sup>2</sup> van offensieve buiteninzet technieken bij branden in een gebouw met meerdere ruimten onder realistische omstandigheden indien niet direct in de brandruimte wordt ingezet?*

Vooraf zijn een aantal hypothesen ten aanzien van de offensieve buiteninzet gesteld waarvan wordt onderzocht of die geldig zijn voor de vooraf geselecteerde technieken en inzetmethoden. Deze hypothesen sluiten aan bij de doelen van een offensieve buiteninzet.

- a. Met een offensieve buiteninzet kan een veilige situatie<sup>3</sup> worden gecreëerd in het gebouw waardoor brandweermensen de brandhaard kunnen benaderen (rookgaskoeling);
- b. Met een offensieve buiteninzet kan een brand worden geblust ook als die zich in een andere ruimte bevindt dan waar deze wordt ingezet.
- c. Met een offensieve buiteninzet kan een overleefbare situatie in het gebouw worden gecreëerd voor eventuele slachtoffers.

In de opzet is gekozen voor het onderzoeken van een gebouw met vier ruimten, en bij onvoldoende effect, ook gebouwen met minder ruimten. De hypothesen worden getoetst door antwoord te geven op de volgende onderzoeksvragen:

1. *Wat is het effect van de offensieve buiteninzet technieken op de temperatuur van de rookgassen in de verschillende ruimten en op slachtofferniveau bij een inzet op een gebouw met vier ruimten?*
2. *Wat is het effect van de offensieve buiteninzet technieken op de temperatuur van de rookgassen in de verschillende ruimten en op slachtofferniveau bij een inzet op een gebouw met minder ruimten?*

Bij het slachtofferniveau wordt uitgegaan van een liggend slachtoffer. De temperatuurmetingen hiervoor zijn uitgevoerd op een hoogte van 50 cm.

### 1.3 Afbakening

De onderzoeksresultaten moeten binnen de beperkingen van het onderzoek worden gezien: de resultaten gelden uitsluitend voor de onderzochte proefopzet en scenario. Andere inzetwijzen of scenario's kunnen tot andere conclusies leiden.

In het scenario was sprake van één vuurhaard. Deze vuurhaard vormde de enige brandlast in het pand waardoor er geen andere pyrolyserende materialen waren en de brand zich niet kon uitbreiden. In het onderzoek is de temperatuur tijdens de inzet gemeten, evenals het waterverbruik. Andere parameters zoals luchtvochtigheid, druk, samenstelling van de rookgassen en de hoeveelheid hout die daadwerkelijk is opgebrand is niet gemeten. Dit was binnen de huidige onderzoeksopzet en beschikbare middelen niet mogelijk.

Tijdens de experimenten zijn alleen de vooraf door de expertgroep geselecteerde in Nederland gebruikte technieken en inzetmethoden onderzocht: de coldcutter, nevelkogel, fognails, repressieve ventilatie, drukluchtschuim, HD en LD.

<sup>2</sup> Met effect wordt bedoeld het creëren van een veilige situatie zodat een binneninzet van brandweerpersoneel mogelijk is (<150 graden Celsius).

<sup>3</sup> Onder een veilige situatie wordt verstaan een temperatuur van de rookgaslaag die lager is dan 150 graden Celsius.

In het onderzoek is uitsluitend één proefopzet met één scenario onderzocht. Dit betekent dat de resultaten van het onderzoek uitsluitend geldig zijn voor de onderzochte proefopzet en scenario.

De resultaten zijn dus uitsluitend geldig voor de omstandigheden in het onderzoek. Echter, iedere techniek dat efficiënt rookgassen kan koelen, zal dat in deze experimenteeromgeving ook doen. Als een techniek niet of onvoldoende rookgassen koelt in de onderzochte omgeving, betekent dit dat de techniek tenminste in de onderzochte situatie niet tot efficiënte rookgaskoeling komt. Dat wil niet zeggen dat de techniek voor andere toepassingen (bijvoorbeeld het afdekken van vloeistofbranden of het afschermen van gebouwen) ongeschikt is. Een ander aspect dat bij de interpretatie van de resultaten moet worden meegenomen, is dat er tijdens de inzet sprake is van een continue aanvoer van hete rookgassen vanaf de vuurhaard richting de uitgang zolang de brand niet is geblust. Dat de temperatuur na afloop van een serie rookgaskoelingen weer oploopt is hier het gevolg van. Overigens zal dit bij een daadwerkelijke brand als gevolg van dubbelzijdige stroming ook het geval zijn.

## 1.4 Betrokkenheid van het brandweerveld

Om maximaal gebruik te maken van de kennis en ervaring die in het veld aanwezig is, is bij de opzet, uitvoering en analyse van het onderzoek een expertgroep gevormd. De expertgroep bestond door de regio's geselecteerde en afgevaardigde experts vanuit de deelnemende brandweerregio's<sup>4</sup>. De expertgroep heeft het onderzoeksprotocol vastgesteld, heeft meegedacht bij de interpretatie van de resultaten en heeft het conceptrapport gereviewd. Daarnaast hebben brandweermensen de technieken toegepast in het onderzoek en ondersteund tijdens de experimenten.

## 1.5 Definities

Hier volgt een verklaring van de belangrijkste, veel gebruikte termen in deze rapportage:  
*Offensieve buiteninzet*: een inzet buiten het gebouw met als doel de overlevingscondities te verbeteren en veilige betreding voor brandweermensen mogelijk maken, uitbreiding te voorkomen en/of de brand te blussen.

*Veilige situatie brandweerpersoneel*: een situatie waarbij de temperatuur van de rookgaslaag lager is dan 150 graden Celsius.

*Rookgaskoeling*: het koelen van de aanwezige zichtbare en onzichtbare rookgassen.

*Knockdown*: er zijn geen vlammen meer zichtbaar. De brand kan zich nog wel in een gloei stadium bevinden.

*Realistische omstandigheden*: omstandigheden die in de brandweerpraktijk voor kunnen komen.

---

<sup>4</sup> Amsterdam- Amstelland, Brabant Noord, Brabant Zuidoost, Groningen, Haaglanden, Limburg-Zuid, Midden en West Brabant, Noord-Holland Noord, Rotterdam-Rijnmond, Twente, Utrecht en Zaanstreek-Waterland.

# 2 Verkenning eerder onderzoek

## 2.1 Inleiding

Voorafgaand aan de experimenten heeft er een verkenning plaatsgevonden naar eerder onderzoek. De vraag tijdens deze verkenning was of er in het binnen- of buitenland onderzoek is gedaan naar de technieken coldcutter, nevelkogel, fognails, repressieve ventilatie, drukluchtschuim, hoge druk en lage druk. In dit hoofdstuk worden de zeven technieken geïntroduceerd en worden (waar mogelijk) verschillende (wetenschappelijke) onderzoeken per inzettechniek besproken.

## 2.2 Coldcutter

De coldcutter is een techniek met een lans, waarbij onder hoge druk (300 bar) door middel van snijgrit van buitenaf toegang tot de brandruimte wordt verschaft via een gat van circa 5 millimeter (zie figuur 2.1). Op het moment dat het snijgrit door het materiaal van de wand is, wordt uitsluitend een fijne waternevel in de ruimte gebracht. Door de zeer fijne verneveling wordt aangenomen dat de waternevel zich min of meer gedraagt als een gas. Als gevolg hiervan en de hoge druk, kunnen grote afstanden overbrugd worden. Voor de coldcutter is permanente bediening noodzakelijk.



Figuur 2.1: Coldcutter

### 2.2.1 Onderzoek naar het effect van de coldcutter

De Universiteit van Ulster (Gsell, 2010) heeft een uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar het effect van de coldcutter. Gsell geeft in zijn rapport aan dat er in het algemeen onderzoek gedaan is naar tactieken en inzetten, maar dat er is nauwelijks tot geen onderzoek naar de effectiviteit van de verschillende technieken is verricht. In het onderzoek van Gsell worden vier aspecten onderzocht:

1. De invloed van de afmetingen van de openingen op de effectiviteit van de coldcutter
2. De invloed van de brand op de effectiviteit van de coldcutter
3. De invloed van de zogenaamde flow rate (de hoeveelheid water die je opbrengt)
4. De invloed van de watermist op straling, gas menging, expansie/krimp en stoomproductie, in relatie tot de overleefbaarheid.

De experimenten werden uitgevoerd in een stalen zeecontainer (63,7 m<sup>3</sup>). De coldcutter werkte bij 300 bar met een flow rate van 56 l/min. Als brandhaard werden vijf panelen spaanderplaat aan de wanden van de container gehangen. Om de bluscapaciteiten van de coldcutter te onderzoeken werden acht verschillende scenario's gecreëerd, die verschilden in flow rate (28 en 56 l/min), brandoppervlak (12,8 en 8,4 m<sup>2</sup>) en afmetingen van de openingen. Elk scenario werd één keer uitgevoerd. De effectiviteit van de coldcutter is bepaald aan de hand van de tijd die het kost om de temperatuur 100 °C te laten dalen en de tijd die het kost om af te koelen tot 100 °C.

Uit de experimenten van Gsell volgden enkele algemene waarnemingen:

- > De locatie boven de brandhaard is het lastigst tot 100 °C te koelen.
- > Binnen 70 seconden is de temperatuur overal in de container gedaald tot 200 °C.
- > Gedurende de eerste vijf tot tien seconden wordt er een plateau in de temperatuur waargenomen, men veronderstelt dat dit de tijd is die nodig is om 'een passage in de rooklaag te maken', voordat uitzetting plaatsvindt.
- > Ook in de buurt van de vuurhaard laag bij de grond blijkt het lastig om de temperatuur tot 100 °C te laten dalen. Dit wordt toegeschreven aan het fenomeen 'luchtkussen', dat zou ontstaan door de druk veroorzaakt door de straal en het persen van de rook tegen het dode einde van de container.
- > In alle scenario's is 30 liter water voldoende om de temperatuur overal te laten dalen tot onder de 150 °C.
- > Na een inzet van drie minuten blijft de ruimte minimaal drie minuten veilig.
- > Hoewel de drukmetingen niet reproduceerbaar leken te zijn, is waargenomen dat er een onderdruk ontstaat tijdens de inzet, deze blijft kleiner dan 0,7 mbar. Ramen zullen daarvoor niet breken.

De conclusies van dit onderzoek zijn:

- > De tijd om de temperatuur tot een veilig niveau te brengen was nooit langer dan 35 seconden, daarvoor was minder dan 33 liter water nodig.
- > Het inbrengen van watermist heeft geen negatief effect op de zichtlengte en heeft geen invloed op het zuurstofgehalte bij de vloer.
- > De straling op leefniveau werd verlaagd tot 2kW/m<sup>2</sup>, een overleefbaar niveau.
- > Een verkleining van het brandoppervlak leidt tot een snellere afkoeling.
- > De aanwezigheid van openingen leidt tot een snellere afkoeling. Verwacht werd dat met openingen het inertiseringseffect kleiner zou zijn. Dit zou gelden als er volume-expansie zou plaatsvinden, die de rookgassen en het zuurstofgehalte zou verdunnen. Het is echter waargenomen dat er juist een volumevermindering plaatsvindt, en er onderdruk ontstaat. De openingen hinderen de koeling en inertisering dus niet, maar faciliteren juist omdat de rooklaag dunner wordt en de temperaturen lager.
- > De coldcutter is in 180 seconden niet in staat de brand geheel te blussen, er is dus altijd nog een binneninzet nodig.

- > De temperatuur daalt over de gehele hoogte van de container, daarmee kunnen twijfels over de overleefbaarheid worden weggenomen.

Ook in Nederland is onderzoek gedaan naar het effect van de coldcutter. Het betreft onderzoeken waarbij een vergelijking is gemaakt tussen verschillende offensieve binnen- en buiteninzet technieken. In twee gebouwconfiguraties is onderzocht hoe het rookgas koelend vermogen van onder andere de coldcutter zich verhoudt tot andere technieken.

In het onderzoek uit 2012 (Van den Dikkenberg & Groenewegen, 2012) werden de experimenten gehouden in een stalen hal van 178 m<sup>2</sup> met een hoogte van 4,5 meter waarin een brandlast bestaande uit twee stapels van acht pallets werd aangestoken. De coldcutter werd van buiten ingezet met gesloten deuren. Uit deze experimenten is gebleken dat de coldcutter in deze situatie binnen 55 seconden de temperatuur in de hal omlaag bracht van 350 °C tot onder 150 °C. De coldcutter was bij dit onderzoek ongeveer net zo effectief als de fognails, en effectiever dan de andere geteste binnen- en buiteninzet technieken.

Een tweede serie experimenten (Kobes, Groenewegen, Van den Dikkenberg & Oberijé, 2013) werd een jaar later uitgevoerd in een L-vormige container (9 x 2,3 x 2,3 meter), met dwars daarop een container (9 x 2,3 x 2,3 meter) met achterin op een brandplaats van 2x2 meter en een vuurhaard van circa 130 kg vurenhout met een PUR matras er tussen (in totaal 2600MJ). Het eerste deel van de container was gesplitst in twee delen (deel A en deel B). De vuurhaard (in deel C) was door de L-vorm niet direct bereikbaar voor het blusmiddel. De coldcutter werd met gesloten deur gedurende één minuut continu ingezet. In deel A van de container was de starttemperatuur rond 130 °C, oplopend tot ongeveer 300 °C in deel B. Achterin deel B en in deel C was de temperatuur tussen 450 en 550 °C. Daar vond aanstraling door de vuurhaard plaats.

In deel A daalde de temperatuur binnen 5 tot 10 seconden tot onder de 100 °C, in deel B werd een temperatuurdaling van 150 °C gemeten binnen 15 tot 20 seconden. Achterin deel B daalde de temperatuur van 550 naar 450 °C, en in deel C, waar de brand was, dus om de hoek, werd een geringe temperatuur*stijging* waargenomen. Uit dit onderzoek is gebleken dat in het eerste deel van de container de temperatuur binnen 15 seconden een groot effect kan worden bereikt met de coldcutter. Het is niet mogelijk geweest om onder deze omstandigheden 'om de hoek' (in de brandruimte) een substantiële temperatuurdaling te bewerkstelligen. Opvallend was dat tijdens de experimenten een temperatuurtoename in de brandruimte werd gemeten van ongeveer 20 °C.<sup>5</sup> Visueel werd in de container tijdens enkele testen met de coldcutter een rollover van onzichtbare rookgassen waargenomen in het deel waar de brandhaard zich bevond en onder deze rollover werd een stoomlaag waargenomen. Onbekend is of dit een fenomeen is dat specifiek samenhangt met de inzet van de coldcutter.

Uit de experimenten bleek dat na de inzet van één minuut op deel A de temperatuur in deel A steeds onder de 100 °C bleef, maar in deel B na elke inzet de temperatuur weer steeg. De inzet op deel B (in de brandruimte) veroorzaakte de grootste temperatuurdaling (van circa 550 °C naar circa 150 °C) maar direct na het stoppen van de inzet steeg de temperatuur weer. Geconcludeerd kan worden dat het altijd nodig blijft om de vuurhaard te doven.

Op basis van de coldcutter is het *cutting extinguishing* concept ontwikkeld (Södra Älvsborg Fire & Rescue Service & SP Technical Research Institute of Sweden, 2010). Dit concept bestaat uit een combinatie van drie technieken: een warmtebeeldcamera ten behoeve van de verkenning, een coldcutter voor de rookgaskoeling en blussing en een ventilator om de werking van het cold cuttingsysteem te optimaliseren. Daarbij wordt met de warmtebeeldcamera de vuurhaard gelokaliseerd, met de coldcutter wordt vervolgens op die plek ingezet en daarna wordt de ruimte geventileerd.

---

<sup>5</sup> Deze temperatuurtoename werd overigens ook gezien bij HD en LD (Van den Dikkenberg, Groenewegen & Kobes, 2013).

Uit de studie (2010) blijkt dat het effect van de coldcutter wordt veroorzaakt door het koelen en inertiseren van de rookgassen. De combinatie tussen de coldcutter en de ventilatie is effectief omdat de gassen eerst worden gekoeld en de nadelen van ventilatie, waaronder het aanwakkeren van de brand, worden verkleind. In het rapport wordt verder een aantal praktijkgevallen beschreven waarin de coldcutter goed heeft gewerkt. In een aantal van die praktijkgevallen werden meerdere coldcutters ingezet in combinatie met PPV (positive pressure ventilation). Geconcludeerd wordt dat de coldcutter grote potentie heeft voor toekomstige brandbestrijding, maar dat verder onderzoek nodig is.

## 2.2.2 Praktijkervaringen

In België heeft de brandweer de mogelijkheden onderzocht van het invoeren van de coldcutter. Om die reden zijn praktijkervaringen uit het buitenland verzameld en is er een praktijk-experiment uitgevoerd met de coldcutter (Vantorre & Lambert, 2011). De experimenten werden uitgevoerd in een compartiment van 30 m<sup>2</sup> met zowel vloeistofbranden als vastestoffenbranden. Bij een inzet met de coldcutter gedurende één minuut werd waargenomen dat de klasse A brandhaard in een gloedstadium was en dat de klasse B brandhaarden waren gedoofd. Bij binnentreding was het veel koeler in het compartiment. Hieruit bleek dat de coldcutter in deze situatie binnen 43 seconden de temperatuur in de hal omlaag bracht van 628 °C tot 82 °C.

De Swedisch Fire and Rescue Service heeft samen met een fabrikant van coldcutters tevens een onderzoek gedaan naar de praktijkervaringen met de coldcutter (Cold cut systems, Sweden, 2014). Tijdens dit onderzoek vond er een inventarisatie plaats van ervaringen gedurende twee jaar (2011-2013). Volgens de schattingen leidde de inzet van de coldcutter in 76 procent van de branden tot een succesvolle beperking van de branduitbreiding en in 43 procent tot een veiligere brandbestrijding. De situaties waarin de coldcutter niet succesvol was betroffen vooral branden na het flashover stadium. Voor grotere branden werden veelal meerdere coldcutters ingezet.

## 2.3 Nevelkogel

Een nevelkogel is een lange lans van circa 4 meter, met aan het uiteinde een draaibare kop (circa 10 cm doorsnede), aangesloten op het lage druk systeem van de TS. Als gevolg van de waterdruk draait de kop waardoor water in de ruimte verspreid wordt (zie figuur 2.2). De nevelkogel wordt toegepast door de nevelkogel via een opening, bijvoorbeeld via een gevelopening, van buitenaf in de ruimte te brengen. Tijdens de inzet dient de nevelkogel gefixeerd te worden waarbij de nevelkogel op een minimale hoogte van 1,5 meter in de ruimte geplaatst dient te zijn.



Figuur 2.2: Nevelkogel

### 2.3.1 Onderzoek naar het effect van de nevelkogel

Er is in de literatuur geen onderzoek gevonden waarin de nevelkogel wordt onderzocht anders dan het onderzoek van het IFV in 2012 naar verschillende blustechnieken (Van den Dikkenberg & Groenewegen, 2012). Het apparaat is in het verleden door een aantal korpsen gebruikt, maar is de loop der tijd in ongebruik geraakt. Bij de bestrijding van een brand in Bergen op Zoom (Kobes & Tonnaer, 2014) is het apparaat met succes ingezet. Het betrof hier een brandruimte die van buiten onbereikbaar was. De nevelkogel werd een aantal keren door verschillende ramen ingezet. Toen de nevelkogel door het raam van de vermoedelijke brandruimte (of dicht daarbij) werd ingezet was er snel een effect te zien: de brand werd snel getemperd. Hieruit is af te leiden dat de nevelkogel vermoedelijk effect heeft direct in de brandruimte, maar dat is slechts op basis van één praktijkervaring.

## 2.4 Fognails

Fognails zijn lansen, aangesloten op het hoge of lage druksysteem van de TS. De lansen zijn voorzien van een punt, met daarachter een ring met kleine openingen. Uit deze opening komt fijn verdeeld water. Fognails worden ingezet door handmatig (met bijvoorbeeld een boormachine of een hooligantool) van buitenaf openingen in de wand of het dak te creëren. Vervolgens worden de fognails geplaatst. Eenmaal geplaatst kunnen zij zelfstandig functioneren. Er zijn offensieve en defensieve fognails. Offensieve fognails hebben een kleine spreidingshoek en een grote worplengte. Defensieve fognails hebben een grote spreidingshoek en een geringe worplengte. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van offensieve fognails (figuur 2.3).



Figuur 2.3: Fognails

### 2.4.1 Onderzoek naar het effect van fognails

In 2000 heeft het Research Centre for Fire Protection Lund een experiment uitgevoerd met fognails (Pulm, 2000). Het betrof experimenten waarbij gebruik werd gemaakt van een ruimte van 25 m<sup>2</sup> die werd uitgerust als een woonkamer inclusief meubilair. Het totale gewicht van brandbare materialen was 730 kg, de berekende Heat Release Rate (HRR) was 5,5 MW. De ruimte had een raam en een deur. De deur bleef gesloten en het raam was



open. Er werden twee soorten fognails gebruikt, namelijk de Restrictor<sup>6</sup> en de Attack fognails<sup>7</sup>. Vijf minuten na het ontsteken van de brand werd aan het plafond een temperatuur gemeten van 950 °C. Flashover vond plaats na vijf tot zes minuten. Op dat moment werden eerst de Restrictor fognails door de deur gestoken en werden vervolgens zeven minuten ingezet. Vrijwel direct vanaf de inzet nam de brand in kracht af en na 40 seconden kwamen er geen vlammen meer uit het raam. In vier minuten was de temperatuur afgenomen tot 400-500 °C, een vrijwel instantane temperatuurdaling werd gemeten op 1,5 minuut naar 300 °C. Na de eerste inzet van zeven minuten werden de Attack fognails ingezet. Tijdens de wisseling van fognails, die ongeveer twee minuten duurde, nam de temperatuur snel toe met circa 150 °C en breidde de brand zich weer uit. De Attack fognails bleken effectief, want meteen daalde de temperatuur onder het plafond tot 200 °C. Uit berekeningen bleek dat lang niet al het water uit de fognails verdampte. Uit het beperkte onderzoek (het werd slechts één keer uitgevoerd en betrof één kamer) bleek dat de opgaven van de fabrikant worden bevestigd: het is mogelijk om met de fognails controle over de brand te krijgen en deze te blussen, met weinig water. De Attack fognails presteerden in dit onderzoek het beste. In het onderzoek worden een aantal beperkingen van fognails genoemd. Zo wordt gemeld dat het geen zin heeft om één fognail in te zetten in een ruimte die nog niet brandt. Verder wordt gemeld dat één fognail nodig is voor een ruimte van 20 m<sup>2</sup>, maar dat voor grotere ruimten meerdere fognails nodig zijn. Daarnaast moet de lay-out van de ruimte bekend zijn. Geadviseerd wordt om verder onderzoek te doen naar de situatie waarbij het raam dicht blijft. Door de toepassing van fognails kan dan een drukverhoging ontstaan. Als de deur naar de hal de druk niet kan weerstaan kan dat gevaar voor brandweermensen opleveren.

In 2012 zijn de fognails onderzocht in een vergelijkend onderzoek in een stalen industrieel pand (Van den Dikkenberg & Groenewegen, 2012). De fognails werden van buiten ingezet met gesloten deuren. Uit deze experimenten is gebleken dat de fognails samen met de cold-cutter het beste in staat waren om de temperatuur in de hal snel omlaag te brengen tot onder 150 °C. Wel was er sprake van hernieuwde oplaaiing van het vuur na het beëindigen van de inzet.

## 2.5 Repressieve ventilatie

Repressieve ventilatie is het tijdens een brand verplaatsen van rook en gassen uit een ruimte of gebouw door het inbrengen en verplaatsen van lucht. Ventilatie kan plaatsvinden via natuurlijke ventilatie (door bijvoorbeeld het open zetten van ramen of deuren) maar ook door mechanische ventilatie waarbij voor het verdrijven van de rook een ventilator (figuur 2.4) wordt gebruikt. Bij ventilatie wordt gebruik gemaakt van een in- en uitstroomopening.

Over het toepassen en het gebruik van repressieve ventilatie is veel geschreven (zie bijvoorbeeld Svensson, 2005; Kerber, 2010, 2013; Bengtsson, 2001; Grimwood, 2008). Er is echter weinig wetenschappelijk onderzoek gedaan naar de effecten van repressieve ventilatie. Het beschikbare onderzoek wordt hieronder beschreven.

---

<sup>6</sup> De Restrictor fognails heeft een sproeistraal die een minder ver bereik van circa twee meter en een breedte van circa vijf meter.

<sup>7</sup> De Attack fognails heeft een lange sproeistraal met een bereik van acht meter en een breedte van circa drie meter.



Figuur 2.4: Repressieve ventilator

### 2.5.1 Onderzoek naar het effect van repressieve ventilatie

In 2005 voerden Kerber en Walton een aantal experimenten uit. In die periode werd repressieve ventilatie, ook wel Positive Pressure Ventilation (PPV) genoemd, al veel gebruikt door brandweerkorpsen, maar onder verschillende omstandigheden. Bovendien werd nog niet goed begrepen hoe het werkt. Kerber en Walton voerden praktijkexperimenten uit in een kamer van circa 4x4 meter en 2,5 meter hoog, met een raam en een deur. De kamer werd voorzien van meubilair. Er werden twee experimenten uitgevoerd. Bij het ene experiment werd natuurlijke ventilatie toegepast en in het andere experiment werd PPV toegepast direct na het openen van het raam. Geconcludeerd werd dat het gebruik van PPV leidde tot hogere gastemperaturen in de brandruimte dan met natuurlijke ventilatie. De maximale Heat Release Rate (HRR) werd bereikt na 60 tot 90 seconden na het aanzetten van de ventilator. Na de piek in de HRR curve bleven de gastemperaturen bij gebruik van PPV 200-400 °C lager dan die bij natuurlijke ventilatie. De HRR werd verhoogd door het gebruik van de ventilator. De maximale HRR bij dit experiment was 2 MW, de ventilator veroorzaakte een verhoging van de brandsnelheid van 60 procent. Daarmee werd bevestigd dat het belangrijk is om de uitstroomopening in de ruimte van de brand te maken, zodat alle rookgassen direct naar buiten kunnen.

Een jaar later voerden Kerber en Walton een serie experimenten uit in een betonnen oefengebouw. Het gebouw bestond uit vier ruimten met ramen en een toegangsdeur. De vuurlast bestond hier uit een stapel van zes pallets met droog stro er tussen, waarmee een ventilatiegecontroleerde brand werd gecreëerd. De HRR om flashover te bereiken was 2,25 MW. De brand werd aangestoken en daarna liet men de brand groeien tot maximale temperatuur. Wanneer het zicht substantieel verminderd was, werd de brand geacht in ventilatiegecontroleerde toestand te zijn. Daarna werd er een raam open gezet en werd er ofwel natuurlijk geventileerd ofwel met PPV. Er werden 14 scenario's onderzocht, steeds met de vuurhaard op een andere plaats, een andere positie van de ventilatoren en een andere uitstroomopening. De temperaturen, luchtstroomsnelheden, zuurstofconcentraties en drukverschillen werden gemeten in alle ruimten. Voor de overleefbaarheid werd aangenomen dat de temperatuur 100 °C niet mocht overschrijden<sup>8</sup>. Dit blijkt uit onderzoek door Montgomery in 1975, waarin wordt gemeld dat in vochtige lucht de huid snel verbrandt bij 100 °C en dat bij 150 °C vluchten niet meer mogelijk is. Voor brandweermensen werd uitgegaan van een maximale temperatuur van 300 °C. Dit is gebaseerd op onderzoek (National Fire Protection

<sup>8</sup> De grenswaarde voor overleefbaarheid op basis van temperatuur is afhankelijk van de blootstellingsduur. In het voorliggende onderzoek is aangesloten bij de grenswaarde van 120°C zoals opgenomen in ISO 13751.

Association, 2003) waaruit blijkt dat dit de maximale temperatuur is waar zij met uitruktenue vijf minuten kunnen verblijven.

Een van de uitkomsten van het onderzoek is dat de temperatuur bij PPV hoger blijft dan bij natuurlijke ventilatie. Dit wordt toegeschreven aan het mengen van de warme en koude luchtlagen door de ventilator. Echter, beide leidden tot lagere temperaturen zowel boven als onderin de ruimte bij correcte toepassing van de PPV.

In een ander onderzoek (Svensson, 2001) werden 15 experimenten met verschillende scenario's uitgevoerd in een oefengebouw van beton met een 50 cm diameter bak gevuld met heptaan als brandstof. Deze brandde ongeveer 12 minuten met een HRR van circa 370 kW. In dit scenario werd PPV (2,7 m<sup>3</sup>/s) onderzocht. Uit het onderzoek werd geconcludeerd dat PPV de brand aanwakkert, de massa-afnamesnelheid neemt toe. De werkomstandigheden van brandweermensen werden verbeterd, maar de overleefbaarheid voor slachtoffers nam af, het risico voor branduitbreiding nam juist toe.

## 2.6 Drukluchtschuim<sup>9</sup>

Drukluchtschuim (DLS) is een ingebouwd systeem op de tankautospuiter, met een aparte slanghaspel en straalpijp. Via een tussenmenger in het voertuig wordt schuimvormend middel aan het water toegevoegd. Daarnaast wordt er door middel van een compressor lucht toegevoegd voordat het schuimmengsel de slang in gaat. In de slang vindt het mengproces verder plaats. Door het onder druk toevoegen van lucht ontstaan er kleine luchtbelletjes waardoor het schuim stabiel is dan schuim met grote bellen, hierdoor heeft het schuim een behoorlijke kleefkracht. Het schuimvormend middel is oppervlaktespanningverlagend waardoor het beter indringend vermogen heeft dan water. De compressor voegt ook energie toe waardoor de worplengte positief beïnvloed wordt. Een foto van de toepassing van drukluchtschuim is opgenomen in figuur 2.5.



Figuur 2.5: Drukluchtschuim

In de literatuur zijn een aantal publicaties gevonden die betrekking hebben op de effectiviteit van koeling en blussing met drukluchtschuim.

<sup>9</sup> Een deel van deze teksten is eerder gepubliceerd in het rapport 'Verkoelende experimenten met water en schuim', IFV, 2013.

### 2.6.1 Onderzoek naar het effect van drukluchtschuim

Er is onderzoek gedaan naar rookgaskoeling en blussing met drukluchtschuim. Het onderzoek naar rookgaskoeling met DLS richt zich met name op de offensieve binneninzet. De inzet gebeurt door hete oppervlakken binnen de rooklaag 'te schilderen'. Met andere woorden: koeling gebeurt indirect. De rookgassen worden gekoeld door het verdampen van het water in het DLS. Dit duurt iets langer dan de verdamping van water, dat direct in de rooklaag wordt ingebracht. Grimwood (2008) stelt daarom dat DLS bij een binnenaanval pas effectief kan zijn in het post flashover stadium, dus wanneer de flashover heeft plaatsgevonden en de meeste van de aanwezige rookgassen verbrand zijn.

De Universiteit van Lund (Folkesson & Milbourn, 2008) heeft met een praktijkonderzoek de rookgaskoelende werking van zes verschillende blussystemen onderzocht, te weten DLS One Seven®, CCS Cobra, DSPA, Firexpress, Oertzen en een kleine poederblusser. De systemen zijn getest tijdens een volledig ontwikkelde kamerbrand in een niet-brandbare omgeving (stalen container, 12m x 2,4m). De rookgaskoeling vond plaats door de blusstof van buitenaf, via een raamopening, in de container te brengen. Ongeveer halverwege de container was een wand geplaatst, waardoor de container was opgedeeld in een voorruimte en een brandruimte. De opstelling was zodanig dat het tijdens de rookgaskoeling niet mogelijk was de brandhaard te bereiken met de blusstof. In het praktijkonderzoek zijn twee testen uitgevoerd met 0,3% One Seven® H300 A-schuim<sup>10</sup>. In het onderzoeksrapport staat niet beschreven op welke wijze de rookgaskoeling exact is uitgevoerd. Uit de testen komt naar voren dat de rookgaskoeling met het One Seven® systeem langzamer lijkt te gaan dan met water, maar daar staat tegenover dat het een betere bescherming biedt tegen herontsteking van de brandhaard dan de andere geteste systemen.

In een tweede onderzoek door de Universiteit van Lund (Lyckeback & Öhrn, 2012), is de rookgaskoelende werking van het One Seven® systeem en een Hogedruksysteem onderzocht. Daarvoor zijn twee series One Seven® experimenten uitgevoerd. In de eerste serie experimenten zijn de systemen getest in een niet-brandbare testomgeving. Daarbij is het schuim in twee fasen, beide gedurende 1-5 seconden, op het plafond en een wand gespoten. Eerst in een ruimte naast de brandruimte en vervolgens in de brandruimte waarbij de met schuim bedekte wand tegenover de brandhaard is gesitueerd. Uit het onderzoek blijkt dat het One Seven® systeem door het aanbrengen van een schuimlaag op hete oppervlakken een rookgaskoeling kan realiseren, maar in tijd gemeten is het in vergelijking met water aanzienlijk minder effectief. Nat schuim blijkt geschikter voor het koelen van rookgassen dan droog schuim. Verder blijkt drukluchtschuim in tijd gemeten effectiever wanneer het op het plafond wordt gespoten dan wanneer het op de wanden wordt aangebracht. De tweede serie testen is uitgevoerd in een brandbare omgeving (houten gebouw) en is gericht op het blussend vermogen. De resultaten doen vermoeden dat met drukluchtschuim blussing op veilige afstand mogelijk is, maar dat rookgaskoeling slechts beperkt mogelijk is, en minder goed dan met water. Lyckeback en Öhrn concluderen daarom dat effectief gebruik van DLS wel mogelijk is door vanuit een compartiment naast het brandcompartiment het vuur te bestrijden of het brandcompartiment intact te houden, mits er niet teveel rookgassen in het compartiment waar de straalpijpvoerder zich bevindt, verspreid worden. Door de grote worplengte van 15 tot 20 meter lijkt DLS voor deze toepassing (de defensieve binnenaanval) geschikt. Omdat bij een offensieve binneninzet rookgaskoeling een essentieel onderdeel is van de procedure, lijkt DLS daarvoor minder geschikt dan water.

<sup>10</sup> Het One Seven® 300T systeem maakt gebruik van twee luchtcilinders met elk een druk van 300 bar. De druk van de cilinders zorgt bij een gesloten nozzle voor een druk van 8 bar in de slang. Bij een open nozzle wordt een nozzledruk van 1 bar bereikt. Bij een open nozzle en een watertoevoer van 42 l/min wordt 320 l schuim per minuut geproduceerd. De schuimvorming in het CAF systeem is zeer homogeen, wat betekent dat het schuim is zeer stabiel en van goede kwaliteit. De techniek kan gebruikt worden voor oppervlaktekoeling bij zowel klasse A en klasse B branden. Voor klasse A schuim is de mengverhouding 0,3%, voor klasse B schuim 0,5% en voor alcoholbestendig B-schuim 0,6%. Voor het creëren van natschuim is de expansievoud 1:7 en voor het creëren van droogschuim is de expansievoud 1:21.

In tegenstelling tot de Zweedse onderzoeken stellen Delichatsios, O'Neill, & Zhang (2011) dat het drukluchtschuimsysteem effectiever is dan waternevel. Het geteste drukluchtschuimsysteem is een pomp met geïntegreerd CAF-systeem met een watertoevoer van maximaal 8 l/min en een luchttoevoer van 1400 l/min bij 7 bar. In de test is gebruik gemaakt van 0,5% klasse A schuim (Angus Forexpan S). In een container van 12m x 2,4m is een vergelijkende test uitgevoerd met een brandstofgecontroleerde brand, waarbij bij een temperatuur van 350 °C werd gestart met rookgaskoeling. De brandweerlieden betraden daarbij de brandruimte en 'attacked the fire'. Hoewel de titel<sup>11</sup> van de onderzoekspublicatie suggereert dat er onderzoek is gedaan naar de rookgaskoeling, zijn er op basis van de onderzoeksbeschrijving sterke aanwijzingen dat er sprake was van een blussing waarbij de rookgastemperatuur is gemeten gedurende een blusactie. De auteur stelt in de conclusies dat er bij de toepassing van het drukluchtschuimsysteem sprake was van een snelle rookgaskoeling, waardoor de flashovercondities ongedaan werd gemaakt, en dat de brandweerlieden in de brandruimte konden verblijven totdat de brandhaard gedoofd was. Bij de inzet met waternevel moesten de brandweerlieden vanwege verminderd zicht, hoge temperatuur en stoomvorming zich gedurende de experimenten terugtrekken.

Echter, deze daling van de rookgastemperatuur lijkt voornamelijk veroorzaakt door de knockdown van de brand, waardoor toevoer van nieuwe hete rookgassen voorkomen werd. Er zijn in het rapport geen aanwijzingen gevonden dat DLS een beter rookgaskoelend vermogen heeft dan water, bij het uitsluitend koelen van de rookgassen.

Wat betreft het onderzoek naar blussing wordt veelal geconcludeerd dat DLS effectief is in blussing.

Crampton en Kim (2009) vergeleken de bluswerking van drukluchtschuim, regulier schuim en water. Zij voerden blusexperimenten uit in een testruimte van 38 m<sup>2</sup> met wanden van gips waarin een vuurlast bestaande uit hout en een bankstel (5,6MW) tot ontbranding werden gebracht. Nadat de flashover had plaatsgevonden werd de blussing gestart. De conclusie was dat drukluchtschuim de snelste knockdown van de drie blusmiddelen bewerkstelligde, en dat toevoegen van een schuimvormend middel aan water effectiever blust dan water alleen.

Zoals hierboven beschreven, hebben Lyckeback en Öhrn, (2012) experimenten uitgevoerd naar het rookgas koelend vermogen van DLS ten opzichte van water. Voorafgaand aan het onderzoek hebben ze een uitgebreide literatuurstudie gedaan. Uit verschillende onderzoeken (o.a. Tinsley, 2002; Folkesson en Milbourn, 2008; Taylor, 1997; Persson, 2005) trekken zij de conclusie dat het blussend vermogen van DLS groter is dan van water, en herontsteking later of in het geheel niet optreedt.

Ook Richards (2003) concludeert dat DLS beter blust dan water. Hij geeft aan dat met 0,2% DLS<sup>12</sup> viermaal sneller een temperatuur van 200 °C gecreëerd kan worden (aangeduid als knockdown) ten opzichte van water<sup>13</sup>.

De universiteit van Karlsruhe deed onderzoek naar de bluscapaciteiten van One Seven, een van de soorten DLS. Zij concluderen dat DLS beter is dan andere blusmiddelen bij het bestrijden van de brandhaard.

Grimwood (2008) geeft in een artikel in Firetactics.com een overzicht van de literatuur. Ook hij concludeert uit de literatuur dat DLS een effectiever blussysteem is dan water, maar waarschuwt ervoor dat bij binnenbrandbestrijding ook de rookgassen in acht moeten worden genomen.

Ook bij praktijkexperimenten naar de offensieve buiteninzet met diverse blustechnieken (Dikkenberg & Groenewegen, 2012) blijkt dat DLS beter in staat is een knockdown te creëren dan water. Ook is er in de experimenten, in tegenstelling tot een inzet met water, geen sprake geweest van herontstekingen.

<sup>11</sup> Assessment of gas cooling capabilities of Compressed Air Foam Systems in fuel- and ventilation controlled compartment fires

<sup>12</sup> 0,341m<sup>3</sup>/min water en 189 ltr/sec lucht

<sup>13</sup> 0,341m<sup>3</sup>/min water

## 2.7 Hoge druk (HD) en lage druk (LD)

Bij het Hogedruksysteem wordt water onder een pompdruk van circa 25-30 bar en een dynamische werkdruk van 7 bar, via een 19 mm (inwendig) slang 115 liter per minuut aan water via een straalpijp de ruimte in gebracht. In dit rapport zijn inzetten met Hogedruksysteem afgekort als HD. Een voorbeeld van HD is te zien in figuur 2.6.

Bij het Lagedruksysteem wordt water onder een pompdruk van circa 7-8 bar en een dynamische werkdruk van 7 bar, via een 52 mm (inwendig) slang 230 liter per minuut aan water via een straalpijp de ruimte in gebracht. In dit rapport zijn inzetten met het Lagedruksysteem afgekort als LD. Een voorbeeld van LD is te zien in figuur 2.7.



Figuur 2.6: Hoge druk



Figuur 2.7: Lage druk

Van belang voor de rookgaskoeling en blussing met water zijn vooral de gebruikte straalpijptechnieken, de hoeveelheid water (flow rates), de druppelgrootte en een goede karakteristiek van de nevel of gebonden straal in relatie tot de omvang van de brand. Hiernaar is veel onderzoek gedaan, met name in het kader van de offensieve binneninzet. Omdat het in dit onderzoek vooral gaat over de offensieve buiteninzet technieken zal op deze literatuur hier niet uitgebreid worden ingegaan.

## 2.8 Conclusie

Hoewel er veel onderzoek is gedaan naar de inzettechnieken, is er weinig specifiek onderzoek gedaan naar de offensieve buiteninzet. Er zijn wel een groot aantal onderzoeken naar praktijkervaringen of resultaten van experimenten gevonden, waarbij gezegd dient te worden dat deze ervaringen grotendeels slecht gedocumenteerd zijn. Daarbij gaat het met name om details van de onderzoeksopzet en de toepassingswijze.

# 3 Onderzoeksopzet

## 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de opzet van het praktijkonderzoek besproken. Allereerst wordt er een kort overzicht gegeven van de (kenmerken van de) onderzochte blustechnieken. Daarna is er aandacht voor de deelnemers van de experimenten. Vervolgens wordt er nader ingegaan op het onderzoeksobject, de gemeten grootheden, de vuurlast, de brand, de onderzoeksmethode, de gedetailleerde uitvoering van de rookgaskoeling, de uniformiteit van condities tijdens de experimenten en analyse van de data.

In het praktijkonderzoek is gekeken naar de mogelijkheden van de technieken om:

1. van buitenaf de temperatuur in alle ruimten voldoende te koelen zodat er een veilige route naar de brandruimte ontstaat om deze af te blussen
2. de brand van buitenaf te blussen
3. de omstandigheden voor overleefbaarheid van slachtoffers te verbeteren.

Hoewel er geen eenduidige grenstemperatuur voor de rookgaslaag is aan te geven waarop iedere binneninzet veilig kan worden uitgevoerd, wordt in deze proefopzet aangenomen dat een temperatuur van 150 °C in deze situatie een veilige temperatuur is om het gebouw te kunnen betreden voor een binneninzet. Het directe gevaar is daarbij niet zozeer de hitte voor de aanwezige brandweermensen, maar de, al dan niet explosieve, plotselinge ontbranding van de rookgaslaag. Er wordt verondersteld dat zelfontbranding in elk geval bij deze temperatuur niet plaatsvindt (ook niet bij branden in huidige interieurs waarbij veel kunststoffen aanwezig zijn). Deze aanname wordt versterkt doordat de rookgassen in contact staan met de ontstekingsbron en niet zijn ontbrand. Verder wordt aangenomen dat de rookgassen niet ontbranden omdat er water in de rookgassen is gebracht door de inzet, waardoor het aannemelijk is dat de rookgassen niet zullen ontbranden bij 150 °C.

Voor de omstandigheden voor slachtoffers wordt uitgegaan van een grenstemperatuur van 120 °C. Purser (2002) geeft aan dat dergelijke omstandigheden voor mensen fataal zijn<sup>14</sup>.

## 3.2 Onderzochte blustechnieken

Zoals in hoofdstuk 2 reeds besproken is heeft het expertteam een keuze gemaakt voor het onderzoeken van zeven technieken. De keuze voor deze technieken is mede gebaseerd op de resultaten van het eerder uitgevoerde experiment voor de offensieve buiteninzet (OBI1) (Van den Dikkenberg & Groenewegen, 2012). Het betreft:

- > Coldcutter (CC)
- > Nevelkogel (NK)
- > Fognails (FN)
- > Repressieve ventilatie (RV)
- > Drukluchtschuim (DLS)
- > Hoge Druk (HD)
- > Lage Druk (LD)

---

<sup>14</sup> Ook factoren als straling, luchtvochtigheid, aanwezigheid van giftige gassen en dergelijke spelen een rol bij overleefbaarheid. Deze worden echter in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten omdat ze niet gemeten zijn.

Naast genoemde technieken die specifiek zijn bedoeld voor de offensieve buiteninzet (CC, FN, NK en evt. RV), is ook het effect van drukluchtschuim (DLS), hoge druk (HD) en lage druk (LD) onderzocht. Hierbij is wel uitgegaan dat zij worden gebruikt als offensieve buiteninzet techniek, dus vanuit de deuropening zonder binnen te treden.

Alle technieken zijn vijf maal getest. Een uitzondering hierop is DLS, welke drie maal getest is. Eenmaal mislukte een test met DLS. Deze test werd tijdens de opwarmfase afgebroken omdat de brand niet vergelijkbaar was met eerdere branden. Vanwege de tijd die nodig was om de container na de inzet te reconditioneren na de inzetten met DLS bleek een vijfde test binnen de beschikbare tijd niet haalbaar.

In tabel 3.1 zijn de kenmerken van de gebruikte technieken weergegeven.

Tabel 3.1: Kenmerken technieken

Blustechniek	Merk/type blusmiddel	Straalpijp	Debiet en kegelhoek	Gebruikte pompdruk	Dynamische werkdruk
CC	Water <sup>15</sup>	Lange Cobralans	60 l/min kleine kegelhoek <sup>16</sup>	290 bar	260 bar
NK	Water	Geen straalpijp aanwezig, wel een afsluiter op de nevelkogel	750/1500 l/min afhankelijk van type. <sup>17</sup>	7-10 bar lage druk	Geen straalpijp aanwezig; Nevel
FN	Water	Offensief	70 l/min	35 bar	10 bar
RV	Leader MT236	Honda GX160 benzine motor	Bruto opbrengst 43.100 m <sup>3</sup> / h		
DLS	A-klasse OneSeven van Schmiets Bijmengpercentage 0,4%	Reguliere DLS-straalpijp	133 l/min gebonden straal <sup>18</sup>	8 bar	7 bar
HD	Water	Akron 1711	125 l/min 30°	25 bar	7 bar
LD	Water	Akron 1720	230 l/min 30-35°	7 bar	7 bar

CC = Coldcutter; NK = Nevelkogel; FN = Fognails; RV = Repressieve ventilatie; DLS= Druluchtschuim; HD = Hoge druk; LD = Lage druk.

De technieken zijn toegepast zoals weergegeven in tabel 3.2.

<sup>15</sup> Voor het snijden wordt gebruik gemaakt van water met Abrasief.

<sup>16</sup> Exacte kegelhoek is niet bekend.

<sup>17</sup> Kegelhoek niet bekend, nevelkogel geeft waternevel in een ronde vorm.

<sup>18</sup> Bij de DLS straalpijp is het niet mogelijk om een kegelhoek in te stellen. De straalpijp produceert een volstraalbundel.



Tabel 3.2: Inzetwijze per techniek

Techniek	
Coldcutter (CC)	De coldcutter werd gedurende één minuut continu vanaf de toegangsdeur rechtuit ingezet via een kleine opening in de deur (de deur zelf bleef dicht) ter hoogte van de schouder.
Nevelkogel (NK)	De nevelkogel werd gedurende één minuut continu vanaf de toegangsdeur ingezet via een kleine opening in de deur (de deur zelf bleef dicht) ter hoogte van de schouder.
Fognails (FN)	De fognails werden gedurende één minuut continu vanaf de toegangsdeur ingezet via een kleine opening in de deur (de deur zelf bleef dicht) ter hoogte van de schouder. De lens werd langzaam beperkt horizontaal oscillerend bewogen.
Repressieve ventilatie (RV)	De ventilator werd voor de toegangsdeur (1,18 x 2,18 m) geplaatst en gedurende één minuut continu ingezet waarbij voor het creëren van een luchtstroom richting de brandruimte een deur (93 x 219 cm) in de brandruimte naar buiten werd opengezet. De deur bleef open. In dit experiment is gebruik gemaakt van een motor aangedreven ventilator die op een dusdanige afstand van de deuropening werd geplaatst dat de luchtstroom de gehele deuropening afdekte.
Drukluchtschuim (DLS)	Bij DLS is de inzet uitgevoerd door de toegangsdeur te openen om in de ruimte de shots te geven met een gebonden straal, gericht in de rookgaslaag. De shots bestonden uit een waaierende beweging (halve maan) gedurende circa 5 seconden waarbij schuim in de rookgaslaag en op de wanden en plafonds werd aangebracht. Tussen de shots bleef de deur open. De inzetijd bedroeg één minuut.
Hoge druk (HD)	De inzet met hoge druk is uitgevoerd conform de reguliere procedure van rookgaskoeling, zoals door CFBT International wordt gedoceerd. De toegangsdeur wordt geopend en twee lange pulsen (circa 3 seconden) werden gegeven met de straalpijp in een kegelhoek van circa 30 graden onder een hoek van 30-50 graden, in de rookgaslaag. Tussen de pulsen werd de deur weer gesloten. De inzetijd bedroeg één minuut in totaal waarin 3x2 pulsen zijn gegeven.
Lage druk (LD)	De inzet met lage druk is uitgevoerd conform de reguliere procedure, waarbij de toegangsdeur geopend werd en twee langere pulsen (enkele seconden) werden gegeven met de straalpijp in een kegelhoek van circa 30 graden onder een hoek van 45 graden, in de rookgaslaag. Tussen de pulsen werd de deur weer gesloten. De inzetijd bedroeg één minuut in totaal waarin 3x2 pulsen zijn gegeven.

De inzettechnieken zijn uitgevoerd door brandweermensen uit de deelnemende regio's die zijn opgeleid en getraind voor de toepassing van de betreffende techniek:

- > Coldcutter: Brandweerregio Amsterdam-Amstelland
- > Nevelkogel: Brandweerregio Brabant Noord
- > Fognails: Brandweerregio Utrecht
- > Repressieve ventilatie: Brandweerregio Twente
- > Drukluchtschuim: Brandweerregio Zaanstreek-Waterland
- > Hoge druk en lage druk: CFBT gecertificeerde instructeurs.

### 3.3 Gemeten grootheden

Tijdens de experimenten is er gemeten op temperatuur, zijn tijden geregistreerd, is het waterverbruik vastgelegd en is het (visueel) beeld van de situatie binnen beoordeeld.

### 3.3.1 Temperatuur

Voor het bepalen van het koelend vermogen is de energie in een ruimte een belangrijke parameter. De temperatuur is daarvan een afgeleide. Door de omstandigheden (brand, uitgangssituatie containers) hetzelfde te houden is verondersteld dat de energie-inhoud telkens hetzelfde is geweest, waardoor de temperatuurmetingen als afgeleide een goed beeld van het koelend effect geven. Tijdens alle experimenten zijn de temperaturen in de verschillende ruimten gemeten. Daaruit zijn de volgende gegevens bepaald:

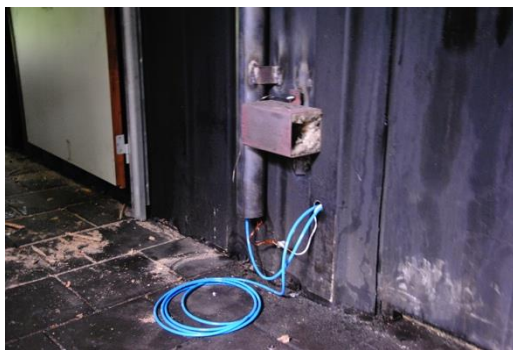
- > Het temperatuurverloop tijdens het experiment op verschillende plaatsen in de ruimten
- > De temperatuur in elke ruimte bij start van de inzet
- > De minimale temperatuur in elke ruimte na de inzet.

Voor de temperatuurregistratie werd gebruik gemaakt van 12 thermokoppels op verschillende plaatsen in het pand werden bevestigd. Om te kunnen onderzoeken wat het effect van de blustechnieken op de temperatuur in het kader van overleefbaarheid van mogelijke slachtoffers is, zijn op twee plaatsen in het object fictieve slachtoffers gepositioneerd. In figuur 3.3 is de locatie van de thermokoppels weergegeven.

De specificaties van de thermokoppels zijn:

- > Type K-270 L221152-034 K (chromel / alumel) standaard NF EN 60584-2
- > Max temperatuur 1150 °C
- > gevoeligheid -40 tot 333 °C:  $\pm 2,5$  °C; van 333 °C tot 1200 °C  $\pm 0,0075 \times T$  °C.

De thermokoppels (figuur 3.1) werden gekoppeld aan een datalogger met een meetprogramma. Hierdoor waren alle temperaturen ter plaatse beschikbaar.



Figuur 3.1: Thermokoppels



Figuur 3.2: Afscherming thermokoppels

Alle thermokoppels zijn afgeschermd zodat niet de straling, maar alleen de stromingswarmte van de rookgassen gemeten wordt (zie figuur 3.2). Deze afscherming is uitgevoerd in de vorm van een hol vierkant blok voorzien van een isolerende binnenlaag. De zijken van het blok zijn open. Om te voorkomen dat blusmiddel de thermokoppels kan raken, zijn de open kanten dwars op de richting van het blusmiddel geplaatst. Een uitzondering hierop vormt thermokoppel 12, deze thermokoppel was niet afgeschermd zodat deze tevens de stralingswarmte meet bovenin de ruimte. De thermokoppels 2, 4, 6, 7, 8, 10, 11 en 12 bevinden zich 10 cm onder het plafond en meten de temperatuur van de rookgaslaag in de verschillende ruimtes.

### 3.3.2 Tijdsduur

De parameter met betrekking tot tijd was de snelheid van temperatuurdaling tot het bereiken van de grenswaarde van 150 °C. Verder is de tijdsregistratie vooral gebruikt om het testprotocol uit te kunnen voeren: er werd telkens een minuut ingezet, waarna 30 seconden tijd beschikbaar was om de volgende inzet te bepalen.

Er was sprake van een synchrone tijdsregistratie met de temperatuurmeting en het waterverbruik.

### 3.3.3 Waterverbruik

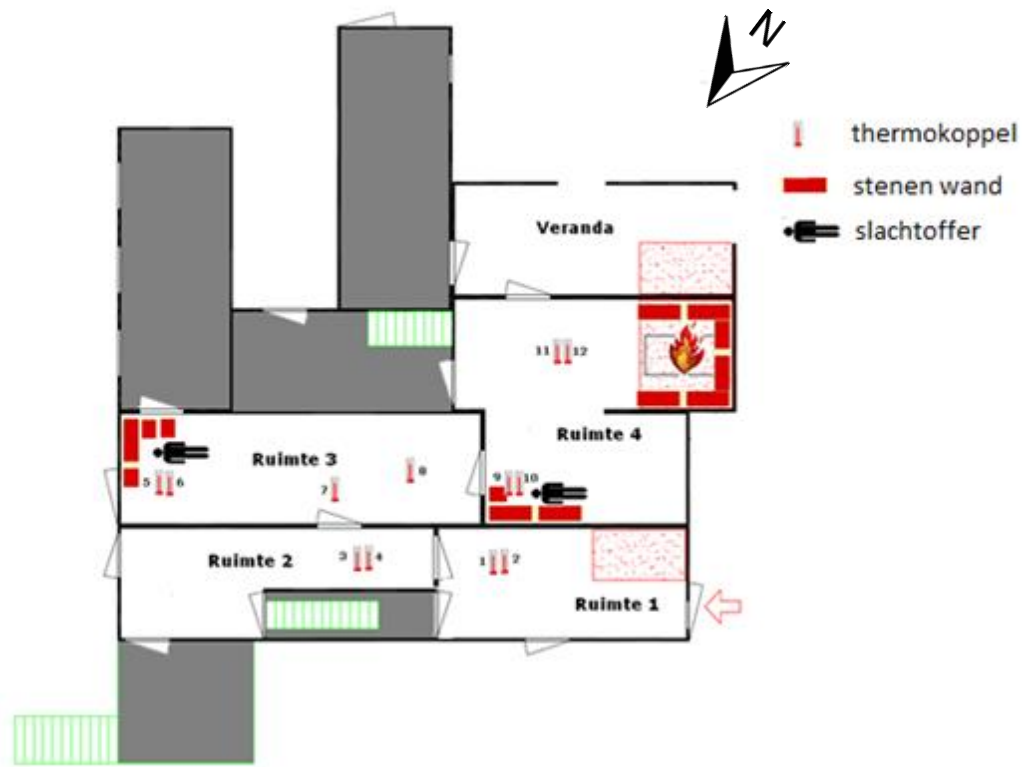
De parameter met betrekking tot waterverbruik was de hoeveelheid verbruikt water per inzet. Het waterverbruik werd gemeten met behulp van een analoge watermeter. Het waterverbruik werd gemeten door de watermeter te plaatsen tussen de hydrant en de tankautospuit. De waterstanden werden genoteerd voorafgaand aan het experiment en na iedere inzet.

### 3.3.4 Visueel beeld

Het visuele beeld is vastgelegd om eventuele bijzonderheden die zich tijdens de inzet voordeden te kunnen onderzoeken. De inzetploeg en waarnemers aan de buitenzijde zijn gevraagd om achteraf direct na de inzet middels een kort interview hun ervaringen en waarnemingen te delen.

## 3.4 Onderzoeksobject

De experimenten zijn uitgevoerd op brandweeroefencentrum Troned. Het object is een gebouw bestaande uit geschakelde (zee)containers. Met het object wordt een appartement gesimuleerd, waarbij toegang uitsluitend mogelijk is via de voordeur. Er is een brand gemaakt achterin het appartement, in ruimte 4. De brandruimte is daardoor niet direct bereikbaar (zie Figuur 3.3).



Figuur 3.3 Layout onderzoeksobject

Het onderzoeksobject is opgedeeld in vier aaneengeschakelde ruimten waarin thermokoppels zijn aangebracht. De afmetingen van de ruimten zijn:

- > Ruimte 1: 2,35 x 5,35 meter (12,6 m<sup>2</sup>)
- > Ruimte 2: 2,35 x 6,8 meter (trapopgang afgesloten: 4,85 x 1 meter) (11,1 m<sup>2</sup>)
- > Ruimte 3: 2,45 x 7,45 meter (18,3 m<sup>2</sup>)
- > Ruimte 4: 5,85 x 4,7 meter (27,5 m<sup>2</sup>).

De hoogte in de containers was overal 2,3 meter. De ingang deur was 118 x 218 cm; de overige deuren 92 x 213 cm. Het totale oppervlak van de vier containers bedroeg 70 m<sup>2</sup>, het volume 161 m<sup>3</sup>.

Het onderzoeksobject kon op verschillende manieren worden ingedeeld zodat verschillende lay-outs van gebouwen ontstonden. Zie hiervoor paragraaf 3.6.

### 3.5 Vuurlast en startcriterium

De vuurlast bestond uit hout en een blok polyetherschuim. Het toevoegen van het polyetherschuim was bedoeld om een zo realistisch mogelijke situatie te scheppen voor een woningbrand. De vuurlast bestond uit:

- > Negen pallets van 121 cm x 102 cm x 12 cm (circa 167 kg vuren hout)
- > Eén schuimmatras<sup>19</sup> (afmeting 100 cm x 100 cm x 21 cm)
- > Drie platen spaanplaat (afmeting 120 cm x 100 cm x 1,2 cm)
- > Eén liter aanmaakvloeistof.

De vuurlast werd als volgt opgebouwd: onderop lagen vijf pallets, vervolgens een plaat spaanplaat, vervolgens de schuimmatras, daarop weer een spaanplaat, daarop vier pallets en ten slotte nog een spaanplaat. Zie ook figuur 3.4.



Figuur 3.4: Opbouw vuurlast

Deze vuurlast betreft circa 3200 MJ (circa 192 kg vuren hout equivalent) met een gemiddeld brandvermogen over 20 min van 2,5 MW. De vuurlast bevond zich op een oppervlakte van circa 4 m<sup>2</sup> in het scenario woonkamerbrand.

Het ontsteken van de brand gebeurde volgens een vast protocol dat tijdens uitgevoerde pre-testbranden is bepaald. De helft van de aanmaakvloeistof werd over twee aansteekstroken zachtboard verspreid. De overige hoeveelheid aanmaakvloeistof werd over de onderste vier pallets gesprekend. Vervolgens werden de aansteekstroken aangestoken en onder de pallets geschoven. Door middel van het openen en sluiten van ventilatieopeningen voorafgaand aan het experiment werd geprobeerd een zo identiek mogelijke brand te creëren. Daarbij

<sup>19</sup> HR-polyetherschuim, firma Recticel, schuimtype R37130, dichtheid 33-36 kg/m<sup>3</sup>. De basis voor polyetherschuim is polyurethaan. Polyether wordt vooral gebruikt voor zetelvulling en matrassen.

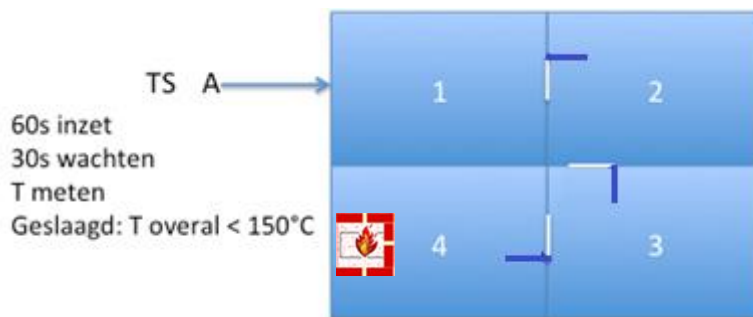
was het doel een zo hoog mogelijke temperatuur in ruimte 4 én een ongeveer gelijke, verdichte, rookgaslaagdikte in de verschillende ruimten te verkrijgen. Nadat de brand was ontstoken moest de temperatuur in ruimte 4 ongeveer constant bleef (gestreefd werd naar 550 °C) en de rookgaslaag een voldoende dikte én verdichting had én de temperatuur in ruimte 1 zo hoog mogelijk was, werd de eerste inzet gestart. In de praktijk werd de temperatuur in ruimte 1 dan maximaal rond 130 °C.

### 3.6 Testprotocol

Bij een offensieve buiteninzet wordt de blustechniek vanaf buiten het gebouw toegepast. Het doel is om de temperatuur in het gebouw op alle plaatsen zodanig te verlagen dat een veilige inzet mogelijk is. Voor de eerste experimenten werd gebruik gemaakt van het gehele object met vier aaneengesloten ruimten, gebouw I. Alle onderzochte technieken zijn per gebouw gedurende 60 seconden ingezet. Verondersteld werd door betrokken onderzoekers en expertgroepleden dat een inzetduur van 60 seconden tot een afdoende resultaat zou leiden vanwege de verhouding brandstof en ingebracht water. In alle gevallen stonden de deuren tussen de ruimten van het gebouw open om zodoende een open verbinding tussen de toegangsdeur en de brandruimte te creëren. Afgesproken is dat bij onvoldoende resultaat vervolgens dezelfde brand gebruikt werd om te experimenteren met inzetten in gebouwen met minder ruimten (II, III en IV). Het testprotocol wordt hieronder toegelicht.

#### 3.6.1 Offensieve inzet in een gebouw met vier ruimten

Gebouw I bestaat uit alle vier de ruimten van het oorspronkelijke gebouw, waarbij er wordt ingezet op punt A in figuur 3.5. In dit eerste experiment werd gemeten wat het effect was op de temperaturen in alle ruimten van gebouw I.



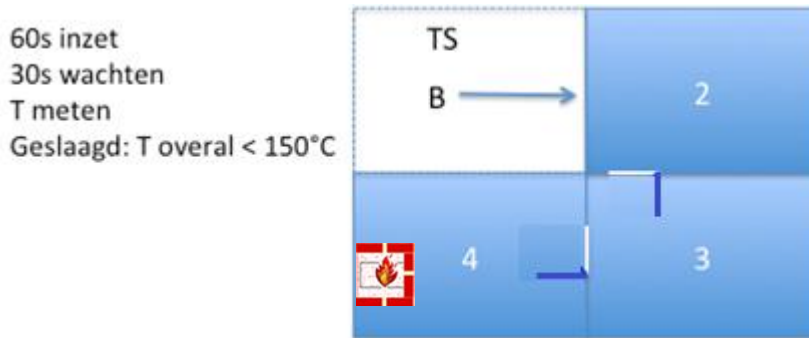
Figuur 3.5: Gebouw I: schematische situatie bij de start van de experimenten

Er werd een minuut ingezet op punt A. Vervolgens werd er gedurende deze minuut gekeken of de temperatuur in ruimte 4 onder de 150 °C was gekomen (op tk 10). In dat geval was de offensieve buiteninzet voor gebouw A geslaagd.

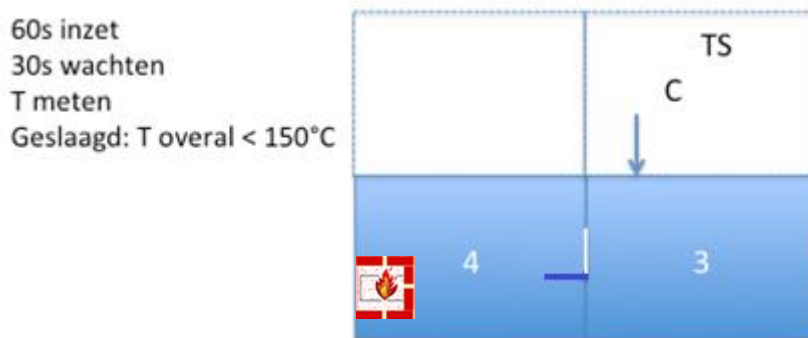
#### 3.6.2 Offensieve buiteninzet op gebouw II, III en IV

Wanneer de temperatuur in de brandruimte (ruimte 4) bij de inzet vanaf punt A boven 150 °C bleef dan werd de inzet beschouwd als *niet voldoende effectief*. De vraag bleef dan open of een configuratie met minder ruimten wel zou leiden tot een voldoende effectieve inzet. Om die vraag te beantwoorden werden de experimenten voortgezet met dezelfde branden om te bezien in welke eenvoudigere en kleinere gebouwconfiguratie wel alle ruimten met een inzet van buitenaf (buiteninzet technieken) onder de 150 °C kon worden gebracht. Daarbij waren drie gebouwconfiguraties mogelijk, namelijk gebouw II (3 ruimten), III (2 ruimten) en IV (1 ruimte), waarbij het gebouw telkens één ruimte minder had. Deze 'gebouwen' werden gecre-

eerd door de deur van de voorgaande ruimte(n) open te laten en deze ruimte(n) te ventileren. Daardoor werd een nieuwe inzetlocatie gecreëerd die als 'buiten' beschouwd kon worden. Er ontstond dus een eenvoudiger gebouw met minder ruimten waarop de inzet werd herhaald. De gebouwen zijn weergegeven in figuur 3.6, 3.7 en 3.8.



Figuur 3.6: Schematische situatie gebouw II met inzet vanaf punt B



Figuur 3.7: Schematische situatie gebouw III met inzet vanaf punt C



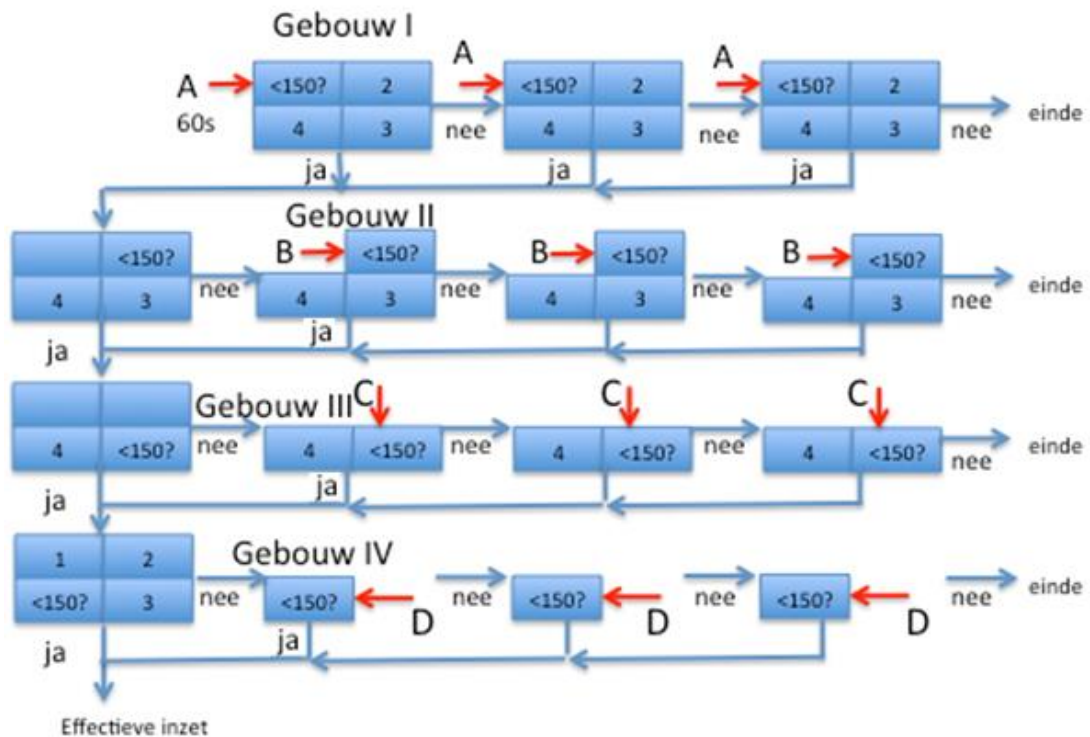
Figuur 3.8: Schematische situatie gebouw IV met inzet vanaf punt D

De keuze op welk gebouw werd ingezet, was afhankelijk van de effecten van de eerste inzet op gebouw A (zie 3.6.1). Er werd ingezet op de eerstvolgende ruimte waar de temperatuur na de eerste minuut inzetten boven de 150 °C was. Hierbij werd gekeken naar de thermokoppels 4, 7 en 10. De tweede inzet kon plaats vinden op gebouw II, III of IV, afhankelijk van de bereikte temperaturen na de eerste inzet.

De tweede inzet werd uitgevoerd zoals de eerste: gedurende een minuut, met als doel de temperatuur in ruimte 4 onder de 150 °C te krijgen. Ook nu werd gekeken naar het resultaat voor de vervolgtesten, conform bovenstaande procedure. Indien de ruimte waarop rechtstreeks werd ingezet (ruimte 2 bij gebouw II, ruimte 3 bij gebouw III en ruimte 4 bij gebouw IV) niet onder de 150 °C kwam, werd opnieuw een poging op dezelfde ruimte uitgevoerd,

met een maximum van drie pogingen van een minuut op dezelfde ruimte. Daarna werd het experiment beëindigd.

Het bovenstaande is gevisualiseerd in het onderzoeksprotocol welke is weergegeven in figuur 3.9.



Figuur 3.9: Schematische weergave onderzoeksprotocol

Daarbij dient te worden opgemerkt dat dezelfde branden opnieuw zijn gebruikt, en daardoor verschillende startsituaties voor de overige inzetten ontstaan. Hierdoor is een vergelijking tussen de technieken niet mogelijk en wordt uitsluitend het verloop van de inzet beschreven.

### 3.7 Uniformiteit van de testcondities

De beschreven procedure van opbouwen, aansteken en monitoren van het brandverloop is gevolgd om er voor te zorgen dat iedere startsituatie zoveel mogelijk identiek en het experiment op een vergelijkbare, uniforme wijze werd uitgevoerd (zie voor de reproduceerbaarheid van de experimenten bijlage B). Zo was sprake van pallets uit één levering, die onder gelijke condities voorafgaand aan het experiment werden opgeslagen. Hetzelfde geldt voor de gebruikte schuimmatrassen, spaanderplaten en aanmaakvloeistof. Om continuïteit en eenduidigheid te garanderen, is met dezelfde stokers gewerkt.

De inzet is uitgevoerd volgens een gestandaardiseerde methode, die in overleg met de expertgroep tot stand is gekomen. Per techniek werd telkens dezelfde straalpijpvoerder ingezet. Na iedere inzet werd de ruimte gereconditioneerd. Hiervoor zijn de volgende handelingen verricht:

- > Het verwijderen van de brandresten uit de brandruimte
- > Het verwijderen van het blusmiddel uit de brandruimte
- > Het koelen van de muren en lucht tot de hoogste thermokoppel een temperatuur aangaf lager dan 100 °C.

Bij het reconditioneren werd gebruik gemaakt van onder andere een repressieve ventilator en trekkers om de blusstof te verwijderen om zodoende de ruimte zoveel als mogelijk terug te brengen in de oorspronkelijke staat. Omdat aan het begin van de dag de container, in tegenstelling tot de inzetten later op de dag, koud en veelal droog was, is aan het begin van iedere dag een proefbrand gemaakt om de container op te warmen. Deze brand werd afgeblust om een vergelijkbare luchtvochtigheid en energie-inhoud van de constructie te creëren.

Er waren twee aspecten die niet uniform waren tussen de experimenten. Ten eerste waren de meteorologische omstandigheden gedurende de week waarin het onderzoek plaatsvond niet constant. Op sommige dagen of momenten van de dag was er sprake van meer of minder wind, wel of geen regen en verschillende temperaturen. Analyse van de meteogegevens van het KNMI-station op Troned<sup>20</sup> laat zien dat er verschillen zijn. Dit is bij praktijkexperimenten in de open lucht helaas onoverkomelijk. De invloed hiervan op de resultaten is onbekend.

De weersomstandigheden op de dagen waarop het onderzoek plaatsvond zijn terug te vinden in tabel 3.3.

Tabel 3.3: Meetgegevens KNMI-station Twente (290)<sup>21</sup>

Datum	Uitgevoerde testen	Windrichting (°)	Windsnelheid <sup>22</sup> (m/s)	Temperatuur <sup>23</sup> (°C)	Neerslag <sup>24</sup> (mm)	Duur neerslag (uren)	Relatieve vochtigheid <sup>25</sup> (%)	Gemiddelde luchtdruk (hPa)
13 mei	HD2, HD3, HD4	ZW (214°)	4.5	10.5	2.4	7.3	84	1011.0
14 mei	HD5, LD1, CC1, CC4, CC5, CC6, CC7	ZZW (200°)	4.0	10.0	0.8	0.5	78	1007.7
15 mei	NK1, NK2, NK3, NK4, NK5, LD2, LD3, HD6, RV1, RV2, RV3, RV4, RV5,	Z (178°)	3.0	11.9	0.8	3.0	84	1000.8
16 mei	FN1, FN2, FN3, FN4, LD4, LD5, FN5	NO (44°)	3.0	13.2	7.5	3.4	85	998.9
17 mei	DLS 1, DLS 2, DLS 4	W (275 °)	2.9	10.8	2.6	3.5	94	1002.0

Een tweede aspect waarop de experimenten afweken van elkaar, waren de ventilatiecondities in de fase tussen aansteken en inzetten. Uit eerdere experimenten is gebleken dat een vast tijdschema voor het openen en sluiten van ventilatieopeningen niet leidt tot identieke branden. De brandontwikkeling wordt onder andere beïnvloed door omgevingstemperatuur,

<sup>20</sup> Locatie vliegveld Twente.

<sup>21</sup> KNMI, <http://www.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/index.cgi>

<sup>22</sup> Etmaalgemiddelde.

<sup>23</sup> Idem.

<sup>24</sup> Etmaalsom.

<sup>25</sup> Etmaalgemiddelde.



luchtvochtigheid, windkracht en -richting. Hierdoor is het lastig om buiten een laboratorium-omgeving, ondanks de identieke vuurlast, telkens exact dezelfde brandontwikkeling te realiseren. Om de juiste temperatuur te bereiken is daarom besloten om op basis van waarneming door experts in de opstartfase de ventilatiecondities aan te passen aan de op dat moment ontwikkelende brand, tot de condities beschreven in paragraaf 3.5 en 3.6 waren bereikt. Op deze wijze werd een zo identiek mogelijke brand geprobeerd te creëren. Vanaf dat moment werd het vastgestelde protocol voor het bereiken van de startconditie gevolgd.

### 3.8 Wijze van data-analyse

Na afloop van de praktijkexperimenten zijn de data van de thermokoppels, de tijds- en waterregistratie, de ervaringen uit de interviews, de bijzonderheden uit het logboek en het visuele beeld dat met camera's was vastgelegd beoordeeld en geanalyseerd.

Voordat de effecten van de technieken beoordeeld zijn, is eerst onderzocht in hoeverre de resultaten van de vijf uitgevoerde experimenten per inzettechniek overeen kwamen. Als blijkt dat de vijf experimenten met één techniek wat betreft de resultaten grotendeels met elkaar overeenkomen, dan zegt dit iets over de reproduceerbaarheid<sup>26</sup> van het onderzoek en daarmee over de mogelijkheid om betrouwbare uitspraken te doen over de onderzochte techniek. Om de verschillen te analyseren is een significantietoets uitgevoerd, namelijk de Anova-test. Met deze toets kan worden berekend hoe groot de kans is dat een gevonden verschil toeval is. Als betrouwbaarheidspercentage is gekozen voor 95%, met andere woorden: als de gevonden foutkans ( $p$ ) kleiner is dan 0,05 (5%) wordt gesproken van een significant verschil: de kans is meer dan 95% dat het gevonden verschil een daadwerkelijk verschil is en geen toeval. Dit werd uitgedrukt in de waarde voor  $p$ .<sup>27</sup>

Vervolgens is bepaald in hoeverre bepaalde experimenten, waarvan uit het logboek of uit de beschrijving van de betrokkenen gebleken is dat er iets bijzonders is gebeurd wat niet tot het eigenlijke experiment behoorde, worden meegenomen in het onderzoek. Zie hiervoor bijlage B.

Vervolgens zijn de resultaten per techniek geanalyseerd, voor de inzet op gebouw I (vanaf A)<sup>28</sup>. Daarbij is vooral gekeken welk effect een inzet vanaf A op de temperaturen had in de andere ruimten. Bij de analyse van de rookgaskoeling (vanuit A op ruimte 1) is gekeken naar het effect op de temperatuur van de rookgaslaag in de verschillende ruimten, waaronder met name ruimte 4, waarin de brandhaard zich bevindt.

Zoals beschreven in het onderzoeksprotocol zijn, indien de inzet vanaf A op ruimte 1 niet tot een effectieve inzet leidde, nog verdere experimenten vanaf B, C en D uitgevoerd. Ook deze inzetten zijn in hoofdstuk 4 per techniek beschreven. Daarbij moet bedacht worden dat de omstandigheden niet geheel vergelijkbaar zijn. Het betreft daarom vooral een analyse in de vorm van een beschrijving wat er gebeurde.

---

<sup>26</sup> De mate waarin, als het experiment opnieuw uitgevoerd zou worden, dezelfde waarde verkregen worden.

<sup>27</sup> De statistische toets wordt uitgevoerd om te bepalen of het verschil een daadwerkelijk verschil is: dat het geen toeval is, maar een écht verschil. De F-waarde geeft de grootte van het verschil aan, maar dat doen de gepresenteerde waarden ook al. De toets is puur om de toevalskans te bepalen.

<sup>28</sup> Voor de locaties, zie de plattegrond in paragraaf 3.4

# 4 Resultaten

## 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de experimenten per inzettechniek besproken aan de hand van de volgende twee onderzoeksvragen<sup>29</sup>:

1. Wat is het effect van de offensieve buiteninzet technieken op de temperatuur van de rookgassen in de verschillende ruimten en op slachtofferniveau bij een inzet op een gebouw met vier ruimten?
2. Wat is het effect van de offensieve buiteninzet technieken op de temperatuur van de rookgassen in de verschillende ruimten en op slachtofferniveau bij een inzet op een gebouw met een configuratie met minder dan vier ruimten?

In iedere paragraaf worden de resultaten van een techniek weergegeven. In de eerste subparagraaf worden de resultaten bij een inzet op het gebouw met vier ruimten gegeven. Om het effect van de inzet in de verschillende ruimtes makkelijk met elkaar te vergelijken is de starttemperatuur op 0 gezet (relatieve temperatuur). In de tweede subparagraaf komen de resultaten bij inzet op gebouwen met minder ruimten aan de orde. Hierbij bepaalt het effect van de inzet op het gebouw met vier ruimten de locatie van de overige inzetten. Om aan te geven welke inzetten vervolgens gedaan zijn, is dit schematisch weergegeven. Hieronder volgt een voorbeeld (in dit geval de coldcutter).

methode	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW
CC1	A I		-> -> C III		->D IV		GESLAAGD				
CC4	A I		-> -> C III		->D IV		GESLAAGD				
CC5	A I		-> -> C III		->D IV		D IV		GESLAAGD		
CC6	A I		-> -> C III		->D IV		GESLAAGD				
CC7	A I		-> -> C III		->D IV		GESLAAGD				
TIJD (S)		60	30	60	30	60	30	60	30	60	30
TOTALE TIJD			1,5 min		3 min		4,5 min		6 min		7,5 min

Figuur 4.1: Voorbeeld van verloop inzetten

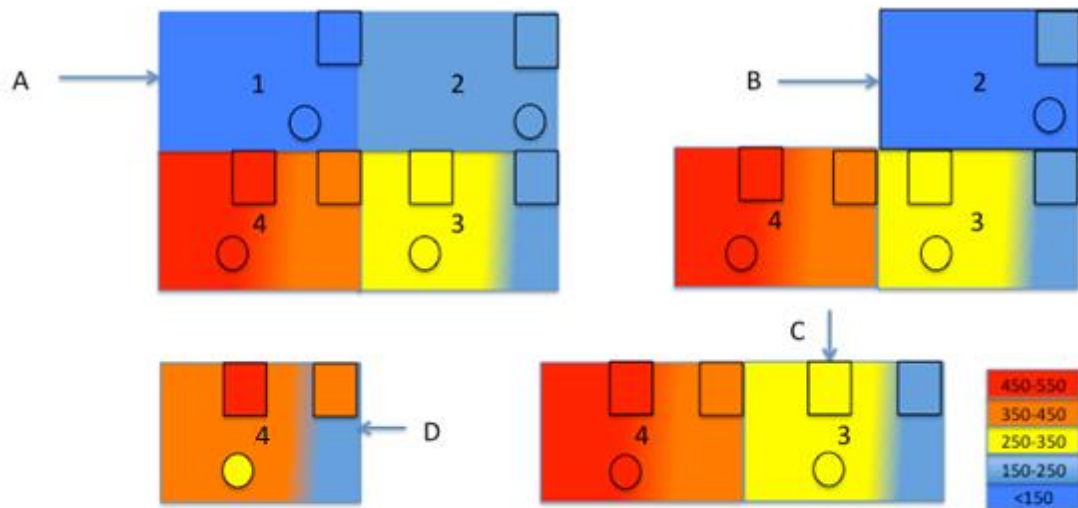
Een korte toelichting op het voorbeeld: Indien het experiment leidde tot koeling van de brandruimte IV tot onder de 150 °C was het experiment 'geslaagd' en zijn de overige vakjes groen gekleurd. Indien het experiment niet binnen drie inzetten van 60 seconden leidde tot een lagere temperatuur dan 150 °C, dan werd het experiment afgebroken en zijn de overige vakjes rood in plaats van groen. De pijltjes geven aan dat er naar een volgende ruimte werd overgegaan, twee pijltjes duiden erop dat er twee ruimtes verder werd gegaan (er werd dan dus een ruimte overgeslagen). Indien kon worden doorgedaan naar een volgende ruimte zijn de letters en pijltjes met rood aangegeven).

<sup>29</sup> De hypothesen worden behandeld in hoofdstuk 5.

Om een globaal overzicht van het effect van de diverse technieken te krijgen is in de derde subparagraaf het temperatureffect vervolgens gevisualiseerd in schematische plaatjes van het onderzoeksobject. Dit is gedaan voor de eerste keer dat op elk van die ruimten werd ingezet. Er is voor deze eerste keer dat op een ruimte werd ingezet gekozen omdat er daarna mogelijk een effect zou kunnen zijn van eerdere inzetten op de betreffende ruimte. Hierin is door middel van kleuren de temperatuurrange in de verschillende ruimten bij de inzet op elke gebouwconfiguratie weergegeven. Het gaat hier slechts om een visualisatie, die gemaakt is door globaal naar de temperatuurcurves te kijken. In elke figuur geeft de kleur van de betreffende ruimte de temperatuurrange na afloop van de eerste inzet aan. Daarnaast is in elk figuur:

- > In de vierkante blokjes in de verschillende ruimten de range van de starttemperatuur in de betreffende ruimte vóór de inzet weergegeven.
- > In de rondjes de eindtemperatuur weergegeven na einde van het experiment. Daarbij is het van belang dat bij sommige technieken één inzet op een bepaalde ruimte te koelen voldoende was, terwijl bij andere technieken meerdere inzetten nodig waren of het experiment na de derde inzet van 60 seconden gestaakt werd.

Opvallend is dat bij alle experimenten de temperatuur achterin ruimte 3 (thermokoppel 6) veel lager bleef dan aan de voorzijde (thermokoppel 8). Dit is in de figuren weergegeven door ruimte 3 op te splitsen. Achterin is veelal een andere kleur te zien. Dat geldt ook voor ruimte 4, de brandruimte. De temperatuur bij de ingang (thermokoppel 10) bleek meestal lager dan in het midden van de brandruimte (thermokoppel 11). Daarom is ook ruimte 4 opgesplitst. Bij de brand is de temperatuur van thermokoppel 11 weergegeven, en bij de ingang de temperatuurrange van thermokoppel 10. Bedacht moet worden, dat als afbreekcriterium voor de experimenten in ruimte 4 thermokoppel 10 is gebruikt. Het kan dus zijn dat de temperatuur bij de ingang van ruimte 4 onder 150 °C was gedaald, maar in het midden van de ruimte nog niet (thermokoppel 11). Zie ook figuur 4.2.



Figuur 4.2: Voorbeeld van een visuele temperatuur weergave

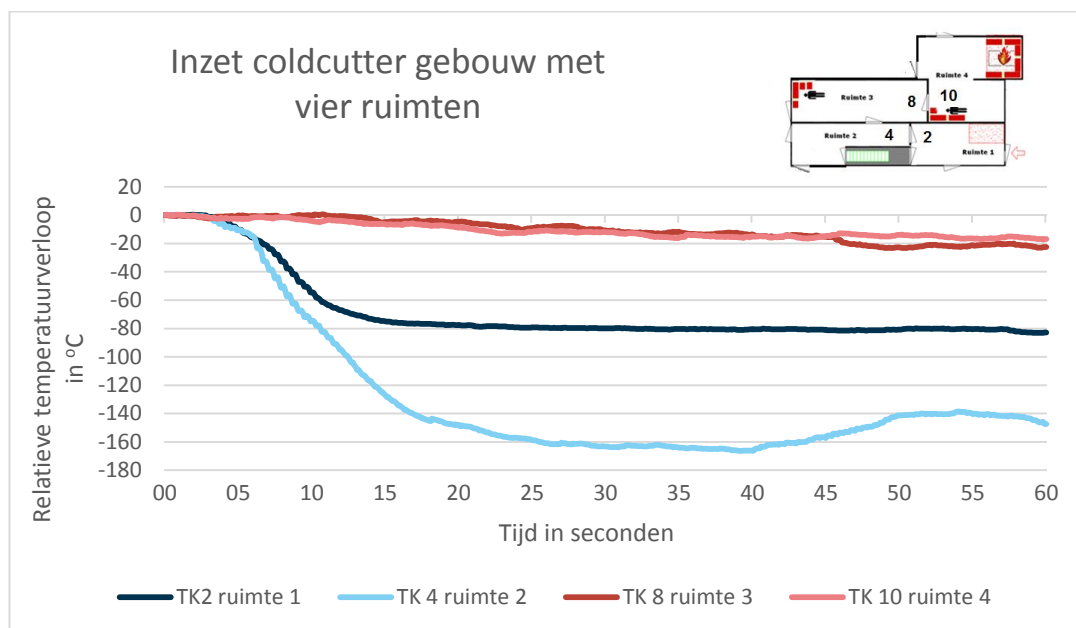
Tenslotte worden in de laatste paragraaf van dit hoofdstuk de verschillende inzettechnieken onderling met elkaar vergeleken voor de inzet op ruimte I (met vier ruimten).

Er is een nulmeting uitgevoerd om te bepalen in hoeverre effecten toe te schrijven zijn aan de inzet. Helaas heeft deze nulmeting geen betrouwbare resultaten opgeleverd.

## 4.2 Coldcutter

### 4.2.1 Inzet op een gebouw met vier ruimten

De coldcutter is gedurende een minuut continue ingezet vanuit punt A op ruimte I van het gebouw met vier ruimten. In figuur 4.3 is te zien dat de coldcutter bij inzet vanaf punt A in ruimte 1 en 2 in aanvang een continue daling van de temperatuur geeft na ongeveer 40 seconden op TK 4 in ruimte 2 weer enigszins stijgt. Het effect van de coldcutter op ruimte 3 is veel geringer dan in de voorgaande ruimten, maar er treedt nog steeds een daling van de temperatuur op van ongeveer 20 °C. In ruimte 4, de brandruimte, is een vergelijkbaar beeld te zien als in ruimte 3: er is sprake van een zeer beperkte daling van circa 10 °C na het inzetten gedurende 60 seconden.



Figuur 4.3: Inzet coldcutter gebouw met vier ruimten

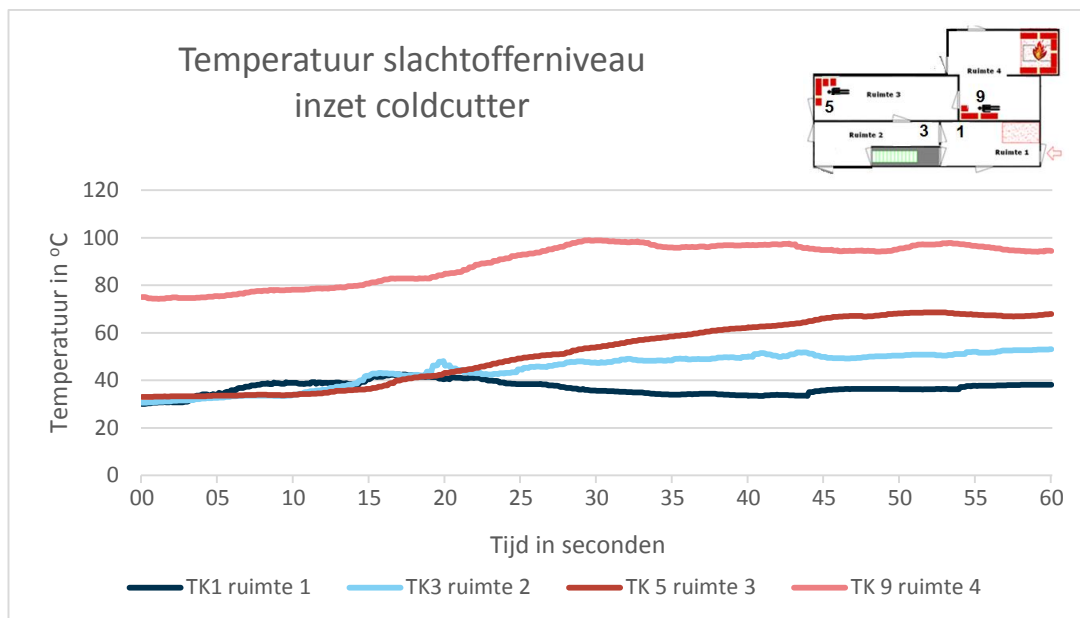
De temperatuurdaling na een minuut inzetten op de verschillende ruimten zijn weergegeven in tabel 4.1.

Tabel 4.1: Gemiddeld temperatuurverschil (°C) na 60 seconden inzet vanaf A op gebouw I

Inzetmethode	Ruimte 1 (TK2) °C	Ruimte 2 (TK4) °C	Ruimte 3 (TK8) °C	Ruimte 4 (TK10) °C
Starttemperatuur	128	225	329	415
Temperatuurverschil na inzet Coldcutter	-82	-144	-19	-10

#### *Het effect op leefniveau slachtoffers*

Als gekeken wordt naar de gemiddelde waarden voor de coldcutter testen blijkt dat er geen overschrijding van de 120 °C grens is. Analyse van de individuele inzetten leert dat bij één inzet de temperatuur boven de 120 °C kwam. Hierbij is de temperatuur van 89 °C (starttemperatuur) naar 123 °C gegaan (max. temperatuur).



Figuur 4.4: Temperatuur op slachtofferniveau inzet coldcutter

Gemiddeld was de maximale temperatuurstoename bij de inzet 35 °C op leefniveau op thermokoppel 9, met een minimum van 25 °C en een maximum van 45 °C. Aan het eind van de inzet was de temperatuur op leefniveau gemiddeld 28 °C gestegen, met een minimum van 7 °C en een maximum van 38 °C.

#### 4.2.2 Inzet in een configuratie met minder dan vier ruimten

Met de coldcutter lukt het in geen van de experimenten om de temperatuur van de rookgasen in alle ruimten, inclusief ruimte 4, bij inzet vanaf A met een offensieve buiteninzet onder de 150 °C te brengen. Daarom is verder onderzocht wat de mogelijkheden van de coldcutter zijn binnen gebouwen met minder ruimten. In tabel 4.2 is de inzetvolgorde van de experimenten met de coldcutter weergegeven. Omdat in alle vijf experimenten met de inzet op gebouw I vanaf de voordeur (punt A) de temperatuur in zowel ruimte 1 als ruimte 2 onder de 150 °C werd gebracht, zijn de vervolginzetten op gebouw III (punt C) gedaan (en niet op punt B).

In alle gevallen lukte het om in gebouw III vanaf punt C met één inzet van 60 seconden de temperatuur in ruimte 3 onder de 150 °C te brengen. Het lukte in geen van de experimenten bij inzet op gebouw III om ruimte 4 in één inzet onder de 150 °C te brengen.

De volgende inzet op gebouw IV (punt D, dus direct op (brand)ruimte 4), was in vier van de vijf gevallen direct succesvol, in de zin dat de temperatuur in de brandruimte onder de 150 °C werd gebracht. In een geval was een tweede poging van een minuut nodig om op thermokoppel 10 een daling tot onder de 150 °C te krijgen.

Tabel 4.2: Inzetvolgorde met gebruik van de coldcutter

methode	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	
CC1	A	█	-> -> C	█	->D	█	GESLAAGD	█	GESLAAGD	█	█	
	I		III		IV		GESLAAGD					
CC4	A		-> -> C		->D		GESLAAGD					
	I		III		IV		GESLAAGD					
CC5	A		-> -> C		->D		D					GESLAAGD
	I		III		IV		IV					
CC6	A		-> -> C		->D		GESLAAGD					
	I	III	IV	GESLAAGD								
CC7	A	-> -> C	->D	GESLAAGD								
	I	III	IV	GESLAAGD								
TIJD (S)		60	30	60	30	60	30	60	30	60	30	
TOTALE TIJD			1,5 min		3 min		4,5 min		6 min		7,5 min	

*Het effect op leefniveau slachtoffers*

Onderzocht is wat het effect is op leefniveau is bij de verschillende inzetten in de gebouwen met minder ruimten. De resultaten zijn opgenomen in tabel 4.3.

Tabel 4.3: Temperatuur op leefniveau (tk9), waarden in graden Celsius

Inzet op	Verskil tussen starttemperatuur en maximale temperatuur (gem.)	Minimum en maximum temperatuurtoename/afname	Gemiddeld verschil tussen starttemperatuur en eindtemperatuur bij de inzet	Minimum en maximum verschil start- en eindtemperatuur
C	+ 47	+ 0; + 89	+ 36	-24; + 85
D	+ 15	+0; + 80	- 34	- 68; + 29

In bovenstaande tabel zijn de gemiddelde maximale temperatuurtoename gedurende de inzet, en het verschil tussen start- en eindtemperatuur bij de inzet op leefniveau opgenomen, evenals de spreiding.

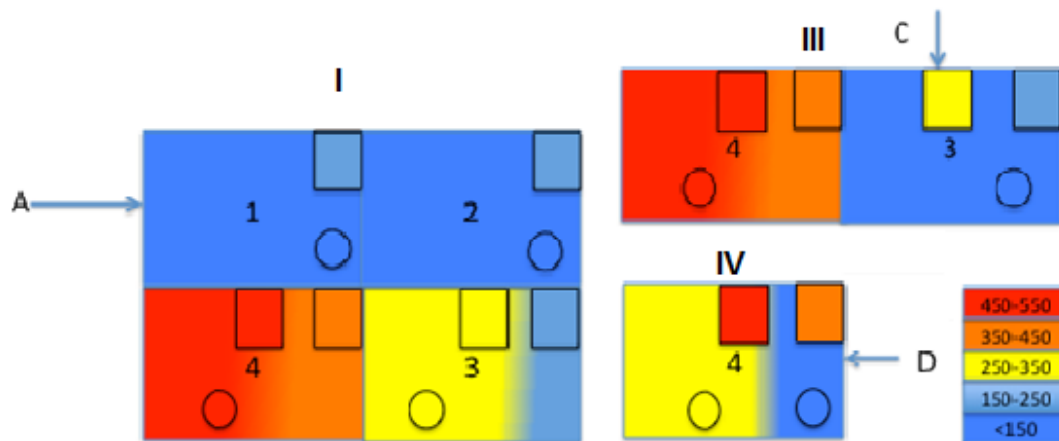
Bij de inzetten op ruimte C kwam de temperatuur bij alle inzetten boven de kritische van 120 °C op leefniveau. Bij één test was de starttemperatuur al boven de 120 °C, bij overige vier gebeurde dit tijdens de inzet. Eenmaal nam de temperatuur toe van 93 °C naar 122 °C, eenmaal van 116 °C naar 205 °C, eenmaal van 112 °C naar 146 °C en eenmaal van 94 °C naar 179 °C.

Bij de inzetten op ruimte D kwam het bij vier van de zes inzetten voor dat deze grens werd overschreden, waarvan in drie gevallen de aanvangstemperatuur al boven de 120 °C was. Eenmaal was dit niet geval en steeg de temperatuur tijdens de inzet van 77 °C naar 157 °C.

**4.2.3 Visuele weergave inzet coldcutter**

Om een globaal overzicht te krijgen van het effect van de verschillende inzettechnieken op de temperatuur in de verschillende ruimten, zijn de effecten in deze paragraaf gevisualiseerd in schematische plaatjes van het onderzoeksobject<sup>30</sup>.

<sup>30</sup> Omdat ruimte 1 en 2 bij de inzet op gebouw I direct onder de 150°C kwamen is geen inzet op gebouw II gedaan



Figuur 4.5: Visualisatie van het effect op de temperatuur in gebouw I, III en IV bij inzet met de coldcutter

#### 4.2.4 Conclusie coldcutter

Aan de vooraf gestelde hypothesen werd niet voldaan. Het is niet mogelijk om in het gebouw met vier ruimten van buitenaf de temperatuur in ruimte 4 zover te koelen dat de temperatuur overall daalt tot onder de grens van 150 °C. Ook bleek de coldcutter niet in staat van buitenaf de brand te blussen.

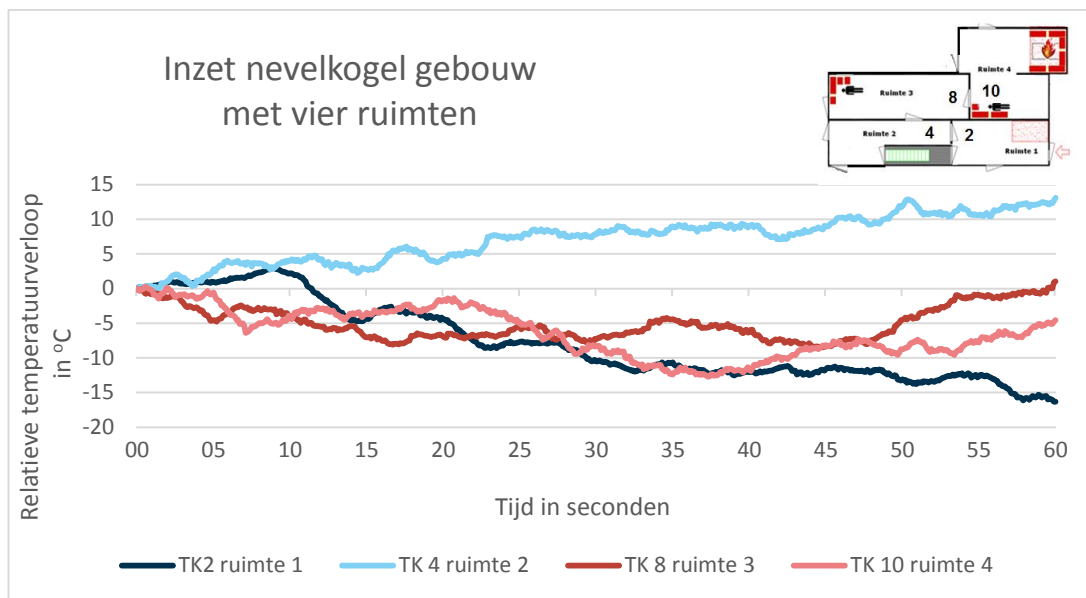
Wel blijkt de coldcutter de ruimten die zich vanaf de inzet in een rechte lijn erachter bevinden, binnen een minuut te koelen tot onder deze grens. Echter, het lijkt erop dat de coldcutter niet in staat is om een ruimte die zich haaks bevindt op de inzetrichting, effectief te koelen. De coldcutter was bij inzet op gebouw III (ruimte 3) niet in staat de brandruimte ernaast (ruimte 4) binnen een minuut tot de temperatuurgrens terug te koelen. Om op effectieve wijze ruimte 4, de brandruimte, te koelen is rechtstreeks op deze ruimte ingezet. In vier van de vijf gevallen lukte dat direct, in een test was een extra minuut inzetten hiervoor noodzakelijk.

Bij de coldcutter inzetten op gebouwen met minder dan vier ruimten is sprake van een toename van de temperatuur op leefniveau, met name bij inzet op de ruimte vóór de brandruimte. Hierbij wordt in de meeste gevallen gedurende de inzet de temperatuurgrens voor overleefbaarheid overschreden. In de brandruimte zelf is over het algemeen wel sprake van een (beperkte) daling van de uiteindelijke temperatuur op leefniveau.

### 4.3 Nevelkogel

#### 4.3.1 Inzet op een gebouw met vier ruimten

De nevelkogel is gedurende een minuut continu ingezet vanaf punt A op ruimte 1 op het gebouw met vier ruimten. In figuur 4.6 is te zien dat de nevelkogel in ruimte 1 een continue daling van de temperatuur laat zien. Tijdens de test blijkt de temperatuur in ruimte 2 beperkt toe te nemen, met ruim 10 °C. In ruimte 3 en 4 is aanvankelijk een geringe daling van 10 °C te zien. Echter, in de tweede helft van de ingezette minuut (na ca. 45 seconden) stijgt de temperatuur weer, tot bijna de aanvangstemperatuur.



Figuur 4.6: Inzet nevelkogel op een gebouw met vier ruimten

De temperatuurverschillen na een minuut inzetten zijn weergegeven in tabel 4.4.

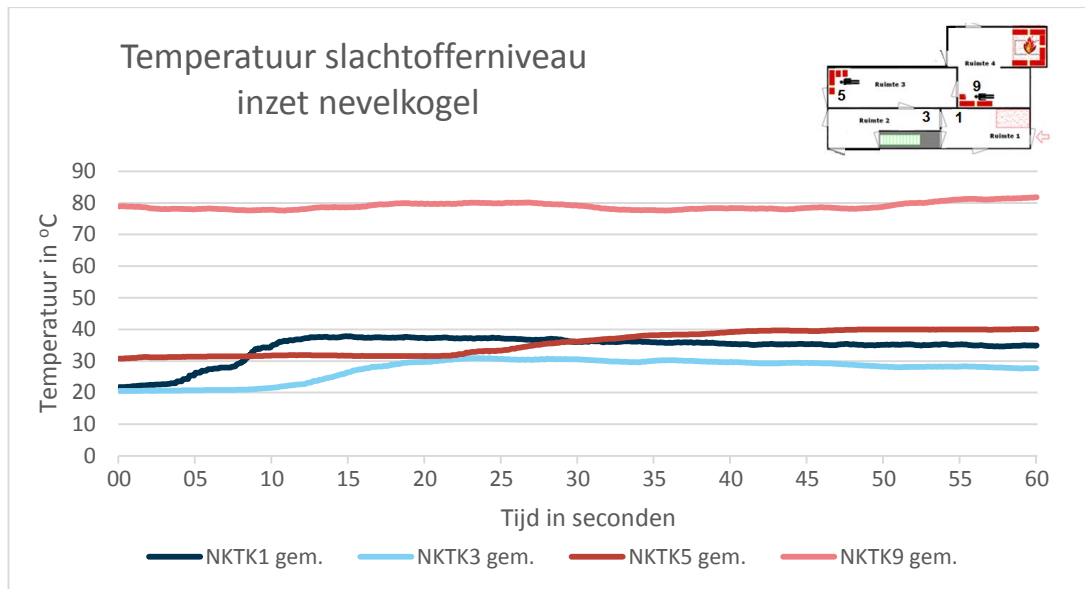
Tabel 4.4: Gemiddeld temperatuurverschil (°C) na 60 seconden inzet vanaf A op gebouw I

Inzetmethode	Ruimte 1 (TK2) °C	Ruimte 2 (TK4) °C	Ruimte 3 (TK8) °C	Ruimte 4 (TK10) °C
Starttemperatuur	123	206	357	414
Temperatuurverschil na inzet nevelkogel	-16	+13	+1	-5

#### Het effect op leefniveau slachtoffers

Als gekeken wordt naar de gemiddelde waarden op leefniveau voor de nevelkogel testen blijkt dat de temperatuur onder de kritische waarden blijft. Ook is de grenswaarde in geen van de afzonderlijke testen overschreden.





Figuur 4.7: Temperatuur op slachtofferniveau bij inzet nevelkogel

Gemiddeld was maximale temperatuuroename op leefniveau op thermokoppel 9 bij de inzet bij A op thermokoppel 97 °C, met een minimum van 0 °C en een maximum van 17 °C. Aan het eind van de inzet was de temperatuur op leefniveau gemiddeld 3 °C gestegen, met een minimum van -9 °C en een maximum van +13 °C.

### 4.3.2 Inzet in een configuratie met minder dan vier ruimten

Met de nevelkogel lukt het in geen van de gevallen om de temperatuur van de rookgassen in ruimte 4 bij inzet vanaf ruimte A met een offensieve buiteninzet onder de 150 °C te brengen. Daarom is verder onderzocht wat de mogelijkheden van de nevelkogel zijn in gebouwen met minder ruimten.

In alle vijf experimenten is na de inzet vanaf de voordeur van gebouw I (punt A) de temperatuur in ruimte 1 onder de 150 °C. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat de starttemperatuur in ruimte 1 al onder de 150 °C was. In alle vijf experimenten was de temperatuur bij de inzet op gebouw I in ruimte 2 niet onder de 150 °C gedaald. Daarom werd daarom vervolgens ingezet bij B (gebouw II).

Tot zover verliepen de experimenten gelijk. In drie van de vijf experimenten was de inzet in gebouw II vanuit B voldoende om niet alleen ruimte 2, maar ook ruimte 3 onder de 150 °C te brengen. In twee experimenten was daarvoor nog een aparte inzet op gebouw III vanuit C nodig.

Daarna waren bij elk experiment drie inzetten op gebouw IV (de brandruimte) nodig. In slechts twee experimenten lukt het om in drie inzetten van een minuut op gebouw IV de temperatuur in de brandruimte daadwerkelijk onder de 150 °C te brengen. In drie inzetten was het na drie pogingen niet gelukt, waarna de test volgens protocol werd afgebroken. In tabel 4.5 is de inzetvolgorde van de experimenten met de nevelkogel weergegeven.

Tabel 4.5: inzetvolgorde met gebruik van de nevelkogel

methode	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW
Nk1	A I		-> B II		-> C III		->D IV		D IV		D IV		GESLAAGD
NK2	A I		-> B II		-> C III		->D IV		D IV		D IV		
NK3	A I		-> B II		-> -> D IV		D IV		D IV				
NK4	A I		-> B II		-> -> D IV		D IV		D IV				
NK5	A I		-> B II		-> -> D IV		D IV		D IV		GESLAAGD		
TIJD (S)		60	30	60	30	60	30	60	30	60	30	60	30
TOTALE TIJD			1,5 min		3 min		4,5 min		6 min		7,5 min		9 min

#### Het effect op leefniveau slachtoffers

Onderzocht is wat het effect is op leefniveau is bij de verschillende inzetten in de gebouwen met minder ruimten. De resultaten zijn opgenomen in tabel 4.6.

Tabel 4.6: Temperatuur op leefniveau (tk9), waarden zijn graden Celsius

Inzet op	Verskil tussen starttemperatuur en maximale temperatuur (gem.)	Minimum en maximum temperatuurtoename/afname	Gemiddeld verschil tussen starttemperatuur en eindtemperatuur bij de inzet	Minimum en maximum verschil start- en eindtemperatuur
B	+ 6	+ 0; + 18	- 2	-11 ; + 10
C	+ 2	+ 1; + 2	- 22	-28; -15
D	+ 1	+0; +5	- 23	- 62; -6

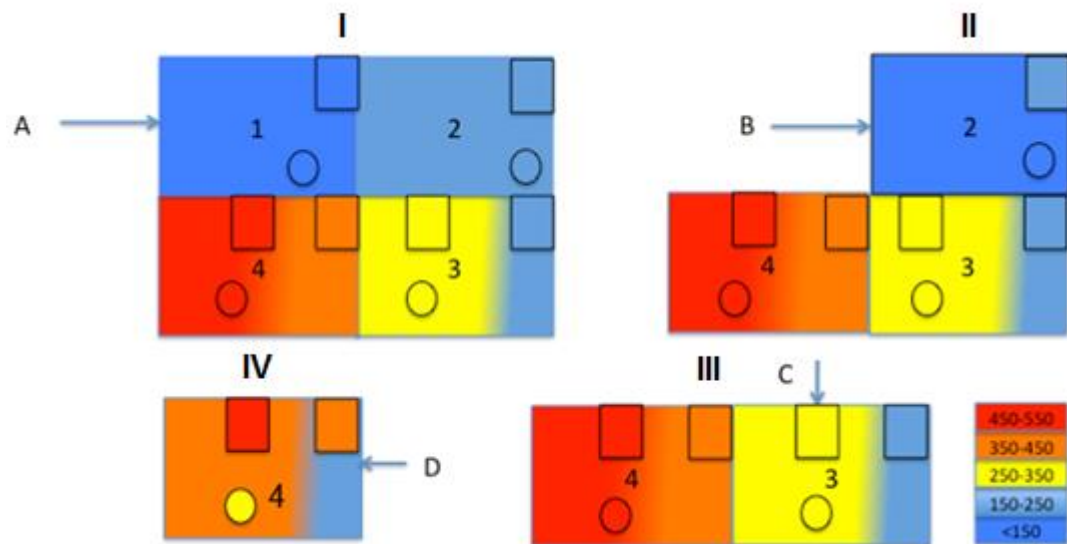
In bovenstaande tabel zijn de gemiddelde maximale temperatuurtoename gedurende de inzet, en het verschil tussen start- en eindtemperatuur bij de inzet op leefniveau opgenomen, evenals de spreiding.

Bij de inzetten op ruimte B en C kwam het niet voor dat de temperatuur boven de kritische van 120 °C is gekomen op leefniveau.

Bij de inzetten op ruimte D kwam het bij één van de vijftien inzetten voor dat deze grens werd overschreden. De overschrijding was echter minimaal. De starttemperatuur van de betreffende inzet was 117 °C en de maximale temperatuur 121 °C.

### 4.3.3 Visuele weergave inzet nevelkogel

In figuur 4.8 is de visuele weergave van de temperatuurverdeling in de verschillende ruimten bij de inzet van de nevelkogel weergegeven.



Figuur 4.8: Visualisatie van het temperatureffect in gebouw I, II, III en IV bij inzet met de nevelkogel

#### 4.3.4 Conclusie nevelkogel

Aan de vooraf gestelde hypothesen is niet voldaan. Het is niet mogelijk om in het gebouw met vier ruimten met de nevelkogel van buitenaf de temperatuur in ruimte 4 bij inzet vanaf A zover te koelen dat de temperatuur overal daalt tot onder de grens van 150 °C. Ook is de nevelkogel niet in staat van buitenaf de brand in ruimte 4 te blussen.

Bij de experimenten met de nevelkogel vanaf punt A is er een zeer beperkte toename van circa 10 °C te zien op ruimte 2, en een lichte daling op ruimte 3 en 4 die binnen de minuut terug stijgt tot bijna de starttemperatuur. De nevelkogel heeft vooral effect op de ruimte waarop hij wordt ingezet. De inzet heeft slechts beperkte invloed op andere ruimten, zelfs niet op ruimte 2 bij een inzet op ruimte 1. De reikwijdte van deze inzetactie is daarmee beperkt. Wat betreft de temperatuur op slachtofferniveau blijft deze onder de grenswaarde van 120°C en stabiel.

In de configuraties met minder ruimten blijkt dat de nevelkogel de ruimte van inzetten (met uitzondering van de brandruimte) binnen één inzet effectief koelt tot onder de 150 °C. Inzet op de brandruimte is in een meerderheid van de testen, ondanks drie pogingen van een minuut, niet effectief om de grenswaarde te bereiken. Wel wordt een daling van de temperatuur in de brandruimte waargenomen. (De nevelkogel gebruikt van alle testen veruit het meeste water).

De inzet van de nevelkogel heeft een neutraal tot positief effect op de temperatuur op leefniveau. Hoe dichterbij de vuurhaard, hoe groter de daling van de temperatuur aan het einde van de inzet. Bij de inzet van de nevelkogel wordt de kritische temperatuur voor overleefbaarheid niet overschreden.

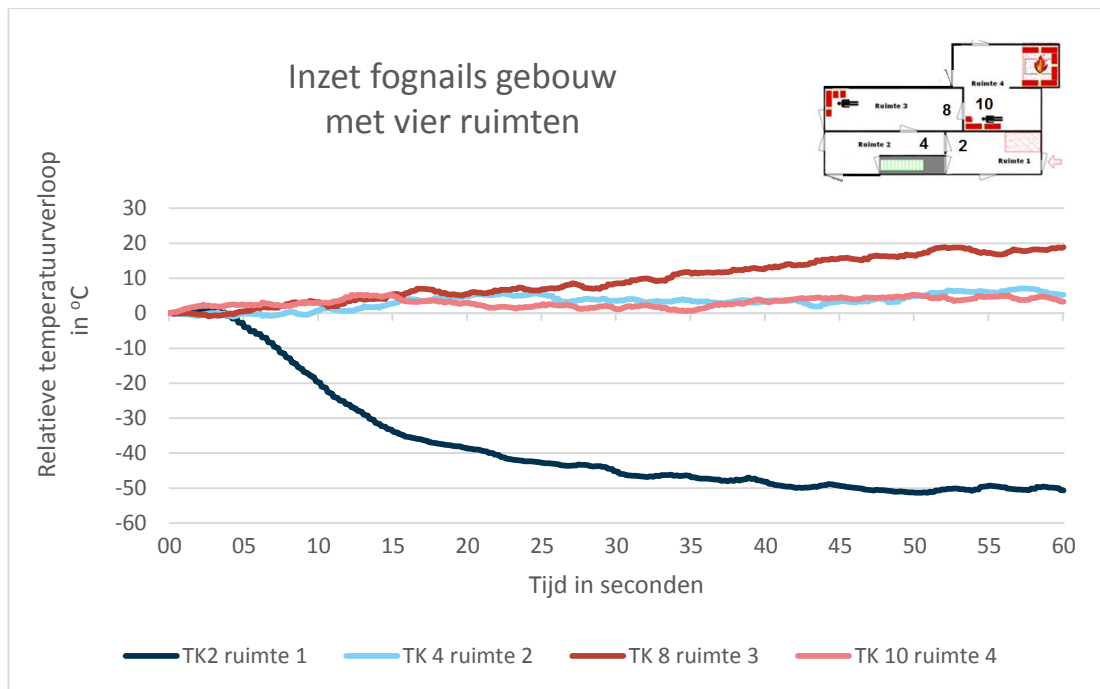
## 4.4 Fognails

### 4.4.1 Inzet op een gebouw met vier ruimten

*Het effect op de temperatuur in de verschillende ruimtes*

De fognails zijn gedurende een minuut continue ingezet vanaf ruimte 1 op het gebouw met vier ruimten. In figuur 4.9 is te zien dat de fognails een continue daling van de temperatuur in ruimte 1 veroorzaken. Verder valt op dat in de andere ruimten bij het gemiddelde van alle fognail-testen de temperatuur niet daalt, en met name in ruimte drie een geringe stijging van

20 °C te zien is. Met de fognails lukt het niet om de temperatuur van de rookgassen in (brand)ruimte 4 in gebouw I in één inzet vanaf A met een offensieve buiteninzet onder de 150 °C te brengen.



Figuur 4.9: Inzet fognails op gebouw met vier ruimten

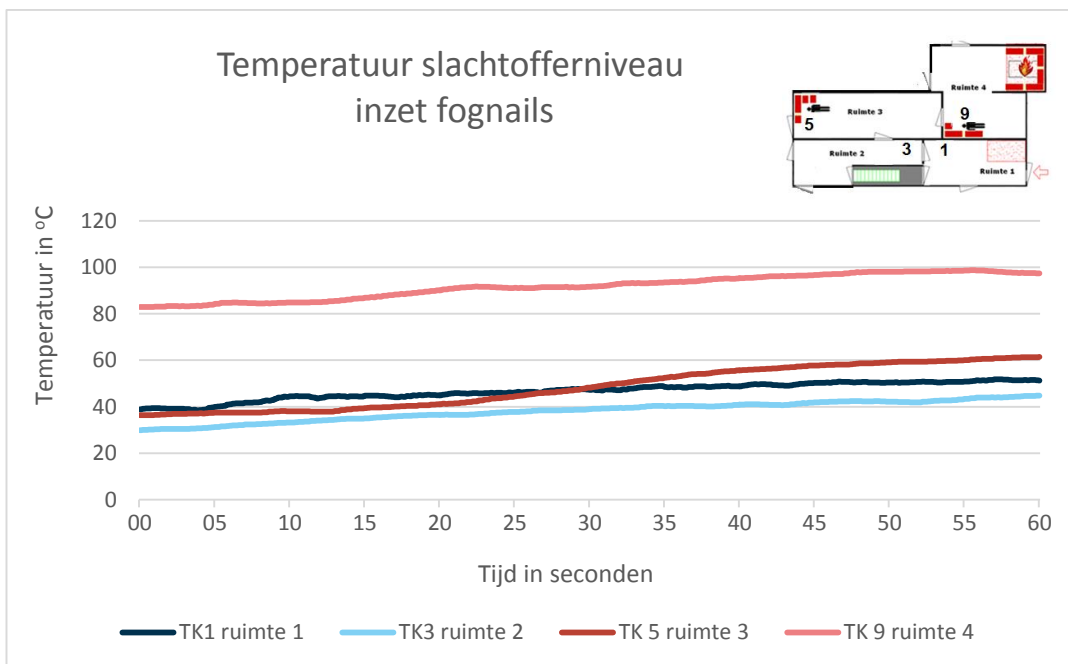
Dit is ook te zien in tabel 4.7, waarbij er sprake is van een temperatuurdaling in ruimte 1 van 50 °C, en op de overige ruimten is er nauwelijks verschil of een beperkte toename.

Tabel 4.7: Gemiddeld temperatuurverschil (°C) na 60 seconden inzet vanaf A op gebouw I

Inzetmethode	Ruimte 1 (TK2) °C	Ruimte 2 (TK4) °C	Ruimte 3 (TK8) °C	Ruimte 4 (TK10) °C
Starttemperatuur	130	152	360	423
Temperatuurverschil na inzet fognails	- 51	+3	+19	+1

#### Het effect op leefniveau slachtoffers

Het gemiddelde temperatuurverloop is weergegeven in figuur 4.10. Hierin is te zien dat gemiddeld de temperatuurgrens van 120 °C niet wordt overschreden.



Figuur 4.10: Temperatuur op slachtofferniveau bij inzet fognails

Analyse van de individuele inzetten leert dat bij één inzet de temperatuur boven de 120 °C kwam. Hierbij is de temperatuur van 102 °C (starttemperatuur) naar 126 °C gegaan (max. temperatuur).

Gemiddeld was maximale temperatuuroename op thermokoppel 9 op leefniveau 17 °C, met een minimum van 12 °C en een maximum van 24 °C. Aan het eind van de inzet was de temperatuur op leefniveau gemiddeld 14 °C gestegen, met een minimum van 9 °C en een maximum van 19 °C.

#### 4.4.2 Inzet in een configuratie met minder dan vier ruimten

In tabel 4.8 is de inzetvolgorde van de experimenten met de fognails weergegeven.

In alle vijf experimenten wordt met de inzet vanaf punt A op gebouw I de temperatuur in ruimte 1 onder de 150 °C gebracht. In twee van de vijf experimenten was ook de temperatuur in ruimte 2 onder de 150 °C gedaald en kon het experiment worden vervolgd op gebouw III. Drie keer was daarvoor een inzet op gebouw II (ruimte 2 vanuit B) nodig (zie tabel 4.8).

Tabel 4.8: Inzetvolgorde met gebruik van de fognails

methode	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	
FN1	A I		-> B II		-> C III		C III		C III		->D IV		D IV		D IV		
FN2	A I		-> B II		-> C III		C III		C III								
FN3	A I		->-> C III		C III		C III		C III								
FN4	A I		->-> C III		C III		C III		C III								
FN5	A I		-> B II		-> C III		C III		C III								
TIJD (S)		60	30	60	30	60	30	60	30	60	30	60	30	60	30	60	
TOTALE TIJD			1,5 min		3 min		4,5 min		6 min		7,5 min		9 min		10,5 min		12 min

Het lukte met de fognails tijdens één experiment om met een inzet op gebouw III in ruimte 3 de temperatuur onder de 150 °C te brengen. Daarvoor moest de inzet wel drie keer worden

herhaald. In dit geval werden daarna nog drie inzetten gedaan op gebouw IV (de brandruimte 4), maar het lukte niet om de temperatuur in de brandruimte onder de 150 °C te brengen.

#### Het effect op leefniveau slachtoffers

Onderzocht is wat het effect op leefniveau was voor de temperatuur voor eventuele slachtoffers, bij inzet op de verschillende ruimten. De resultaten zijn opgenomen in tabel 4.9.

Tabel 4.9: Temperatuur op leefniveau (tk9), waarden in graden Celsius

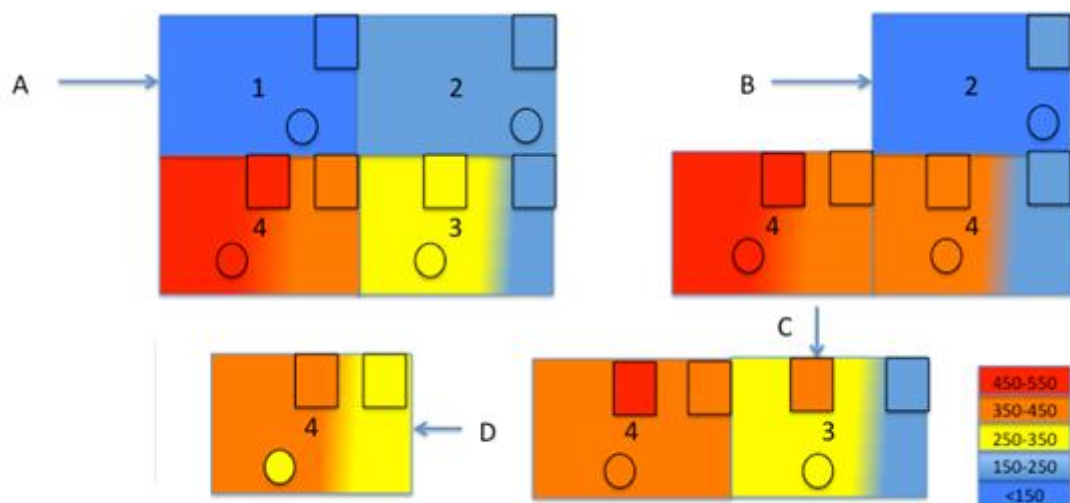
Inzet op	Verskil tussen starttemperatuur en maximale temperatuur (gem.)	Minimum en maximum temperatuurtoename/afname	Gemiddeld verschil tussen starttemperatuur en eindtemperatuur bij de inzet	Minimum en maximum verschil start- en eindtemperatuur
B	+ 5	+0; + 10	-2	-7 ; + 5
C	+ 7	+ 0; + 18	- 6	-37; + 17
D	+ 6	+ 0; + 18	- 3	-10; +12

In bovenstaande tabel zijn de gemiddelde maximale temperatuurtoename gedurende de inzet, en het verschil tussen start- en eindtemperatuur bij de inzet op leefniveau opgenomen, evenals de spreiding.

Bij de inzet vanaf punt B werden de temperatuurgrenswaarden voor overleefbaarheid van 120 °C niet overschreden. Bij de inzet vanaf punt C werd driemaal de temperatuurgrens overschreden. Echter, de temperatuur was bij aanvang van de inzet al boven deze grens. Bij de inzet op ruimte D werd de kritische temperatuur niet overschreden.

#### 4.4.3 Visuele weergave inzet fognails

De visuele weergave van de van de temperatuurverdeling in de verschillende ruimten bij een inzet met de fognails is weergegeven in figuur 4.11.



Figuur 4.11: Visualisatie van het temperatureffect in gebouw I, II, III en IV bij inzet met de fognails

#### 4.4.4 Conclusie fognails

Aan de vooraf gestelde hypothesen is niet voldaan. Het is niet mogelijk om in het gebouw met vier ruimten met de fognails van buitenaf de temperatuur in ruimte 4 bij inzet vanaf A zo ver te koelen dat de temperatuur overal daalt tot onder de grens van 150 °C. Ook is de fognail niet in staat van buitenaf de brand in ruimte 4 te blussen. De fognails hebben in de configuratie met vier ruimten alleen een dalend effect op de temperatuur in ruimte 1. Er is in de overige ruimten geen effect waarneembaar, anders dan een beperkte toename van de temperatuur in ruimte 3. De temperatuur op leefniveau blijft over het algemeen stabiel op de temperatuur die voor aanvang van de inzet gemeten is. Bij één experiment is de grens van 120 °C op leefniveau beperkt overschreden.

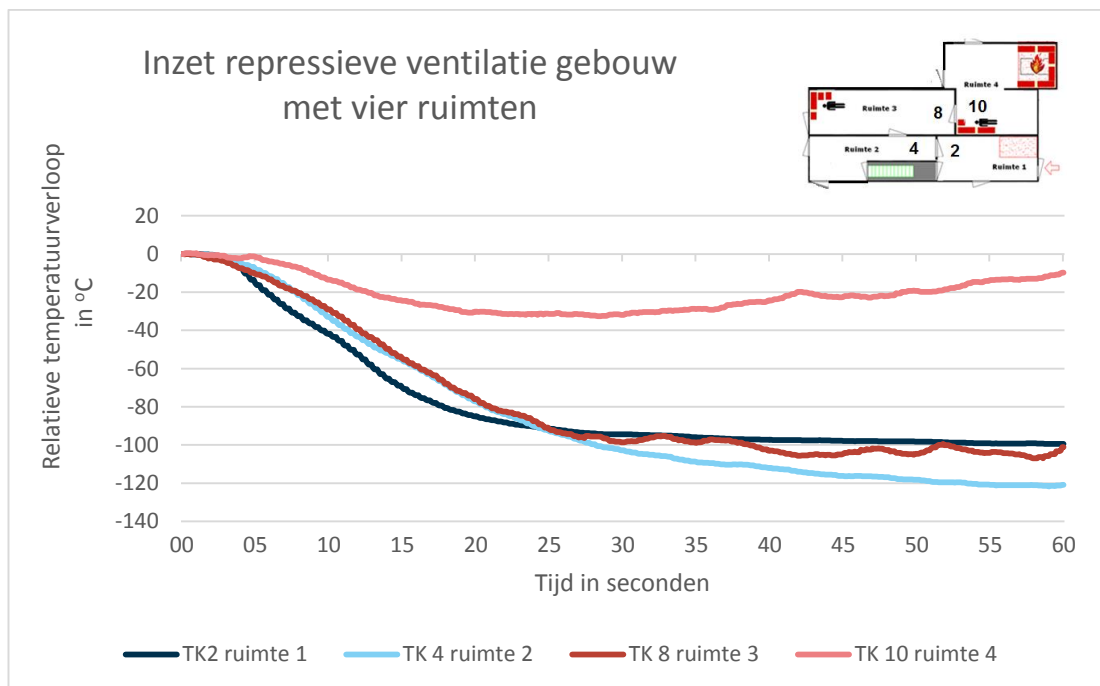
Bij inzet in de gebouwen met minder dan vier ruimten, lukt het in een aantal gevallen om ook de tweede ruimte direct mee te koelen met de eerste inzet. Bij inzet vanaf punt C op gebouw III zijn de fognails niet of nauwelijks in staat de temperatuur van die ruimte te koelen. In geen enkel geval is de brandruimte onder de 150 °C gebracht.

Bij de fognails is er bij de inzet in de gebouwen met minder dan vier ruimten sprake van een beperkte toename van de temperatuur, maar geen overschrijding van de grenswaarde als gevolg van de inzet.

## 4.5 Repressieve ventilatie

### 4.5.1 Inzet op een gebouw met vier ruimten

De inzet met repressieve ventilatie op gebouw 1 is weergegeven in figuur 4.12.

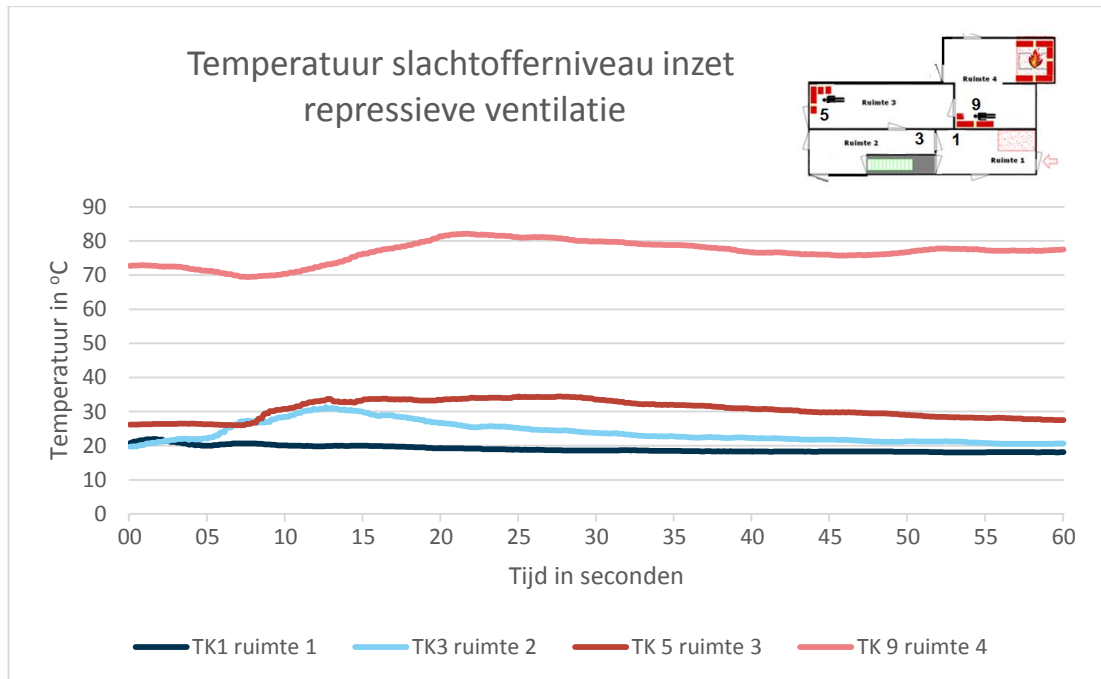


Figuur 4.12: Inzet repressieve ventilatie op gebouw met vier ruimten

Uit de figuur blijkt dat er in alle vier de ruimtes een daling van de temperatuur waar te nemen is. Hierbij is de daling in de eerste drie ruimtes meer dan 100 °C. In ruimte 4 is er eerst sprake van een beperkte daling en daarna een beperkte stijging tot circa 10 °C onder de starttemperatuur. Zie hiervoor ook tabel 4.10.

Tabel 4.10: Gemiddelde temperatuurverschil (°C) na 60 seconden inzet vanaf A op gebouw I

Inzetmethode	Ruimte 1 (TK2) °C	Ruimte 2 (TK4) °C	Ruimte 3 (TK8) °C	Ruimte 4 (TK10) °C
Starttemperatuur	123	163	346	409
Temperatuurverschil na inzet repressieve ventilatie	-101	-121	-103	-10



Figuur 4.13: Temperatuur op slachtofferniveau bij inzet repressieve ventilatie

#### Het effect op leefniveau slachtoffers

Bij geen enkele inzet met repressieve ventilatie is de temperatuur op slachtofferniveau boven de kritische grens van 120 °C gekomen. Dit blijkt ook uit figuur 4.13, met daarin het gemiddelde temperatuurverloop op slachtofferniveau bij inzet met repressieve ventilatie op ruimte 1.

Gemiddeld was maximale temperatuuroename op leefniveau op thermokoppel 9 bij de inzet vanaf punt A 10 °C, met een minimum van 5 °C en een maximum van 16 °C. Aan het eind van de inzet was de temperatuur op leefniveau gemiddeld 6 °C gestegen, met een minimum van 3 °C en een maximum van 10 °C.

#### 4.5.2 Inzet in een configuratie met minder dan vier ruimten

In tabel 4.11 is de inzetvolgorde van de experimenten met repressieve ventilatie weergegeven. In alle vijf experimenten wordt met de inzet vanaf de punt A de temperatuur in zowel ruimte 1 als ruimte 2 onder de 150 °C gebracht. Daarom is met deze techniek geen inzet worden gedaan op gebouw II. In één geval werd zelfs de temperatuur in ruimte 3 onder de 150 °C gebracht. Daarbij moet opgemerkt worden dat de starttemperatuur in ruimte 1 en ruimte 2 bij de inzet op gebouw I al veelal rond de 150 °C lag (zie figuur 4.13).

In alle gevallen lukt het in gebouw III vanaf punt C om met één inzet van 60 seconden de temperatuur in ruimte 3 onder de 150 °C te brengen. De inzet op gebouw IV (vanaf punt D, dus direct op ruimte 4), is in twee van de vijf gevallen direct succesvol. De temperatuur wordt



in de brandruimte onder de 150 °C gebracht. In één geval is daar een extra inzet van 60 seconden voor nodig. In vrijwel alle gevallen gaf de temperatuur na het uitzetten van de ventilatoren een forse temperatuurstijging te zien. In één experiment moest om die reden weer teruggegaan worden naar ruimte 3, omdat die weer boven de 150 °C uitsteeg.

Tabel 4.11: Inzetvolgorde met gebruik van repressieve ventilatie

methode	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW
RV1	A I		->-> ->D IV		D IV		D IV		GESLAAGD						
RV2	A I		->->C III		->D IV		D IV		D IV						
RV3	A I		->->C III		->D IV		<-C III		->D IV		D IV		D IV		GESLAAGD
RV4	A I		->->C III		->D IV		GESLAAGD								
RV5	A I		->->C III		->D IV		GESLAAGD								
TIJD (S)		60	30	60	30	60	30	60	30	60	30	60	30	60	30
TOTALE TIJD			1,5 min		3 min		4,5 min		6 min		7,5 min		9 min		10,5 min

#### Het effect op leefniveau slachtoffers

Onderzocht is wat het effect op leefniveau was voor de temperatuur voor eventuele slachtoffers, bij inzet op de verschillende ruimten. De resultaten zijn opgenomen in tabel 4.12.

Tabel 4.12: Temperatuur op leefniveau (tk9), waarden zijn graden Celsius

Inzet op	Verskil tussen starttemperatuur en maximale temperatuur (gem.)	Minimum en maximum temperatuurtoename/afname	Gemiddeld verschil tussen starttemperatuur en eindtemperatuur bij de inzet	Minimum en maximum verschil start- en eindtemperatuur
C	+ 15	- 4; + 25	+ 7	-3 ; + 23
D	+ 6	- 49; + 40	- 19	-56; + 2

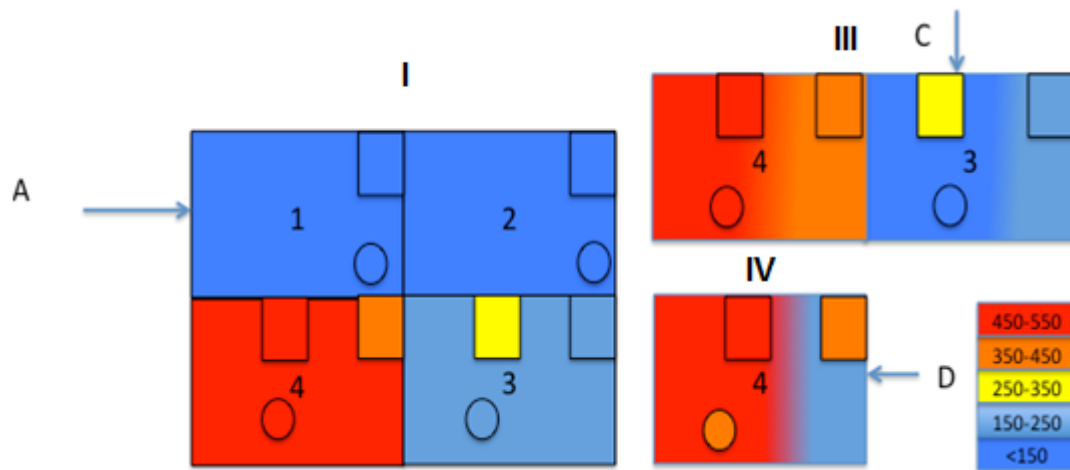
In bovenstaande tabel zijn de gemiddelde maximale temperatuurtoename gedurende de inzet, en het verschil tussen start- en eindtemperatuur bij de inzet op leefniveau opgenomen, evenals de spreiding.

Bij de inzet op C werden de temperatuurgrenswaarden voor overleefbaarheid van 120 °C niet overschreden.

Bij 5 van de 12 pogingen op D was de temperatuur gedurende de inzet hoger dan de kritische overleefbaarheidsgrens. Echter, dit was bij aanvang van de poging al het geval, waarna er sprake was van een dalende temperatuurlijn.

#### 4.5.3 Visuele weergave inzet repressieve ventilatie

In figuur 4.13 is de visuele weergave opgenomen van de temperatuurverdeling in de verschillende ruimten bij een inzet met repressieve ventilatie.



Figuur 4.13: Visualisatie van het temperatureffect in gebouw I, III en IV bij inzet met repressieve ventilatie<sup>31</sup>

#### 4.5.4 Conclusie repressieve ventilatie

Aan de vooraf gestelde hypothesen is niet voldaan. Het is niet mogelijk om in het gebouw met vier ruimten met repressieve ventilatie van buitenaf de temperatuur in ruimte 4 bij inzet vanaf A zover te koelen dat de temperatuur overal daalt tot onder de grens van 150 °C. Repressieve ventilatie laat bij inzet vanaf A op het gebouw met vier ruimten wel een daling zien van de temperatuur in ruimte 1, 2 en 3. De temperatuur in de brandruimte daalt licht, maar komt niet onder de 150 °C bij inzet vanaf A. Dit is wel het geval voor ruimte 1 en 2. Op slachtofferniveau is de temperatuur niet boven de kritische grens van 120 °C gekomen, wel is en lichte stijging van de temperatuur te zien op ruimte 2, 3 en 4.

Bij de inzet op gebouwen met minder dan vier ruimten bij punt C op gebouw III, blijkt ventilatie telkens in staat om binnen één inzet van 60 seconden, de temperatuur voldoende omlaag te brengen in ruimte 3. In de brandruimte is het effect minder, een aantal keren is drie pogingen nodig bij rechtstreekse inzet op de brandruimte (punt D, gebouw IV), eenmaal is drie pogingen niet voldoende, en tweemaal lukt het direct bij de eerste poging om de temperatuur voldoende omlaag te brengen.

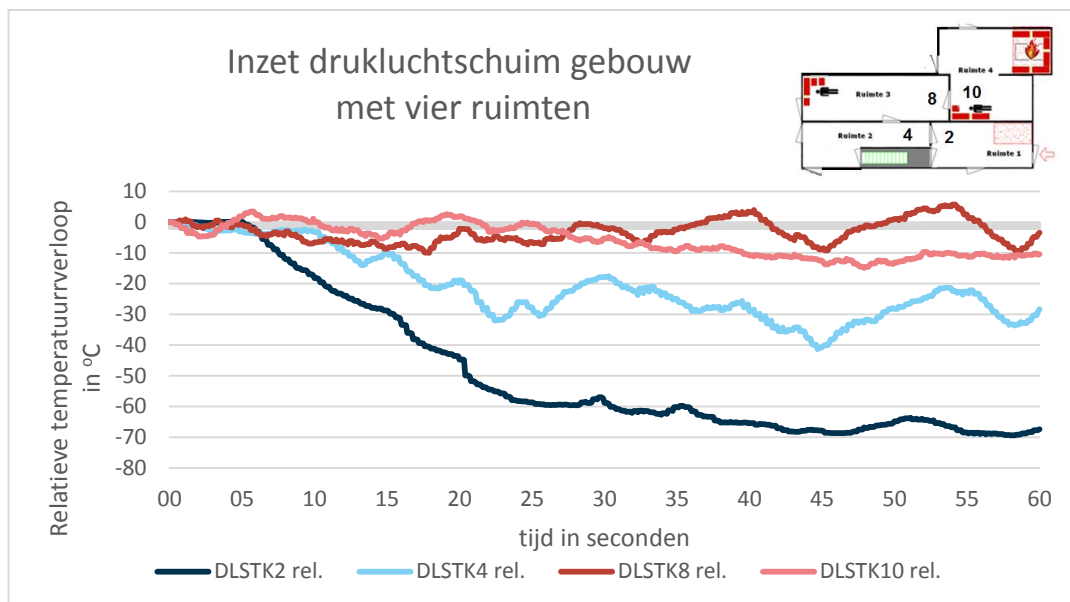
De toename van de temperatuur op leefniveau is minimaal. Wat betreft temperatuur leidt ventilatie over het algemeen niet tot een verslechtering. In de omgeving van de brand kan het leiden tot een beperkte verbetering als het slachtoffer in het ventilatiepad ligt. Daarbij moet worden opgemerkt dat de grenzen voor overleefbaarheid overschreden werden tijdens het stoppen van de ventilatiepoging. Het lijkt er op dat het tussentijds staken van de ventilatiepoging een temperatuur op slachtofferniveau.

## 4.6 Drukluchtschuim

### 4.6.1 Inzet op een gebouw met vier ruimten

DLS is gedurende een minuut ingezet vanaf punt A op het gebouw met vier ruimten. In figuur 4.13 is te zien dat er een dalend effect te zien is op ruimte 1, en een dalend effect in een golvende beweging op ruimte 2. Ook in ruimte 3 is een golvende beweging te zien, echter hierbij is er geen sprake van een structurele daling, maar van een beperkte afname en weer toename van de temperatuur. In ruimte 4 is de koeling beperkt met een afname van circa 10°C.

<sup>31</sup> De kleine vakken geven de starttemperaturen weer. In de rondjes is de eindtemperatuur weergegeven



Figuur 4.13: Inzet drukluchtschuim op een gebouw met vier ruimten

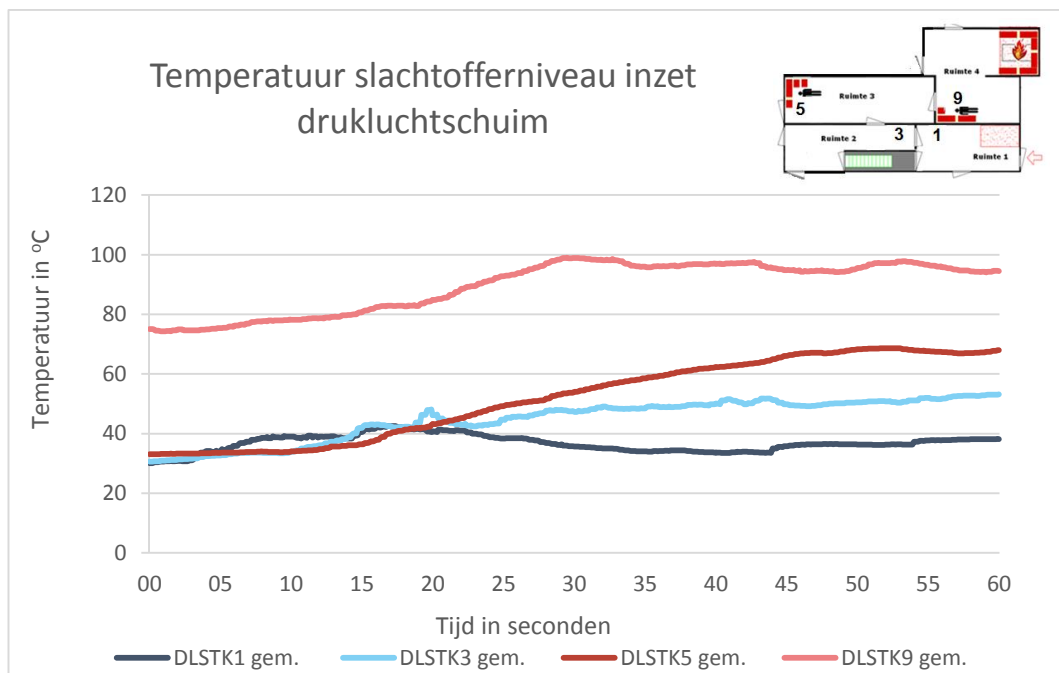
De temperatuurverschillen na een minuut inzetten zijn weergegeven in tabel 4.13.

Tabel 4.13: Gemiddeld temperatuurverschil (°C) na 60 seconden inzet vanaf A op gebouw I

Inzetmethode	Ruimte 1 (TK2) °C	Ruimte 2 (TK4) °C	Ruimte 3 (TK8) °C	Ruimte 4 (TK10) °C
Starttemperatuur	115	197	259	436
Temperatuurverschil na inzet DLS	- 67	- 28	- 4	- 10

#### *Het effect op leefniveau slachtoffers*

Als gekeken wordt naar de gemiddelde waarden op leefniveau voor de testen met drukluchtschuim blijkt dat de temperatuur onder de kritische waarde van 120 °C blijft. Ook is de grenswaarde in geen van de afzonderlijke testen overschreden.



Figuur 4.14: Temperatuur op slachtofferniveau bij inzet drukluchtschuim

Gemiddeld was maximale temperatuuroename op leefniveau op thermokoppel 9 bij de inzet bij A 27 °C, met een minimum van 21 °C en een maximum van 34 °C. Aan het eind van de inzet was de temperatuur op leefniveau gemiddeld 20 °C gestegen, met een minimum van 5 °C en een maximum van 28 °C.

#### 4.6.2 Inzet in een configuratie met minder dan vier ruimten

Met DLS lukt het in geen van de gevallen om de temperatuur van de rookgassen in ruimte 4 bij inzet vanaf punt A met een offensieve buiteninzet onder de 150 °C te brengen. Daarom is verder onderzocht wat de mogelijkheden van DLS zijn in gebouwen met minder ruimten. In tabel 8 is de inzetvolgorde van de experimenten met DLS weergegeven.

In alle drie experimenten is na de inzet vanaf de voordeur van gebouw I (punt A) de temperatuur in ruimte 1 onder de 150 °C. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat de starttemperatuur in ruimte 1 al onder de 150 °C was. In alle drie experimenten was de temperatuur bij de inzet op gebouw I in ruimte 2 niet onder de 150 °C gedaald. Daarom werd vervolgens ingezet bij B (gebouw II). Vervolgens was de temperatuur bij de drie testen in ruimte 2 onder de 150 °C maar in ruimte C niet. Daarom is de daaropvolgende inzet gedaan op gebouw III (bij C). Tot zover verliepen de experimenten gelijk. Tweemaal lukte het bij inzet op gebouw III bij C om ruimte 3 in één poging onder de 150 °C. Eenmaal was er een tweede poging nodig. In alle gevallen werd ruimte 4 bij deze inzet niet voldoende mee gekoeld, < 150 °C, waardoor een volgende inzet op gebouw IV (bij D) noodzakelijk was.

Vervolgens is een wisselend beeld te zien. Bij de eerste test is de referentiethermokoppel rechtstreeks geraakt door het schuim. Dit is te zien doordat de betreffende thermokoppel in 0,1 seconde ruim 250 °C is gedaald, terwijl de thermokoppels direct in de omgeving van de referentiethermokoppel een onverminderd hoge waarde geven van rond de 500 °C. Omdat de thermokoppel een temperatuur aangaf < 150 °C werd tijdens de experimenten de test als geslaagd beschouwd waardoor de inzet is beëindigd. Pas in de analyse werd duidelijk dat het effect werd veroorzaakt door het rechtsreeks raken van de thermokoppel door het schuim. Daarom is deze test niet meegenomen in de analyse.

Bij de overige twee testen waren drie pogingen van een minuut op gebouw IV (bij D) nodig. Bij een test lukte het om de temperatuur uiteindelijk onder de 150 °C te brengen, bij de andere test lukte dit niet en is de test na drie mislukte pogingen staakt. De eindtemperatuur was toen 227 °C. De inzetvolgorde en het effect is te zien in figuur 4.15.

methode	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW
DLS1	A		-> B		-> C		-> D								
	I		II		III		IV								
DLS2	A		-> B		-> C		C		-> D		D		D		RESULTAAT
	I		II		III		III		IV		IV		IV		RESULTAAT
DLS4	A		-> B		-> C		-> D		D		D		D		RESULTAAT
	I		II		III		IV		IV		IV		IV		RESULTAAT
TIJD (S)		60	30	60	30	60	30	60	30	60	30	60	30	60	30
TOTALE TIJD			1,5 min		3 min		4,5 min		6 min		7,5 min		9 min		10,5 min

Figuur 4.15: inzetvolgorde met gebruik van drukluchtschuim

Let op! Bij DLS 1 is ten onrechte geconcludeerd dat de test geslaagd was. Nadere analyse laat zien dat de thermokoppel door het schuim geraakt is en de temperatuur in de ruimte niet < 150 °C was (in de figuur aangegeven met drie rode strepen)

#### Het effect op leefniveau slachtoffers

Onderzocht is wat het effect is op leefniveau is bij de verschillende inzetten in de gebouwen met minder ruimten. De resultaten zijn opgenomen in tabel 4.14.

Tabel 4.14: Temperatuur op leefniveau (tk9), waarden zijn graden Celsius

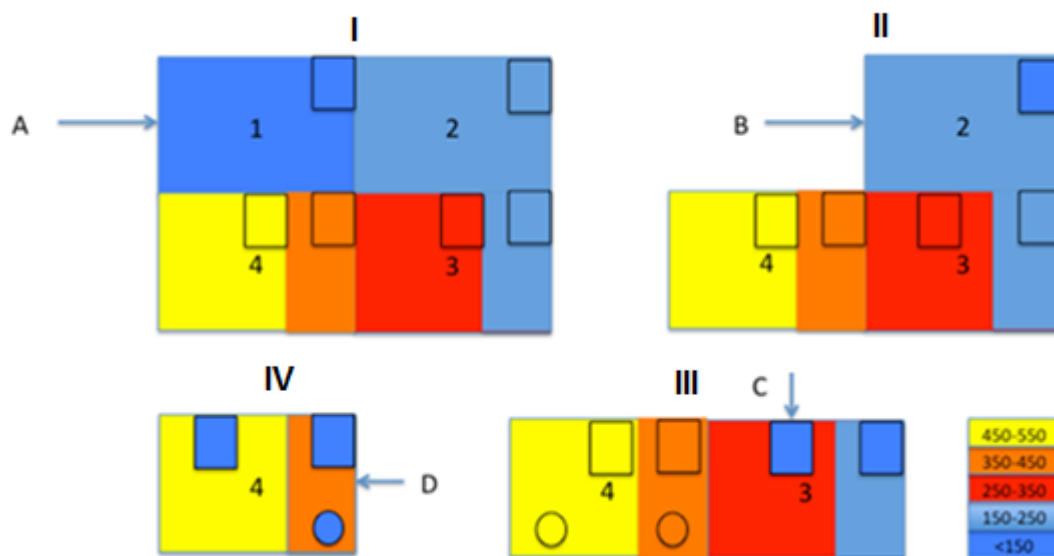
Inzet op	Verskil tussen starttemperatuur en maximale temperatuur (gem.)	Minimum en maximum temperatuurtoename/afname	Gemiddeld verschil tussen starttemperatuur en eindtemperatuur bij de inzet	Minimum en maximum verschil start- en eindtemperatuur
B	+ 8	+ 2; +19	- 2	- 16; + 19
C	+ 13	+ 5; + 28	- 3	- 9; + 2
D	+ 9	0; + 23	- 19	- 80; + 3

In bovenstaande tabel zijn de gemiddelde maximale temperatuurtoename gedurende de inzet, en het verschil tussen start- en eindtemperatuur bij de inzet op leefniveau opgenomen, evenals de spreiding.

Bij de inzetten vanaf punt B en C kwam het niet voor dat de temperatuur boven de kritische van 120 °C is gekomen op leefniveau. Bij de inzetten vanaf punt D kwam het bij één van de 7 inzetten voor dat deze grens werd overschreden. De maximale temperatuur was 133 °C. Deze temperatuur was echter bij de start van inzet al bereikt en daalde vervolgens tijdens de inzet.

### 4.6.3 Visuele weergave inzet drukluchtschuim

In figuur 4.16 is de visuele weergave van de temperatuurverdeling in de verschillende ruimten bij een inzet van drukluchtschuim weergegeven.



Figuur 4.16: Visualisatie van het temperatureffect in gebouw I, II, III en IV bij inzet met drukluchtschuim

#### 4.6.4 Conclusie drukluchtschuim

Aan de vooraf gestelde hypothesen is niet voldaan. Het is niet mogelijk om in het gebouw met vier ruimten met drukluchtschuim van buitenaf de temperatuur in ruimte 4 bij inzet vanaf punt A zover te koelen dat de temperatuur overal daalt tot onder de grens van 150 °C. Ook is DLS vanaf punt A niet in staat van buitenaf de brand in ruimte 4 te blussen.

Bij de testen met drukluchtschuim is er een daling zichtbaar in ruimte 1 en 2. In ruimte 3 en 4 is van een daling nauwelijks sprake.

Wat betreft de temperatuur op slachtofferniveau blijft deze onder de kritische waarde van 120 °C. In ruimten dicht bij de brandhaard neemt de temperatuur licht toe.

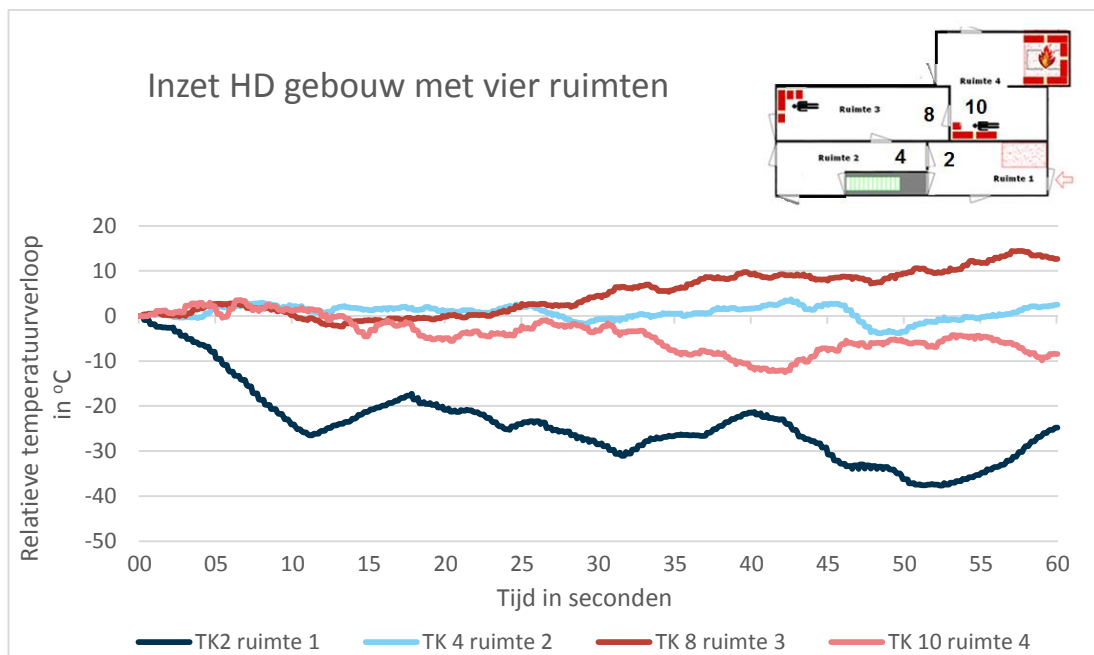
In de configuraties met minder dan vier ruimten blijkt dat drukluchtschuim vooral effectief op de eerste ruimte waarop wordt ingezet. In de brandruimte zijn er drie inzetten nodig om de temperatuur bovenin de ruimte tot onder de 150 °C te brengen, waarbij dit de ene keer wel, en de andere keer niet lukt.

Tijdens de inzetten met drukluchtschuim bleef de temperatuur op leefniveau ongeveer gelijk en wordt de kritische temperatuur voor overleefbaarheid niet overschreden.

## 4.7 Hoge druk

### 4.7.1 Inzet op een gebouw met vier ruimten

De inzet met hoge druk op gebouw 1 is weergegeven in figuur 4.17.



Figuur 4.17: Inzet HD op gebouw met vier ruimten

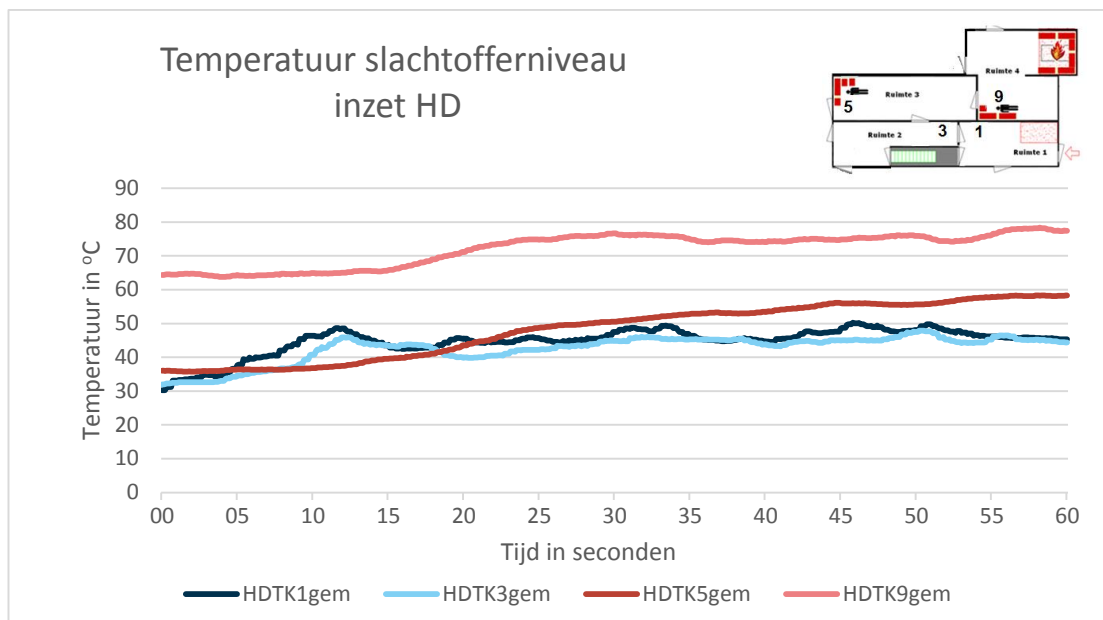
In figuur 4.17 is de temperatuur per ruimte te zien bij een inzet met HD op ruimte 1. Uit de figuur blijkt dat de temperatuur bij HD voornamelijk daalt in ruimte 1 tijdens de shots. Echter, na afloop van de shots neemt de temperatuur weer toe. Zie ook de eindtemperaturen in tabel 4.15.

Tabel 4.15: Gemiddelde temperatuurdaling (°C) na 60 seconden inzet vanaf A op gebouw I

Inzetmethode	Ruimte 1 (TK2) °C	Ruimte 2 (TK4) °C	Ruimte 3 (TK8) °C	Ruimte 4 (TK10) °C
Starttemperatuur	126	214	341	438
Temperatuurverschil na inzet hoge druk	-25	+3	+13	-9

#### Het effect op leefniveau slachtoffers

Bij geen van de inzetten is de temperatuur op leefniveau boven de 120 °C gekomen bij inzet op ruimte A. De temperatuur neemt licht toe. Dit is ook te zien in figuur 4.18.



Figuur 4.18: Temperatuur op slachtofferniveau bij inzet HD

Gemiddeld was maximale temperatuuroptoe name op leefniveau op thermokoppel 9 bij de inzet bij A 17 °C, met een minimum van 0 °C en een maximum van 26 °C. Aan het eind van de inzet was de temperatuur op leefniveau gemiddeld 14°C gestegen, met een minimum van -3 °C en een maximum van +25 °C.

#### 4.7.2 Inzet in een configuratie met minder dan vier ruimten

In tabel 4.16 is de inzetvolgorde van de experimenten met HD weergegeven. De experimenten laten een heel wisselend beeld zien. De reproduceerbaarheid van de experimenten lijkt daardoor niet groot.

Met de inzet op gebouw I wordt slechts in één experiment zowel ruimte 1 als ruimte 2 onder de 150 °C gebracht. Bij dit experiment was de temperatuur in ruimte 2 echter al lager dan 150 °C bij de start (figuur 4.19). Bij de overige experimenten is in gebouw I na de test alleen ruimte 1 onder de 150 °C. Aangezien deze bij de start van de experimenten reeds rond de 150 °C was, kunnen geen uitspraken worden gedaan over de effectiviteit.

Er zijn telkens meerdere inzetten op gebouwen II en III nodig om de temperatuur in die ruimte onder de 150 °C te brengen. Omdat ook bij de inzet in gebouw III na drie pogingen niet lukte om ruimte 3 onder de 150 °C te brengen is geen experiment in gebouw IV uitgevoerd.

Met HD lukt het niet om met een inzet op gebouw I de temperatuur in alle ruimten onder 150 °C te brengen. Het lukte zelfs niet in één inzet van 3x2 pulsen in 60 seconden de eerste ruimte van gebouwen II en III onder 150 °C te brengen.



Tabel 4.16: Inzetvolgorde met gebruik van HD

methode	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW	inzet	inzet punt GEBOUW
HD2	A I		-> B II		-> B II		B II								
HD3	A I		-> B II		B II		B II		-> C III		C III		C III		
HD4	A I		-> B II		-> C III		C III		-> C III						
HD5	A I		-> -> C III		C III		C III								
HD6	A I		-> B II		-> C III		C III								
TIJD (S)		60	30	60	30	60	30	60	30	60	30	60	30	60	30
TOTALE TIJD			1,5 min		3 min		4,5 min		6 min		7,5 min		9 min		10,5 min

*Het effect op leefniveau slachtoffers*

Onderzocht is wat het effect is op leefniveau is bij de verschillende inzetten in de gebouwen met minder ruimten. De resultaten zijn opgenomen in tabel 4.17.

Tabel 4.17: Temperatuur op leefniveau (tk9), waarden zijn graden Celsius

Inzet op	Verskil tussen starttemperatuur en maximale temperatuur (gem.)	Minimum en maximum temperatuurtoename/afname	Gemiddeld verschil tussen starttemperatuur en eindtemperatuur bij de inzet	Minimum en maximum verschil start- en eindtemperatuur
B	+ 25	+ 10; + 36	+ 15	-7 ; + 33
C	+ 11	+ 0; + 58	- 6	-47; + 39

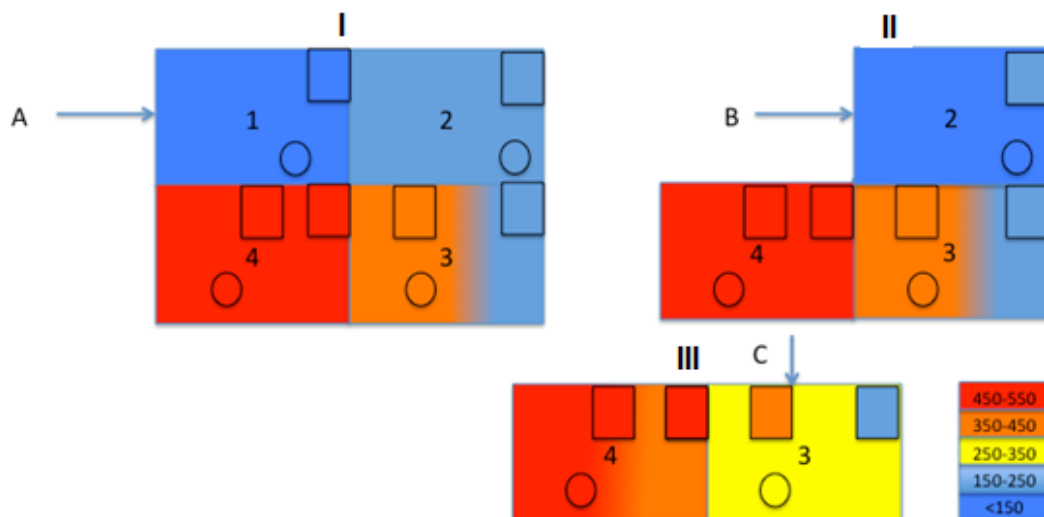
In bovenstaande tabel zijn de gemiddelde maximale temperatuurtoename gedurende de inzet, en het verschil tussen start- en eindtemperatuur bij de inzet op leefniveau opgenomen, evenals de spreiding.

Bij de inzetten op ruimte B is bij twee van de vijf pogingen de temperatuur boven de kritische van 120 °C gekomen (126 °C respectievelijk 129 °C) terwijl deze bij de start van de inzet lager was (94 °C respectievelijk 97 °C).

Bij de inzetten vanaf punt C kwam bij 11 van de 12 pogingen de temperatuur boven de kritische temperatuur van 120 °C, waarvan in vier gevallen de starttemperatuur van de inzet lager lag dan 120 °C. Hierbij werd de maximale temperatuur 146 °C. In de overige zeven gevallen was de starttemperatuur al boven de kritische grens bij de start van de inzet.

**4.7.3 Visuele weergave inzet HD**

In figuur 4.19 is de visuele weergave opgenomen van de temperatuurverdeling in de verschillende ruimten bij een inzet met HD.



Figuur 4.19: Visualisatie van het temperatureffect in gebouw I, II en III bij inzet met HD<sup>32</sup>

#### 4.7.4 Conclusie hoge druk

Aan de vooraf gestelde hypothesen is niet voldaan. Het is niet mogelijk om in het gebouw met vier ruimten met hoge druk van buitenaf de temperatuur in ruimte 4 bij inzet vanaf A zo ver te koelen dat de temperatuur overal daalt tot onder de grens van 150 °C. Ook is hoge druk niet in staat van buitenaf de brand in ruimte 4 te. Bij inzet in het gebouw met vier ruimten stijgt de temperatuur in ruimte 3 licht. Na ieder shot neemt de temperatuur weer toe. Dat betekent dat om überhaupt effect te hebben, elke ruimte in een werkelijke inzet continu zal moeten worden gekoeld. De temperatuur op leefniveau neemt licht toe, maar blijft onder de 120 °C.

Bij inzetten op gebouwen met minder dan vier ruimten, lukt het met HD over het algemeen nauwelijks om per individuele ruimte binnen 60 seconden met meerdere pulsen de temperatuur van de ruimte tot onder de 150 °C te brengen<sup>33</sup>. Om dit wel te bereiken, waren meerdere pogingen van 60 seconden nodig. Omdat binnen de gekozen onderzoeksopzet maximaal drie pogingen per ruimte werden gedaan, is tijdens de inzetten met HD niet verder gekomen dan de tweede of derde ruimte. Omdat het met HD na drie pogingen niet is gelukt, de rookgaslaag in de ruimte waarop werd ingezet te koelen, zijn er tijdens de experimenten geen inzetten rechtstreeks in de brandruimte (ruimte 4) geweest.

Bij de inzetten in de gebouwen met minder dan vier ruimten blijkt dat de temperatuur op leefniveau over het algemeen iets toeneemt hoewel er op een gegeven moment ook weer een lichte daling plaatsvindt. Wat wel opvalt is dat de temperatuur een aantal malen boven de kritische grens van 120 °C komt, en dat het aantal hiervan toeneemt naarmate dichter bij de vuurhaard wordt ingezet.

## 4.8 Lage druk

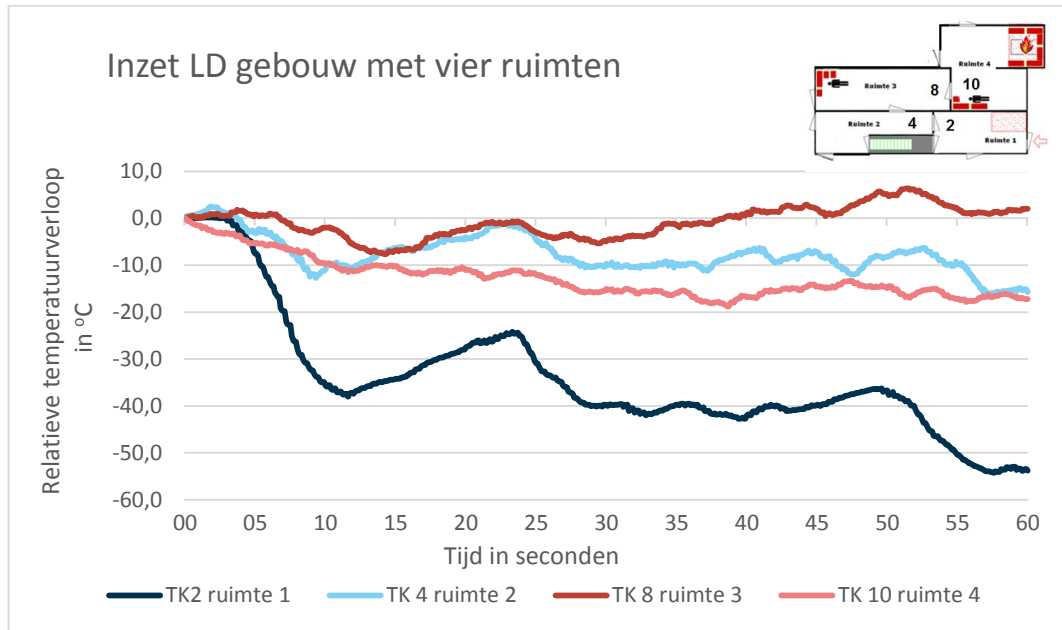
### 4.8.1 Inzet op een gebouw met vier ruimten

Het effect op de temperatuur in de verschillende ruimtes is weergegeven in figuur 4.20. Bij de inzetten met lage druk vanaf punt A op gebouw 1 is in de eerste ruimte een daling van de temperatuur tijdens de shots te zien. De temperatuur neemt na het eindigen van de shots

<sup>32</sup> Met HD werd niet ingezet op gebouw IV omdat na drie inzetten op gebouw III de temperatuur in ruimte 3 niet onder de 150 °C was gedaald.

<sup>33</sup> Een uitzondering vormt hierop ruimte 1, de starttemperatuur in deze ruimte lag echter al laag.

beperkt toe. In ruimte 2 en 4 neemt de temperatuur heel beperkt af, in ruimte 3 blijft de temperatuur ongeveer gelijk met de starttemperatuur.



Figuur 4.20: Inzet LD op gebouw met vier ruimten

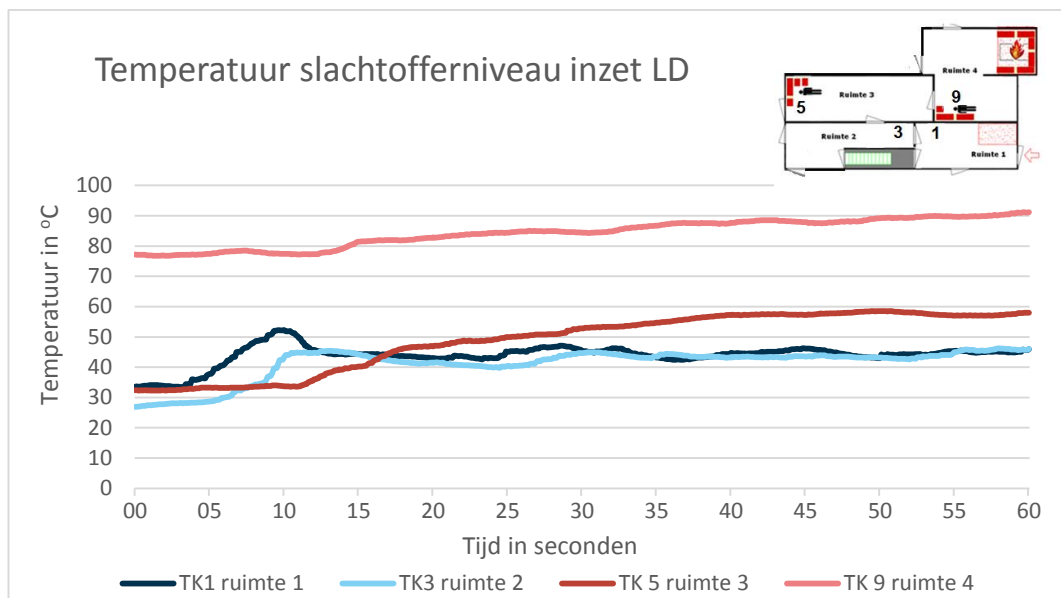
In tabel 4.18 zijn de eindtemperaturen voor lage druk weergegeven.

Tabel 4.18: Gemiddelde temperatuurverschil (°C) na 60 seconden inzet vanaf A op gebouw I

Inzetmethode	Ruimte 1 (TK2) °C	Ruimte 2 (TK4) °C	Ruimte 3 (TK8) °C	Ruimte 4 (TK10) °C
Starttemperatuur	123	181	326	410
Temperatuurverschil na inzet lage druk	-54	-17	+2	-15

#### *Het effect op leefniveau slachtoffers*

Er zijn geen inzetten geweest waarbij de temperatuur op leefniveau boven de 120 °C is gekomen. Zie figuur 4.21. Wel neemt de temperatuur op leefniveau licht toe.



Figuur 4.21: Temperatuur op slachtofferniveau bij inzet LD

Gemiddeld was maximale temperatuuroptoe name op leefniveau bij de inzet op thermokoppel 9 bij A 19 °C, met een minimum van 5 °C en een maximum van 36 °C. Aan het eind van de inzet was de temperatuur op leefniveau gemiddeld 17 °C gestegen, met een minimum van 3 °C en een maximum van 29 °C.

#### 4.8.2 Inzet in een configuratie met minder dan vier ruimten

In tabel 4.20 is de inzetvolgorde van de experimenten met lage druk weergegeven. De experimenten laten een wisselend beeld zien.

Met de inzet op gebouw I wordt in één experiment zowel ruimte 1 als ruimte 2 onder de 150 °C gebracht. Bij dit experiment was de temperatuur in ruimte 2 echter al rond 150 °C bij de start (figuur 4.23). Bij de overige experimenten wordt alleen ruimte 1 onder de 150 °C gebracht.

Tabel 4.20: Inzetvolgorde met gebruik van lage druk

methode	inzet punt	inzet	inzet punt	inzet	inzet punt	inzet	inzet punt	inzet	inzet punt	inzet	inzet punt	inzet	inzet punt	inzet	inzet punt	inzet
	GEBOUW		GEBOUW		GEBOUW		GEBOUW		GEBOUW		GEBOUW		GEBOUW		GEBOUW	
LD1	A		-> B		-> C		C		C							
	I		II		III		III									
LD2	A		-> B		B		-> C		C							
	I		II		II		III		III							
LD3	A		-> -> C		-> D		D		D							
	I		III		IV		IV		IV							
LD4	A		-> B		B		-> C		-> D							
	I		II		II		III		IV							
LD5	A		-> B		-> C		C		-> D							
	I		II		III		III		IV							
TIJD (S)		60	30	60	30	60	30	60	30	60	30	60	30	60	30	
TOTALE TIJD			1,5 min		3 min		4,5 min		6 min		7,5 min		9 min		10,5 min	12 min

In gebouw II is bij twee experimenten één inzet op ruimte 2 genoeg om de temperatuur in die ruimte onder de 150 °C te brengen. Bij twee experimenten zijn daarvoor twee inzetten nodig. Eén keer lukt het om met één inzet in gebouw III vanaf C de temperatuur in ruimte 3 lager dan 150 °C te brengen. In de andere experimenten zijn daar meerdere inzetten voor nodig. Het lukt in slechts één experiment om de temperatuur in gebouw IV de brandruimte onder de 150 °C te brengen.

#### Het effect op leefniveau slachtoffers

Onderzocht is wat het effect is op leefniveau is bij de verschillende inzetten in de gebouwen met minder ruimten. De resultaten zijn opgenomen in tabel 4.21.

Tabel 4.21: Temperatuur op leefniveau, waarden zijn graden Celsius

Inzet op	Verskil tussen starttemperatuur en maximale temperatuur (gem.)	Minimum en maximum temperatuurtoename/afname	Gemiddeld verschil tussen starttemperatuur en eindtemperatuur bij de inzet	Minimum en maximum verschil start- en eindtemperatuur
B	+ 18	+ 3; + 36	+ 13	+ 0 ; + 26
C	+ 14	+ 0; + 38	- 3	- 30; + 38
D	+ 7	+0; + 22	- 20	- 48; +6

In bovenstaande tabel zijn de gemiddelde maximale temperatuurtoename gedurende de inzet, en het verschil tussen start- en eindtemperatuur bij de inzet op leefniveau opgenomen, evenals de spreiding.

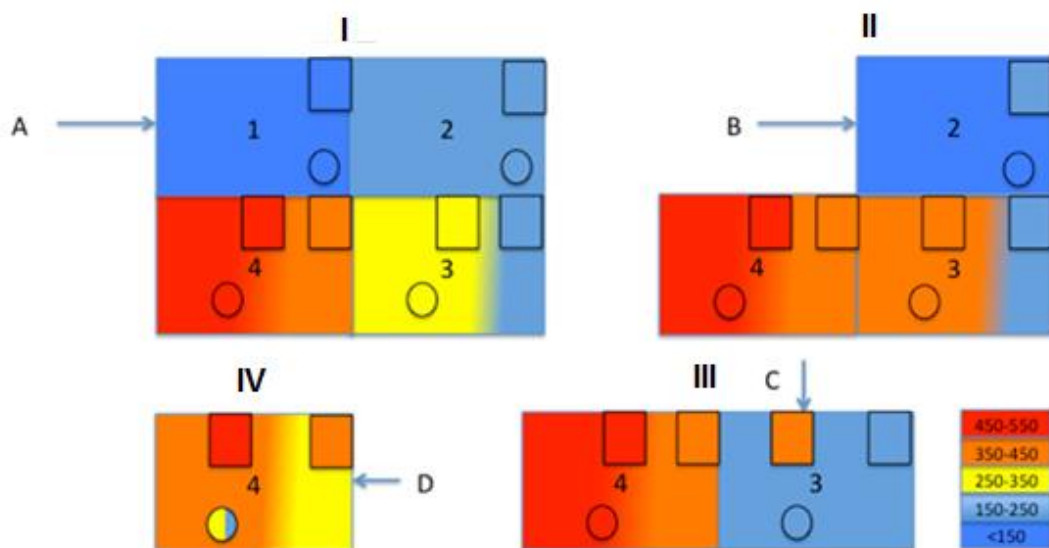
Bij de inzetten op ruimte B kwam bij één van de zes pogingen de temperatuur boven de kritische temperatuur van 120 °C (124 °C) terwijl deze bij de start van de inzet lager was (88 °C).

Bij de inzetten op ruimte C kwam bij zeven van de tien pogingen de temperatuur boven de kritische grens van 120 °C, waarvan in vijf gevallen de starttemperatuur van de inzet lager lag dan 120 °C. Hierbij werd de maximale temperatuur 133 °C. In de overige twee gevallen was de starttemperatuur al boven de kritische grens bij de start van de inzet.

Bij de tien inzetten op ruimte D kwam de temperatuur op leefniveau bij twee inzetten boven de kritische temperatuur van 120 °C, waarvan deze eenmaal al bij de start van de inzet boven de 120 °C lag, en eenmaal daadwerkelijk tijdens de inzet de grens overschreed. De maximale temperatuur was hierbij 135 °C.

### 4.8.3 Visuele weergave inzet LD

In figuur 4.23 is de visuele weergave opgenomen van de temperatuurverdeling in de verschillende ruimten bij een inzet met LD.



Figuur 4.23: Visualisatie van het temperatureffect in gebouw I, II, III en IV bij inzet met lage druk<sup>34</sup>

<sup>34</sup> De kleine vakken geven de starttemperaturen weer. In de rondjes is de eindtemperatuur weergegeven

#### 4.8.4 Conclusie lage druk

Aan de vooraf gestelde hypothesen is niet voldaan. Het is niet mogelijk om in het gebouw met vier ruimten met lage druk van buitenaf de temperatuur in ruimte 4 bij inzet vanaf A zo ver te koelen dat de temperatuur overal daalt tot onder de grens van 150 °C. Ook is lage druk niet in staat van buitenaf de brand in ruimte 4 te Na het beëindigen van de shots neemt de temperatuur weer toe. Dat betekent dat om überhaupt effect te hebben, elke ruimte in een werkelijke inzet continu zal moeten worden gekoeld. De temperatuur op leefniveau neemt licht toe, maar blijft onder de 120 °C.

Bij inzetten op gebouwen met minder dan vier ruimten, is het in een aantal gevallen noodzakelijk om meer dan één poging van 60 seconden te doen om de ruimte waarop wordt ingezet voldoende te koelen. Slechts in één van de vijf testen lukt het om binnen de gekozen onderzoeksopzet van maximaal drie pogingen per ruimte, de brandruimte voldoende te koelen. Bij de overige inzetten werd de na drie pogingen op de brandruimte afgebroken omdat het criterium na deze pogingen nog niet was bereikt.

Bij de inzetten in de gebouwen met minder ruimten is in eerste instantie gedurende de inzet op leefniveau een beperkte temperatuuroename te zien, welke naarmate de inzet vordert overgaat in een beperkte afname. De temperatuurafname aan het eind van de inzet is op leefniveau groter naarmate de inzet dichterbij de vuurhaard is.

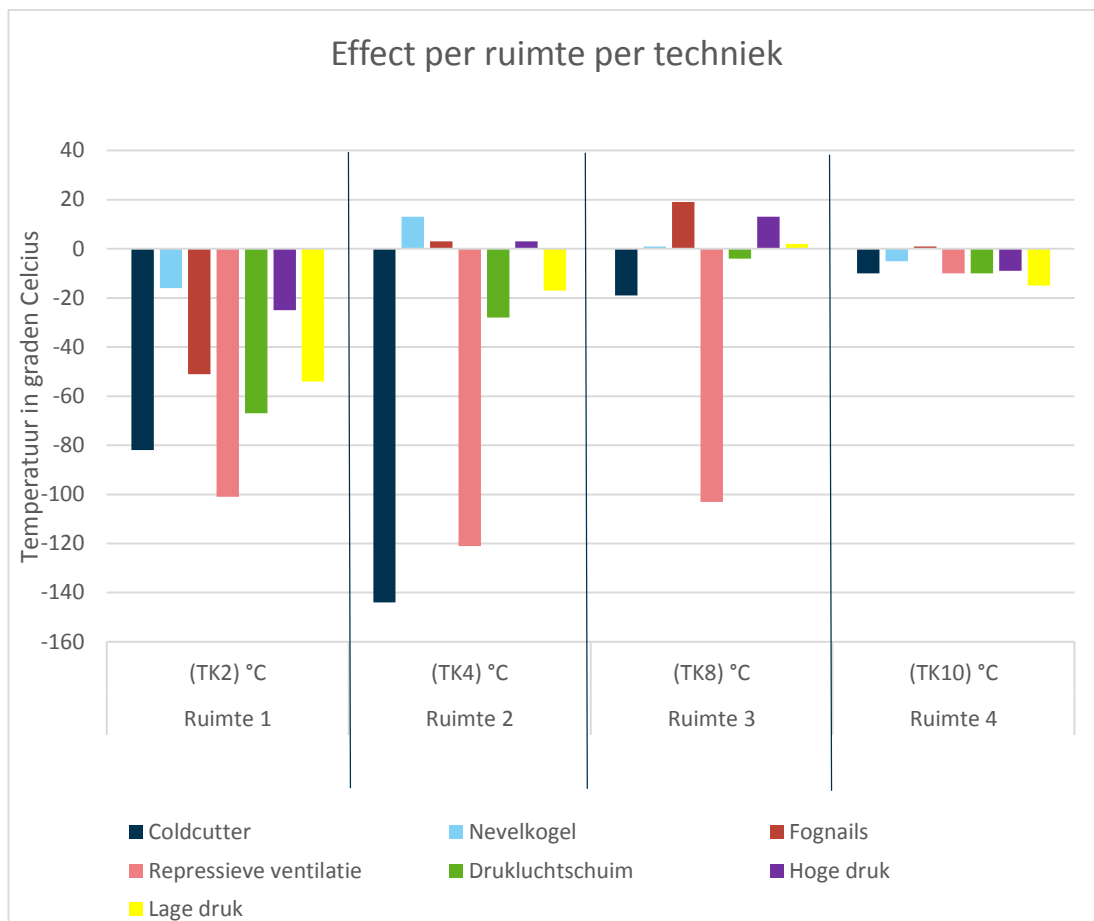
Bij een aantal inzetten is de temperatuur op leefniveau boven de grenswaarde voor overleefbaarheid gekomen, met een maximum van 135 °C.

### 4.9 Vergelijking tussen de technieken bij inzet op een gebouw met vier ruimten

In deze paragraaf wordt een vergelijking tussen de technieken gemaakt bij de eerste inzet op het gebouw met vier ruimten. Omdat de vervolginzetten beïnvloed kunnen zijn door het effect van de eerste inzet (de brand werd ook gebruikt voor de vervolginzetten), en daardoor per techniek een ander patroon van inzetten in de diverse ruimten is gevolgd, kunnen deze niet onderling vergeleken worden .

#### 4.9.1 Het effect op de temperatuur in de verschillende ruimtes

In figuur 4.24 zijn de effecten van de buiteninzetten bij punt A op ruimte 1 in de configuratie met vier ruimtes weergegeven. In de figuur is het temperatuurverschil tussen de starttemperatuur en de eindtemperatuur na een minuut inzetten opgenomen.



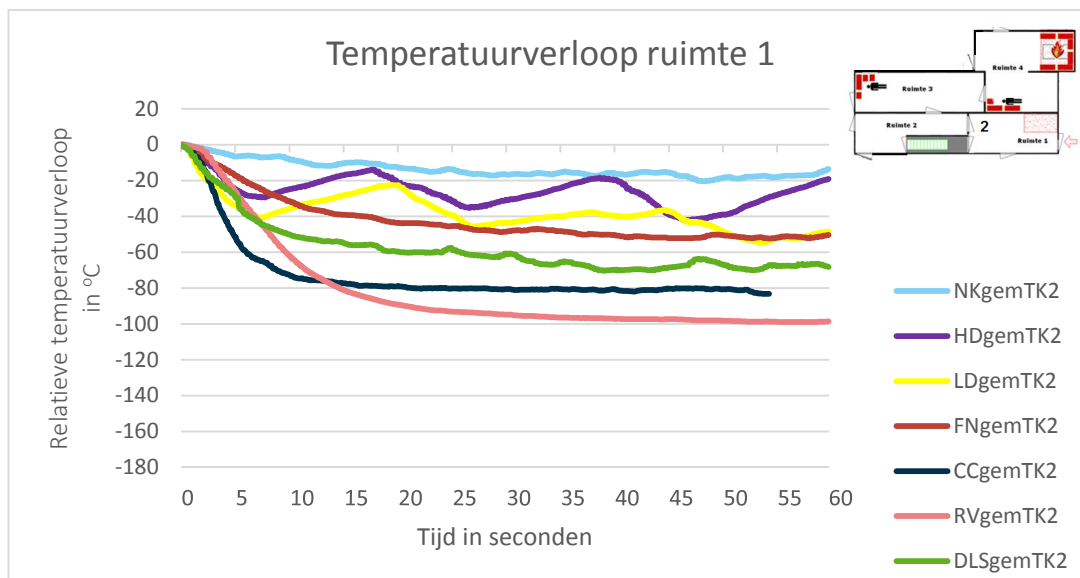
Figuur 4.24: Effect per ruimte en per techniek

Uit figuur 4.24 blijkt dat geen enkele techniek vanaf de inzet op ruimte 1 in staat is de temperatuur in ruimte 4 meer dan 15 °C te koelen. Dit betekent dat geen enkele techniek ook maar enigszins bij een van de einddoelen van de offensieve buiteninzet, namelijk het koelen van de temperatuur van de rookgaslaag tot onder de 150 graden in de brandruimte, in de buurt komt.

Alle technieken hebben bij inzet vanaf punt A effect in ruimte 1, waarbij repressieve ventilatie, de coldcutter en drukluchtschuim de grootste koeling tot stand brengen. Bij inzet op A leveren de coldcutter en repressieve ventilatie in ruimte 2 een koeling van meer dan 100 °C. Drukluchtschuim en lagedruk hebben een beperkt effect, de rest heeft geen effect. In ruimte 3 geeft repressieve ventilatie een daling van meer dan 100 °C. De coldcutter koelt circa 20 °C. De overige technieken hebben geen effect of laten een stijging zien. In ruimte 4 is geen enkele techniek in staat een substantiële koeling tot stand te brengen.

In de figuren 4.25 tot en met 4.28 wordt het temperatuurverloop in de verschillende ruimten gepresenteerd. In de figuren zijn de starttemperaturen op 0 °C genormeerd opdat alleen het temperatuurverschil ten opzichte van de starttemperatuur zichtbaar is.

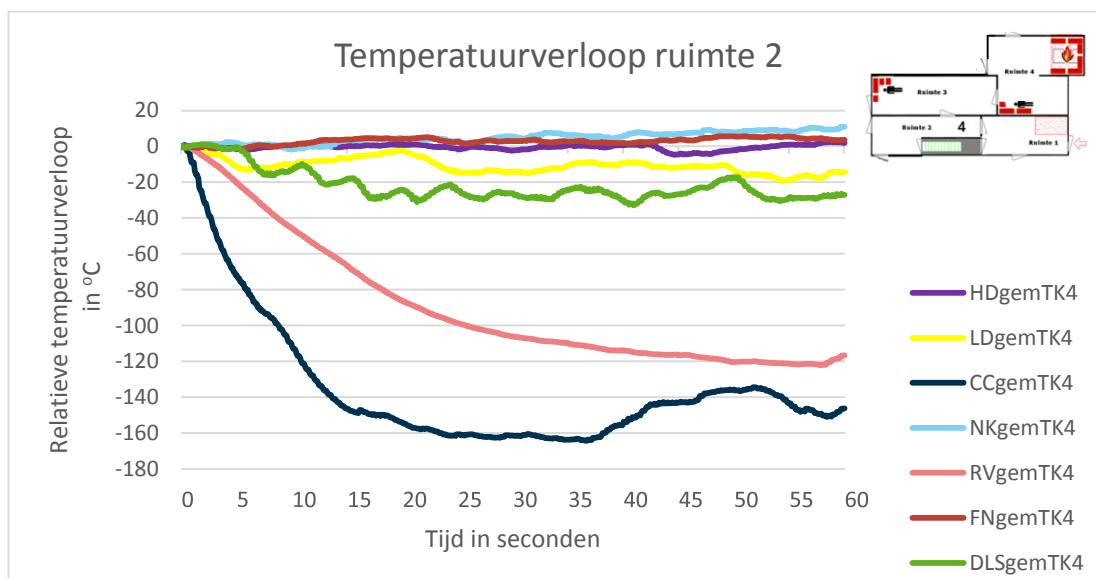
In figuur 4.25 is het temperatuurverloop weergegeven in ruimte 1, wanneer wordt ingezet bij de voordeur (punt A) van gebouw. In ruimte 1 was de gemiddelde starttemperatuur rond de 130 °C.



Figuur 4.25: Temperatuurverloop relatieve temperatuur in ruimte 1 na inzet vanaf punt A in de eerste 60 seconden van de inzet.

Het temperatuurverloop laat voor HD en LD de typische curven zien die samenhangen met de drie inzetcycli van twee shots. De temperatuur daalt maar stijgt daarna weer. Repressieve ventilatie, coldcutter, drukluchtschuim, fognails en nevelkogel veroorzaken een continue daling. Deze technieken zijn gedurende de 60 seconden van de inzet niet onderbroken, met uitzondering van drukluchtschuim, welke wel met pulsen is ingezet. De geringste temperatuurdaling wordt bereikt met de nevelkogel en HD. Repressieve ventilatie, de coldcutter en drukluchtschuim veroorzaken de grootste temperatuurdaling. LD en de fognails veroorzaken een ongeveer gelijke temperatuurdaling. Verder valt op dat de temperatuurdaling voornamelijk in de eerste 20 seconden wordt bereikt.

In figuur 4.26 is het temperatuurverloop weergegeven in ruimte 2, wanneer wordt ingezet bij de voordeur (punt A) van gebouw. De gemiddelde starttemperatuur in ruimte 2 was 194 °C.

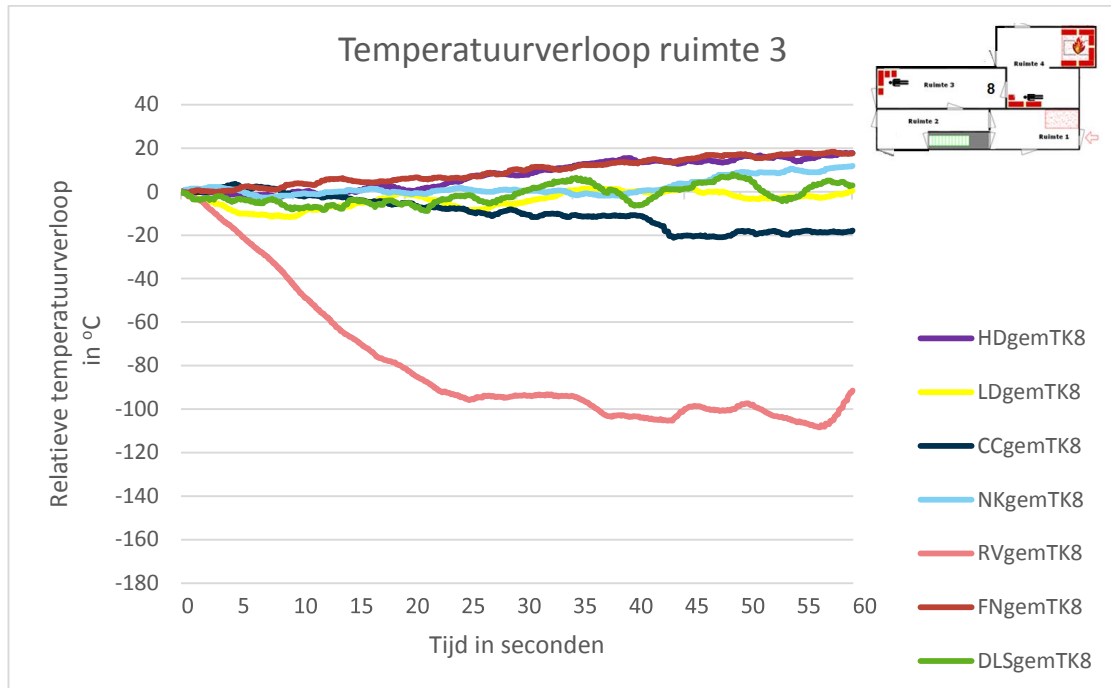


Figuur 4.26: Temperatuurverloop in ruimte 2, relatieve temperatuur.

In ruimte 2 hebben de coldcutter en repressieve ventilatie een groot effect. De andere technieken koelen de ruimte met minder dan 30 °C. Wat opvalt is dat de temperatuur met de coldcutter na ongeveer 35 seconden weer stijgt.



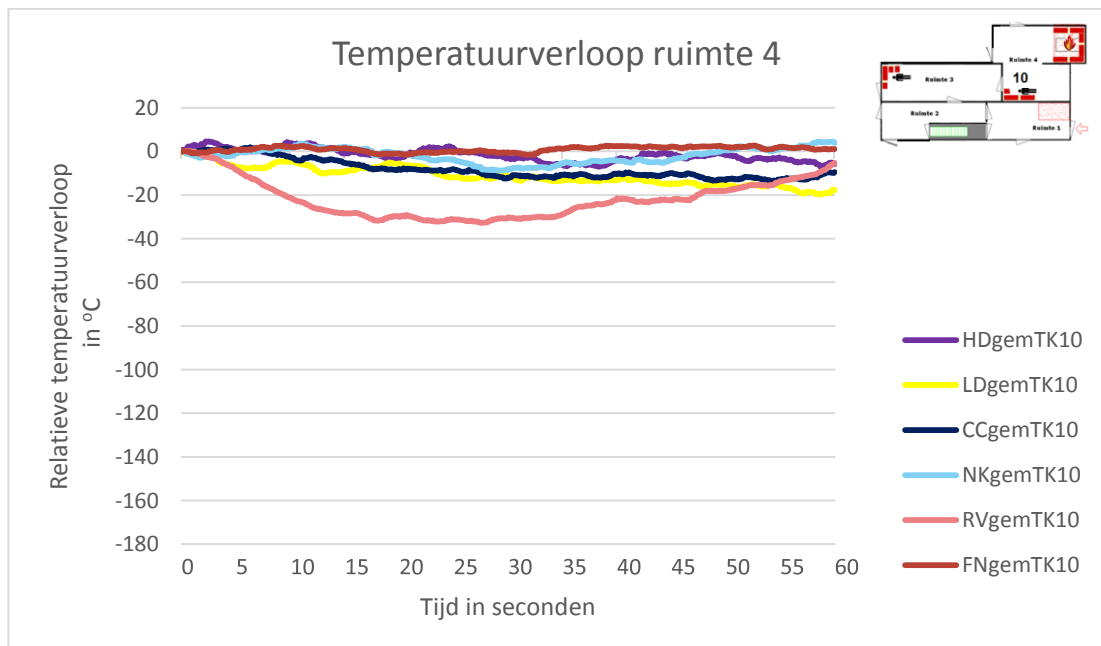
In figuur 4.27 is het temperatuurverloop weergegeven in ruimte 3, wanneer wordt ingezet bij de voordeur (punt A) van gebouw. De gemiddelde starttemperatuur in ruimte 2 was 349 °C.



Figuur 4.27: Temperatuurverloop relatieve temperatuur in ruimte 3

In deze figuur is duidelijk te zien dat repressieve ventilatie als enige techniek een substantiële daling van de temperatuur bereikt. Bij de overige technieken daalt de temperatuur nauwelijks of stijgt deze licht.

In figuur 4.28 is het temperatuurverloop weergegeven in ruimte 4, de brandruimte, wanneer wordt ingezet bij de voordeur (punt A) van gebouw I. De gemiddelde starttemperatuur in ruimte 4 was 545 °C.

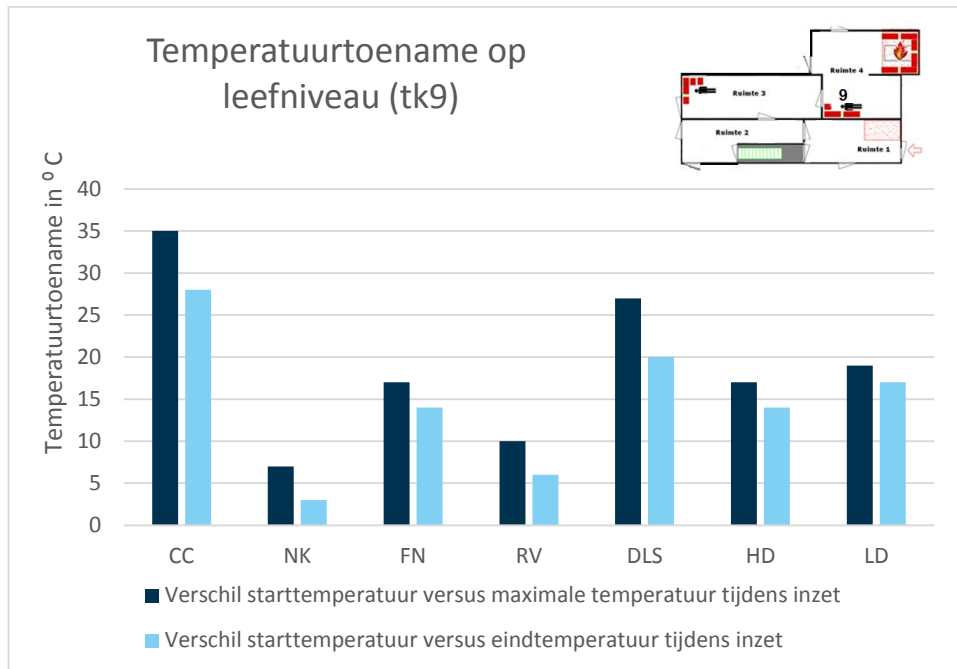


Figuur 4.28: Temperatuurverloop relatieve temperatuur in ruimte 4

Te zien is dat in ruimte 4 geen enkele techniek een substantiële temperatuurdaling met zich meebrengt. Alleen repressieve ventilatie laat een beperkte daling van circa 30 °C zien hoewel de temperatuur later weer stijgt.

#### 4.9.2 Het effect op leefniveau slachtoffers

Bij alle inzettechnieken is de temperatuur na de inzet hoger dan voordat de inzet startte. Bij de coldcutter en DLS is de stijging grootst. In absolute zin is de stijging echter beperkt. Zie ook figuur 4.29.



Figuur 4.29: Maximale temperatuurverschil tijdens inzet

Alle technieken laten een (beperkte) toename van de temperatuur op leefniveau in de brandruimte zien, waarbij de coldcutter en drukluchtschuim de sterkste toename laten zien. Gemiddeld blijft de temperatuur bij de nevelkogel, repressieve ventilatie, drukluchtschuim, hoge druk en lage druk in alle testen onder de kritische grenswaarde van 120 °C voor temperatuur op leefniveau. Bij inzet vanaf punt A wordt alleen bij een van de vijf testen van de coldcutter en bij een van de vijf testen met de fognail een overschrijding van de grenswaarde van 120 °C waargenomen. Deze overschrijding is zeer beperkt, namelijk 3 °C en 6 °C.

Een toename van de temperatuur op leefniveau tijdens een offensieve buiteninzet, evenals een overschrijding van de kritische temperatuur zou te maken kunnen hebben met de opmenging van warme lucht die zich bovenin de container bevindt met de koelere lucht onder in de ruimte.

#### 4.9.3 Waterverbruik

In tabel 4.12 is het gemiddelde waterverbruik weergegeven bij de inzet vanaf punt A op het gebouw met vier ruimten. Deze gegevens zijn opgenomen als informatie bij de interpretatie van de voorgaande resultaten.

Tabel 4.21: Gemiddelde waterverbruik in de eerste 60 seconden bij inzet vanaf punt A op gebouw I

Techniek	Gemiddeld Waterverbruik (dm <sup>3</sup> )
Coldcutter	59
Nevelkogel	270
Fognails	23
Drukluchtschuim	101
Hoge druk	28
Lage druk	55

Wat opvalt is het lage waterverbruik van de fognails ten opzichte van de theoretische waterlevering. De fognail gebruikt minder dan de helft van zijn theoretische vermogen (70 dm<sup>3</sup>/min) terwijl bij de coldcutter het verbruik wel overeen komt met de theoretische hoeveelheid van 60 dm<sup>3</sup>/min. Hiervoor is geen verklaring gevonden.

#### 4.9.4 Conclusie vergelijking technieken bij inzet op gebouw met vier ruimten

Geen van de onderzochte inzettechnieken komt bij inzet vanaf punt A op ruimte 1 in de buurt bij een van de einddoelen van de offensieve buiteninzet, namelijk het koelen van de temperatuur van de rookgaslaag tot onder de 150 graden in de brandruimte (ruimte 4). Wel hebben alle technieken effect in ruimte 1, waarbij repressieve ventilatie, de coldcutter en drukluchtschuim de grootste koeling tot stand brengen. In ruimte 2 bereiken de coldcutter en repressieve ventilatie als enige een koeling van meer dan 100 °C. Drukluchtschuim en lage druk hebben in ruimte 2 nog beperkt effect, de overige technieken hebben geen effect. In ruimte 3 geeft alleen repressieve ventilatie een substantiële daling meer dan 100 °C. De coldcutter koelt circa 20 °C. De rest van de technieken koelt deze ruimte niet bij inzet op A. In ruimte 4 koelt alleen repressieve ventilatie enkele tientallen graden bij inzet op A, de rest heeft geen effect.

Alle technieken laten een (beperkte) toename van de temperatuur op leefniveau in de brandruimte zien, waarbij de coldcutter en drukluchtschuim de sterkste toename laten zien. gemiddeld blijft de temperatuur bij de nevelkogel, repressieve ventilatie, drukluchtschuim, hoge druk en lage druk in alle testen overal onder de kritische grenswaarde voor temperatuur op leefniveau. Bij inzet vanaf punt A wordt alleen bij een van de vijf testen bij de coldcutter inzet en bij een van de vijf testen van de fognails de grenswaarde overschreden. De overschrijding is zeer beperkt.

Wat betreft het waterverbruik is tijdens de testen met de nevelkogel en drukluchtschuim het meeste water verbruikt, en met de fognails en hoge druk het minste.

# 5 Conclusie

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de deelvragen en de hoofdvraag zoals beschreven in de inleiding. Bij de duiding van de conclusies is het belangrijk te weten dat in het onderzoek uitsluitend één proefopzet met één scenario onderzocht. Dit betekent dat de conclusies van het onderzoek uitsluitend geldig zijn voor de onderzochte proefopzet en scenario.

## 5.1 Conclusies deelvragen

**Deelvraag 1: Wat is het effect van de offensieve buiteninzet technieken op de temperatuur van de rookgassen in de verschillende ruimten en op slachtofferniveau bij een inzet op een gebouw met vier ruimten?**

### **Coldcutter:**

Het is niet mogelijk om in het gebouw met vier ruimten vanaf de voordeur zover te koelen dat de temperatuur in alle vier de ruimten daalt tot onder de grens van 150 °C. Wel blijkt de coldcutter bij inzet in een rechte lijn meerdere ruimten te koelen, echter niet de ruimten die verder in het gebouw zich om een hoek bevinden. Ook is de coldcutter niet in staat van buitenaf de brand te blussen. Wat betreft de temperatuur op slachtofferniveau kent de coldcutter de grootste stijging van de temperatuur met circa 35 °C. Gemiddeld genomen komt de temperatuur op leefniveau bij de coldcuttertesten echter niet boven kritische grens van 120 °C.

### **Nevelkogel:**

Het is niet mogelijk om in het gebouw met vier ruimten vanaf de voordeur zover te koelen dat de temperatuur in alle vier ruimten daalt tot onder de grens van 150 °C. Ook is de nevelkogel niet in staat van buitenaf de brand in ruimte 4 te blussen.

Bij de testen met de nevelkogel is er een zeer beperkte toename van circa 10 °C te zien op ruimte 2, en een lichte daling op ruimte 3 en 4 die binnen de minuut terug stijgt tot bijna de starttemperatuur. De nevelkogel heeft vooral effect op de ruimte waarop hij wordt ingezet. De inzet heeft slechts beperkte invloed op andere ruimten dan waarop wordt ingezet. De reikwijdte van deze inzetactie is daarmee beperkt. Wat betreft de temperatuur op slachtofferniveau blijft deze onder de kritische waarden, en stabiel.

### **Fognails:**

Het is niet mogelijk om in het gebouw met vier ruimten vanaf de voordeur zover te koelen dat de temperatuur in alle vier ruimten daalt tot onder de grens van 150 °C.

De fognails hebben alleen een dalend effect op de temperatuur in ruimte 1. Er is in de overige ruimten geen effect waarneembaar, anders dan een beperkte toename van de temperatuur in ruimte 3. De temperatuur op leefniveau blijft over het algemeen stabiel op de temperatuur die voor aanvang van de inzet gemeten is, welke zich onder de kritische grens van 120 °C bevindt.

### **Repressieve ventilatie:**

Het is niet mogelijk om in het gebouw met vier ruimten vanaf de voordeur zover te koelen dat de temperatuur in alle vier ruimten daalt tot onder de grens van 150 °C.

Repressieve ventilatie laat bij inzet vanaf A op het gebouw met vier ruimten wel een significante daling zien van de temperatuur in ruimte 1, 2 en 3. De temperatuur in de brandruimte daalt licht, maar komt niet onder de 150 °C bij inzet vanaf A. Dit is wel het geval voor ruimte

1 en 2. Op slachtofferniveau is de temperatuur niet boven de kritische grens van 120 °C gekomen.

#### **DLS:**

Het is niet mogelijk om in het gebouw met vier ruimten vanaf de voordeur zover te koelen dat de temperatuur in alle vier ruimten daalt tot onder de grens van 150 °C.

Drukluchtschuim laat bij inzet vanaf A op het gebouw met vier ruimten wel een daling zien van de temperatuur in ruimte 1 en een beperkte daling in ruimte 2. In ruimte 3 en 4 is van een daling nauwelijks sprake. Op slachtofferniveau is de temperatuur niet boven de kritische grens van 120 °C gekomen.

#### **HD:**

Het is niet mogelijk om in het gebouw met vier ruimten vanaf de voordeur zover te koelen dat de temperatuur in alle vier ruimten daalt tot onder de grens van 150 °C.

Bij inzet in het gebouw met vier ruimten stijgt de temperatuur in ruimte 3 licht. Na ieder shot neemt de temperatuur weer toe. Dat betekent dat om enig structureel effect te hebben, elke ruimte in een werkelijke inzet continu zal moeten worden gekoeld. De temperatuur op leefniveau neemt licht toe, maar blijft onder de 120 °C.

#### **LD:**

Het is niet mogelijk om in het gebouw met vier ruimten vanaf de voordeur zover te koelen dat de temperatuur in alle vier ruimten daalt tot onder de grens van 150 °C.

Na het beëindigen van de shots neemt de temperatuur weer beperkt toe. Dat betekent dat om überhaupt effect te hebben, elke ruimte in een werkelijke inzet continu zal moeten worden gekoeld. De temperatuur op leefniveau neemt toe, maar blijft onder de 120 °C.

Het blijkt dus met geen van de onderzochte inzettechnieken mogelijk om bij een inzet vanaf de voordeur (punt A) in gebouw I de temperatuur in alle ruimten onder de 150 °C te brengen. Hoewel de temperaturen niet in alle ruimten onder de 150 °C komen hebben de technieken wel een effect op de temperatuur. Dat effect neemt voor alle technieken af naarmate de ruimte verder in het gebouw en dichter bij de brandruimte is. In de brandruimte wordt met geen enkele techniek een temperatuurdaling bereikt bij inzet vanaf punt A op (ruimte 1). De coldcutter en repressieve ventilatie hebben het grootste dalende effect op de temperatuur in de overige ruimten. De nevelkogel en HD hebben het minste effect. Met fognails, HD en de nevelkogel stijgt de temperatuur in ruimte 3.

Verder stijgt tijdens de inzet met alle onderzochte offensieve buiteninzettechnieken de temperatuur op leefniveau. De temperatuur komt in het algemeen echter niet boven de overleefbaarheidsgrens. Er treedt derhalve geen verbetering op van de overleefbaarheid voor eventuele slachtoffers door de inzet met deze technieken, en bij de meeste technieken een beperkte verslechtering.

***Deelvraag 2: Wat is het effect van de offensieve buiteninzet technieken op de temperatuur van de rookgassen in de verschillende ruimten en op slachtofferniveau bij een inzet op een gebouw met minder dan vier ruimten?***

#### **Coldcutter**

De coldcutter blijkt de ruimten die zich vanaf de inzet in een rechte lijn erachter bevinden, binnen een minuut te koelen tot onder de grens van 150°C. Echter, het lijkt erop dat de coldcutter niet in staat is om een ruimte die zich haaks bevindt op de inzetrichting, effectief te koelen. De coldcutter was bij de inzet op gebouw III (ruimte 3) niet in staat de brandruimte ernaast (ruimte 4) binnen een minuut tot onder de grens van 150°C terug te koelen. De enige effectieve wijze om ruimte 4, de brandruimte, te koelen is door rechtstreeks op deze ruimte in te zetten. In vier van de vijf gevallen lukte dat direct. In een test was één extra minuut inzetten hiervoor nodig.

Bij de cold cutterinzetten op gebouwen met minder ruimten is sprake van een toename van de temperatuur op leefniveau, met name bij inzet op de ruimte vóór de brandhaard. Hierbij wordt in de meeste gevallen gedurende de inzet de temperatuurgrens voor overleefbaarheid overschreden. In de brandruimte zelf is er sprake van een daling van de temperatuur op leefniveau.

### **Nevelkogel**

In de configuraties met minder dan vier ruimten blijkt dat de nevelkogel de ruimte waarop wordt ingezet (met uitzondering van de brandruimte) binnen één inzet effectief koelt tot onder de 150 °C. Inzet op de brandruimte is in een meerderheid van de testen, ondanks drie pogingen van een minuut, niet effectief gebleken om de grenswaarde te bereiken. Wel wordt een daling van de temperatuur in de brandruimte waargenomen. De nevelkogel gebruikt van alle testen veruit het meeste water.

Bij de inzetten op ruimte 2 en 3 kwam het niet voor dat de temperatuur boven de kritische van 120 °C is gekomen op leefniveau. Bij de inzetten op de brandruimte kwam het bij één van de vijftien inzetten voor dat deze grens werd overschreden. De overschrijding was echter minimaal. De starttemperatuur van de betreffende inzet was 117 °C en de maximale temperatuur 121 °C.

### **Fognails**

Bij inzet in de gebouwen met minder dan vier ruimten, lukt het in een aantal gevallen om ook de tweede ruimte direct mee te koelen met de eerste inzet. Bij de inzet op ruimte 3 zijn de fognails niet of nauwelijks in staat de temperatuur van die ruimte voldoende te koelen. In geen enkel geval is de brandruimte onder de 150 °C gebracht.

Bij de inzet op ruimte 2 werden de temperatuurgrenswaarden voor overleefbaarheid van 120 °C niet overschreden. Bij de inzet op ruimte 3 niet als gevolg van de inzet, de temperatuur was bij de start namelijk al boven deze grens. Ook bij de inzet op de brandruimte werd de kritische temperatuur niet overschreden.

### **Ventilatie**

Bij de inzet met gebouwen met minder dan vier ruimten vanaf punt C op gebouw III, blijkt ventilatie telkens in staat om binnen één inzet de temperatuur in ruimte 3 onder de grens van 150°C te brengen. In de brandruimte is het effect minder en geeft een wisselend beeld. Soms lukt het wel en soms zijn meerdere pogingen nodig.

De toename van de temperatuur op leefniveau is minimaal. Wat betreft temperatuur leidt ventilatie over het algemeen niet tot een verslechtering. In de nabijheid van de brand kan het leiden tot een beperkte verbetering als het slachtoffer in het ventilatiepad ligt.

Daarbij moet worden opgemerkt dat de grenzen voor overleefbaarheid overschreden werden tijdens het stoppen van de ventilatiepoging. Het lijkt er op dat het tussentijds staken van de ventilatiepoging een negatief effect heeft op de temperatuur op slachtofferniveau.

### **Drukluchtschuim**

In de configuraties met minder dan vier ruimten blijkt dat drukluchtschuim vooral effectief op de eerste ruimte waarop wordt ingezet. Bij de inzetten op ruimten op gebouwen met minder dan vier ruimten wordt in vrijwel alle gevallen de eerstvolgende ruimte effectief gekoeld tot onder de 150 °C. De daarop volgende ruimten worden soms weliswaar wat gekoeld, maar niet tot onder de 150 °C. In de brandruimte zijn er drie inzetten nodig om de temperatuur tot onder de 150 °C te brengen.

Tijdens de inzetten met drukluchtschuim in gebouwen met minder dan vier ruimten bleef de temperatuur op leefniveau ongeveer gelijk, en overschreed niet de kritische temperatuur voor overleefbaarheid van 120 °C.

### **Hoge druk**

Bij inzetten op gebouwen met minder dan vier ruimten, lukt het met HD over het algemeen nauwelijks om per individuele ruimte in één inzet de temperatuur van de ruimte tot onder de

150 °C te brengen<sup>35</sup>. Om dit wel te bereiken, waren meerdere pogingen nodig. Omdat binnen de gekozen onderzoeksopzet maximaal drie pogingen per ruimte werden gedaan, is tijdens de inzetten met HD men niet verder gekomen dan de tweede of derde ruimte. Bij de inzetten op ruimte 2 kwam bij twee van de vijf pogingen de temperatuur op leefniveau boven de kritische van 120 °C. Bij de inzetten op ruimte 3 kwam bij vier van de twaalf pogingen de temperatuur boven de kritische waarde van 120 °C.

### Lage druk

Bij inzetten op gebouwen met minder dan vier ruimten, is het in een aantal gevallen noodzakelijk om meer dan één poging te doen om de ruimte waarop wordt ingezet voldoende te koelen. Slechts in één van de vijf testen lukt het om binnen de gekozen onderzoeksopzet van maximaal drie pogingen per ruimte, de brandruimte voldoende te koelen. Bij de inzetten in de gebouwen met minder dan vier ruimten is in eerste instantie gedurende de inzet op leefniveau een beperkte temperatuuroptocht te zien, welke naarmate de inzet vordert overgaat in een beperkte afname. Bij een aantal inzetten is de temperatuur tijdens de inzet op leefniveau boven de grenswaarde voor overleefbaarheid gekomen.

## 5.2 Conclusies centrale onderzoeksvraag en hypothesen

De centrale onderzoeksvraag

***Wat is het effect van offensieve buiteninset technieken bij branden in een gebouw met meerdere ruimten onder realistische omstandigheden indien niet direct in de brandruimte wordt ingezet?***

De centrale onderzoeksvraag wordt beantwoord aan de hand van de in de inleiding gestelde hypothesen.

***Hypothese 1: Met een offensieve buiteninset kan een veilige situatie<sup>36</sup> worden gecreëerd in het gebouw waardoor brandweermensen de brandhaard kunnen benaderen (rookgaskoeling);***

Voor het gebouw met vier ruimten bij inzet van vanaf de voordeur dient deze hypothese voor alle technieken te worden verworpen: geen enkele techniek is in staat om de temperatuur in alle ruimten onder de 150 graden Celsius te brengen of de brand te blussen. De coldcutter blijkt uitsluitend effectief in een rechte lijn vanaf de inzetdeur, en niet om een hoek. Repressieve ventilatie koelt ruimten, ook om een hoek, maar niet de brandruimte zelf. Drukluchtschuim koelt met name effectief in de eerste ruimte waarop wordt ingezet. In de brandruimte zelf zijn drie pogingen nodig.

Fognails, HD, LD en de nevelkogel zijn bij de toegepaste methoden alleen in de staat om de ruimte direct achter de deur waarop wordt ingezet te koelen. Samengevat, lijken repressieve ventilatie en de coldcutter het meest kansrijk voor een effectieve offensieve buiteninset bij een brand die zich verderop in een gebouw met meerdere ruimten bevindt.

Voor de gebouwen met minder dan vier ruimten is de effectiviteit van een offensieve buiteninset niet met zekerheid vast te stellen, omdat deze inzetten aanvullend gedaan zijn met gebruikmaking van dezelfde brand als die van het gebouw met de vier ruimten. De eerdere inzet op dezelfde brand kan mogelijk invloed hebben gehad op het verloop van de aanvullende testen.

<sup>35</sup> Een uitzondering vormt hierop ruimte 1, de starttemperatuur in deze ruimte lag echter al laag.

<sup>36</sup> Onder een veilige situatie wordt verstaan een temperatuur van de rookgaslaag die lager is dan 150 graden Celsius.

***Hypothese 2: Met een offensieve buiteninzet kan een brand worden geblust ook als die zich in een andere ruimte bevindt dan waar deze wordt ingezet.***

Voor het gebouw met vier ruimten bij inzet van buitenaf dient deze hypothese voor alle technieken te worden verworpen: geen enkele techniek is in staat om bij de inzet van een minuut vanaf de buitendeur in het gebouw met vier ruimten de brand te blussen.

Voor de gebouwen met minder dan vier ruimten is de effectiviteit van een offensieve buiteninzet voor blussing niet met zekerheid vast te stellen, omdat deze inzetten aanvullend gedaan zijn met gebruikmaking van dezelfde brand als die van het gebouw met de vier ruimten.

***Hypothese 3: Met een offensieve buiteninzet kan een overleefbare situatie in het gebouw worden gecreëerd voor eventuele slachtoffers.***

Bij het gebouw met vier ruimten stijgt de temperatuur op leefniveau over het algemeen licht, maar overschrijdt men in het algemeen niet de kritische grens. Er is niet aangetoond dat een offensieve buiteninzet met de geteste technieken een overleefbare situatie creëert voor eventuele slachtoffers, eerder een beperkte verslechtering. De hypothese wordt daarom verworpen voor wat betreft temperatuur. Andere parameters voor overleefbaarheid zijn niet gemeten.

De titel van dit rapport luidt: 'Offensieve buiteninzet, compleet of complex?'. Deze vraag refereert naar de mate waarin de brandweer in staat is om in allerlei situaties een effectieve offensieve buiteninzet te doen. In dat geval zou het inzicht in de mogelijkheden van een offensieve buiteninzet compleet zijn. Echter, uit het onderzoek is gebleken dat de brandweer in een gebouw met meerdere ruimten, waarbij de brandhaard niet direct bereikbaar is, met de onderzochte technieken niet in staat is de drie doelen van de offensieve buiteninzet in de brandruimte te bereiken. Het antwoord op de titel is dan ook 'complex'. Aanvullende technieken of tactieken, gebaseerd op onderzoek, zijn nodig om in dergelijke situaties te kunnen inzetten.



# 6 Discussie

Het voorliggende onderzoek naar offensieve buiteninzetten in gebouwen met meerdere ruimtes kan de brandweer handelingsperspectief bieden bij het uitvoeren van een offensieve buiteninzet. Op deze manier wordt niet vanuit aannames, maar vanuit onderzoek en feiten gewerkt aan de ontwikkeling van de Brandweerdoctrine.

Het onderzoek kent, net als ieder ander, een aantal beperkingen. De belangrijkste is dat het onderzoek slechts in één configuratie, met één vuurlast en één inzetwijze is onderzocht, waarbij sprake was van een niet uitbreidbare vuurlast en een stalen container. Andere configuraties, vuurlasten, objecten of inzetwijzen kunnen tot andere conclusies leiden. De resultaten moeten worden gezien binnen de gekozen onderzoeksopzet, toegepaste technieken en werkwijzen, en scenario's.

Een verdere beperking van het onderzoek was de invloed van het weer. De HD en LD testen zijn op verschillende dagen uitgevoerd, waarbij er verschillen waren in de weersomstandigheden. Uit een vergelijking van de starttemperaturen, de maximale temperaturen en de tijdsduur van de opwarmfase is gebleken dat er geen significante verschillen in temperatuur zijn tussen de experimenten. De afwijking in weersomstandigheden op het totale resultaat is daarmee waarschijnlijk beperkt.

De starttemperatuur van het experiment in ruimte 1 lag in alle gevallen rond de 150 °C. Dat het in alle gevallen lukte om deze ruimte met één inzet van 60 seconden onder de 150°C te brengen zegt daarom weinig over de effectiviteit van de techniek. Het bleek niet haalbaar een hogere temperatuur in deze ruimte voor de start van de inzet te bereiken. Daarnaast worden opgemerkt dat de keuze voor 150 °C een aangenomen temperatuur is welke via expert judgment is vastgesteld. Daarbij moet worden opgemerkt dat de grenswaarde in dit onderzoek als harde grens is genomen. Met andere woorden, een eindtemperatuur van 149 graden werd als een succesvolle inzet gezien, terwijl 151 graden als niet succesvol werd gezien. Of tussen deze twee inzetten het verschil dusdanig is dat bij de laatste een veilige binneninzet niet mogelijk is, is arbitrair.

Bij de straalpijpvoering is uitgegaan van de op dit moment gebruikelijke wijze van werken. Brandweerkorpsen uit Nederland die dagelijks werken met de onderzochte technieken is gevraagd om de inzetten conform hun toepassingswijze uit te voeren. Deze toepassingswijzen zijn niet altijd gebaseerd op eerder onderzoek. Het zou dus kunnen dat er meer effectieve toepassingswijzen bestaan met dezelfde techniek dan de toegepaste wijze. Hoewel de straalpijptechniek volgens de gebruikelijke methode is toegepast, is de inzet niet volgens de gebruikelijke werkwijze verlopen. Om vergelijking tussen de technieken mogelijk te maken, is ervoor gekozen op telkens 60 seconden in te zetten en daarna 30 s te wachten, en daarna eventueel een volgende poging te doen. In werkelijkheid zal men mogelijk langer doorgaan met blussen totdat een duidelijk effect waarneembaar.

Een ander aspect dat in ogenschouw genomen moet worden, is dat de parameters op een beperkt aantal plaatsen in de ruimte is gemeten. Er kunnen in de ruimten verschillen optreden in temperatuur tijdens een brand die daardoor niet inzichtelijk zijn geweest.

Om antwoord te geven op de vraag of het vermeende effect van de technieken daadwerkelijk aan de techniek toegeschreven kan worden in plaats van aan de afname van de brandlast in de tijd (dat de brand afneemt omdat de brandstof opdraakt) is het brandvermogen in de tijd gesimuleerd in een computersimulatie. Deze simulatie is weergegeven in bijlage A en is

een nulmeting uitgevoerd. De meting vond plaats binnen 4,5 tot 6 minuten na de eerste inzet vanaf de inzet bij punt A. Uit de uitgevoerde simulaties blijkt dat op dat moment nog niet te verwachten dat dit effect door een verandering in brandvermogen veroorzaakt kan worden. Dit kan worden afgeleid uit de gesimuleerde vermogenscurve, maar ook uit de temperatuurcurves van thermokoppel 12. Op thermokoppel 12 blijft de temperatuur redelijk constant en hoog gedurende de inzetperiode. Daarom kan worden verondersteld dat de brand gedurende het experiment op vol vermogen is gebleven en de afname van de temperatuur tijdens de inzet het daadwerkelijke gevolg is van de inzet.

Er is helaas geen geslaagde nulmeting uitgevoerd, die deze conclusie verder zou kunnen staven. De resultaten van de pretest laten zien dat de kans klein is dat de effecten te wijten zijn aan veranderingen in het brandvermogenscenario, en waarschijnlijk zijn toe te schrijven aan de inzet. De pretest is echter niet onder exact dezelfde omstandigheden uitgevoerd. In het vervolg zou het wenselijk zijn een geslaagde nulmeting uit te voeren bij dergelijk onderzoek.

Vooraf was de verwachting was dat tenminste enkele technieken in staat zouden zijn om na een inzet van een minuut een veilige situatie zou creëren in ruimte 4. Omdat dit niet lukte, is dezelfde brand gebruikt om nog wat andere configuraties te testen. Echter, hierdoor was er bij de vervolginzettingen geen sprake van gelijke testcondities. Dit is ook de reden dat er geen vergelijking is gemaakt, en er geen harde conclusies kunnen worden getrokken over de effecten van de technieken in dergelijke configuraties. Nader onderzoek onder gelijke testcondities is noodzakelijk om uitsluitsel te geven over de mogelijkheden en onmogelijkheden van de technieken in gebouwen met minder ruimten, inclusief directe inzet in de brandruimte.

Vooraf was voorzien in het meten van de overleefbaarheid in de vorm van temperatuur, straling en CO. Op temperatuur na, bleek dit met de beschikbare meetapparatuur niet op een betrouwbare wijze mogelijk te zijn gedurende deze experimenten. Om uitspraken te kunnen doen over effecten van offensieve buiteninzetten op de overlevingscondities binnen, is onderzoek naar ook andere parameters dan temperatuur essentieel. Inmiddels beschikt de Brandweeracademie over betrouwbare meetinstrumenten om straling, CO, O<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> te meten. Aanvullend onderzoek naar overleefbaarheidsparameters bij een offensieve buiteninzet is daarom wenselijk, zowel in de brandruimte als in de andere ruimten. Om te komen tot de juiste keuze voor een eventuele offensieve buiteninzet, in het bijzonder wanneer bekend is dat er zich personen bevinden in het pand is deze kennis essentieel.

Dit onderzoek maakt deel uit van een onderzoeksprogramma van 5 stappen. Met dit rapport is aan de tweede en derde stap invulling gegeven. Tezamen met de twee nog uit te voeren onderzoeken is het mogelijk de brandweer te voorzien van praktijkgerichte, op wetenschap gebaseerde handelingsperspectieven. Op deze manier wordt geprobeerd het brandweeroptreden nog effectiever en veiliger te kunnen maken, zodat zowel voor aanwezige slachtoffers als voor het eigen personeel bij een inzet de meest geschikte inzettechnieken te kunnen kiezen.

# Literatuurlijst

Bengtsson, L.-G. *Inomhusbrand*. Karlstad: Swedish Rescue Services Agency, 2001.  
Cold Cut Systems. *The Swedish Cutting Extinguisher Project*. 2013.

Crampton, G. P., & Kim, A. K. *Evaluation of the Fire Suppression Effectiveness of Manually Applied Compressed-Air-Foam (CAF) System*. Orlando: National Research Council Canada, 2009.

Delichatsios, M., O'Neill, A., & Zhang, J. *Assessment of gas cooling capabilities of compressed air foam systems in fuel- and ventilation-controlled compartment fires*. Journal of Fire Sciences, 543-554, 2011.

Dikkenberg, R. van den, & Groenewegen, K. *Praktijkexperimenten technieken offensieve buiteninzet*. Arnhem: Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid, 2012.

Dikkenberg, R. van den, Groenewegen, K., Kobes, M., & Oberijé, N. *Experimenten offensieve binnen- en buiteninzet*. Arnhem: Instituut Fysieke Veiligheid, 2014.

Folkesson, O., & Millbourn, M. *Släcksystem för lätta räddningsfordon*. Lund: Lund University, 2008.

Grimwood, P. *Euro Firefighter*. Huddersfield: Jeremy Mills Publishing Limited, 2008.

Gsell, K. *Assessment of fire suppression Capabilities of water mist*. Coleraine: University of Ulster, 2010.

Kerber, S. *Impact of ventilation on Fire Behaviour in. Legacy and contemporary residential construction*, Underwriters Laboratories, 2010.

Kerber, S., *Analysis of One and Two-Story Single. Family Home Fire Dynamics and the impact of Firefighter Horizontal Ventilation*, Fire technology, 49, 2013.

Kobes, M., & Tonnaer, C. *Brand in een monument: casus hotel De Draak*. Arnhem: Instituut Fysieke Veiligheid, 2014.

Lyckeback, E., & Öhrn, J. *Investigation on the gas-cooling effects of CAFS*. Lund: Lund University, 2012.

Lyckeback, E., & Öhrn, J. *Investigation on the gas-cooling effects of CAFS*. Lund: Lund University, 2012.

NFPA, *Protective Clothing for structural firefighting*, NFPA standard 1971, National Fire Protection Agency, Quincy, 2003

Persson, H. *En sammanställning av kunskaper och erfarenheter kring Klass A-skum och CAFS*. Borås: SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, 2005.

Pulm, M. Fog Nail - Der Sprinkler für danach, Brandschutz 12, 2000.

Södra Älvsborg Fire & Rescue Service & Technical Research Institute of Sweden. *Cutting Extinguishing Concept*. Borås: Swedish Civil Contingencies Agency, 2010. Svensson, S., *Experimental study of fire ventilation during firefighting operations*. Swedish Rescue Services Agency. Sodra Sandby, 2001.

Svensson, S. *Fire Ventilation*. Karlstad: Swedish Rescue Services Agency, 2005.

Taylor, R. G. *Compressed air foam systems in limited staffing conditions*. Morristown: Morristown Fire Bureau, 1997.

Tinsley, M. J. *Compressed air foam systems: live fire application and corresponding temperature degradation*. Flower Mound, 2002.

Vantorre, J.-C., & Lambert, K. COBRA-blussysteem, 2011.

# Bijlage A

## De brand tijdens de experimenten

De experimenten namen vijf dagen in beslag en in die periode moest 35 keer dezelfde brand worden gemaakt. Het streven was om elk experiment met een identieke brand uit te voeren. Dat is een lastige experimentele uitdaging, omdat veel parameters van invloed zijn op de branddynamica. Het ontsteken van de brand gebeurde volgens een vast protocol dat tijdens testbranden is bepaald. De vuurlast werd volgens een vast patroon aangestoken. De helft van de aanmaakvloeistof werd over twee aansteekstroken zachtboard verspreid. De overige hoeveelheid aanmaakvloeistof werd over de onderste vier pallets gesprend. Vervolgens werden de aansteekstroken aangestoken en onder de pallets geschoven.

Het doel was een brand te creëren waarbij een zo hoog mogelijke temperatuur in ruimte 4 én een ongeveer gelijke, verdichte, rookgaslaagdikte werd verkregen. Daartoe zijn verschillende testbranden uitgevoerd die hebben geleid tot een protocol dat telkens werd herhaald. Uit de testbranden bleek dat de temperatuur in ruimte 4 tot maximaal rond de 600 °C kon worden gebracht. De temperatuur in ruimte 1 kon daardoor in de praktijk niet boven de 130 °C worden gebracht.

Na afloop van het experiment was ca. 90% van de vuurlast opgebrand. Het polyetherschuim was volledig opgebrand.

Om een beeld te krijgen van het energievermogen van de brand in de tijd zijn met behulp van CFAST computersimulaties gemaakt van de brandontwikkeling. Deze simulaties dienen ook om een beeld te krijgen van het temperatuurverloop in de tijd zonder interventie. Op deze wijze kan een indruk worden verkregen of een eventuele temperatuuurdaling tijdens de inzet door de brand zelf of door de inzet is veroorzaakt.

Bij de simulaties zijn de volgende inputparameters gebruikt:

- > Gedurende 20 minuten verbrandt ongeveer 3000 MJ
- > Gemiddelde verbrandingswaarde 19,21 MJ/kg
- > Gemiddelde brandvermogen gedurende 20 minuten van 2,5 MW

Omdat de massa-afname in de tijd niet is vastgelegd kunnen slechts globale simulaties worden gemaakt. De simulaties zijn uitgevoerd op vier manieren:

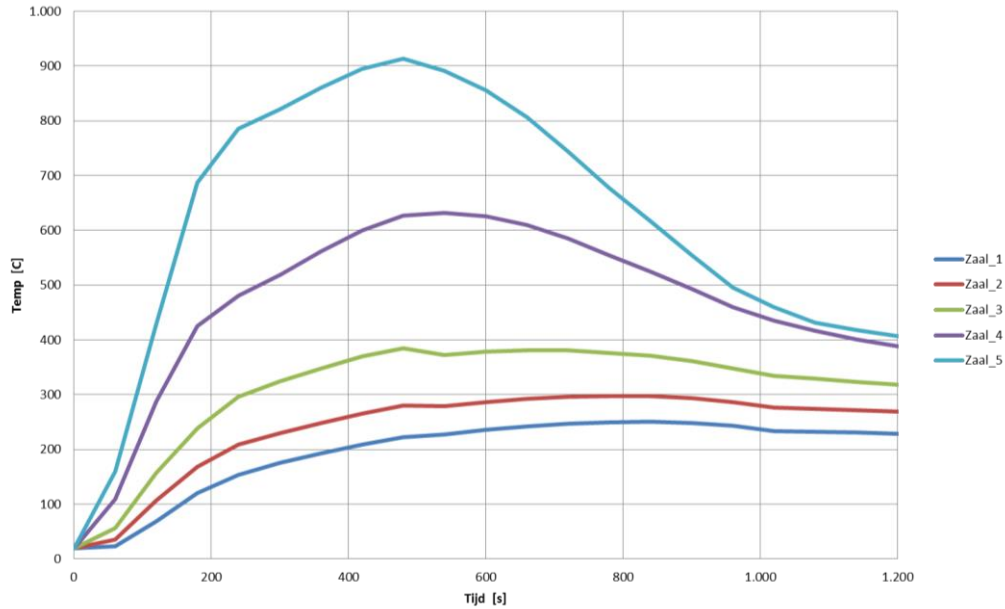
- > Constant vermogen gedurende 20 minuten, deuren gesloten;
- > Constant vermogen gedurende 20 minuten, deuren open;
- > Dynamisch brandvermogen, kwadratisch ontwikkelende brand, gedurende de eerst 4 minuten tot een vermogen van 6 MW, daarna 1 minuut constant, waarna een kwadratische afname gedurende 15 minuten, deuren gesloten;
- > Dynamisch brandvermogen, kwadratisch ontwikkelende brand, gedurende de eerst 4 minuten tot een vermogen van 6 MW, daarna 1 minuut constant, waarna een kwadratische afname gedurende 15 minuten, deuren open.

De simulaties met een constant vermogen leidden tot hogere temperaturen dan in de praktijk zijn gemeten. Daarom wordt verondersteld dat een dynamisch brandvermogen de realiteit beter beschrijft. Opgemerkt moet worden dat het met deze simulaties slechts om benaderingen gaat.

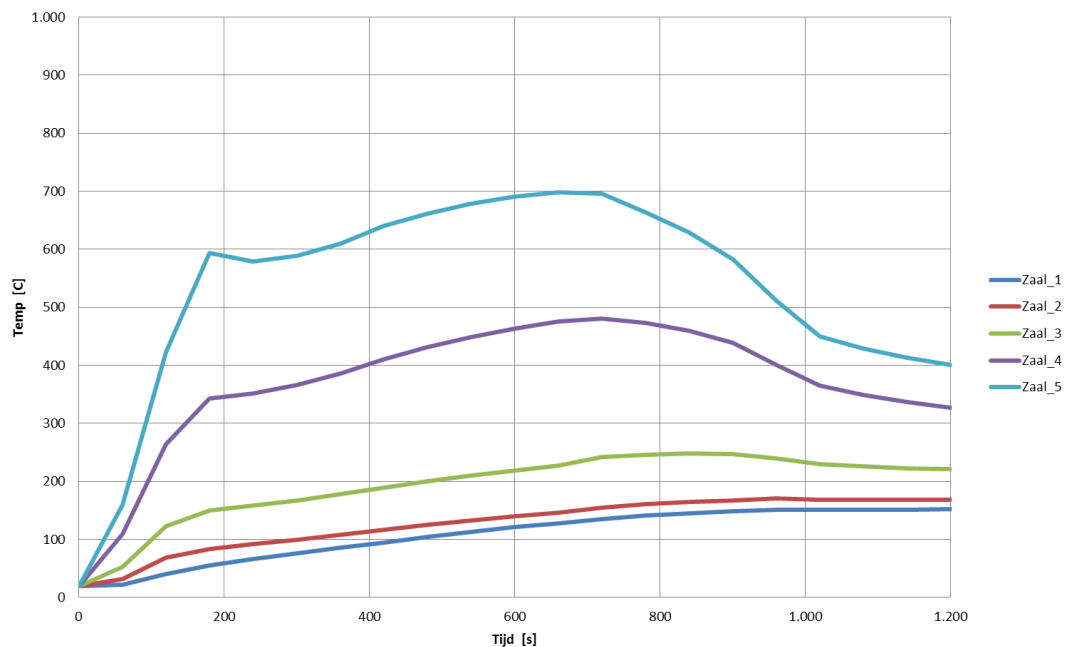
In figuren A1 en A2 zijn de simulaties weergegeven van het gesimuleerde temperatuurverloop bij deuren open en deuren dicht. Zaal 4 en 5 betreffen beide de brandruimte. Uit deze figuren kunnen de volgende voorzichtige conclusies worden getrokken.

Als de deur open is, dan wordt het maximale vermogen na ongeveer acht minuten bereikt, en de brand lijkt ventilatie gecontroleerd te worden;

Als de deur dicht is, dan wordt de maximale temperatuur na ongeveer 12 minuten bereikt, ook dan is vermoedelijk de brand ventilatie gecontroleerd.



Figuur A1 Gesimuleerde temperatuurverloop (voor deur open). Met zaal wordt ruimte bedoeld.



Figuur A2 Gesimuleerde temperatuurverloop (voor deur dicht). Met zaal wordt ruimte bedoeld.

# Bijlage B

## Reproduceerbaarheid van de experimenten

Voordat de resultaten van het onderzoek zijn vergeleken is eerst gekeken in hoeverre de branden en de interventies tussen de verschillende experimenten en technieken met elkaar vergelijkbaar waren.

Om het gemeten temperatuurverloop in de verschillende ruimtes met elkaar te kunnen vergelijken zijn twee correcties uitgevoerd. Allereerst is het werkelijke inzetmoment bepaald op basis van de waargenomen temperatuuurdaling op thermokoppel 2 (ruimte 1). In sommige gevallen is de inzet namelijk vanwege de reactietijd niet exact op het door de onderzoeksleider aangegeven moment gestart, maar enkele seconden later. Vervolgens is de relatieve temperatuur voor de gemeten waarden bepaald. Hiervoor is de starttemperatuur op waarde '0' gesteld en zijn de overige meetwaarden gecorrigeerd aan de hand van de starttemperatuur. Deze relatieve waarden geven per thermokoppel de gemeten temperatuuurdaling of -stijging weer, waardoor verschillen in de absolute waarde van de starttemperatuur zijn verevend.

## Reproduceerbaarheid van de brandontwikkeling

Na het aansteken van de brand werd op basis van het bereiken van de maximale temperatuur in de brandruimte en ruimte 1 als mede de visuele waarneming van de rookgaslaag besloten of het experiment kon worden gestart. De temperatuur waarbij dit gebeurde is de starttemperatuur.

In tabellen B1 en B2 zijn de starttemperaturen voor de experimenten in brandruimte (ruimte 4) en in de eerste inzetruimte (ruimte 1) weergegeven, alsmede de gemiddelde tijdsduur van de opwarmfase.

De starttemperaturen zijn ook de eindtemperaturen van de opwarmfase. De analyse is uitgevoerd op thermokoppel 11 (TK11) aangezien deze zich het dichtst bij de vuurhaard bevindt.

Tabel B1: Starttemperatuur (°C) in brandruimte (TK11) en gemiddelde tijdsduur van de opwarmfase(s) per techniek

Techniek	Gemiddelde start Temperatuur Tk 11	Minimum Start Temperatuur Tk 11	Maximum Start Temperatuur Tk 11	Gemiddelde Tijdsduur Opwarmfase In seconden
Coldcutter	566	520	612	324
Nevelkogel	540	499	576	257
Fognails	621	517	779	365
Repressieve ventilatie	474	214	567	247
Drukluchtschuim	586	549	621	356
Hoge druk	527	499	560	351
Lage druk	524	420	561	345

Uit een statistische analyse blijkt dat de starttemperaturen niet significant verschillen in de brandruimte ( $F=1.848$ ;  $p=0.129$ ) en de inzetruimte ( $F=1.462$ ;  $p=0.467$ ).

De tijdsduur van de opwarmfase verschilt wel significant ( $F=3.422$ ;  $p=0.013$ ). De gemiddelde tijdsduur van de opwarmfase bij de experimenten met repressieve ventilatie en met de nevelkogel was beduidend korter dan bij de experimenten met de overige technieken.

Tabel B2: Starttemperatuur (°C) in inzetruimte 1 (TK2) per techniek

Techniek	Gemiddelde start temperatuur	Minimum Start temperatuur	Maximum Start temperatuur
Coldcutter	128	121	146
Nevelkogel	127	125	130
Fognails	131	121	153
Repressieve ventilatie	123	120	131
Drukluchtschuim	117	111	124
Hoge druk	122	102	130
Lage druk	118	97	124

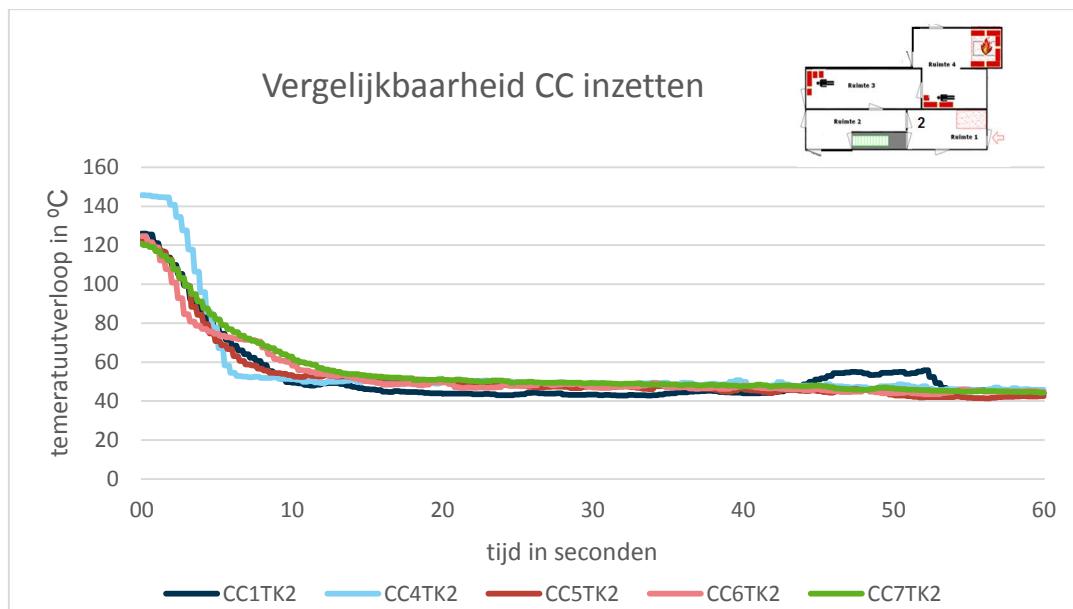
Omdat de techniek van repressieve ventilatie voor de inzetmethode (namelijk zonder gebruik van water) afwijkt van de overige technieken is de tijdsduur voor de opwarmfase bij de experimenten met repressieve ventilatie buiten de analyse van vergelijkbaarheid van de experimenten gehouden. Zonder de experimenten met repressieve ventilatie verschilt de tijdsduur van de opwarmfase niet significant ( $F=2.307$ ;  $p=0.079$ ).

Uit de statistische analyse kan geconcludeerd worden dat de brandontwikkeling voorafgaande aan de inzet vrijwel identiek was voor de starttemperaturen in de brand- en inzetruimten. Ook voor de tijdsduur van de opwarmfase was de brandontwikkeling vrijwel identiek, met uitzondering van de experimenten met repressieve ventilatie.



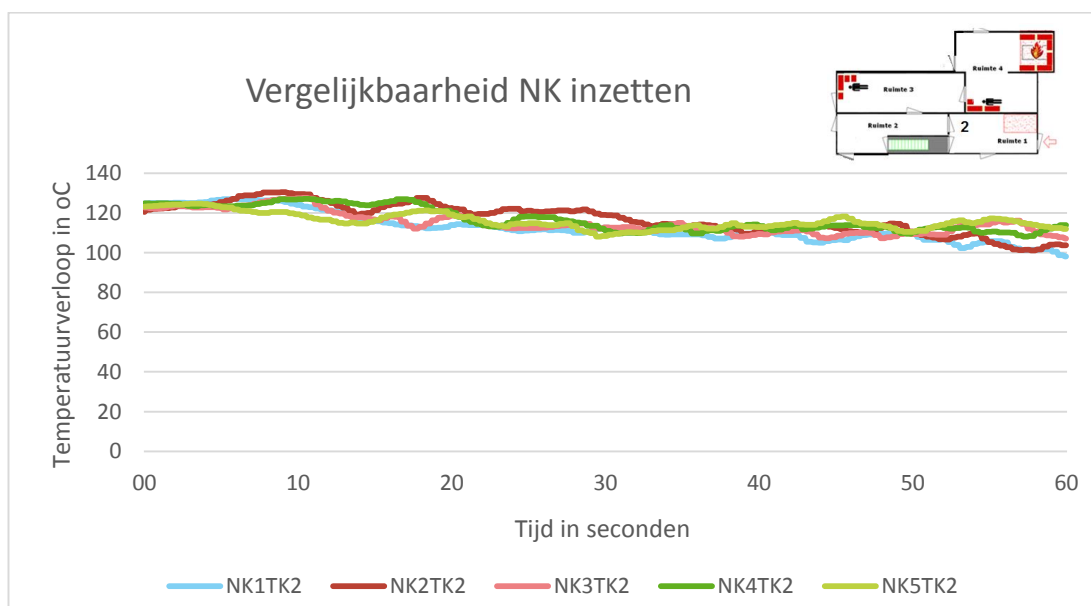
## Reproduceerbaarheid van de inzetten in gebouw I

In paragraaf 3.6 is de onderzoeksmethode beschreven. Alle technieken zijn vijfmaal in deze situatie getest, met uitzondering van DLS welke drie maal is getest. Om te kunnen bepalen of de experimenten reproduceerbaar zijn, is gekeken naar de experimenten die zijn uitgevoerd in gebouw I (vanaf locatie A op ruimte 1). Daartoe is temperatuurverloop op thermokoppel 2 in ruimte 1 van de vijf experimenten per inzettechniek vergeleken. Het temperatuurverloop is in de figuren B1 tot en met B7 weergegeven en geanalyseerd. De grafieken laten de situatie gedurende de eerste inzet zien, de eerste 60 seconden.



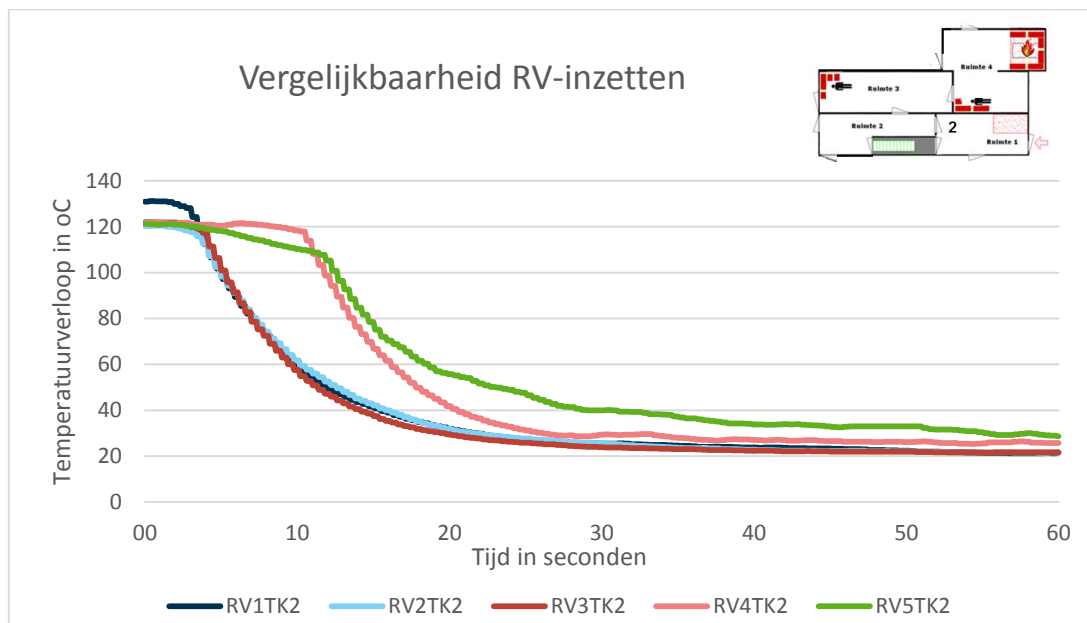
Figuur B1. Vergelijkbaarheid coldcutter inzetten

In figuur B1 is te zien dat de temperatuur vlak na de inzet in test CC4 het sterkst en in test CC7 het minst sterk daalt: het verschil is ongeveer 30 °C. Daarna volgen de grafieklijnen van de vijf testen een zelfde patroon. Wel is bij test CC1 een kleine hapering in de horizontale lijn te zien. Mogelijk was er tijdelijk een hapering in de inzet. De hellingshoeken van de lijnen voor de temperatuurstijging zijn nagenoeg gelijk. Ook de eindtemperatuur is vergelijkbaar. Er kan geconstateerd worden dat de testen met de coldcutter vergelijkbaar zijn.



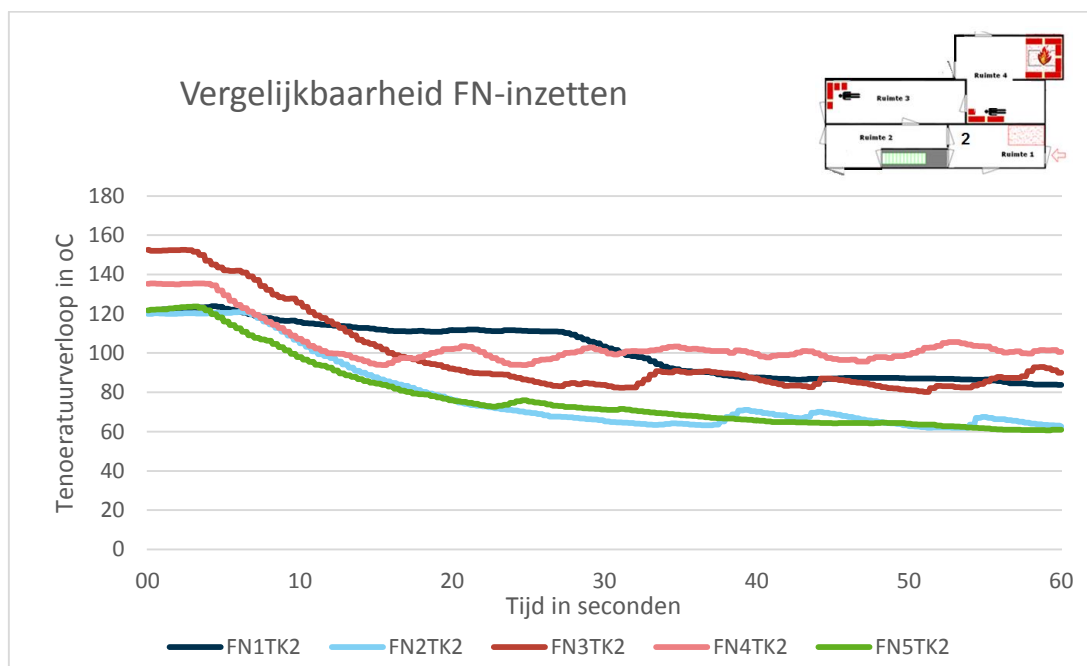
Figuur B2. Vergelijkbaarheid nevelkolg inzetten

In figuur B2 is tijdens de inzet bij de vijf testen in het temperatuurverloop eerst een grillige neergaande lijn te zien. De lijnen volgen een vergelijkbaar patroon. Daarmee zijn de nevelkogeltesten vergelijkbaar.



Figuur B3. Vergelijkbaarheid repressieve ventilatie inzetten

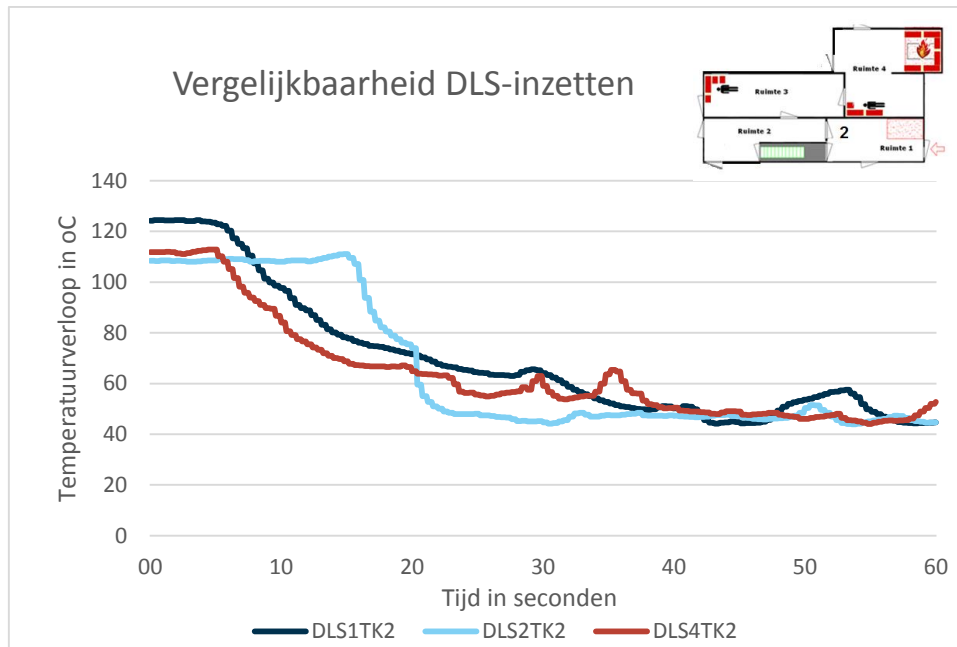
Uit figuur B3 blijkt dat de lijnen van het temperatuurverloop van de vijf verschillende testen nagenoeg gelijk zijn. Er is wel een verschil in de sterkte van de temperatuuurval: de temperatuur daalt in test 1, 2 en 3 ongeveer gelijk, en in test 4 en 5 iets later en minder. De eindtemperaturen van de verschillende testen zijn met een verschil van ongeveer 10 °C tussen de hoogste en de laagste waarde nagenoeg gelijk. Daarmee kan gesteld worden dat de resultaten uit de vijf testen vergelijkbaar zijn en gemiddeld kunnen worden.



Figuur B4. Vergelijkbaarheid fognails inzetten

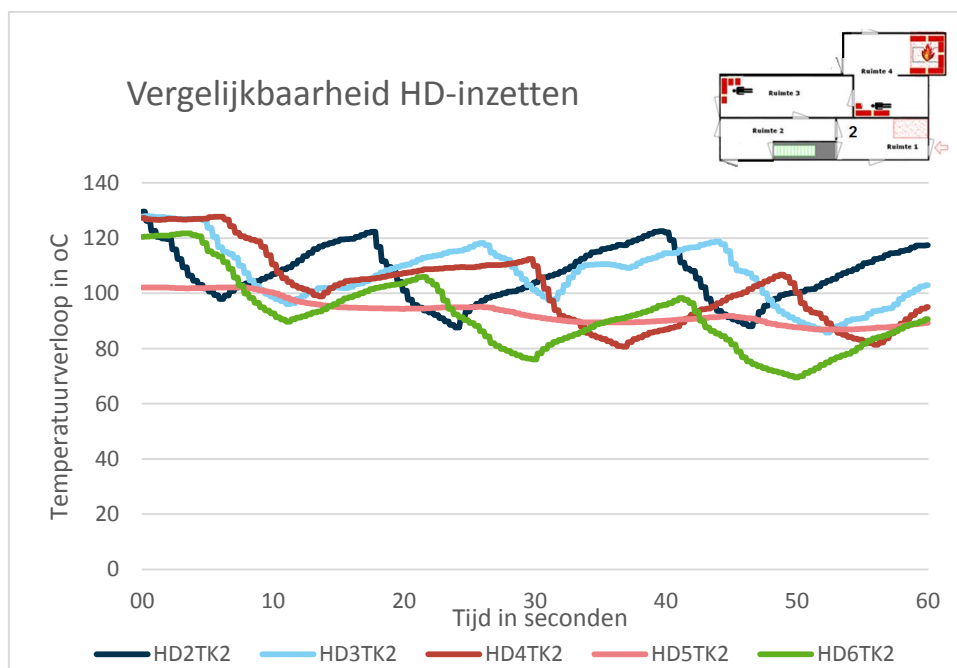
In figuur B4 is zichtbaar dat test FN1 afwijkt van de overige vier testen. De temperatuur daalt bij test FN1 direct na de inzet minder sterk dan in de overige testen, daarna blijft de temperatuur enige tijd constant. Na ongeveer 24 seconden is de sterkte van de temperatuurdaling in test FN1 wel vergelijkbaar met de overige vier testen. De hellingshoek van de temperatuurlijn is in het begin van de overige vier testen vergelijkbaar.

Al met al kan gesteld worden dat de verschillende testen met de fognail zodanig vergelijkbaar zijn dat in de analyse een gemiddelde waarde voor de vijf testen genomen kan worden.



Figuur B5. Vergelijkbaarheid drukluchtschuim inzetten

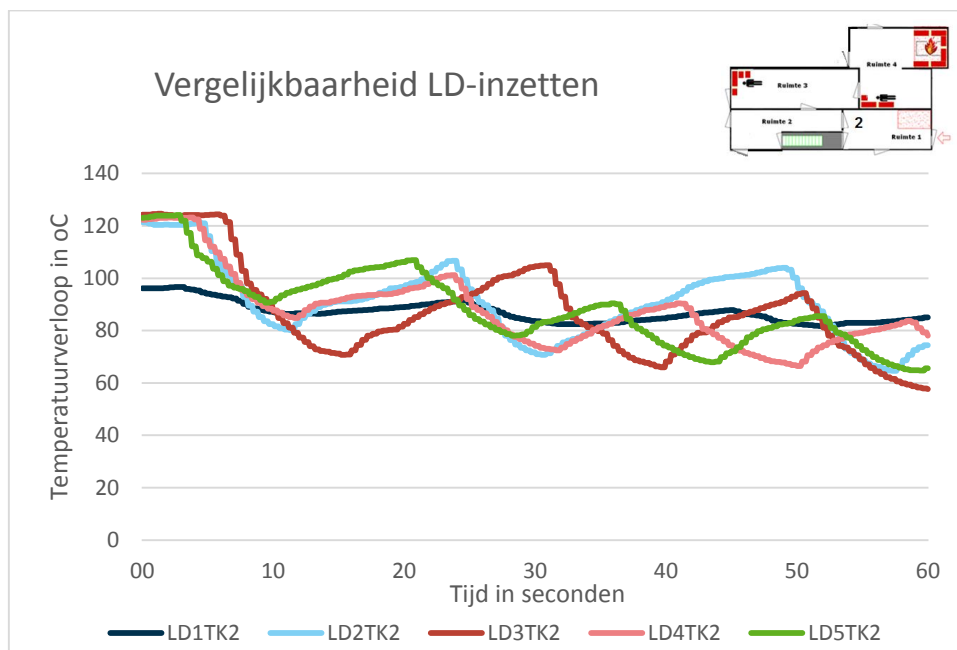
In afwijking op de overige technieken is de techniek met drukluchtschuim driemaal getest. De resultaten van de drie testen verschillen over het geheel genomen nauwelijks van elkaar. Wel is de hellingshoek van de temperatuurdaling direct na de inzet bij test DLS2 iets steiler dan bij de testen DLS1 en DLS3 (zie figuur B5), waardoor de temperatuur in het begin sterker daalt. Uiteindelijk is de temperatuurdaling in alle testen vergelijkbaar.



Figuur B6. Vergelijkbaarheid hoge druk inzetten

In figuur B6 is het temperatuurverloop in ruimte 1 op thermokoppel 2 weergegeven voor de inzet met HD. Door een technische fout gaf thermokoppel 2 in experiment HD5 geen juiste meetwaarden: de thermokoppel bevond zich tegen het isolatiemateriaal aan. De meetwaarden voor experiment HD5 zijn daarom niet in de analyse meegenomen. In figuur 2 is te zien dat de lijnen van de overige vier testen eenzelfde patroon volgen. Na de eerste shot in de inzet is te zien dat de temperatuur daalt. De temperatuurdaling is voor de vier testen nagenoeg gelijk: de lijnen zijn ongeveer even steil. De daaropvolgende temperatuurstijging is voor de vier testen niet identiek, waarbij de temperatuur in test HD4 het minst snel stijgt en in test HD2 het snelst stijgt. De verschillen zijn echter minimaal. De temperatuurdalingen en –stijgingen die daarop volgen zijn vergelijkbaar in sterkte: de lijnen zijn ongeveer even steil. Tussen de temperaturen van de vier testen aan het einde van de testsituatie zit een verschil van ongeveer nagenoeg gelijk: er is een verschil van ongeveer 10 °C tussen de test met de hoogste eindtemperatuur en de laagste eindtemperatuur.

Kortom, de resultaten van de vier testen met HD zijn voor testsituatie tijdens de rookgaskoeling vergelijkbaar.



Figuur B7. Vergelijkbaarheid lagedruk inzetten

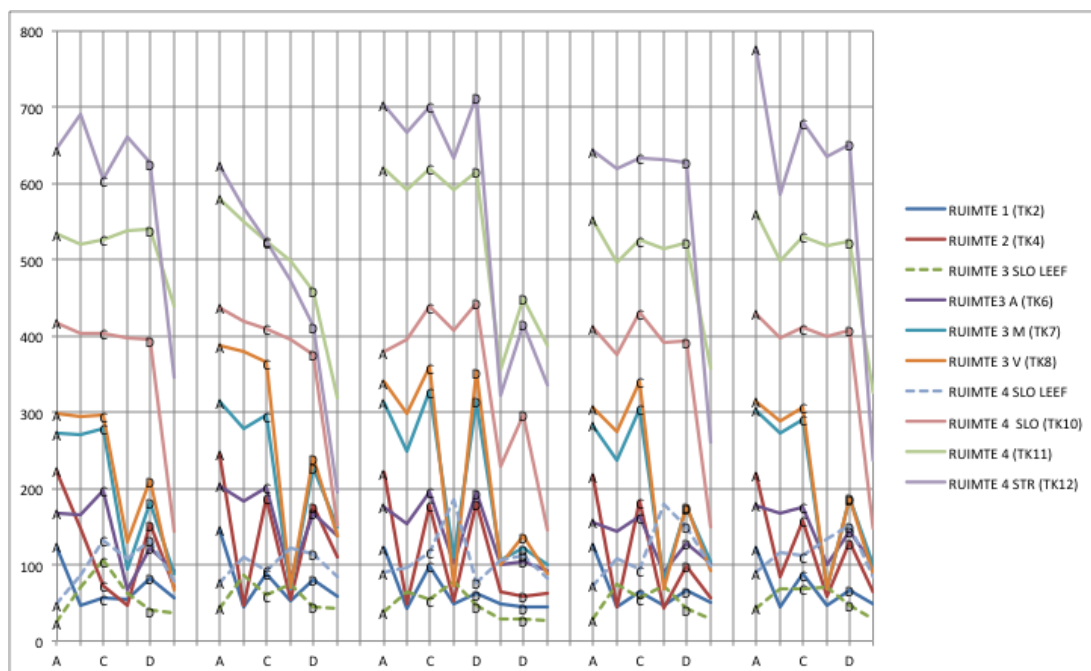
In figuur B7 zijn de gegevens van LD weergegeven. Door een technische fout gaf thermokoppel 2 in test LD1 geen juiste meetwaarden: de thermokoppel bevond zich tegen het isolatiemateriaal aan. De meetwaarden voor test LD1 zijn daarom niet in de analyse meegenomen.

De grafieklijnen van de overige vier testen volgen hetzelfde patroon. Ook de hellingshoeken van lijnen van de temperatuurdalingen en – stijgingen zijn nagenoeg gelijk. Wel is er een verschil in de duur van de shots: bij de eerste shot zit er een verschil van ongeveer 3 seconden tussen de kortste (LD5) en de langste (LD3) shot. Daardoor daalt de temperatuur in test LD3 sterker dan in de overige testen. De LD testen zijn vergelijkbaar genoeg om te middelen.

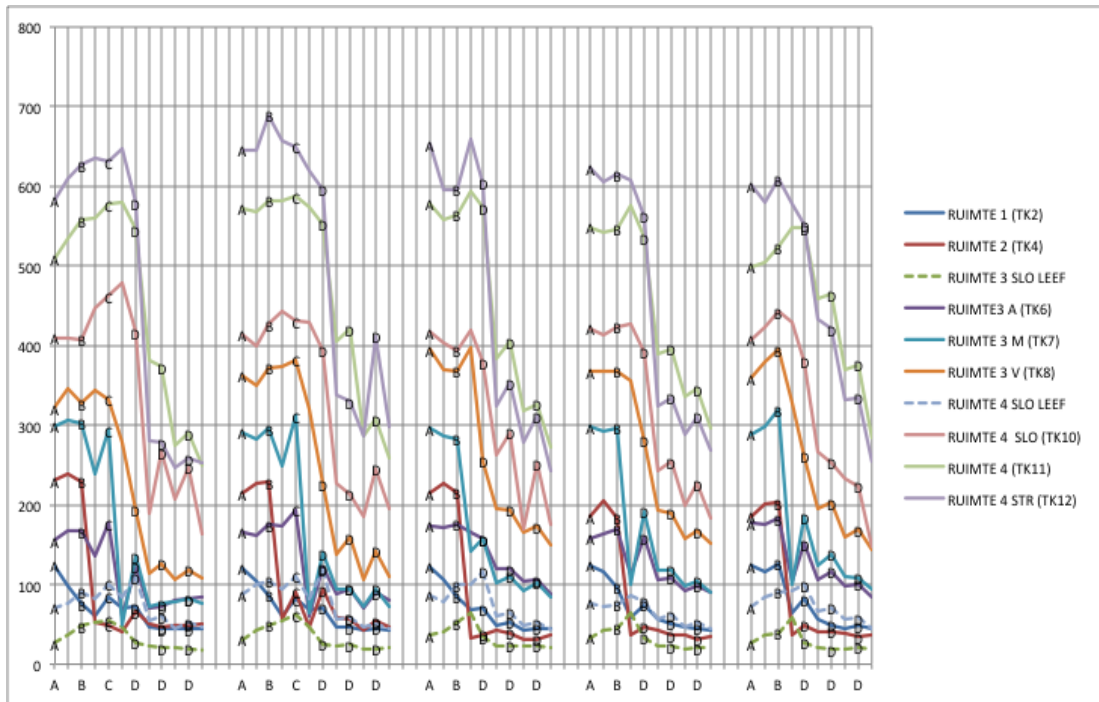
# Bijlage C

## Temperatuur inzetten

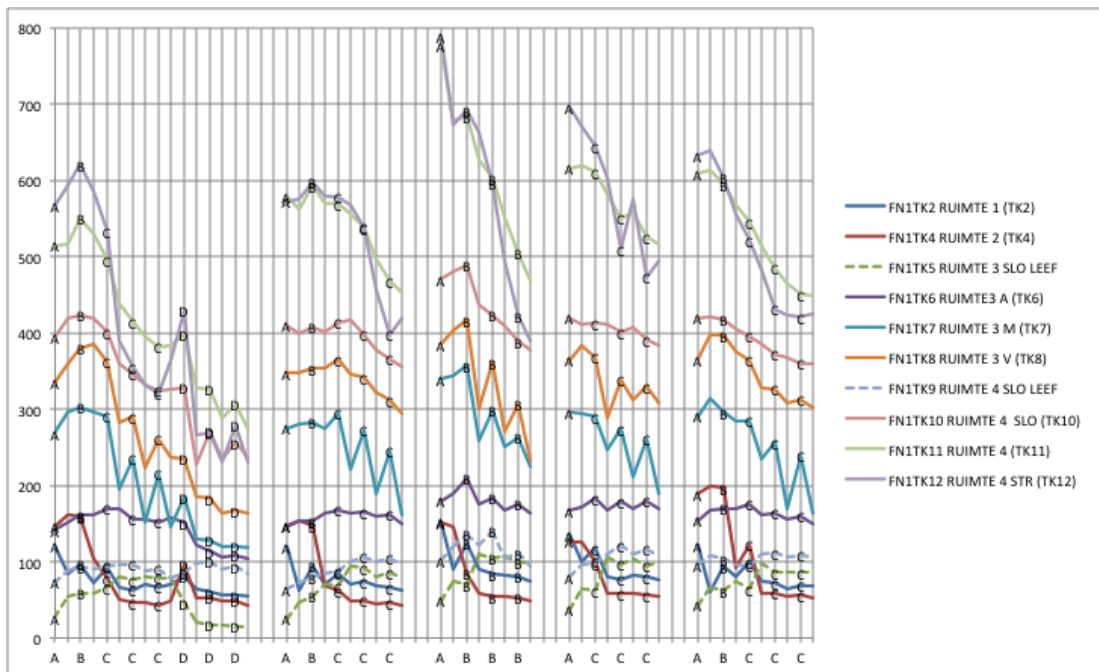
In onderstaande figuren is de temperatuur in de verschillende ruimten weergegeven van de individuele inzetten in de gebouwen met minder ruimten. De letters A, B, C, D geven aan op welk moment de inzet werd gedaan. Voor de leesbaarheid zijn de individuele punten met elkaar verbonden. Dit betreft echter geen lineair verloop.



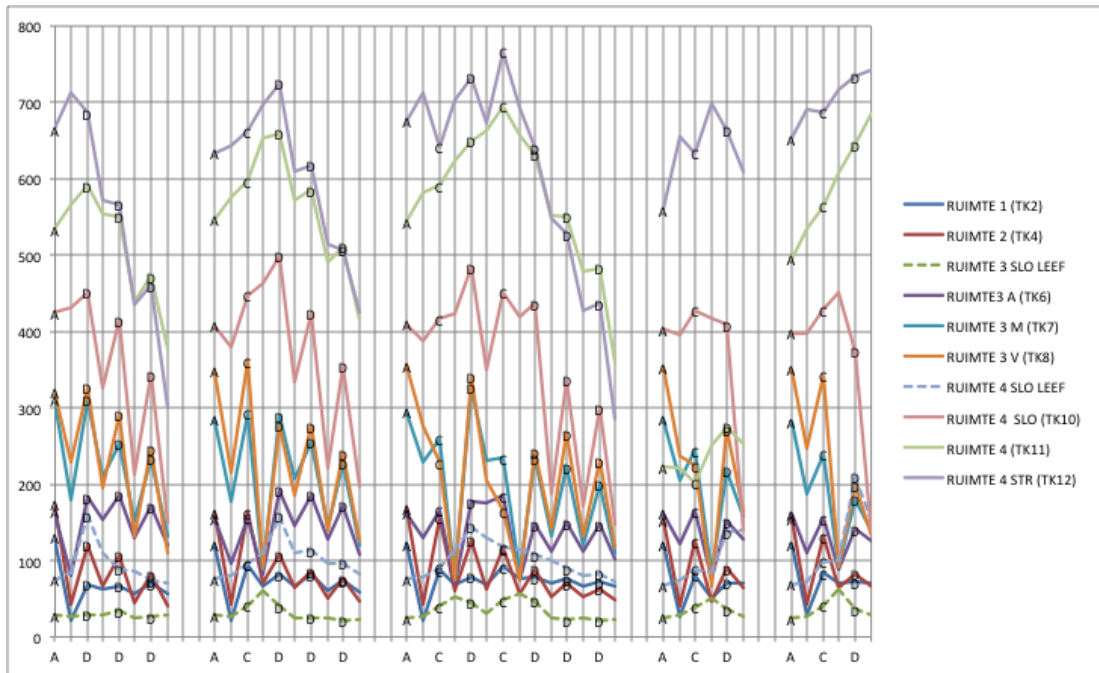
Figuur C1 Temperatuur coldcutter experimenten



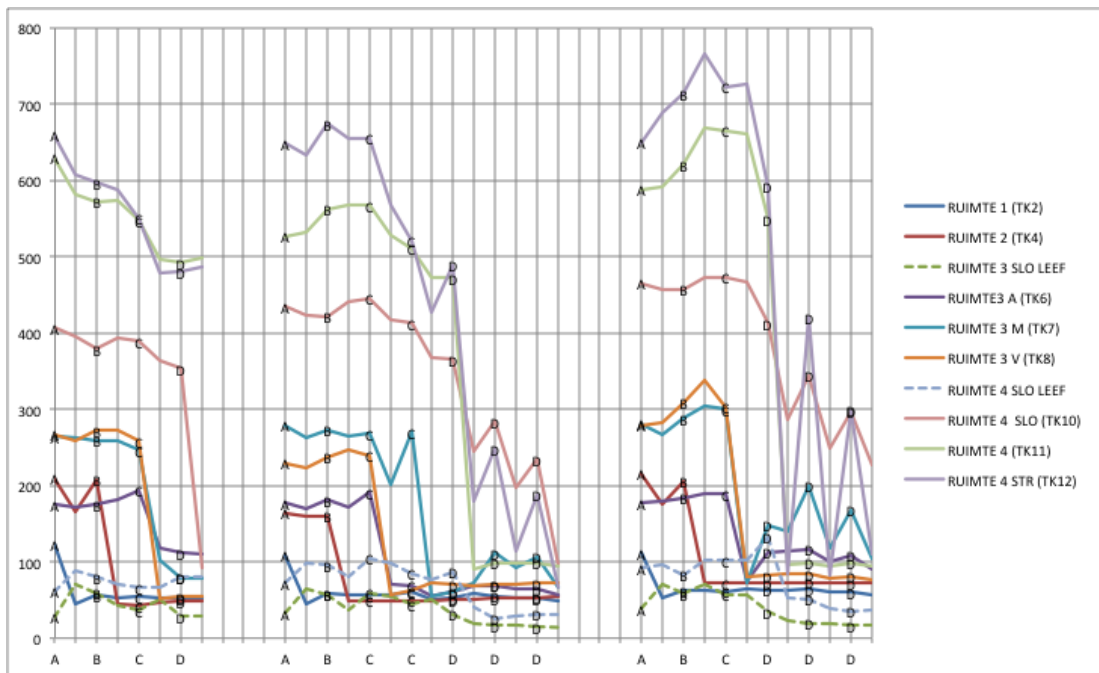
Figuur C2 Temperatuur nivelkogel experimenten



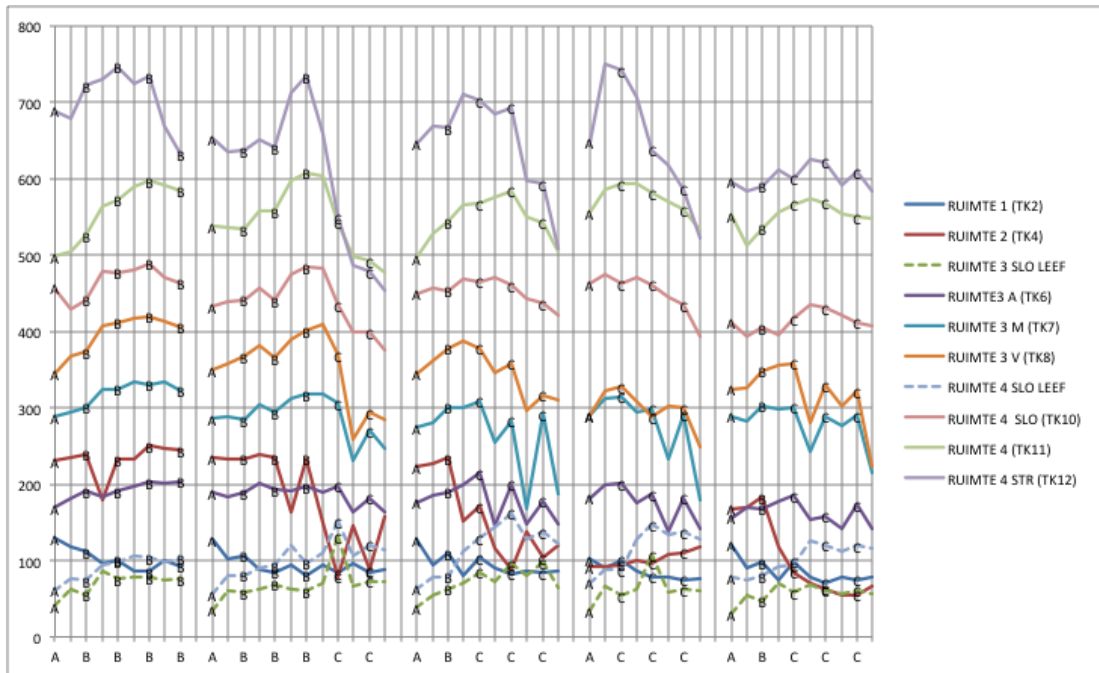
Figuur C3 Temperatuur fognails experimenten



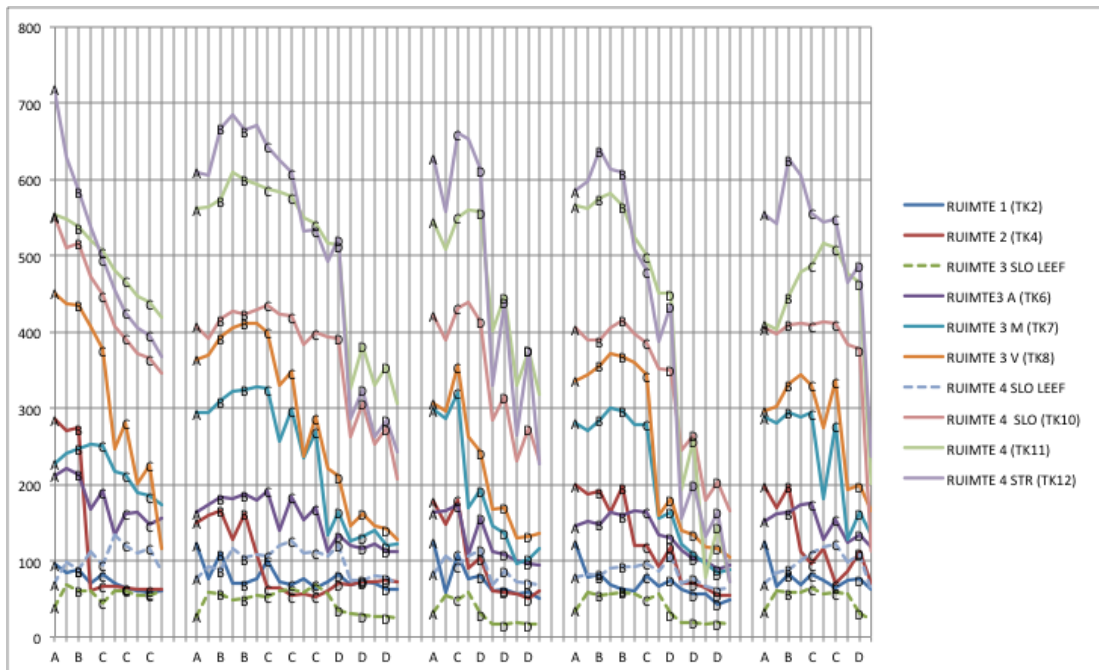
Figuur C4 Temperatuur repressieve ventilatie experimenten



Figuur C5 Temperatuur drukluftschuim experimenten



Figuur C6 Temperatuur hoge druk experimenten



Figuur C7 Temperatuur lage druk experimenten