



BRANDWEER

Brandweeracademie

Experimenten offensieve binnen- en buiteninzet

Een onderzoek naar rookgaskoeling met
hoge druk, lage druk en de coldcutter

Versie: 0.2, 22 april 2014

Instituut Fysieke Veiligheid
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
Kemperbergerweg 783, Arnhem
www.ifv.nl
info@ifv.nl
026 355 24 00

Colofon

Contactpersoon: Rijk van den Dikkenberg, projectleider
Titel: Experimenten offensieve binnen- en buiteninzet Een onderzoek naar rookgaskoeling met hoge druk, lage druk en de coldcutter.
Datum: 22 april 2014
Status: definitief
Versie: 0.2
Auteurs: dr. ir. M. Kobes
drs. K. Groenewegen
ing. R. van den Dikkenberg MCDM
ing. N. Oberijé
Review en
eindverantwoordelijk: dr.ir. R. Weewer, lector Brandweerkunde

Inhoud

1	Inleiding 4
1.1	Achtergrond 4
1.2	Onderzoeksvraag 4
1.3	Afbakening 5
2	Opzet van het praktijkonderzoek 6
2.1	Geteste blusmiddelen 6
2.2	Parameters 7
2.3	Testobject 9
2.4	Vuurlast 10
2.5	De startsituatie 11
2.6	Uitvoering van de experimenten 11
2.7	Uniformiteit van testcondities 12
2.8	Analyse van de data 13
2.9	Beperkingen van het onderzoek 14
3	Vergelijkbaarheid van de testen 15
3.1	Vergelijkbaarheid van de brandontwikkeling 15
3.2	Vergelijkbaarheid van de inzetten voor rookgaskoeling 15
3.3	Conclusie vergelijkbaarheid 17
4	Resultaten rookgaskoeling 18
4.1	Temperatuurverloop gehele rookgaskoeling 18
4.2	Temperatuurverloop rookgaskoeling per systeem 19
4.3	Temperatuurverloop rookgaskoeling op thermokoppel 1, 3 en 9 21
4.4	Waterverbruik in relatie tot rookgaskoeling 23
5	Analyse extra testen 24
6	Conclusies 27
6.1	Beantwoording onderzoeksvraag 27
6.2	Conclusies extra testen 28
6.3	Overige bevindingen 28
Bijlage 1	Grafieken rookgaskoeling 29

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Veel brandweerkorpsen zijn momenteel zoekende naar de meest geëigende blusmiddelen. Deels doordat er een maatschappelijke behoefte bestaat het watergebruik te beperken, deels omdat er een behoefte bestaat te innoveren, maar ook deels omdat er steeds meer verschillende blusmiddelen door de handel worden aangeboden en aangeprezen.

De Brandweer Amsterdam-Amstelland heeft de Brandweeracademie opdracht gegeven om onderzoek te doen naar het rookgaskoelend vermogen van het Cobra Coldcutter systeem in vergelijking met de in Nederland meest gebruikte systeem voor rookgaskoeling namelijk het hoge druk systeem. Omdat het gebruik van lage druk voor rookgaskoeling in Nederland toeneemt, is in dit vergelijkend onderzoek ook dit systeem meegenomen.

De opzet van het onderzoek is in nauwe samenspraak met vertegenwoordigers van de brandweer Amsterdam-Amstelland bepaald en sluit aan op eerder onderzoek waarin onder vergelijkbare omstandigheden en opzet ook andere middelen zijn getest op rookgaskoelend en blussend vermogen. De technische uitvoering van de rookgaskoeling met de Cobra Coldcutter is uitgevoerd door ervaren brandweermensen van de brandweer Amsterdam-Amstelland.

Met de uitkomsten van het onderzoek wordt onafhankelijk feitenmateriaal geleverd, dat behalve een bijdrage aan de kennisontwikkeling voor het brandweerveld, ook de regio's kan helpen bij het nemen van beslissingen over investeringen in blusmiddelen, opleiding en training.

1.2 Onderzoeksvraag

Het doel van het onderzoek is inzicht te geven in het rookgaskoelend effect van de offensieve buiteninzet met de Coldcutter ten opzichte van de standaard offensieve binneninzet met HD en LD. Van de Coldcutter wordt gesteld¹ dat wanneer de coldcutternevel (watermist) in een afgesloten ruimte wordt ingebracht, de (rook)gassen in de omgeving van de vuurhaard worden gekoeld doordat de watermist verdampt. Hierbij wordt niet het voorbehoud gemaakt dat de vuurhaard zich in de straal van de watermist moet bevinden. De locatie van de vuurhaard is daarom in de onderzoeksvraag meegenomen. De onderzoeksvraag is:

Hoe verhoudt de effectiviteit² van een offensieve buiteninzet met de Coldcutter, als het gaat om het rookgaskoelend effect, zich ten opzichte van een offensieve binneninzet met lage druk (LD) en hoge druk (HD) als de vuurhaard zich niet in het directe bereik van de inzetstraal bevindt?

Voor de beantwoording van onderzoeksvraag zijn experimenten uitgevoerd, die in deze rapportage worden gepresenteerd.

¹ Zie www.coldcutsystems.com

² Met effectiviteit wordt hier bedoeld de mate waarin rookgassen worden gekoeld.

1.3 Afbakening

Tijdens de experimenten zijn de bovengenoemde technieken onderzocht. Alle testen zijn vijf maal uitgevoerd. In het onderzoek is uitsluitend één testomgeving met één scenario getest. Dit betekent dat de resultaten van het onderzoek uitsluitend geldig zijn voor de geteste omgeving en scenario. In het scenario was sprake van één vuurhaard, deze vuurhaard vormde de enige vuurlast in het pand. Er was geen sprake van uitbreidingsmogelijkheden of aanwezigheid van andere materialen dan schoon vurenhout (pallets), schuim en drie platen spaanderplaten. Om de vuurhaard te ontsteken is per keer een liter aanmaakvloeistof gebruikt.

In de testen is uitsluitend het temperatuur(verloop) tijdens de rookgaskoeling gemeten. Ook werd het waterdebiet gemeten voor de rookgaskoeling. Andere parameters zoals luchtvochtigheid en druk zijn niet gemeten. Ook de hoeveelheid hout dat daadwerkelijk is verbrand is niet gemeten. De samenstelling van de rookgassen is niet geanalyseerd.

2 Opzet van het praktijkonderzoek

Het onderzoek werd uitgevoerd als een experiment waarbij de rookgaskoeling, als gebruikelijk onderdeel van een offensieve buiteninzet, zijn onderzocht. Hiervoor zijn het systeem van de Coldcutter en lage druk (LD) en hoge druk (HD) onderzocht. Elk systeem werd binnen een standaard scenario vijf maal getest, waarbij metingen werden verricht op basis van een aantal parameters. Als scenario werd uitgegaan van een brand in een woonkamer. Om daadwerkelijk het rookgaskoelend vermogen te kunnen meten, was het essentieel dat de blusstof tijdens de rookgaskoeling de vuurhaard niet kon raken. Daarom is gekozen voor een opstelling in een L-vormige container. In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de onderzoeksopzet en de uitvoering van de testen. Naast de vergelijking tussen de Coldcutter, hoge en lage druk zijn in hetzelfde experiment extra experimenten uitgevoerd met de Coldcutter. Het doel hiervan was te bekijken wat de invloed was van een langere inzetijd. Hiertoe is na de eerste inzet van één minuut met een pauze van telkens circa 30 seconden nog drie maal één minuut rookgaskoeling uitgevoerd. Vervolgens is ook tweemaal één minuut direct in de brandruimte ingezet.

2.1 Geteste blusmiddelen

Het onderzoek werd uitgevoerd met de Coldcutter. Als nulmeting/referentie is gekozen voor de HD-binneninzet, als standaardinzettechniek bij een binnenbrand en daarnaast is de LD-binneninzet meegenomen in het onderzoek.

De genoemde technieken zijn als offensieve binneninzet³ getest. Hieronder volgt een korte omschrijving van de geteste systemen:

1. Water via het systeem van de Coldcutter.
2. Water via het hoge druk systeem. Bij het hoge druk systeem wordt water onder een pompdruk van circa 25-30 bar en een straalpijpdruk 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 hoge druk afgekort als HD.
3. Water via het lage druk systeem. Bij het lage druk systeem wordt water onder een pompdruk van circa 7-8 bar en een straalpijpdruk 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 lage druk systeem afgekort als LD.

In onderstaande tabel zijn de kenmerken van de gebruikte systemen weergegeven.

³ Conform het kwadrantenmodel.

Tabel 2.1 Kenmerken systemen

Blussysteem	Merk/type blusmiddel	Straalpijp	Debiet en kegelhoek	Gebruikte pompdruk	Straalpijpdruk
Coldcutter	Water ⁴	Lange Cobralans	60 l/min kleine kegelhoek ⁵	290 bar	260 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

2.2 Parameters

Tijdens de testen is er gemeten op temperatuur, tijden zijn geregistreerd, het waterverbruik is vastgelegd en het visueel beeld binnen is beoordeeld.

Temperatuur

De parameters met betrekking tot temperatuur waren:

- de temperatuur bij start van de rookgaskoeling,
- de minimale temperatuur na de serie rookgaskoelingen,
- de temperatuurdaling en
- het temperatuurverloop.

Voor de temperatuurregistratie werd gebruik gemaakt van 12 thermokoppels, welke op 2 hoogtes en op verschillende plaatsen in het pand werden bevestigd. In figuur 1 is de locatie van de thermokoppels weergegeven. Door de thermokoppels in het stroompatroon van de rookgaslaag te plaatsen op verschillende plaatsen, is het mogelijk om het effect van de rookgaskoeling te bepalen, niet alleen op de plaats waar de rookgaskoeling plaatsvindt, maar ook verderop in de container (zowel richting de vuurhaard als richting de uitgang).

Om niet alleen de temperatuur net onder het plafond te meten, maar ook iets lager te kunnen meten (relevant voor systemen die een isolerende laag aanbrengen op plafonds en muren), zijn op verschillende locaties boven elkaar twee thermokoppels geplaatst. Daar waar in figuur 1 twee thermokoppels bij elkaar benoemd zijn (1-2, 3-4, 5-6, 7-8), is het oneven nummer de thermokoppel die het hoogst hangt (direct onder het plafond) en het even nummer de thermokoppel eronder (circa 40 cm onder het plafond).

Om ervoor te zorgen dat de aanstraling door de vuurhaard niet tot een vertekend beeld zou leiden, zijn de thermokoppels voorzien van een constructie om dit te voorkomen (zie afbeelding 2.1). Deze afscherming is in de vorm van een hol vierkant blok voorzien van een isolerende binnenlaag uitgevoerd. De zijkanten 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.

⁴ Voor het snijden wordt gebruik gemaakt van water met Abracief.

⁵ Exacte kegelhoek is niet bekend.



Afbeelding 2.1 Thermokoppels

Daarbij wordt thermokoppel 7 en 8, vanwege de locatie in de hoek, wel aangestraald door de vuurhaard. Verder richting de vuurhaard zijn nog twee thermokoppels opgehangen richting de vuurhaard (9 en 10). Tenslotte zijn, om te kunnen terugkeren naar de startconditie na de test, twee thermokoppels geplaatst op (11) en in (12) de stenen muur. De thermokoppels werden gekoppeld aan een datalogger met een meetprogramma. Hierdoor waren alle temperaturen ter plaatse realtime beschikbaar.

Tijden

De parameters met betrekking tot tijden waren:

- de snelheid van temperatuurdaling (graden/sec) en
- duur van het effect van de koeling

Tijden werden gemeten met een stopwatch. Er was sprake van een synchrone tijdsregistratie met de temperatuurmeting en het waterverbruik.

Waterverbruik

De parameters met betrekking tot waterverbruik waren:

- de hoeveelheid verbruikt water per serie rookgaskoelingen.

Het waterverbruik werd gemeten met behulp van een watermeter.⁶ De waterstanden werden genoteerd voorafgaand aan de test, na de eerste serie rookgaskoelingen en na de tweede serie rookgaskoelingen.

Visueel beeld

De parameters met betrekking tot het visueel beeld waren:

- Eventuele bijzonderheden.

Binnen werden er visuele waarnemingen gedaan door de veiligheidsman en de inzetploeg. Zij zijn gevraagd om achteraf direct na de inzet middels een kort interview hun ervaringen te delen. Tijdens de testen werd gefilmd met de warmtebeeldcamera. Daarnaast zijn ook beelden gemaakt met een reguliere, hittebestendige camera.

⁶ Bij HD en LD ging het water vanuit de hydrant via de watermeter buiten de tank om (i.v.m. voorkomen van het meemeten van het waterverbruik voor koeling van de pomp). Bij de Coldcutter ging het water via de tank vanuit de hydrant naar het coldcuttersysteem.

Overige parameters

Voor de vergelijkbaarheid van de testen werden daarnaast de volgende parameters onderzocht:

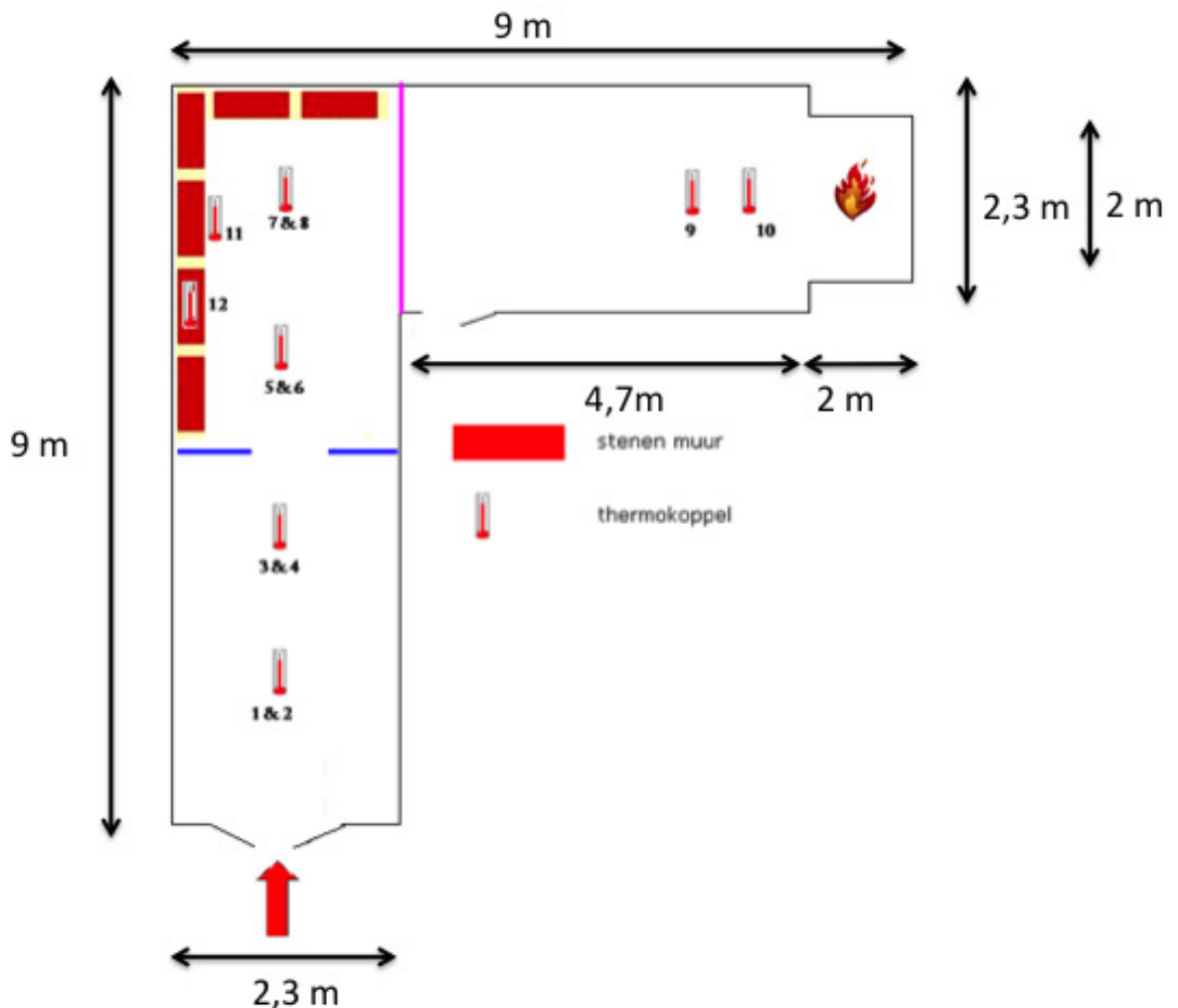
- Starttemperatuur in en op de muur
- Maximale temperatuur tussen aansteken en start van de test.

2.3 Testobject

De testen zijn uitgevoerd op oefencentrum Troned. De testopstelling is zodanig gekozen dat deze zo veel mogelijk overeenkomt met het scenario van een woningbrand.

Er is een geprepareerde L-container gebruikt, welke voor een deel is ingericht met een stenen binnenwand, thermokoppels en camera's. Beide kanten van de L-container zijn 9 meter lang. De container is 2,30 m breed. De hoogte is overal 2,25. Het brandgedeelte is 2,00m breed en net zo diep en hoog. De ingang van de container lag op het noorden.

In de stalen L-container werd het gedeelte van de rookgaskoelingstesten aan twee zijden (L-vormig) van betonnen bouwstenen voorzien, zodat een stenen wand van 20 cm dik ontstond. Het doel hiervan was om zo veel mogelijk een realistische situatie na te bootsen. De warmte-eigenschappen van een stenen muur is immers anders dan die van een stalen wand. Deze wand is van bodem tot plafond gebouwd en op een veilige wijze vastgezet. Voor de testopstelling, zie ook figuur 2.1.



Figuur 2.1 Plattegrond container

Doordat de testen in een L-container werden uitgevoerd, is er geen direct contact van blusstof met de brandhaard mogelijk tijdens de rookgaskoeling. Hierdoor was het mogelijk om in het voorste gedeelte van de container rookgassen te koelen zonder direct effect van het blusmiddel op de vuurhaard.

2.4 Vuurlast

In de container werd een vuurlast gestookt, bestaande uit 7 pallets van 121 cm x 102 cm x 12 cm (circa 130 kg vurenhout), 1 schuimmatras⁷ (afmeting 100 cm x 100 cm x 21 cm), drie platen spaanplaat (afmeting 120 cm x 100 cm x 1,2 cm) en een liter aanmaakvloeistof. Deze plaatselijke vuurlast betreft circa 2600 MJ (circa 155 kg vurenhout equivalent), wat neergelegd werd op een oppervlakte van circa 4 m² in het scenario woonkamerbrand. De vuurlast bestond uit hout en polyetherschuim. Het toevoegen van de schuimmatras was weer bedoeld om een zo realistisch mogelijke situatie te scheppen.

De vuurlast werd als volgt opgebouwd: onderop lagen vier pallets, vervolgens een plaat spaanplaat, vervolgens de schuimmatras, daarop weer een spaanplaat, daarop drie pallets en ten slotte nog een spaanplaat. Zie ook afbeelding 2.2.



Afbeelding 2.2 Opbouw en aansteken vuurlast

De vuurlast werd volgens een vast patroon aangestoken: De helft van de aanmaakvloeistof werd over twee aansteekstroken zachtboard verspreid. De overige hoeveelheid

⁷ HR-polyetherschuim, firma Recticel, schuimtype R37130, dichtheid 33-36 kg/m³. De basis voor polyetherschuim is polyurethaan. Polyether wordt vooral gebruikt voor zetelvulling en matrassen.

aanmaakvloeistof werd over de onderste vier pallets gesprekend. Vervolgens werden de aansteekstroken aangestoken en onder de pallets geschoven.

2.5 De startsituatie

Nadat de vuurlast was aangestoken, begon de brand zich te ontwikkelen. Hierbij waren in eerste instantie alle deuren van de container open, om de brand van voldoende zuurstof te voorzien. Vrij snel na de start van de ontwikkeling werd de deur het dichtst bij het vuur gesloten. Vervolgens nam de temperatuur toe. Op een gegeven moment⁸ ging de 1^e deur aan de inzetzijde dicht. Hierdoor ontstond een rookgaslaag. Wanneer de temperatuur op thermokoppel 3 boven 250 C bleef en de rookgaslaag voldoende dik was⁹ werd de tweede deur aan de inzetzijde gesloten. Vervolgens werd 30 seconden gewacht, waarbij gemonitord werd of de temperatuur op thermokoppel 7 rond de 500 C bleef. Indien dit zo was, werden na 30 seconden de deuren geopend en werd gestart met de inzet.

2.6 Uitvoering van de experimenten

Met ieder systeem werd vijf maal een rookgaskoelingsexperiment uitgevoerd.

Offensieve binneninzet met HD en LD

De rookgaskoelingsprocedure voor HD en LD bestond uit twee series. Iedere serie rookgaskoelingen bestond uit 3x 3 shots. Bij de eerste serie vanaf de toegangsdeur werden op t=0 3 shots gegeven, de twee opvolgende op t=10 en t=20. Vervolgens werd doorgestoten naar de tweede opstellijn (blauwe lijn in figuur 1) waar de tweede serie van 3x3 shots werd gegeven, op respectievelijk t=30, t=40 en t=50. De totale tijdsduur van de rookgaskoeling bedroeg 1 minuut. De opzet van de rookgaskoeling was zodanig dat geen rechtstreeks contact met de vuurhaard mogelijk was.

De toegepaste techniek is van grote invloed op het effect dat met de verschillende blusmiddelen kan worden bereikt. Zo kan een inefficiënte blustechniek leiden ten onrechte leiden tot de conclusie dat het blussysteem minder effectief lijkt. Daarom is in de voorbereiding van dit onderzoek expliciet aandacht besteed aan de toegepaste techniek. Voor de inzetten met HD en LD zijn de moderne straalpijptechnieken volgens de CFBT-methode uitgevoerd door een gecertificeerde CFBT instructeur. De rookgaskoeling met hoge druk is uitgevoerd conform de reguliere procedure, waarbij korte shots worden gegeven met de straalpijp in een kegelhoek van circa 30 graden onder een hoek van 45 graden, richting de rookgaslaag. De rookgaskoeling met lage druk is uitgevoerd conform de reguliere procedure, waarbij korte shots worden gegeven met de straalpijp in een kegelhoek van circa 30 graden onder een hoek van 45 graden, richting de rookgaslaag.

Offensieve buiteninzet met de Coldcutter

De rookgaskoelingsprocedure voor de Coldcutter bestond uit het snijden van een kleine opening (5 mm) om toegang te krijgen tot de ruimte waarin de rookgaskoeling zal plaats vinden. De ruimte zelf blijft gesloten. Dit in tegenstelling tot de inzet met Hoge- en Lage druk waarbij een deur moet worden geopend om de rookgassen in de betreffende ruimte te koelen.

De inzet met de Coldcutter is uitgevoerd door opgeleide en ervaren brandweermensen van de brandweer Amsterdam-Amstelland. De tijdsduur van de rookgaskoeling met de

⁸ Op basis van verandering van de kleur van de vlammen van geel naar rood, boven in de vuurhaard een mengsel van vlammen en roet.

⁹ Aan de hand van een markering op 110 cm vanaf de grond, op de wand van de container.

Coldcutter was met 1 minuut gelijk aan de experimenten met Hoge druk en Lage druk. Ook hier was de opstelling zodanig dat geen rechtstreeks contact met de vuurhaard mogelijk was. Voor de extra experimenten is na de eerste inzet van één minuut met een pauze van telkens circa 30 seconden nog drie maal één minuut rookgaskoeling uitgevoerd. Vervolgens is ook tweemaal één minuut direct in de brandruimte ingezet.

2.7 Uniformiteit van testcondities

De beschreven procedure van opbouwen, aansteken en monitoren van het brandverloop is gevolgd om ervoor te zorgen dat iedere startsituatie en test op een vergelijkbare, uniforme wijze werd uitgevoerd. Zo was sprake van pallets uit één levering, die onder gelijke condities voorafgaand aan de test werden opgeslagen. Hetzelfde geldt voor de gebruikte schuimmatrassen, spaanplaten en aanmaakvloeistof. Om continuïteit en eenduidigheid te garanderen, is met dezelfde stokers gewerkt.

De inzet is uitgevoerd volgens een gestandaardiseerde methode. Per systeem zijn ervaren brandweermensen, die kundig zijn in het bedienen van het systeem, bij alle testen 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 een temperatuur, tot alle thermokoppels een temperatuur aangaven lager dan 100 graden Celsius.

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 te creëren.

Er waren twee aspecten die niet geheel uniform waren tussen de testen. Ten eerste waren de meteorologische omstandigheden tijdens de testen niet constant aangezien de testen niet op dezelfde dag zijn uitgevoerd. De testen met LD zijn op 31 januari uitgevoerd, de testen met HD op 1 februari (met uitzondering van test HD6, die is op 31 januari uitgevoerd), en de testen met de Coldcutter zijn op 24 juni uitgevoerd. 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 Troned¹⁰ laat zien dat er verschillen zijn. Dit is bij praktijktesten in de open lucht helaas onoverkomelijk. De weersomstandigheden op de testdagen zijn terug te vinden in tabel 2.2. Hoewel wel er verschillen zijn, is het de verwachting dat de testen hierdoor zo beperkt beïnvloedt zijn dat de resultaten bruikbaar zijn voor het onderzoek.

¹⁰ Vliegveld Twenthe

Tabel 2.2 Meetgegevens KNMI-station Twenthe (290)

Datum	Wind-richting (graden)	Wind-snelheid ¹¹ (m/s)	Temperatuur ¹² (°C)	Neerslag ¹³ (mm)	Duur neerslag (uren)	Relatieve vochtigheid ¹⁴ (%)	Gemiddelde luchtdruk (hPa)
31 jan	WZW (238°)	7.0	6.7	11.7	3.2	79	1009.1
01 feb	ZW (234°)	3.8	4.9	5.7	9.9	91	1000.0
24 jun	WZW (247°)	3.8	13.8	6.4	2.5	89	1018.9

Bron: <http://www.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/index.cgi>

Een tweede aspect waarop de testen afweken van elkaar, waren de ventilatiecondities. Uit eerdere experimenten is gebleken dat een tijdschema voor het openen en sluiten van ventilatieopeningen niet leidt tot identieke branden. De brandontwikkeling wordt onder andere beïnvloedt door omgevingstemperatuur, luchtvochtigheid, windkracht en –richting. Hierdoor is het lastig om buiten een laboratoriumomgeving, 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 bovengenoemde condities waren bereikt. Vanaf dat moment werd het vastgestelde protocol voor het bereiken van de startconditie gevolgd. Uit een vergelijking van de starttemperaturen, de maximale temperaturen en de tijdsduur van de opwarmfase (zie paragraaf 3.1) is gebleken dat er geen significante verschillen zijn tussen de testen. De afwijking in ventilatiecondities heeft daarom vermoedelijk nauwelijks invloed gehad op de uitkomsten van het onderzoek.

2.8 Analyse van de data

Na afloop van het uitvoeren van de praktijktesten 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.

Voordat de effecten van de systemen op rookgaskoeling beoordeeld zijn, is eerst onderzocht in hoeverre de resultaten van de vijf uitgevoerde testen per blussysteem overeen kwamen. Als blijkt dat de vijf testen met één systeem wat betreft de resultaten grotendeels met elkaar overeenkomen, dan zeg dit iets over de reproduceerbaarheid¹⁵ van het onderzoek of het blussysteem, en daarmee over de mogelijkheid om betrouwbare uitspraken te doen in het onderzoek.

Om de verschillen te analyseren is een significantietoets uitgevoerd. Met een significantietoets (bijvoorbeeld een F-toets) is te berekenen hoe groot de kans is dat een gevonden verschil toeval is. Als betrouwbaarheidspercentage is gekozen voor 95%, met andere woorden: als de gevonden foutkans kleiner is dan 0,05 (5%) wordt gesproken van een significant verschil: de kans dat het gevonden verschil een daadwerkelijk verschil is en geen toeval, is meer dan 95%.

.....
¹¹ Etmaalgemiddelde

¹² Etmaalgemiddelde

¹³ Etmaalsom

¹⁴ Etmaalgemiddelde

¹⁵ De mate waarin je, als je de test opnieuw zou uitvoeren, dezelfde waarde krijgt, en daarmee of de resultaten reproduceerbaar zijn.

Vervolgens is bepaald in hoeverre bepaalde testen, waarvan uit het logboek of uit de beschrijving van de betrokkenen gebleken is dat er iets bijzonders is gebeurd wat niet tot de eigenlijke test behoorde, al dan niet meegenomen werden in het onderzoek.

Ook is geanalyseerd in hoeverre de twee thermokoppels boven elkaar van meerwaarde waren voor het onderzoek, en daarmee de vraag of nadere analyse tussen de bovenste en onderste thermokoppel wenselijk was.

Daarna is de rookgaskoeling geanalyseerd waarbij de vergelijking is gemaakt met hoge druk en lage druk. De resultaten van deze analyses zijn opgenomen in hoofdstukken 3 en 4. In hoofdstuk 5 zijn de extra uitgevoerde testen geanalyseerd.

2.9 Beperkingen van het onderzoek

Opgemerkt moet worden dat de resultaten binnen de beperkingen van het onderzoek moeten worden gezien. Er was geen sprake van uitgassende materialen, anders dan de vuurhaard. Ook was er hierdoor geen sprake van een brand die verder uit kon breiden dan de directe brandruimte. Er is uitsluitend met één soort vuurlast getest, in het genoemde testobject.

De resultaten zijn daarom uitsluitend geldig voor deze omstandigheden. Echter, ieder systeem dat efficiënt rookgassen kan koelen, zal dat in deze testomgeving ook doen. Als een systeem niet of onvoldoende rookgassen koelt in de geteste omgeving, betekent dit dat systeem tenminste in een aantal gevallen niet tot efficiënte rookgaskoeling komt. Dat wil niet zeggen dat het systeem voor andere toepassingen ongeschikt is.

Een ander aspect dat bij de interpretatie van de resultaten moet worden meegenomen, is dat er in de inzet sprake is van een continue aanvoer van hete rookgassen vanaf de vuurhaard richting de uitgang. 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 stroming ook het geval zijn.

Alle systemen zijn getest binnen de in paragraaf 2.6 beschreven methode van rookgaskoeling. De resultaten zijn daarom alleen geldig voor deze manier van inzetten. Andere toepassingstechnieken kunnen andere effecten hebben. De systemen zijn uitsluitend getest met de genoemde druk en straalpijp. Het gebruik van andere druk, methoden of materialen kan tot andere uitkomsten leiden.

3 Vergelijkbaarheid van de testen

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

3.1 Vergelijkbaarheid van de brandontwikkeling

In de onderstaande tabel zijn de starttemperaturen weergegeven.

Tabel 3.1 Starttemperatuur (°C), op thermokoppel 7, per blussysteem

Blussysteem	Gemiddelde starttemperatuur (°C)	Minimum Starttemperatuur (°C)	Maximum Starttemperatuur (°C)
Lage druk	504	491	518
Hoge druk	504	493	530
Coldcutter	541	432	583

Tabel 3.2 Temperatuur (°C) en tijdsduur (sec) opstartfase, per blussysteem

Blussysteem	Gemiddelde maximale temperatuur (°C) opstartfase	Gemiddelde tijdsduur opwarmfase (sec)
Lage druk	521	533
Hoge druk	521	553
Coldcutter	548	499

Uit een statistische analyse blijkt dat de starttemperaturen niet significant verschillen ($F=1.610$; $p=0.240$), evenals de maximale temperatuur ($F=0.995$; $p=0.398$) en de tijdsduur van de opwarmfase ($F=0.529$; $p=0.602$). Uit het bovenstaande blijkt dat de brandontwikkeling voorafgaande aan de inzet vrijwel identiek was.

3.2 Vergelijkbaarheid van de inzetten voor rookgaskoeling

Ieder systeem is vijf maal getest. Er is gekeken in hoeverre de resultaten van deze vijf testen binnen één systeem met elkaar overeenkomen. Zie hiervoor ook de figuren 3.1 t/m 3.3.

Analyse van metingen van thermokoppel 5

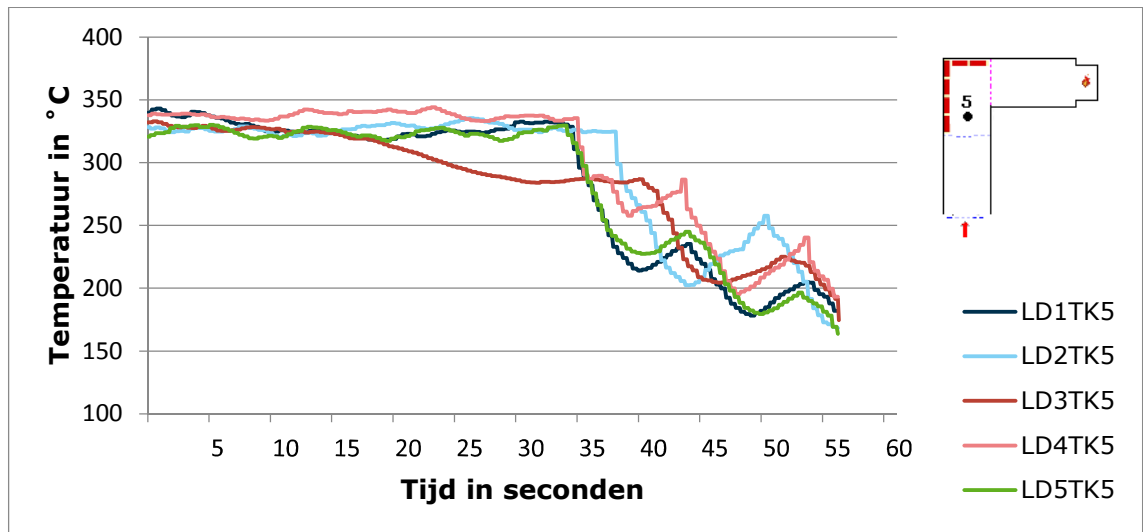
Voor de vergelijkbaarheid is het temperatuurverloop van de totale rookgaskoeling ter plaatse van thermokoppel 5 bekeken. Deze thermokoppel is in het midden van de container geplaatst en wordt niet direct aangestraald door de vuurhaard. Daardoor geeft thermokoppel 5 het beste totaaloverzicht van de rookgastemperatuur en blijft opwarming door straling vanuit de vuurhaard beperkt.

Analyse van variaties in meetwaarden per blussysteem

In de onderstaande figuren is het temperatuurverloop tijdens de uitgevoerde testen voor elk van de onderzochte blussystemen weergegeven. In de grafieken zijn op hoofdlijnen tussen de 5 testen per systeem drie variaties zichtbaar: de variatie op de horizontale as, de variatie op de verticale as en het verloop van de lijnen. Voor de vergelijkbaarheid van de testen is het verloop van de lijnen van belang. Dit is zichtbaar in het golfpatroon die de lijnen van de

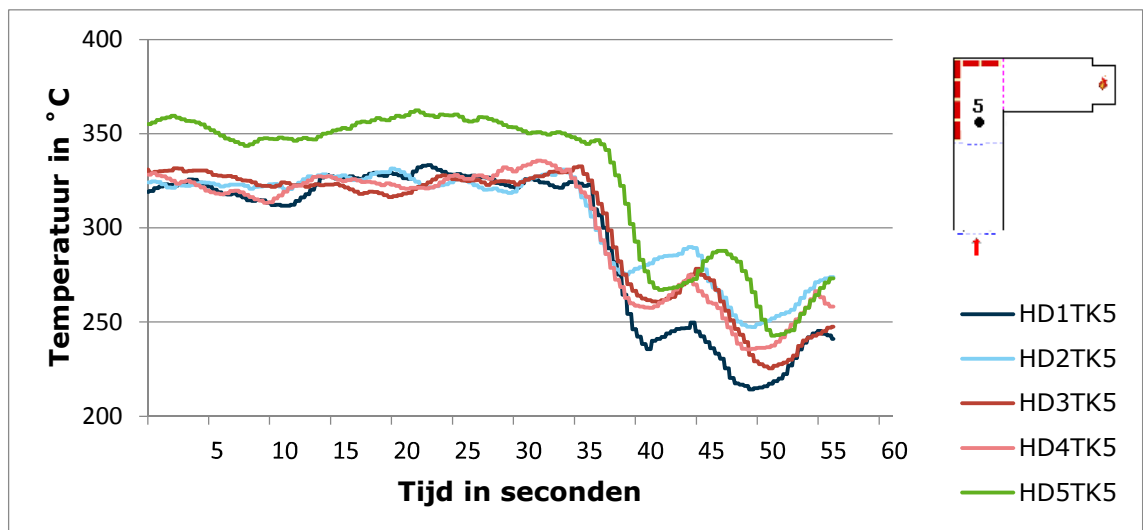
afzonderlijke testen al of niet volgen en in de steilheid van de temperaturredalingen en -stijgingen. De horizontale en verticale verschuivingen worden veroorzaakt door de verschillen in starttijd en starttemperatuur en zijn voor de vergelijkbaarheid niet relevant mits het golfpatroon en de steilheid van de temperaturredalingen en -stijgingen vergelijkbaar zijn. Dat kan als volgt worden verklaard:

- De variatie op de horizontale as is zichtbaar als moment dat de temperatuur daalt of stijgt. Deze variatie is voor de vergelijkbaarheid niet relevant: deze variaties komen doordat de interventies (serie met shots) bij elke test niet exact op hetzelfde moment zijn uitgevoerd.
- De variatie op de verticale as is zichtbaar in de hoogte van de temperatuur. Deze variatie is voor de vergelijkbaarheid niet relevant: de variatie in de hoogte van de temperatuur zal binnen een range liggen omdat de afzonderlijke testen niet onder 100% exact dezelfde omstandigheden zijn uitgevoerd.



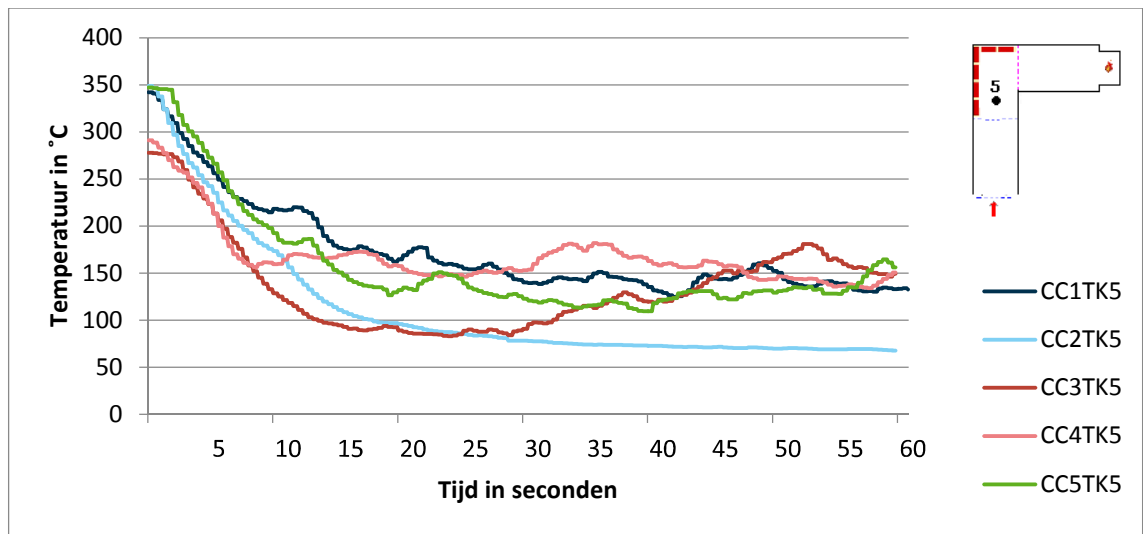
Figuur 3.1 *Vergelijkbaarheid 5 testen LD, rookgaskoeling, thermokoppel 5*

In figuur 3.1 zijn de testen met lage druk weergegeven gedurende een inzetperiode van ongeveer 1 minuut. Test LD3 laat in de eerste serie interventies een afwijkende temperaturredaling zien, maar volgt verder het patroon van de overige testen.



Figuur 3.2 *Vergelijkbaarheid 5 testen HD, rookgaskoeling, thermokoppel 5*

In figuur 3.2 zijn de testen met hoge druk weergegeven gedurende een inzetperiode van ongeveer 1 minuut. Hierin is te zien dat test HD5 een hogere starttemperatuur heeft, maar dat het verdere verloop vergelijkbaar is met de overige vier testen.



Figuur 3.3 Vergelijkbaarheid 5 testen CC, rookgaskoeling, thermokoppel 5

In figuur 3.3 zijn de testen met de Coldcutter weergegeven gedurende een inzetperiode van ongeveer 1 minuut. Op hoofdlijnen is het patroon in de vijf testen vergelijkbaar, met name in de eerste periode. Wel laat test CC3 na ongeveer een halve minuut een afwijkende temperatuurstijging zien. Ook in test CC4 is na een halve minuut een korte temperatuurstijging te zien, maar deze daalt daarna weer naar het niveau van voor de korte stijging. Bij beide testen lag de starttemperatuur ongeveer 70 °C lager ten opzichte van de overige drie testen.

3.3 Conclusie vergelijkbaarheid

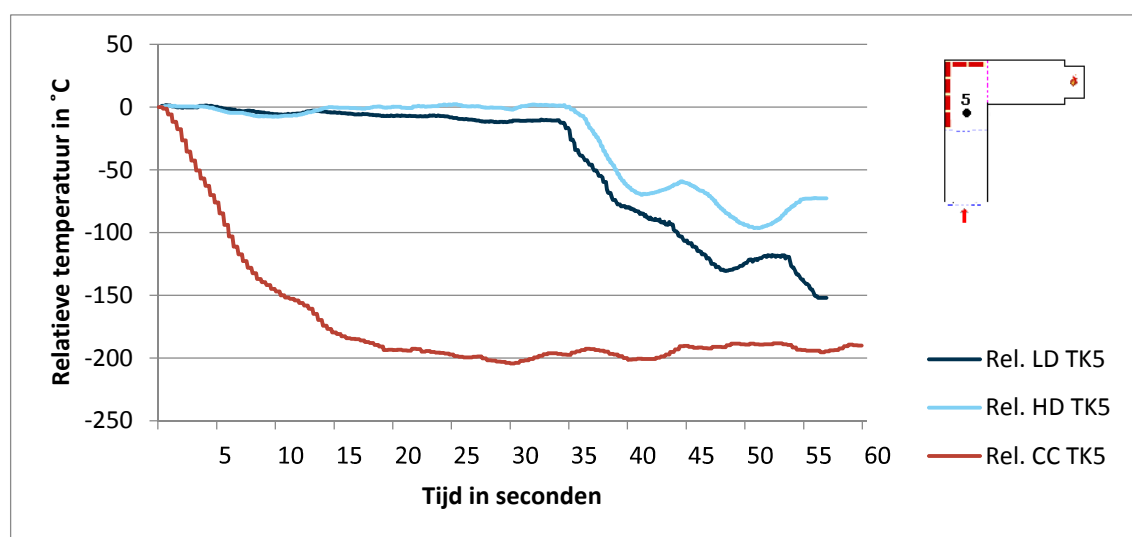
Uit de analyse blijkt dat de testen per systeem in grote mate vergelijkbaar zijn. De temperatuurveranderingen volgen per systeem in de vijf verschillende testen een soortgelijk patroon. Wel zijn er tussen de vijf testen per systemen kleine variaties in tijd en in temperatuur waargenomen. Deze variaties zijn zodanig gering dat de grafieken van de vijf testen per systeem gemiddeld kunnen worden.

4 Resultaten rookgaskoeling

Alle systemen zijn gedurende 1 minuut ingezet op rookgaskoeling. Voor LD en HD bestond dit uit twee series van rookgaskoelingen, bestaande uit een eerste serie rookgaskoelingen bij de buitendeur (3 shots op $t=0$, 3 shots op $t=10$ en 3 shots op $t=20$), en een tweede serie rookgaskoelingen halverwege de container (3 shots op $t=30$, 3 shots op $t=40$ en 3 shots op $t=50$). Het systeem Coldcutter is getest door een offensieve buiteninzet, waarbij vanuit de gesloten buitendeur gedurende 1 minuut continue is ingezet. Vervolgens is op diverse thermokoppels het temperatuurverloop gemeten.

4.1 Temperatuurverloop gehele rookgaskoeling

In figuur 4.1 is het gemiddelde temperatuurverloop op thermokoppel 5 weergegeven voor de onderzochte systemen. De figuur is geïndexeerd waarbij de starttemperatuur op 0 gesteld wordt, zodat het temperatuurverloop eenvoudig met elkaar vergeleken kan worden. Voor thermokoppel 5 is gekozen omdat deze zich in het midden van de ruimte bevindt en in tegenstelling tot thermokoppel 7 niet rechtstreeks wordt aangestraald door de vuurhaard, zodat alleen de feitelijke rookgastemperatuur gemeten wordt.



Figuur 4.1 Temperatuurverloop rookgaskoeling, gemiddelde relatieve waarden per systeem, thermokoppel 5

In bovenstaand figuur valt op dat het patroon van het temperatuurverloop van de testen met LD en HD vergelijkbaar is, maar dat het patroon van de testen met de Coldcutter sterk afwijkt. Binnen het testscenario veroorzaakt de Coldcutter, gemeten op thermokoppel 5, de grootste daling van de rookgaslaagtemperatuur ($\Delta T_{CC}=194^{\circ}\text{C}$)¹⁶. Daarbij is de temperatuur in de eerste 19 seconden met 194°C gedaald. Lage druk veroorzaakt een uiteindelijke daling van de rookgaslaagtemperatuur van 138°C . De temperatuur is de temperatuurdaling in het

¹⁶ Trendlijnen:
HD: $y = -0,1749x + 23,855$; $R^2 = 0,6737$
LD: $y = -0,2716x + 34,76$; $R^2 = 0,7861$
CC: $y = -0,1868x - 115,68$; $R^2 = 0,4496$

De waarde voor de x in de formule van de trendlijn geeft de steilheid van de trendlijn aan. De verklaarde variantie (R^2) is een maat die informatie geeft over de mate waarin een model de werkelijke data benadert.

begin zeer gering en na 34 seconden daalt de temperatuur sterk. Hetzelfde patroon is bij Hoge druk zichtbaar, maar de uiteindelijke temperatuurdaling is na 55 seconden geringer ($\Delta T_{HD}=73^{\circ}\text{C}$). Zie ook tabel 4.1.

Wat verder opvalt, is dat de inzet met de Coldcutter van buitenaf vanaf $t=0$ effect heeft verderop in de container (de locatie van thermokoppel 5, zie figuur 4.1). Om met HD en LD effect te hebben op de temperatuur bij thermokoppel 5, is het noodzakelijk om halverwege de container in te zetten. Immers, de rookgaskoelingen buiten (rookgaskoeling 1-3) leveren geen daling op thermokoppel 5.

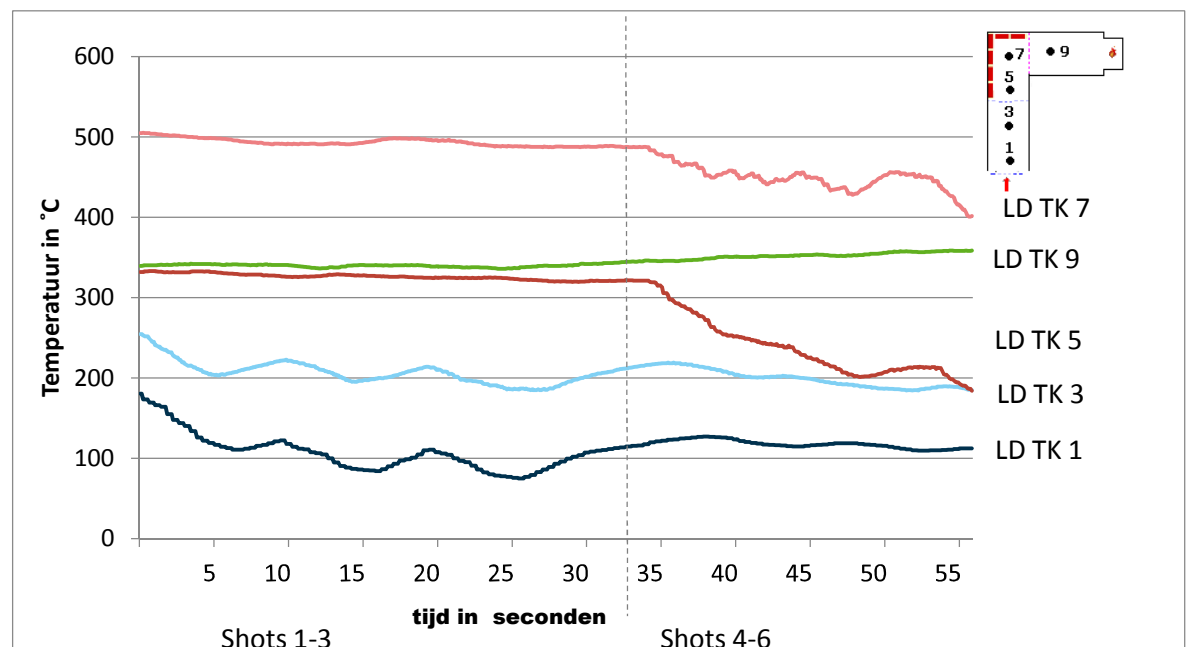
Tabel 4.1 Totale daling rookgas temperatuur van de gemiddelde waarden per systeem, thermokoppel 5

Systeem	Gemiddelde starttemperatuur ($^{\circ}\text{C}$)	Gemiddelde eindtemperatuur ($^{\circ}\text{C}$) op $t=55$ sec	Daling rookgas-temperatuur ($^{\circ}\text{C}$)
Lage druk	332	194	138
Hoge druk	331	258	73
Coldcutter	321	127	194

4.2 Temperatuurverloop rookgaskoeling per systeem

Vervolgens is gekeken wat het temperatuurverloop is aan het plafond in de gehele container tijdens de series rookgaskoelingen. Daarom is per systeem het gemiddelde temperatuurverloop per systeem per thermokoppel weergegeven in figuur 4.2.

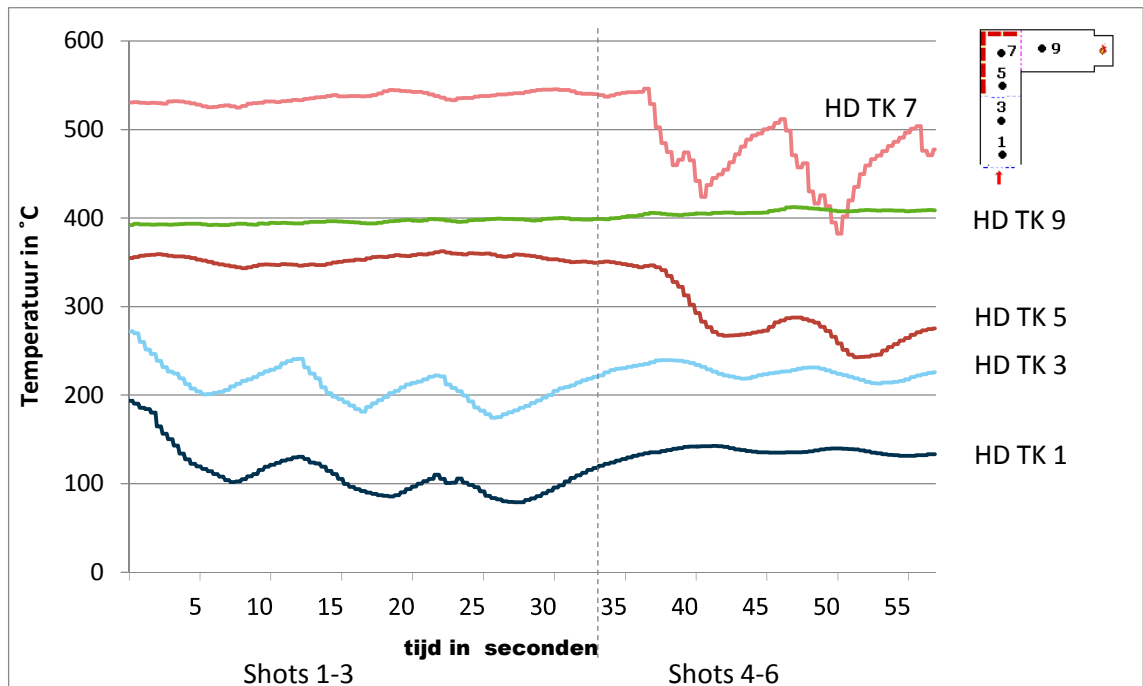
Voor de eerste serie rookgaskoelingen is het te verwachten dat er met name op thermokoppel 1 (vooraan bij de deur) en thermokoppel 3 (halverwege het eerste deel van het compartiment) een effect te zien is. Voor de tweede serie rookgaskoelingen zijn dit thermokoppel 5 (vooraan in het tweede deel van het compartiment) en 7 (in de hoek)¹⁷. Thermokoppel 9 bevindt zich ter hoogte van de vuurhaard.



Figuur 4.2 Temperatuurverloop rookgaskoeling LD, gemiddelde waarden per thermokoppel (TK) gedurende 1 minuut

¹⁷ Thermokoppel 7 wordt vanwege de locatie in de hoek niet alleen door convectie, maar ook door rechtstreekse aanstraling van de vuurhaard opgewarmd.

Bij de inzet met lage druk is er in de eerste serie vooral effect van rookgaskoeling in de directe omgeving te zien (thermokoppel 1 en 3). Bij de tweede serie rookgaskoelingen is een sterk effect te zien op thermokoppel 5 en 7, en is de temperatuurdaling achter de brandweerploeg te zien op onder andere thermokoppel 3. De temperatuur nabij de brandhaard (TK 9) stijgt gemiddeld 19 °C (van 339 °C naar 358 °C). De temperatuur achter in de container van het rechte deel en om de hoek (TK 7 en TK9) wordt in de geteste onderzoeksopzet¹⁸ met de inzet met lage druk niet voldoende omlaag gebracht om veilig de brand te kunnen bestrijden.

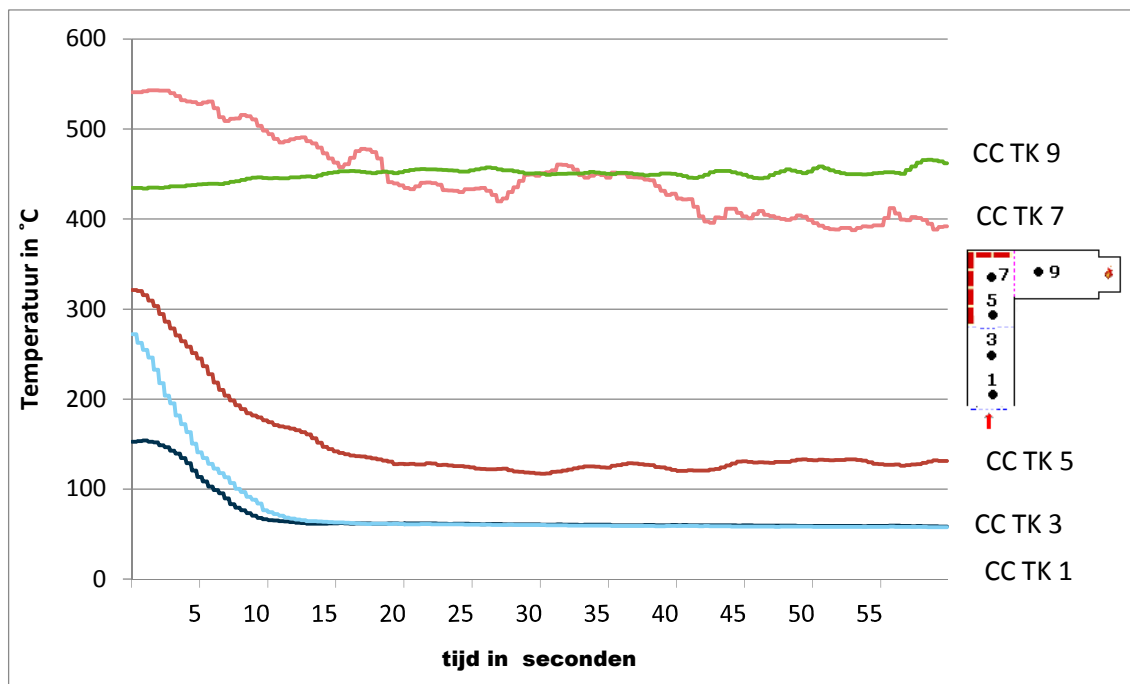


Figuur 4.3 Temperatuurverloop rookgaskoeling HD, gemiddelde waarden per thermokoppel (TK) gedurende 1 minuut

Bij de grafiek van HD (fig. 4.3) is in de directe omgeving een effect te zien van de eerste serie rookgaskoelingen (thermokoppel 1 en 3): de uiteindelijke temperatuur daalt. Bij de tweede serie rookgaskoelingen is een sterk effect te zien op thermokoppel 5 en 7 (uiteindelijke temperatuurdaling), hoewel wel sprake is van een sterke temperatuurschommeling. Ook is een lichte temperatuurdaling achter de brandweerploeg te zien op thermokoppel 3 en in mindere mate op thermokoppel 1. De temperatuur nabij de brandhaard (TK 9) stijgt gemiddeld 20 °C (van gemiddeld 342 °C naar gemiddeld 362 °C). Gezien de hoge temperaturen op thermokoppels 7 en 9 blijkt dat in de geteste onderzoeksopzet¹⁹ het niet lukt om met HD de temperatuur achter in de container van het rechte deel en om de hoek voldoende omlaag te brengen om veilig de brand te kunnen bestrijden.

¹⁸ Inzet van 1 minuut met twee series van drie shots rookgaskoeling in een ruimte, waarbij de vuurhaard zich niet in het directe bereik van de inzetstraal bevindt.

¹⁹ Inzet van 1 minuut met twee series van drie shots rookgaskoeling in een ruimte, waarbij de vuurhaard zich niet in het directe bereik van de inzetstraal bevindt.



Figuur 4.4 Temperatuurverloop rookgaskoeling CC, gemiddelde waarden per thermokoppel (TK) gedurende 1 minuut

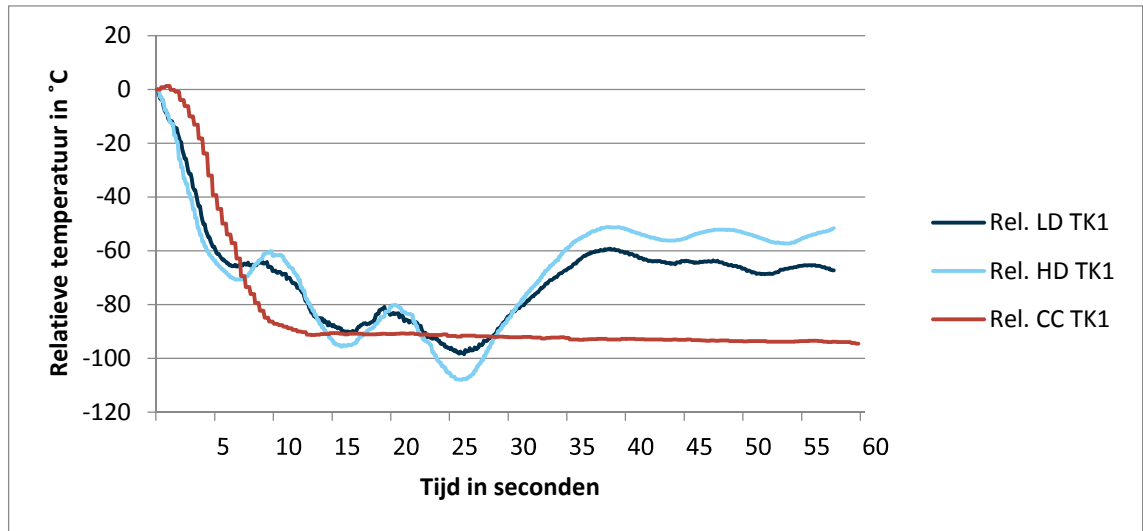
Bij de Coldcutter is te zien dat de temperatuur op de thermokoppels 1 en 3 vrijwel direct sterk daalt: binnen 11 seconden daalt de temperatuur naar gemiddeld 66 °C waarna deze redelijk constant blijft. Ook daalt de temperatuur op thermokoppel 5 vrijwel direct, maar de gemiddelde eindtemperatuur is iets variabel en ligt met ongeveer 128 °C iets hoger. De temperatuur op thermokoppel 7 daalt ook iets, maar is variabel en veel minder dan bij thermokoppels 1, 3 en 5. De temperatuur nabij de brandhaard (TK 9) stijgt gemiddeld 27 °C (van 435 °C naar 462 °C).

Uit het bovenstaande blijkt de Coldcutter in de geteste onderzoeksopzet²⁰ niet in staat is geweest om de temperatuur achter in de container van het rechte deel en om de hoek voldoende omlaag te brengen om veilig naar binnen te kunnen gaan. Dit lijkt in tegenspraak met de stelling dat de coldcutternevel de rookgassen rondom de vuurhaard kan koelen.

4.3 Temperatuurverloop rookgaskoeling op thermokoppel 1, 3 en 9

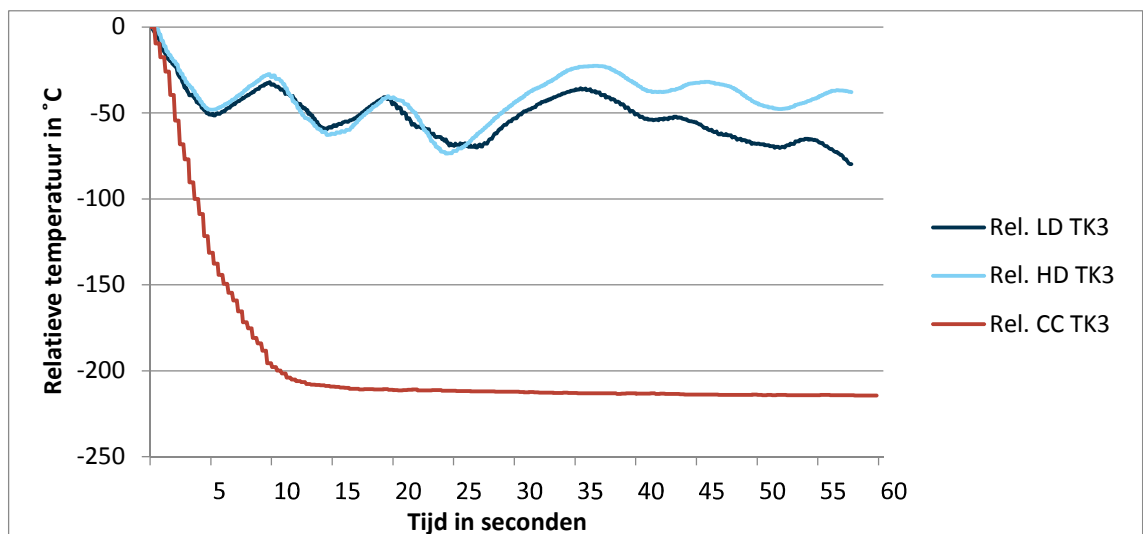
HD en LD laten in het beginstadium van de rookgaskoeling vooral een effect op thermokoppels 1 en 3 zien. Het temperatuurverloop is daarom nader bekeken op deze twee thermokoppels. Verder is het effect van de inzetten op de rookgassen rondom de vuurhaard (op thermokoppel 9) nader onderzocht. Om het effect van de geteste systemen met elkaar te kunnen vergelijken zijn de relatieve, gemiddelde waarden per systeem in een grafiek weergegeven. In bijlage 1 zijn de grafieken voor alle thermokoppels opgenomen.

²⁰ Inzet van 1 minuut continue inzet in een afgesloten ruimte, waarbij de vuurhaard zich niet in het directe bereik van de inzetstraal bevindt.



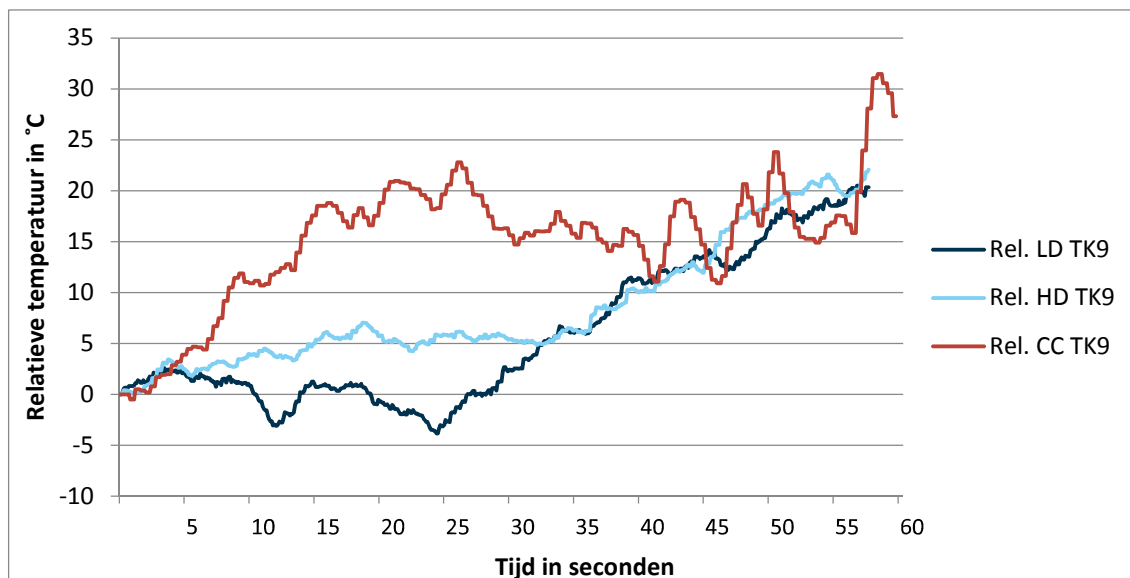
Figuur 4.5 *Temperatuurverloop rookgaskoeling, relatieve, gemiddelde waarden op thermokoppel 1 (TK1)*

In bovenstaande grafiek is te zien dat de drie systemen in de eerste seconden op thermokoppel 1 een vergelijkbare temperatuurdaling geven: de temperatuur daalt in 5 seconden ongeveer 60 °C. De temperatuurdaling zet bij de Coldcutter daarna geleidelijk door, terwijl bij HD en LD de temperatuur na iedere shot weer even stijgt. Na 3 shots, dat is na ongeveer 25 seconden, is de relatieve temperatuur bij HD (-108 °C) en LD (-98 °C) gedaald tot net iets onder de relatieve eindtemperatuur bij de Coldcutter (-93 °C). Vervolgens stijgt de temperatuur weer naar een relatieve waarde van ongeveer -60 °C.



Figuur 4.6 *Temperatuurverloop rookgaskoeling, relatieve, gemiddelde waarden op thermokoppel 3 (TK3)*

Op thermokoppel 3 is er een groot verschil in effect tussen de Coldcutter enerzijds en HD en LD anderzijds. Na 3 shots is de temperatuur bij HD en LD met ongeveer 70 °C gedaald, terwijl de temperatuur bij de Coldcutter op dat moment (na ongeveer 25 seconden) ongeveer 210 °C lager is dan de starttemperatuur.



Figuur 4.7 Temperatuurverloop rookgaskoeling, relatieve, gemiddelde waarden op thermokoppel 9

Zowel bij de inzet van de Coldcutter als bij de inzet van HD en LD is op thermokoppel 9 een temperatuurstijging te zien in plaats van een temperatuurdaling. Verder is een omgekeerd effect te zien in vergelijking met thermokoppel 1: In de eerste periode van de inzet is op thermokoppel 1 bij de drie geteste systemen een vergelijkbare temperatuurdaling te zien, waarna in de laatste periode een onderling verschil van ongeveer 35 °C ontstaat tussen de Coldcutter enerzijds en HD en LD anderzijds. Op thermokoppel 9 ontstaat juist in de eerste periode een onderling verschil van ongeveer 20 °C maximaal, terwijl in de laatste periode het onderlinge verschil zo klein wordt dat bij de drie geteste systemen sprake is van een vergelijkbaar effect in temperatuurstijging.

4.4 Waterverbruik in relatie tot rookgaskoeling

Tijdens de experimenten is ook het waterverbruik gemeten met behulp van een watermeter. Het waterverbruik tijdens de gehele rookgaskoeling is afgezet tegen de totale temperatuurdaling op thermokoppel 5. Dit is weergegeven in tabel 4.3.

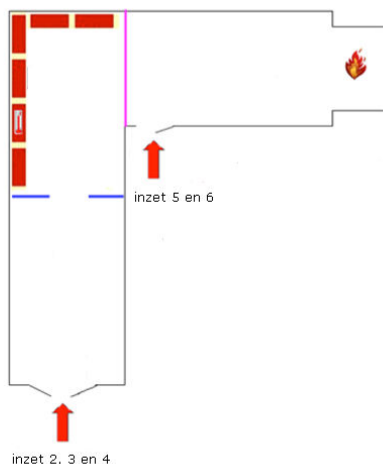
Tabel 4.3 Gemiddelde waterverbruik gedurende de rookgaskoeling (excl. doorspoelen systeem)

Blussysteem	Ingebrachte hoeveelheid water in liters	Standaarddeviatie	Temperatuurdaling totale rookgaskoeling tk 5	Temperatuurdaling in graden per liter water
Lage druk	42	6,6	138	3,3
Hoge druk	32	3,5	73	2,3
Coldcutter	58	1,3	194	3,3

In tabel 4.3 is af te lezen dat bij LD en de Coldcutter gemiddeld meer water is ingebracht dan bij HD. Wel is er een variatie in de ingebrachte hoeveelheid liters water bij de verschillende testen, waarbij de grootste variatie (standaarddeviatie) er is bij LD. De testen met HD zijn vrij stabiel te noemen gezien de standaarddeviatie van 3,5 en de testen met de Coldcutter zijn wat betreft waterverbruik zeer stabiel (SD = 1,3). De temperatuurdaling van de totale rookgaskoeling (gemeten op thermokoppel 5) is het grootst bij de testen met de Coldcutter (194 °C) en het kleinst bij de testen met HD (73 °C). Ook als deze temperatuurdaling wordt afgezet tegen de ingebrachte hoeveelheid water blijkt het rookgaskoelend vermogen van HD het kleinst te zijn (2,3 °C/liter). Voor de Coldcutter en LD is dit vergelijkbaar (3,3 °C/ltr).

5 Analyse extra testen

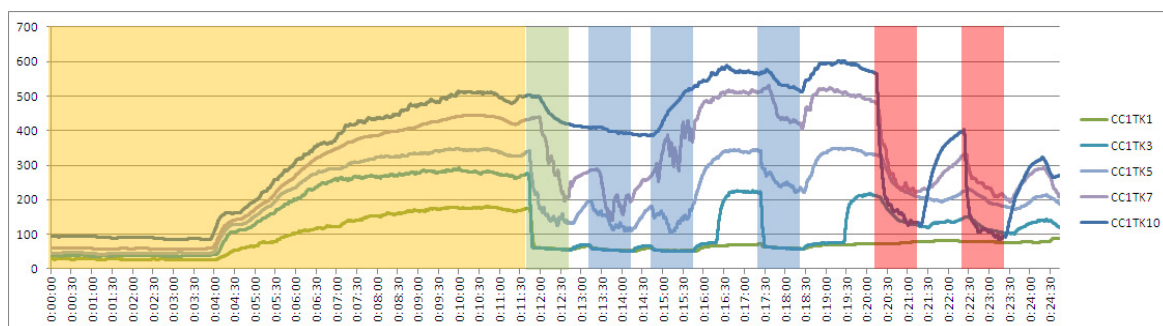
Naast de vergelijking tussen de Coldcutter, hoge en lage druk zijn in hetzelfde experiment extra experimenten uitgevoerd met de Coldcutter. Het doel hiervan was te bekijken wat de invloed was van een langere inzettijd. Hiertoe is na de eerste inzet van één minuut met een pauze van telkens circa 30 seconden nog drie maal één minuut rookgaskoeling uitgevoerd. Vervolgens is ook tweemaal één minuut direct in de brandruimte ingezet. Zie voor locatie van de plaats van inzet ook figuur 5.1.



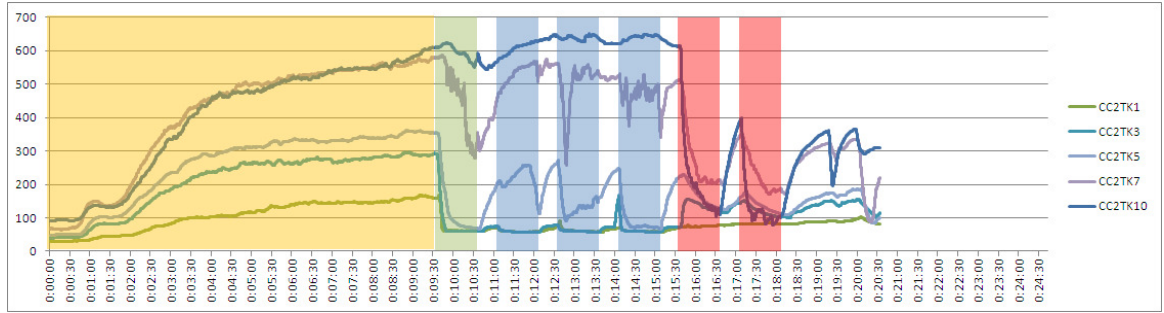
Figuur 5.1 Plaats van inzet

Deze aanvullende experimenten worden in dit hoofdstuk beschreven. De experimenten zijn uitgevoerd conform dezelfde opzet als de eerder beschreven testen in hoofdstuk 2.

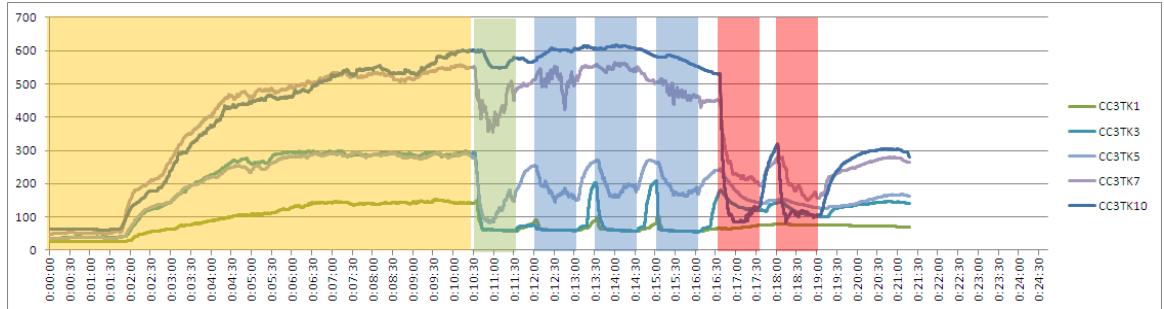
In figuur 5.2 tot en met 5.6 zijn de resultaten van de verschillende experimenten weergegeven. In elke figuur geeft het geel gearceerde deel de opwarmfase weer. Het groen gearceerde deel geeft de resultaten weer van de testen die in de voorgaande hoofdstukken (3 en 4) zijn beschreven: het temperatuurverloop na een eerste inzet met de Coldcutter vanaf de ingang. Het blauw en rood gearceerde gedeelte geeft de aanvullende inzetten weer. Daarbij geeft het blauw gearceerde deel het temperatuurverloop na de drie extra inzetten die zijn uitgevoerd vanaf de ingang. Het rood gearceerde deel geeft de resultaten van het temperatuurverloop na de twee extra inzetten rechtstreeks in de brandruimte.



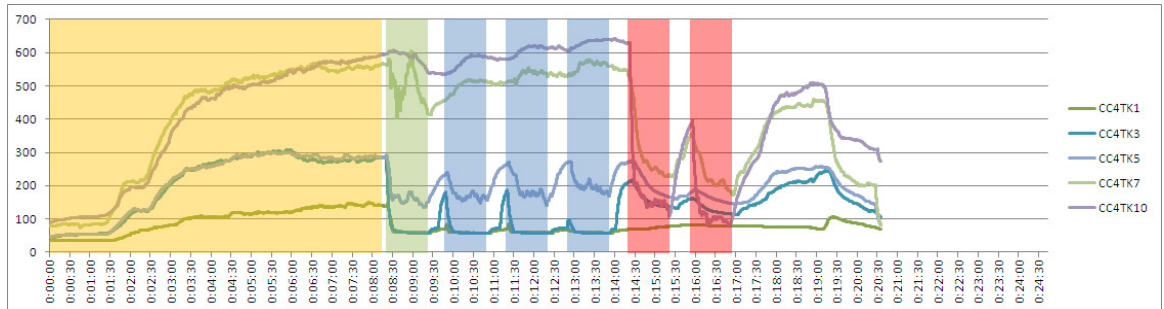
Figuur 5.2 Complete temperatuurverloop Coldcutter test 1



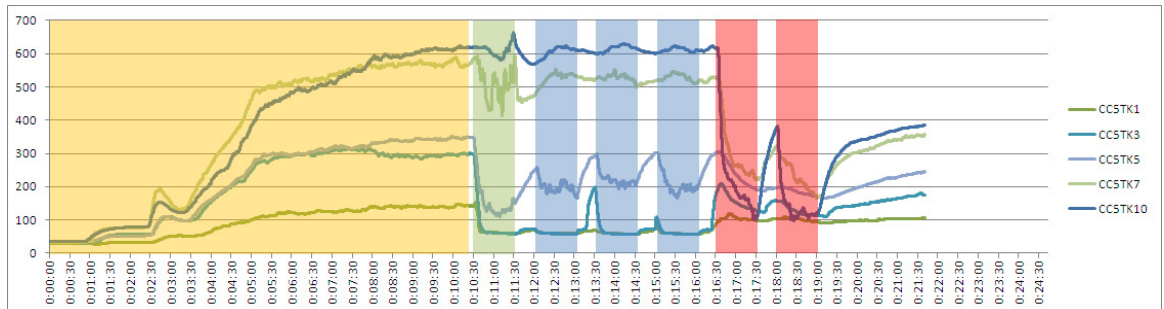
Figuur 5.3 Complete temperatuurverloop Coldcutter test 2



Figuur 5.4 Complete temperatuurverloop Coldcutter test 3



Figuur 5.5 Complete temperatuurverloop Coldcutter test 4

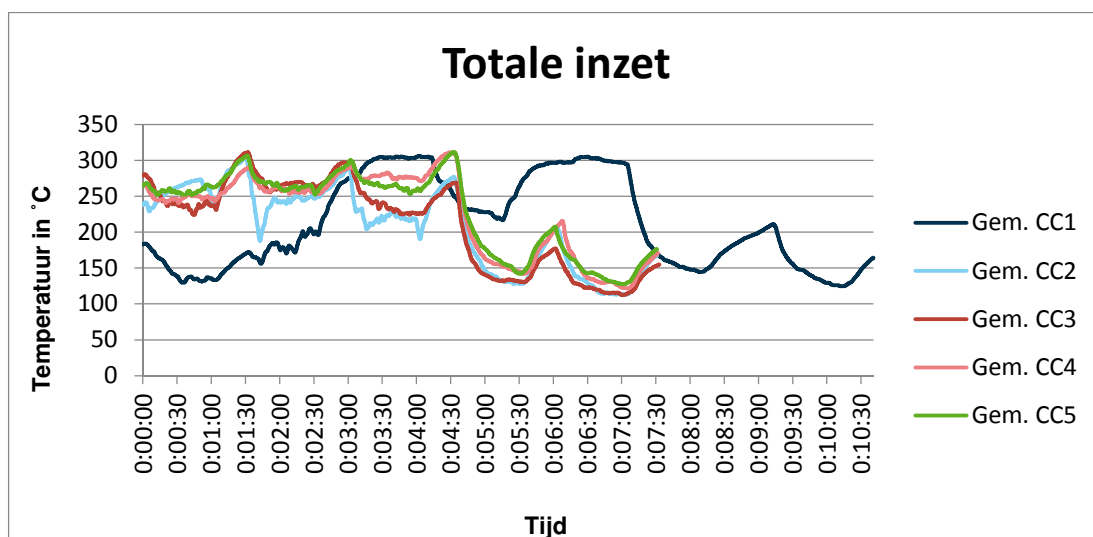


Figuur 5.6 Complete temperatuurverloop Coldcutter test 5

Uit de figuren blijkt dat er vergelijkbare effecten optreden na elke inzet. Bij de start van de inzet daalt de temperatuur flink, maar na het stoppen van de inzet neemt de temperatuur weer toe. De temperatuur in de brandruimte neemt nauwelijks af, totdat wordt ingezet in de brandruimte zelf. Wanneer wordt ingezet in de brandruimte zelf, daalt de temperatuur flink maar wanneer na 1 minuut de inzet wordt gepauzeerd, neemt de temperatuur weer toe. De aanvoer van hete brandgassen is blijkbaar groter dan het koelend vermogen van de Coldcutter. Het blijkt niet mogelijk in de brandruimte de brand te blussen.

In figuur 5.7 zijn de resultaten van de verschillende testen over elkaar heen gelegd. Sommige intervallen bij experiment CC1 wijken af van de intervallen tussen de inzetten bij

de andere experimenten, vermoedelijk door een technische oorzaak. Omdat de testcondities derhalve niet geheel gelijk zijn geweest, is het eerste Coldcutter experiment in de analyse van de aanvullende inzetten verder buiten beschouwing gelaten.



Figuur 5.7 Resultaten rookgaskoeling van de verschillende testen gemeten in de gehele container.

In figuur 5.7 zijn de afwijkende resultaten van de eerste Coldcuttertest ten opzichte van de overige Coldcuttertesten duidelijk te zien.

In tabel 5.1 is de temperatuurdaling weergegeven voor de verschillende inzetten en afgezet tegen de ingebrachte hoeveelheid water. Voor het meten van de temperatuur bij de inzetten via de ingang is thermokoppel 5 gebruikt. Bij de inzetten in de brandruimte zijn de meetresultaten van thermokoppel 10 gebruikt.

Tabel 5.1 Gemiddelde temperatuurdaling per liter water gedurende de rookgaskoeling in de verschillende testen

Blussysteem	Gemiddelde ingebrachte hoeveelheid water in liters	Gemiddelde temperatuurdaling totale rookgaskoeling	Gemiddelde temperatuurdaling in graden per liter water
Lage druk via ingang	42	138	3,3
Hoge druk via ingang	32	73	2,3
CC* inzet 1 via ingang	58	194	3,3
CC inzet 2 via ingang	58	90	1,6
CC inzet 3 via ingang	58	82	1,4
CC inzet 4 via ingang	58	102	1,8
CC inzet 5 via brandruimte	59	473	8,0
CC inzet 6 via brandruimte	57	263	4,6

* CC = Coldcutter

Omdat bij de inzet van de Coldcutter in de brandruimte (inzet 5 en 6) vanuit een andere positie is ingezet, is geen vergelijking mogelijk met de LD en HD testen uit het eerdere onderzoek.

6 Conclusies

6.1 Beantwoording onderzoeksvraag

In deze paragraaf wordt antwoord gegeven op de onderzoeksvraag:

Hoe verhoudt de effectiviteit van de Coldcutter, als het gaat om het rookgaskoelend effect, zich ten opzichte van lage druk (LD) en hoge druk (HD) als de vuurhaard zich niet in het directe bereik van de inzetstraal bevindt?

Uit de testen is gebleken dat het temperatuurverloop over de gehele rookgaskoeling (op TK 5) bij de Coldcutter de grootste temperatuurdaling tot gevolg heeft. HD en LD hebben een onderling vergelijkbaar en minder sterk koelend effect op de temperatuur in de rookgassen. Bij de Coldcutter daalt de temperatuur in het midden van de container (TK 5) vrijwel meteen na de inzet en varieert daarna nauwelijks. Bij HD en LD daalt de temperatuur op TK 5 in het begin (de rookgaskoelingen buiten) nauwelijks en zodra men halverwege de container begint met rookgaskoelen daalt de temperatuur, maar minder dan met de Coldcutter van buitenaf. De koeling van de Coldcutter is niet alleen beter, maar omdat van buiten kan worden opgetreden is dit tevens veiliger.

De drie geteste systemen blijken in de geteste onderzoeksopzet niet in staat om de temperatuur achterin de container (TK7) en om de hoek (TK9) voldoende te koelen om veilig naar binnen te kunnen gaan. De temperatuur blijft hoog en loopt zelfs iets op. Het is niet duidelijk waardoor dit wordt veroorzaakt. Het kan te maken hebben met de inzetrichting van de rookgaskoeling en de geometrie van de testruimte, maar bijvoorbeeld ook met de beperkte inzetduur (1 minuut) of andere factoren. Hoewel de temperatuurstijging nabij de brandhaard in de eerste periode van inzet bij de Coldcutter groter is dan bij HD en LD, is het effect in temperatuurstijging bij de Coldcutter uiteindelijk vergelijkbaar met het effect van HD en LD. Dit lijkt in tegenspraak met de stellingname dat de Coldcutternevel, anders dan HD en LD, in staat zou moeten zijn om de rookgassen rondom de vuurhaard te koelen.

Als het koelend vermogen afgezet wordt tegen het waterverbruik, dan blijkt dat het rookgaskoelend vermogen per liter ingebracht water het kleinst is bij HD (2,3 °C/ltr). Het rookgaskoelend vermogen per liter ingebracht water van de Coldcutter is gelijk aan dat van LD (3,3 °C/ltr).

Kortom, de Coldcutter laat in de geteste omstandigheden voor rookgaskoeling een sneller en groter effect zien in temperatuurdaling dan HD en LD. Ook het bereik (effectafstand) is bij de Coldcutter groter dan bij HD en LD. Echter, net als bij HD en LD is de Coldcutter niet in staat om de rookgassen om de hoek, nabij de vuurhaard, te koelen.

Tijdens visuele waarnemingen heeft na de drie series van 1 minuut rookgaskoeling bij enkele testen een rollover plaatsgevonden waarbij onzichtbare brandgassen zijn ontbrand. Hoe het bovenstaande exact verklaard kan worden, en wat de effecten hiervan zijn, kan op basis van dit onderzoek niet worden gesteld. Wel kan het een onderwerp zijn voor nader onderzoek.

6.2 Conclusies extra testen

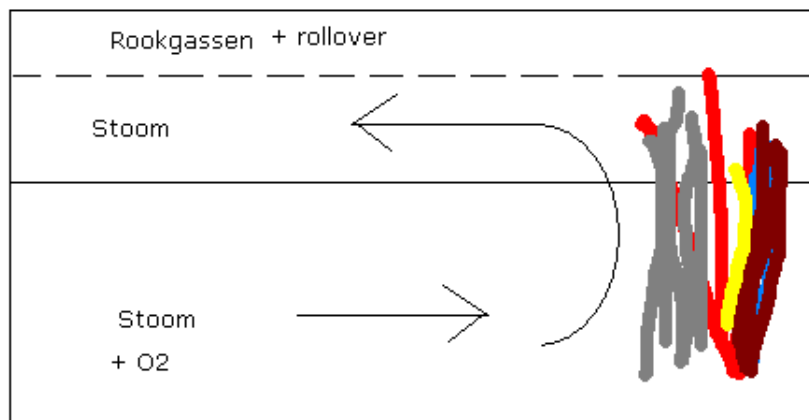
De geobserveerde daling van de temperatuur is het grootst bij de inzet van de Coldcutter in de brandruimte zelf. Daarbij dient bovendien bedacht te worden dat in deze situatie er al vier eerdere inzetten gepleegd waren vanaf de ingang. Zowel in absolute zin als in verhouding tot de gebruikte hoeveelheid water blijkt de temperatuuurdaling bij rechtstreekse inzet in de brandruimte het grootst.

Uit de figuren 5.2 tot en met 5.6 blijkt dat, bij inzet rechtstreeks in de brandruimte, ook de temperatuur bij de thermokoppels die gelegen zijn bij de ingang daalt. Dit is bijvoorbeeld goed te zien op thermokoppel 5. Dit betekent dat de Coldcutter ook een koeling teweeg kan brengen achter de inzetploeg. Ook bij inzet in de brandruimte zelf (met de gehanteerde methode van shots van 1 minuut) blijft het echter noodzakelijk om de brandruimte te betreden om te kunnen afblussen, aangezien de brand na elke Coldcutter inzet weer opblaait.

Opmerkelijk is het feit dat na de eerste inzet vanaf de ingang en na de eerste inzet in de brandruimte het temperatuurverschil bij de volgende poging(en) geringer is. Het lijkt erop dat naarmate de begintemperatuur lager is, het koelend vermogen in verhouding afneemt.

6.3 Overige bevindingen

Tijdens de testen zijn er visuele waarnemingen gedaan. De waarnemers merken bij een aantal testen op dat na de drie series van 1 minuut rookgaskoeling er een rollover heeft plaatsgevonden langs het plafond, waarbij er een stoomlaag onder het plafond hangt (zie onderstaande schets).



Afbeelding 6.1 Schets van visuele waarneming tijdens testen met de Coldcutter

Daarbij wordt opgemerkt dat het vuur aan de voorzijde van de vuurhaard uitgaat, maar achteraan blijft branden. Verder wordt opgemerkt dat rollover²¹ plaatsvindt door de ontbranding van onzichtbare brandgassen. Op dat moment was er zicht, en nauwelijks zichtbare rook in de situatie. Hoe het bovenstaande exact verklaard kan worden, en wat de effecten hiervan zijn, kan op basis van dit onderzoek niet worden gesteld. Wel kan het een onderwerp zijn voor nader onderzoek.

²¹ Het is niet geheel duidelijk of het daadwerkelijk een rollover is geweest. Het zou ook een stoomexplosie, of iets anders, geweest kunnen zijn.

Bijlage 1 Grafieken rookgaskoeling

