

Verkoelende experimenten met water en schuim



Verkoelende experimenten met water en schuim

**Een onderzoek naar rookgaskoeling en blussing bij een offensieve binneninzet
met DLS, Firedos, Hogedruk en Lagedruk**

Versie: 10 september 2013

Instituut Fysieke Veiligheid
Postbus 7010
6801 HA Arnhem

T 026 355 24 00
F 026 351 50 51

info@ifv.nl

Colofon

Contactpersoon:	R. van den Dikkenberg
Titel:	Verkoelende experimenten met water en schuim. Een onderzoek naar rookgaskoeling en blussing bij een offensieve binneninzet met DLS, Firedos, Hogedruk en Lagedruk.
Datum:	10 september 2013
Status:	definitief rapport
Projectnummer:	421N1206
Auteurs:	ing. R. van den Dikkenberg MCDM, projectleider drs. K. Groenewegen, onderzoeker dr. ir. M. Kobes, onderzoeker
Review & eindverantwoordelijke:	dr.ir. R. Weewer, lector Brandweerkunde

Managementsamenvatting

Veel brandweerkorpsen zijn momenteel zoekende naar de meest geëigende blusmiddelen. Er zijn korpsen die over zijn gegaan op schuimvormende systemen als Firedos (FD) en Drukluchtschuim (DLS). In het brandweerveld, maar ook in de literatuur, is veel discussie over de effectiviteit en toepassingsmogelijkheden van Lage Druk (LD) blussing en Hoge Druk (HD) blussing in relatie tot deze schuimvormende systemen. Zo zijn er met betrekking tot DLS meningen dat dit blussysteem niet geschikt is voor rookgaskoeling, maar er zijn ook meningen dat dit juist wel kan, afhankelijk van de blustechniek. Anderzijds zijn er personen die ervan overtuigd zijn dat dezelfde bluskracht en rookgaskoeling kan worden bereikt met LD of HD blussing, of dat dit zelfs beter gaat. Daarnaast is er behoefte aan inzicht hoe de schuimvormende systemen zich tot elkaar verhouden. De regio's Noord-Holland Noord en Groningen hebben de Brandweeracademie benaderd met de vraag om samen onderzoek te doen naar schuimsystemen. Andere regio's hebben zich aangesloten bij dit onderzoek. Het onderzoek richt zich zowel op het rookgas koelend vermogen als het blussend vermogen van FD, DLS, HD en LD. In een testopstelling, met het scenario woonkamerbrand, is een geprepareerde L-container gebruikt, deels voorzien van een stenen binnenwand, thermokoppels en camera's.

Hierbij is voor een plaatselijke vuurlast van circa 2600 MJ (circa 155 kg vurenhout equivalent) gekozen, wat neergelegd werd op een oppervlakte van circa 4 m² in het scenario woonkamerbrand. De vuurlast bestond uit hout en polyetherschuim. Met ieder systeem werd vijf maal een gecombineerd experiment van een rookgaskoelingsexperiment en een blusexperiment uitgevoerd, waarbij tijdens de rookgaskoeling de vuurhaard niet geraakt kon worden. 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. Temperatuur, tijden, het water- en schuimverbruik, het visueel beeld en overige parameters zijn geregistreerd. De uitkomsten van het onderzoek worden per onderzoeksvraag hieronder weergegeven.

1. Wat is er in de literatuur bekend over de effectiviteit van schuimvoerende systemen op het gebied van rookgaskoeling en blussing ten opzichte van HD en LD?

Uit diverse geraadpleegde onderzoeken is gebleken dat DLS minder goed in staat is om rookgassen te koelen dan water. Bij het enige op dit moment bij het onderzoeksteam bekende onderzoek dat hiervan afwijkt, blijkt men in de testuitvoering geen feitelijke rookgaskoeling, maar een blussing te hebben uitgevoerd, wat tot een daling van de rookgastemperatuur leidde.

Het rookgaskoelend vermogen van DLS is niet alleen lager als het gaat om het inbrengen van het middel in de rookgaslaag, maar ook als het wordt aangebracht op wanden en plafonds. Wel leidt dit aanbrengen en afdekken van DLS tot het voorkomen van pyrolyse van brandbare materialen. Echter, dit is feitelijk geen rookgaskoeling maar uitsluitend het voorkomen van een toename van brandbare rookgassen in de ruimte. Wel blijkt dat DLS een grotere effectiviteit dan water heeft, waar het gaat om de het creëren van een knockdown en het voorkomen van herontsteking.

Op basis van de resultaten van de literatuurstudie lijkt het erop dat het uitvoeren van een offensieve binneninzet met DLS weliswaar zorgt voor een snelle knockdown, maar dat dit vanwege het beperkte rookgaskoelend vermogen, en daarmee de aanwezigheid van brandbare, hete rookgassen, risicovol kan zijn. Deze visie wordt onderschreven

door de Werkgroep Alternatieve Blussystemen (WAB¹). De bij het projectteam bekende gegevens uit eerder praktijkonderzoek geven daarentegen niet voldoende inzicht in de effectiviteit voor de toepassing van Drukluchtschuim voor rookgaskoeling op de wijze zoals het binnen enkele regio's in Nederland wordt toegepast. Bovendien is de effectiviteit rookgaskoeling van Hogedruk, Lagedruk en Firedos, op de wijze zoals bij de Nederlandse brandweerkorpsen wordt toegepast, nog nauwelijks in een experimentele setting onderzocht en op navolgbare wijze beschreven.

2. Wat is de effectiviteit van de schuimvormende systemen DLS en Firedos, HD en LD op het gebied van rookgaskoeling bij een offensieve binneninzet bij een woonkamerbrand?

Uit de testen is gebleken dat het temperatuurverloop over de gehele rookgaskoeling (op TK 5) bij LD de grootste daling tot gevolg heeft. HD en FD hebben een onderling vergelijkbaar en minder sterk koelend effect op de temperatuur in de rookgassen. DLS laat de minste koeling van de rookgassen zien. Bij DLS daalt de temperatuur na twee series rookgaskoelingen 41 C, terwijl bij LD de temperatuur 138 C gedaald is. Verder zet het koelend effect van met name LD gedurende de rookgaskoeling door, ook als in de tussenliggende tijd geen pulsen gegeven worden en er nieuwe hete rookgassen worden aangevoerd. Dit geldt in mindere mate voor FD en HD, en nauwelijks voor DLS.

Als de twee series rookgaskoelingen afzonderlijk worden bekijken, blijkt dat FD op basis van de trendlijn in de eerste serie de rookgassen het minst koelt. LD en HD koelen de rookgassen het best. Ook bij DLS is een daling van de rookgastemperatuur te zien. Bij de tweede serie rookgaskoelingen is bij LD wederom het beste resultaat te zien, zowel ten opzichte van de overige systemen als ten opzichte van de eerste serie rookgaskoelingen. Opvallend is dat DLS dan het slechtste resultaat laat zien met een totale temperatuurdaling van 20 C. Wat opvalt is dat FD in de eerste rookgaskoelingsserie slechter scoort ten opzichte van DLS (en LD en HD), terwijl in de tweede serie, verderop in de container, DLS nauwelijks een koeling van de rookgassen tot gevolg heeft, en FD juist beter scoort (ongeveer even goed als HD). Mogelijk is het relatief positieve effect bij DLS in de eerste serie veroorzaakt door een aanzuigende werking van de DLS-straal waardoor koude omgevingslucht in de container is gebracht. Een mogelijke verklaring waarom Firedos de eerste keer weinig effect heeft, en in de tweede serie wel effectief lijkt, is dat de vermenging in het begin anders is in het begin dan bij de tweede serie.

Als naar het temperatuurverloop op hetzelfde moment in de gehele container wordt gekeken, valt op dat bij LD en HD de temperatuur zowel voor als achter de brandweerploeg daalt tijdens de rookgaskoeling. Bij FD is er alleen effect in de directe omgeving. Bij DLS is een kortstondige daling vóór de brandweerploeg te zien, gevolgd door een stijging van de temperatuur zowel voor als achter de brandweerploeg.

Als het koelend vermogen afgezet wordt tegen het waterverbruik, dan blijkt dat het rookgaskoelend vermogen per liter ingebracht water het grootst is bij LD. De schuimvormende systemen koelen het minst per ingebrachte liter water, waarbij DLS het slechtst scoort. Als het koelend vermogen wordt afgezet tegen het ingebracht volume blusmiddel (water of water met lucht en schuim) dan is het verschil tussen de systemen die uitsluitend water gebruiken, en de schuimvoerende systemen, nog groter.

Bij de twee van de vijf testen met DLS, en de extra uitgevoerde test met Firedos 0,3% zijn plotselinge ontbrandingen van de rookgaslaag waargenomen. Omdat deze ontbrandingen bij een deel van de experimenten met DLS en FD is voorgekomen, is niet

¹ Netwerk Repressie van Veiligheidsregio Noord-Holland Noord

met zekerheid te zeggen of dit het gevolg is van het rookgaskoelen dan wel blussen met schuim. Nader onderzoek is hiervoor nodig.

De extra uitgevoerde test met een klepje op de DLS-straalpijp laat weliswaar een betere rookgaskoeling zien dan zonder klepje, maar aangezien deze test slechts eenmalig is uitgevoerd, zijn hierover geen conclusies te trekken. Hetzelfde geldt voor de aanvullende test met 0,3% in plaats van 3% bijmengpercentage voor Firedos: het resultaat lijkt beter maar betrouwbare uitspraken zijn hierover niet te doen.

Concluderend kan gesteld worden dat blussystemen op basis van water veel beter in staat zijn tot rookgaskoeling dan de schuimvormende systemen, daarbij uitgaande van de bij dit onderzoek gehanteerde inzetmethode. DLS op de wijze ingezet zoals tijdens de experimenten (dat wil zeggen door middel van het geven van korte shots in de rookgaslaag) koelt de rookgassen alleen voorin in de ruimte als de inzet van buitenaf gebeurt. Vermoedelijk komt dit door de aanvoer van koude omgevingslucht, waardoor een vorm van repressieve ventilatie ontstaat. DLS is op deze wijze niet in staat om de temperatuur van de rookgassen tijdens een binneninzet verderop in de container dusdanig te verlagen, dat dit leidt tot veilige omstandigheden van een binnenaanval. Dit geldt in mindere mate voor Firedos, die wel verderop in de container koelt, maar uitsluitend in de directe omgeving. Een binneninzet met LD is voor rookgaskoeling het meest effectief en veilig gebleken, zelfs als dit in vergelijking met HD wordt afgezet tegen het waterverbruik. Het is nadrukkelijk niet zo dat naar aanleiding van de experimenten en het rapport geconcludeerd kan worden dat een andere inzetmethode als onderzocht tijdens dit onderzoek niet tot betere resultaten zou kunnen leiden, met name daar waar het DLS betreft. Er is immers slechts één methode om DLS toe te passen onderzocht.

3. Wat is de effectiviteit van de schuimvormende systemen DLS en Firedos, HD en LD op het gebied van blussend vermogen bij een offensieve binneninzet bij een woonkamerbrand?

HD en DLS realiseren beide de snelste knockdown waarbij bij HD het minste water is gebruikt. Firedos heeft de langste tijd nodig voor het creëren van een knockdown. Echter, de gemiddelde duur tot de eerste herontsteking is voor Firedos het hoogst, hoewel de variatie binnen de testen groot is. Dit geldt in mindere mate voor LD. Hoewel DLS een snelle knockdown creëert, is er sprake van een relatief snelle herontsteking binnen de gekozen onderzoeksopzet, waarbij tussen de testen met DLS telkens vrijwel identieke resultaten gevonden worden.

De blussing met Firedos is wat betreft temperatuurdaling (ongeacht het verbruik) bij de eerste knockdown het meest effectief. De blussing met LD en HD geven een gemiddelde temperatuurdaling die beter is dan met DLS maar minder dan FD. Als het wordt afgezet tegen het water- en blusmiddelverbruik, dan scoren HD en LD het beste.

De temperatuurdaling bij LD en FD in de container is gelijkmatig. Bij DLS en HD is ook een dalende lijn te zien, maar het valt op dat de temperatuur na daling vrij direct pieken weergeeft, die de koelende werking van de blussing deels teniet doen. Dit is bij DLS sterker dan bij HD.

Concluderend kan gesteld worden dat FD weliswaar de langste tijd voor de knockdown nodig heeft, maar vervolgens erg effectief is in het omlaag brengen van de temperatuur. Er wordt echter ook het meeste blusmiddel ingebracht. Als het wordt afgezet tegen het verbruik, dan scoren HD en LD voor blussing het beste. DLS scoort goed in het creëren van een snelle knockdown, maar geeft een beperkte daling van de temperatuur in de ruimte (van 38 C) waarbij er tussen de shots sprake is van een temperatuurtoename.

Overige bevindingen

Tijdens de opzet en uitvoering van het onderzoek is gebleken dat er voor de schuimvormende systemen geen eenduidige inzetwijze is. De inzetwijze van DLS, en het bijmengpercentage van Firedos, variëren sterk tussen de verschillende regio's. Het is bekend dat de gehanteerde wijze van inzet van het gebruikte DLS systeem, niet gelijk is aan de door de leverancier BMT en haar fabrikant geadviseerde inzetmethode voor de binneninzet. Bij deze inzetmethode dienen de wanden en het plafond te worden ingeschuimd door middel van het geven van pulsen van 3-5 seconden.

Centrale onderzoeksvraag: Hoe verhoudt de effectiviteit van DLS en Firedos, als het gaat om het rookgaskoelend effect en de bluskracht bij een offensieve binneninzet, zich tot elkaar en ten opzichte van Lage druk en Hoge Druk?

Zowel uit de literatuurstudie als uit de praktijkexperimenten blijkt dat rookgaskoeling met DLS² weinig effectief is en niet leidt tot een substantiële rookgas temperatuurverlaging wanneer gebruik wordt gemaakt van korte shots in de rookgaslaag, met name niet bij inzet verder in de ruimte, in vergelijking tot watervoerende systemen. Een verhoging van de temperatuur is bij DLS waargenomen, evenals een ontbranding van de rookgaslaag. Dit kan in de brandweerpraktijk tot gevaarlijke situaties leiden.

Firedos met 3% lijkt voor rookgaskoeling minder effectief dan water. Bij minder bijmenging (0,3%) wordt Firedos bijna net zo efficiënt als HD. Minder schuimtoevoeging leidt dus tot betere prestaties op rookgaskoeling.

In de blussing creëert DLS weliswaar een net zo snelle knockdown als HD, maar de temperatuur in de omgeving van de vuurhaard blijft hoog. Hierdoor bestaat er het risico op herontsteking van de omgeving. Firedos zorgt bij de blussing voor de grootste temperatuurdaling en heeft van alle geteste systemen het langste effect in het voorkomen van herontsteking. Echter, Firedos is in de rookgaskoeling minder effectief dan de watervoerende systemen.

Alles in aanmerking genomen, dan lijkt de binnenaanval op de traditionele wijze met Lagedruk het meest veilig. Ook met Hogedruk is dit, zij het in mindere mate, goed mogelijk. Gezien het slechte rookgaskoelend vermogen van DLS op de wijze zoals in het onderzoek is ingezet (korte shots in de rookgaslaag), en het beperkt rookgaskoelend vermogen van FD, kan de binneninzet met uitsluitend één van de schuimvormende systemen, leiden tot gevaarlijke situaties. Deze constatering geldt uitsluitend voor de onderzochte inzetmethode.

Aanbevelingen

Op basis van de onderzoeksresultaten worden de volgende aanbevelingen gedaan:

1. Voor een veilige binneninzet met een van de schuimvormende systemen middels de beschreven inzetmethode, is het noodzakelijk de inzet te combineren met een ander inzetsysteem dat effectief rookgassen koelt.
2. Zorg voor een eenduidige, op praktijkonderzoek gebaseerde effectieve inzetwijze van DLS en Firedos, uitgaande van de gebruikelijke bouwwijze in Nederland.

² binnen de Nederlandse situatie en geteste inzetmethode

3. Overweeg of LD, gezien de resultaten, meer dan op dit moment het geval is, onderdeel zou moeten zijn van de standaard inzettechniek voor een binneninzet.
4. Onderzoek, aanvullend op dit onderzoek, de effectiviteit van de onderzochte systemen bij andere typen branden, onder andere omstandigheden en met toepassing van eventueel andere inzetmethodes.

Voorwoord

Voor u ligt het rapportage van het vergelijkend onderzoek naar verschillende blusmiddelen dat door de Brandweeracademie in nauwe samenwerking met korpsen uit het land is uitgevoerd.

Centraal in dit onderzoek staat de vraag hoe de schuimvormende systemen DLS en Firedos zich in effectiviteit voor rookgaskoeling en blussing verhouden tot water. Het scenario was een binnenbrand in een woning, waarbij de vuurhaard alleen bereikt kan worden via een aanvalsweg die voert door een ruimte waar hete rookgassen aanwezig zijn.

Dit onderzoek is uitgevoerd op verzoek van de regio's Noord-Holland Noord en Groningen. Het is ingevoegd als eerste fase van het onderzoeksprogramma ten behoeve van de brandweerdoctrine dat in totaal uit 4 fasen bestaat.

Het onderzoek kon worden uitgevoerd door subsidie van het Ministerie van Veiligheid en Justitie en de Wetenschappelijke Raad Brandweer, en medefinanciering van:

- TRONED voor het leveren van de testruimte en ondersteunend personeel
- De Brandweerroegio's die tevens experts en materieel beschikbaar hebben gesteld, te weten:
 - Amsterdam- Amstelland
 - Utrecht
 - Zaanstreek-waterland
 - Twente
 - Limburg-Zuid
 - Brabant Noord
 - Brabant Zuidoost
 - Midden en West Brabant
 - Haaglanden
 - Noord-Holland Noord
 - Groningen
- Brandweeracademie (IFV).

Ik ben bijzonder verheugd dat Brandweer Nederland, na de eerste voorzichtige praktijkexperimenten op het gebied van brand, brandverloop en brandbestrijding, weer een stap heeft gezet op het pad van verwerving van robuuste, betrouwbare kennis voor het brandweerveld. Dit onderzoek is voor Nederland uniek. Het is gebleken dat het uitvoeren van praktijkexperimenten ook een leerproces is, waar we steeds meer ervaring in krijgen. Inmiddels is de volgende fase alweer gestart in mei, en er zullen hopelijk nog vele onderzoek volgen waarin we samenwerken met buitenlandse onderzoekers, maar vooral ook de expertise die in Nederland zelf aanwezig is benutten en betrekken.

Ik wil graag de financiers van dit onderzoek bedanken voor hun steun om naar ik hoop blijvend 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 heel leerzaam, maar ook leuk proces om samen het onderzoek te ontwerpen, uit te voeren en de conclusies te trekken. Vakmanschap in verbinding met wetenschap.

Ik wens u veel leesplezier bij het lezen van dit rapport.

Ricardo Weewer
Lector Brandweerkunde

Inhoud

Colofon	2
Managementsamenvatting	3
Voorwoord	8
1 Inleiding	11
1.1 Achtergrond	11
1.2 Onderzoeksvragen	12
1.3 Afbakening	12
1.4 Betrokkenheid van het brandweerveld	13
2 Relevante literatuur	14
2.1 Inleiding	14
2.2 Het rookgaskoelend vermogen van brandweerschuur	14
2.3 Blussend vermogen	16
2.4 Overige aspecten	17
2.5 Conclusie uit literatuuronderzoek	18
3 Opzet van het praktijkonderzoek	19
3.1 Geteste blusmiddelen	19
3.2 Parameters	20
3.3 Testobject	22
3.4 Vuurlast	23
3.5 De startsituatie	25
3.6 Uitvoering van de experimenten	25
3.7 Uniformiteit van testcondities	27
3.8 Analyse van de data	28
3.9 Beperkingen van het onderzoek	29
4 Vergelijkbaarheid van de testen	30
4.1 Vergelijkbaarheid van de brandontwikkeling	30
4.2 Vergelijkbaarheid van de inzetten voor rookgaskoeling	30
4.3 Conclusie vergelijkbaarheid	35
5 Resultaten rookgaskoeling	36
5.1 Temperatuurverloop gehele rookgaskoeling	36
5.2 Temperatuurverloop afzonderlijke series rookgaskoelingen	37
5.3 Temperatuurverloop gehele container tijdens rookgaskoeling	39
5.4 Waterverbruik in relatie tot rookgaskoeling	42
5.5 Mogelijke verklaringen voor gevonden resultaten	43
5.6 Conclusies rookgaskoeling	45
6 Resultaten blussing	46
6.1 Snelheid van eerste knockdown en eerste herontsteking	46
6.2 Temperatuurverloop gehele blussing (inclusief herontstekingen)	46
6.3 Temperatuurverloop gehele container tijdens blussing	49
6.4 Waterverbruik voor blussing en effectiviteit van de systemen	52
6.5 Conclusies blussing	52

7	Overige bevindingen	54
7.1	Spontane ontbranding rookgaslaag bij schuimsystemen	54
7.2	Plakkende eigenschappen DLS	56
7.3	Ervaringen rondom warmte en herontsteking	57
8	Aanvullende testen schuimsystemen	58
8.1	DLS met klepje ten opzichte van zonder klepje	58
8.2	Firedos met 0,3% ten opzichte van Firedos 3%	60
9	Conclusies en aanbevelingen	62
9.1	Conclusies	62
9.2	Aanbevelingen	65
	Bijlagen	66
	Bijlage 1: Literatuurlijst	66
	Bijlage 2: Grafieken rookgaskoeling	67
	Bijlage 3: Grafieken blussing	71
	Bijlage 4: De werking en toepassing van brandweerschuum	79

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. Verschillende korpsen worstelen daarnaast met de vraag of het, mede gezien de kosten voor apparatuur en opleidingen, mogelijk is om dezelfde effecten te bereiken met normale schuimtechnieken (zoals Firedos (FD)) als met DLS. Sommige korpsen hebben reeds op basis van eigen onderzoek een keuze gemaakt. Er zijn korpsen die over zijn gegaan (of dat van plan zijn) op Drukluchtschuim (DLS). Soms wordt ervoor gekozen om DLS in plaats van, of in combinatie met Hoge Druk (HD) aan te schaffen.

In het brandweerveld, maar ook in de literatuur, is veel discussie over de effectiviteit en toepassingsmogelijkheden van Lage Druk (LD) blussing en Hoge Druk (HD) blussing in relatie tot de nieuwe blusmiddelen. Zo zijn er met betrekking tot DLS meningen dat dit blussysteem niet geschikt is voor rookgaskoeling, maar er zijn ook meningen dat dit juist wel kan, maar dat het van de blustechniek afhangt. Anderzijds zijn er personen die ervan overtuigd zijn dat dezelfde bluskracht en rookgaskoeling kan worden bereikt met LD of HD blussing, of dat dit met water zelfs beter gaat. Er zijn ook meningen dat voor rookgaskoeling net zo goed, of zelfs beter, LD kan worden gebruikt als HD. De beschikbare literatuur geeft geen eenduidige richting aan deze keuze. Daarnaast is er behoefte aan inzicht hoe DLS zich verhoudt tot een ander veelgebruikt schuimsysteem, namelijk Firedos.

Kortom, er zijn tegenstrijdige geluiden en vragen over de effectiviteit van DLS, FD, HD en LD met betrekking tot het vermogen om rookgassen te koelen en om te blussen.

De regio's Noord-Holland Noord en Groningen hebben de Brandweeracademie benaderd met de vraag samen om onderzoek te doen naar schuimsystemen. Hierbij gaat het zowel om het rookgas koelend vermogen als het blussend vermogen van onder andere DLS en SVM. Gaandeweg bleek deze vraag bij meerdere regio's te leven. Hierop is besloten om een serie experimenten uit te voeren, waarbij een aantal van deze systemen getest zou worden onder vergelijkbare omstandigheden.

De opzet van het onderzoek is in nauwe samenspraak met vertegenwoordigers uit het brandweerveld (i.e. de deelnemende regio's) bepaald. 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.

Als achtergrondinformatie is in bijlage 4 een beschrijving weergegeven wat schuim is en op welke principes de inzet met schuim berust.

1.2 Onderzoeksvragen

Het doel van het onderzoek is inzicht te geven in het rookgaskoelend effect en blussend vermogen van Drukluchtschuim (DLS) en schuimtoevoeging (Firedos) ten opzichte van de standaardinzet met HD en LD en ten opzichte van elkaar. De centrale onderzoeksvraag is:

Hoe verhoudt de effectiviteit³ van DLS en Firedos, als het gaat om het rookgaskoelend effect en de bluskracht bij een offensieve binneninzet, zich tot elkaar en ten opzichte van Lage druk en Hoge Druk?

De centrale onderzoeksvraag wordt beantwoord door antwoord te geven op de volgende deelvragen:

- a. *Wat is er in de literatuur bekend over de effectiviteit van schuimvoerende systemen op het gebied van rookgaskoeling en blussing ten opzichte van HD en LD?*
- b. *Wat is de effectiviteit van de schuimvormende systemen DLS en Firedos, HD en LD op het gebied van rookgaskoeling bij een offensieve binneninzet bij een woonkamerbrand?*
- c. *Wat is de effectiviteit van de schuimvormende systemen DLS en Firedos, HD en LD op het gebied van blussend vermogen bij een offensieve binneninzet bij een woonkamerbrand?*

Voor de beantwoording van onderzoeksvraag a is een literatuurstudie uitgevoerd. Voor de beantwoording van onderzoeksvragen b en c zijn experimenten uitgevoerd, die in deze rapportage worden gepresenteerd. De doelstelling van het onderzoek is om de effectiviteit van verschillende blusmiddelen vast te stellen, en daarmee kennis te ontwikkelen hoe een offensieve binneninzet onder brandstofgecontroleerde omstandigheden is.

1.3 Afbakening

Tijdens de experimenten zijn de bovengenoemde technieken onderzocht. Alle testen zijn vijf maal uitgevoerd. Tevens zijn er drie extra tests uitgevoerd, 1 met DLS met een extra klepje op de straalpijp en twee extra testen met Firedos met een lager bijmengpercentage (0,3%). De reden hiervoor vindt u verderop in het rapport. Deze testen zijn bijvangst. Waar in het rapport gesproken wordt over Firedos zonder vermelding van het bijmengpercentage, is 3% gebruikt.

In het onderzoek is uitsluitend één testomgeving met één scenario getest. Dit betekent dat de resultaten van het onderzoek uitsluitend geldig zijn voor het 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 zijn uitsluitend temperatuur(verloop) tijdens de rookgaskoeling, en tijdens het blussen gemeten. Daarnaast werd tijdsduur van de knockdownfase gemonitord alsmede het herontsteken van de brand. Met de term knockdown wordt bedoeld dat er geen zichtbare vlammen meer zijn. Ook werd het waterdebiet gemeten voor zowel de rookgaskoeling als het blussen. 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.

³ Met effectiviteit wordt hier bedoeld de mate waarin rookgassen worden gekoeld, de snelheid waarmee een knockdown wordt bereikt en herontsteking wordt voorkomen.

1.4 Betrokkenheid van het brandweerveld

Om maximaal gebruik te maken van de kennis en ervaring die in het veld aanwezig is bij de opzet, uitvoering en analyse van het onderzoek, een expertgroep gevormd. Deze expertgroep bestond uit de lector brandweerkunde, onderzoekers en experts vanuit de betrokken regio's. De expertgroep heeft het testprotocol vastgesteld, heeft mee gedacht bij de interpretatie van de resultaten en heeft het conceptrapport gereviewd.

2 Relevante literatuur

2.1 Inleiding

In de literatuur zijn een aantal publicaties gevonden die betrekking hebben op de effectiviteit van koeling en blussing met water en schuimvormende systemen. Wat opvalt in de bestudeerde rapporten is dat de omstandigheden waaronder de experimenten zijn uitgevoerd steeds verschillend zijn. Mede hierdoor, maar ook omdat de testomstandigheden vaak summier beschreven zijn, is onderlinge vergelijking erg lastig. Ook beperkt dit de mogelijkheid om de resultaten uit het voorliggende onderzoek te vergelijken met andere experimentele onderzoeken naar rookgaskoelend en blussend vermogen van schuim. Met name de toegepaste techniek is van groot belang wanneer wordt vergeleken. Een onjuiste of inefficiënte blustechniek of straalpijpvoering kan leiden tot verkeerde conclusies over de effectiviteit van de blusmiddelen ten opzichte van elkaar. Ook in Nederland zijn door een aantal korpsen eigen onderzoeken uitgevoerd naar de effectiviteit van de verschillende blusmiddelen. Veelal ontbreken daarvan onderzoeksrapporten, is het veelal niet beschreven onder welke testomstandigheden deze onderzoeken hebben plaatsgevonden en is objectieve dataregistratie (zoals temperatuurmetingen) vaak achterwege gebleven.

In dit overzicht wordt vooral ingaan op de literatuur die een wetenschappelijk karakter heeft, waarvan de testomstandigheden goed zijn beschreven. In bijlage 1 wordt alle onderzochte literatuur weergegeven. Op dit moment lopen er nog twee grote onderzoeken in het buitenland met hetzelfde doel. Van deze onderzoeken zijn nog geen resultaten vrijgegeven⁴.

Voor verschillende aspecten van brandbestrijding zijn Drukluchtschuim (DLS) en Firedos (FD) vergeleken met het gebruik van water met behulp van Hogedruk (HD) of Lagedruk (LD) blussystemen. Het gaat hierbij om het rookgaskoelend en blussend vermogen.

2.2 Het rookgaskoelend vermogen van brandweerschuur

Rookgaskoeling met DLS 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.

In praktijktesten in Zweden (Folkesson en Millbourn, 2008; Lyckeback en Öhrn, 2012;) lijkt rookgaskoeling met DLS minder effectief te zijn dan rookgaskoeling met water (WAB, 2013). Bij een ander onderzoek (Zhang, 2011), waarbij de onderzoekers claimen een positief effect van DLS op rookgaskoeling te hebben gevonden, lijkt de gekozen inzetstrategie primair gericht op blussing in plaats van rookgaskoeling. Dit wordt tevens bevestigd in een onderzoek naar zowel het rookgaskoelend als blussend vermogen van DLS bij de offensieve buiteninzet (Dikkenberg & Groenewegen, 2012).

De vier bovengenoemde experimenten naar rookgaskoelend vermogen van schuim worden hieronder kort toegelicht.

De Universiteit van Lund (Folkesson & Milbourn, 2008) heeft in 2008 met een praktijkonderzoek de rookgas koelende werking van zes verschillende blussystemen

⁴ Capabilities and limitations of compressed air foam systems (CAFS) for structural fire fighting (VS, The Fire Protection research Agency) en PROMESIS onderzoek in Frankrijk uitgevoerd door GIMAEX en CEA.

onderzocht, te weten 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-schuim⁵. In het onderzoeksrapport staat niet beschrijven 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 expe One Seven® experimenten uitgevoerd. In de eerste serie experimenten zijn de systemen getest in een niet-brandbare testomgeving. In totaal zijn 10 testen uitgevoerd met 0,3% One Seven® C1-100 T A-schuim en met 0,3% One Seven® C1-200 BR A-schuim, waarvan 7 testen met nat schuim en 3 testen met droog schuim. 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 (Hogedruk) 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 van de twee systemen. Elk systeem is één maal getest. 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 volgens Lyckeback en Öhrn. Omdat bij een offensieve binneninzet rookgaskoeling een essentieel onderdeel is van de procedure, lijkt DLS daarvoor minder geschikt dan water.

In tegenstelling tot de Zweedse onderzoeken stelt Zhang (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 ltr/min en een luchttoevoer van 1400 ltr/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

⁵ 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 ltr/min wordt 320 ltr 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. Het systeem 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.

met rookgaskoeling. De brandweerlieden betraden daarbij de brandruimte en 'attacked the fire'. Hoewel de titel⁶ 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.

In het vergelijkend onderzoek naar rookgaskoelend en blussend vermogen van diverse technieken voor de offensieve buiteninzet (Dikkenberg en Groenewegen, 2012) concluderen de onderzoekers dat de buiteninzet met DLS is niet erg effectief voor het omlaag brengen van de temperatuur van de rookgaslaag.

2.3 Blussend vermogen

Er zijn een aantal onderzoeken uitgevoerd naar het blussend vermogen van schuimsystemen.

Crampton en Kim (Crampton & Kim, 2009) vergeleken de bluswerking van Drukluchtschuim, regulier schuim en water. Zij voerden blusexperimenten uit in een testruimte van 38 m² 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 bewerkstelligde, en dat toevoegen van een schuimvormend middel aan water effectiever blust dan water alleen.

Zoals in paragraaf 2.1 beschreven, hebben Lyckeback en Öhrn, (Lund University, 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% DLS⁷ viermaal sneller een temperatuur van 200°C gecreëerd kan worden (aangeduid als knockdown) ten opzichte van water⁸.

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,

⁶ Assessment of gas cooling capabilities of Compressed Air Foam Systems in fuel- and ventilation controlled compartment fires

⁷ 0,341m³/min water en 189 ltr/sec lucht

⁸ 0,341m³/min 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.

2.4 Overige aspecten

Verbruik water

De verdamping van DLS gaat even snel als water, zo stelt Cnossen in zijn onderzoek⁹ naar een brand in Harlingen (Cnossen, 2012, in: WAB, 2013). Bij efficiënt gebruik is minder water nodig, waardoor ook minder stoomvorming optreedt. Echter, diezelfde stoomvorming zorgt ook weer voor meer koeling bij brandbestrijding. Dit is dus niet per definitie positiever (Steunpunt Tunnelveiligheid, 2003, in: WAB, 2013). Verder blijkt een brand bij DLS minder snel weer op te laaien dan bij water, waardoor een blussing niet vaker hoeft te worden herhaald en dus minder water nodig is (WAB, 2013).

Pyrolyse en warmte-isolerende eigenschappen DLS

Volgens Lyckeback en Öhrn (2012, in: WAB, 2013) voorkomt DLS straling van objecten en oppervlakten beter dan water doordat het een afdekkende laag vormt en doordringt in het object zodat de verbranding stopt (Colletti, 2009 en Large, 2002, in: WAB, 2013). Hiermee wordt pyrolyse tegengegaan en vindt herontsteking minder snel plaats met DLS (Folkesson en Millbourn, 2008, in: WAB, 2013). Dit betekent dus ook dat straling náár een ander object door middel van afscherming beter werkt, wanneer dat naastliggende object wordt 'ingepakt'.

Zicht

In geen van de onderzoeken wordt het onderdeel 'zicht' behandeld (WAB, 2013). WAB (2013) stelt op basis van meerdere gesprekken met ervaringsdeskundigen in Nederland dat het zicht bij blussing beter is dan met water. Bij water, zo is de ervaring, vindt meer stoomvorming plaats waardoor het zicht wordt belemmerd.

Ergonomie

Een ergonomisch voordeel van DLS is een meer comfortabele hanteerbaarheid van de slang (WAB, 2013). Omdat deze veel lichter is dan bijvoorbeeld een HD slang, is het minder vermoeiend. Wel is het zo dat er een risico op 'knikken' van de slang is. Een ander nadeel is de verminderde zichtbaarheid van obstakels wanneer veel DLS wordt gebruikt. Dit vergroot het risico op blessures, omdat de brandweermensen niet zien waar men loopt.

Opleiding en oefening

Het systeem is volgens WAB (2013) beduidend anders dan een Hogedruk of Lage druk systeem (water). Alleen de tactiek is al verschillend ten opzichte van andere systemen. Bijvoorbeeld een andere deurprocedure en straalpijpvoering. Hier zal dan ook uitgebreid op geïnvesteerd moeten worden wat betreft opleiden en oefenen. Daarna is het oefenen net zo inspannend als andere systemen.

⁹ In het onderzoek is aandacht besteed aan de werking van One-Seven, een DLS. One-Seven is vooral ingezet om het gebouw 'in te pakken'. Daarna werd One-Seven gebruikt om belendende percelen te koelen (defensieve buitenaanval).

2.5 Conclusie uit literatuuronderzoek

Uit diverse onderzoeken is gebleken dat DLS minder goed in staat is om rookgassen te koelen dan water. Bij het enige onderzoek dat hiervan afwijkt, blijkt men in de testuitvoering geen feitelijke rookgaskoeling, maar een blussing te hebben uitgevoerd, wat tot een daling van de rookgastemperatuur leidde.

Het rookgaskoelend vermogen van DLS is niet alleen lager als het gaat om het inbrengen van het middel in de rookgaslaag, maar ook als het wordt aangebracht op wanden en plafonds. Wel leidt dit aanbrengen en afdekken van DLS tot het voorkomen van pyrolyse van brandbare materialen. Echter, dit is feitelijk geen rookgaskoeling maar uitsluitend het voorkomen van een toename van brandbare rookgassen in de ruimte. Wel blijkt dat DLS een grotere effectiviteit dan water heeft, waar het gaat om het creëren van een knockdown en het voorkomen van herontsteking.

Op basis van de resultaten van de literatuurstudie lijkt het erop dat het uitvoeren van een offensieve binneninzet met DLS weliswaar zorgt voor een snelle knockdown, maar dat dit vanwege het beperkte rookgaskoelend vermogen, en daarmee de aanwezigheid van brandbare, hete rookgassen, zeer risicovol kan zijn. Deze visie wordt onderschreven door de Werkgroep Alternatieve Blussystemen (WAB¹⁰). De gegevens uit eerder bij het projectteam bekend praktijkonderzoek geven daarentegen niet voldoende inzicht in de effectiviteit voor de toepassing van Drukluchtschuim voor rookgaskoeling op de verschillende wijzen zoals het in Nederland wordt toegepast. Bovendien is de effectiviteit rookgaskoeling van Hogedruk, Lagedruk en Firedos, op de wijze zoals bij de Nederlandse brandweerkorpsen wordt toegepast, nog nauwelijks in een experimentele setting onderzocht en op navolgbare wijze beschreven. De Brandweeracademie heeft daarom een praktijkonderzoek uitgevoerd. In de volgende hoofdstukken zijn de opzet en de resultaten van dit praktijkonderzoek beschreven.

¹⁰ Netwerk Repressie van Veiligheidsregio Noord-Holland Noord

3 Opzet van het praktijkonderzoek

Het onderzoek werd uitgevoerd als een experiment waarbij de twee gebruikelijke onderdelen van een offensieve buiteninzet zijn onderzocht, namelijk rookgaskoeling en het creëren van een knockdown. Hiervoor zijn twee schuimvormende systemen (drukluchtschuimsysteem One Seven® en hogedrukbijsmengsysteem met schuimvormend middel Firedos) en Lage Druk en Hoge Druk onderzocht. Elk systeem werd binnen een standaard scenario vijf maal getest, waarbij metingen werden verricht op basis van een aantal parameters. Het scenario was 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.

3.1 Geteste blusmiddelen

Het onderzoek werd uitgevoerd met twee schuimvormende systemen. Hierbij is in overleg met de expertgroep gekozen voor de twee in Nederland meest gebruikte systemen, namelijk One Seven® (DLS) en Firedos (HD-bijsmengsysteem). 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 binneninzet¹¹ getest. Hieronder volgt een korte omschrijving van de geteste systemen:

1. Drukluchtschuim via het One Seven® systeem¹². Drukluchtschuim (DLS) is een ingebouwd systeem op de tankautospuit, met een aparte slanghaspel en straalpijp. Bij het DLS-systeem wordt water en SVM 0,4%¹³ gemengd onder een pompdruk van circa 8 bar en een straalpijpdruk van 8 bar, waarbij via een 25 mm (inwendig) slang 133 liter per minuut aan schuim via een straalpijp de ruimte in wordt gebracht. 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 beïnvloed wordt. De worplengte bij aanvang blussing is circa 20 meter, nadat de druk zich stabiliseert circa 10 meter. In dit rapport zijn inzetten met drukluchtschuim afgekort als DLS.
2. Hogedrukbijsmengsysteem via het Firesdosysteem. Firedos is een schuimpomp die aangedreven wordt door de hogedruk pomp. Het schuim wordt geïnjecteerd na de hogedruk pomp. Er wordt regulier schuimvormend middel gebruikt. Er wordt een reguliere HD-straalpijp gebruikt, echter er wordt met een extra pijpje gewerkt. De worplengte is vergelijkbaar met HD (circa 7 meter). Firedos heeft de afdekkende werking, ook een oppervlaktespanningsverlagende werking. Het bijsmengpercentage zoals dit regulier wordt gebruikt door de regio die de testen heeft uitgevoerd, is 3%¹⁴. In dit rapport zijn inzetten met het hogedrukbijsmengsysteem afgekort als FD.

¹¹ Conform het kwadrantenmodel

¹² One Seven® inbouwsysteem E2400-PLC

¹³ Instelling testvoertuig

¹⁴ In tenminste één andere regio wordt standaard met een ander percentage (0,3%) gewerkt. Omdat er geen eenduidige afspraken bestaan over het juiste percentage, is besloten de reguliere werkwijze van de regio die

3. Water via het Hogedruksysteem. Bij het Hogedruksysteem 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 Hogedruk afgekort als HD.
4. Water via het Lagedruksysteem. Bij het Lagedruksysteem 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 Lagedruksysteem afgekort als LD.

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

Tabel 3.1 Kenmerken systemen

Blussysteem	Merk/type blusmiddel	Straalpijp	Debiet en kegelhoek	Gebruikte pompdruk	Straalpijpdruk	Bijmengpercentage
DLS	A-klasse One Seven® van One Seven of Germany	Reguliere DLS-straalpijp	133 l/min, gebonden straal ¹⁵	8 bar	7 bar	0,4%
FD	Ajax Moussel F15/FP 15	Akron Turbojet Style 1704,	115 l/min 30°	27 bar	10 bar	3%
HD	Water	Akron 1711	125 l/min 30°	25 bar	7 bar	n.v.t.
LD	Water	Akron 1720	230 l/min 30-35°	7 bar	7 bar	n.v.t.

3.2 Parameters

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

Temperatuur

De parameters met betrekking tot temperatuur waren:

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

meewerkt aan de test aan te houden, dus 3%. Aanvullend is ook een extra test gehouden met een bijmengpercentage van 0,3%, zie paragraaf 8.2.

¹⁵ Bij de DLS-straalpijp is het niet mogelijk een kegelhoek in te stellen, de straalpijp produceert een volstraalbundel.

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 3.1). 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.



Afbeelding 3.1: 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:

- Tijdens de rookgaskoeling: snelheid van temperatuurdaling per shot (graden/sec) en duur van het effect van de koeling
- Tijdens de blussing: moment waarop de knockdown(s) plaatsvond(en) en moment van herontsteking.

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

Water- en schuimverbruik

De parameters met betrekking tot waterverbruik waren:

- Tijdens de rookgaskoeling: hoeveelheid verbruikt water per serie rookgaskoelingen.
- Tijdens de blussing: hoeveelheid verbruikt water per (poging tot het creëren van een) knockdown.

Het waterverbruik werd gemeten met behulp van een watermeter.¹⁶ De waterstanden werden genoteerd voorafgaand aan de test, na de eerste serie rookgaskoelingen, na de tweede serie rookgaskoelingen en na iedere knockdown. De hoeveelheid gebruikt schuim is op basis van bijmengpercentages berekend.

Visueel beeld

De parameters met betrekking tot het visueel beeld waren:

- Tijdens de rookgaskoeling: eventuele bijzonderheden
- Tijdens de blussing: het creëren van een knockdown en 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.

Overige parameters

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

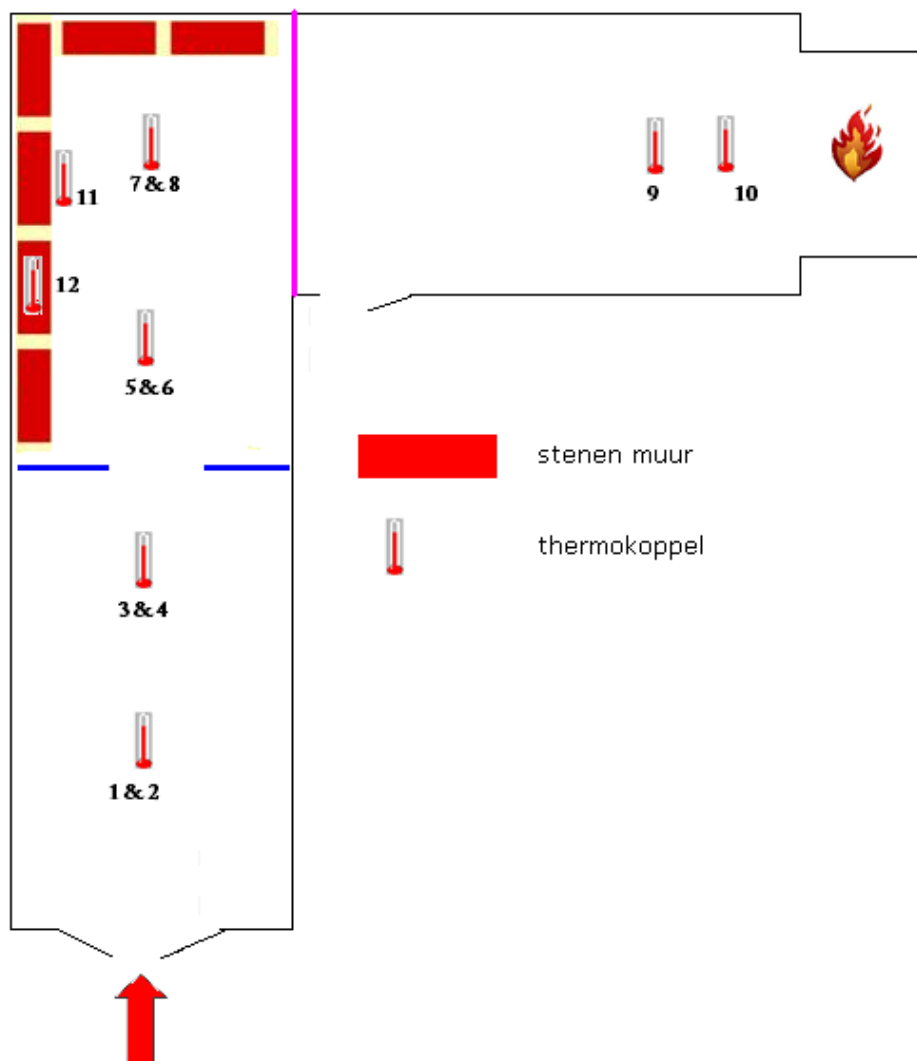
- Starttemperatuur in en op de muur
- Maximale temperatuur tussen aansteken en start van de test.

3.3 Testobject

De testen zijn uitgevoerd op oefencentrum Troned. Het 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. Het in de afbeelding horizontale deel van de container is 2,30 m breed, het verticale deel 1,70 m breed. De hoogte is overal 2,25. Het brandgedeelte is 2,00m breed en net zo diep en hoog.

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 3.1.

¹⁶ Bij HD, LD en DLS ging het water vanuit de hydrant via de watermeter buiten de tank om. Bij FD was dit niet mogelijk vanwege de constructie van het pompsysteem. Het waterverbruik werd hierbij met behulp van markeringen op de peilstok aangegeven. Na afloop werd de tank met behulp van de watermeter tot aan deze markeringen gevuld.



Figuur 3.1. 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.

3.4 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 schuimmatras¹⁷ (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 het schuimmatras was weer bedoeld om een zo realistisch mogelijke situatie te scheppen.

¹⁷ 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.

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 3.2.



Afbeelding 3.2: 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 aanmaakvloeistof werd over de onderste vier pallets gesprend. Vervolgens werden de aansteekstroken aangestoken en onder de pallets geschoven.

3.5 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 moment¹⁸ 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 was¹⁹ 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.

3.6 Uitvoering van de experimenten

Met ieder systeem werd vijf maal een gecombineerd experiment van een rookgaskoelingsexperiment en een blusexperiment uitgevoerd.

De rookgaskoelingsprocedure 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 opstellijijn (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.

Na de rookgaskoeling stelden de deelnemers zich op ter hoogte van de korte zijde van de container (de roze lijn uit figuur 1) richting de vuurhaard. Na 20 seconden na het einde van de rookgaskoeling kreeg de ploeg het commando blussen. De blussing is uitgevoerd conform de technieken beschreven in tabel 3.2. Zodra door de waarnemer binnen visueel was vastgesteld dat er een knockdown was bereikt (geen zichtbare vlammen meer) werd direct gestopt met de blussing²⁰. Vervolgens werd gemonitord hoe lang het duurde voordat het vuur weer herontstak. Als het vuur weer herontstak werd nog 10 seconden gewacht en werd opnieuw geblust totdat er weer een knockdown werd bereikt. Dit werd enkele malen herhaald, tot het sein 'einde test' werd gegeven.

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 inzet met DLS is uitgevoerd door brandweermensen die ruime ervaring hebben met de inzet van DLS en recent een presentatie van een Zweedse instructeur hebben bijgewoond. De inzetmethode is met een aantal brandweerregio's die DLS gebruiken bepaald. Hierbij is gebleken dat er grote verschillen zijn in de visie op het juiste gebruik van DLS voor rookgaskoeling. In feite komt het erop neer dat er twee verschillende visies zijn: rookgaskoeling met DLS op de reguliere wijze zoals HD (korte pulsen in de rookgaslaag) of het inschuimen van wanden en plafonds met DLS.

Gezien de opzet waarbij de wanden en plafond niet kunnen pyrolyseren (stalen plafond, en muren van staal en steen) is er voor gekozen om de gebruikelijke methode van de HD-binneninzet toe te passen op DLS. Wel is vanwege de grote kracht en worplengte besloten om DLS bij de eerste serie rookgaskoelingen vanaf 7 meter van de deuropening in te zetten.

¹⁸ Op basis van verandering van de kleur van de vlammen van geel naar rood, boven in de vuurhaard een mengsel van vlammen en roet.

¹⁹ Aan de hand van een markering op 110 cm vanaf de grond, op de wand van de container.

²⁰ In tegenstelling tot de gangbare procedure in de praktijk

Het Firedossysteem is toegepast door brandweermensen met een recente scholing door de leverancier.

De gedetailleerde uitvoering van de rookgaskoeling en blussing is in tabel 3.2 weergegeven.

Tabel 3.2 Uitvoering rookgaskoeling en blussing per systeem

Systeem	Uitvoering rookgaskoeling	Uitvoering blussing
DLS	Bij DLS is de rookgaskoeling ²¹ uitgevoerd door in de ruimte de shots te geven met een gebonden straal, gericht in de rookgaslaag ²² . Vanwege de kracht en worplengte van DLS is besloten om de eerste set rookgaskoelingen bij de buitendeur op 7 meter afstand van de opening te doen, zodat de blusstof in het voorste deel van de container in de rookgaslaag terechtkomt. Voorafgaand aan de rookgaskoeling werd de slang buiten doorgespoeld.	Bij DLS is de blussing ²³ uitgevoerd door met een draaiende beweging de omgeving van de vuurhaard, en uiteindelijk de vuurhaard zelf in te schuimen.
FD	Voor de aanvang van de rookgaskoeling wordt eerst buiten de slang doorgespoeld om zo een directe schuimaanval te kunnen starten. De rookgaskoeling met Firedos is vervolgens uitgevoerd zoals een reguliere HD-binneninzet, waarbij korte shots worden gegeven met de straalpijp in een kegelhoek van 30 graden, en een hellingshoek van 65 graden richting de rookgaslaag.	Bij Firedos is voorafgaand aan de blussing een hulpstuk op de straalpijp gezet, welke bedoeld is voor de blussing. Bij de blussing worden muur en plafond met schuim bekleed. De straalpijp maakt daarbij een cirkelvormige beweging. Daarna wordt de brandhaard via directe blussing gedoofd.
HD	De rookgaskoeling met HogeDruk 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 straal in een kegelhoek van 35 graden onder een hoek van 45 graden in een vloeiende beweging naar beneden gebracht. Zodra de brandhaard geraakt werd, werd overgeschakeld naar een gebonden straal.
LD	De rookgaskoeling met LageDruk 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 straal in een kegelhoek van 35 graden onder een hoek van 45 graden in een vloeiende beweging naar beneden gebracht. Zodra de brandhaard geraakt werd, werd overgeschakeld naar een gebonden straal.

²¹ Hierbij is rekening gehouden met de inzetprocedures zoals gangbaar in de regio's Den Haag, Rotterdam-Rijnmond district haven en Zaanstad.

²² Bij een pyroliserende omgeving zou het ook mogelijk zijn om wanden en plafonds in te schuimen, maar aangezien de wanden niet pyroliseerden, had het geen zin om deze inzettechniek te kiezen. Daarom is in overleg hiertoe door de betreffende regio's besloten.

²³ Hierbij is rekening gehouden met de inzetprocedures zoals gangbaar in de regio's Den Haag, Rotterdam-Rijnmond district haven en Zaanstad. Echter, in de praktijk zou men na het bereiken van de knockdown nog doorgaan met afblussen.

Het opzetstuk en de inzetwijze van DLS zijn weergegeven in onderstaande afbeeldingen.



Afbeelding 3.3. Opzetstuk Firedos



Afbeelding 3.4. Inzet DLS

3.7 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 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 te creëren.

Er waren twee aspecten die niet geheel uniform waren tussen de testen. Ten eerste waren de meteorologische omstandigheden tijdens de testweek 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 Troned²⁴ 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 3.3. 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.

²⁴ Vliegveld Twenthe

Tabel 3.3 Meetgegevens KNMI-station Twenthe (290)

Da- tum	Wind- richting (graden)	Wind- snelheid ²⁵ (m/s)	Tempera- tuur ²⁶ (°C)	Neerslag ²⁷ (mm)	Duur neer- slag (uren)	Relatieve vochtighei d ²⁸ (%)	Gemiddelde luchtdruk (hPa)
28 jan	ZZW (200°)	5.4	3.8	3.6	3.6	91	1008.7
29 jan	ZW (222°)	5.8	10.2	5.7	9.2	93	1004.7
30 jan	WZW (238°)	7.8	9.9	7.8	4.6	84	1004.1
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

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 4.1) 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.

3.8 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 en blussing 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 reproduceerbaarheid²⁹ 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%.

²⁵ Etmaalgemiddelde

²⁶ Etmaalgemiddelde

²⁷ Etmaalsom

²⁸ Etmaalgemiddelde

²⁹ 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. Zie hiervoor hoofdstuk 4.

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 zijn de rookgaskoeling en de blussing geanalyseerd. Hierbij is zowel gekeken naar de twee afzonderlijke series rookgaskoelingen als naar het totale temperatuurverloop. Voor de blussing is het temperatuurverloop, de tijdsduur tot knockdown en de herontsteking geanalyseerd. De resultaten van deze analyses zijn opgenomen in de hoofdstukken 5 en 6.

Zoals in de inleiding beschreven, zijn als bijvangst nog enkele extra testen uitgevoerd, met een ander bijmengpercentage voor het FD-systeem (0,3% in plaats van 3%) en een test met een klepje op de DLS-straalpijp ten behoeve van rookgaskoeling. Hoewel dit bijvangst betreft, zijn de resultaten hiervan geanalyseerd en weergegeven in hoofdstuk 8.

3.9 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. Om het rookgaskoelend vermogen van een blussysteem te meten is de gekozen testomgeving echter representatief. Dat wil niet zeggen dat het systeem indien gebruik wordt gemaakt van een andere inzetmethode bij de binnenaanval of 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 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 3.6 beschreven methode van rookgaskoeling en blussing. De resultaten zijn daarom alleen en uitsluitend geldig voor de in dit onderzoek beschreven wijze van inzetten. Andere toepassingstechnieken (bijv. wanden en plafond inschuimen met langere pulsen) 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.

4 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.

4.1 Vergelijkbaarheid van de brandontwikkeling

In onderstaande tabellen zijn de starttemperaturen, de maximale temperatuur en de gemiddelde tijdsduur van de opwarmfase weergegeven.

Tabel 4.1 Starttemperatuur (°C), per blussysteem

Blussysteem	Gemiddelde starttemperatuur	Minimum Starttemperatuur	Maximum starttemperatuur
Drukluchtschuim	512	496	522
Firedos (3%)	508	499	525
Lagedruk	504	491	518
Hogedruk	504	493	530
Firedos (0,3%)	507	506	508

Tabel 4.2 Temperatuur (°C) en tijdsduur (sec) opstartfase, per blussysteem

Blussysteem	Gemiddelde maximale temperatuur opstartfase	Gemiddelde tijdsduur opwarmfase in seconden
Drukluchtschuim	524	550
Firedos (3%)	522	536
Lagedruk	521	533
Hogedruk	521	553
Firedos (0,3%)	523	499

Uit een statistische analyse blijkt dat de starttemperaturen niet significant verschillen ($F=0.435$; $p=0.781$), evenals de maximale temperatuur ($F=0.059$; $p=0.993$) en de tijdsduur van de opwarmfase ($F=0.054$; $p=0.994$). Uit het bovenstaande blijkt dat de brandontwikkeling voorafgaande aan de inzet vrijwel identiek was.

4.2 Vergelijkbaarheid van de inzetten voor rookgaskoeling

Ieder systeem is vijf maal getest. Tijdens de uitvoering is gebleken dat de eerste twee testen met Firedos niet met een correcte straalpijptechniek zijn uitgevoerd. Daarop is besloten deze testen niet mee te nemen, en een andere straalpijpvoerder de testen opnieuw te laten uitvoeren (deze testen zijn FD3 t/m 7 genoemd). Vervolgens is gekeken in hoeverre de resultaten van deze vijf testen binnen één systeem met elkaar overeenkomen. Zie hiervoor ook de figuren 4.1 t/m 4.4.

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.

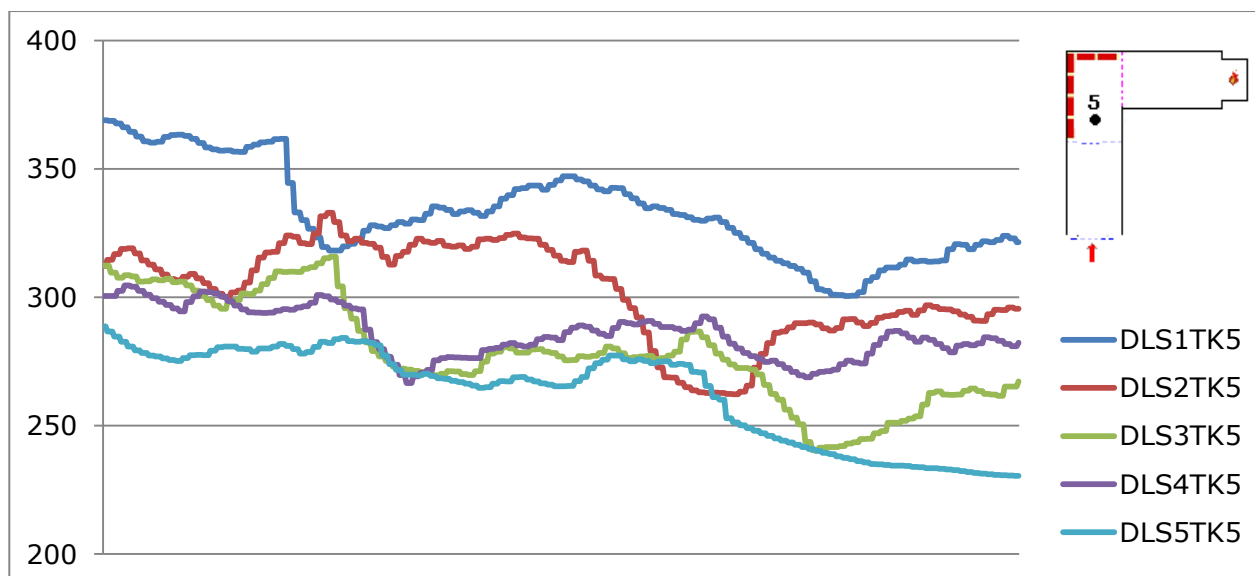
Analyse van variaties in meetwaarden per blussysteem

In de onderstaande figuren is het temperatuurverloop tijdens de uitgevoerde testen voor elk van de onderzochte blussystemen weergegeven. In de grafieken zijn op

hoofdpijnen 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:

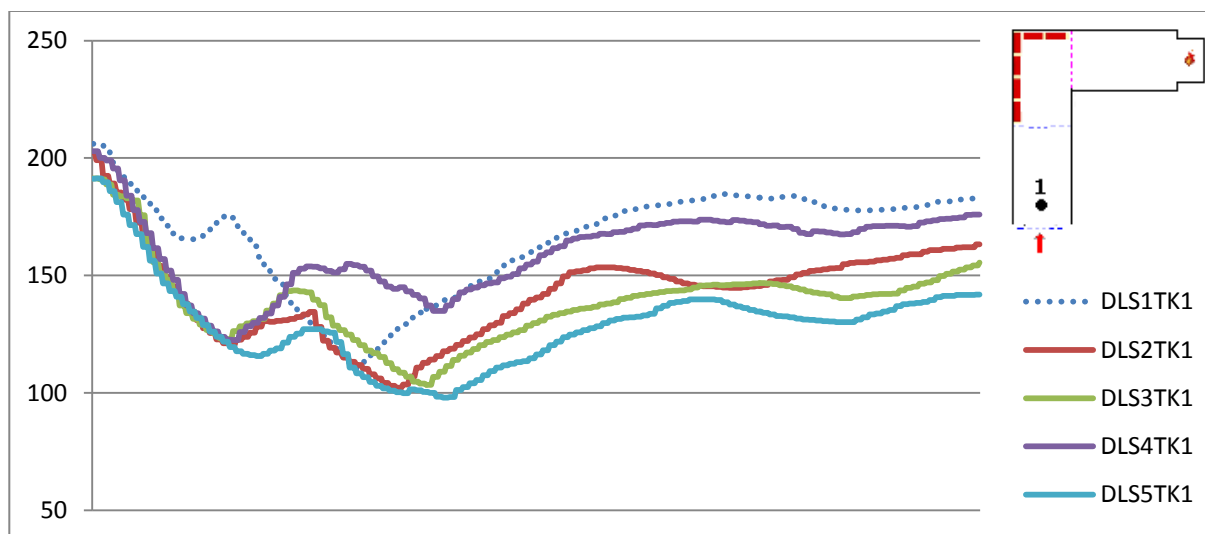
- De variatie op de horizontale as is zichtbaar als moment dat de temperatuur daalt of stijgt. Deze variatie is voor de vergelijkbaarheid niet relevant: deze variaties komen doordat de interventies (serie met shots) bij elke test niet exact op hetzelfde moment zijn uitgevoerd.
- De variatie op de verticale 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. Bij de vier systemen is de range (ΔT) maximaal 31°C.

Figuur 4.1 Vergelijkbaarheid 5 testen DLS, rookgaskoeling, thermokoppel 5



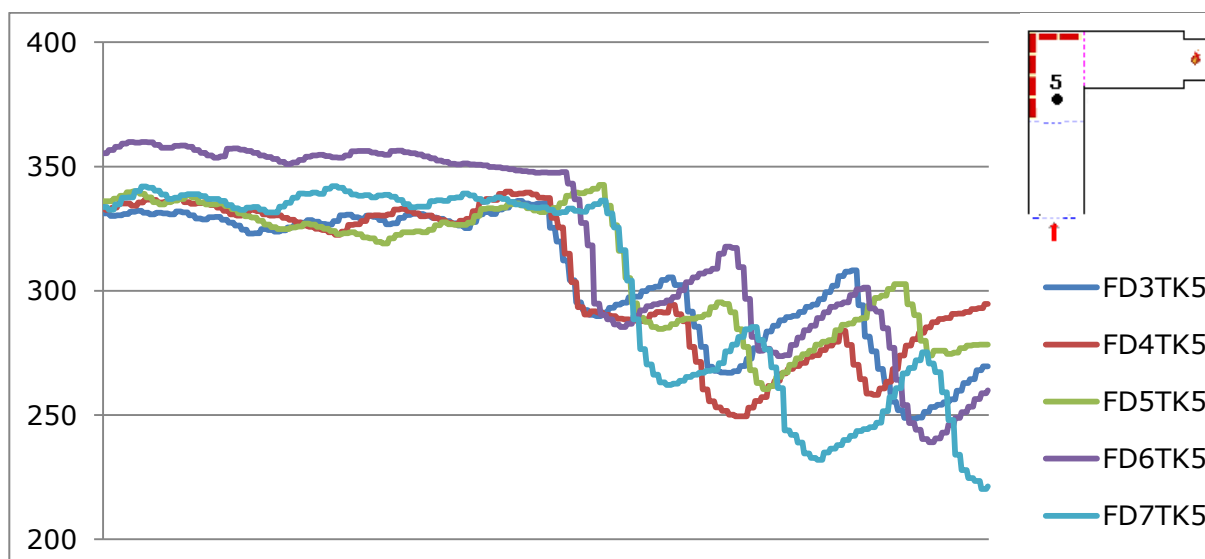
In figuur 4.1 is een sterke variatie in het temperatuurverloop tussen de vijf testen zichtbaar. Bovendien is het verloop in alle testen vanaf het begin vrij grillig. De testen DLS1 en DLS2 wijken het sterkst af van de andere drie testen. Bij navraag bij het inzetteam is gemeld dat bij de eerste serie rookgaskoelingen in de eerste test een deel van het schuim *naast* de container terecht kwam. Uit analyse van de eerste rookgaskoeling blijkt er inderdaad sprake van een afwijking op thermokoppel 1 van test DLS-1. Zie figuur 4.2.

Figuur 4.2 Vergelijkbaarheid testen DLS, rookgaskoeling, thermokoppel 1



Op grond hiervan is besloten om de eerste DLS-test (DLS1) niet mee te nemen in de analyse. Voor afwijking in DLS2 is geen verklaring aangezien er door het inzetteam geen bijzonderheden in de uitvoering van de test is gemeld.

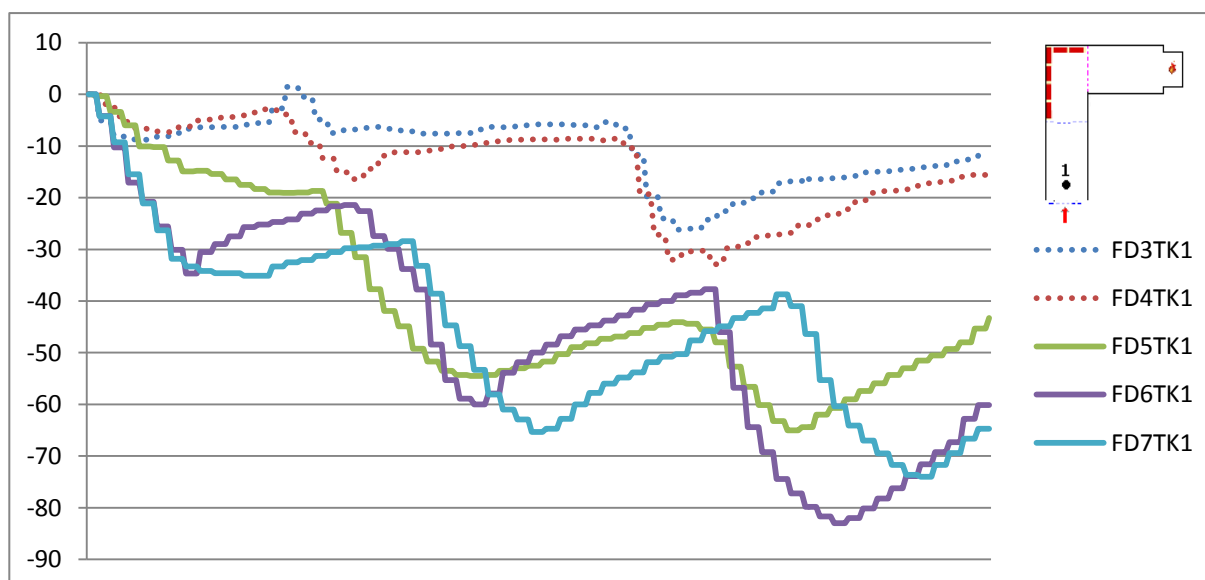
Figuur 4.3 Vergelijkbaarheid testen FD (3%), rookgaskoeling, thermokoppel 5



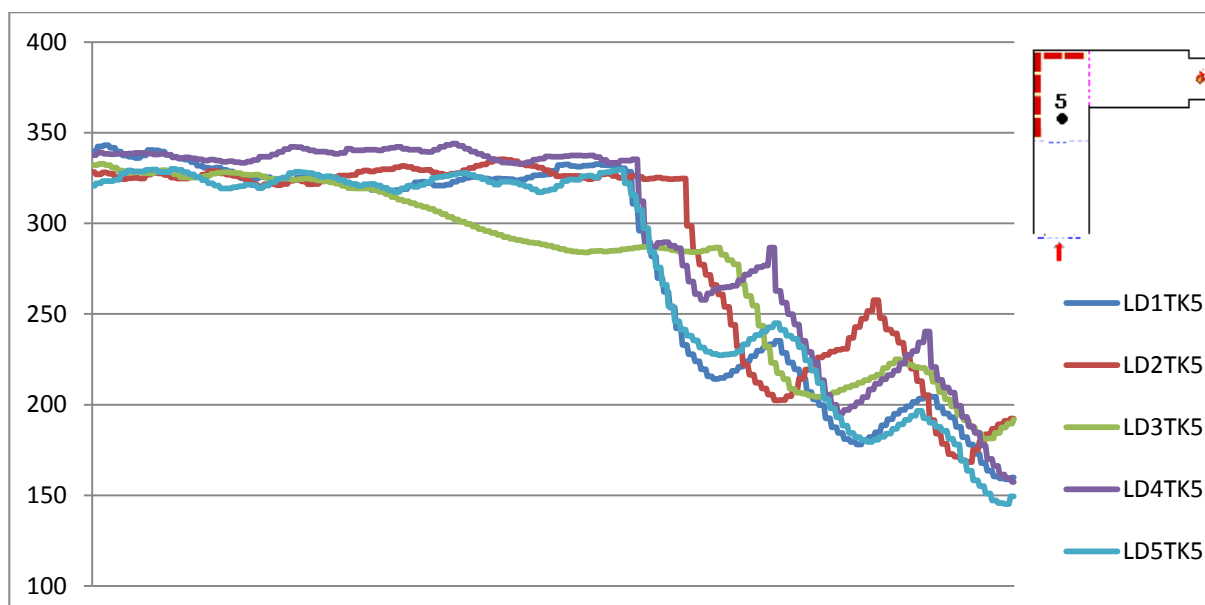
In figuur 4.3 zijn de testen met Firedos weergegeven. Hoewel test FD6 wat betreft begintemperatuur iets afwijkt van de overige testen, volgt het wel hetzelfde patroon als de overige testen. Het patroon bestaat uit een minimale temperatuurschommeling in de eerste serie interventies (shots 1-3) en een temperatuurdaling na elk shot in de tweede serie interventies. De hellingshoek van de temperatuurdalingen komen in grote mate met elkaar overeen tussen de afzonderlijke testen. Ook de daaropvolgende temperatuurstijging vertoont een vergelijkbare hellingshoek.

Het inzetteam heeft gemeld dat de slang bij de eerste twee geldige FD-testen (test 3 en 4) vooraf onvoldoende was doorgespoeld, waardoor er een substantie uit de straalpijp kwam die niet representatief was voor normaal Firedos-schuim. Het effect van deze substantie op de rookgaskoeling is in figuur 3.4 zichtbaar. Om de vergelijkbaarheid te verbeteren zijn de meetwaarden per test gecorrigeerd op de starttemperatuur.

Figuur 4.4 Vergelijkbaarheid testen FD (3%), rookgaskoelseries 1-3, thermokoppel 1

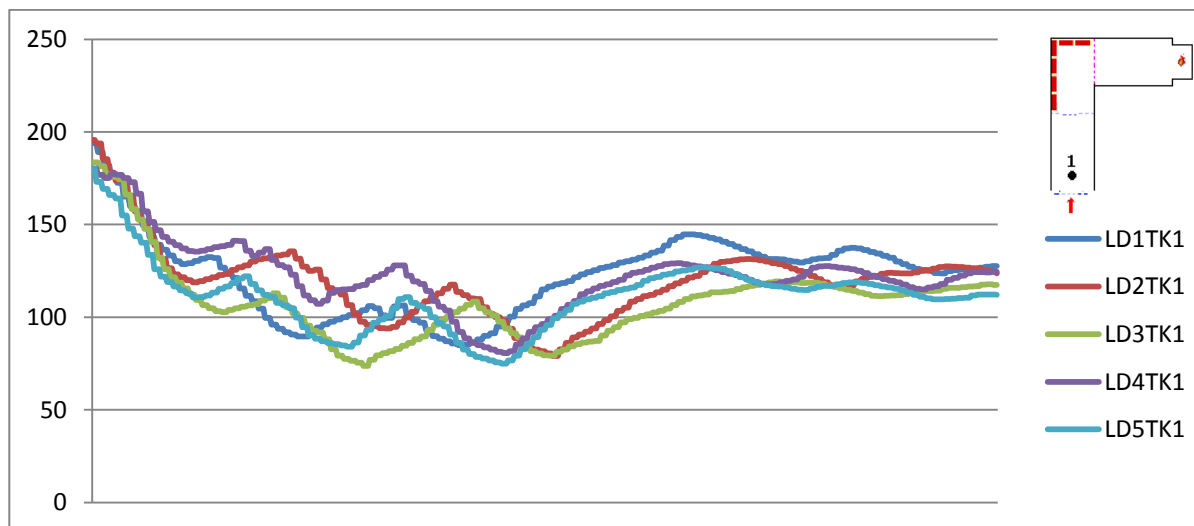


Figuur 4.5 Vergelijkbaarheid 5 testen LD, rookgaskoeling, thermokoppel 5

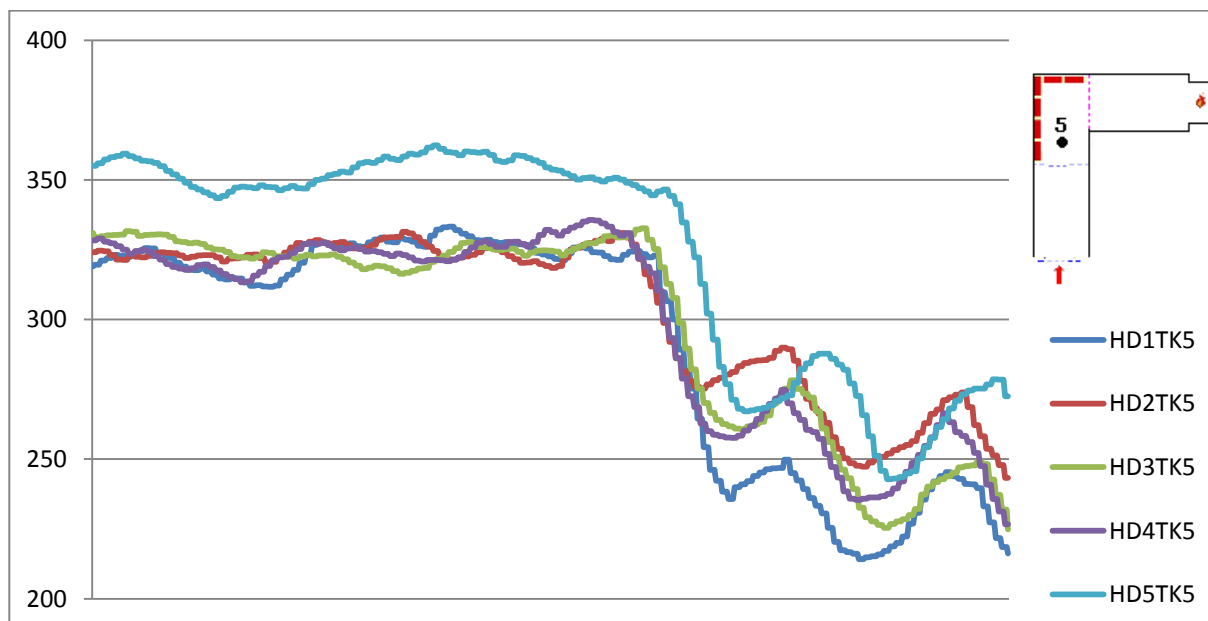


In figuur 4.5 zijn de testen met lage druk weergegeven. Test LD3 laat in de eerste serie interventies een afwijkende temperatuurdaling zien, maar volgt verder het patroon van de overige testen. Voor de volledigheid zijn, net als bij de testen met DLS en FD, ook voor LD de meetwaarden in thermokoppel 1 met elkaar vergeleken. Deze zijn weergegeven in figuur 4.6. Hieruit zijn geen bijzonderheden af te lezen.

Figuur 4.6 Vergelijkbaarheid 5 testen LD, rookgaskoeling, thermokoppel 1

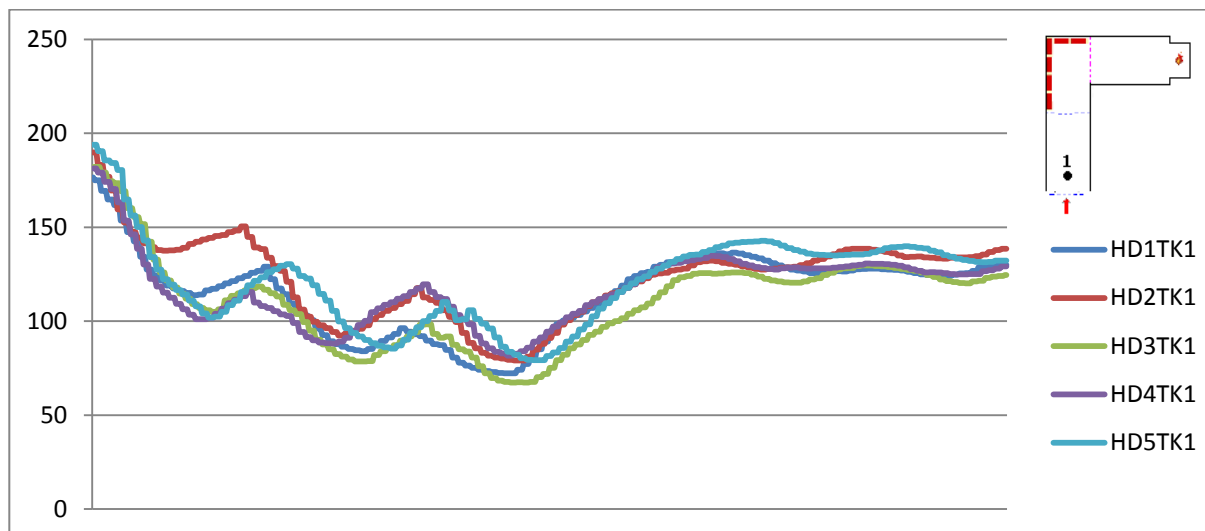


Figuur 4.7 Vergelijkbaarheid 5 testen HD, rookgaskoeling, thermokoppel 5



In figuur 4.7 zijn de testen met hoge druk weergegeven. Hierin is te zien dat test HD5 een hogere starttemperatuur heeft, maar dat het verdere verloop vergelijkbaar is met de overige vier testen.

Figuur 4.8 Vergelijkbaarheid 5 testen HD, rookgaskoeling, thermokoppel 1



In figuur 4.8 zijn meetwaarden in thermokoppel 1 weergegeven. Daaruit zijn geen bijzonderheden af te lezen.

4.3 Conclusie vergelijkbaarheid

Uit de bovenstaande figuren blijkt dat er met name bij DLS sprake is van een grotere variatie in het temperatuurverloop tussen de testen en bovendien is sprake van een grillig temperatuurverloop in thermokoppel 5 gedurende de eerste serie interventies. Dit grillige verloop is bij de andere geteste systemen niet waargenomen. Een mogelijke verklaring voor het grillige verloop en de variatie is dat de worplengte en kracht van het DLS-systeem dusdanig zijn, dat bij de rookgaskoeling het schuim tegen de muur of het dak spat. De locatie waar de muur of het dak geraakt wordt, bepaalt waar het schuim naartoe verplaatst wordt, en heeft daarmee een telkens wisselende invloed op de resultaten. Verder zou het grillige temperatuurverloop veroorzaakt kunnen zijn doordat vanwege de kracht van het systeem koude omgevingslucht met de schuimstraal de container is ingebracht. Deze ingebrachte koude lucht kan wervelingen bij thermokoppel 5 veroorzaakt hebben aangezien daar in de eerste serie interventies temperatuurschommelingen gemeten zijn. Uiteindelijk is besloten om alle DLS-testen met uitzondering van test DLS1 mee te nemen in de analyse. De variatie is vermoedelijk een direct gevolg van het gebruik van dit DLS-systeem onder de vastgestelde testcondities.

Bij de FD testen is te zien dat de resultaten in twee testen sterk afwijken van de overige drie testen. Bij de eerste twee geldige FD-testen (test 3 en 4) bleek dat de slang vooraf onvoldoende was doorgespoeld, waardoor er een substantie uit de straalpijp kwam die niet representatief was voor normaal Firedos-schuim. Daarop is, in overleg met Firedos experts, besloten test 3 en 4 niet mee te nemen in de analyse van de rookgaskoelingen. Omdat de slang als gevolg van de series *rookgaskoelingen* later in de inzet is doorgespoeld, is de *blussing* van test 3 en 4 wel meegenomen in analyse. Hierop is ook geen afwijking te zien ten opzichte van de andere drie testen met Firedos.

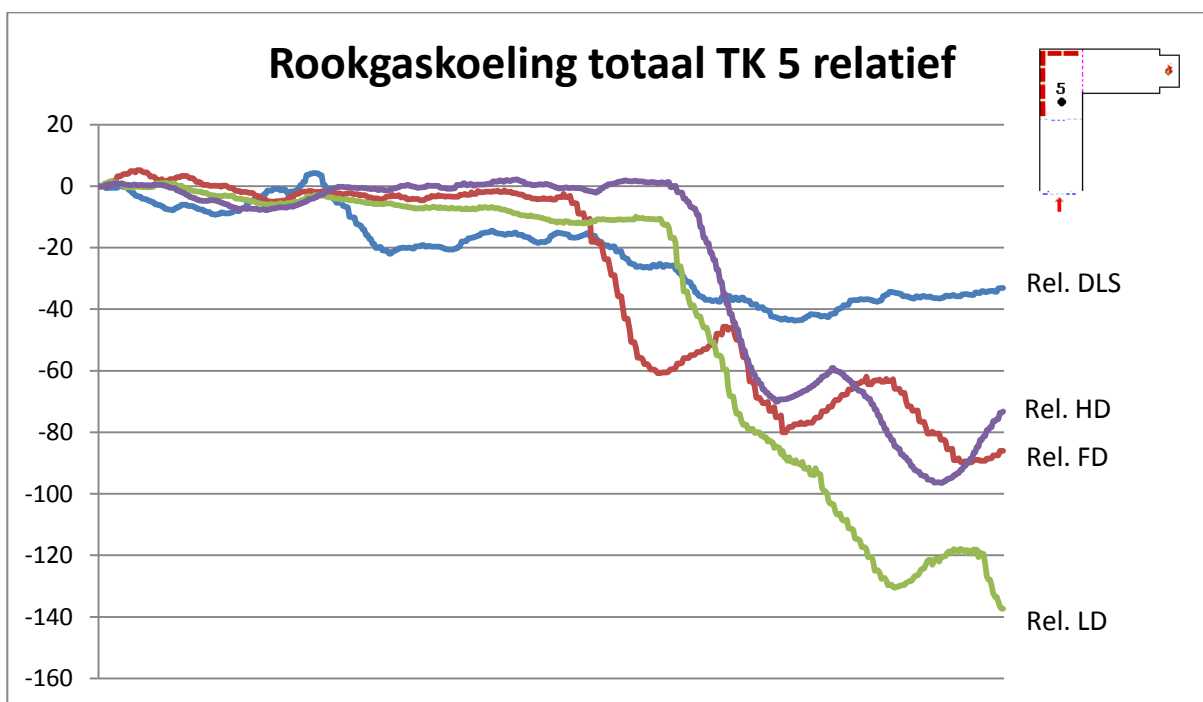
5 Resultaten rookgaskoeling

Ieder systeem is getest op 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 $t=50$). Vervolgens is op diverse thermokoppels het temperatuurverloop gemeten. Daarbij moet worden opgemerkt dat, in verband met de kracht en de worplengte van DLS, de inzet met DLS voor de eerste serie rookgaskoelingen gestart is op een afstand van 7 meter van de container.

5.1 Temperatuurverloop gehele rookgaskoeling

In figuur 5.1 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 rookgas temperatuur gemeten wordt.

Figuur 5.1 Temperatuurverloop rookgaskoeling, gemiddelde relatieve waarden per systeem, thermokoppel 5



Uit bovenstaande figuur blijkt dat binnen dit scenario op thermokoppel 5 Lagedruk de grootste daling van de rookgaslaagtemperatuur veroorzaakt ($\Delta T_{LD} = 138^\circ\text{C}$)³⁰. DLS

³⁰ Trendlijnen:
DLS: $y = -0,0792x + 0,493$; $R^2 = 0,8441$
HD: $y = -0,1749x + 23,855$; $R^2 = 0,6737$
FD: $y = -0,1923x + 22,465$; $R^2 = 0,849$
LD: $y = -0,2716x + 34,76$; $R^2 = 0,7861$

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.

veroorzaakt in het eerste deel van de inzet (de inzet buiten) ten opzichte van de andere systemen een beperkte daling van de rookgaslaagtemperatuur verderop in de container, van circa 20 °C. Daarna zet de rookgastemperatuur bij DLS in nagenoeg dezelfde lijn door ($\Delta T_{DLS}=41\text{ °C}$), terwijl bij de andere systemen, met name van de tweede set rookgaskoelingen, veel sterker daalt.

De rookgastemperatuur bij Firedos en Hogedruk is aan het einde van de set rookgaskoelingen vergelijkbaar ($\Delta T_{FD}=86\text{ °C}$; $\Delta T_{HD}=73\text{ °C}$). Zie ook tabel 5.1.

Tabel 5.1 Totale daling rookgastemperatuur van de gemiddelde waarden per systeem, thermokoppel 5

Systeem	Gemiddelde starttemperatuur (°C)	Gemiddelde eindtemperatuur op t=55 (°C)	Daling rookgas-temperatuur (°C)
Drukluchtschuim	303	262	41
Firedos (3%)	342	256	86
Lagedruk	332	194	138
Hogedruk	331	258	73

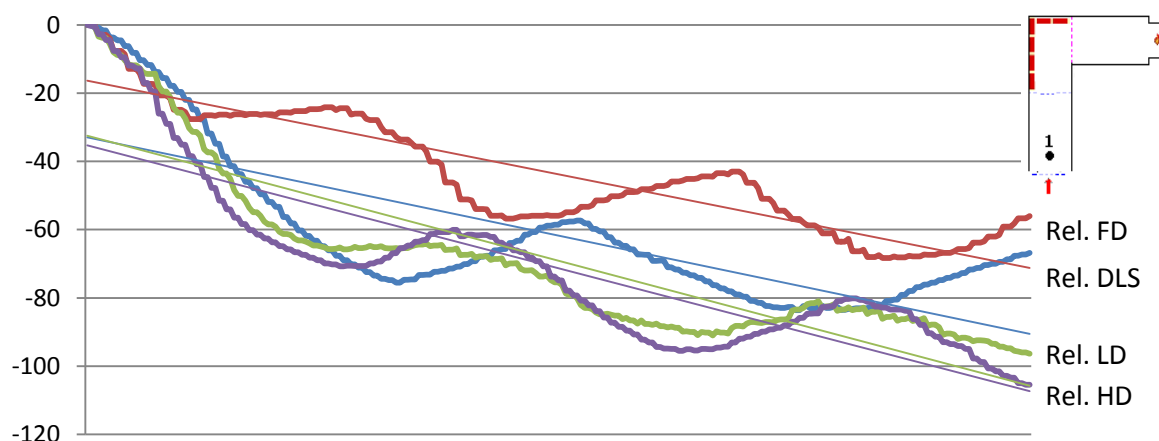
Omdat tijdens de rookgas koeling de vuurhaard niet rechtstreeks wordt geraakt, is er sprake van een continue stroom hete rookgassen.

Het koelend effect van met name Lagedruk zet door, ook als in de tussenliggende tijd geen pulsen gegeven worden en er nieuwe hete rookgassen worden aangevoerd. Dit geldt in mindere mate voor Firedos en Hogedruk, en nauwelijks voor DLS.

5.2 Temperatuurverloop afzonderlijke series rookgaskoelingen

Omdat het lijkt alsof DLS in de eerste serie wel een beperkte daling van de rookgastemperatuur veroorzaakt, en in de tweede serie rookgaskoeling minder, is een nadere analyse uitgevoerd. Hierbij is gekeken naar de temperatuurafname op thermokoppel 1 tijdens de eerste serie van de rookgaskoelingen (1-3), en op thermokoppel 5 voor de tweede serie rookgaskoelingen (4-6). In figuur 5.2 is het temperatuurverloop vanaf de start van de rookgaskoeling weergegeven.

Figuur 5.2 Temperatuurverloop rookgaskoeling serie 1 (shots 1-3), gemiddelde relatieve waarden per systeem, thermokoppel 1



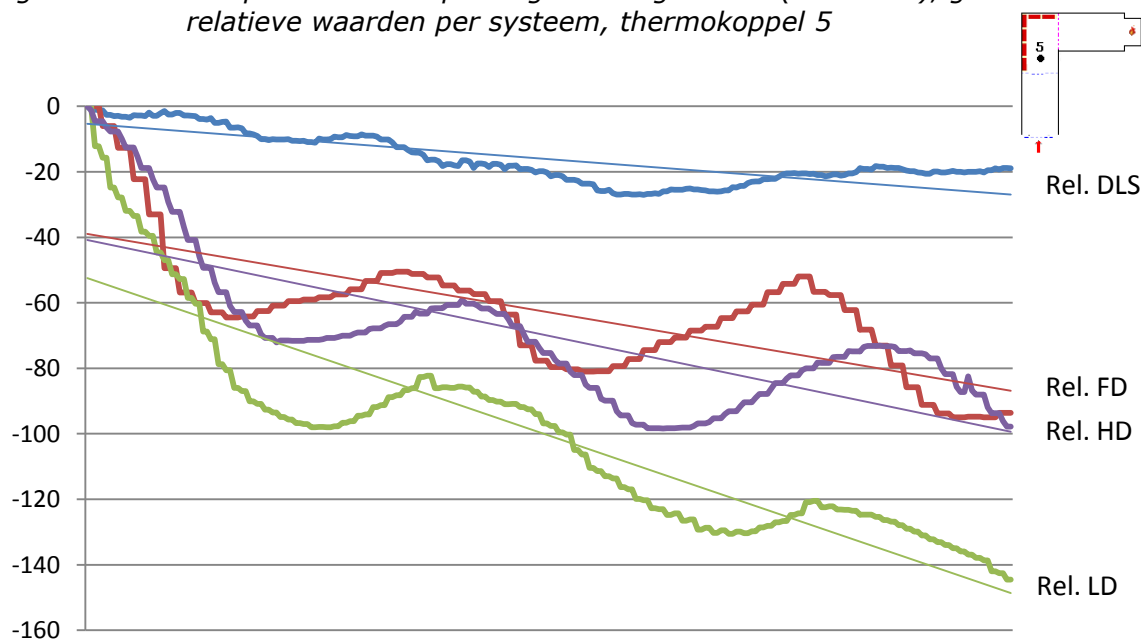
Uit de bovenstaande figuur blijkt dat op de eerste serie rookgaskoeling, HD en LD het beste scores (-0,29t). De trendlijnen voor het temperatuurverloop voor beide systemen zijn nagenoeg evenwijdig³¹ en vallen bijna samen ($\Delta T=3\text{ °C}$). Bovendien is de verklaarde

³¹ Trendlijnen: HD: $y = -0,2884x - 34,982$; $R^2 = 0,7369$
LD: $y = -0,2928x - 32,237$; $R^2 = 0,7664$

variantie van beide trendlijnen goed ($R^2_{,HD} = 0,74$; $R^2_{,LD} = 0,77$). Ook met DLS worden op bepaalde momenten dalingen van de rookgastemperatuur waargenomen. De trendlijn is daarentegen iets minder steil ($-0,23t$), wat betekent dat de temperatuur minder is gedaald. De verklaarde variantie is lager ($R^2_{,DLS} = 0,58$). De trendlijn voor het temperatuurverloop met FD ($-0,22t$) ligt nagenoeg evenwijdig aan de trendlijn voor DLS, maar dan ongeveer $17\text{ }^\circ\text{C}$ hoger. Dit betekent dat FD de rookgassen tijdens de eerste serie rookgaskoelingen het minst koelt op thermokoppel 1. De gemeten waarden geven een hoge verklaarde variantie ($R^2_{,FD} = 0,82$). De totale temperatuurdaling na de eerste serie van drie rookgaskoelingen is bij LD circa 95 graden, bij DLS circa 65 graden, bij FD 55 circa graden en HD circa 100 graden.

Als gekeken wordt naar de tweede serie rookgaskoeling³², valt op dat het hier omgekeerd is, DLS scoort beduidend minder goed ($-0,09t$; $R^2_{,DLS} = 0,65$) in het koelen van rookgassen dan Firedos ($-0,20t$). HD ($-0,25t$; $R^2_{,HD} = 0,55$) scoort ongeveer even goed als Firedos, en de LD ($-0,40t$; $R^2_{,LD} = 0,81$) scoort het beste. De verklaarde variantie is ook het hoogst. De totale temperatuurdaling na de tweede serie van drie rookgaskoelingen is bij LD bijna 150 graden, bij DLS circa 20 graden, en bij FD en HD circa 100 graden. Zie ook figuur 4.3.

Figuur 5.3 Temperatuurverloop rookgaskoeling serie 2 (shots 4-6), gemiddelde relatieve waarden per systeem, thermokoppel 5



In bovenstaande figuur zijn met name bij FD, LD en HD de drie rookgaskoelingen (ieder bestaand uit drie shots) waar te nemen. Deze dalingen per rookgaskoeling zijn nader geanalyseerd. In tabel 5.2 is de gemiddelde daling van de temperatuur en de gemiddelde duur van het koelend vermogen weergegeven. Omdat in het temperatuurverloop van DLS de drie rookgaskoelingen niet waar te nemen zijn (omdat drie duidelijke dalingen ontbreken) is de gemiddelde daling en duur van de daling per rookgaskoeling voor DLS niet te berekenen.

$$\begin{aligned} \text{DLS: } & y = -0,2303x - 32,746; R^2 = 0,5789 \\ \text{FD: } & y = -0,2197x - 16,119; R^2 = 0,8211 \end{aligned}$$

³² Trendlijnen:

$$\begin{aligned} \text{HD: } & y = -0,245x - 40,557; R^2 = 0,5548 \\ \text{LD: } & y = -0,4024x - 52,049; R^2 = 0,8072 \\ \text{DLS: } & y = -0,0902x - 5,2734; R^2 = 0,6535 \\ \text{FD: } & y = -0,2003x - 38,758; R^2 = 0,5075 \end{aligned}$$

Tabel 5.2 Totale daling rookgastemperatuur van de gemiddelde waarden per systeem, thermokoppel 5

Systeem	Gemiddelde daling rookgastemperatuur per rookgaskoeling 4-6 in graden Celcius tk 5	Duur van het koelend vermogen (per serie van 3 shots) rookgaskoeling 4-6 in seconden
Drukluchtschuim	-	-
Firedos (3%)	61	3,1
Lagedruk	103	5,3
Hogedruk	77	4,4

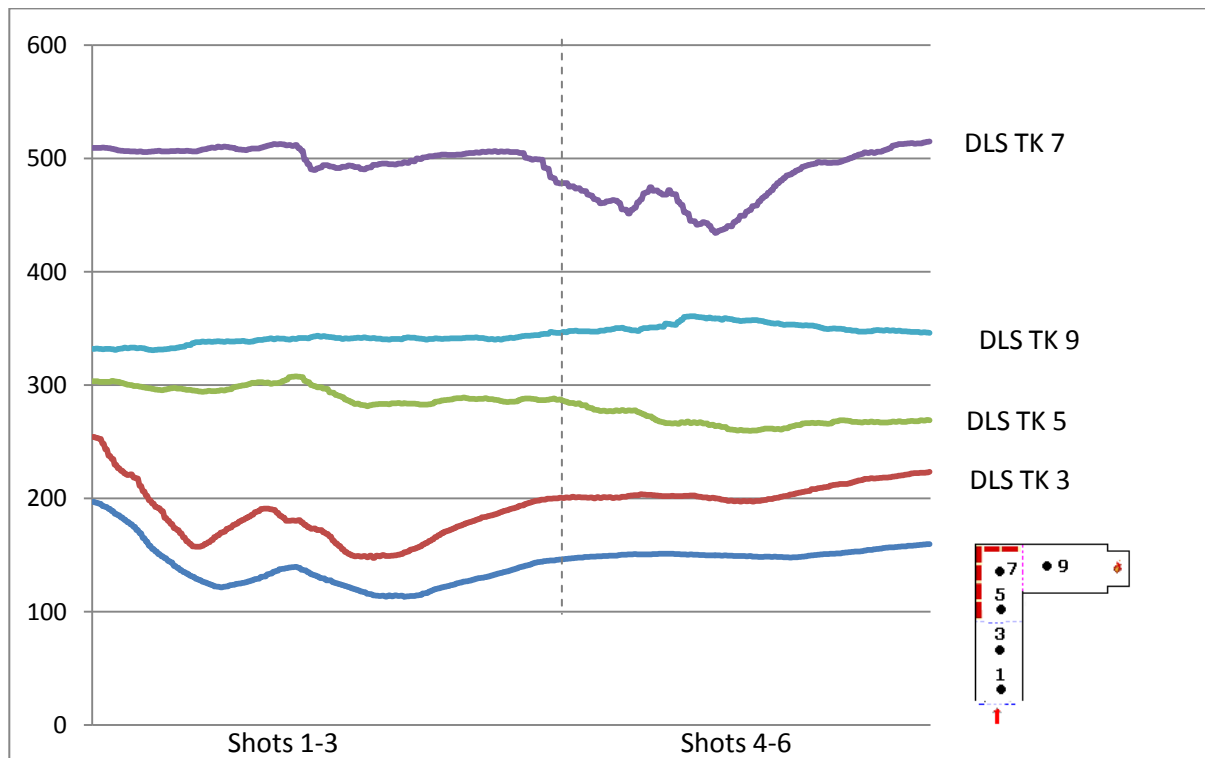
Uit tabel 5.2 blijkt niet alleen dat LD de grootste gemiddelde daling geeft, maar ook dat de daling per rookgaskoeling het langst aanhoudt.

5.3 Temperatuurverloop gehele container tijdens rookgaskoeling

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 5.4. 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)³³. Thermokoppel 9 bevindt zich ter hoogte van de vuurhaard.

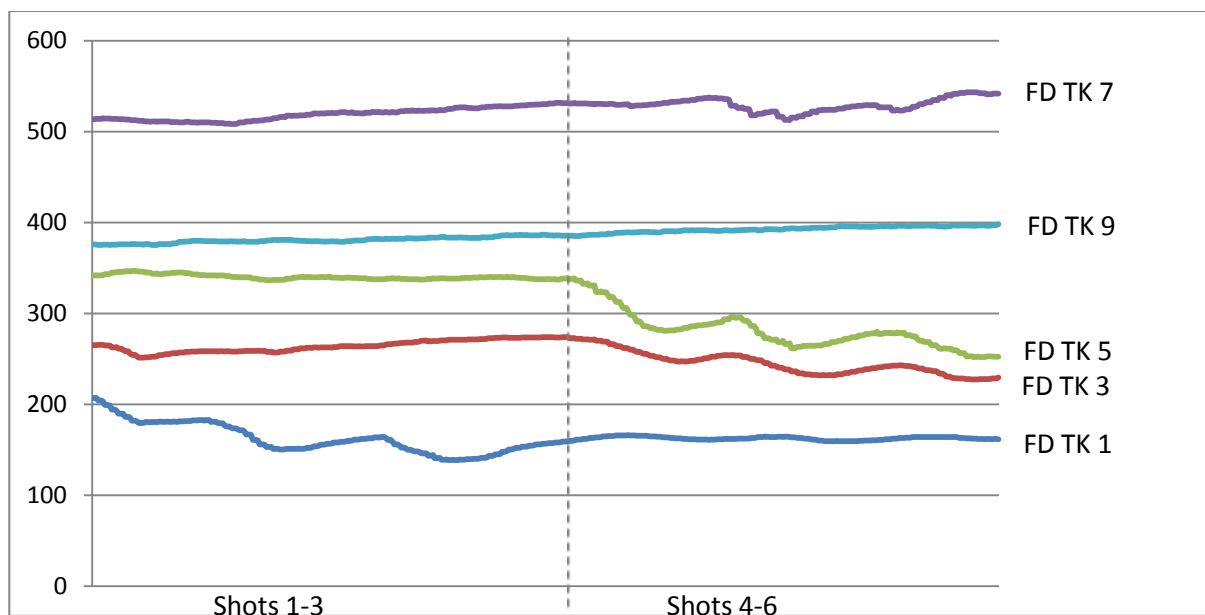
³³ Thermokoppel 7 wordt vanwege de locatie in de hoek niet alleen door convectie, maar ook door rechtstreekse aanstraling van de vuurhaard opgewarmd.

Figuur 5.4 Temperatuurverloop rookgaskoeling DLS, gemiddelde waarden per thermokoppel (TK)



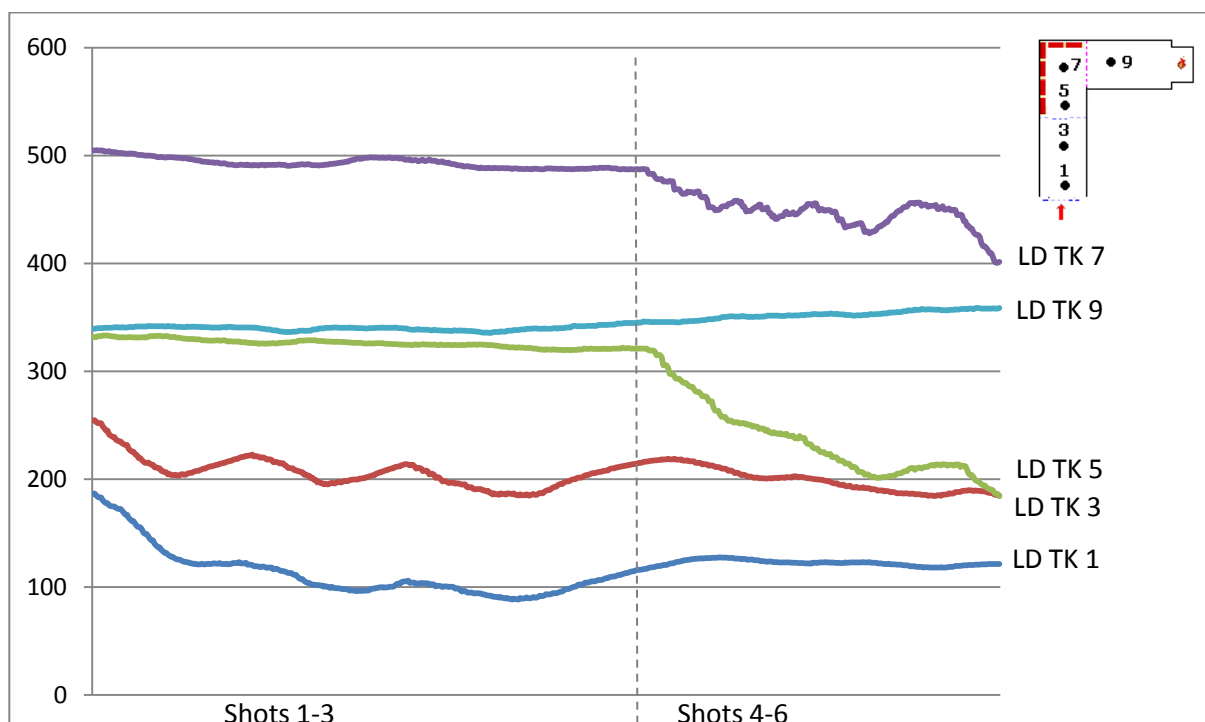
Bij DLS is te zien dat er bij de eerste serie rookgaskoelingen een effect te zien is op de voorste thermokoppels (1 en 3). Bij de tweede serie (ongeveer halverwege de grafiek) is er een beperkt effect te zien op thermokoppel 7, maar de temperatuur bij de andere thermokoppels (1, 3 en 5) daalt niet, en loopt zelfs iets op. Deze temperatuurstijging vindt ook plaats *achter* de brandweerploeg. Na de koeling is op thermokoppel 7 direct daarna een stijging van de temperatuur te zien op deze thermokoppel, die aanhoudt tot het einde van de serie rookgaskoelingen.

Figuur 5.5 *Temperatuurverloop rookgaskoeling FD, gemiddelde waarden per thermokoppel (TK)*



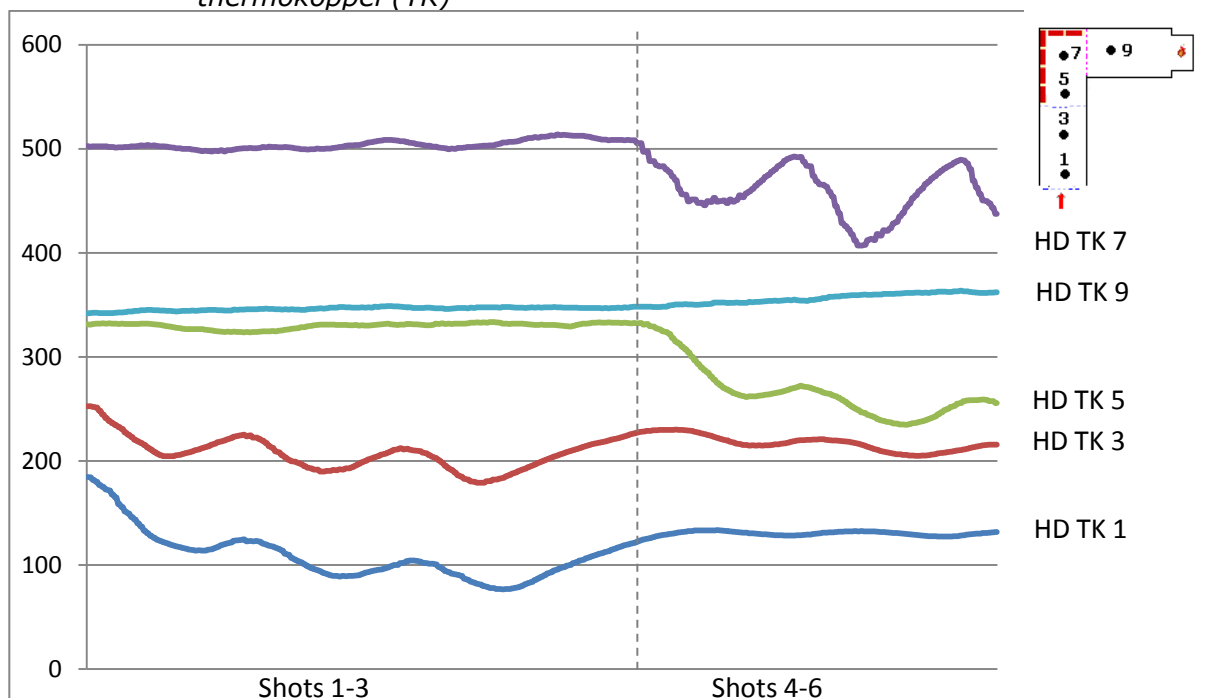
In het temperatuurverloop van de Firedostesten is te zien dat in de eerste serie rookgaskoelingen er een effect te zien is op thermokoppel 1. Het effect van de tweede serie rookgaskoelingen is te zien op thermokoppel 3 en 5. Er is geen dalend effect op de temperaturen rondom thermokoppel 7 (verderop in de container) en thermokoppel 1 (achter de brandweerploeg) te zien, er is zelfs een kleine temperatuurstijging te zien.

Figuur 5.6 *Temperatuurverloop rookgaskoeling LD, gemiddelde waarden per thermokoppel (TK)*



Bij de Lagedrukinzet 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.

Figuur 5.7 *Temperatuurverloop rookgaskoeling HD, gemiddelde waarden per thermokoppel (TK)*



Bij de grafiek van HD (fig. 5.7) 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.

5.4 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. Omdat bij de schuimsystemen ook schuimvormend middel en lucht wordt toegevoegd, is tevens gekeken naar het totale volume van ingebracht blusmiddel. Dit is weergegeven in tabel 5.3.

Tabel 5.3 Gemiddelde waterverbruik gedurende de rookgaskoeling (excl. doorspoelen systeem)

Blussysteem	Ingebrachte hoeveelheid <u>water</u> in liters	Standaard-deviatie	Temperatuurdaling totale rookgaskoeling tk 5	Temperatuurdaling in graden per liter water
Drukluchtschuim	29	8,8	41	1,4
Firedos (3%)	47	3,8	78	1,7
Lagedruk	42	6,6	152	3,6
Hogedruk	32	3,5	73	2,3

In tabel 5.3 is af te lezen dat bij FD en LD gemiddeld meer water is ingebracht dan bij DLS en HD. Wel is er een variatie in de ingebrachte hoeveelheid liters water bij de verschillende testen, waarbij de grootste variatie (standaarddeviatie) er is bij DLS. De testen met HD en FD zijn vrij stabiel te noemen gezien de standaarddeviatie van 3,5 en 3,8. De temperatuurdaling van de totale rookgaskoeling (gemeten op thermokoppel 5) is het grootst bij de testen met LD (152 °C) en het kleinst bij de testen met DLS (41°C). Ook als deze temperatuurdaling wordt afgezet tegen de ingebrachte hoeveelheid water blijkt het rookgaskoelend vermogen van LD het grootst te zijn (3,6 °C/ltr) en het rookgaskoelend vermogen van DLS het kleinst (1,4 °C/ltr). Het rookgaskoelend vermogen van FD is iets hoger dan DLS maar lager dan HD.

Bij brandbestrijding en de nazorg daarvan gaat het niet alleen om het ingebrachte volume aan water, maar ook om het totaal ingebrachte volume aan blusmiddel. Immers, een liter water wordt bij omzetting naar schuim vele liters schuim. Een grote hoeveelheid ingebracht blusmiddel kan leiden tot veel nevenschade. Als gekeken wordt naar het ingebracht volume blusmiddel, worden de verschillen nog sterker. Zie ook tabel 5.4.

Tabel 5.4 Blusmiddelverbruik gedurende de rookgaskoeling

Blussysteem	Theoretisch ingebracht volume <u>blusmiddel</u> in liters	Standaard-deviatie	Temperatuurdaling totale rookgaskoeling tk 5 in graden C	Temperatuurdaling in graden C per liter blusmiddel
Drukluchtschuim	200	61,7	41	0,2
Firedos (3%)	142	11,4	78	0,5
Lagedruk	42	6,6	152	3,6
Hogedruk	32	3,5	73	2,3

Ook per ingebracht liter blusmiddel bereikt Lagedruk veruit de grootste temperatuurdaling met 3,6 C per liter blusmiddel. Bij Hogedruk is dit wat minder (2,3 C), gevolgd door Firedos (0,5 C) en Drukluchtschuim (0,2 C).

5.5 Mogelijke verklaringen voor gevonden resultaten

Temperatuurverloop afzonderlijke series rookgaskoelingen

Uit de vergelijking van de trendlijnen voor het temperatuurverloop gedurende de testen voor rookgaskoeling bij de vier systemen is een opvallend resultaat te zien bij de testen met Firedos (FD) en DLS: In de eerste rookgaskoelingsserie (figuur 5.2) scoort FD slechter ten opzichte van DLS (en LD en HD), terwijl in de tweede serie, verderop in de container (figuur 5.3), DLS nauwelijks een koeling van de rookgassen tot gevolg heeft, en FD juist beter scoort (ongeveer even goed als HD). Er is gezocht naar een verklaring voor dit opmerkelijke resultaat. Mogelijke verklaringen hiervoor zijn:

1. Het zou kunnen dat met de kracht van de DLS-straal lucht wordt aangezogen mee naar binnen, waardoor er een vorm van ventilatie ontstaat. Bij de eerste serie rookgaskoeling is er sprake van koude lucht in de omgeving buiten. Bij de tweede serie rookgaskoeling is er sprake van een warme omgevingslucht in de container, waardoor er geen koele lucht in de rookgaslaag wordt gebracht.

DLS heeft een grote worplengte en wordt met veel kracht uit de straalpijp gespoten. Bij de eerste serie rookgaskoeling stond de ploeg op circa 7 meter afstand van de container, waardoor de straal meer uitgewaaierd was op de plek waar de rookgaskoeling plaats moest vinden. Bij de tweede serie rookgaskoeling was de afstand tussen opstellijn en de achterste muur circa 4,5 meter.

Een mogelijke verklaring waarom Firedos de eerste keer weinig effect heeft, en in de tweede serie wel effectief lijkt, is dat de vermenging in het begin anders is in het begin dan bij de tweede serie. Mogelijk dat in het begin, vanwege de tijd dat het mengstel in de slang aanwezig is, er in verhouding meer schuim en minder water aanwezig is. Na enkele shots rookgaskoeling is de slang doorgespoeld waardoor de mengverhouding beter is. Of dit het geval is geweest, is niet vast te stellen.

Temperatuurverloop gehele container tijdens rookgaskoeling

Als er vergeleken wordt wat er gebeurt in de gehele ruimte van de container tussen de verschillende systemen, dan valt het volgende op:

2. Bij DLS is er met name in de tweede serie rookgaskoelingen nauwelijks effect, en het effect dat bereikt wordt, wordt vrijwel direct teniet gedaan door een daarop volgende toename van de temperatuur van de rookgaslaag. Een mogelijke verklaring is dat de straal een werveling teweeg brengt die als een vorm van repressieve ventilatie werkt, door de toevoeging en opmenging met koude buitenlucht. Andere verklaringen zijn het ontstaan van een blok door drukverschillen of dat het schuimvormend middel achterin de container als gevolg van de hitte afbreekt. Bij Firedos is een beperkt koelend effect te zien, bij HD en LD is dit effect sterker.
3. Bij DLS is er geen sprake van een koelend effect van de rookgaskoeling *achter* de brandweerploeg. De temperatuur achter de brandweerploeg neemt niet af, en loopt zelfs licht op, ondanks de pogingen tot rookgaskoeling verderop in de container. Bij Firedos is er sprake van een daling, maar deze is beperkter dan bij LD en vergelijkbaar met HD.

Waterverbruik in relatie tot rookgaskoeling

Uit de analyse van het rookgaskoelend effect van de hoeveelheid ingebracht water blijkt dat het rookgaskoelend vermogen van LD het grootst is, ondanks dat er niet veel meer water is gebruikt. Het effect in temperatuurdaling per liters ingebracht water is bij de testen met LD bovendien vele malen groter dan het effect bij de testen met schuim (FD en DLS).

Als daarbij ook nog het totale volume blusmiddel wordt bekeken, blijkt schuim nog minder effect per liter blusmiddel te hebben dan water.

In Nederland wordt zowel FD als DLS op verschillende wijzen toegepast. FD wordt doorgaans met een bijmengpercentage van 3% toegepast, maar ook een bijmengpercentage van 0,3% komt voor. Bij de toepassing van DLS zit het verschil in de gekozen inzetmethode (korte pulsen in de rookgaslaag of lange pulsen waarbij wanden en plafond worden ingeschuimd) en het gebruik van een straalpijp met klepje (een Zweeds model dat in Zweden wordt toegepast) en een straalpijp zonder klepje dat in Nederland gangbaar is. Mogelijk hebben deze twee verschillen effect op de prestaties van FD en DLS. In aanvulling op de geteste systemen, zijn daarom twee Firedos testen

uitgevoerd met een bijmengpercentage van 0,3%. Voor DLS is op verzoek van één van de deelnemende regio's nog een aanvullende test met een DLS-straalpijp met klepje gedaan in plaats van zonder klepje als gebruikt in het reguliere onderzoek. Meer over deze testen, die als bijvangst van het onderzoek gezien moeten worden, is opgenomen in hoofdstuk 8.

5.6 Conclusies rookgaskoeling

Uit de testen is gebleken dat het temperatuurverloop over de gehele rookgaskoeling (op TK 5) bij LD de grootste daling tot gevolg heeft. HD en FD hebben een onderling vergelijkbaar en minder sterk koelend effect op de temperatuur in de rookgassen. DLS laat de minste koeling van de rookgassen zien. Bij DLS daalt de temperatuur na twee series rookgaskoelingen 41 C, terwijl bij LD de temperatuur 138 C gedaald is. Verder zet het koelend effect van met name LD gedurende de rookgaskoeling door, ook als in de tussenliggende tijd geen pulsen gegeven worden en er nieuwe hete rookgassen worden aangevoerd. Dit geldt in mindere mate voor FD en HD, en nauwelijks voor DLS.

Als we de twee series rookgaskoelingen afzonderlijk bekijken, blijkt dat FD op basis van de trendlijn in de eerste serie de rookgassen het minst koelt. LD en HD koelen de rookgassen het best. Ook bij DLS is een daling van de rookgastemperatuur te zien. Bij de tweede serie rookgaskoelingen is bij LD wederom het beste resultaat te zien, zowel ten opzichte van de overige systemen als ten opzichte van de eerste serie rookgaskoelingen. Opvallend is dat DLS bij de gebruikte inzetmethode dan het slechtste resultaat laat zien met een totale temperatuurdaling van 20 C. Wat opvalt is dat FD in de eerste rookgaskoelingsserie slechter scoort ten opzichte van DLS (en LD en HD), terwijl in de tweede serie, verderop in de container, DLS nauwelijks een koeling van de rookgassen tot gevolg heeft, en FD juist beter scoort (ongeveer even goed als HD). Mogelijk is het relatief positieve effect bij DLS in de eerste serie veroorzaakt door een aanzuigende werking van de DLS-straal waardoor koude omgevingslucht in de container is gebracht. Een mogelijke verklaring waarom Firedos de eerste keer weinig effect heeft, en in de tweede serie wel effectief lijkt, is dat de vermenging in het begin anders is in het begin dan bij de tweede serie.

Als naar het temperatuurverloop op hetzelfde moment in de gehele container wordt gekeken, valt op dat bij LD en HD de temperatuur zowel voor als achter de brandweerploeg daalt tijdens de rookgaskoeling. Bij FD is er alleen effect in de directe omgeving. Bij DLS is een kortstondige daling vóór de brandweerploeg te zien, gevolgd door een stijging van de temperatuur zowel voor als achter de brandweerploeg.

Als het koelend vermogen afgezet wordt tegen het waterverbruik, dan blijkt dat het rookgaskoelend vermogen per liter ingebracht water het grootst is bij LD. De schuimvormende systemen koelen het minst per ingebrachte liter water, waarbij DLS het slechtst scoort. Als het koelend vermogen wordt afgezet tegen het ingebracht volume blusmiddel (water of water met lucht en schuim) dan is het verschil tussen de systemen die uitsluitend water gebruiken, en de schuimvoerende systemen, nog groter.

6 Resultaten blussing

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de blussing beschreven.

De snelheid van de eerste knockdown is bepaald vanaf het moment 'start blussing' tot het moment dat er geen zichtbare vlammen meer waren. De brand bevond zich op dat moment nog wel in het gloeistadium. Vervolgens is gekeken hoe lang het duurde totdat de brand herontstak. Tien seconden na de herontsteking werd wederom ingezet. Dit proces werd een aantal keren herhaald. Omdat het vervolg erg afhankelijk was van het al dan niet heronsteken, is alleen de eerste knockdown en herontsteking in de vergelijking tussen de systemen meegenomen.

6.1 Snelheid van eerste knockdown en eerste herontsteking

In tabel 6.1 zijn de duur tot de eerste knockdown en de duur tot de eerste herontsteking weergegeven³⁴.

Tabel 6.1 Snelheid van eerste knockdown eerste herontsteking

Blussysteem	Gemiddelde duur tot 1 ^{ste} knockdown in seconden	Standaard-deviatie duur knockdown	Gemiddelde duur tot eerste herontsteking in seconden	Standaard-deviatie duur tot eerste herontsteking
Drukluchtschuim	4,2	0,8	10,8	2,3
Firedos (3%)	6,6	1,7	26,0	10,6
Lagedruk	5,8	0,8	19,6	12,1
Hogedruk	4,0	0,7	15,4	3,8

Uit de tabel blijkt HD en DLS de snelste knockdown realiseren. Bovendien is de standaarddeviatie gering, wat betekent dat er in de verschillende testen per systeem weinig variatie zit in de duur tot de eerste knockdown.

Als wordt gekeken naar de gemiddelde duur tot de eerste herontsteking dan duurt dit bij Firedos het langst. Het systeem presteert daarentegen in de verschillende testen minder constant dan HD en DLS: de standaarddeviatie voor de testen met Firedos is 10,6 ten opzichte van 2,3 bij DLS en 3,8 bij HD.

6.2 Temperatuurverloop gehele blussing (inclusief herontstekingen)

In tabel 6.2 zijn de resultaten van de blussing met de verschillende systemen op de temperatuur in de container met elkaar vergeleken. Hiervoor is thermokoppel 10 gebruikt. Thermokoppel 10 bevindt zich het dichtst bij de brandhaard, zodat het effect van de blussing daar het best gemeten wordt.

³⁴ Hierbij moet worden opgemerkt dat binnen de experimentopzet na het verdwijnen van de vlammen (de knockdown) niet verder mocht worden afgeblust. In de brandweerpraktijk zal dit veelal wel gebeuren. De resultaten moeten daarom binnen deze opzet bezien worden.

Tabel 6.2 Vergelijking van de effectiviteit van blussing met verschillende systemen

Blussysteem	Gemiddelde temperatuurdaling na 1 ^{ste} knockdown	Standaarddeviatie	Aantal herontstekingen (per systeem)
Drukluchtschuim	38	9,6	4 à 5
Firedos (3%)	109	13,9	2 à 4 (of meer)
Lagedruk	84	33,1	1 à 3
Hogedruk	81	32,4	4 à 5

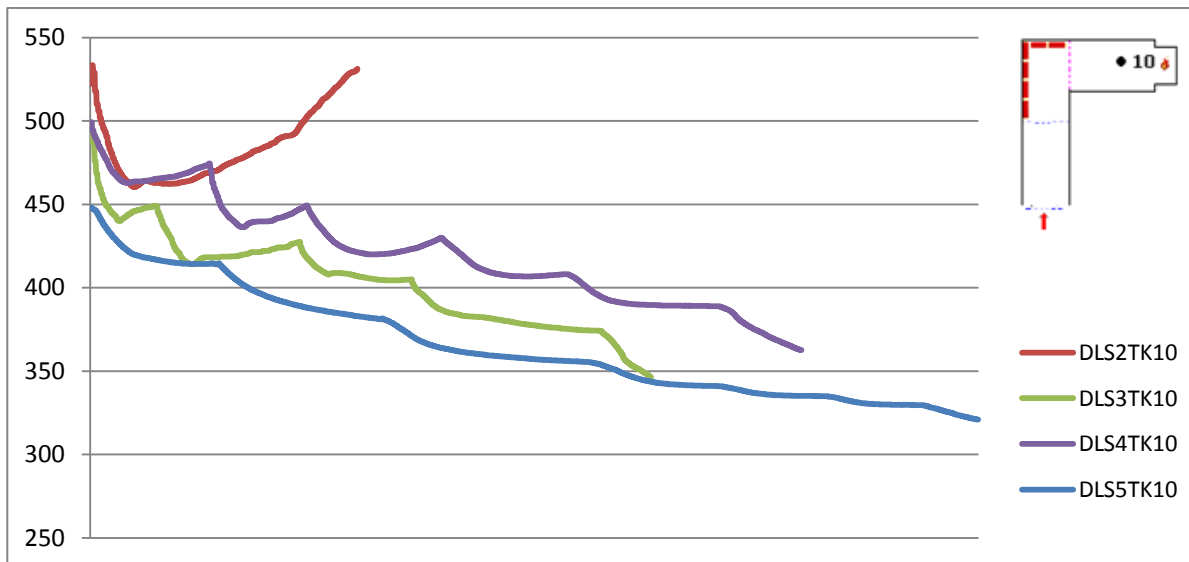
Uit tabel 6.2 blijkt dat de blussing met Firedos bij de eerste knockdown het meest effectief is wat betreft temperatuurdaling ($\Delta T_{FD,kd1,gem} = 109 \text{ } ^\circ\text{C}$) en bovendien redelijk constante resultaten geeft ($SD_{FD} = 13,9$).

DLS heeft, zoals blijkt uit tabel 6.1, een snelle knockdown gecreëerd, maar is in de temperatuurdaling bij de blussing (tabel 6.1) het minst effectief ($\Delta T_{DLS,kd1,gem} = 38 \text{ } ^\circ\text{C}$), maar is daarin het meest constant ($SD_{DLS} = 9,6$).

De blussingen met LD en HD geven per test wisselende resultaten wat betreft temperatuurdaling, maar de gemiddelde temperatuurdaling is aanzienlijk ($\Delta T_{LD,kd1,gem} = 84 \text{ } ^\circ\text{C}$; $\Delta T_{HD,kd1,gem} = 81 \text{ } ^\circ\text{C}$). De minste herontstekingen vinden plaats bij Lagedruk, de meeste bij DLS en HD.

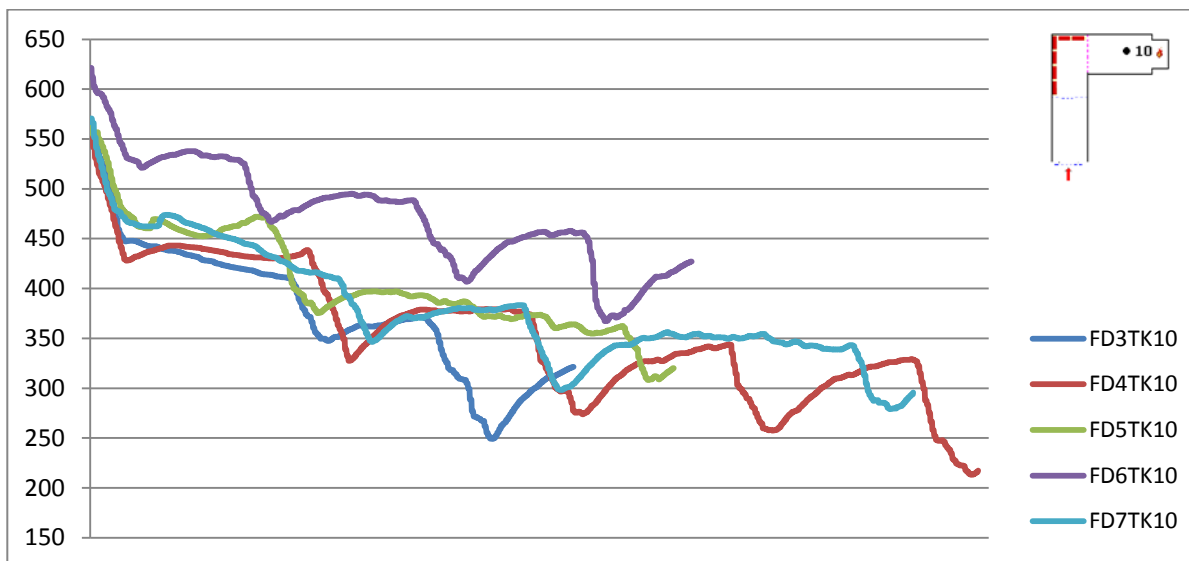
In figuur 6.1 is het gemiddelde temperatuurverloop op thermokoppel 10 weergegeven voor de onderzochte systemen. In de onderstaande figuren zijn de resultaten per systeem weergegeven.

Figuur 6.1 Temperatuurverloop blussing met DLS thermokoppel 10



In figuur 6.1 is te zien dat de temperatuur bij de eerste knockdown (kd1) met DLS circa $44 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($SD=14,5$) daalt ($\Delta T_{DLS2,kd1} = 62 \text{ } ^\circ\text{C}$; $\Delta T_{DLS3,kd1} = 48 \text{ } ^\circ\text{C}$; $\Delta T_{DLS4,kd1} = 36 \text{ } ^\circ\text{C}$; $\Delta T_{DLS5,kd1} = 29 \text{ } ^\circ\text{C}$). Vervolgens zijn in de figuur de herontstekingen zichtbaar als pieken in de grafiek. Bij de drie testen zijn 4 tot 5 herontstekingen waargenomen, hoewel die bij test 'DLS5' vanwege de beperkte temperatuurstijging in de herontstekingen moeilijk in de grafiek zijn af te lezen.

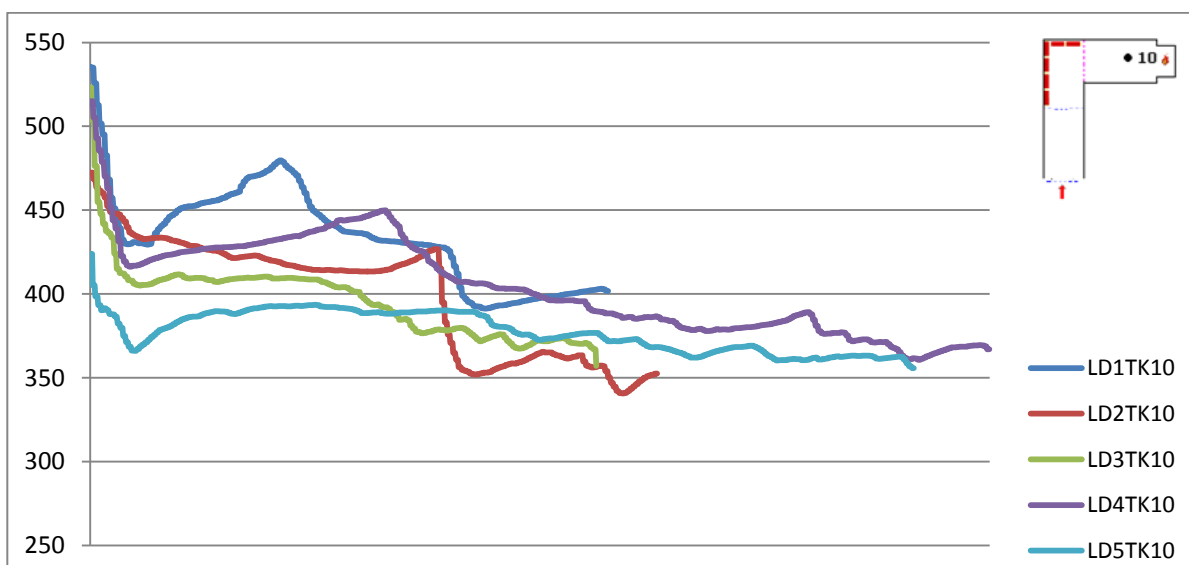
Figuur 6.2 Temperatuurverloop blussing met FD, thermokoppel 10



Uit de bovenstaande figuur blijkt dat de afzonderlijke testen met Firedos vergelijkbare resultaten geven: Ondanks dat de begintemperatuur in test FD6 ongeveer 50 °C hoger is dan in de overige testen, volgt het temperatuurverloop wel hetzelfde patroon als in de overige testen.

De temperatuur is bij de eerste knockdown (kd1) met Firedos circa 109 °C (SD=13,9) gedaald ($\Delta T_{FD3,kd1} = 101$ °C; $\Delta T_{FD4,kd1} = 133$ °C; $\Delta T_{FD5,kd1} = 102$ °C; $\Delta T_{FD6,kd1} = 100$ °C; $\Delta T_{FD7,kd1} = 108$ °C). Verder zijn in de verschillende testen meerdere herontstekingen waargenomen, variërend van 2 in test 'FD3' tot 4 of meer in de overige testen (na 4 herontstekingen zijn de testen met Firedos gestopt). De testen met snelle herontsteking zijn in de tabel zichtbaar als kortere lijnen.

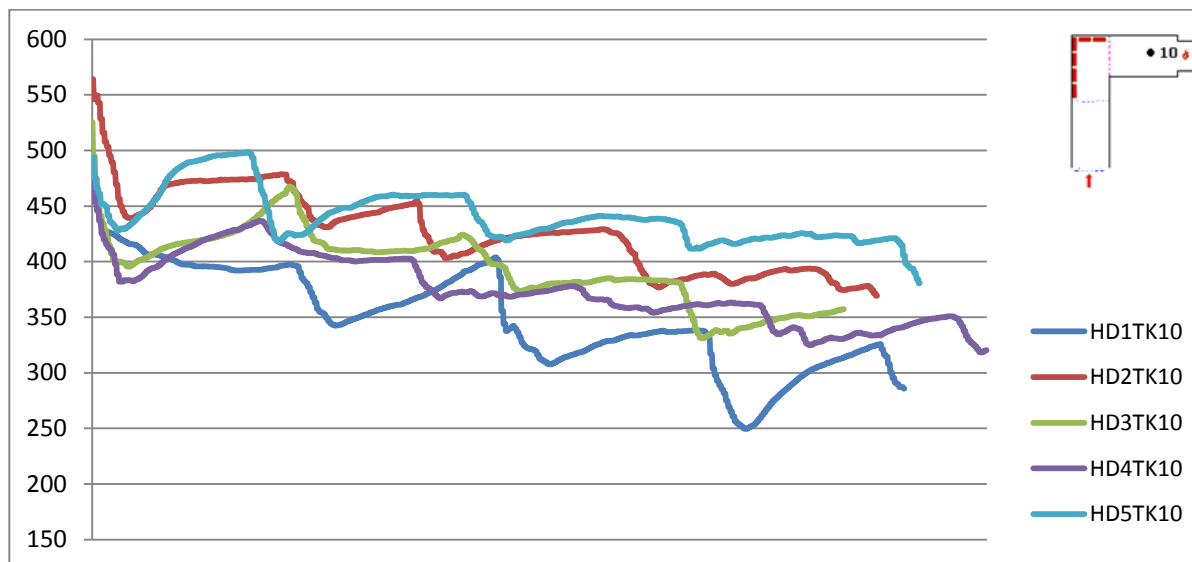
Figuur 6.3 Temperatuurverloop blussing met LD, thermokoppel 10



In figuur 6.3 is te zien dat de temperatuur bij de eerste knockdown (kd1) met LD circa 84 °C daalt ($\Delta T_{LD1,kd1} = 106$ °C; $\Delta T_{LD2,kd1} = 40$ °C; $\Delta T_{LD3,kd1} = 117$ °C; $\Delta T_{LD4,kd1} = 98$ °C; $\Delta T_{LD5,kd1} = 58$ °C). De effectiviteit van de eerste knockdown verschilt daarmee sterk per

test (SD=33,1). Na de eerste knockdown laait het vuur bij de verschillende testen met LD nog 1 tot 3 maal op, met over het algemeen een geringe temperatuurstijging.

Figuur 6.4 Temperatuurverloop blussing met HD, thermokoppel 10

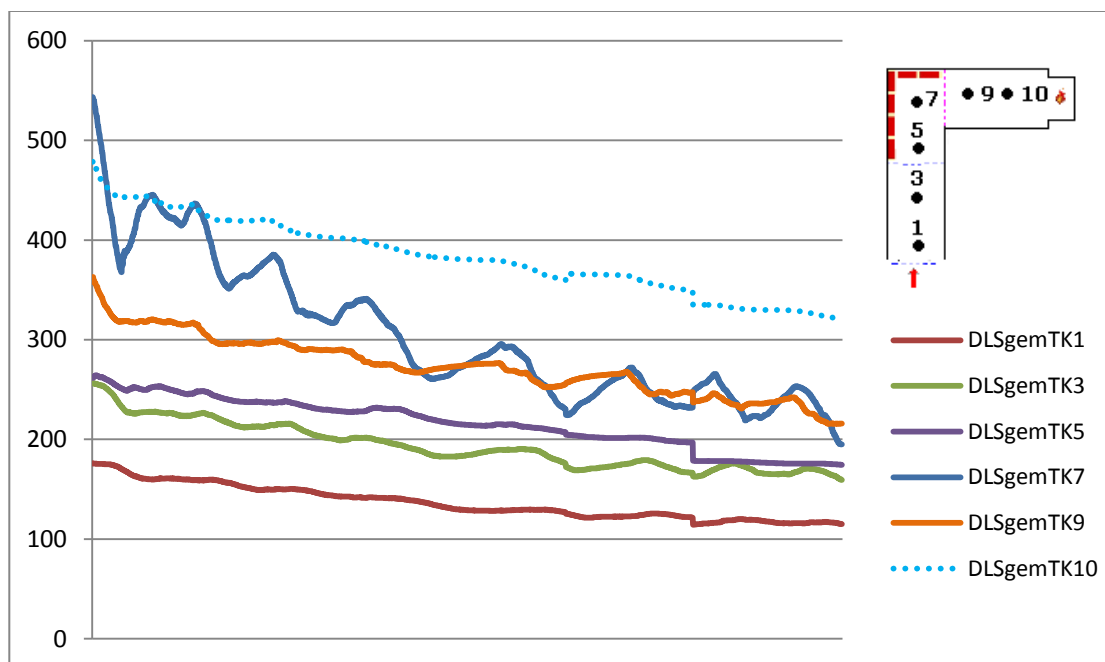


De effectiviteit van de blussing met HD is bij de eerste knockdown vergelijkbaar met de effectiviteit van de blussing met LD. De gemiddelde temperatuurdaling is na de eerste knockdown met circa 81 °C aanzienlijk gedaald ($\Delta T_{HD1,kd1} = 81$ °C; $\Delta T_{HD2,kd1} = 41$ °C; $\Delta T_{HD3,kd1} = 129$ °C; $\Delta T_{HD4,kd1} = 87$ °C; $\Delta T_{HD5,kd1} = 65$ °C), maar er zijn wel grote verschillen per test (SD=32, 4). De resultaten van de blussing met HD zijn in het patroon van knockdown en herontsteking daarentegen wel vergelijkbaar voor de verschillende testen. Per test laait het vuur 4 tot 5 maal weer op.

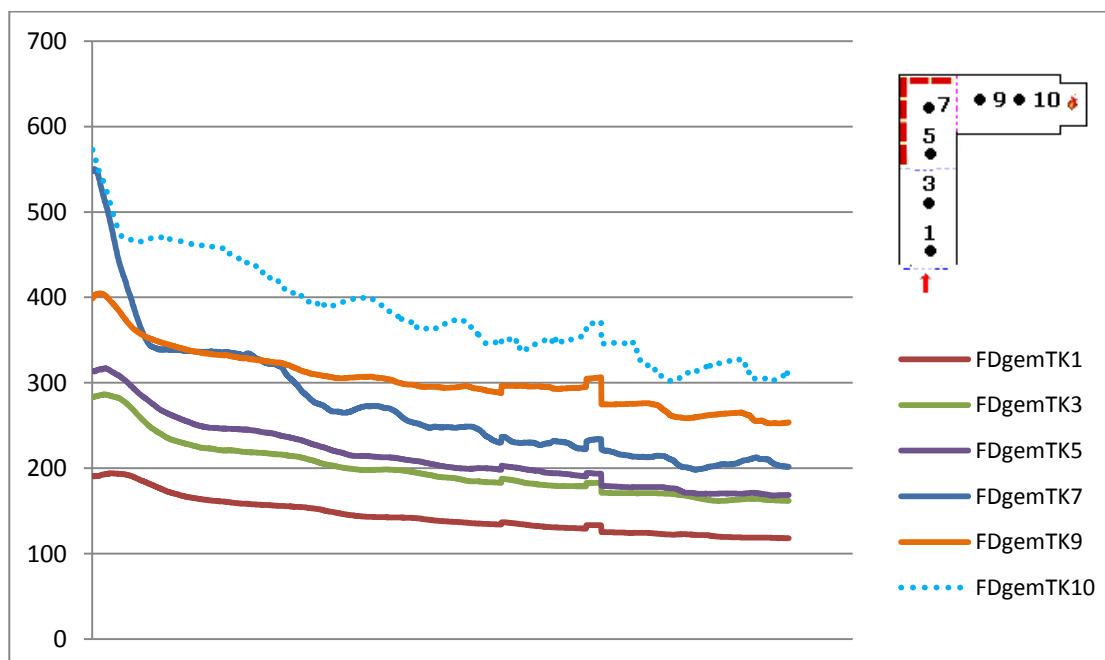
6.3 Temperatuurverloop gehele container tijdens blussing

Tijdens de blussing bevindt de brandweerploeg zich achterin de container. Bij de rookgaskoeling is bij DLS geconstateerd dat gedurende de inzet (en de verplaatsing naar de brandhaard) de rooklaag achter de brandweerploeg soms in temperatuur toenam en zelfs bijna tot een ontsteking van de rookgassen leidde. Dergelijke situaties zijn gevaarlijk. Om een beeld te krijgen van het effect van de blussing op het temperatuurverloop *achter* de brandweerploeg, zijn in deze paragraaf de metingen op thermokoppels 1-3-5-7-9-10 gedurende de blussing geanalyseerd.

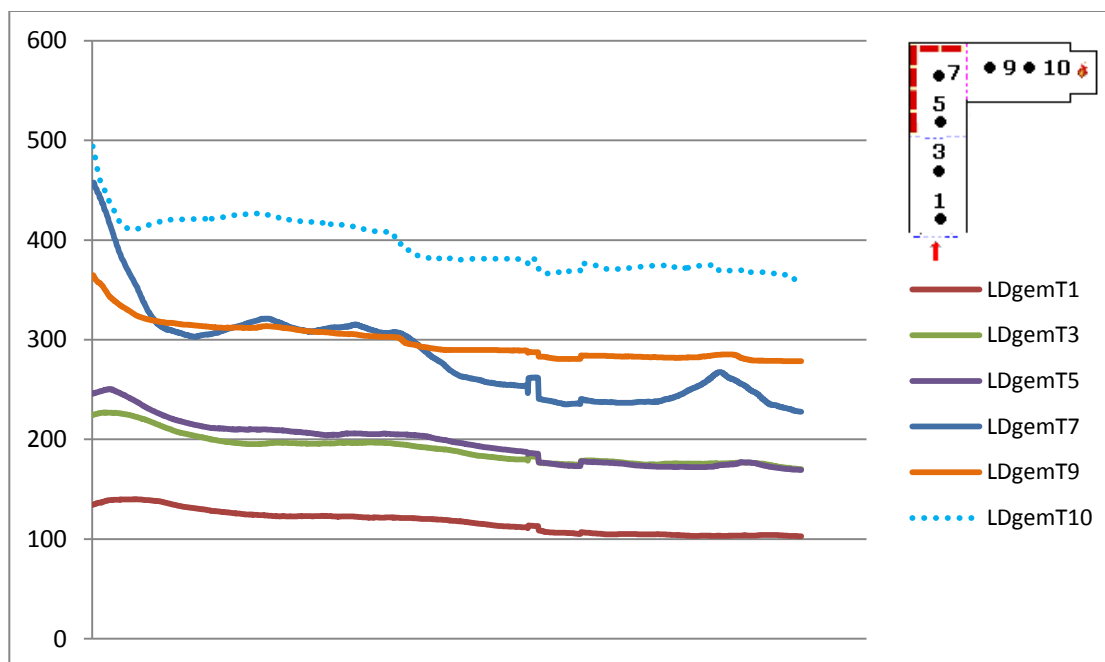
Figuur 6.5 *Temperatuurverloop blussing DLS, gemiddelde waarden per thermokoppel (TK)*



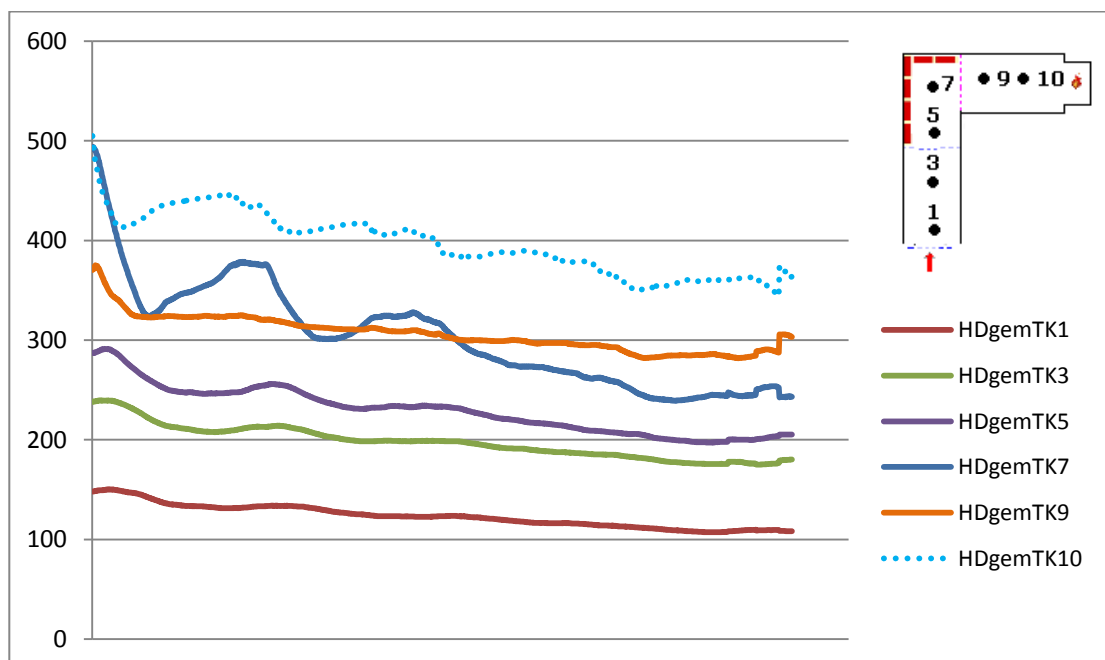
Figuur 6.6 *Temperatuurverloop blussing FD, gemiddelde waarden per thermokoppel (TK)*



Figuur 6.7 *Temperatuurverloop blussing LD,
gemiddelde waarden per thermokoppel (TK)*



Figuur 6.8 *Temperatuurverloop blussing HD,
gemiddelde waarden per thermokoppel (TK)*



In bovenstaande grafieken is te zien dat bij LD en FD een algemeen dalende lijn waar te nemen is in de temperatuur in de container. Bij DLS en HD is ook een dalende lijn te zien, maar het valt op dat de temperatuur op met name thermokoppel 7 (vooral bij DLS, in mindere mate bij HD) na daling vrij direct pieken waar te nemen zijn die de koelende werking van de blussing voor een deel teniet doen.

6.4 Waterverbruik voor blussing en effectiviteit van de systemen

Voor de vergelijking van de systemen zijn de duur van de eerste knockdown, de gebruikte hoeveelheid water en volume en de temperatuur na de eerste knockdown weergegeven in tabel 6.3.

Tabel 6.3 Vergelijking van de prestaties van de blussystemen

Blussysteem	Gemiddelde duur tot 1 ^{ste} knockdown in seconden met (stdev)	Hoeveelheid <u>water</u> tot 1 ^{ste} knockdown in liters (stdev)	Theoretische hoeveelheid ingebracht <u>blusmiddel</u> tot 1 ^{ste} knockdown in liters (stdev)	Gemiddelde temperatuurdaling na 1 ^{ste} knockdown in graden Celcius
Drukluchtschuim	4,2 (0,8)	9 (0,8)	63 (5,7)	38
Firedos (3%)	6,6 (1,7)	13 (6,1)	38 (18,3)	109
Lagedruk	5,8 (0,8)	10 (2,7)	10 (2,7)	84
Hogedruk	4,0 (0,7)	7 (1,8)	7 (1,8)	81

Uit de tabel blijkt HD en DLS de snelste knockdown realiseren, waarbij bij HD het minste water is gebruikt. Bij Firedos daalt de temperatuur het sterkst, hoewel de temperatuurdaling bij HD en LD ook aanzienlijk is. Bij DLS is er sprake van een beperkte temperatuurdaling.

Als het water- en blusmiddelverbruik wordt afgezet tegen de temperatuurdaling, dan blijkt dat Hogedruk het meest efficiënt is per liter water in de blussing, en dat drukluchtschuim zowel per ingebrachte liter water als per ingebracht liter blusmiddel het minst effectief is.

Tabel 6.4 Vergelijking tempertuurdaling per ingebrachte liter

Blussysteem	Temperatuurdaling in graden C per ingebrachte liter water bij de blussing	Temperatuurdaling in graden C per ingebrachte liter blusmiddel
Drukluchtschuim	4,2	0,6
Firedos (3%)	8,4	2,9
Lagedruk	8,4	8,4
Hogedruk	11,6	11,6

6.5 Conclusies blussing

HD en DLS realiseren beide de snelste knockdown waarbij bij HD het minste water is gebruikt. Firedos heeft de langste tijd nodig voor het creëren van een knockdown. Echter, de gemiddelde duur tot de eerste herontsteking is voor Firedos het hoogst, hoewel de variatie binnen de testen groot is. Dit geldt in mindere mate voor LD. Hoewel DLS een snelle knockdown creëert, is er sprake van een relatief snelle herontsteking binnen de gekozen onderzoeksopzet, waarbij tussen de testen met DLS telkens vrijwel identieke resultaten gevonden worden.

De blussing met Firedos is wat betreft temperatuurdaling (ongeacht het verbruik) bij de eerste knockdown het meest effectief. De blussing met LD en HD geven een gemiddelde temperatuurdaling die beter is dan met DLS maar minder dan FD. Als het wordt afgezet tegen het water- en blusmiddelverbruik, dan scoren HD en LD het beste.

De temperatuurdaling bij LD en FD in de container is gelijkmatig. Bij DLS en HD is ook een dalende lijn te zien, maar het valt op dat de temperatuur na daling vrij direct pieken

weergeeft, die de koelende werking van de blussing deels teniet doet. Dit is bij DLS sterker dan bij HD.

Concluderend kan gesteld worden dat FD weliswaar de langste tijd voor de knockdown nodig heeft, maar vervolgens erg effectief is in het omlaag brengen van de temperatuur. Er wordt echter ook het meeste blusmiddel ingebracht. Als het wordt afgezet tegen het verbruik, dan scoren HD en LD voor blussing het beste. DLS scoort goed in het creëren van een snelle knockdown, maar geeft een beperkte daling van de temperatuur in de ruimte (van 38 C) waarbij er tussen de shots sprake is van een temperatuurtoename.

7 Overige bevindingen

Na iedere inzet zijn de ervaringen van de waarnemers en de manschappen in de container vastgelegd in verslagen. De ervaringen die zij na afloop van de testen hebben gedeeld, zijn in dit hoofdstuk weergegeven. Hoewel oorspronkelijk geen onderdeel van het onderzoek, zijn deze overige bevindingen naar het oordeel van de onderzoekers dusdanig belangrijk dat opname in dit rapport gerechtvaardigd is.

7.1 Spontane ontbranding rookgaslaag bij schuimsystemen

Er werd tijdens de test meerdere malen melding gemaakt van de (plotselinge, spontane en vrijwel volledige) ontbranding van de rookgaslaag. Deze vond plaats nadat de knockdown gecreëerd was, en werd volgens de waarnemers en straalpijpvoerders niet ontstoken door de vuurhaard. Dit vond uitsluitend plaats bij testen met DLS en de aanvullende test met Firedos 0,3%³⁵.

Een waarnemer uit één van de DLS-testen:

Op het moment dat een blussing op de vuurhaard wordt ingezet dan zie je een knockdown, absoluut. Toen ze de straalpijp sloten werd het donker en zag je alleen het vuur verdwijnen. Ineens gingen de rookgassen boven je hoofd spontaan weer ontbranden. En bij deze testen heb je nog maar weinig rookgassen (...) Je hebt warmte, rookgassen en er is zuurstof (...) Bij de testen hing er maar 30 cm rook, maar in een hogere, bredere en langere ruimte heb je veel meer brandgassen. In de test was de rookgasontbranding ongeveer 10 minuten na ontstaan van de brand, maar in het echt, kun je in een later stadium, met een andere mengverhouding, in een heel andere situatie terecht komen.

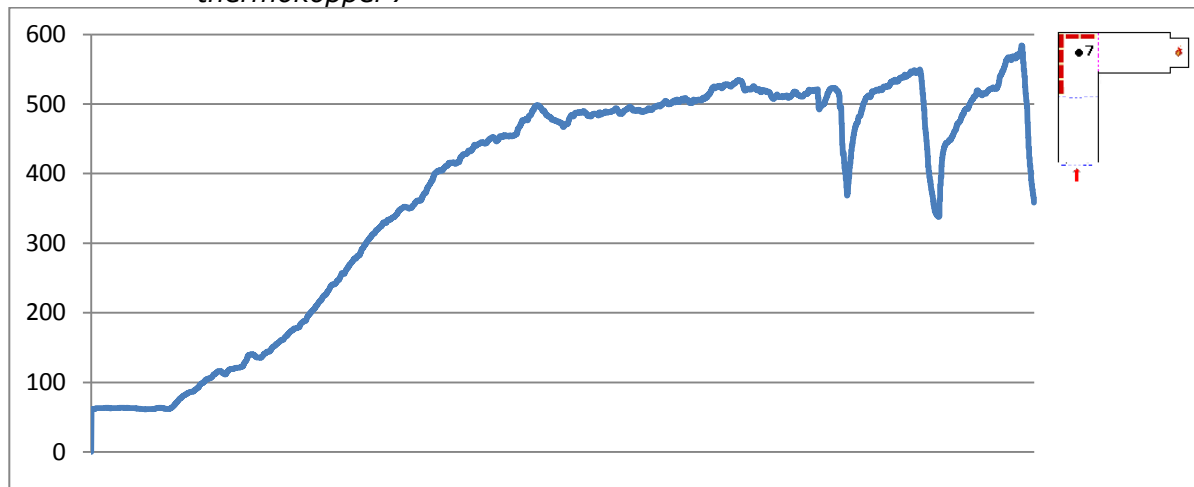
De straalpijpvoerder bij de test met Firedos 0,3%:

Het uitvoeren van mijn knockdown, heb ik het zelfde gedaan als met HD. Maar bijna direct na het bereiken van de knockdown en na het stoppen met blussing kwam er een extreme fire gas ignition. Hij was helemaal compleet en reikte tot ons. Het hele plafond van de container waarin de vuurlast zat was met vuur bedekt.

Bij de testen waar melding werd gemaakt van een plotselinge ontbranding van de rookgaslaag, is het temperatuurverloop in de container bekeken. Het temperatuurverloop is weergegeven in de figuren 7.1 tot en met 7.4. In alle figuren is na een daling als gevolg van de blussing, een snelle toename van de temperatuur op thermokoppel 7 te zien.

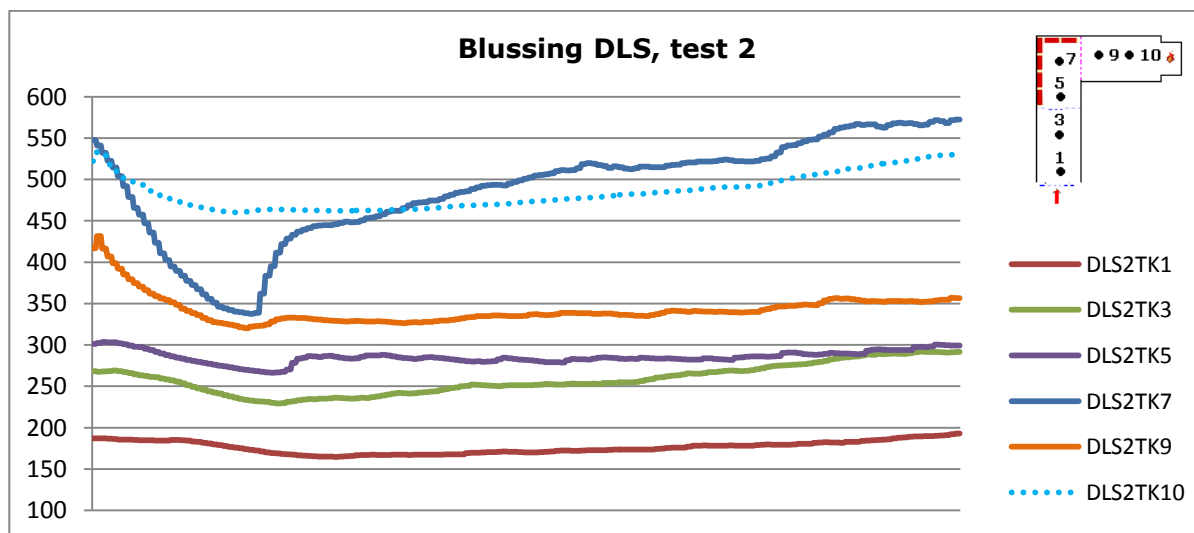
³⁵ Bij HD is er ook een eenmalige ontbranding van de rookgaslaag geweest, maar deze werd ontstoken door de vuurhaard, en kwam volgens de aanwezige waarnemer lang niet zo ver en was vele malen kleiner en smaller.

Figuur 7.1 *Temperatuurverloop van aansteken tot einde test, DLS test 2, thermokoppel 7*

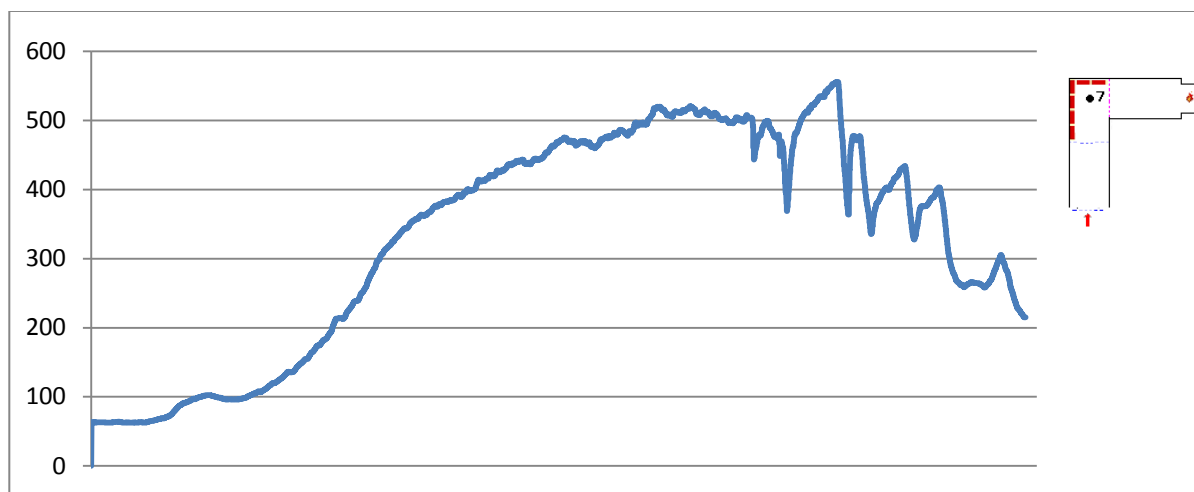


Ook als de temperatuur bekeken wordt over de gehele container, is te zien dat bij deze test de temperatuur van thermokoppel 9 en 10 weliswaar daalt (en later licht stijgt), maar dat achter de brandweerploeg, op thermokoppel 7 na een daling een stijging van de temperatuur plaatsvindt, tot boven het temperatuurniveau voor de start van de blussing. De temperatuur achter de blusploeg loopt op van circa 350 graden C tot circa 560 graden C. Zie ook figuur 7.2.

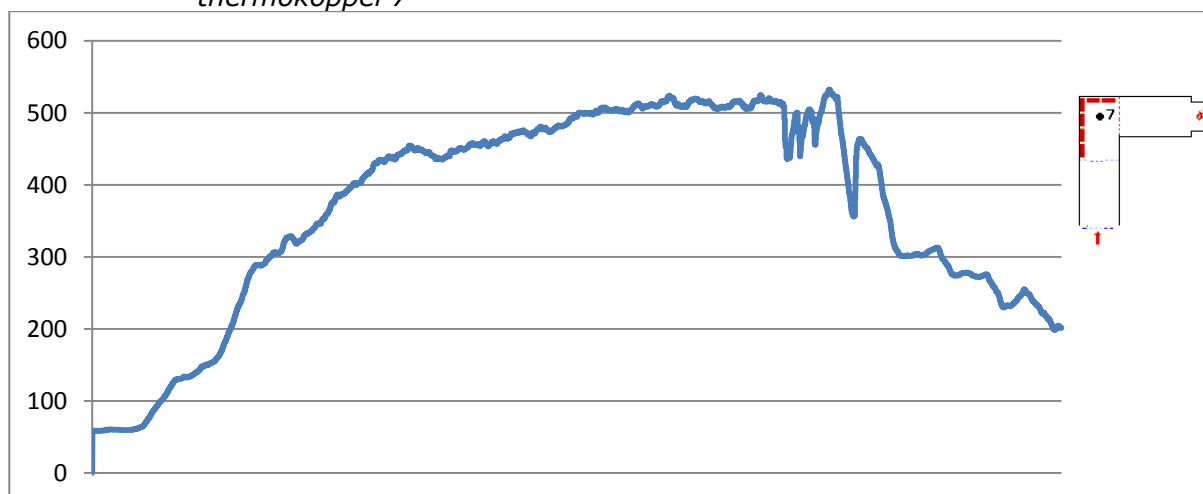
Figuur 7.2 *Temperatuurverloop blussing door gehele container, DLS 2*



Figuur 7.3 *Temperatuurverloop van aansteken tot einde test, DLS test 3, thermokoppel 7*



Figuur 7.4 *Temperatuurverloop van aansteken tot einde test, FD (0,3%) test 2, thermokoppel 7*



Het plotseling ontbranden van een rookgaslaag, zeker als deze door zelfontbranding tot stand komt, kan voor de brandweer leiden tot zeer gevaarlijke situaties. Bovenstaande situaties zouden bij een daadwerkelijke brand in een groter pand tot ongevallen kunnen leiden. Het is opvallend dat deze plotselinge ontbrandingen van de rookgaslaag zich uitsluitend hebben voorgedaan bij de schuimvoerende systemen (twee van de vijf testen met DLS en de uitgevoerde test met Firedos 0,3%). Echter, er zijn ook testen geweest met deze systemen waarin het niet is voorgekomen. Het is daarom niet met zekerheid te zeggen of de plotselinge ontbranding van de rookgaslaag, een direct of indirect gevolg zijn van het rookgaskoelen danwel blussen met schuim. Nader onderzoek hiernaar is nodig.

7.2 Plakkende eigenschappen DLS

Tijdens de test hebben waarnemers opmerkingen gemaakt over in hoeverre DLS bleef plakken aan de wanden en plafonds. De waarnemer merkt op dat zodra de container heet werd, en boven een bepaalde temperatuur kwam, DLS niet meer bleef plakken aan de wanden en plafonds.

In de test is een stenen wand gebouwd in de container. De waarnemers geven aan geen verschil in plakkend vermogen te zien tussen DLS op steen of op staal in de testomgeving.

7.3 Ervaringen rondom warmte en herontsteking

De stoker merkt op dat de temperatuur van de container na blussing met water veel lager aanvoelde dan bij blussing met schuim, waardoor hij eerder naar binnen kon om de ruimte weer klaar te maken voor de volgende test. Ook meldde de stoker dat bij water het vuur beter uit was dan bij schuim.

Een waarnemer merkt op dat het bij lage druk een stuk minder warm was dan bij hoge druk, met als vermoedelijke oorzaak de worplengte. Verder wordt er melding gemaakt dat de herontsteking van HD vele malen heftiger was dan bij LD.

8 Aanvullende testen schuimsystemen

Tijdens de testen bleek er, ondanks de afstemming vooraf over de juiste inzetmethode van de schuimsystemen, toch discussie te zijn over het bijmengpercentage van Firedos (3% versus 0,3%). Daarnaast had de regio die DLS leverde onlangs in een bijscholing het Zweedse klepje voor op de DLS-straalpijp gezien. Dit klepje is bedoeld om schuim in een waaivorm te verspreiden in de ruimte. De vraag rees in hoeverre dit klepje van meerwaarde was.

Daarom is besloten twee aanvullende Firedos testen uit te voeren met een bijmengpercentage van 0,3%, en een aanvullende test met een DLS-straalpijp met klepje.

Als bijvangst van het oorspronkelijke onderzoek zijn de data van deze testen geanalyseerd. Daarbij moet worden opgemerkt dat de testen slechts één (DLS met klepje) respectievelijk twee maal (Firedos 0,3%) zijn uitgevoerd, en daardoor de betrouwbaarheid van de resultaten beperkt is. Meer testen met deze systemen waren om praktische redenen niet mogelijk binnen dit onderzoek. Om een gefundeerd antwoord te geven op de vraag wat het verschil is tussen inzetten met Firedos 3% versus 0,3% en DLS met en zonder klepje zou aanvullend onderzoek nodig zijn.

Om toch een eerste indicatie te geven, zijn de resultaten van deze extra testen hieronder weergegeven en afgezet tegen de resultaten van de DLS- en Firedosystemen in het oorspronkelijke onderzoek.

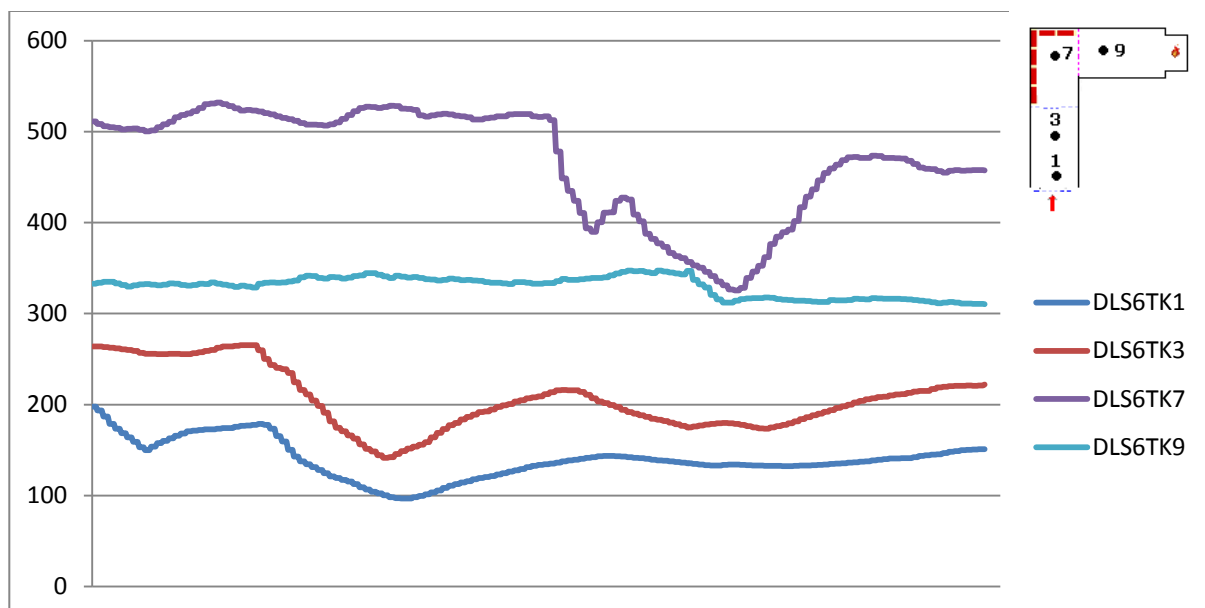
8.1 DLS met klepje ten opzichte van zonder klepje

In onder andere Zweden wordt DLS tijdens de fase van rookgaskoeling voorzien van een klepje. Hierdoor ontstaat een waaivormige straal. De betrokken regio heeft dit klepje in bruikleen vanuit Zweden en heeft gevraagd om ook een test uit te voeren met dit klepje. Er is daarom één extra test uitgevoerd ten aanzien van rookgaskoeling met het klepje. Het temperatuurverloop in de container is weergegeven in figuur 7.1. Er heeft zich tijdens de test een storing voorgedaan in thermokoppel 5, waardoor deze niet is meegenomen in de analyse³⁶.

Uit figuur 8.1 blijkt dat er een temperatuurdaling is waar te nemen op thermokoppel 1 en 3 bij de eerste serie rookgaskoelingen, en op thermokoppel 3, 7 en 9 bij de tweede serie rookgaskoelingen.

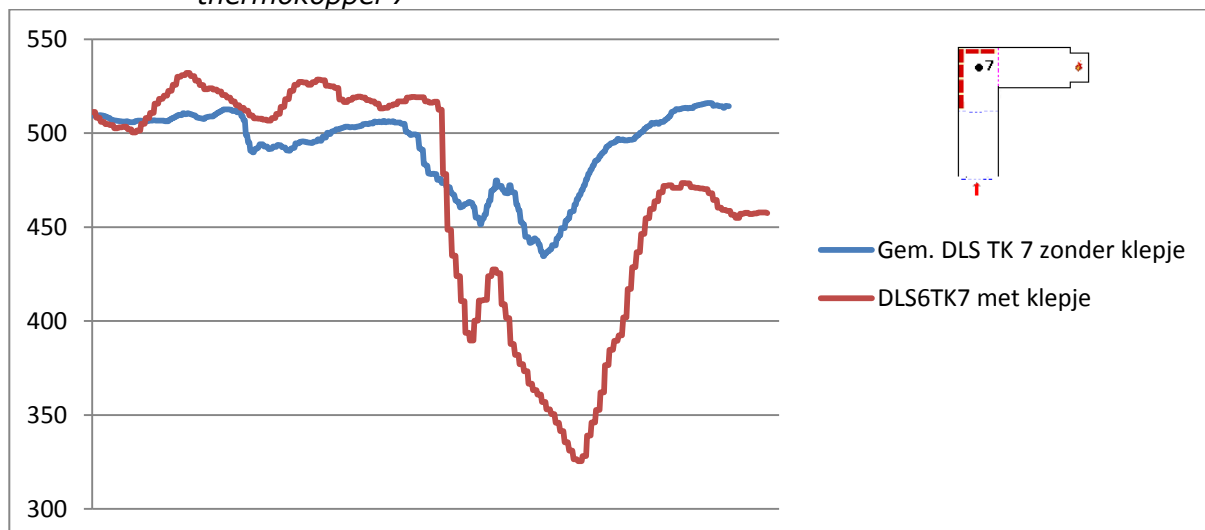
³⁶ De thermokoppel 5 vertoonde geen enkele variatie tijdens de test. Het is vrijwel uitgesloten dat dit daadwerkelijke testwaarden zijn. Vermoed wordt dat de thermokoppel in het isolatiemateriaal, dat rondom de houder bevestigd was, is terechtgekomen.

Figuur 8.1 *Temperatuurverloop rookgaskoeling DLS met klepje, per thermokoppel*



Als de test vergeleken wordt met de DLS-testen zonder klepje, komt het beeld uit figuur 8.2 naar voren.

Figuur 8.2 *Temperatuurverloop rookgaskoeling DLS met en zonder klepje, thermokoppel 7*



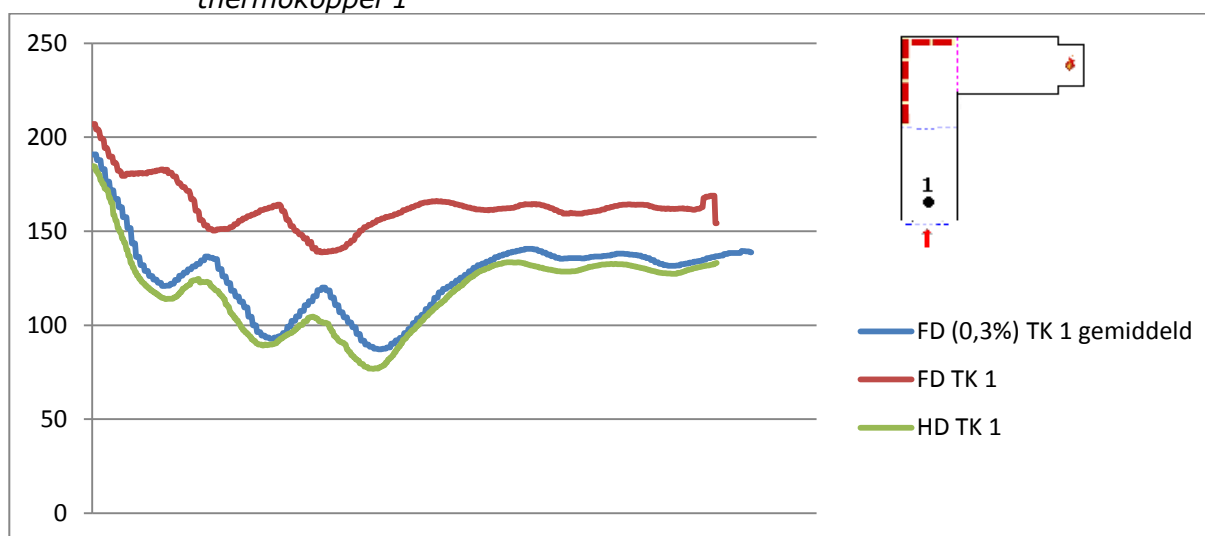
Uit de figuren lijkt er sprake van een positief effect bij gebruik met het klepje. Er is echter slechts één test gedaan, waardoor dit ook door toeval veroorzaakt kan zijn. Daarbij moet worden opgemerkt dat tijdens de inzet met het klepje de manschappen nog voor het afblussen naar buiten zijn gegaan. Zij waren, mede door het gebruik van het klepje en het doordringen van het water in het pak door de toevoeging van het schuim, dusdanig nat dat zij last kregen van het doorslaan van warmte door het pak. Omwille van eigen veiligheid is de test toen beëindigd.

8.2 Firedos met 0,3% ten opzichte van Firedos 3%

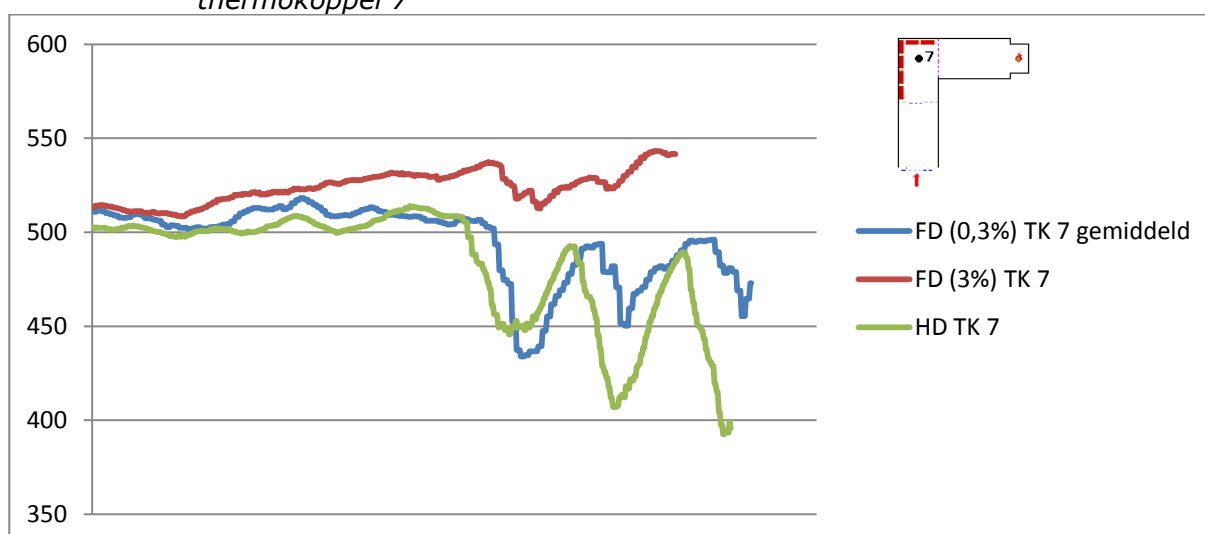
Omdat regio's verschillend omgaan met het bijmengpercentage van Firedos, zijn er na de standaard testen met een bijmengpercentage van 3% ook nog twee testen uitgevoerd met Firedos 0,3%. De resultaten van de twee experimenten Firedos 0,3% zijn onderling met elkaar vergeleken. De metingen van de twee testen zijn goed met elkaar vergelijkbaar. Daarom zijn de resultaten van beide testen gemiddeld.

Als de resultaten van Firedos 0,3% worden gezet tegenover het gemiddelde van Firedos 3% en het gemiddelde van HD-inzetten, blijkt dat Firedos met een bijmenging van 0,3% bijna net zo goed rookgassen koelt als HD. Bij een hoger bijmengpercentage neemt het rookgaskoelend vermogen af.

Figuur 8.3 Temperatuurverloop rookgaskoeling FD(3%) en FD(0,3%) versus HD, thermokoppel 1

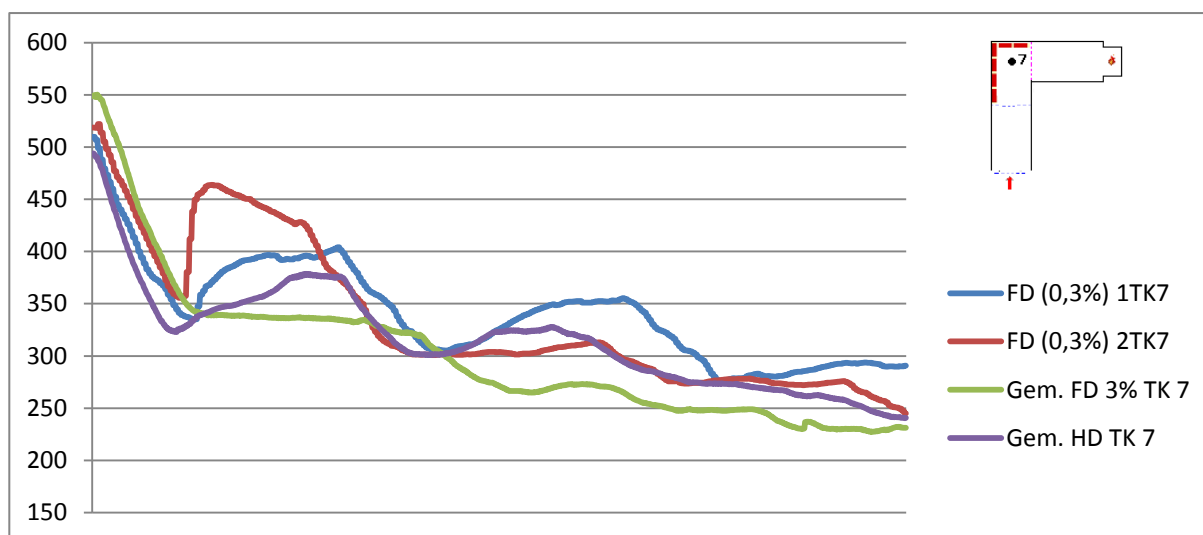


Figuur 8.4 Temperatuurverloop rookgaskoeling FD(3%) en FD(0,3%) versus HD, thermokoppel 7



In figuur 8.5 zijn de resultaten voor blussing weergegeven. Ten aanzien van de blussing lijkt Firedos 3% het meest effectief. Een bijmenging van 0,3% is veel minder effectief dan 3%, en lijkt iets minder effectief dan alleen water via HD.

Figuur 8.5 *Temperatuurverloop blussing FD(3%) en FD(0,3%) versus HD, thermokoppel 7*



Het betreft echter een beperkt aantal testen, waardoor toeval mogelijk een grotere rol speelt. Om met zekerheid uitspraken te kunnen doen over verschillen in bijmengpercentage, zou een onderzoek gericht op Firedos met verschillende percentages zinvol zijn.

9 Conclusies en aanbevelingen

9.1 Conclusies

In deze paragraaf wordt antwoord gegeven op de onderzoeksvragen zoals gesteld in de inleiding.

1. Wat is er in de literatuur bekend over de effectiviteit van schuimvoerende systemen op het gebied van rookgaskoeling en blussing ten opzichte van HD en LD?

Uit diverse geraadpleegde onderzoeken is gebleken dat DLS minder goed in staat is om rookgassen te koelen dan water. Bij het enige op dit moment bij het onderzoekteam bekende onderzoek dat hiervan afwijkt, blijkt men in de testuitvoering geen feitelijke rookgaskoeling, maar een blussing te hebben uitgevoerd, wat tot een daling van de rookgastemperatuur leidde.

Het rookgaskoelend vermogen van DLS is niet alleen lager als het gaat om het inbrengen van het middel in de rookgaslaag, maar ook als het wordt aangebracht op wanden en plafonds. Wel leidt dit aanbrengen en afdekken van DLS tot het voorkomen van pyrolyse van brandbare materialen. Echter, dit is feitelijk geen rookgaskoeling maar uitsluitend het voorkomen van een toename van brandbare rookgassen in de ruimte. Wel blijkt dat DLS een grotere effectiviteit dan water heeft, waar het gaat om de het creëren van een knockdown en het voorkomen van herontsteking.

Op basis van de resultaten van de literatuurstudie lijkt het erop dat het uitvoeren van een offensieve binneninzet met DLS weliswaar zorgt voor een snelle knockdown, maar dat dit vanwege het beperkte rookgaskoelend vermogen, en daarmee de aanwezigheid van brandbare, hete rookgassen, zeer risicovol kan zijn. Deze visie wordt onderschreven door de Werkgroep Alternatieve Blussystemen (WAB³⁷). De bij het projectteam bekende gegevens uit eerder praktijkonderzoek geven daarentegen niet voldoende inzicht in de effectiviteit voor de toepassing van Drukluchtschuim voor rookgaskoeling op de wijze zoals het binnen enkele regio's in Nederland wordt toegepast. Bovendien is de effectiviteit bij rookgaskoeling van Hogedruk, Lagedruk en Firedos, op de wijze zoals bij de Nederlandse brandweerkorpsen wordt toegepast, nog nauwelijks in een experimentele setting onderzocht en op navolgbare wijze beschreven.

2. Wat is de effectiviteit van de schuimvormende systemen DLS en Firedos, HD en LD op het gebied van rookgaskoeling bij een offensieve binneninzet bij een woonkamerbrand?

Uit de testen is gebleken dat het temperatuurverloop over de gehele rookgaskoeling (op TK 5) bij LD de grootste daling tot gevolg heeft. HD en FD hebben een onderling vergelijkbaar en minder sterk koelend effect op de temperatuur in de rookgassen. DLS laat de minste koeling van de rookgassen zien. Bij DLS daalt de temperatuur na twee series rookgaskoelingen 41 C, terwijl bij LD de temperatuur 138 C gedaald is. Verder zet het koelend effect van met name LD gedurende de rookgaskoeling door, ook als in de tussenliggende tijd geen pulsen gegeven worden en er nieuwe hete rookgassen worden aangevoerd. Dit geldt in mindere mate voor FD en HD, en nauwelijks voor DLS.

Als de twee series rookgaskoelingen afzonderlijk worden bekijken, blijkt dat FD op basis van de trendlijn in de eerste serie de rookgassen het minst koelt. LD en HD koelen de rookgassen het best. Ook bij DLS is een daling van de rookgastemperatuur te zien. Bij de tweede serie rookgaskoelingen is bij LD wederom het beste resultaat te zien, zowel ten opzichte van de overige systemen als ten opzichte van de eerste serie rookgaskoelingen. Opvallend is dat DLS dan het slechtste resultaat laat zien met een totale temperatuuurdaling van 20 C. Wat opvalt is dat FD in de eerste

³⁷ Netwerk Repressie van Veiligheidsregio Noord-Holland Noord

rookgaskoelingsserie slechter scoort ten opzichte van DLS (en LD en HD), terwijl in de tweede serie, verderop in de container, DLS nauwelijks een koeling van de rookgassen tot gevolg heeft, en FD juist beter scoort (ongeveer even goed als HD). Mogelijk is het relatief positieve effect bij DLS in de eerste serie veroorzaakt door een aanzuigende werking van de DLS-straal waardoor koude omgevingslucht in de container is gebracht. Een mogelijke verklaring waarom Firedos de eerste keer weinig effect heeft, en in de tweede serie wel effectief lijkt, is dat de vermenging in het begin anders is in het begin dan bij de tweede serie.

Als naar het temperatuurverloop op hetzelfde moment in de gehele container wordt gekeken, valt op dat bij LD en HD de temperatuur zowel voor als achter de brandweerploeg daalt tijdens de rookgaskoeling. Bij FD is er alleen effect in de directe omgeving. Bij DLS is een kortstondige daling vóór de brandweerploeg te zien, gevolgd door een stijging van de temperatuur zowel voor als achter de brandweerploeg.

Als het koelend vermogen afgezet wordt tegen het waterverbruik, dan blijkt dat het rookgaskoelend vermogen per liter ingebracht water het grootst is bij LD. De schuimvormende systemen koelen het minst per ingebrachte liter water, waarbij DLS het slechtst scoort. Als het koelend vermogen wordt afgezet tegen het ingebracht volume blusmiddel (water of water met lucht en schuim) dan is het verschil tussen de systemen die uitsluitend water gebruiken, en de schuimvoerende systemen, nog groter.

Bij de twee van de vijf testen met DLS, en de extra uitgevoerde test met Firedos 0,3% zijn plotselinge ontbrandingen van de rookgaslaag waargenomen. Omdat deze ontbrandingen bij een deel van de experimenten met DLS en FD is voorgekomen, is niet met zekerheid te zeggen of dit het gevolg is van het rookgaskoelen danwel blussen met schuim. Nader onderzoek is hiervoor nodig.

De extra uitgevoerde test met een klepje op de DLS-straalpijp laat weliswaar een betere rookgaskoeling zien dan zonder klepje, maar aangezien deze test slechts eenmalig is uitgevoerd, zijn hierover geen conclusies te trekken. Hetzelfde geldt voor de aanvullende test met 0,3% in plaats van 3% bijmengpercentage voor Firedos: het resultaat lijkt beter maar betrouwbare uitspraken zijn hierover niet te doen.

Concluderend kan gesteld worden dat blussystemen op basis van water veel beter in staat zijn tot rookgaskoeling dan de schuimvormende systemen, daarbij uitgaande van de bij dit onderzoek gehanteerde inzetmethode. DLS op de wijze zoals ingezet tijdens de experimenten, dat wil zeggen door middel van het geven van korte shots in de rookgaslaag, koelt alleen voorin in de ruimte de rookgassen als dit van buitenaf gebeurt, vermoedelijk door de aanvoer van koude omgevingslucht, waardoor een vorm van repressieve ventilatie ontstaat. DLS is op deze wijze, niet in staat om de temperatuur van de rookgassen tijdens een binneninzet verderop in de container dusdanig te verlagen, dat dit leidt veilige omstandigheden van een binnenaanval. Dit geldt in mindere mate voor Firedos, die wel verderop in de container koelt, maar uitsluitend in de directe omgeving. Een binneninzet met LD is voor rookgaskoeling het meest effectief en veilig gebleken, zelfs als dit in vergelijking met HD wordt afgezet tegen het waterverbruik³⁸. Het is nadrukkelijk niet zo dat naar aanleiding van de experimenten en het rapport geconcludeerd kan worden dat een andere inzetmethode als onderzocht tijdens het onderzoek, niet tot betere resultaten zou kunnen leiden met name daar waar het DLS betreft. Er is immers slechts één methode om DLS toe te passen onderzocht.

³⁸ Alle systemen zijn getest binnen de in paragraaf 3.6 beschreven methode van rookgaskoeling en blussing. De resultaten zijn daarom alleen geldig voor deze manier van inzetten.

3. Wat is de effectiviteit van de schuimvormende systemen DLS en Firedos, HD en LD op het gebied van blussend vermogen bij een offensieve binneninzet bij een woonkamerbrand?

HD en DLS realiseren beide de snelste knockdown waarbij bij HD het minste water is gebruikt. Firedos heeft de langste tijd nodig voor het creëren van een knockdown. Echter, de gemiddelde duur tot de eerste herontsteking is voor Firedos het hoogst, hoewel de variatie binnen de testen groot is. Dit geldt in mindere mate voor LD. Hoewel DLS een snelle knockdown creëert, is er sprake van een relatief snelle herontsteking binnen de gekozen onderzoeksopzet, waarbij tussen de testen met DLS telkens vrijwel identieke resultaten gevonden worden.

De blussing met Firedos is wat betreft temperatuurdaling (ongeacht het verbruik) bij de eerste knockdown het meest effectief. De blussing met LD en HD geven een gemiddelde temperatuurdaling die beter is dan met DLS maar minder dan FD. Als het wordt afgezet tegen het water- en blusmiddelverbruik, dan scoren HD en LD het beste.

De temperatuurdaling bij LD en FD in de container is gelijkmatig. Bij DLS en HD is ook een dalende lijn te zien, maar het valt op dat de temperatuur na daling vrij direct pieken weergeeft, die de koelende werking van de blussing deels teniet doen. Dit is bij DLS sterker dan bij HD.

Concluderend kan gesteld worden dat FD weliswaar de langste tijd voor de knockdown nodig heeft, maar vervolgens erg effectief is in het omlaag brengen van de temperatuur. Er wordt echter ook het meeste blusmiddel ingebracht. Als het wordt afgezet tegen het verbruik, dan scoren HD en LD voor blussing het beste. DLS scoort goed in het creëren van een snelle knockdown, maar geeft een beperkte daling van de temperatuur in de ruimte (van 38 C) waarbij er tussen de shots sprake is van een temperatuurtoename.

Overige bevindingen

Tijdens de opzet en uitvoering van het onderzoek is gebleken dat er voor de schuimvormende systemen geen eenduidige inzetwijze is. De inzetwijze van DLS, en het bijmengpercentage van Firedos, variëren tussen de verschillende regio's. Het is bekend dat de gehanteerde wijze van inzet van het gebruikte DLS systeem, niet gelijk is aan de door de leverancier BMT en haar fabrikant geadviseerde inzetmethode voor de binneninzet. Bij deze inzetmethode dienen de wanden en het plafond te worden ingeschuimd door middel van het geven van pulsen van 3-5 seconden.

Centrale onderzoeksvraag: Hoe verhoudt de effectiviteit van DLS en Firedos, als het gaat om het rookgaskoelend effect en de bluskracht bij een offensieve binneninzet, zich tot elkaar en ten opzichte van Lage druk en Hoge Druk?

Zowel uit de literatuurstudie als uit de praktijkexperimenten blijkt dat rookgaskoeling met DLS³⁹ weinig effectief is en niet leidt tot een substantiële rookgastemperatuurverlaging wanneer gebruik wordt gemaakt van korte shots in de rookgaslaag, met name niet bij inzet verder in de ruimte, in vergelijking tot watervoerende systemen. Een verhoging van de temperatuur is bij DLS waargenomen, evenals een ontbranding van de rookgaslaag. Dit kan in de brandweerpraktijk tot gevaarlijke situaties leiden.

Firedos met 3% lijkt voor rookgaskoeling minder effectief dan water. Bij minder bijmenging (0,3%) wordt Firedos bijna net zo efficiënt als HD. Minder schuimtoevoeging leidt dus tot betere prestaties op rookgaskoeling.

In de blussing creëert DLS weliswaar een net zo snelle knockdown als HD, maar de temperatuur in de omgeving van de vuurhaard blijft hoog. Hierdoor bestaat er het risico op herontsteking van de omgeving. Firedos zorgt bij de blussing voor de grootste temperatuurdaling en heeft van alle geteste systemen het langste effect in het

³⁹ binnen de Nederlandse situatie en onderzochte inzetmethode

voorkomen van herontsteking. Echter, Firedos is in de rookgaskoeling minder effectief dan de watervoerende systemen.

Alles in aanmerking genomen, dan lijkt de binnenaanval op de traditionele wijze met Lagedruk het meest veilig. Ook met Hogedruk is dit, zij het in mindere mate, goed mogelijk. Gezien het slechte rookgaskoelend vermogen van DLS op de wijze zoals in het onderzoek is ingezet (korte shots in de rookgaslaag), en het beperkt rookgaskoelend vermogen van FD, kan de binneninzet met uitsluitend één van de schuimvormende systemen, leiden tot gevaarlijke situaties. Met nadruk willen wij hierbij vermelden dat deze constatering enkel en alleen geldt uitgaande van de onderzochte methode.

9.2 Aanbevelingen

Op basis van de onderzoeksresultaten worden de volgende aanbevelingen gedaan:

1. Voor een veilige binneninzet met een van de schuimvormende systemen middels de beschreven inzetmethode, is het noodzakelijk de inzet te combineren met een ander inzetstelsel dat effectief rookgassen koelt.
2. Zorg voor een eenduidige, op praktijkonderzoek gebaseerde effectieve inzetwijze van DLS en Firedos, uitgaande van de gebruikelijke bouwwijze in Nederland.
3. Overweeg of LD, gezien de resultaten, meer dan op dit moment het geval is, onderdeel zou moeten zijn van de standaard inzettechniek voor een binneninzet.
4. Onderzoek aanvullend op dit onderzoek de effectiviteit van de onderzochte systemen bij andere typen branden, onder andere omstandigheden en met toepassing van eventueel andere inzetmethoden.

Bijlagen

Bijlage 1: Literatuurlijst

Dikkenberg, R. en Groenewegen, K (2012). Praktijkexperimenten Technieken Offensieve Buitenzet.

Folkesson, O. en Millbourn, M. (2008). Släcksystem för lätta räddningsfordon, Lund, Lund University.

Geurts, S.G. en Snuverink, M. (2001). Toepassing van Hi-Ex inside air brandblussystemen. Eindrapport. Tebodin BV, Den Haag.

Research Station for Fire Protection Techniques, (2000), Extinguishing capability of the "Schmitz ONE SEVEN System" in a full scale room fire experiment Compressed Air Foam System (CAFS). Karlsruhe University (TH), Karlsruhe

Kim, A.K. en Crampton, G.P (2009). Evaluation of fire suppression effectiveness of manually applied compressed air-foam (CAF) system. National Research Council Canada, Orlando.

Lyckeback, E. en J Öhrn (2012). Investigation on the gas-cooling Effects of CAFS. Lund University, Lund.

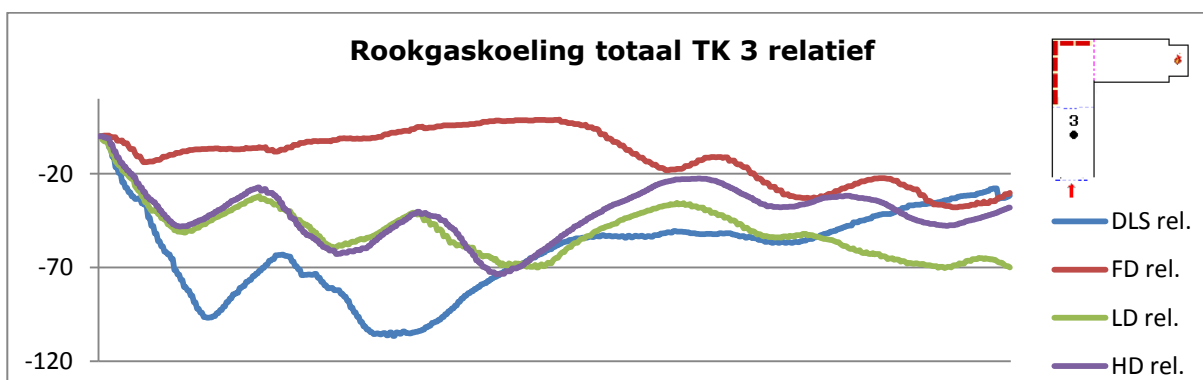
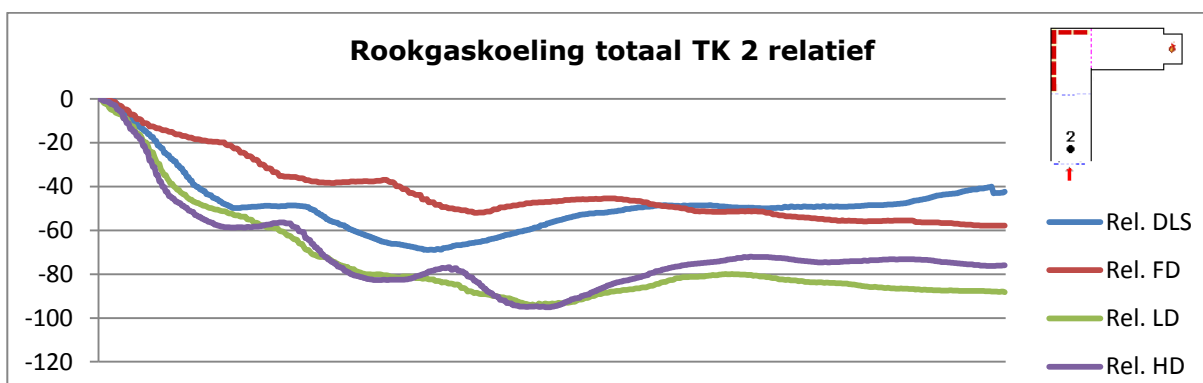
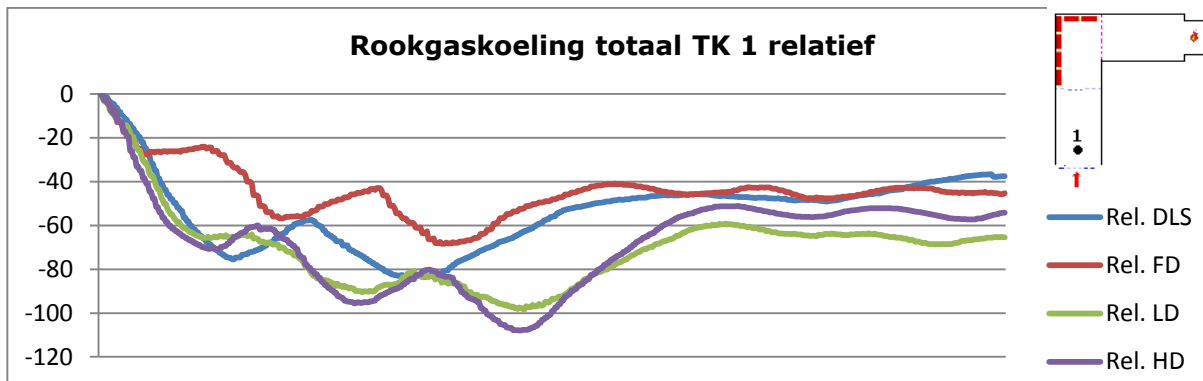
Richards, M. (2003). CAFS in Structural Firefighting. Arkansas Tech University, Arkansas.

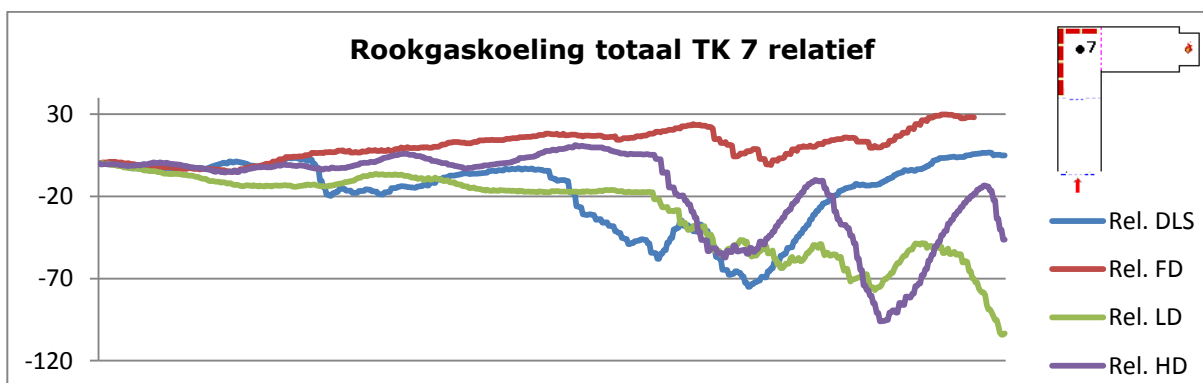
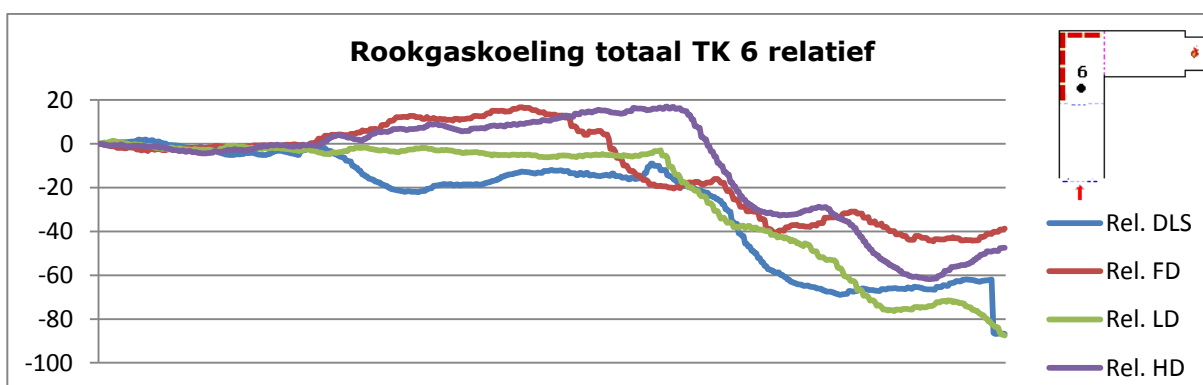
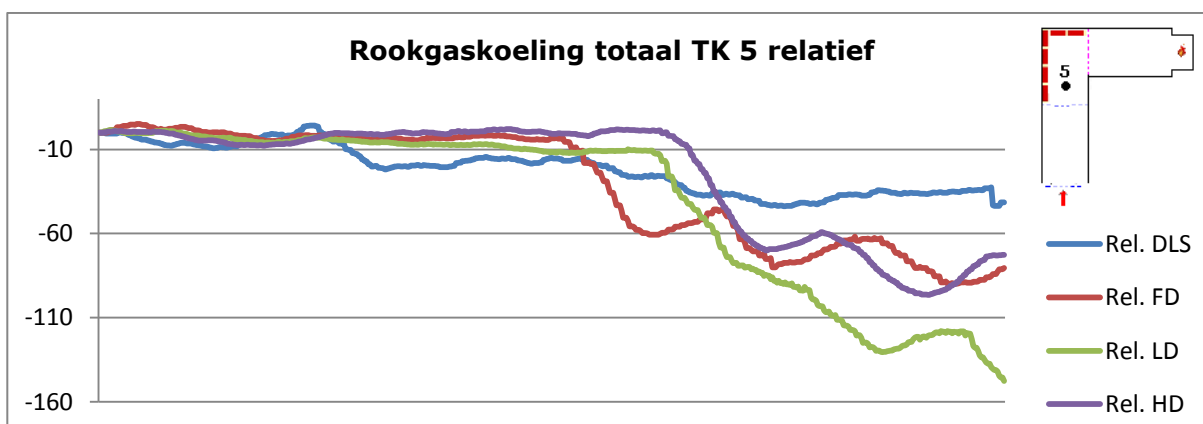
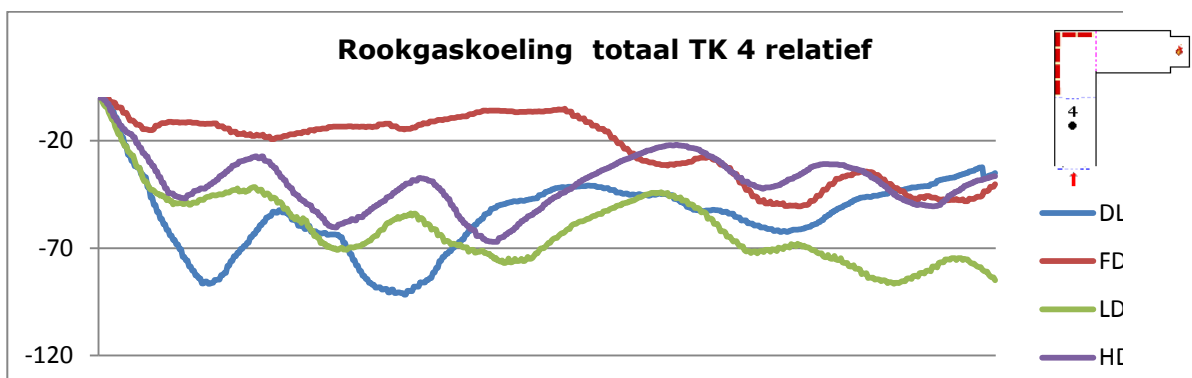
Taylor, R. (1997). CAFS in Limiting Staffing Conditions. Morristown Fire Bureau, Morristown.

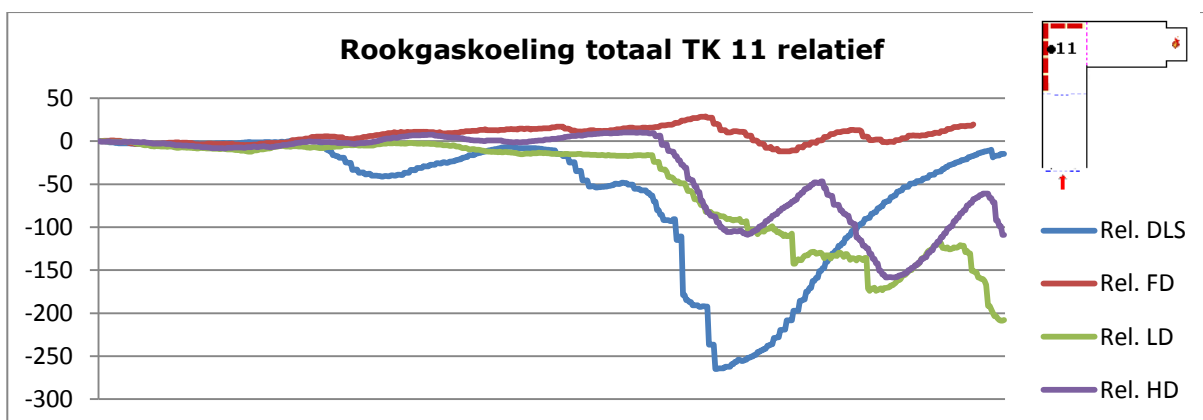
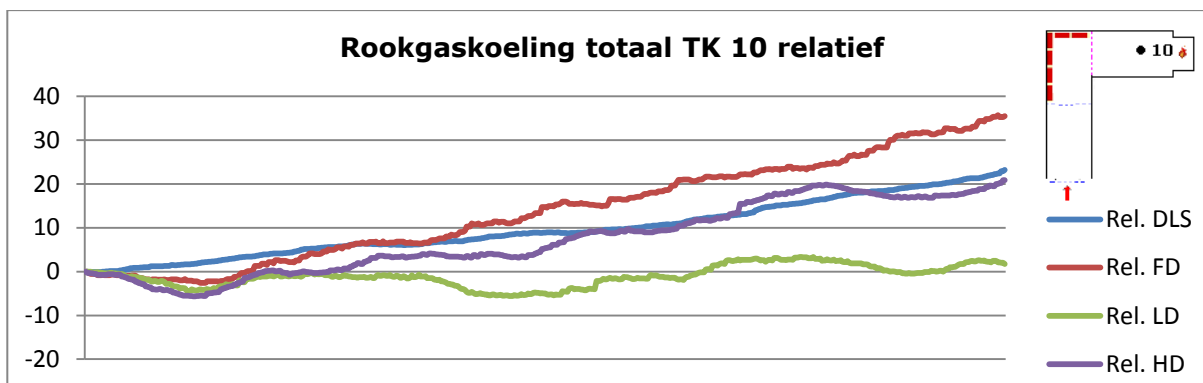
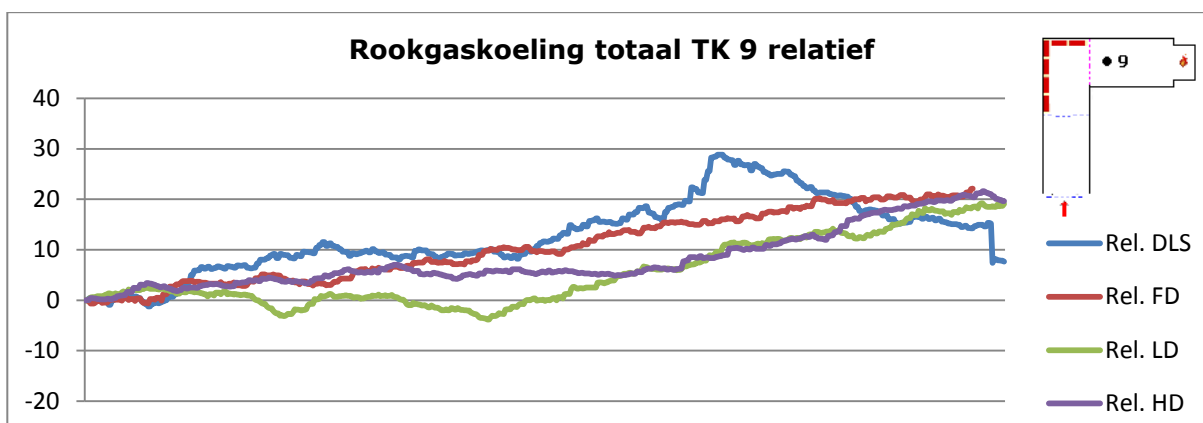
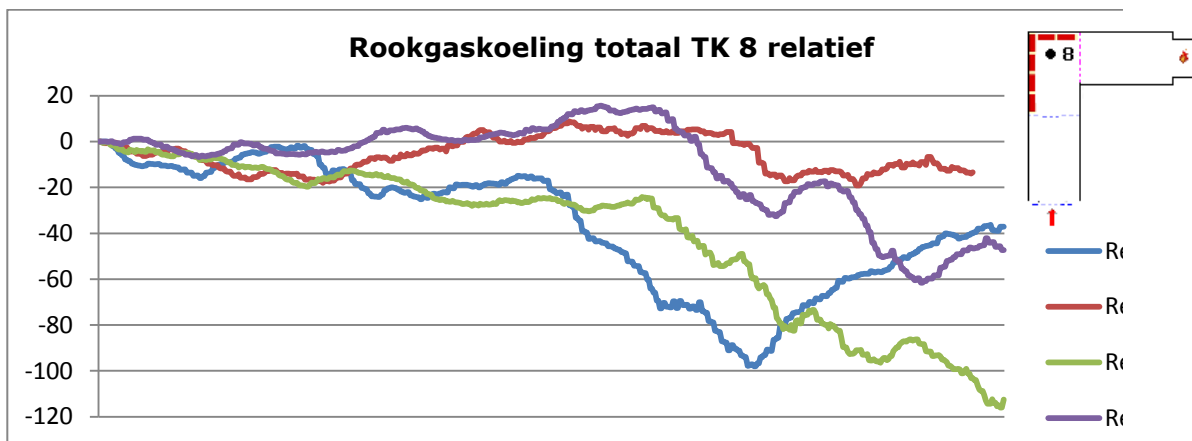
Zhang, J., Delichatsios, M. & O'Neill, A. (2011). Assessment of gas cooling capabilities of compressed air foam systems in fuel- and ventilation-controlled compartment fires. Journal of Fire Sciences, 29(6), pp. 544-554.

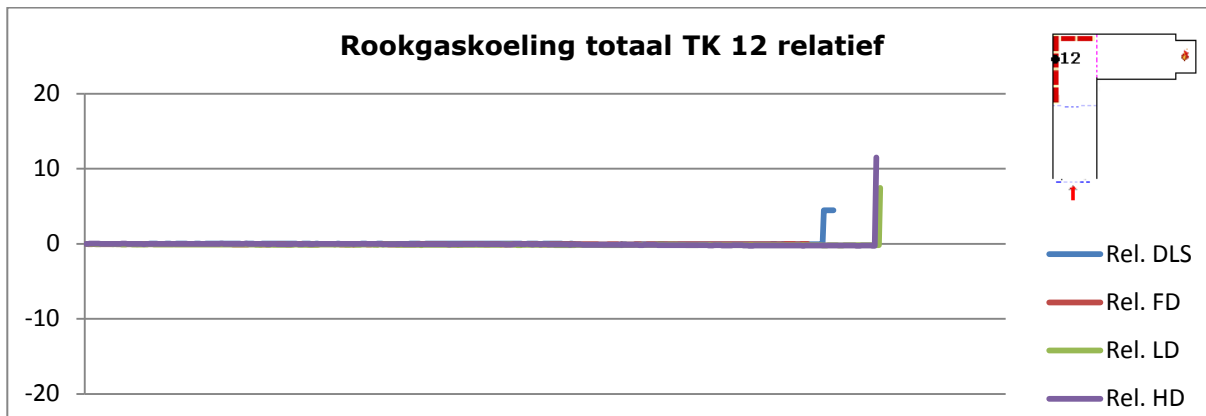
Werkgroep alternatieve blussystemen (2013). Literatuuronderzoek naar drukluchtschuim voor gebruik op de tankautospuit. Veiligheidsregio Noord-Holland Noord, Netwerk Repressie.

Bijlage 2: Grafieken rookgaskoeling

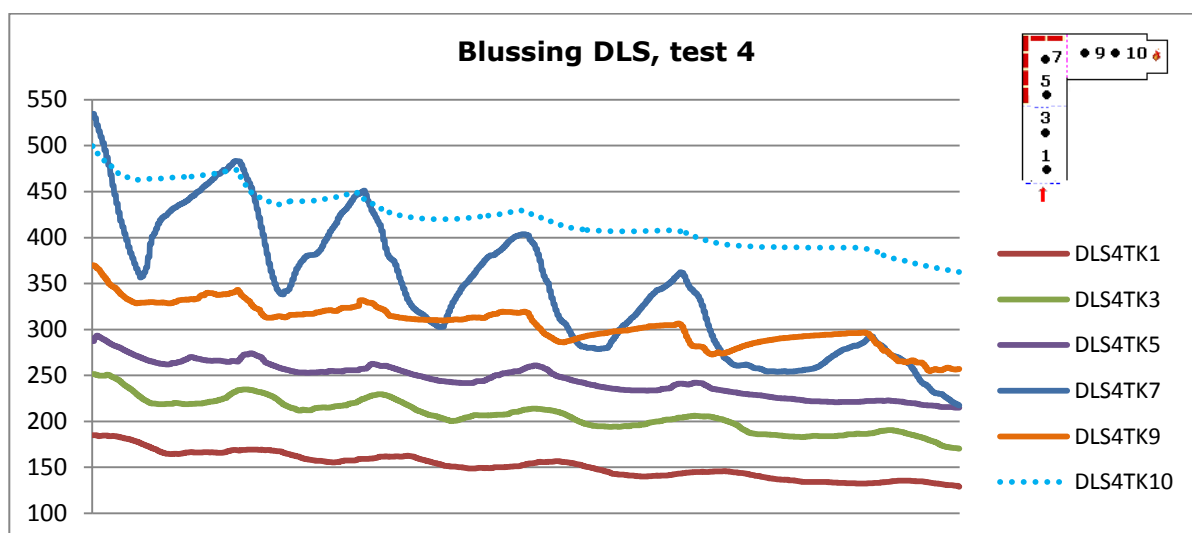
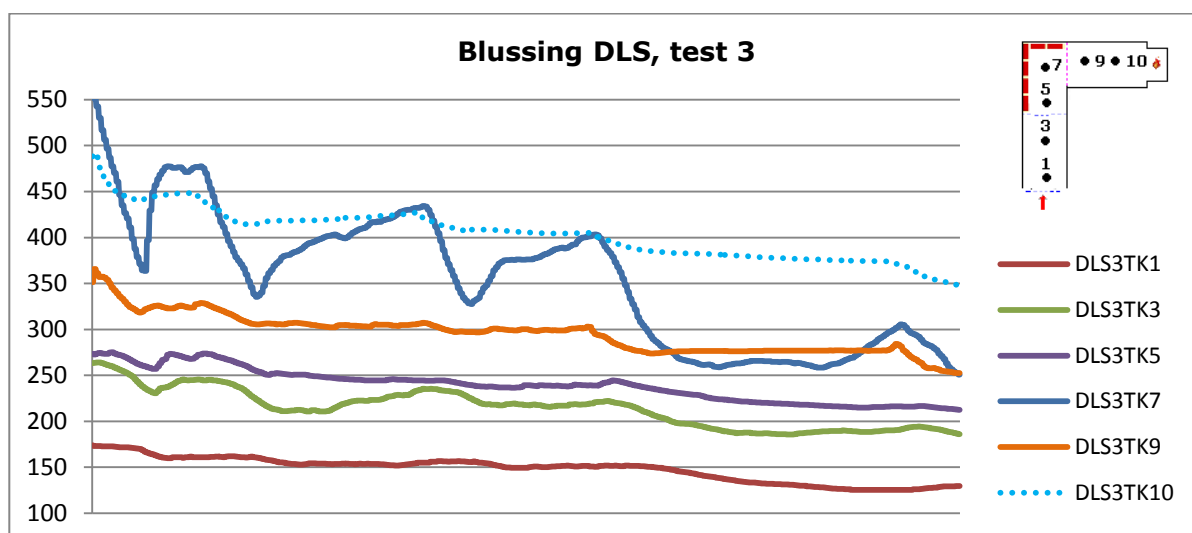
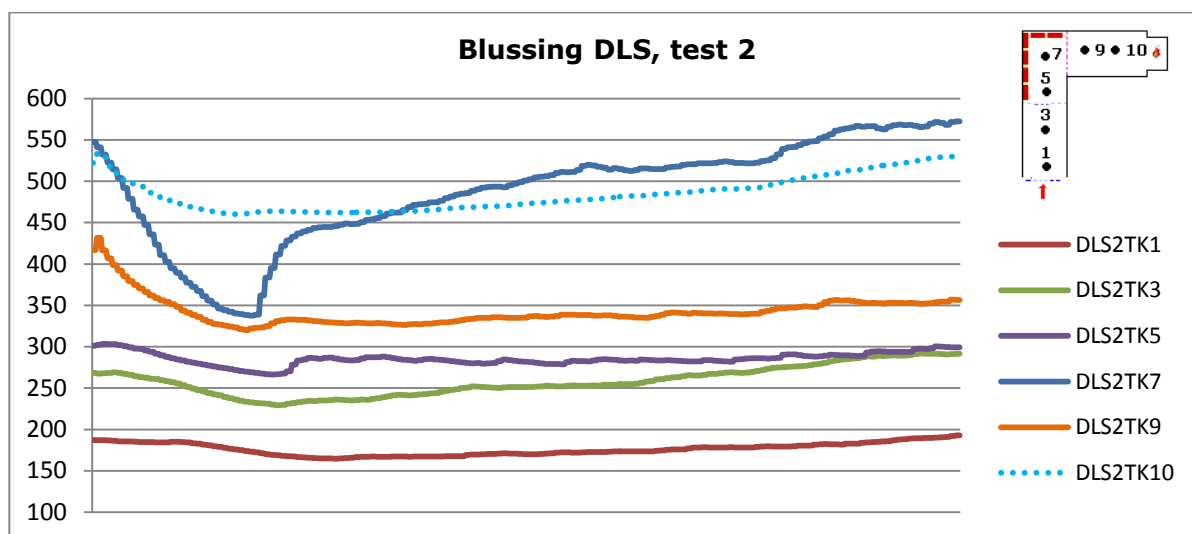


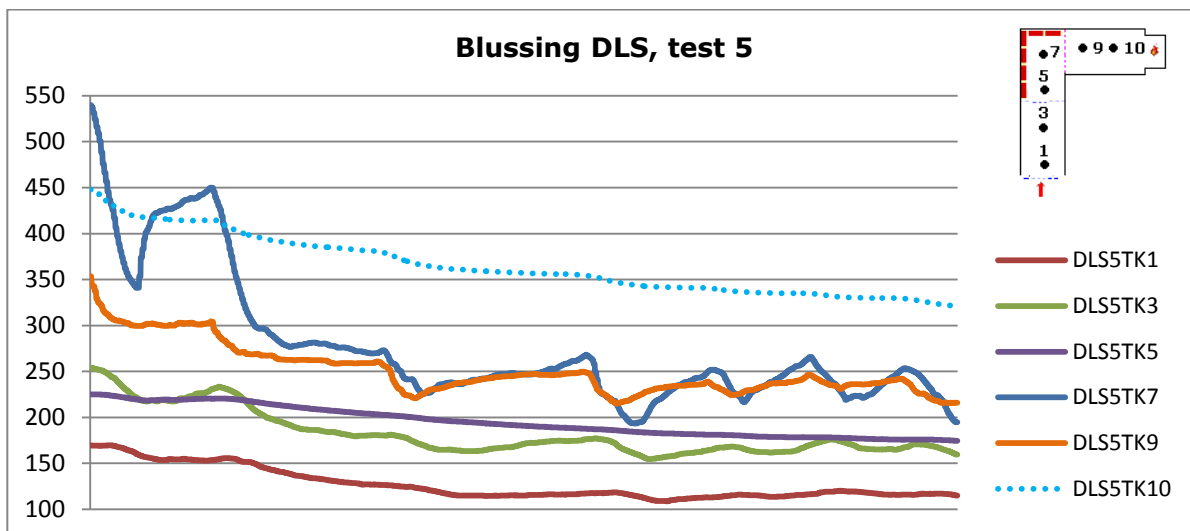


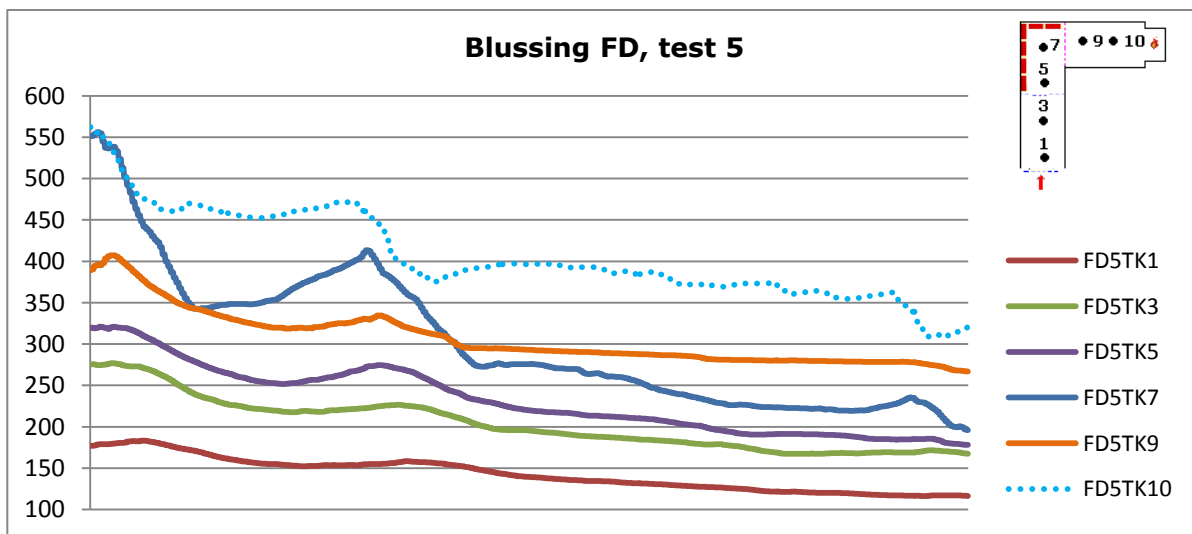
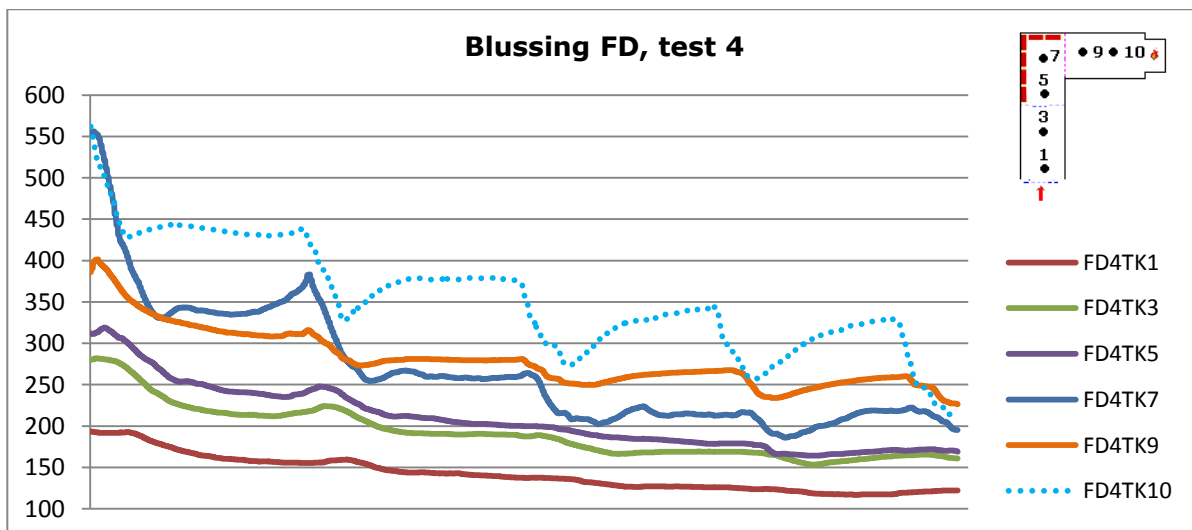
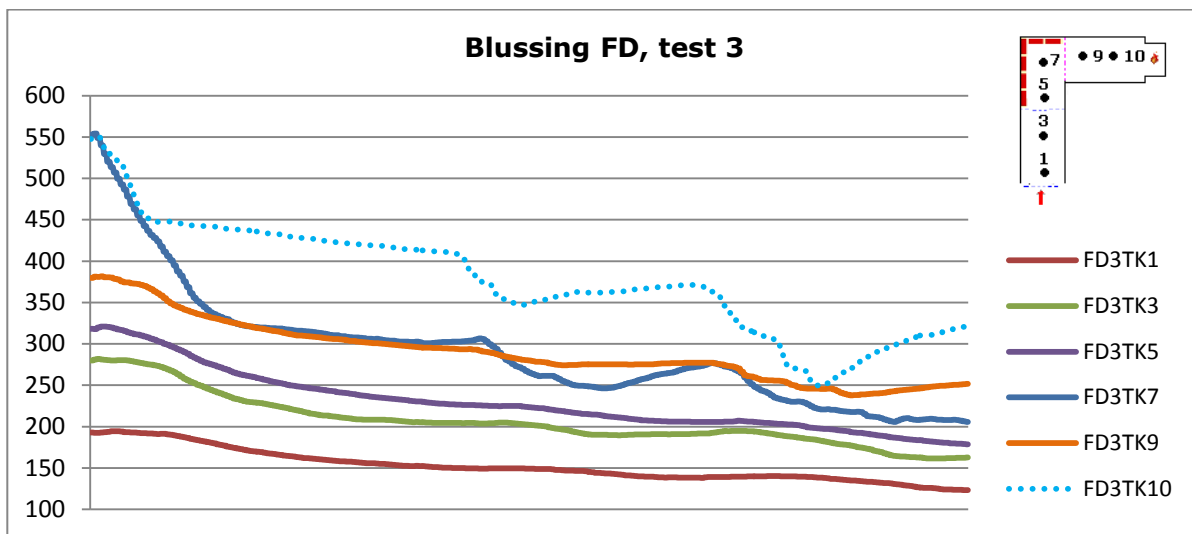


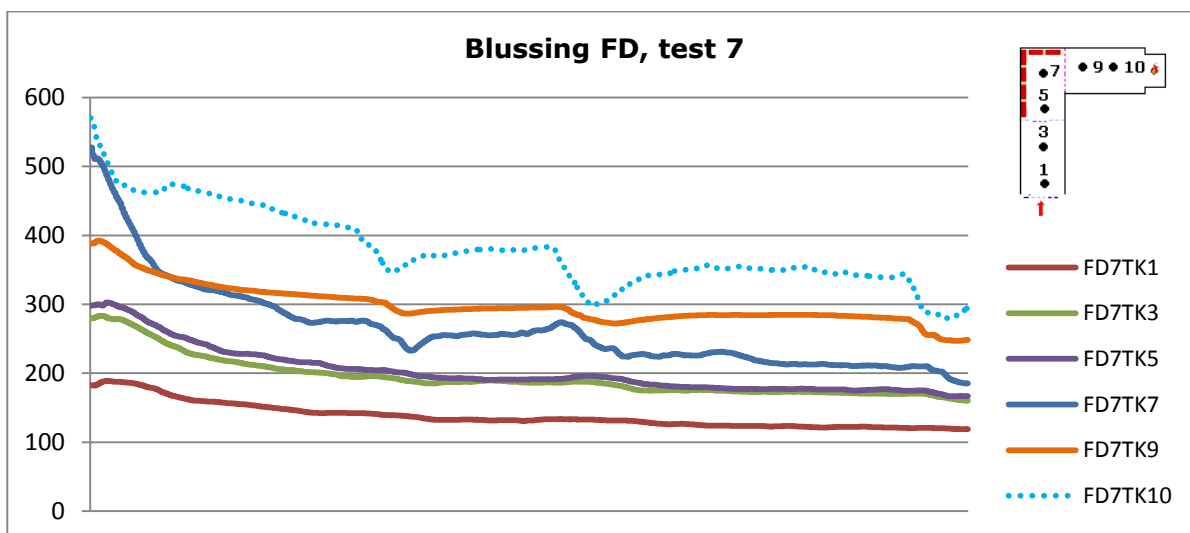
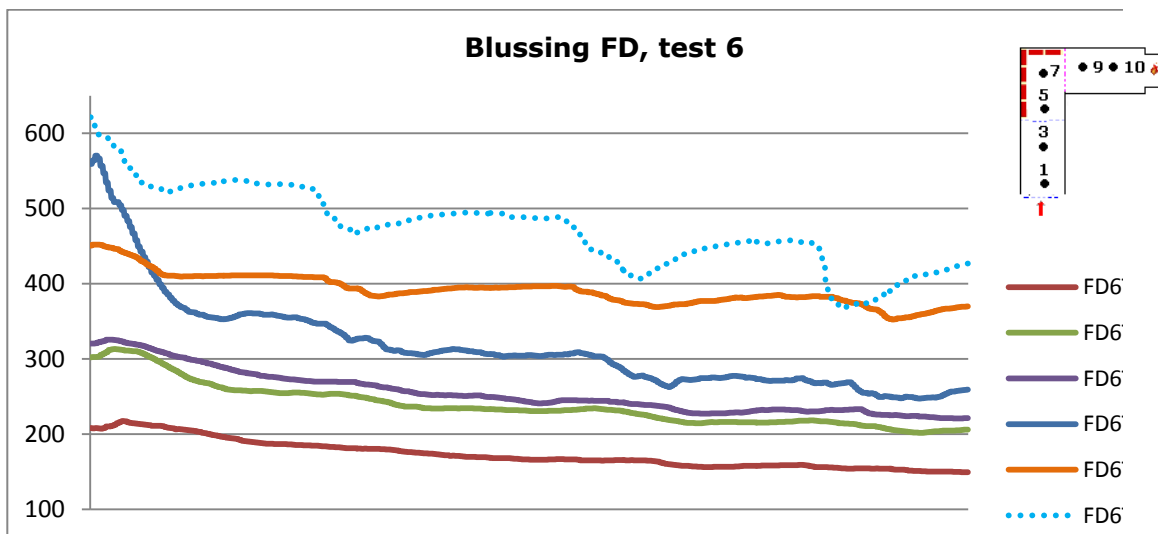


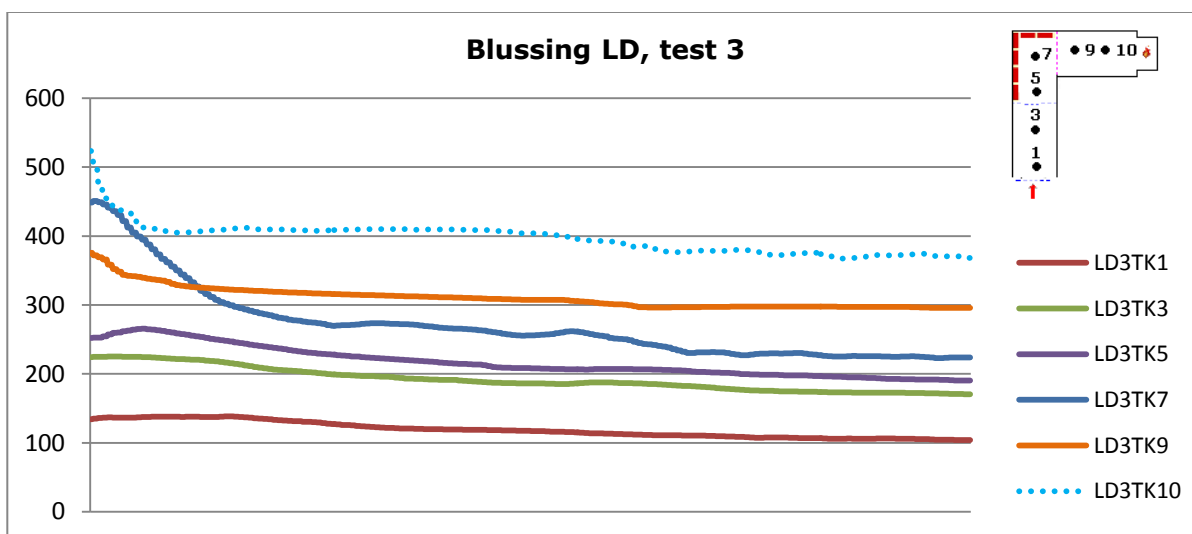
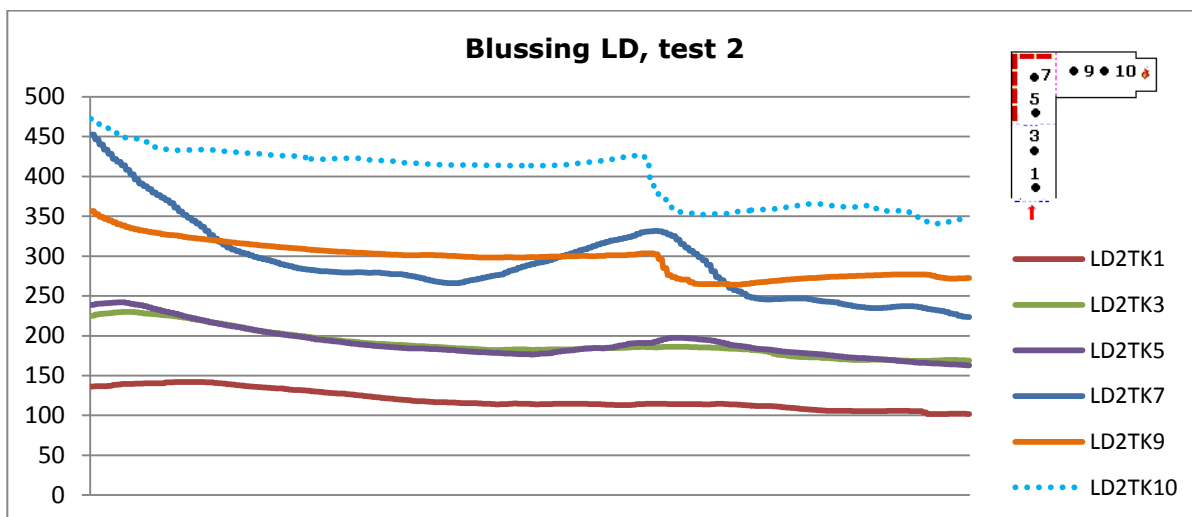
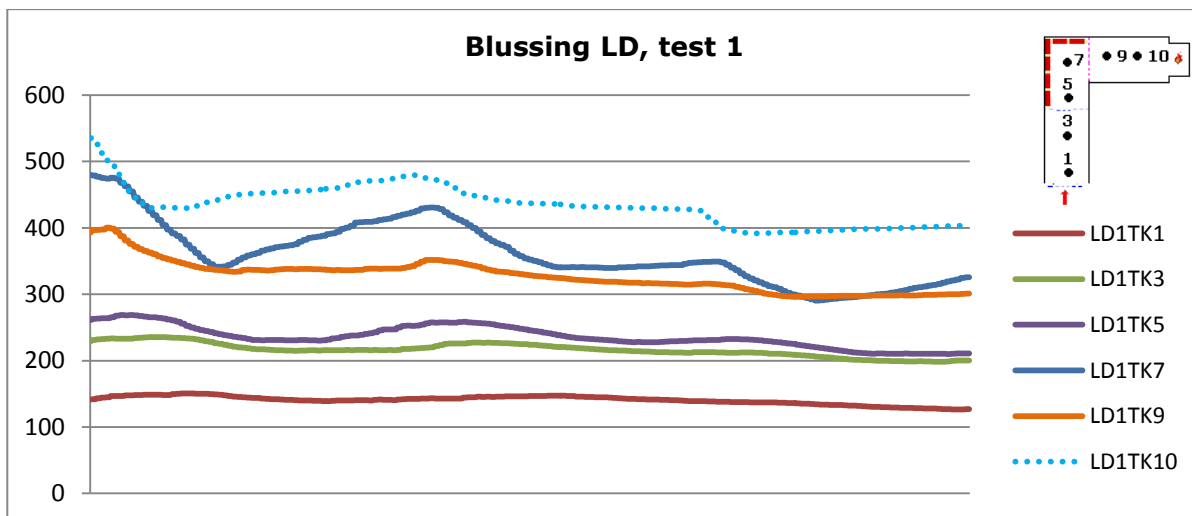
Bijlage 3: Grafieken blussing

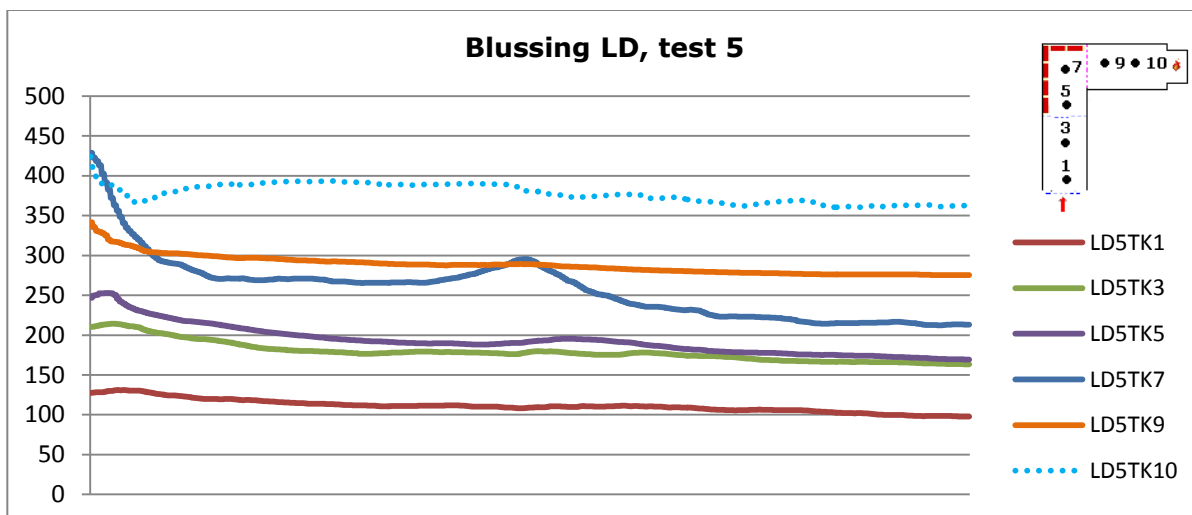
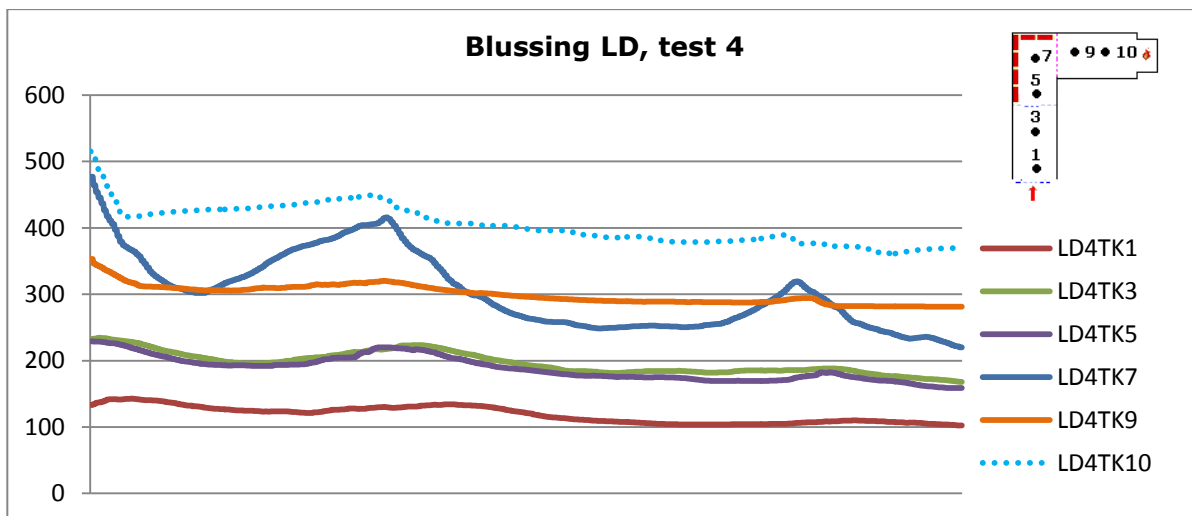


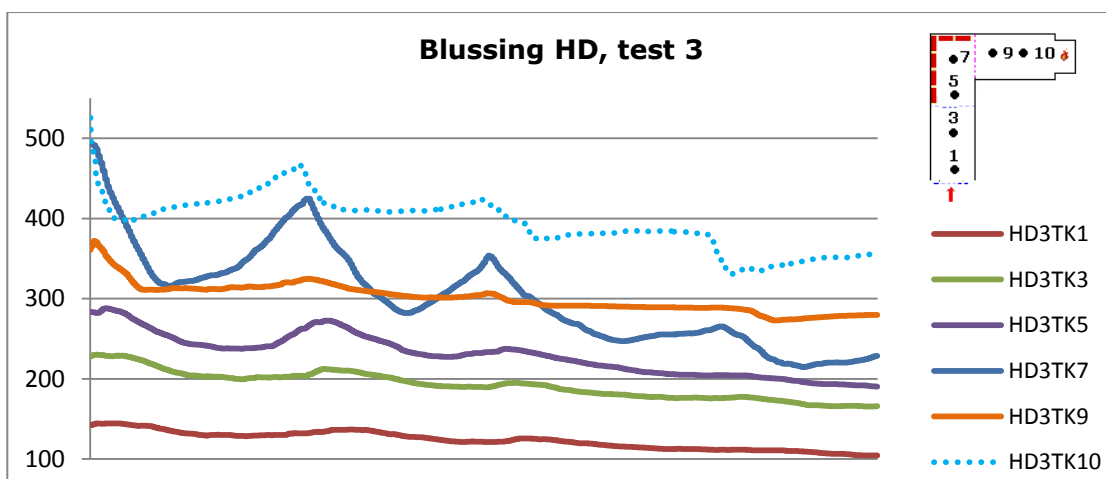
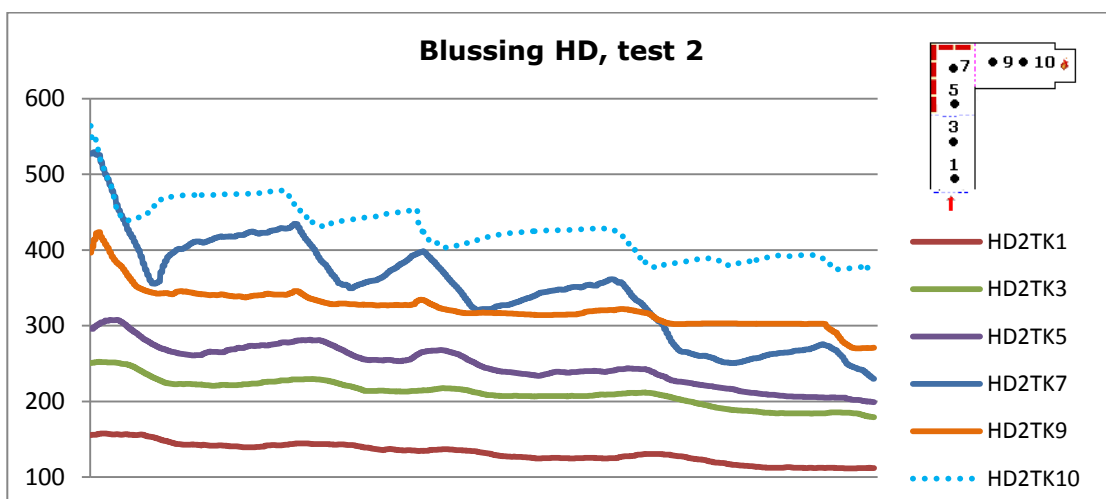
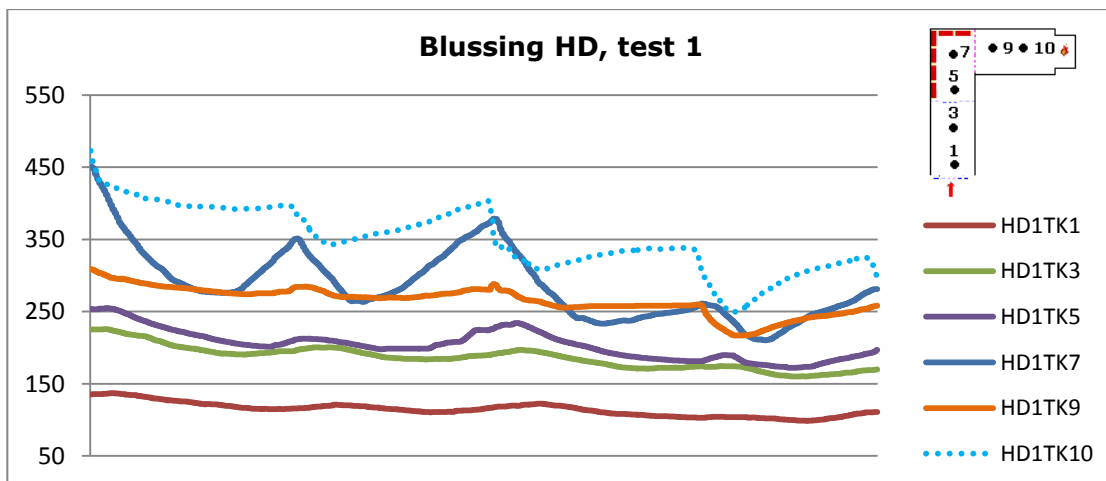


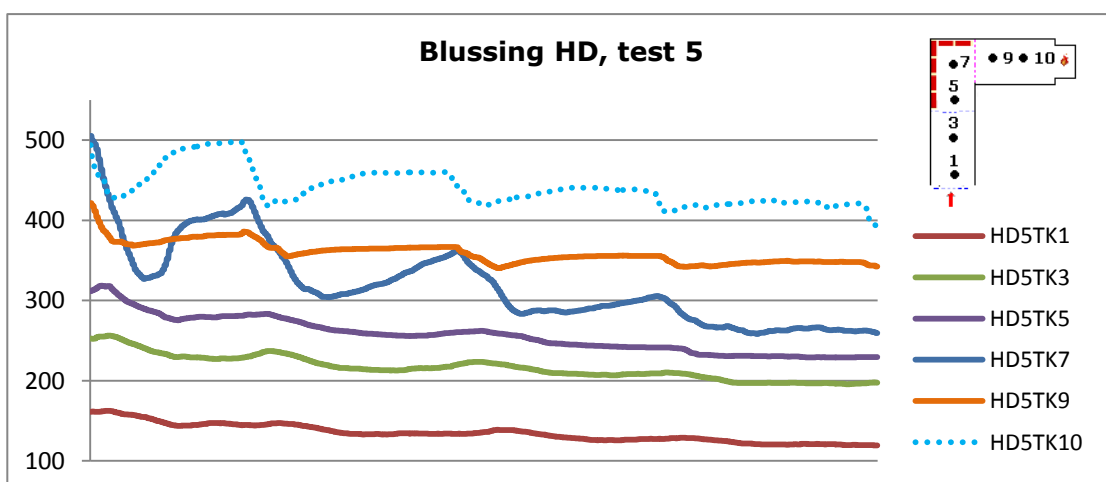
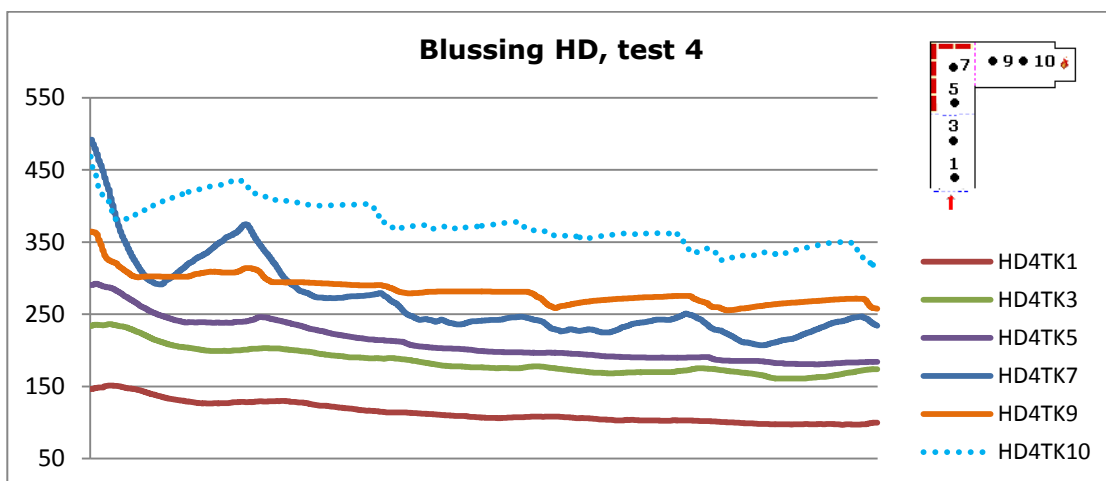












Bijlage 4: De werking en toepassing van brandweerschuum

Inleiding

In dit hoofdstuk wordt achtergrondinformatie gegeven over brandweerschuum. Allereerst wordt ingegaan op de verschillende schuimsoorten die beschikbaar zijn voor brandbestrijding. Vervolgens wordt de werking van brandweerschuum besproken. Tenslotte wordt ingegaan op eerder uitgevoerd experimenteel onderzoek naar de effectiviteit van schuimvoerende systemen op het gebied van rookgaskoeling.

Brandweerschuum

Op basis van de beschikbare informatie is het lastig om een duidelijk onderscheid te maken tussen verschillende soorten schuim. Zo zijn sommige schuimsoorten die bedoeld zijn voor stationaire systemen ook geschikt voor toepassing in mobiele systemen en is de expansievoud van schuim vooral relevant voor de toepassing van binnenbrandbestrijding waarbij een ruimte volledig wordt vol geschuimd, maar is nauwelijks relevant voor de toepassing voor koeling van objecten in de omgeving van een brandhaard.

Hierna is getracht een overzicht te geven van aspecten aan de hand waarvan schuimen getypeerd kunnen worden.

Samenstelling

Allereerst is er een onderscheid mogelijk in de samenstelling van schuim, te weten in organische en synthetische schuimen. Organische schuimen zijn gebaseerd op gehydrolyseerde proteïnes (eiwitten), bijvoorbeeld afkomstig uit hoornmeel of kippenveren. Dergelijke proteïneschuimen zijn onderhevig aan bederf, bijvoorbeeld door corrosie of bacteriële afbraak. Synthetische schuimen zijn kunstmatige schuimen met petrochemische componenten.

(a)Polaire eigenschap

Vervolgens kan onderscheid gemaakt worden in de (a)polaire eigenschap van schuim. Apolaire (of hydrofobe) schuimen zijn geschikt voor het bestrijden van branden in polaire (met water mengbare) vloeistoffen, zoals alcohol en aceton. Polaire (of hydrofiele) schuimen mengen zich met water mengbare vloeistoffen waardoor de schuimlaag afbreekt.

In figuur 1 zijn verschillende soorten schuimen weergegeven, onderverdeeld in de samenstelling en (a)polaire eigenschap van schuim.

Figuur 1 Typering schuim op basis van samenstelling en (a)polaire eigenschap

	Organisch	Synthetisch
Hydrofiel / polair	<ul style="list-style-type: none"> - Proteïneschuim (P) - Fluorproteïneschuim (FP) - Filmvormend schuim (FFFP) 	<ul style="list-style-type: none"> - Filmvormend schuim (AFFF)
Hydrofoob / apolair	<ul style="list-style-type: none"> - Alcoholbestendig schuim (FFFP-AR) 	<ul style="list-style-type: none"> - Alcoholbestendig schuim (AFFF-AR)

Versrijningsvorm

Een andere categorisering van schuim is mogelijk op basis van de versrijningsvorm. Daarin is een opdeling te maken in expansievoud, mengverhouding en luchtdruk.

De *expansievoud*, of de schuimfactor, geeft de verhouding aan tussen het volume mengsel (water en schuimvormend middel) en het volume schuim (water, schuimvormend middel en lucht) dat hieruit na verschuiming ontstaat. Schuim wordt aan de hand van de expansievoud gedefinieerd in drie typen, namelijk zwaar schuim (tot 20:1), middelschuim (20:1 tot 200:1) en licht schuim (groter dan 200:1). Zwaar schuim heeft een lang bereik van de blusstraal, middelschuim bestaat uit kleine belletjes van goede kwaliteit en licht schuim is zeer droog met een laag watergehalte.

De *mengverhouding* is de hoeveelheid schuimvormend middel die aan het water moet worden toegevoegd voor een maximale uitwerking. Die hoeveelheid wordt uitgedrukt in procenten van de hoeveelheid water en ligt vaak tussen 0,1% en 6%. Voor toepassing voor branden in vaste stoffen (klasse A-branden) wordt een mengverhouding van 0,1% tot 1% gehanteerd, terwijl voor plasbranden (klasse B-branden) 3% wordt geadviseerd. Voor branden in polaire vloeistoffen kan een mengverhouding tot 6% met alcoholbesteding schuimvormend middel nodig zijn. Voor drukluchtschuim wordt voor zowel klasse A-branden als klasse B-branden een mengverhouding van 0,3-0,6% tot 1% toegepast (Lyckeback en Öhrn, 2012). Het bijmengpercentage is dus afhankelijk van de soort brand en het soort schuimvormend middel. Er is geen relatie tussen mengverhouding en expansievoud.

Bij de *luchtdruk* tijdens het schuimvormend proces is een onderverdeling mogelijk tussen regulier schuim, waarbij de druk van de toegevoegde lucht gelijk is aan de atmosferische luchtdruk, en drukluchtschuim (DLS), waarbij de toegevoegde lucht een druk heeft die hoger is dan de atmosferische luchtdruk.

Blussysteem

Brandweerschuur kan met behulp van diverse blussystemen geproduceerd en toegepast worden. Zo kan schuur via een stationair systeem op de brandhaard gebracht worden en via een mobiel systeem. Een stationair systeem is een (automatische) blusinstallatie die preventief in een gebouw is aangebracht. Daarbij gaat het vooral om gebouwen waarin brandgevaarlijke stoffen worden opgeslagen (PGS-15). Bij een mobiel systeem kan gedacht worden aan een installatie op een snelle-interventie-voertuig (SIV) of aan een draagbaar bijmengsysteem (tussenmenger). One Seven® en CAFS zijn voorbeelden van mobiele blussystemen waarmee drukluchtschuim wordt geproduceerd. FireDos is een bijmengsysteem waarbij het schuur wel al in het voertuig wordt toegevoegd aan het water, maar waarbij geen is. De drie systemen FireDos, One Seven® en CAFS produceren schuur met een lage expansievoud, oftewel zwaar schuur. Het zwaar schuur kan variëren van 'nat' schuur, expansievoud 1-5, tot 'vloeibaar' schuur, expansievoud 5-10, en 'droog' schuur, expansievoud 10-20 (Lyckeback en Öhrn, 2012).

Toepassingen

Tenslotte kan brandweerschuur op verschillende wijzen toegepast worden. De toepasbaarheid en effectiviteit van een type schuur voor een bepaalde toepassing is onder andere afhankelijk van de samenstelling en de versrijningsvorm van het schuur, maar ook van de brandweertactiek die wordt toegepast. Denkbaar toepassingen van brandweerschuur zijn:

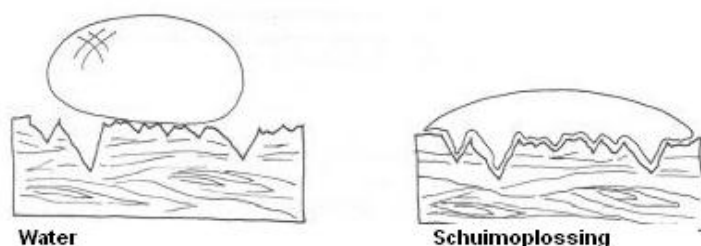
- afdekken van vloeistoffen om uitdampen te voorkomen
- beschermen van objecten nabij een brandhaard
- koelen van brandgassen in een afgesloten ruimte
- bestrijden van brand in een plas brandbare vloeistof
- bestrijden van brand in vaste stoffen in een afgesloten ruimte.

Principe van blussing met water en schuim

Water is op zich een effectief blusmiddel doordat water veel warmte op kan nemen en het van alle vloeistoffen de meeste energie nodig heeft om te verdampen. De bluswerking van water berust dan ook hoofdzakelijk op afkoeling. Maar de hoge oppervlaktespanning⁴⁰ van water veroorzaakt echter een aantal ongewenste effecten bij het opnemen van warmte uit de omgeving. De oppervlaktespanning van water zorgt er voor dat er relatief grote druppels ontstaan, grote druppels leiden tot een minder efficiënte energieopname, en dat heeft invloed op de effectiviteit van het rookgaskoelen en blussen. Ook zorgt de oppervlakte spanning ervoor dat water niet goed door kan dringen tot bepaalde materialen, stoffen en de brand.

Om het indringende vermogen van water te verhogen en te zorgen dat de druppels de vuurhaard wel bereiken, kunnen er bepaalde stoffen aan water worden toegevoegd, zoals een schuimvormend middel waarmee de oppervlaktespanning van water verlaagd wordt (Taylor, 1997). Het effect daarvan is in figuur 2 geïllustreerd.

Figuur 2 Verlaging van oppervlakte spanning bij schuimoplossing



De bluswerking van schuim berust op de volgende aspecten (Geurts & Snuverink, 2001).

Verstikkende werking; verdringing van zuurstof

Een gesloten schuimlaag scheidt de brandhaard van de zuurstof in de omgeving en voorkomt zo een verdere toevoer van zuurstof (lucht) naar het brandende materiaal. Ook vertraagt het afdekken van de brandhaard de afgifte van brandbare dampen. Het zuurstofverdringende effect van lichtschuim wordt nog versterkt door stoomvorming, waardoor aan de basis van het vuur de zuurstofconcentratie wordt verlaagd. Stoomvorming vindt plaats, omdat veel schuimbellen (60-80%) worden vernietigd door de hitte van de brand.

Isolerend/reflecterend effect

Omdat lichtschuim een gering warmtegeleidend vermogen heeft, door de isolerende eigenschappen van de luchtcomponent en de reflecterende eigenschappen van de watercomponent, voorkomt het schuim herontsteking van brandbaar materiaal in de omgeving van de brandhaard. Zo wordt voorkomen dat de brand zich uitbreidt. Het schuim vormt een isolerende laag tegen convectie en een reflecterend scherm tegen warmtestraling.

Koelend effect

Door het uitzakken van water uit het schuim en door stoomvorming heeft schuim ook een (gering) koelend effect op de brandhaard. Bij schuim met lagere expansievoudens is dit effect groter dan bij lichtschuim.

⁴⁰ Oppervlaktespanning is het natuurkundig verschijnsel dat het oppervlak van een vloeistof aan een vloeistof-gasovergang zich gedraagt als een veerkrachtige laag. De oppervlaktespanning is afhankelijk van de temperatuur. In het algemeen daalt ze als de temperatuur stijgt.

De blussende werking van schuim berust voornamelijk op verstikking van de brand door deze af te sluiten van zuurstof. Het koelend effect van schuim is door de geringe hoeveelheid water beperkt. De hoeveelheid schuim die benodigd is voor het blussen van een brand neemt snel toe naarmate een brand meer energie heeft, hetgeen in de regel het geval is als een brand langer kan voortduren.