

Schuim en water opnieuw belicht

Een onderzoek naar het rookgaskoelend vermogen van DLS OneSeven® volgens toepassingsmethode 2.0 versus lagedruk, hogedruk en toepassingsmethode DLS 1.0



Schuim en water opnieuw belicht

Een onderzoek naar het rookgaskoelend vermogen van DLS OneSeven® volgens toepassingsmethode 2.0 versus lagedruk, hogedruk en toepassingsmethode DLS 1.0

Versie: 1.4, 7 september 2015

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

Colofon

Opdrachtgever: Brandweeracademie
Contactpersoon: ing. R. van den Dikkenberg MCDM
Titel: Schuim en water opnieuw belicht. Een onderzoek naar het rookgaskoelend vermogen van DLS OneSeven® volgens toepassingsmethode 2.0 versus lagedruk, hogedruk en toepassingsmethode DLS 1.0
Datum: 7 september 2015
Status: Definitief rapport
Versie: 1.4
Auteurs: ing. R. van den Dikkenberg MCDM
drs. K. Groenewegen
dr. ing. M. Kobes
L. Wolfs BBA
Projectleider: ing. R. van den Dikkenberg MCDM
Review en eindverantwoordelijk: dr. ir. R. Weewer, lector Brandweerkunde

Managementsamenvatting

Op 10 september 2013 heeft het IFV het rapport *Verkoelende experimenten met water en schuim* uitgebracht. Hierin wordt gerapporteerd over het onderzoek naar de effectiviteit van verschillende blusmiddelen ten aanzien van het rookgaskoelend vermogen. De onderzochte blusmiddelen waren twee schuimvormende systemen (drukluchtschuimsysteem One Seven® en hogedrukbijsmengsysteem met schuimvormend middel Firedos), lagedruk (LD) en hogedruk (HD).

De leverancier van het drukluchtschuimsysteem One Seven® heeft na de publicatie van dit rapport uit 2013 aangegeven dat de in het onderzoek toegepaste werkwijze met drukluchtschuim (DLS) (korte shots in de rookgaslaag) niet overeenkomt met de door de fabrikant en haar geadviseerde werkwijze (het inschuimen van wanden en plafond). Om die reden is in overleg met de leverancier besloten de experimenten met DLS te herhalen. Dit nieuwe onderzoek is uitgevoerd onder vergelijkbare proefomstandigheden zoals beschreven in het onderzoek uit 2013, met als verschil het gebruik van de door de leverancier aanbevolen werkwijze van het inschuimen van wanden en plafond. Om duidelijk het onderscheid te kunnen maken tussen beide werkwijzen, wordt de werkwijze met DLS uit het rapport uit 2013 aangeduid met DLS 1.0 en de in dit huidige rapport door de leverancier aanbevolen werkwijze aangeduid met DLS 2.0.

Het doel van dit onderzoek is inzicht geven in het rookgaskoelend effect van DLS 2.0 (conform de door de leverancier aanbevolen werkwijze), ten opzichte van LD en HD (conform de CFBT-methode) en DLS 1.0 (conform de werkwijze als in een eerder experiment door de expertgroep is overeengekomen). In het onderzoek naar DLS 2.0 is uitsluitend met One Seven® getest en niet met andere drukluchtschuimsystemen¹. De verkregen resultaten hebben dan ook alleen betrekking op One Seven®.

Het onderzoek is opgezet als een laboratoriumexperiment en uitgevoerd in een praktijkomgeving. Het gaat in dit onderzoek om de analyse van temperatuurdaling van de rookgaslaag. Er is dus geen sprake van het onderzoeken van een volledige, praktijkgerichte brandweerinzet.

De centrale onderzoeksvraag luidt als volgt:

Hoe verhoudt de effectiviteit² van DLS 2.0³ zich als het gaat om het rookgaskoelend effect bij een offensieve binneninzet tot dat van lagedruk (LD), hogedruk (HD) en DLS 1.0 bij een gesimuleerde woonkamerbrand?

De mate van rookgaskoeling wordt net als in het eerder uitgebrachte rapport gemeten in termen van het absolute temperatuurverloop en in de vorm van temperatuurdaling per liter ingebracht water.

¹ Gebruikers van andere DLS systemen wordt geadviseerd contact op te nemen met hun leverancier om zich te laten informeren over de (on)mogelijkheden voor binnenbrandbestrijding met die systemen.

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

³ Met DLS 2.0 wordt uitsluitend het drukluchtschuim One Seven® bedoeld.

Uit de experimenten is gebleken dat LD bij de totale rookgaskoeling in absolute zin zorgt voor de grootste temperatuurdaling. DLS 2.0 scoort minder, maar wel beter dan HD. DLS 1.0 zorgt voor de minste rookgaskoeling tijdens de totale inzet.

De temperatuurdaling met DLS 2.0 blijkt echter te variëren met de locatie van inzetten. Bij de inzet op het *voorste* deel van de container is het effect in absolute temperatuurdaling van DLS 2.0 vergelijkbaar met LD en HD. Deze drie systemen blijken bij een inzet van buitenaf in het voorstel deel van de ruimte ongeveer in gelijke mate in staat om rookgassen te koelen. DLS 2.0 koelt dus beter in het voorste deel van de ruimte dan DLS 1.0. Bij de eerste serie rookgaskoelingen (startend bij de ingang van de container) bereikt DLS 2.0 een grotere temperatuurdaling *halverwege* de container in vergelijking met LD, HD en DLS 1.0.

In tegenstelling tot de andere systemen bereikt DLS 2.0 al bij de eerste serie rookgaskoelingen een temperatuurdaling *achter* in de container. De inzet met DLS 2.0 heeft dus een groter effect dieper in de ruimte.

Bij de tweede serie rookgaskoelingen, bij een inzet halverwege in de container, is het verdere effect van DLS 2.0 beperkt, terwijl LD en HD een daling laten zien. Wel koelt DLS 2.0 in de tweede serie rookgaskoelingen iets beter dan DLS 1.0.

Tijdens de testen zijn, afhankelijk van de techniek en toepassingswijze, verschillende hoeveelheden water ingebracht. De bereikte koeling wordt daarom afgezet tegen het waterverbruik, wat leidt tot een uitspraak over de effectiviteit per liter ingebracht water. Per liter ingebracht water blijkt LD het meest effectief, met 3,6 °C daling per liter ingebracht water. Gevolgd door HD met 2,3 °C per liter, bij DLS 2.0 is dit 1,5 °C per liter en bij DLS 1.0 is dit 1,4 °C per liter. DLS 2.0 koelt dus iets beter dan DLS 1.0, maar is minder effectief dan water⁴.

Op basis van bovenstaande onderzoeksresultaten kan geconcludeerd worden dat rookgaskoeling met DLS 2.0 mogelijk is en betere resultaten geeft dan DLS 1.0. De meerwaarde van de onderzochte DLS (One Seven®) is bij de inzet in de eerste serie van de rookgaskoeling vooral de koeling diep in de container. Bij de tweede serie van de rookgaskoeling halverwege de container blijkt de nadere koeling beperkt. Rookgaskoeling met DLS 2.0 blijkt dus mogelijk. Wel is de rookgaskoeling afgezet per liter ingebracht water minder effectief dan bij het gebruik van LD en HD.

Tijdens de testen met DLS 1.0 is een verhoging van de temperatuur waargenomen, evenals een ontbranding van de rookgaslaag. Bij de testen met de toepassingsmethode DLS 2.0 zijn deze fenomenen niet waargenomen.

Om de resultaten te kunnen duiden, moet benadrukt worden dat het onderzoek zich uitsluitend op rookgaskoeling richt, bij toepassing van de technieken van een offensieve binneninzet in een ruimte van beperkte omvang (vergelijkbaar met een woning), waarbij de vuurhaard niet direct bereikt kan worden. De gevonden resultaten en conclusies zijn daarom alleen en uitsluitend geldig voor de in dit onderzoek beschreven wijze van inzetten en proefomstandigheden. Andere toepassingstechnieken of omstandigheden kunnen tot andere resultaten leiden. Op basis van dit rapport kunnen uitsluitend uitspraken worden gedaan over de effectiviteit van rookgaskoeling. Andere veronderstelde voor- of nadelen van DLS 2.0 (One Seven®) ten opzichte van water zijn niet onderzocht.

⁴ Omdat bij One Seven® het water met schuimvormend middel en lucht wordt omgezet in schuim, leidt één liter water tot 8,7 liter schuim (op basis van het gemiddelde verschuimingsgetal tijdens de experimenten met DLS 2.0).

Inhoud

1	Inleiding	6
1.1	Achtergrond	6
1.2	Onderzoeksvraag	7
1.3	Afbakening	7
1.4	Geldigheid van de resultaten	8
1.5	Betrokkenheid van het brandweerveld, leverancier en producent	8
2	Opzet van het onderzoek	9
2.1	Onderzochte systemen	9
2.2	Parameters	10
2.3	Onderzoeksubject	12
2.4	Vuurlast	13
2.5	De startsituatie	14
2.6	Uitvoering van de experimenten	14
2.7	Uniformiteit van onderzoekscondities	15
2.8	Analyse van de data	17
3	Reproduceerbaarheid van de experimenten	19
3.1	Overeenkomstigheid omstandigheden testweken	19
3.2	Reproduceerbaarheid van de brandontwikkeling	20
3.3	Reproduceerbaarheid van de inzetten	21
3.4	Conclusie reproduceerbaarheid	24
4	Resultaten rookgaskoeling	25
4.1	Temperatuurverloop afzonderlijke series rookgaskoelingen	25
4.2	Temperatuurverloop gehele container tijdens de inzet	27
4.3	Waterverbruik in relatie tot rookgaskoeling	33
4.4	Overige bevindingen	35
5	Conclusie, duiding en aanbevelingen	36
5.1	Conclusie	36
5.2	Duiding en aanbevelingen	37
	Bijlage 1: Blussing	38
	Bijlage 2: Waterverbruik/watermetingen	41
	Bijlage 3: Rapport Kiwa	50

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Op 10 september 2013 heeft het IFV het rapport *Verkoelende experimenten met water en schuim* uitgebracht. Hierin wordt gerapporteerd over een onderzoek naar de effectiviteit van verschillende blusmiddelen ten aanzien van het rookgaskoelend vermogen. In overleg met de bij dat onderzoek betrokken brandweerregio's werden destijds de inzettechnieken voor de verschillende blusmiddelen bepaald. De inzettechnieken die volgens de betrokken brandweerregio's gebruikelijk waren voor de betreffende technieken vormden daarvoor de basis. Voor de experimenten met DLS⁵ werd gekozen voor korte shots⁶ (1 à 2 seconden) in de rookgaslaag. Op basis van deze inzetwijze zijn uitspraken gedaan over het rookgaskoelend vermogen van DLS, hierna aangeduid als 'DLS 1.0'.

De leverancier van het onderzochte DLS-systeem One Seven® (BMT Brandweer- & milieutechniek BV) heeft na de publicatie van het rapport aangegeven dat de in het onderzoek toegepaste werkwijze niet overeenkomt met de door de fabrikant (One Seven® of Germany GmbH) geadviseerde werkwijze. Om die reden is in overleg met de leverancier besloten de experimenten met One Seven® te herhalen. Dit nieuwe onderzoek is uitgevoerd onder vergelijkbare proefomstandigheden zoals beschreven in het onderzoek uit 2013 (zie hoofdstuk 3), waarbij de door de leverancier aanbevolen werkwijze is toegepast. In dit huidige rapport wordt de door de leverancier van One Seven® aanbevolen werkwijze aangeduid als DLS 2.0.

Door de overige proefomstandigheden in het onderzoek hetzelfde te houden is een vergelijking mogelijk tussen de resultaten van de experimenten met DLS 2.0 en de voorafgaande experimenten met DLS 1.0, hogedruk (HD) en lagedruk (LD). Omdat er alleen discussie is ontstaan over de inzet techniek met DLS is Firedos (een ander schuimsysteem), dat in het eerdere experiment ook gebruikt is, in dit rapport verder buiten beschouwing gelaten. Verder was er geen discussie over het deel van het rapport uit 2013 dat ging over het blussend vermogen, daarom richt het voorliggende rapport zich uitsluitend op het rookgaskoelend vermogen. Er zijn bij DLS 2.0 wel blussingen uitgevoerd. De uitgangspunten van de testopzet van de blussing verschillen dusdanig dat vergelijking met de eerdere blustesten niet mogelijk is. De resultaten van de blussing met DLS 2.0 zijn daarom uitsluitend als feitelijke gegevens weergegeven, zonder nadere analyse of conclusies. Deze resultaten zijn opgenomen in bijlage 1.

⁵ In dit onderzoek is drukluchtschuimsysteem One Seven® onderzocht, verder aangeduid met 'DLS'.

⁶ In dit rapport wordt gesproken over 'shot'. Inmiddels wordt in de huidige praktijk gesproken over 'puls'. Omdat de resultaten van onderhavig onderzoek worden vergeleken met het eerder uitgevoerde onderzoek wordt, ook in deze rapportage de term 'shot' gebruikt.

1.2 Onderzoeksvraag

De onderzoeksvraag luidt als volgt:

Hoe verhoudt de effectiviteit⁷ van DLS 2.0⁸ zich als het gaat om het rookgaskoelend effect bij een offensieve binneninzet tot dat van lagedruk (LD), hogedruk (HD) en DLS 1.0 bij een gesimuleerde woonkamerbrand?

De mate van rookgaskoeling wordt gemeten in termen van het absolute temperatuurverloop en in temperaturredaling per liter opgebracht water.

Voor de beantwoording van de onderzoeksvraag zijn experimenten met DLS 2.0 (One Seven®) uitgevoerd, die in deze rapportage worden gepresenteerd en vergeleken met resultaten van de eerder uitgevoerde experimenten⁹ uit 2013 waarin DLS 1.0, HD en LD zijn onderzocht.

1.3 Afbakening

In het onderzoek is één proefomgeving met één scenario onderzocht. Dit betekent dat de resultaten van het onderzoek uitsluitend geldig zijn voor die 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 spaanplaten. Om de vuurhaard te ontsteken is per keer een liter aanmaakvloeistof gebruikt.

In het onderzoek zijn twee blusmiddelen onderzocht, te weten water en DLS. De toegepaste techniek is van grote invloed op het effect dat met de verschillende blusmiddelen kan worden bereikt. Om die reden is in de voorbereiding van het onderzoek expliciet aandacht besteed aan de toegepaste technieken. De in de experimenten toegepaste werkwijze voor HD, LD en DLS 1.0 is in nauwe samenwerking met de expertgroep uit de betrokken regio's bepaald. Voor de experimenten met HD en LD is de moderne straalpijptechniek volgens de huidige les- en leerstof gebruikt. De experimenten met HD en LD zijn uitgevoerd door een gecertificeerde CFBT-instructeur. De toegepaste werkwijze voor DLS 2.0 is in nauwe samenwerking met de leverancier en producent One Seven® bepaald. Ook heeft de leverancier de (gecertificeerde) straalpijpvoeders aangewezen, die de afgesproken techniek vervolgens hebben toegepast.

In de experimenten zijn verschillende parameters onderzocht (zie paragraaf 2.2), waaronder het temperatuur(verloop). Andere parameters, zoals luchtvochtigheid en druk in het testobject, zijn niet gemeten. Ook de hoeveelheid hout dat daadwerkelijk is verbrand, is niet gemeten en de samenstelling van de rookgassen is niet geanalyseerd.

Bij de experimenten met DLS 2.0 is de samenstelling/dichtheid van het gebruikte drukluchtschuim One Seven® gemeten. Dit was niet het geval bij de experimenten met DLS 1.0. Daarom kan op dit onderdeel geen vergelijking tussen beide experimenten met DLS worden gemaakt. In dit rapport wordt om die reden volstaan met een weergave van de resultaten voor DLS 2.0.

⁷ Met effectiviteit wordt hier bedoeld: de mate waarin rookgassen worden gekoeld.

⁸ In dit onderzoek is zoals hiervoor ook is aangegeven uitsluitend met One Seven® getest en niet met andere drukluchtschuimsystemen. Gebruikers van andere systemen wordt geadviseerd contact op te nemen met hun leverancier om zich te laten informeren over de (on)mogelijkheden voor binnenbrandbestrijding met die systemen.

⁹ Dikkenberg, R. van den, Groenewegen, K. & Kobes, M. (2013). *Verkoelende experimenten met water en schuim*. Arnhem: Brandweeracademie (IFV).

1.4 Geldigheid van de resultaten

Alle systemen zijn getest binnen de in paragraaf 2.6 beschreven methode van rookgaskoeling. De resultaten zijn daarom alleen en uitsluitend geldig voor de in dit onderzoek beschreven wijze van inzetten. Andere toepassingstechnieken kunnen andere effecten hebben. De systemen zijn uitsluitend getest met de genoemde druk en straalpijp. Het gebruik van andere druk, methoden of materialen kan tot andere uitkomsten leiden. Ook gelden de resultaten alleen voor het gekozen scenario.¹⁰

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.

1.5 Betrokkenheid van het brandweerveld, leverancier en producent

Om optimaal gebruik te maken van de kennis en ervaring die in het brandweerveld aanwezig is, werd bij de opzet, de uitvoering en de 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 meegedacht bij de interpretatie van de resultaten en heeft het conceptrapport gereviewd.

De producent en leverancier van One Seven® zijn bij het onderzoek naar DLS 2.0 betrokken, om zo te waarborgen dat de juiste inzetwijze getest werd. Hiervoor zijn vertegenwoordigers van de leverancier (BMT Brandweer- & milieutechniek BV) en de producent (One Seven of Germany GmbH) bij een expertgroepbijeenkomst aanwezig geweest, waarin de exacte toepassing voor rookgaskoeling (en blussing) werd besproken. Hierna is er nog nader overleg geweest tussen de straalpijpvoerders, BMT en One Seven of Germany, en is de toepassingsmethode vastgelegd, welke tijdens een pre-test verder is afgestemd.

Bij de daadwerkelijke uitvoering van de testen met DLS 2.0 zijn vertegenwoordigers van BMT en One Seven of Germany aanwezig geweest en hebben toegezien op een correcte uitvoering van de methode. Daarnaast mochten leverancier en producent de verschillende versies van het concept-rapport inzien, om eventuele feitelijke onjuistheden aan te geven. Daarbij heeft het IFV vanuit haar rol als zelfstandig onderzoeksinstituut en financier/opdrachtgever van het onderzoek een onafhankelijke positie ingenomen ten opzichte van de leverancier.

¹⁰ Er waren geen pyroliserende materialen anders dan de vuurhaard, hierdoor was er geen sprake van een brand die zich verder kon uitbreiden dan de directe brandruimte. Er is uitsluitend één soort vuurlast gebruikt in de genoemde proefopstelling.

2 Opzet van het onderzoek

Het onderzoek richt zich uitsluitend op rookgaskoeling, bij toepassing van de technieken van een offensieve binneninzet in een ruimte van beperkte omvang (vergelijkbaar met een woning). De rookgaskoeling bij een offensieve binneninzet is onderzocht met vier verschillende technieken, te weten HD, LD, DLS 1.0 en DLS 2.0. Het experiment is binnen een standaard scenario vijfmaal herhaald, waarbij metingen werden verricht op basis van een aantal parameters. Als scenario werd uitgegaan van een brand in een woonkamer. Om daadwerkelijk het rookgaskoelend vermogen te kunnen meten, is het essentieel dat de blusstof tijdens de rookgaskoeling de vuurhaard niet kan raken. Om die reden is gekozen voor een opstelling in een L-vormige container. De testen met HD, LD en DLS 1.0 zijn conform bovenstaande opzet in het eerdere onderzoek¹¹ in 2013 uitgevoerd. Er zijn in dit huidige onderzoek aanvullende testen uitgevoerd met DLS 2.0.

Het onderzoek is opgezet als een laboratoriumexperiment en uitgevoerd op realistische schaal. Het gaat daarbij om de analyse van temperatuurdaling van de rookgaslaag. Er is dus geen sprake van het onderzoeken van een volledige, praktijkgerichte brandweerinzet. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de onderzoeksopzet en de uitvoering van het onderzoek.

2.1 Onderzochte systemen

Het onderzoek werd uitgevoerd met water, opgebracht via het lagedruksysteem en via het hogedruksysteem en met DLS via het One Seven® systeem, opgebracht conform methoden DLS 1.0 en DLS 2.0. De genoemde technieken zijn als offensieve binneninzet¹² onderzocht. Hieronder volgt een korte omschrijving van de onderzochte systemen:

1. Water via het lagedruksysteem. Bij het lagedruksysteem wordt water onder een pompdruk van circa 7 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 wordt het lagedruksysteem afgekort als LD.
2. Water via het hogedruksysteem. Bij het hogedruksysteem wordt water onder een pompdruk van circa 25 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.
3. Drukluchtschuim via het One Seven® systeem¹³. 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 procent¹⁴ gemengd onder een pompdruk van circa 8 bar en een straalpijpdruk van 7 bar, waarbij via een 35 mm (inwendig) slang 135 liter¹⁵ per minuut aan waterbestanddeel wordt omgezet tot One Seven® schuim en via een straalpijp de ruimte in wordt gebracht. De worplengte bij

¹¹ De resultaten van dit onderzoek zijn opgenomen in het rapport Dikkenberg, R. van den, Groenewegen, K. & Kobes, M. (2013). *Verkoelende experimenten met water en schuim*. Arnhem: Brandweeracademie (IFV).

¹² Conform het kwadrantenmodel.

¹³ Er is, anders dan bij de eerder uitgevoerde experimenten in 2013, gebruik gemaakt van een tankautospuit welke was voorzien van One Seven® OS-C1-100B (OS1200). In 2013 was dit bij de eerder uitgevoerde testen met DLS 1.0 systeem E2400 PLC. Volgens de leverancier heeft dit geen effect op de prestaties tijdens de testen noch op de vergelijkbaarheid van de experimenten.

¹⁴ Deze instelling van het voertuig is ook gemeten door de leverancier.

¹⁵ Volgens opgave leverancier (zie ook het onderzoek in bijlage 2).

aanvang van de inzet is circa 20 meter, nadat de druk zich stabiliseert circa 15 meter. DLS is in het onderzoek op twee verschillende methoden toegepast.

De methoden waarop LD, HD en DLS zijn toegepast is beschreven in paragraaf 2.6. In tabel 2.1 zijn de kenmerken van de gebruikte systemen weergegeven.

Tabel 2.1. Kenmerken systemen

Blus-systeem	Merk/type blusmiddel	Straalpijp	Debiet en kegelhoek	Gebruikte pompdruk	Straalpijp-druk	Bijmeng-percentage
LD	Water	Akron 1720	230 l/min 30-35°	7 bar	7 bar	n.v.t.
HD	Water	Akron 1711	115 l/min 30	25 bar	7 bar	n.v.t.
DLS	A-klasse One Seven® van One Seven of Germany	Reguliere DLS-straalpijp	135 l/min, gebonden straal ¹⁶	8 bar	7 bar	0,4%

De experimenten met LD, HD en DLS 1.0 zijn tijdens de eerdere experimenten in 2013 uitgevoerd, de aanvullende experimenten met One Seven® in het DLS 2.0 onderzoek zijn in 2014 uitgevoerd.

2.2 Parameters

Tijdens de experimenten is het temperatuurverloop gemeten, zijn tijden geregistreerd, is het water- en schuimverbruik vastgelegd en is het visueel beeld binnen beoordeeld. Daarnaast is bij ieder experiment met One Seven® bij DLS 2.0 de schuim-/waterverhouding gemeten. De in deze paragraaf benoemde parameters gelden voor de rookgaskoeling. Voor de parameters die voor de beschrijving van de blussing zijn gebruikt, wordt verwezen naar bijlage 1.

2.2.1 Temperatuur

Tijdens de experimenten naar rookgaskoeling zijn de volgende waarden op het gebied van temperatuur gemeten:

- > de temperatuur bij start van het experiment
- > de temperatuur na de serie rookgaskoelingen
- > het temperatuurverloop tijdens de rookgaskoeling¹⁷

Voor de temperatuurregistratie wordt gebruik gemaakt van 12 thermokoppels, die op twee hoogtes en op verschillende plaatsen in de container zijn bevestigd. In de overzichtsplattegrond (afbeelding 2.2) zijn de locaties van de thermokoppels weergegeven. Door de thermokoppels op verschillende plaatsen in het stroompatroon van de rookgaslaag aan te brengen, is het mogelijk om het effect van de rookgaskoeling te bepalen. Dit is niet alleen mogelijk op de plaats waar de rookgaskoeling plaatsvindt, maar ook verderop in de container (zowel richting de vuurhaard als richting de uitgang).

¹⁶ Bij de gebruikte DLS-straalpijp is het niet mogelijk een kegelhoek in te stellen, de straalpijp produceert een volstraalbundel.

¹⁷ Het kan zowel een temperatuurdaling als een temperatuurstijging betreffen.

Om niet alleen de temperatuur net onder het plafond, maar ook iets lager te kunnen meten (relevant voor systemen die een isolerende laag aanbrengen op plafonds en muren), zijn op verschillende locaties boven elkaar twee thermokoppels geplaatst. Daar waar in afbeelding 2.2 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 leidt, zijn de thermokoppels voorzien van een constructie om dit te voorkomen (zie afbeelding 2.1). Deze afscherming is uitgevoerd in de vorm van een hol vierkant blok, voorzien van een isolerende binnenlaag. 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. Uit een vergelijkende test met en zonder afscherming bleek er geen significant verschil te zijn in de geregistreerde temperatuur. Dit terwijl de afscherming wel effectief is gebleken om contact tussen de thermokoppels en het blusmiddel te voorkomen.



Afbeelding 2.1. Thermokoppels

Thermokoppels 7 en 8 worden, vanwege de locatie in de hoek, wel aangestraald door de vuurhaard. Verder richting de vuurhaard zijn nog twee thermokoppels opgehangen (9 en 10). Tenslotte zijn, om te kunnen terugkeren naar de startconditie na het experiment, twee thermokoppels geplaatst tegen (11) en in (12) de stenen muur. De thermokoppels worden gekoppeld aan een realtime datalogger met een meetprogramma.

2.2.2 Tijden

Tijden werden gemeten met een stopwatch. Er was sprake van een synchrone tijdsregistratie met de temperatuurmeting en het waterverbruik. Tijdens de experimenten zijn tijdstippen vastgelegd om gedurende de rookgaskoeling de temperatuurdaling per shot (graden Celsius/seconden) en duur van het effect van de koeling te kunnen bepalen.

2.2.3 Water- en schuimverbruik

Tijdens de experimenten is de hoeveelheid verbruikt water per serie rookgaskoelingen gemeten. Het waterverbruik werd bij de experimenten met HD, LD en DLS 1.0 gemeten met behulp van een analoge watermeter en bij de experimenten met DLS 2.0 met een digitale watermeter¹⁸. De watermeter werd gereset aan het begin van ieder experiment. Voor de start van het experiment was de watertank van de tankautospuiter volledig gevuld. Na ieder

¹⁸ Tijdens de experimenten met DLS 2.0 bleek de analoge watermeter niet toepasbaar op de gebruikte tankautospuiter. Daarom is voor deze experimenten een digitale watermeter gebruikt. Om de meetresultaten met de verschillende watermeters te kunnen vergelijken is naderhand door Kiwa een ijctest uitgevoerd, zie paragraaf 4.3 en bijlage 2 en 3.

experiment werd de watertank weer bijgevuld. Het bijvullen geschiedde via de vulleiding van de tank naar de tank en deze werd bediend door een kogel afsluiter die direct in verbinding stond met de tank. Stortte deze over dan sloot men meteen de kogelafsluiter. Het water wat overstortte werd opgevangen en gemeten. Deze hoeveelheid werd afgetrokken van de hoeveelheid water wat digitale watermeter aangaf. Het verschil werd genoteerd als de hoeveelheid verbruikt water. Ook is bij DLS 2.0 de samenstelling/dichtheid van het gebruikte One Seven® schuim gemeten, maar omdat dit bij DLS 1.0 niet is gemeten kan er geen vergelijking op dit onderdeel worden gemaakt.

2.2.4 Visueel beeld

Bijzonderheden tijdens de rookgaskoeling in visueel beeld zijn genoteerd in een logboek. 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 experimenten werd gefilmd met de warmtebeeldcamera door de inzetploeg.

Overige parameters

Voor de analyse van de reproduceerbaarheid van de experimenten werden daarnaast de volgende parameters gemeten:

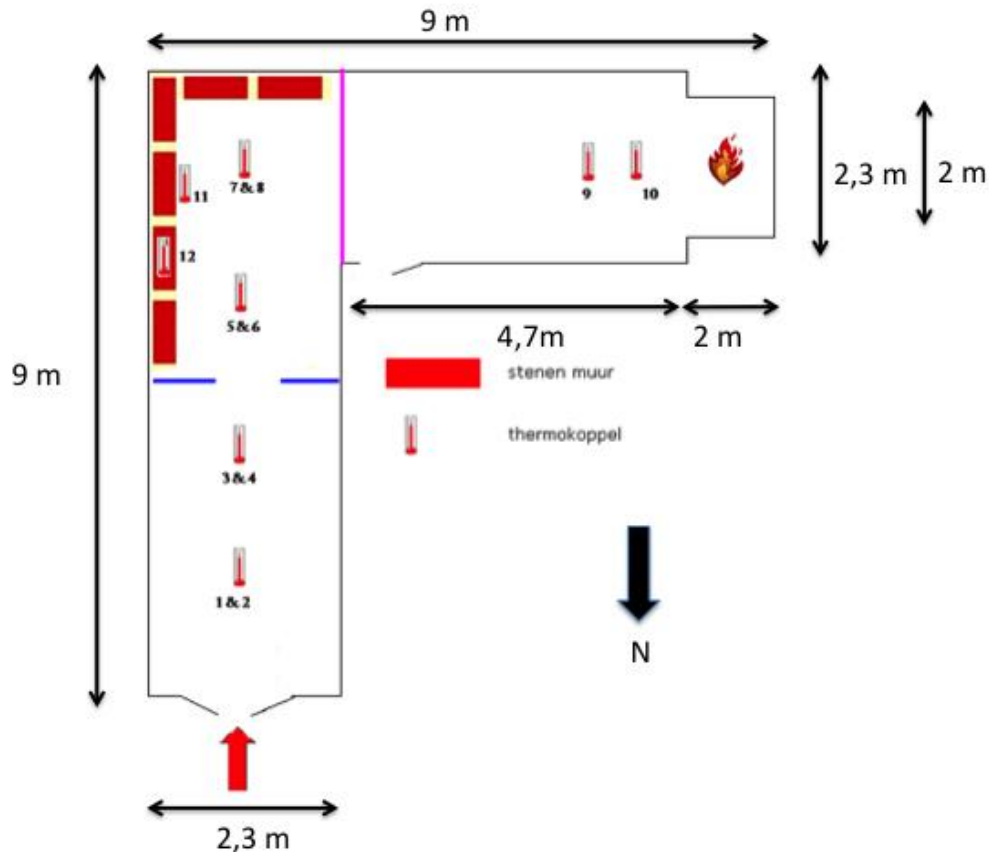
- > starttemperatuur in en op de muur
- > maximale temperatuur tussen aansteken en start van het experiment.

2.3 Onderzoeksubject

Het onderzoek is uitgevoerd op oefencentrum Troned. De proefopstelling is hetzelfde als bij het eerder uitgevoerde onderzoek¹⁹. De opzet is zodanig gekozen dat deze zoveel mogelijk overeenkomt met het scenario van een woningbrand.

Het onderzoeksubject is weergegeven in afbeelding 2.2. Er is een geprepareerde niet-geïsoleerde stalen L-container gebruikt, welke voor een deel is ingericht met een stenen binnenwand. Beide zijden van de L-container zijn 9,0 meter lang, de container is 2,30 meter breed en de hoogte is overal 2,25 meter. Het brandgedeelte is 2,0 meter breed en net zo diep en hoog. Het totale oppervlak is 35,5 m² en het volume 79,9 m³.

¹⁹ Dikkenberg, R. van den, et al. (2013). *Verkoelende experimenten met water en schuim*. Arnhem: Brandweeracademie (IFV).



Afbeelding 2.2. Plattegrond onderzoeksobject

In de stalen L-container (zie afbeelding 2.2) werd het achterste gedeelte aan twee zijden (L-vormig) van betonnen bouwstenen voorzien, zodat een stenen wand van 20 centimeter dik ontstond. Het doel hiervan was om zoveel mogelijk een realistische situatie na te bootsen. De warmte-eigenschappen van een stenen muur zijn immers anders dan die van een stalen wand. Deze wand is van bodem tot plafond gebouwd en op een veilige wijze vastgezet.

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

2.4 Vuurlast

In de container werd een vuurlast gestookt, bestaande uit zeven pallets van 121 cm x 102 cm x 12 cm (circa 130 kilo vurenhout), één schuimmatras²⁰ (afmeting 100 cm x 100 cm x 21 cm), drie spaanplaten (afmeting 120 cm x 100 cm x 1,2 cm) en een liter aanmaakvloeistof. Deze plaatselijke vuurlast betreft circa 2600 MJ (circa 155 kilo 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 bedoeld om een zo realistisch mogelijke situatie te creëren.

²⁰ 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 2.3.

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 gesprekend. Vervolgens werden de aansteekstroken aangestoken en onder de pallets geschoven.



Afbeelding 2.3. Opbouw en aansteken vuurlast

2.5 De startsituatie

Nadat de vuurlast was aangestoken, begon de brand zich te ontwikkelen. Om de brand van voldoende zuurstof te voorzien waren hierbij in eerste instantie alle deuren van de container open. Vrij snel na de start van de ontwikkeling van de brand werd de deur het dichtst bij de vuurhaard gesloten. Vervolgens nam de temperatuur toe. Op een gegeven moment²¹ ging de eerste deur aan de inzetzijde dicht. Hierdoor ontstond een rookgaslaag. Wanneer de temperatuur op thermokoppel 3 boven 250 °C bleef en de rookgaslaag voldoende dik was²² 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 het geval was, werden na 30 seconden de deuren geopend en werd gestart met de inzet.

2.6 Uitvoering van de experimenten

De rookgaskoelingsexperimenten werden vijfmaal uitgevoerd. De rookgaskoelingsprocedure bestond uit twee series, van beide 30 seconden. De eerste serie werd uitgevoerd bij de buitendeuren, het verst van de vuurhaard. De tweede serie werd halverwege de container uitgevoerd. De opzet van de rookgaskoeling was zodanig dat geen rechtstreeks contact met de vuurhaard mogelijk was. Per systeem werd een toepassingsmethode bepaald, welke gedurende de testen werd uitgevoerd.

²¹ Op basis van verandering van de kleur van de vlammen van geel naar rood en boven de vuurhaard een mengsel van vlammen en roet.

²² Aan de hand van een markering op 110 cm vanaf de grond, op de wand van de container.

2.6.1 Rookgaskoeling met HD en LD

De rookgaskoeling met hogedruk en lagedruk is uitgevoerd conform de reguliere CFBT-procedure. Iedere serie rookgaskoelingen bestond uit drie keer drie korte shots van circa één seconde. Hierbij werd met een straalpijp met een kegelhoek van circa 30 graden onder een hoek van 45 graden water ingebracht in de rookgaslaag.

Bij de eerste serie vanaf de toegangsdeur werden op $t = 0$ (waarbij $t =$ seconden) drie shots gegeven, de twee opvolgende op $t = 10$ en $t = 20$. Vervolgens werd doorgestoten naar de tweede opstelling (blauwe lijn in afbeelding 2.2, blauwe pijl in afbeelding 2.4) waar de tweede serie van drie keer drie shots werd gegeven, op respectievelijk $t = 30$, $t = 40$ en $t = 50$.

Tijd	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Actie		3 shots		3 shots		3 shots		3 shots		3 shots		3 shots		
Locatie		Bij buitendeur container						→ Halverwege container						

Afbeelding 2.4. Inzetwijze HD en LD met shots van één seconde

2.6.2 Rookgaskoeling met DLS 1.0

Bij DLS 1.0 is de rookgaskoeling uitgevoerd door in de ruimte de shots (één a twee seconden) te geven met een gebonden straal, gericht in de rookgaslaag.

Vanwege de kracht en worplengte van DLS is besloten om de eerste set rookgaskoelingen bij de buitendeur op zeven meter afstand van de opening te doen, zodat de blusstof in het voorste deel van de container in de rookgaslaag terecht komt. Bij de eerste serie werden op $t = 0$ drie shots gegeven, de twee opvolgende op $t = 10$ en $t = 20$. Vervolgens werd doorgestoten naar de tweede opstelling (blauwe lijn in afbeelding 2.2, blauwe pijl in afbeelding 2.5) waar de tweede serie van drie keer drie shots werd gegeven, op respectievelijk $t = 30$, $t = 40$ en $t = 50$. Voorafgaand aan ieder experiment werd de slang buiten doorgespoeld om een homogeen mengsel in de slang te krijgen.

Tijd	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Actie		3 shots		3 shots		3 shots		3 shots		3 shots		3 shots		
Locatie		Bij buitendeur container						→ Halverwege container						

Afbeelding 2.5. Inzetwijze DLS 1.0 met shots van één a twee seconden

2.6.3 Rookgaskoeling met DLS 2.0

Iedere serie rookgaskoelingen bestond uit twee lange shots van vijf seconden²³ in een halve maan beweging, waarbij de wanden en het plafond van de container met One Seven® werden ingeschuimd. Bij de eerste serie werd vanaf de toegangsdeur op $t = 0$ en $t = 15$ seconden een shot gegeven. Vervolgens werd doorgestoten naar de tweede opstelling (blauwe lijn in afbeelding 2.2, blauwe pijl in afbeelding 2.6) waar de tweede serie lange shots werd gegeven, op respectievelijk $t = 30$ en $t = 45$. De opzet van de rookgaskoeling was zodanig dat geen rechtstreeks contact met de vuurhaard mogelijk was.

Tijd	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Actie		Halve maan				Halve maan				Halve maan				
Locatie		Bij buitendeur container						→ Halverwege container						

Afbeelding 2.6. Inzetwijze DLS 2.0 met halve maanbewegingen van 5 seconden

2.7 Uniformiteit van onderzoekscondities

De beschreven procedure van opbouwen, aansteken en monitoren van het brandverloop is gevolgd om ervoor te zorgen dat iedere startsituatie en experiment op een vergelijkbare, uniforme wijze werd uitgevoerd. Zo was sprake van pallets uit één levering, die onder gelijke condities voorafgaand aan het onderzoek werden opgeslagen. Hetzelfde geldt voor de

²³ Bij benadering. Als gevolg van de gekozen opzet zullen bij deze geduide tijden afwijkingen zijn opgetreden. Zie ook bijlage 2.

gebruikte schuimmatrassen, spaanplaten en aanmaakvloeistof. Om continuïteit en eenduidigheid te garanderen, is met dezelfde stokers gewerkt.

Voor elk systeem zijn ervaren brandweermensen ingezet die state-of-the-art zijn getraind en opgeleid zijn in het bedienen van het betreffende systeem. Vooraf zijn met de experts uit de betrokken regio's afspraken gemaakt over de uitvoering van de inzet, zodat iedere inzet op dezelfde manier werd uitgevoerd.

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 alle thermokoppels een temperatuur aangaven lager dan 100 °C.

Bij het reconditioneren van de ruimte werd gebruik gemaakt van onder andere een ventilator ter koeling 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 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.

2.7.1 Meteorologische omstandigheden en gebruik watermeters

Hoewel veel aandacht is besteed aan de uniformiteit van de experimenten, waren er twee aspecten die niet geheel gelijk waren tussen de experimenten, namelijk: de meteorologische omstandigheden en het gebruik van de watermeters.

De meteorologische omstandigheden waren tijdens dit experiment niet constant²⁴ en niet vergelijkbaar met de omstandigheden tijdens het eerdere onderzoek. Op sommige dagen of momenten van de dag was er sprake van meer of minder wind, wel of geen regen en verschillende temperaturen. De weersomstandigheden op de onderzoeksdagen zijn terug te vinden in tabel 2.2.

Hoewel er verschillen zijn, is het de verwachting dat de experimenten hierdoor zo beperkt beïnvloedt zijn dat de resultaten bruikbaar zijn voor het onderzoek. De wind stond op alle onderzoeksdagen van de deuropening af. De luchtvochtigheid en druk zijn niet gemeten in de container.

Tabel 2.2. Meetgegevens KNMI-station Twente (290)²⁵

Datum	Wind-richting (graden)	Wind-snelheid ^{d26} (m/s)	Temperatuur ²⁷ (°C)	Neerslag ²⁸ (mm)	Relatieve vochtigheid ²⁹ (%)	Gemiddelde luchtdruk (hPa)
29 jan '13 (DLS 1.0)	ZW (222°)	5.8	10.2	5.7	93	1004.7

²⁴ Analyse van de meteogegevens van het KNMI-station op Troned laat zien dat er verschillen zijn. Dit is bij praktijkexperimenten in de open lucht helaas onoverkomelijk.

²⁵ Bron: <http://www.knmi.nl/klimatologie/dagegevens/index.cgi>

²⁶ Etmaalgemiddelde

²⁷ Etmaalgemiddelde

²⁸ Etmaalsom

²⁹ Etmaalgemiddelde

31 jan '13 (LD+HD)	WZW (238°)	7.0	6.7	11.7	79	1009.1
01 feb '13 (HD)	ZW (234°)	3.8	4.9	5.7	91	1000.0
10 feb '14 (LD ref)	ZO (128°)	2,6	4,5	0,2	79	995,6
11 feb '14 (DLS 2.0)	ZZW (208°)	4,9	5,6	1,1	82	999,6
13 feb '14 (DLS 2.0)	ZZW (206°)	5,0	5,0	4,0	84	994,6

Een tweede aspect waarop de experimenten van elkaar afwijken is de gebruikte watermeter. In het eerdere onderzoek is gebruik gemaakt van een analoge watermeter, terwijl in het huidige onderzoek gebruik gemaakt is van een digitale watermeter. Om een vergelijking te kunnen maken in het waterverbruik tussen beide experimenten zijn beide watermeters door een onafhankelijk onderzoeksinstituut, Kiwa gekeurd en zijn er vergelijkingstesten uitgevoerd. Zowel Kiwa als de vergelijkingstesten tonen aan dat de meetresultaten van beide meters met elkaar vergeleken kunnen worden.

Twee andere zaken weken weliswaar af, maar er wordt vanuit gegaan dat deze zaken geen invloed hebben gehad op het experiment en de uitkomsten.

Uit zowel de experimenten uit 2013 als in de huidige experimenten bleek dat een vast schema voor het openen en sluiten van ventilatieopeningen niet leidt tot identieke branden. De brandontwikkeling wordt onder andere beïnvloed door omgevingstemperatuur, luchtvochtigheid, windkracht en -richting. Hierdoor is het lastig om buiten een laboratoriumomgeving, ondanks de identieke vuurlast, 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 hoofdstuk 3) is gebleken dat er geen significante verschillen zijn tussen de experimenten.

Daarnaast is bij de experimenten met DLS 1.0 een andere, grotere TS gebruikt dan bij de experimenten met DLS 2.0. De leverancier van het onderzochte schuim One Seven® heeft bevestigd dat in beide TS-en hetzelfde blusproduct met dezelfde kracht en debiet uit de straalpijp komt, waardoor een vergelijking van de resultaten van beide experimenten mogelijk is.

2.8 Analyse van de data

Na afloop van de experimenten zijn de data van de thermokoppels, de tijd- en waterregistratie, de ervaringen uit de interviews, de bijzonderheden uit het logboek en het visuele beeld dat met camera's (één warmtebeeldcamera en meerdere digitale camera's) was vastgelegd beoordeeld.

Voordat het effect van DLS 2.0 op rookgaskoeling werd beoordeeld, is eerst onderzocht in hoeverre de resultaten van de vijf uitgevoerde experimenten overeen kwamen. Als blijkt dat de vijf experimenten wat betreft de resultaten grotendeels met elkaar overeenkomen, dan

zegt dit iets over de reproduceerbaarheid³⁰ van het onderzoek of het blussysteem. Daarmee zegt dit ook iets over de mogelijkheid om betrouwbare uitspraken te doen over het onderzoek.

Om de verschillen te analyseren is een significantietoets uitgevoerd. Hier is de Anova-toets toegepast. Met deze toets is te berekenen hoe groot de kans is dat een gevonden verschil toeval is. Als betrouwbaarheidspercentage is gekozen voor 95 procent, met andere woorden: als de gevonden foutkans (p) kleiner is dan 0,05 (5 procent) wordt gesproken van een significant verschil. De kans dat het gevonden verschil een daadwerkelijk verschil is en geen toeval, is meer dan 95 procent. Dit wordt uitgedrukt in de waarde voor p . Daarnaast wordt een waarde voor F berekend. Dit is een maat voor de grootte van het verschil. Aan de waarde voor F kan verder geen interpretatie worden ontleend.

Vervolgens is bepaald in hoeverre bepaalde experimenten, waarvan uit het logboek of uit de beschrijving van de betrokkenen gebleken is dat er iets bijzonders is gebeurd wat niet tot het eigenlijke experiment behoorde, al dan niet meegenomen moesten worden in de analyse. Daarna zijn de rookgaskoelingen geanalyseerd. Hierbij is zowel gekeken naar de twee series rookgaskoelingen afzonderlijk, als naar het temperatuurverloop tijdens de gehele inzet. De resultaten zijn vergeleken met de resultaten van de eerdere experimenten met DLS 1.0, HD en LD.

Bij de interpretatie van de data is het belangrijk te weten dat net als ieder onderzoek, dit onderzoek beperkingen kent. Zo was er geen sprake van uitgassende materialen, anders dan de vuurhaard. Ook was er hierdoor geen sprake van een brand die verder kon uitbreiden dan de directe brandruimte. Er is uitsluitend met één soort vuurlast getest in het genoemde testobject. Om de resultaten te kunnen duiden, is daarom in hoofdstuk 5 een duiding opgenomen.

³⁰ De mate waarin je, als je het experiment opnieuw zou uitvoeren, dezelfde waarde krijgt, en daarmee of de resultaten reproduceerbaar zijn.

3 Reproduceerbaarheid van de experimenten

Voordat de resultaten van het onderzoek met DLS 2.0 uit 2014 zijn vergeleken met het eerdergenoemde onderzoek uit 2013 met DLS 1.0, HD en LD, is gekeken in hoeverre de branden en de interventies tussen de verschillende onderzoeken reproduceerbaar waren. Hierbij is gekeken naar drie aspecten:

1. Of de testcondities tussen de eerste en tweede testweek overeen kwamen. Hiervoor wordt onderzocht of het referentie-experiment LD overeenkomt met de eerdere LD-experimenten.
2. Of de branden die gebruikt zijn om de verschillende technieken te testen min of meer overeen kwamen wat betreft starttemperatuur. Dit is nodig om een vergelijking te kunnen maken van de effectiviteit van de geteste systemen.
3. Of de vijf inzetten van één techniek reproduceerbaar zijn, zodat de gemiddelden berekend kunnen worden.

3.1 Overeenkomstigheid omstandigheden testweken

Om de resultaten uit het eerder onderzoek (2013) te kunnen gebruiken voor de vergelijking met het huidige onderzoek met DLS 2.0, is de opzet van de experimenten met DLS 2.0 identiek aan de eerder uitgevoerde onderzoek. Het enige verschil is de werkwijze bij toepassing van het onderzochte DLS One Seven®. Om toch iedere twijfel over de uniformiteit weg te nemen is een referentie-experiment met LD uitgevoerd. Indien de resultaten van het referentie-experiment met LD vergelijkbaar zijn met de reeds eerder uitgevoerde experimenten met LD, is aangetoond dat de onderzoekssituatie overeenkomt met het eerder uitgevoerde onderzoek. Hierdoor is een vergelijking mogelijk tussen de experimenten met DLS 2.0 en de resultaten uit de eerdere experimenten met DLS 1.0, LD en HD.

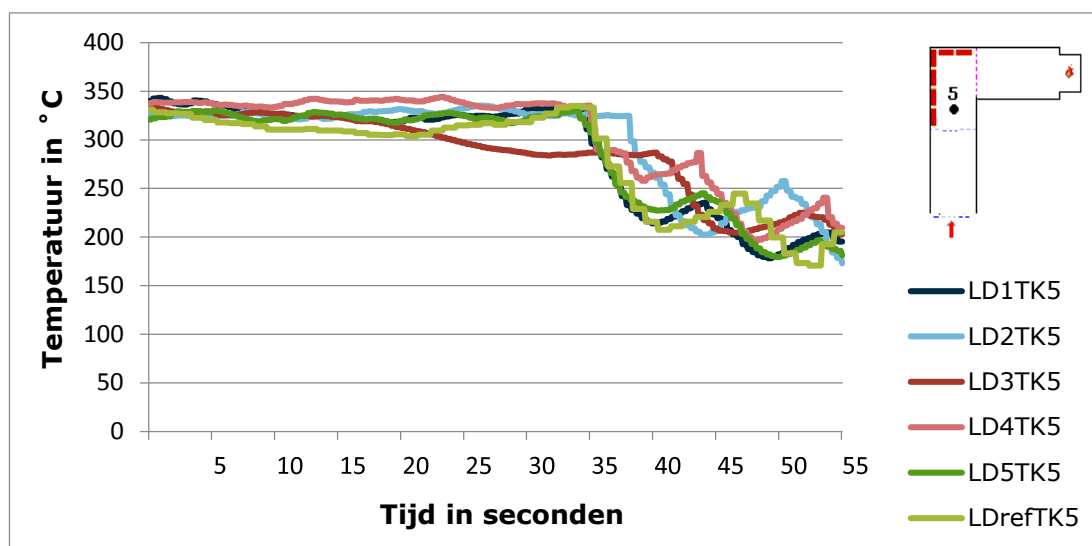
In tabel 3.1 zijn de starttemperatuur en de eindtemperatuur van de eerder uitgevoerde experimenten met LD vergeleken met het referentie-experiment met LD. In analogie met de eerdere experimenten zijn de waarden gemeten op thermokoppels 5 en 7.

Tabel 3.1. Overzicht temperaturen tussen eerder uitgevoerde LD experimenten en het referentie-experiment met LD

Experiment	Starttemperatuur TK 7	Starttemperatuur TK 5	Eindtemperatuur op t=55 s op TK 5
LD 1 (2013)	497	340	195
LD 2 (2013)	507	328	178
LD 3 (2013)	490	332	203
LD 4 (2013)	522	338	210
LD 5 (2013)	509	321	187

LD gem1-5 (2013)	505	340	195
LD Referentie (2014)	492	338	173

Uit de statistische analyse blijkt dat de starttemperatuur op thermokoppel 7 in het referentie-experiment niet significant verschilt van de starttemperaturen in de eerdere experimenten ($F = 0.942$; $p = 0.387$). Dit geldt ook voor de starttemperatuur op thermokoppel 5 ($F = 0.541$; $p = 0.503$) en de eindtemperatuur op thermokoppel 5 ($F = 2.425$; $p = 0.194$).



Afbeelding 3.1. Reproduceerbaarheid van de LD experimenten: referentie-experiment versus eerder uitgevoerde experimenten in dezelfde proefopstelling

In afbeelding 3.1 is het temperatuurverloop van het referentie-experiment LD refTK5 geplott in dezelfde grafiek als de eerder uitgevoerde experimenten met LD. Uit de afbeelding blijkt dat het referentie-experiment eenzelfde temperatuurverloop kent als de overige experimenten.

3.2 Reproduceerbaarheid van de brandontwikkeling

In tabellen 3.2 en 3.3 zijn de starttemperaturen, de minimale en maximale starttemperatuur en de gemiddelde tijdsduur van de opwarmfase weergegeven.

Tabel 3.2. Starttemperatuur ($^{\circ}\text{C}$), per blussysteem

Blussysteem	Gemiddelde starttemperatuur	Minimum starttemperatuur	Maximum starttemperatuur
DLS 1.0	512	496	522
DLS 2.0	501	469	531
Lagedruk	504	491	518
Hogedruk	504	493	530

Tabel 3.3. *Temperatuur (°C) en tijdsduur (sec) opstartfase, per blussysteem*

Blussysteem	Gemiddelde maximale temperatuur opstartfase	Gemiddelde tijdsduur opwarmfase in seconden
DLS 1.0	524	550
DLS 2.0	528	500
Lagedruk	521	533
Hogedruk	521	553

Uit een statistische analyse blijkt dat de starttemperaturen niet significant verschillen ($F = 0.376$; $p = 0.0.772$), evenals de maximale temperatuur ($F = 0.367$; $p = 0.778$) en de tijdsduur van de opwarmfase ($F = 0.209$; $p = 0.889$). Uit het bovenstaande blijkt dat de brandontwikkeling voorafgaande aan de inzet vrijwel identiek was.

3.3 Reproduceerbaarheid van de inzetten

De inzetten zijn vijfmaal herhaald, daarbij is onderzocht in hoeverre de resultaten van deze vijf experimenten met elkaar overeenkomen. Voor de analyse van de reproduceerbaarheid is het temperatuurverloop van de totale inzet op de rookgaskoeling ter plaatse van thermokoppel 5 bekeken. Dit 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. Deze thermokoppel is ook gebruikt voor de analyses in de eerdere experimenten met DLS 1.0, LD en HD.

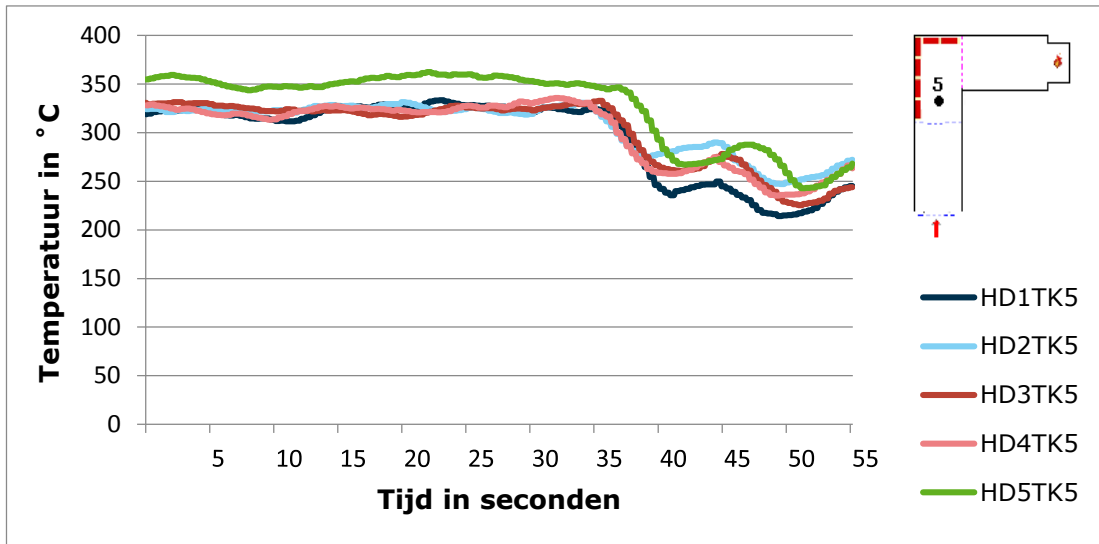
In de afbeeldingen 3.2, 3.3, 3.4 en 3.5 is het temperatuurverloop tijdens de experimenten weergegeven. In deze afbeeldingen zijn op hoofdlijnen drie variaties zichtbaar tussen de vijf experimenten:

- > de variatie op de horizontale as (in de tijd)
- > de variatie op de verticale as (in de temperatuur) en
- > het verloop van de curven.

Voor de reproduceerbaarheid van de experimenten is het verloop van de curven van belang. Dit is zichtbaar in het golfpatroon die de lijnen van de afzonderlijke experimenten al dan niet volgen en in de steilheid van de temperaturredalingen en -stijgingen.

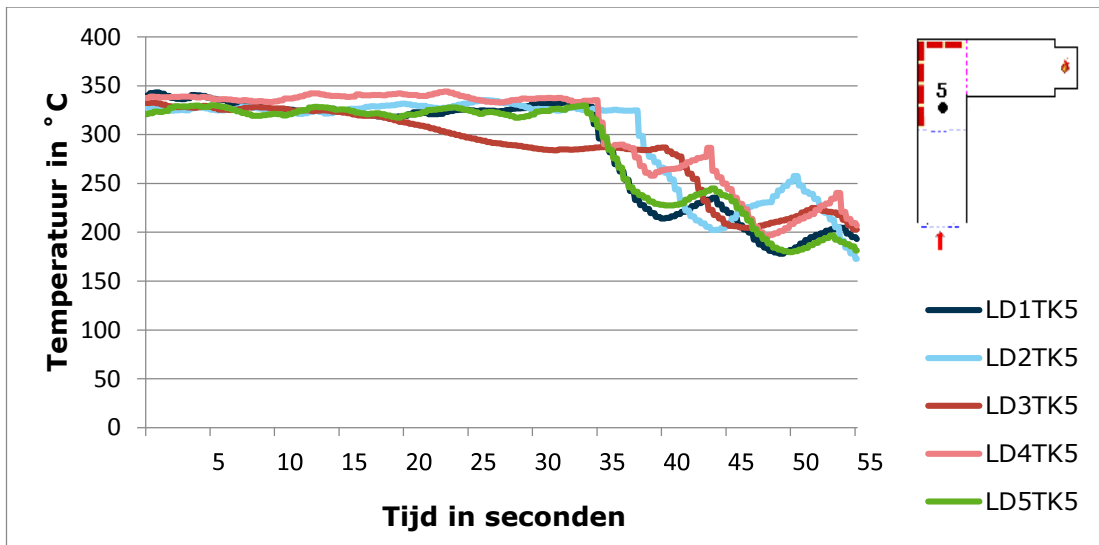
De horizontale en verticale verschuivingen worden veroorzaakt door de verschillen in starttijd en starttemperatuur en zijn voor de reproduceerbaarheid niet relevant, mits het golfpatroon en de steilheid van de temperaturredalingen en -stijgingen vergelijkbaar zijn. Dat kan als volgt worden verklaard:

- > De variatie op de horizontale as is zichtbaar als moment dat de temperatuur daalt of stijgt. Deze variaties worden veroorzaakt doordat de interventies (serie met shots) bij elk experiment niet exact op hetzelfde moment zijn uitgevoerd.
- > De variatie op de verticale as is zichtbaar in de hoogte van de temperatuur. Deze variatie in de hoogte van de temperatuur wordt veroorzaakt door (kleine) verschillen in starttemperatuur.



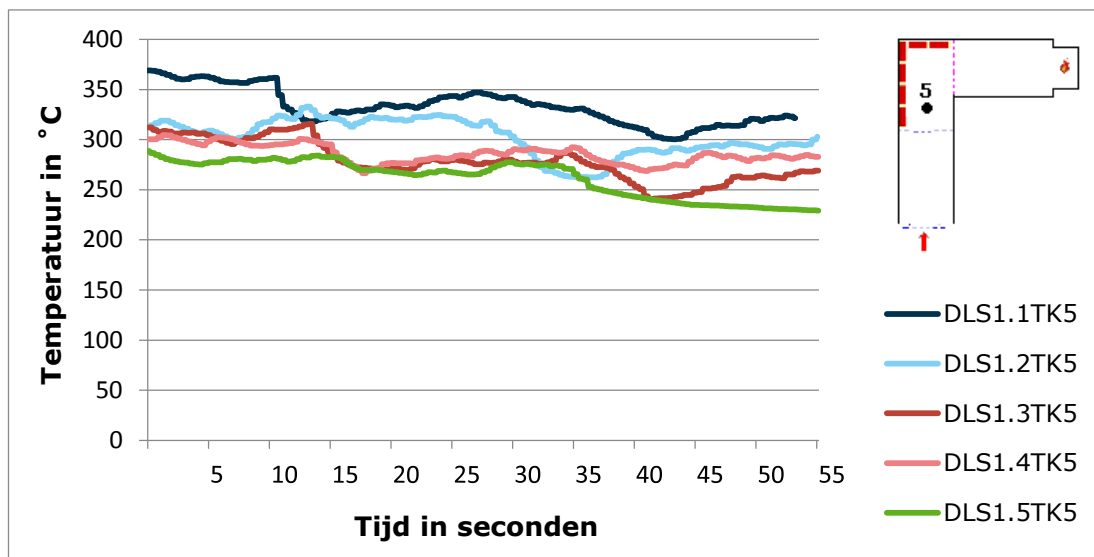
Afbeelding 3.2. Reproduceerbaarheid experimenten HD, rookgaskoeling, thermokoppel 5

In afbeelding 3.2 zijn de testen met hogedruk weergegeven. Hierin is te zien dat test HD5 een hogere starttemperatuur heeft, maar dat het verdere verloop vergelijkbaar is met de overige vier testen.



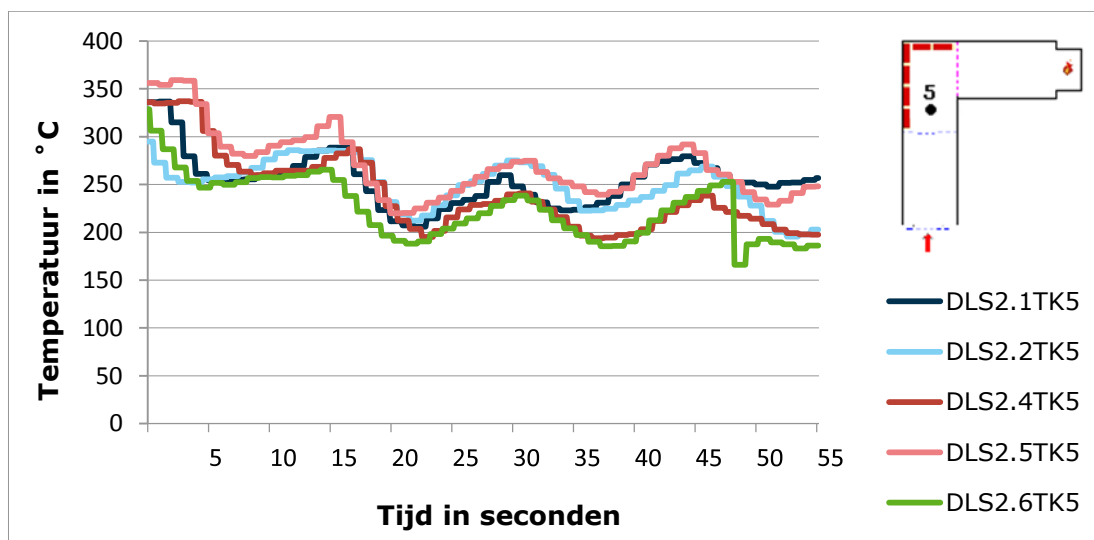
Afbeelding 3.3. Reproduceerbaarheid experimenten LD, rookgaskoeling, thermokoppel 5

In afbeelding 3.3 zijn de testen met lagedruk weergegeven. Test LD3 laat in de eerste serie interventies een afwijkende temperatuurdaling zien, maar volgt verder het patroon van de overige testen.



Afbeelding 3.4. Reproduceerbaarheid experimenten DLS 1.0, rookgaskoeling, thermokoppel 5

In afbeelding 3.4 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 DLS1.1 en DLS1.2 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. Op grond hiervan is besloten om de eerste DLS-test (DLS-1) niet mee te nemen in de analyse. Voor afwijking in DLS-2 is geen verklaring gevonden, aangezien er door het inzetteam geen bijzonderheden in de uitvoering van de test is gemeld. De gemiddelde lijn in de volgende hoofdstukken is dan ook gebaseerd op de testen 2 tot en met 6 van DLS1.0.



Afbeelding 3.5. Reproduceerbaarheid experimenten DLS 2.0, rookgaskoeling, thermokoppel 5

In afbeelding 3.5 is te zien dat het temperatuurverloop van de vijf experimenten vergelijkbaar is. De lijnen volgen een vergelijkbaar patroon. De experimenten met DLS2.4 en DLS2.5 wijken iets af doordat de inzetten in deze experimenten na de eerste shot ten opzichte van de andere experimenten enkele seconden later een effect laten zien in temperatuurdaling. Het patroon van de vijf experimenten varieert in temperatuur maximaal 65 °C voor de laagste waarden na de inzetten. In experiment DLS2.6 is op ongeveer 48 seconden een plotselinge temperatuurdaling van ongeveer 80 °C te zien. Dit is waarschijnlijk veroorzaakt doordat de

thermokoppel geraakt is tijdens de inzet. In de afbeelding ontbreekt DLS2.3. Dit komt omdat bij deze inzet het inzetprotocol niet correct gevolgd is. Derhalve is er een extra test uitgevoerd (DLS2.6) om zodoende weer aan vijf inzetten te komen.

3.4 Conclusie reproduceerbaarheid

Het resultaat van het LD referentie-experiment komt overeen met de LD resultaten uit het eerdere experimenten. Daarom wordt ervan uitgegaan dat de testcondities in de experimenten van 2013 vergelijkbaar zijn met de experimenten met DLS 2.0 in 2014. Hierdoor kunnen de resultaten uit de experimenten met DLS 2.0 vergeleken worden met de resultaten uit eerder uitgevoerde experimenten met DLS 1.0, LD en HD. Verder blijkt uit de starttemperaturen dat er geen significante verschillen zijn tussen de brandontwikkeling van de branden bij de verschillende experimenten met de technieken. De experimenten met DLS 2.0 zijn zodanig vergelijkbaar dat de metingen uit de vijf afzonderlijke experimenten gemiddeld kunnen worden. Ook de resultaten van de experimenten met DLS 1.0, LD en HD laten zien dat de resultaten van inzetten per techniek met elkaar overeenkomen. Hierdoor is het mogelijk de gemiddelde resultaten van de vier inzetmethoden met elkaar te vergelijken.

4 Resultaten rookgaskoeling

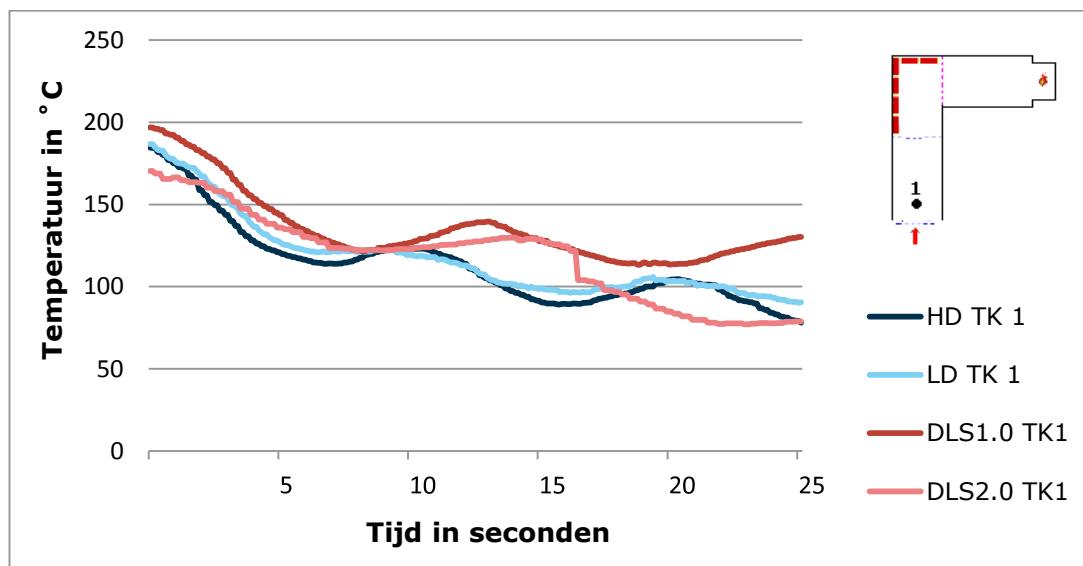
In de navolgende paragrafen wordt als eerste het temperatuurverloop tijdens de twee afzonderlijke series rookgaskoelingen bekeken in de ruimte waarop de inzet plaatsvond. Daarna wordt het temperatuurverloop over de gehele container bekeken gedurende de gehele inzet van één minuut in het midden van de container en in de rest van de container. Daar waar een vergelijking wordt gemaakt tussen DLS 2.0 en de eerder uitgevoerde experimenten met LD, HD en DLS 1.0 wordt uitgegaan van 55 seconden, omdat deze tijdsduur in de eerdere experimenten is gebruikt.

4.1 Temperatuurverloop afzonderlijke series rookgaskoelingen

In deze paragraaf wordt het temperatuurverloop voor de vier onderzochte systemen tijdens de afzonderlijke series rookgaskoelingen beschouwd in de ruimten waarop is ingezet. De eerste serie rookgaskoelingen is uitgevoerd vanaf de ingang van de container. Daarom is voor de eerste serie van de rookgaskoelingen (1-3) gekeken naar de temperatuurafname op TK 1 tot 25 seconden na de start van het experiment. De tweede serie rookgaskoelingen is halverwege de container uitgevoerd. Daarom is voor de tweede serie rookgaskoelingen (4-6) gekeken naar de temperatuurafname op TK 5 vanaf het eerste moment van het effect van de tweede serie rookgaskoelingen tot 25 seconden na dit moment.³¹

4.1.1 Eerste serie rookgaskoelingen (TK1)

In afbeelding 4.1 is het temperatuurverloop voor het eerste deel van de rookgaskoeling (in het voorste deel van de container, thermokoppel 1) weergegeven.



Afbeelding 4.1. Temperatuurverloop eerste serie 1 (shots 1-3), gemiddelde waarden per systeem, thermokoppel 1

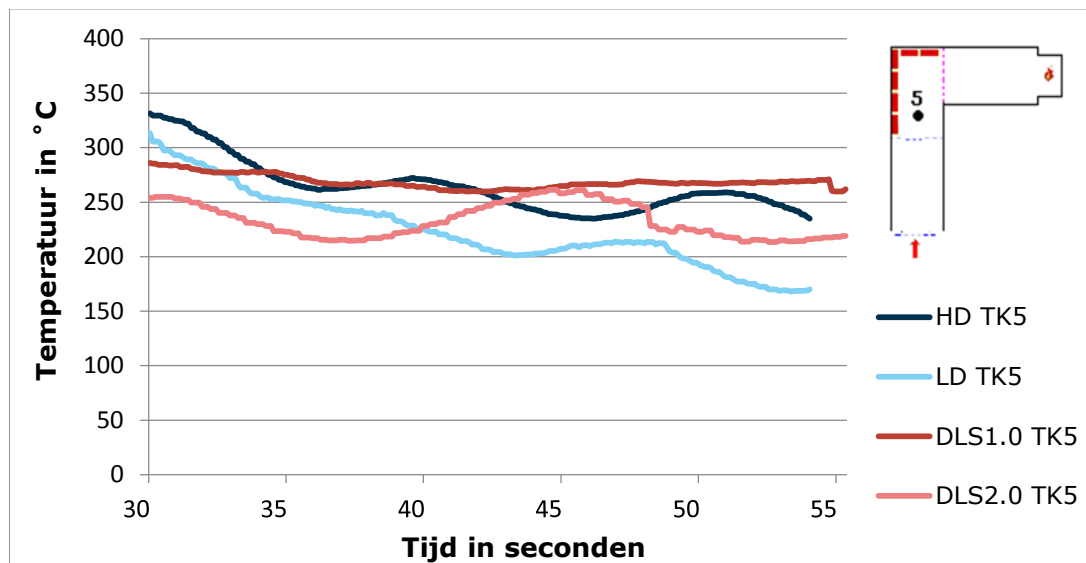
³¹ In analogie met het rapport uit 2013.

De starttemperatuur in het eerste deel van de container (op TK1) is het hoogst bij DLS 1.0 ($T \approx 200 \text{ }^\circ\text{C}$) en het laagst bij DLS 2.0 ($T \approx 170 \text{ }^\circ\text{C}$). Voor alle technieken geldt dat na het eerste shot de sterkste temperatuurdaling te zien is. Deze temperatuurdaling is het kleinst voor DLS 2.0, voor de andere technieken is deze ongeveer even groot. Daarna vertonen alle curven een golvend patroon, waarbij de temperatuur direct na een shot afneemt, maar daarna weer stijgt. Voor DLS 1.0 is deze stijging het grootst. Uiteindelijk is de temperatuurdaling na 25 seconden bij HD het sterkst ($\Delta T = 106 \text{ }^\circ\text{C}$), het effect bij LD ($\Delta T = 98 \text{ }^\circ\text{C}$) en DLS 2.0 ($\Delta T = 91 \text{ }^\circ\text{C}$) ligt daar dicht bij. De temperatuur is bij DLS 1.0 het minst sterk ($\Delta T = 66 \text{ }^\circ\text{C}$) gedaald. Als gevolg van deze temperatuurdalingen ligt de eindtemperatuur (gemeten op $t = 25$) bij DLS 2.0, HD en LD rond de $85 \text{ }^\circ\text{C}$ en bij DLS 1.0 op $130 \text{ }^\circ\text{C}$.

De systemen HD, LD en DLS 2.0 laten een vergelijkbaar effect zien in absolute temperatuurdaling in het voorste gedeelte van de container, daar waar de inzetploeg als eerste de brandruimte moet betreden. DLS 2.0 zorgt voor een betere koeling dan DLS 1.0.

4.1.2 Tweede serie rookgaskoelingen (TK5)

In afbeelding 4.2 is het temperatuurverloop in het midden van de container (thermokoppel 5) tijdens de tweede serie rookgaskoelingen voor elk systeem weergegeven. In de grafiek zijn de tijden per systeem gecorrigeerd op basis van het waarneembare effect van de tweede serie rookgaskoelingen, waardoor de start van de tweede serie rookgaskoelingen voor alle systemen op $t = 30$ is gelijkgesteld.³²



Afbeelding 4.2. Temperatuurverloop tweede serie (shots 4-6), gemiddelde waarden per systeem, thermokoppel 5

De starttemperaturen zijn in dit deel van de container (TK5) hoger dan in het eerste deel van de container (TK1). De starttemperatuur in het tweede deel van de container is het hoogst bij HD ($T \approx 330 \text{ }^\circ\text{C}$) en het laagst bij DLS 2.0 ($T \approx 255 \text{ }^\circ\text{C}$). Hierbij moet worden opgemerkt dat de temperatuur op thermokoppel 5 op dat moment, als gevolg van de eerste serie rookgaskoelingen, bij DLS 2.0 al ongeveer $80 \text{ }^\circ\text{C}$ en bij DLS 1.0 en LD al ongeveer $20 \text{ }^\circ\text{C}$ gedaald was (zie figuur 4.9 verderop in dit rapport).

³² Per systeem treedt het effect van de rookgaskoeling op een ander moment op. In afbeelding 4.2 is de start van het effect bij de verschillende systemen gelijkgetrokken, zodat de sterkte van het effect per systeem goed te vergelijken is met de sterkte van het effect van de andere systemen.

Ook in de tweede serie rookgaskoelingen wordt bij de geteste systemen, met uitzondering van DLS 1.0, een golvende temperatuurcurve waargenomen. De temperatuur neemt na de koeling weer toe. Deze toename is het grootst voor DLS 2.0 en het kleinst voor LD en DLS 1.0. Bij de tweede serie rookgaskoelingen met DLS 1.0 is daarentegen ook nauwelijks een temperaturdaling te zien. De temperaturdaling (gemeten op $t = 55$) is voor LD 143 °C , voor HD 97 °C , voor DLS 1.0 25 °C en voor DLS 2.0 35 °C .

Het uiteindelijke effect op de absolute daling van de rookgastemperatuur is het grootst voor LD. HD scoort minder, maar wel beter dan DLS 2.0. DLS 1.0 zorgt voor de minste koeling. Daarbij moet worden opgemerkt dat de temperatuur bij DLS 2.0 bij de start van de tweede serie rookgaskoelingen al was afgenomen.

Als de temperaturdalingen op thermokoppel 5 als gevolg van de tweede rookgaskoeling worden verrekend met de temperaturdalingen als gevolg van de eerste rookgaskoeling op deze thermokoppel, blijkt dat de temperatuur bij LD het sterkst ($\Delta T = 162\text{ °C}$) en bij DLS 1.0 het minst sterk ($\Delta T = 43\text{ °C}$) is gedaald. De temperaturdalingen bij DLS 2.0 ($\Delta T = 113\text{ °C}$) en bij HD ($\Delta T = 97\text{ °C}$) liggen daar ongeveer tussenin. Als gevolg van deze temperaturdalingen is de eindtemperatuur (gemeten op $t = 55$) bij LD het laagst ($T \approx 170\text{ °C}$) en bij DLS 1.0 het hoogst ($T \approx 270\text{ °C}$).

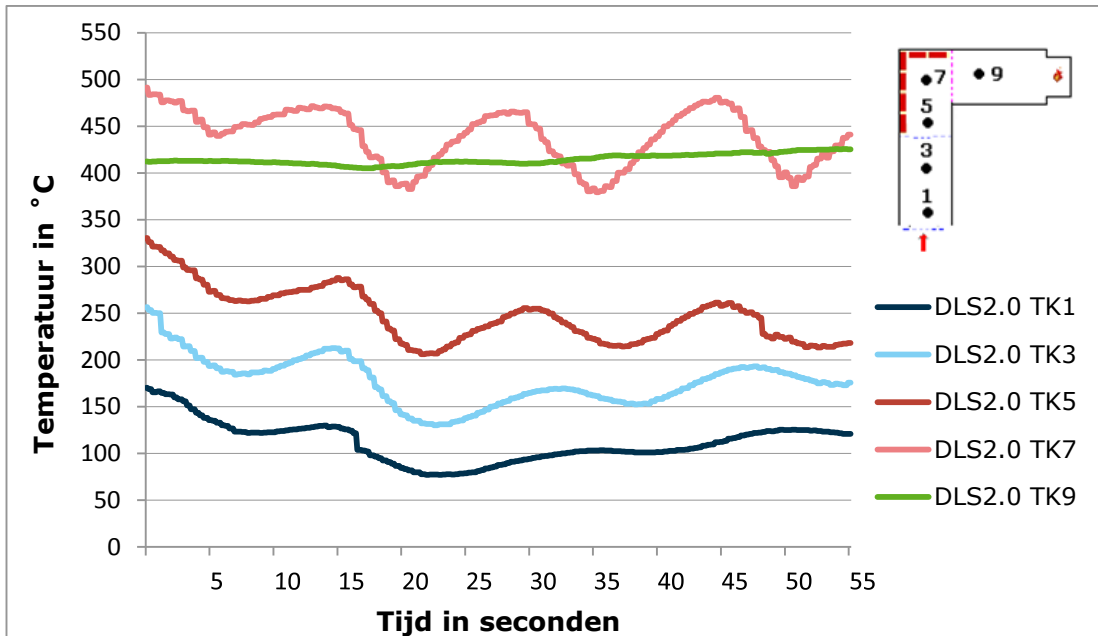
4.2 Temperatuurverloop gehele container tijdens de inzet

In deze paragraaf wordt het absolute³³ temperatuurverloop in de gehele container tijdens de twee series rookgaskoelingen geanalyseerd, zodat er uitspraken gedaan kunnen worden over het effect van een inzet verderop in de ruimte en achter de inzetploeg. In afbeelding 4.3 is het gemiddelde temperatuurverloop voor de inzet met DLS 2.0 op verschillende plaatsen in het onderzoeksobject weergegeven (op de verschillende thermokoppels). Ter vergelijking zijn ook de grafieken van DLS 1.0, HD en LD opgenomen.

Voor de eerste serie rookgaskoelingen is 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)³⁴. Thermokoppel 9 bevindt zich ter hoogte van de vuurhaard.

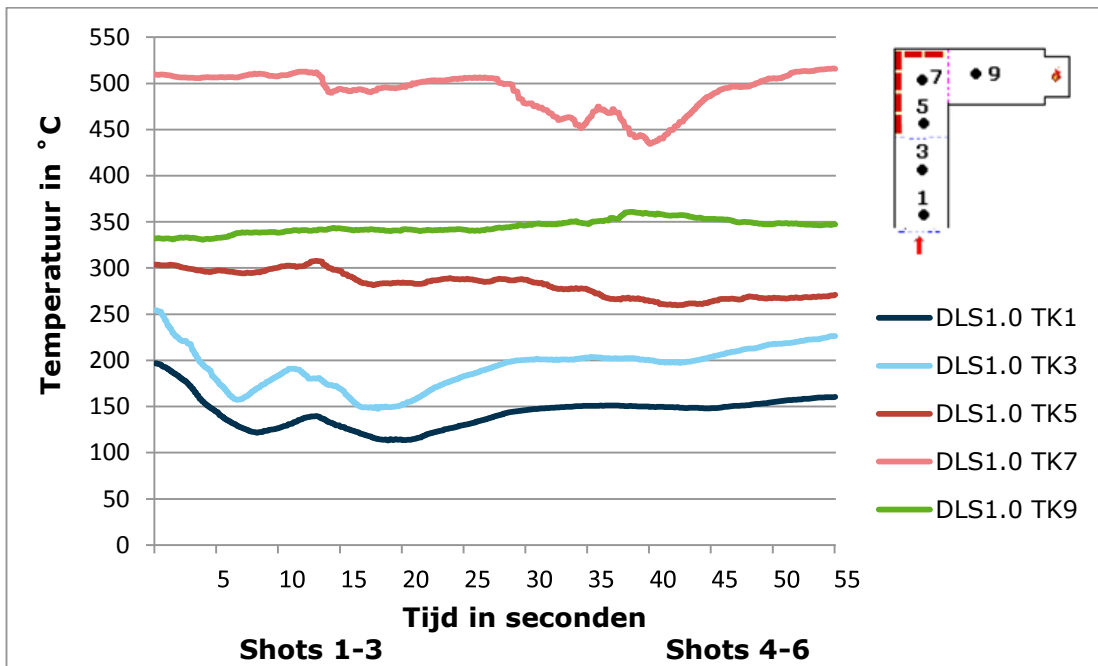
³³ Met absolute wordt bedoeld: het daadwerkelijke verschil, ongeacht de hoeveelheid ingebracht blusmiddel en/of water. De relatieve koeling (per liter water) wordt weergegeven in paragraaf 4.3

³⁴ Thermokoppel 7 wordt vanwege de locatie in de hoek niet alleen door convectie, maar ook door rechtstreekse aanstraling van de vuurhaard opgewarmd.

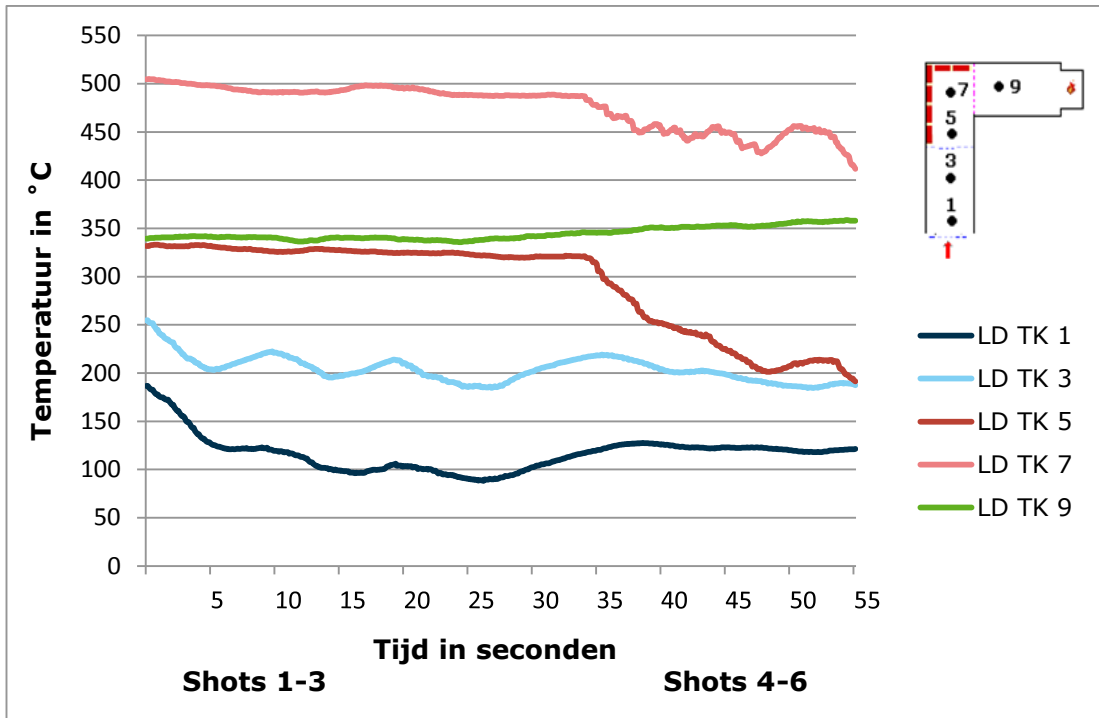


Afbeelding 4.3. Temperatuurverloop rookgaskoeling DLS 2.0, gemiddelde waarden per thermokoppel (TK)

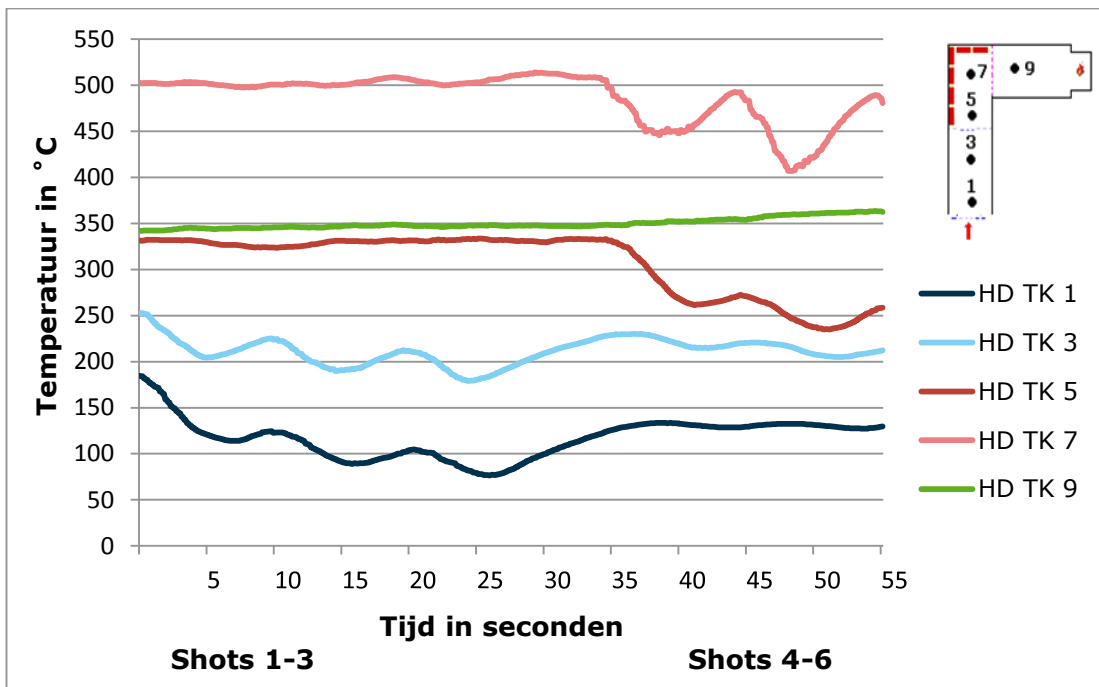
Bij de inzetten met DLS 2.0 is direct na de eerste shot een temperatuurdaling zichtbaar op thermokoppels 1 en 3 ($\Delta T_{DLS\ 2.0,TK1} \approx 45\text{ °C}$; $\Delta T_{DLS\ 2.0,TK3} \approx 70\text{ °C}$). Ook op thermokoppels 5 en 7, verderop in de container, wordt een temperatuurdaling gemeten ($\Delta T_{DLS\ 2.0,TK5} \approx 70\text{ °C}$; $\Delta T_{DLS\ 2.0,TK7} \approx 50\text{ °C}$). Dit temperatuureffect verderop in de container is bij de experimenten met DLS 1.0, HD en LD niet waargenomen (zie ook de afbeelding 4.4, 4.5 en 4.6).



Afbeelding 4.4 Temperatuurverloop rookgaskoeling DLS 1.0, gemiddelde waarden per thermokoppel (TK)

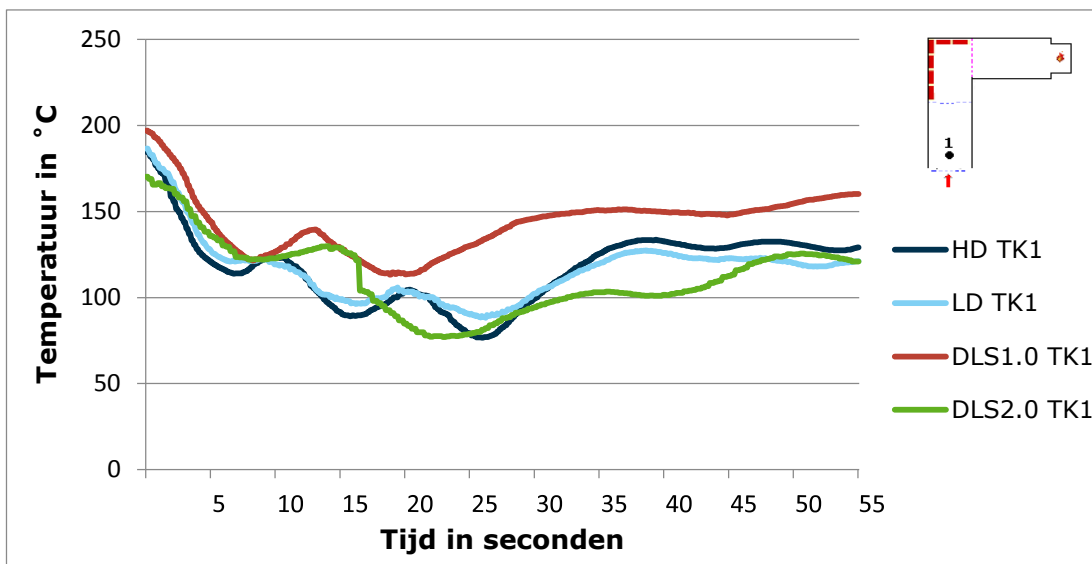


Afbeelding 4.5. Temperatuurverloop rookgaskoeling LD, gemiddelde waarden per thermokoppel (TK)



Afbeelding 4.6. Temperatuurverloop rookgaskoeling HD, gemiddelde waarden per thermokoppel (TK)

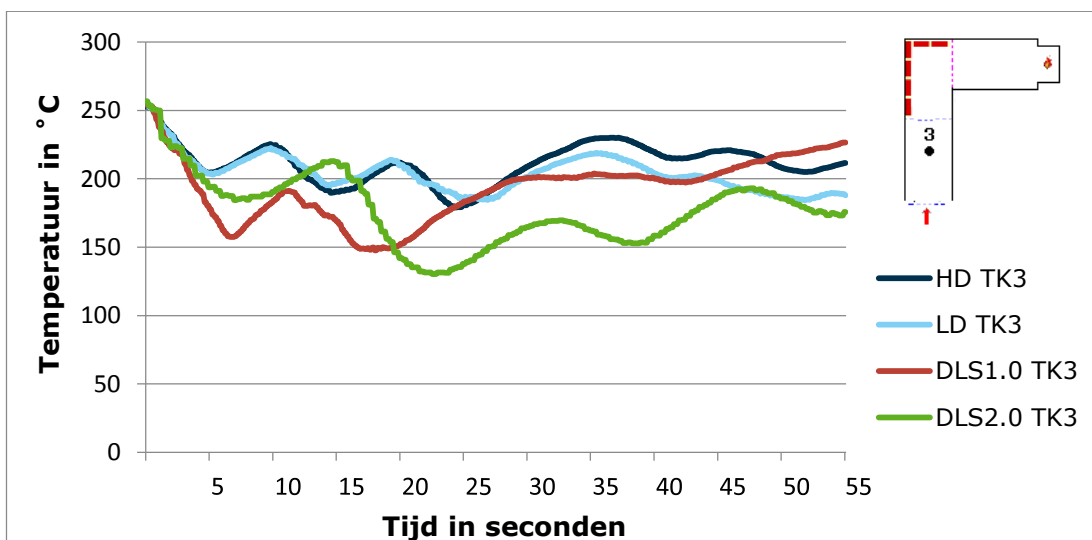
In de volgende afbeeldingen zijn de vier systemen per thermokoppel in een grafiek weergegeven.



Afbeelding 4.7. Temperatuurverloop rookgaskoeling, gemiddelde waarden per systeem op thermokoppel 1 (TK1)

Voor een beschrijving van het effect van de eerste serie rookgaskoelingen op thermokoppel 1 wordt verwezen naar paragraaf 4.1. In afbeelding 4.7 is te zien dat na de eerste serie rookgaskoelingen (dus tijdens het voortbewegen van de ploeg van de voordeur naar de tweede opstellijijn) de temperatuur bij alle vier geteste systemen weer toeneemt. Op $t = 55$ is de eindtemperatuur ten opzichte van de starttemperatuur bij LD het sterkst en bij DLS 1.0 het minst sterk gedaald ($\Delta T_{LD}=64$ °C; $\Delta T_{HD}=58$ °C; $\Delta T_{DLS\ 2.0}=49$ °C; $\Delta T_{DLS\ 1.0}=40$ °C).

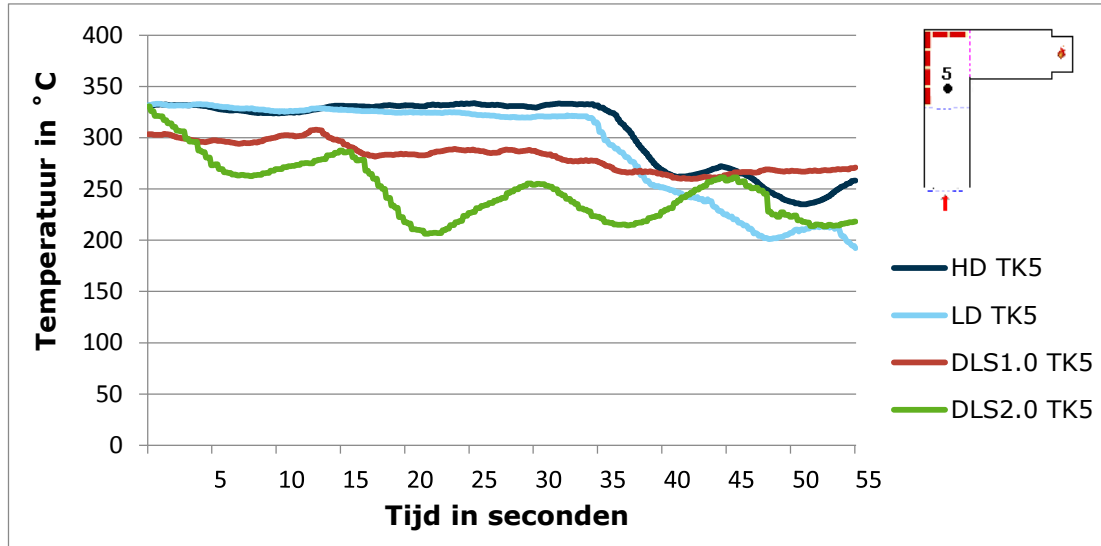
De temperatuur daalt op thermokoppel 1 voorin de container in absolute zin vergelijkbaar bij HD, LD en DLS 2.0.



Afbeelding 4.8. Temperatuurverloop rookgaskoeling, gemiddelde waarden per systeem op thermokoppel 3 (TK3)

Uit afbeelding 4.8 blijkt dat de temperatuur op thermokoppel 3 na de eerste serie rookgaskoelingen bij DLS 2.0 en DLS 1.0 sterk is gedaald ($\Delta T_{DLS\ 2.0}=122$ °C; $\Delta T_{DLS\ 1.0}=106$ °C). De temperatuur bij HD en LD is ook gedaald, maar minder sterk dan bij DLS 1.0 en 2.0 ($\Delta T_{LD}=64$ °C; $\Delta T_{HD}=75$ °C). Na de eerste serie rookgaskoelingen neemt de temperatuur bij alle vier geteste systemen weer toe. De piektemperatuur ter plaatse van de opstellijijn van de inzetploeg is op het moment vlak voor de tweede serie rookgaskoelingen het laagst bij DLS

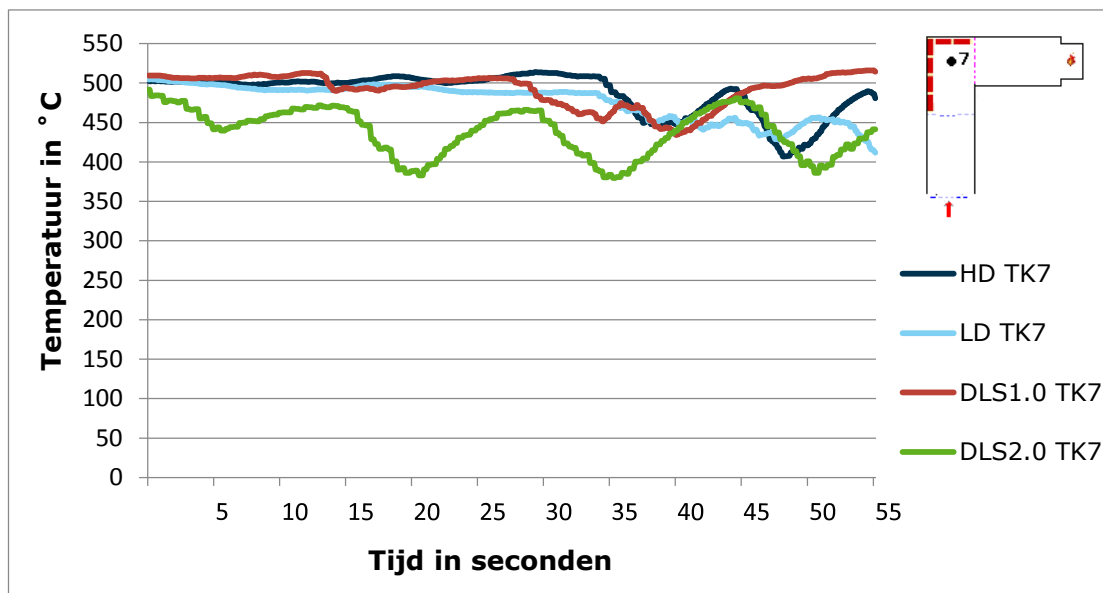
2.0 en het hoogst bij HD ($\Delta T_{DLS\ 2.0}=166\text{ °C}$; $\Delta T_{DLS\ 1.0}=201\text{ °C}$; $\Delta T_{LD}=219\text{ °C}$; $\Delta T_{HD}=229\text{ °C}$). De temperatuur neemt als gevolg van de tweede serie rookgaskoelingen vanaf $t=35$ bij HD en LD weer licht af, terwijl de temperatuur ter plaatse van de opstellijn van de inzetploeg bij DLS1.0 beperkt toeneemt ($\Delta T_{DLS\ 1.0}\approx 20\text{ °C}$) en bij DLS 2.0 een golvend patroon met een beperkte stijging tussen $t=35$ en $t=45$ te zien is ($\Delta T_{DLS\ 2.0}\approx 35\text{ °C}$). De uiteindelijke temperatuurdaling op $t = 55$ is bij DLS 2.0 het sterkst en bij DLS 1.0 het minst sterk ($\Delta T_{DLS\ 2.0}=80\text{ °C}$; $\Delta T_{LD}=66\text{ °C}$; $\Delta T_{HD}=44\text{ °C}$; $\Delta T_{DLS\ 1.0}=29\text{ °C}$).



Afbeelding 4.9. Temperatuurverloop rookgaskoeling, gemiddelde waarden per systeem op thermokoppel 5 (TK5)

DLS 2.0 geeft vanaf de eerste shot een temperatuurdaling op thermokoppel 5, dit in tegenstelling tot DLS 1.0, HD en LD. Deze laatste technieken hebben pas een effect op thermokoppel 5 in het tweede deel van de inzet. Dat is verklaarbaar, omdat bij DLS 2.0 vanaf de deuropening werd ingezet en de worplengte tot in het tweede gedeelte van de container reikt. DLS 1.0 werd zeven meter voor de ingang ingezet en reikte daardoor niet zo ver. De worplengte van LD en HD is kleiner en deze bereikt in de eerste shots ook niet thermokoppel 5. In de tweede serie rookgaskoelingen vertonen de temperatuurcurves van HD en LD een temperatuurdaling in de tweede serie rookgaskoelingen, waarbij de temperatuurdaling bij LD het grootst is. Bij DLS 2.0 blijft de temperatuur in deze fase schommelen rond 225 °C , binnen een range van ongeveer 50 °C . Bij DLS 1.0 blijft de temperatuur in de tweede serie rookgaskoelingen gelijk op ongeveer 265 °C . Uiteindelijk is de temperatuur op $t = 55$ bij LD het sterkst gedaald en bij DLS 1.0 het minst sterk ($\Delta T_{LD}=138\text{ °C}$; $\Delta T_{DLS\ 2.0}=112\text{ °C}$; $\Delta T_{HD}=73\text{ °C}$; $\Delta T_{DLS\ 1.0}=41\text{ °C}$).

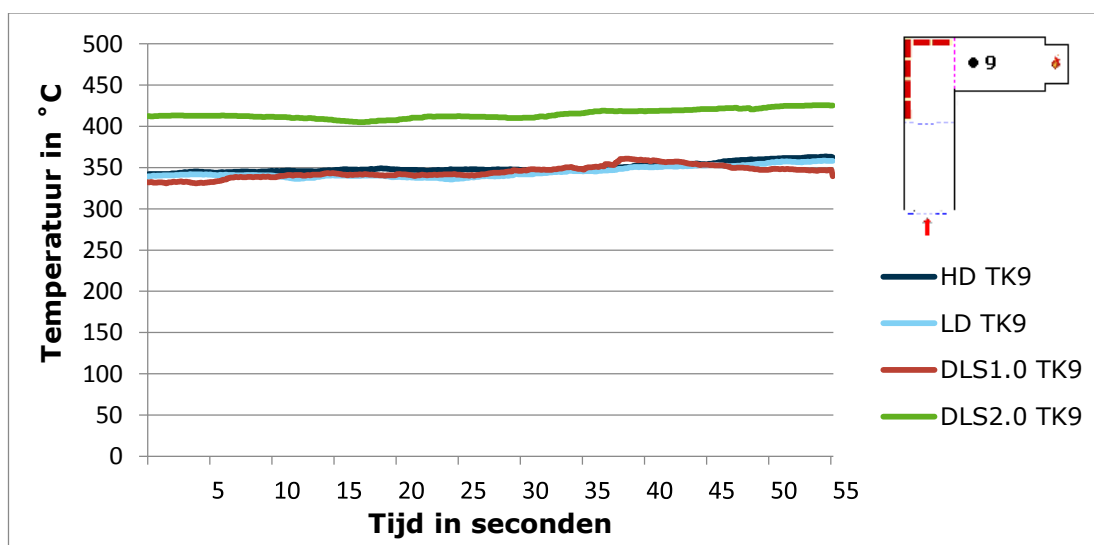
Op thermokoppel 5 zorgt DLS 2.0 bij de eerste serie rookgaskoelingen voor de sterkste absolute daling. Bij de tweede serie rookgaskoelingen is een verdere daling beperkt, terwijl LD en HD een daling laten zien. Uiteindelijk heeft LD het grootste absolute koelend vermogen, gevolgd door DLS 2.0, HD en DLS 1.0.



Afbeelding 4.10. Temperatuurverloop rookgaskoeling, gemiddelde waarden per systeem op thermokoppel 7 (TK7)

Ook op thermokoppel 7 laat DLS 2.0 in de eerste serie rookgaskoelingen al een temperatuurdaling zien, terwijl daar bij de andere geteste systemen geen sprake van is. DLS 2.0 vertoont over de gehele testperiode een sterke golfbeweging. Daaruit blijkt dat de temperatuur daalt na elke shot, maar daarna weer toeneemt. De temperatuur schommelt tijdens de rookgaskoelingen met DLS 2.0 rond de 435 °C, binnen een range van ongeveer 100 °C. Ook bij HD is in de tweede serie rookgaskoelingen een sterke golfbeweging te zien, waarbij de temperatuur uiteindelijk schommelt rond de 450 °C, binnen een range van ongeveer 100 °C. Bij DLS 1.0 is de uiteindelijke temperatuur zelfs iets hoger dan de begintemperatuur. Alleen LD is in staat om op thermokoppel 7 een meer stabiele temperatuurdaling te realiseren (met name vanaf $t=35$) en bereikt op $t = 55$ bovendien de sterkste temperatuurdaling van de vier geteste systemen ($\Delta T_{LD}=91$ °C).

DLS 2.0 zorgt bij de eerste serie rookgaskoelingen achterin de container op thermokoppel 7 voor een temperatuurdaling, meer dan de andere systemen. Bij de serie koelingen in de container zelf is alleen LD in staat om een structurele dalende lijn in temperatuur te realiseren.



Afbeelding 4.11. Temperatuurverloop rookgaskoeling, gemiddelde waarden per systeem op thermokoppel 9 (TK9)

Op thermokoppel 9 is de eindtemperatuur bij alle systemen hoger dan bij de start van het experiment. Er zijn geen verschillen tussen de systemen zichtbaar.

In tabel 4.1 is een overzicht gegeven van het temperatuurverschil van alle tegen het plafond van de container aanwezige thermokoppels. In de tabel is het verschil te zien tussen de temperatuur bij de start van het experiment, en aan het einde op $t = 55$ seconden.

Tabel 4.1. Overzicht $\sum \Delta temp$ van alle thermokoppels op $t = 55$

TK	DLS 2.0	DLS 1.0	LD	HD
1	-50	-38	-65	-54
3	-78	-32	-71	-38
5	-107	-42	-150	-72
7	-36	+5	-112	-52
9	+13	+8	+19	+19
Totaal ($\sum \Delta temp$)	-258	-99	-379	-197

Bovenstaande tabel bevestigt wat gevonden wordt op thermokoppel 5: LD koelt het beste in absolute zin, daarna DLS 2.0, dan HD en tenslotte DLS 1.0.

4.3 Waterverbruik in relatie tot rookgaskoeling

Het koelend vermogen is afhankelijk van de ingebrachte hoeveelheid water dat kan verdampen. Want in principe geldt: hoe meer water, hoe meer koeling. In de voorgaande paragrafen is gekeken naar de absolute temperaturredaling. Bij de testen is echter per techniek een verschillende hoeveelheid water/blusmiddel ingebracht. Om een goede vergelijking te kunnen maken in het kader van effectiviteit, is daarom ook de relatieve koeling per liter water opgenomen. Het waterverbruik tijdens de gehele inzet is afgezet tegen de totale temperaturredaling op thermokoppel 5.

Tijdens de experimenten is het waterverbruik gemeten met behulp van een watermeter. Bij de testen met DLS 2.0 is gebruik gemaakt van een digitale watermeter. Voor de eerder uitgevoerde testen met HD, LD en DLS 1.0 is gebruik gemaakt van een analoge watermeter³⁵. Om er zeker van te zijn dat de watermetingen zoals uitgevoerd tijdens de experimenten met DLS 1.0 en 2.0 kloppen, werden enkele vergelijkingstesten uitgevoerd. Daarnaast is Kiwa, als autoriteit op dit gebied, de vraag voorgelegd of de watermeters betrouwbaar zijn en of de manier waarop de meters zijn gebruikt juist is. De resultaten, de analyse en de conclusie van de vergelijkingstesten zijn opgenomen in bijlage 2 en het onderzoek van Kiwa in bijlage 3.

Op basis van de vergelijkingstesten en het onderzoek van Kiwa wordt geconcludeerd dat de uitkomsten van de metingen en de, gezien de foutmarge, te verwachten uitkomsten daarvan niet strijdig met elkaar zijn. Daarom kan er van worden uitgegaan dat de metingen en de uitkomsten correct zijn en de resultaten van de watermetingen bij zowel de experimenten

³⁵ Het water ging vanuit het hydrant via de watermeter buiten de tank om. Na iedere serie rookgaskoelingen is de waterstand genoteerd.

met LD, HD en DLS 1.0 en die van de experimenten met DLS 2.0 onderling met elkaar vergeleken kunnen worden.

Tabel 4.2. Gemiddelde waterverbruik gedurende de rookgaskoeling op thermokoppel 5

Techniek	Ingebrachte hoeveelheid water in liters gemeten	Standaard-deviatie	Temperatuurdaling totale rookgaskoeling TK 5	Temperatuurdaling in graden per liter water
DLS 1.0	29	8,8	41	1,4
DLS 2.0	74	7,4	112	1,5
Lagedruk	42	6,6	152	3,6
Hogedruk	32	3,5	73	2,3

In tabel 4.2 is af te lezen dat als de temperatuurdaling wordt afgezet tegen de ingebrachte hoeveelheid water, het rookgaskoelend vermogen van LD het grootst is (3,6 °C/ltr.), gevolgd door HD (2,3 °C/ltr.), DLS 2.0 (1,5 °C/ltr.) en DLS 1.0 (1,4 °C/ltr.).

Het bovenstaande is berekend op basis van thermokoppel 5. Omdat DLS 2.0 al in een vroeg stadium effect had verderop in de ruimte, is voor de volledigheid ook de totale koeling op alle thermokoppels afgezet tegen het waterverbruik. Zie hiervoor tabel 4.3.

Tabel 4.3. Gemiddelde waterverbruik gedurende de rookgaskoeling op alle thermokoppels

Techniek	Ingebrachte hoeveelheid water in liters gemeten	Standaard-deviatie	$\sum \Delta$ temp alle thermokoppels	Temperatuurdaling in graden per liter water
DLS 1.0	29	8,8	-99	3,4
DLS 2.0	74	7,4	-258	3,5
Lagedruk	42	6,6	-379	9,0
Hogedruk	32	3,5	-197	6,2

In tabel 4.3 is af te lezen dat, als de temperatuurdaling op alle thermokoppels wordt afgezet tegen de ingebrachte hoeveelheid water, het rookgaskoelend vermogen van LD het grootste is (9°C/ltr). Dit wordt gevolgd door HD met 6,2°C/ltr, daarna DLS 2.0 (3,5°C/ltr) en DLS 1.0 (3,4 °C/ltr).

Per liter ingebracht water is LD het meest effectief in rookgaskoeling, gevolgd door HD. DLS 2.0 is per liter ingebracht water minder effectief in rookgaskoeling dan LD en HD. DLS 1.0 scoort in koelend vermogen per liter water het laagst.

Omdat bij DLS het water met schuimvormend middel en lucht wordt omgezet in schuim, is tijdens de testen met DLS 2.0 het verschuimingsgetal van het onderzochte One Seven®

bepaald. Dit was gemiddeld 8,7.³⁶ Dit betekent dat één liter ingebracht water bij de DLS 2.0 overeenkomt met 8,7 liter schuim.

4.4 Overige bevindingen

Tijdens de testen met DLS 1.0 is een verhoging van de temperatuur waargenomen, evenals een ontbranding van de rookgaslaag. In het rapport *Verkoelende experimenten met water en schuim* (2013) is geconcludeerd dat dit in de brandweerpraktijk kan leiden tot gevaarlijke situaties. Bij de testen met de toepassingsmethode DLS 2.0 zijn deze fenomenen niet waargenomen.

³⁶ Test 1: 8; test 2: 8,35; test 3: 9.1; test 4: 8.8; test 5: 9.2. Deze metingen zijn uitgevoerd door One Seven® of Germany. Omdat in eerdere experimenten deze waarden niet bepaald zijn is een vergelijking met het eerder uitgevoerde onderzoek niet mogelijk.

5 Conclusie, duiding en aanbevelingen

5.1 Conclusie

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

Hoe verhoudt de effectiviteit van DLS 2.0 zich als het gaat om het rookgaskoelend effect bij een offensieve binneninzet tot dat van lagedruk (LD), hogedruk (HD) en DLS 1.0 bij een gesimuleerde woonkamerbrand?

Bij de totale rookgaskoeling zorgt LD in absolute zin voor de grootste temperatuurdaling. DLS 2.0 scoort beter dan HD. DLS 1.0 zorgt voor de minste rookgaskoeling tijdens de totale inzet. Dit geldt zowel bij de koeling op de referentiethermokoppel 5, als opgeteld bij de koeling op alle aanwezige thermokoppels.

De temperatuurdaling met DLS 2.0 blijkt te variëren met de locatie van inzetten.

Bij de inzet op het *voorste* deel van de container is het effect in absolute temperatuurdaling van DLS 2.0 vergelijkbaar met LD en HD. Alle drie de systemen blijken bij een inzet van buitenaf in het voorstel deel van de ruimte ongeveer in gelijke mate in staat om rookgassen te koelen. DLS 2.0 koelt dus beter in het voorste deel van de ruimte dan DLS 1.0. Bij de eerste serie rookgaskoelingen bereikt DLS 2.0 een grotere temperatuurdaling *halverwege* de container in vergelijking met LD, HD en DLS 1.0.

In tegenstelling tot de andere systemen bereikt het bij DLS 2.0 onderzochte One Seven® al bij de eerste serie rookgaskoelingen een temperatuurdaling *achter* in de container. De inzet met DLS 2.0 heeft dus een groter effect dieper in de ruimte.

Bij de tweede serie rookgaskoelingen, bij een inzet halverwege in de container, is het verdere effect van DLS 2.0 beperkt. LD en HD laten dan wel een daling zien. Daardoor is de totale rookgaskoeling in *absolute* temperatuurdaling met DLS 2.0 minder dan met LD, maar beter dan met HD en DLS 1.0.

Bij de testen zijn, afhankelijk van de techniek en toepassingswijze, verschillende hoeveelheden water ingebracht. De bereikte koeling wordt daarom afgezet tegen het waterverbruik, wat leidt tot een uitspraak over de effectiviteit per liter ingebracht water.³⁷ LD blijkt afgezet tegen de hoeveelheid ingebracht water het meest effectief, met 3,6 °C daling per liter ingebracht water. Bij HD is dit 2,3 °C per liter, bij DLS 2.0 is dit 1,5 °C per liter en bij DLS 1.0 is dit 1,4 °C per liter.³⁸

Op basis van het bovenstaande kan geconcludeerd worden dat rookgaskoeling met DLS volgens de methode 2.0 mogelijk is en betere resultaten geeft dan DLS 1.0. De meerwaarde van DLS 2.0 ligt vooral in de koeling diep in de container, bij inzet in de eerste serie

³⁷ In de berekeningen is uitgegaan van de totale hoeveelheid ingebracht water. Bij een inzet bestaat de mogelijkheid dat niet al het ingebrachte water bijdraagt aan deze koeling, doordat het bijvoorbeeld op de grond valt.

³⁸ Omdat bij DLS het water met schuimvormend middel en lucht wordt omgezet in schuim, leidt één liter water bij het onderzochte DLS One Seven® tot 8,7 liter schuim (op basis van het gemiddelde verschuimingsgetal tijdens de experimenten met DLS 2.0).

rookgaskoeling. Bij de tweede serie van de rookgaskoeling halverwege de container blijkt de verdere koeling beperkt. Rookgaskoeling met DLS 2.0 blijkt dus mogelijk.

DLS 2.0 koelt dus afgezet per liter water iets beter dan DLS 1.0. Wel is de rookgaskoeling van DLS 2.0 afgezet per liter ingebracht water minder effectief dan bij het gebruik van LD en HD.

Tijdens de testen met DLS 1.0 is een verhoging van de temperatuur waargenomen, evenals een ontbranding van de rookgaslaag. Bij de testen met de toepassingsmethode DLS 2.0 zijn deze fenomenen niet waargenomen.

5.2 Duiding en aanbevelingen

Nogmaals wordt benadrukt dat de gevonden resultaten en conclusies alleen en uitsluitend geldig zijn voor de in dit onderzoek beschreven wijze van inzet en proefomstandigheden. Andere toepassingstechnieken of omstandigheden kunnen tot andere resultaten leiden³⁹. Op basis van dit rapport kunnen uitsluitend uitspraken worden gedaan over de effectiviteit van rookgaskoeling. Andere veronderstelde voor- of nadelen van DLS ten opzichte van water zijn niet onderzocht.

Bij de interpretatie van de resultaten is het van belang te beseffen dat bij een inzet de mogelijkheid bestaat dat niet al het ingebrachte water bijdraagt aan deze koeling doordat het bijvoorbeeld op de grond valt. Dit geldt voor alle geteste systemen.

Uit de analyse van de experimenten blijkt dat de werkwijze bij DLS 2.0 tot betere resultaten leidt dan de werkwijze die gebruikt is bij DLS 1.0. Aangezien de werkwijze die gebruikt is bij DLS 1.0 door een deel van de brandweer in Nederland wordt gebruikt, is aan te bevelen dat korpsen die gebruik maken van het DLS systeem goed op de hoogte te zijn van de juiste inzet van dit middel. Daarbij is het van belang om voldoende blusmiddel in te brengen.

Verder blijkt uit de experimenten dat wanneer gestopt wordt met rookgaskoeling, voordat de vuurhaard wordt aangepakt, de temperatuur weer oploopt. Dit is logisch omdat de 'motor' van de rookgasproductie niet wordt stilgelegd. Dit betekent dat zowel met water als met DLS vanaf het moment van binnentreden voortdurend moet blijven worden gekoeld, tot de vuurhaard kan worden bereikt en afgeblust. Voor LD en HD betekent dit water in de rookgaslaag brengen en voor DLS alle wanden en plafonds inschuimen. Hierbij is het belangrijk gebruik te maken van de worplengte.

³⁹ In dit onderzoek is zoals gezegd uitsluitend met One Seven® getest en niet met andere drukluchtschuimsystemen. Gebruikers van andere systemen wordt geadviseerd contact op te nemen met hun leverancier om zich te laten informeren over de (on)mogelijkheden voor binnenbrandbestrijding met die systemen.

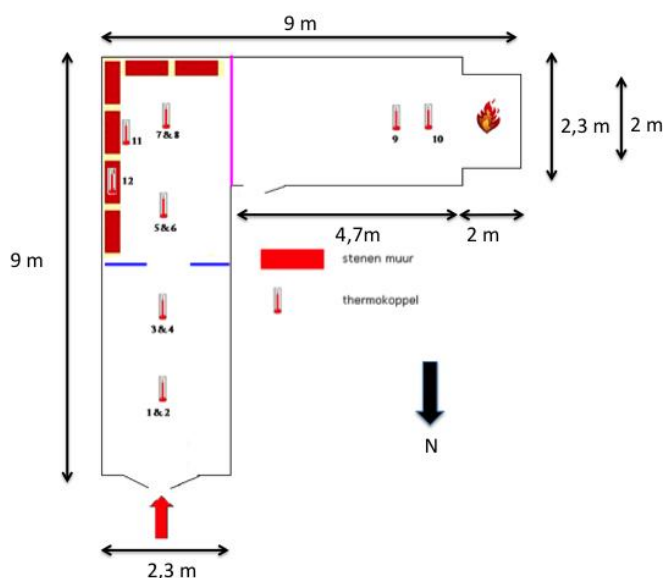
Bijlage 1: Blussing

Introductie blussing met DLS 2.0

De blussing maakte geen onderdeel uit van het vergelijkend onderzoek. In overleg met de leverancier van One Seven® is daarom voor een praktijkgerichte benadering gekozen om de vuurhaard uit te maken. De blusmethode is afwijkend van de eerder uitgevoerde experimenten met DLS 1.0, HD en LD. Bij de eerdere experimenten werd geblust tot een visuele knockdown⁴⁰, gewacht tot heroplaaiing⁴¹ en weer geblust. Dit werd enige malen herhaald.

In het onderzoek DLS 2.0 is met One Seven® geblust totdat de blusploeg aangaf dat het genoeg was. Vervolgens is gewacht tot er een eventuele heroplaaiing zou plaatsvinden. Indien dit gebeurde werd er opnieuw geblust totdat de blusploeg het voldoende achtte. Deze afwijkende opzet maakt dat er geen vergelijking mogelijk is. Er zijn daarom geen conclusies te trekken over de blussing. In deze bijlage wordt derhalve alleen een beschrijving van de feitelijke resultaten weergegeven.

De blussing werd als volgt technisch uitgevoerd: Na de rookgaskoeling stelden de deelnemers zich op ter hoogte van de korte zijde van de container (de roze lijn in afbeelding B1 richting de vuurhaard). Twintig seconden na het einde van de rookgaskoeling kreeg de ploeg het commando 'blussen'. Bij DLS 2.0 is de blussing uitgevoerd door met een draaiende beweging de omgeving van de vuurhaard, en uiteindelijk de vuurhaard zelf, in te schuimen met One Seven®. Na het eindigen van de bluspoging werd er gewacht of er heroplaaiing plaatsvond. Als het vuur weer heroplaaide werd nog 10 seconden gewacht, daarna werd opnieuw afgeblust totdat volgens de straalpijvoerder het vuur uit was.



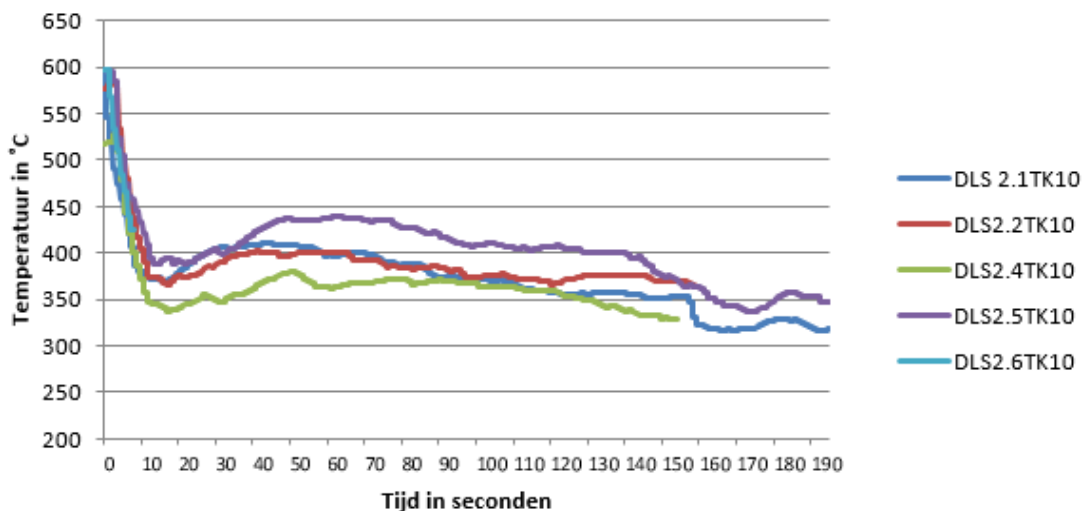
Afbeelding B1. Roze opstellijn blussing

⁴⁰ Het niet meer zichtbaar zijn van vlammen.

⁴¹ Ten behoeve van het onderzoek is de blussing gestopt en is gekeken wat het effect daarvan was, met andere woorden, wanneer de mogelijke heroplaaiing plaatsvond. Dit is het gevolg van een keuze in de testopzet, en hoeft noodzakelijkerwijs bij een echte inzet niet voor te komen.

Temperatuurverloop blussing

Het temperatuurverloop tijdens de blussing op thermokoppel 10 (deze bevindt zich het dichtst bij de brandhaard) is weergegeven in afbeelding B2.



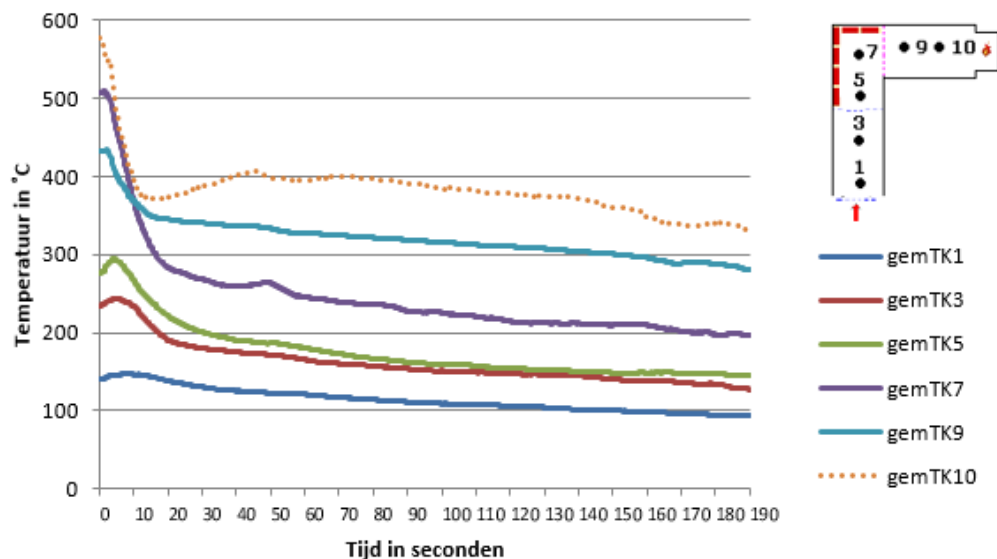
Afbeelding B2. Temperatuurverloop blussing met DLS 2.0, thermokoppel 10

In afbeelding B2 is te zien dat met DLS 2.0 na ongeveer 15 seconden de blussing naar mening van de blusploeg voldoende was (de sterke temperatuurdaling stopt op dat moment) en dat de temperatuur gemiddeld circa 198°C (SD = 21,0) daalt ($\Delta T_{DLS2.1, kd1} = 221$ °C; $\Delta T_{DLS2.2, kd1} = 212$ °C; $\Delta T_{DLS2.4, kd1} = 176$ °C; $\Delta T_{DLS2.5, kd1} = 206$ °C; $\Delta T_{DLS2.6, kd1} = 176$ °C⁴²).

Temperatuurverloop gehele container tijdens blussing

Tijdens de blussing bevindt de brandweerploeg zich in het achterste deel van de container (tussen thermokoppel 7 en 9). 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 weergegeven.

⁴² In experiment 2.6 is de meting na 8 seconden gestopt.



Afbeelding B3. Temperatuurverloop blussing DLS 2.0, gemiddelde waarden per thermokoppel (TK)

In bovenstaande grafiek is te zien dat bij de blussing met DLS 2.0 een blijvende dalende lijn waar te nemen is in de temperatuur in de container, nadat de temperatuur eerst sterk is gedaald als gevolg van de koelende werking van de blussing. Dit betekent dat tijdens de blussing de temperatuur achter de brandweerploeg licht daalt en in ieder geval dus niet is toegenomen.

Waterverbruik blussing

Voor de blussing is gemiddeld 73 liter (65-81 liter) water (stdev=29,1) gebruikt. Dit komt overeen met circa 634 liter schuim (uitgaande van het voor One Seven® geldende gemiddelde verschuimingsgetal van 8,69).

Bijlage 2:

Waterverbruik/watermetingen

B 2.1 Inleiding

Zoals is toegelicht in paragraaf 2.2.3 is tijdens de experimenten met HD, LD, DLS 1.0 en DLS 2.0 de hoeveelheid water per serie rookgaskoelingen gemeten. Het waterverbruik is bij de experimenten HD, LD en DLS 1.0 met een analoge (mechanische) watermeter gemeten en bij de experimenten DLS 2.0 met een digitale watermeter (magnetisch inductieve flowmeter).

Na de experimenten met DLS 2.0 waren er vragen van de leverancier over de juistheid van de watermetingen.

Het gaat daarbij het gemiddelde gemeten waterverbruik van 74 liter (bij 4 shots) bij de rookgaskoeling met DLS 2.0 (bij vijf tests), gemeten met de digitale watermeter. Dit is gemeten door eerst de test uit te voeren vanaf de gevulde tank, en de tank later weer bij te vullen. Daarbij is de digitale watermeter geplaatst tussen de hydrant en het voertuig. Bij de tests met DLS 1.0, LD en HD is de analoge watermeter gebruikt, waarbij de meter ook geplaatst was tussen de hydrant en het voertuig. De waterafname werden uitgevoerd buiten de tank om, waarbij de waterstanden door een waarnemer tijdens de tests werden afgelezen op de analoge watermeter. Bij de tests met DLS 1.0 is gemiddeld 29 liter water verbruikt tijdens de rookgaskoeling.

Bij de experimenten is dus het absolute waterverbruik gemeten.

B 2.2 Omrekenfactoren

Voorop gesteld moet worden dat het doel en de opzet van de experimenten was om het absolute waterverbruik af te zetten tegen de temperatuurdaling, en niet om het debiet (het waterverbruik per minuut) te bepalen. Daartoe zijn watermeters gebruikt. Een watermeter is een volumemeter, geen debietmeter.

Bij de experimenten DLS 2.0 is gebruik gemaakt van de door de leverancier en de producent van One Seven® geadviseerde inzetmethode van 3 tot 5 seconden continue puls, waarbij wanden en plafonds worden ingeschuimd. De op afstand aanwezige tijdswaarnemer (die gebruik maakte van een stopwatch) stond via een portofoon in contact met de straalpijpvoerder. Op deze wijze werd een puls van 5 seconden benaderd.

Afwijkingen bij de meeteenheid van de 5-seconden puls zijn groot. Gezien de reactietijd van zowel de straalpijpvoerder als de tijdswaarnemer (uitgegaan kan worden van 1 seconde, zowel bij het openen als sluiten van de straalpijp), kan een shot tussen de 3 en 7 seconden zijn geweest (dus een verschil van meer dan 1:2). Wellicht is die afwijking/marge zelfs nog groter, niet alleen vanwege de menselijke afwijkingen in de tijdsduur, maar ook de mechanische (zoals - de reactietijd van - de terugslagklep van het voertuig). De tijdsduur is dus niet precies vijf seconden is geweest, hoofdzakelijk door de communicatie en de wijze

waarop de straalpijp werd gesloten (tijdens de inzet werd een waaivormige beweging gemaakt, wat mogelijk de snelheid van het dichtzetten van de straalpijp heeft beïnvloed).

In tabel 4.2 is weergegeven dat de hoeveelheid water in liters gemeten bij DLS 2.0 (in 4 shots) gemiddeld (over vijf tests) 74 liter bedraagt. 74 liter per 4 shots van 3 seconden (dus in totaal 12 seconden) levert een debiet op van 370 l/min, en 74 liter per 4 shots 7 seconden (dus in totaal 28 seconden) een debiet van 159 l/min.

B 2.3 Maximale debiet en (absolute) watermetingen

De vragen van de leverancier en de fabrikant van One Seven® zijn te herleiden tot het uitgangspunt dat het maximale debiet van de menger die onderdeel uitmaakt van het One Seven® systeem 135 l/min zou zijn. Uit nadere onderzoeken blijkt dat dit maximale debiet wanneer wordt uitgegaan van shots van exact 5 seconden, niet juist is. Verder is uit onderzoek gebleken dat de (absolute) watermetingen die zijn gedaan, binnen de te verwachten miswijzing van de meter vallen, en daarmee betrouwbaar zijn.

Naar aanleiding van de door de leverancier en de fabrikant van One Seven® gestelde vragen zijn een viertal tests uitgevoerd om te kunnen bepalen of de resultaten van de watermetingen betrouwbaar zijn. Die tests hebben plaatsgevonden op 12 mei 2014 (1), 16 mei 2014 (2), 21 november 2014 (3) en 1 december 2014 (4). Daarnaast heeft Kiwa onafhankelijk onderzoek uitgevoerd (5).

B. 2.3.1 Test 1: 12 mei 2014

Opzet van de test

De eerste tests werden op 12 mei 2014 uitgevoerd bij de leverancier van het One Seven® systeem. Bij die tests zijn metingen van de tijdens de onderzoeken gebruikte digitale watermeter (DLS 2.0) en de analoge watermeter (DLS 1.0) vergeleken met metingen van een tweetal door de leverancier gebruikte watermeters (namelijk door de leverancier beschikbaar gestelde weegplaten⁴³ en een, naar zeggen van de leverancier geijkte, digitale watermeter)⁴⁴.

Hiertoe werd hetzelfde voertuig gebruikt bij in de tests met DLS 2.0.

Er zijn 5 tests gedaan. In tegenstelling tot bij de daadwerkelijke tests, werd het voertuig aangesloten op een in pandige waterleiding (een 28mm waterleiding) in plaats van de bij de experimenten gebruikte ondergrondse brandkraan (doorsnede van 160 mm).

Het waterverbruik werd bepaald gedurende pulsen van vier keer circa vijf seconden (conform de uitgevoerde rookgaskoelingsexperimenten), echter niet in een container, niet met gebruik van ademlucht, portofoons en een op afstand aanwezige tijdswaarnemer. De tijdswaarnemer stond in direct contact, naast de straalpijpvoerder met een stopwatch. Het waterverbruik werd achteraf bepaald.

⁴³ De gevoeligheid van de weegplaten (hoe nauwkeurig deze zijn gekalibreerd) is niet bekend. De aflezing van de meter wordt in stappen van 5 kg aangegeven: het is niet mogelijk per kg te meten, maar is stappen van 5 kg (dus 45-50-55 kg et cetera). Wat de foutmarge van de weegplaten is, is ook onbekend.

⁴⁴ Ook hiervan is onbekend hoe nauwkeurig deze meter was gekalibreerd en wat de foutmarge van deze meter was.

Resultaten van de test

Deze metingen lieten zien dat de aangegeven verbruikte hoeveelheid water na vier shots van circa vijf seconden met de digitale watermeter in de buurt kwam van de resultaten van de digitale watermeter tijdens de experimenten met DLS 2.0. Tijdens de experimenten is met de digitale watermeter een gemiddeld waterverbruik van 74 liter gemeten. Op 12 mei werd na vijf tests met de digitale watermeter gemiddeld 70,3 liter water gemeten per serie van vier shots van circa vijf seconden. Een afwijking van 5% derhalve.

Verder bleek tijdens de tests dat er een verschil was tussen de digitale meter enerzijds en de metingen met de analoge meter (gemiddeld 64,7 liter), de meter van de leverancier⁴⁵ van One Seven® (gemiddeld 55 liter) en de weging (gemiddeld 58 liter) anderzijds. Deze verschillen konden niet goed verklaard worden (zij het dat de gevoeligheid van de weegplaten de ten aanzien van de weging geconstateerde verschillen grotendeels kunnen verklaren).

Ongeacht de gebruikte watermeter of weegschaal, blijkt tijdens deze tests dat het verbruik in liters water per minuut, bij het gebruik van vier shots van circa vijf seconden, hoger ligt dan het door de fabrikant en leverancier van One Seven® veronderstelde maximale limiet van 135 l/min.

Wanneer wordt uitgegaan van een tijdseenheid van circa 20 seconden (vier shots van circa vijf seconden), en dit wordt omgerekend naar verbruik per minuut, blijkt dit afhankelijk van de gebruikte watermeter/weegplaat 165 l/min (digitale watermeter leverancier van One Seven®), 174 l/min (weegplaat leverancier van One Seven®), 194 l/min (analoge watermeter IFV) of 211 l/min (digitale watermeter IFV). Deze waarde blijkt bij alle meters hoger te zijn dan de aangegeven maximale limiet.

Gezien voornoemde afwijkingen in de tijdsduur, waardoor de metingen tussen de 12 seconden (4 shots van 3 seconden) en 28 seconden (4 shots van 7 seconden) hebben plaatsgevonden, resulteert dat voor de onderscheidenlijke meters in de volgende debieten: 252 l/m tot 150 l/min, 323,5 l/min tot 138 l/min, 275 l/min tot 117 l/min, 290 l/min tot 124 l/min.

Afgezet tegenover de hiervoor gedane constatering dat de bij de experimenten DLS 2.0 gemeten 74 liter per 4 shots kan hebben plaatsgevonden in een tijdsbestek van 12 (4 shots van 3 seconden) tot 28 seconden (4 shots van 7 seconden), hetgeen zou resulteren in een debiet van 370 l/min tot 159 l/min, is dat een debiet dat volgens de diverse metingen mogelijk is.

Om te onderzoeken of een verklaring gevonden kan worden in het gebruik van shots in plaats van het continue openhouden van de straal, zijn ook 1-minuut metingen gedaan met een continue geopende straalpijp. Hieruit blijkt dat het verbruikte water dan aanzienlijk lager is (en minder dan de gestelde maximale limiet van 135 l/min). Het gaat dan om 102 l/min (digitale watermeter leverancier van One Seven®), 104 l/min (digitale weegplaat leverancier van One Seven®), 112 (analoge watermeter IFV) en 122,5 liter (digitale watermeter IFV).

In de uitkomsten van de 1-minuutmetingen kan de bevestiging worden gevonden dat de foutmarge in de tijdsmeting in de gehanteerde onderzoeksmethode (shots van circa 5 seconden) groot is.

Bij die 1-minuut metingen blijkt ook dat de verschillen tussen de verschillende meters kleiner zijn. Het verschil tussen de meter die het minste waterverbruik aangeeft (102 liter) en

⁴⁵ Deze meter zal in tegenstelling tot de andere meters niet op de instroomopening van de tank, maar op de uitstroomopening.

degene die het meeste aangeeft (122,5 liter) is 20%. Omdat die verschillen nog niet geheel verklaard konden worden, is Kiwa gevraagd onafhankelijk onderzoek te doen (zie hierna).

B 2.3.2 Test 2: Eigen onderzoek leverancier van One Seven® 16 mei 2014

Buiten aanwezigheid of betrokkenheid van onderzoekers van het IFV heeft de leverancier met eigen meters en een eigen proefopstelling op het terrein van de leverancier zelf ook nog metingen uitgevoerd.⁴⁶ Hierbij werd ook gebruik gemaakt van pulsen van vier keer circa vijf seconden, waarna het waterverbruik werd gemeten en gewogen. Ook deze test liet zien dat het waterverbruik (omgerekend naar liters per minuut) ruim boven de door de leverancier gestelde limiet van 135 l/min komt bij shots. Bovendien varieert het verbruik zowel binnen de methode als binnen de meters. Naar opgave van de leverancier van One Seven® waren de gemeten waarden als volgt:

Gebruikte meter	Ingezette tijd	Gemiddeld resultaat	Liters/min
Digitale watermeter leverancier	20 seconden (4x 5 sec)	55 liter (1 ^e serie) 54,8 liter (2 ^e serie)	165 l/min (1 ^e serie) 164 l/min (2 ^e serie)
Digitale weging leverancier	20 seconden (4x 5 sec)	60,8 liter (1 ^e serie) 56,3 liter (2 ^e serie)	182 l/min (1 ^e serie) 169 l/min (2 ^e serie)
Digitale watermeter leverancier	1 minuut continue	106 liter (1 ^e serie) 109 liter (2 ^e serie)	106 l/min (1 ^e serie) 109 l/min (2 ^e serie)
Digitale weging leverancier	1 minuut continue	103 liter (1 ^e serie) 108 liter (2 ^e serie)	103 l/min (1 ^e serie) 108 l/min (2 ^e serie)

De leverancier van One Seven® gaat ervan uit dat de shots exact 5 seconden zijn geweest.

B 2.3.3 Onderzoek door Kiwa naar miswijzing meters 2014

Op grond van bovenstaande tests is Kiwa Nederland B.V. in Rijswijk, als onafhankelijke autoriteit op het gebied van watermetingen, gevraagd een uitspraak te doen over de correctheid van de digitale en de analoge meter van het IFV en de gebruikte meetopstelling. De door de leverancier gebruikte watermeters zijn niet in dat onderzoek betrokken.

Opzet van het onderzoek

Kiwa is gevraagd om de miswijzing⁴⁷ van de twee watermeters te bepalen. De miswijzing van watermeters wordt bepaald bij verschillende volumestromen. Deze volumestromen zijn zo bepaald dat zij een realistisch beeld geven van de miswijzing van watermeter bij gebruik met verschillende debieten. De miswijzing is bepaald in gekalibreerde ijkinstallaties in het testlaboratorium van Kiwa.

Resultaten van het onderzoek

De juistheid van de meting blijkt volgens Kiwa⁴⁸ afhankelijk te zijn van het gebruikte debiet. De resultaten zijn als volgt:

⁴⁶ Onderzoekers van het IFV waren niet betrokken bij opzet en uitvoering deze meting. De verantwoordelijkheid voor de juistheid van de gegevens ligt daarom bij de leverancier van One Seven®. De leverancier geeft aan met dezelfde opstelling en methode te hebben gemeten en dat de meting is vastgelegd op film.

⁴⁷ Met een miswijzing wordt de afwijking van de meter bedoeld ten opzichte van de daadwerkelijk doorgestroomde hoeveelheid water.

⁴⁸ Kiwa, rapport nr. 1407008898, *Bepaling miswijzing watermeters*.

Resultaten miswijzing analoge watermeter IFV

Gebruikte debiet (l/h)	Miswijzing (%)
70	- 1,5%
270	+ 1,4%
1040	+ 0,8%
1750	+ 0,5%
3500	+ 0,1%
7000	+ 0,1%

Resultaten miswijzing digitale watermeter IFV

Gebruikte debiet (l/h)	Miswijzing (%)
2.000	+ 21,3%
5.000	+ 10,7%
10.000	+ 5,3%
21.000	+ 2,0%
42.000	+ 1,0%
63.000	+ 0,1%
84.000	+ 0,2%
105.000	+ 0,7%
126.000	+ 0,7%

Hieruit volgt dat de digitale watermeter is gemaakt voor veel grotere debieten dan de analoge watermeter.

Om de miswijzing te kunnen bepalen, was inzicht nodig in het gebruikte debiet van de digitale en analoge watermeters van het IFV.

Dit debiet was tijdens de experimenten met DLS 2.0 (digitale watermeter) en bij de eerdere experimenten met DLS 1.0, LD en HD (analoge watermeter) niet bepaald.

Omdat het debiet van de digitale watermeter in de hierboven genoemde testen niet bepaald is, is een aanvullende debietmeting voor de digitale meter uitgevoerd⁴⁹.

B 2.3.4 Test 3: Debietmeting digitale meter en vergelijkingstest analoge watermeter ten opzichte van weging op 21 november 2014

Opzet van de tests

Om een goede vergelijking tussen de debietmeting en de uitgevoerde experimenten met DLS 2.0 te maken is er voor gekozen om de debietmeting op dezelfde locatie in dezelfde testopstelling met hetzelfde voertuig uit te voeren als de feitelijke experimenten met DLS 2.0 inclusief aansluiting op dezelfde ondergrondse brandkraan.

⁴⁹ Het debiet van de digitale meter is gemeten, omdat er over de uitkomsten van de metingen met die meter door de leverancier en de fabrikant vragen zijn gesteld. Ten aanzien van de analoge watermeter kan het debiet met een berekening benaderd worden. Bij de experimenten met die meter zijn 3x3 shots van 1-1,5 seconde buiten de container ingezet en 3x3 shots van 1-1,5 seconde halverwege de container, dus (met ook hier weer een foutmarge in de tijdsmeting) een tijdsduur van circa 18 tot 27 seconden. Bij de proeven met DLS 1.0 is hierbij gemiddeld 29 liter water gemeten. Het debiet was tijdens de proeven daarom 5.800 l/uur (29 liter / 18 seconden x 3600 seconden) à 3.867 l/uur (29 liter / 27 seconden x 3600 seconden). Ook rekening houdend met een foutmarge in de tijdsmeting, is bij deze debieten volgens Kiwa de bovengrens van de miswijzing 0,1%.

Bij de debietmeting van de digitale meter is de vulduur van de tank gemeten. Die meting is tien keer herhaald. Daarmee is bepaald of het debiet waarmee de tank gevuld werd voldoende is om de watermeter goed te laten functioneren.

Tijdens de experimenten met DLS 2.0 is een gemiddeld watergebruik van 74 liter gemeten. Bij de debietmeting stond de hydrant helemaal open, de slangen waren gevuld, en vervolgens is de afsluiter van de tankautospuit geheel geopend en op het moment dat er 74 liter doorgelopen was, is de afsluiter in één beweging gesloten en de tijdsregistratie gestopt. De omstandigheden waren hierbij gelijk aan de wijze van vullen tijdens de eerdere experimenten.

In aanvulling op de debiettesten zijn daarnaast op verzoek van de leverancier van One Seven® nog vergelijkingsmetingen gedaan tussen de analoge watermeter en de weegplaten. In tegenstelling tot de tests op 12 mei is dit uitgevoerd op dezelfde locatie en in dezelfde opbouw van het voertuig als bij de daadwerkelijke tests met DLS 2.0 zijn uitgevoerd⁵⁰. Wederom was dit echter niet in de container, niet met gebruik van ademlucht, portofoons en een op afstand aanwezige tijdswaarnemer zoals wel tijdens de experimenten is gedaan. De tijdswaarnemer stond net als op 12 mei in direct contact, naast de straalpijpvoerder met een stopwatch. Bij deze tests werd het voertuig op weegplaten gezet en werd de tank afgevuuld. Vervolgens werden op dezelfde manier 5 tests gedaan met vier shots van circa vijf seconden gegeven zoals bij de experimenten met DLS 2.0. Daarna werd de gewichtsafname gemeten en vervolgens werd de tank opnieuw afgevuuld waarbij de werd gemeten hoeveel water er moest worden toegevoegd met zowel de digitale als de analoge meter.

Resultaat van de tests

De gemiddelde vulduur tijdens de debietmeting van de digitale watermeter van het IFV bedroeg 16,2 seconden. Dit betekent dat het debiet ($74 \text{ l}/16,2 \text{ sec} \times 3600 =$) 16.400 l/uur bedraagt.

Bij de absolute watermeting met de digitale watermeter is de maximaal te verwachten afwijking 5,3%, want we hebben geconstateerd dat het debiet hoger is dan de in de Kiwa-tabel genoemde 10.000 liter per uur (maar lager dan de in die tabel genoemde 21.000 l/uur, waarbij sprake is van een miswijzing van 2 %). Hierdoor is te verwachten dat de miswijzing van de digitale watermeter in ieder geval kleiner is dan 5,3%.

5,3% is dus de bovengrens van de miswijzing, hetgeen de watermeters buiten verdenking plaatst. Ten aanzien van de digitale watermeter concludeert Kiwa dat de meter bij een volumestroom groter dan 10.060 l/u ($10,060 \text{ m}^3/\text{u}$) voldoet. Kiwa geeft aan dat dit betekent: *'dat bij afname van 74 l in 16,2 s ($16,44 \text{ m}^3/\text{h}$)⁵¹ een betrouwbare meting kan worden geleverd'*.⁵²

Uit de vergelijkingstesten kwam naar voren dat de analoge meter een vergelijkbare waarde aangaf (51,8 liter) ten opzichte van de weegplaten (52 kg). Het eerdere verschil tussen weegplaten en analoge watermeter zoals gevonden op 12 mei, wordt mogelijk verklaard door het verschil in waterdruk tussen de destijds gebruikte waterleiding, en de bij deze testen en daadwerkelijke experimenten gebruikte ondergrondse brandkraan.

⁵⁰ Let op! Bij de DLS 2.0 testen is de digitale watermeter gebruikt, en niet de analoge. Deze is gebruikt bij de eerder uitgevoerde DLS 1.0, LD en HD testen.

⁵¹ Dat is 16.440 liter per uur.

⁵² Kiwa heeft geconcludeerd dat de analoge watermeter een betrouwbare meting oplevert bij een volumestroom groter of gelijk aan 70 l/u ($0,07 \text{ m}^3/\text{u}$) en kleiner of gelijk aan 7.000 l/u ($7,0 \text{ m}^3/\text{u}$). Kiwa geeft aan dat dit betekent *'dat bij afname van 26 l in $\approx 20\text{s}$ ($4,680 \text{ m}^3/\text{h}$) [dat is 4.680 liter per uur] een betrouwbare meting kan worden geleverd'*.

Na afloop van de tests ontstond bij de leverancier en de fabrikant van One Seven® de wens om ook voor de digitale watermeter nogmaals een vergelijkingstest te houden ten opzichte van de weegplaten bij de opbouw zoals tijdens de testen was.

B 2.3.5 Test 4: Vergelijkingstest digitale watermeter op 1 december 2014

Opzet van de test

Op 1 december 2014 zijn de laatste watertesten uitgevoerd, ditmaal tussen weegplaten en de digitale watermeter van het IFV en nogmaals met de analoge. Hierbij is dezelfde opstelling gebruikt en onder dezelfde omstandigheden getest als op 21 november 2014. Hierbij is tienmaal een test met vier shots van circa vijf seconden gevoerd met de digitale en viermaal met de analoge watermeter. Daarnaast zijn vier rondes met één minuut de straalpijp open uitgevoerd, tweemaal met de digitale en tweemaal met de analoge watermeter.

Resultaten

Uit de vergelijkingstesten blijkt het volgende:

Ingezette tijd	Gebruikte meter IFV	Gemiddeld resultaat watermeter (l/min)	Gemiddelde gemeten gewicht weegplaten
20 seconden (4x5 sec)	Analoge meter IFV	53,1 liter	60,0 kg
20 seconden (4x5 sec)	Digitale meter IFV	53,1 liter	52,0 kg
1 minuut continue	Analoge meter IFV	94,6 liter	100,0 kg
1 minuut continue	Digitale meter IFV	94,0 liter	97,5 kg

Uit de tabel blijkt dat er variatie is tussen de meter en de weegplaten, in dit geval gaven de weegplaten een hogere waarde aan dan de watermeters. Gezien de miswijzingen van zowel de watermeters (zie hiervoor) als de weegplaten (niet bepaald) alsook de grove aflezing op de meter van de weegplaten (per stappen van 5 kg) vallen die verschillen binnen de te verwachten foutmarge.

Ook in deze vergelijkingstesten komt, net als in de eerste testen op 12 mei 2014, het waterverbruik omgerekend naar liters per minuut bij gebruik van shots ruim boven de aangenomen gestelde limiet van 135 l/min⁵³. Bij de wegingen met de meetplaat 180 l/min (1^e meting) of 156 l/min (tweede meting), bij de analoge en digitale watermeter 159 l/min (wanneer wordt uitgegaan van een exacte inzetijd van 20 seconden). Ook in uitkomsten van deze 1-minuutmetingen kan de bevestiging worden gevonden van de hiervoor omschreven grote foutmarge die de gehanteerde onderzoeksmethode (van shots van enkele seconden) heeft opgeleverd.

B 2.4 Analyse/conclusie

Aan de hand van de vergelijkingstesten en het onderzoek van Kiwa kan geconcludeerd worden dat:

⁵³ Exclusief eventuele marge.

- > aangetoond is dat de meting in de absolute hoeveelheid water redelijk nauwkeurig is geweest: bij de digitale watermeter is sprake van een maximale miswijzing van 5,3% (en –op basis van een berekening - bij de analoge watermeter een maximale miswijzing van 0,1%)
- > daarnaast is aangetoond dat wanneer een minuut wordt gemeten/gespoten (gezien de tijdsduur de meest nauwkeurige meting die is verricht), het resulterende debiet bij de meting beneden het door de fabrikant opgegeven maximale debiet blijft⁵⁴.
- > de (aard van de) meetmethode, bestaande uit pulsen van vier maal 5 seconden, een zodanige fout op de tijdsmeting introduceert dat de debietsbepaling/-omrekening navenant zeer onnauwkeurig is.

Gezien de foutmarge in de tijdsmeting die de gehanteerde onderzoeksmethode heeft opgeleverd, alsmede de maximale miswijzing van de meter, zijn de uitkomsten van de metingen en de (gezien de foutmarge) te verwachten uitkomsten daarvan niet strijdig met elkaar. Aldus kan ervan uitgegaan worden dat de metingen en de uitkomsten daarvan betrouwbaar zijn.

Wanneer de bij de vergelijkingstest gemiddelde gemeten waarden tussen de vier bij die vergelijkingstest gebruikte meters met elkaar worden vergeleken, blijkt ook dat de gemiddelde gemeten waarden elkaar benaderen.

Gemeten hoeveelheden water bij 4 shots van circa 5 seconden

Datum test	Analoge meter IFV	Digitale meter IFV	Digitale meter One Seven	Weegplaat One Seven
1 mei 2014	70,3 liter	64,7 liter	55 liter	58 liter
16 mei 2014	-	-	55 liter (1 ^e serie) 54,8 liter (2 ^e serie)	60,8 liter (1 ^e serie) 56,3 liter (2 ^e serie)
21 november 2014	51,8 liter	-	-	52 liter
1 december 2014	53,1 liter	53,1 liter	-	60 liter (vgl analoog) 52 liter (vgl digitaal)
Gemiddeld	58,4 liter	58,9 liter	54,9 liter	56,5 liter
Afwijking van gemiddeld totaal 57,175 (= 100%)	+ 2,1%	+ 3,0%	- 4,0%	- 1,2%

⁵⁴ Of, omgekeerd: bij alle metingen met shots kwam het waterverbruik ruim boven de gestelde limiet van 135 l/min. De leverancier en de fabrikant van One Seven® verklaren deze waarneming bij pulsen uit het opbouwen van druk in het systeem (van lucht, water en schuimvormend middel) voordat de straalpijp wordt geopend. E.e.a. is zoals hiervoor is toegelicht verklaarbaar gezien de foutmarge in de tijdsmeting bij shots/pulsen.

Gemeten hoeveelheden water bij 1-minuutsmetingen

Datum test	Analoge meter IFV	Digitale meter IFV	Digitale meter One Seven	Weegplaat One Seven
1 mei 2014	122,5 liter	112 liter	102 liter	104 liter
16 mei 2014	-	-	106 liter (1 ^e serie) 109 liter (2 ^e serie)	103 liter (1 ^e serie) 108 liter (2 ^e serie)
21 november 2014	-	-	-	-
1 december 2014	94,6 liter	94,0 liter	-	100,0 liter (vgl analogoog) 97,5 liter (vgl digitaal)
Gemiddeld	108,6 liter	103 liter	105,7 liter	102,5 liter
Afwijking van gemiddeld totaal 104,95 (= 100%)	+ 3,5%	- 1,9%	+ 0,7%	- 2,3%

Ook gezien deze gemiddelden (en de verklaarbare afwijkingen daarbinnen, gezien de miswijzingen van de onderscheidenlijke meters) kan ervan worden uitgegaan dat de metingen met de digitale meter bij de experimenten DLS 2.0 betrouwbaar zijn.

Dat geldt temeer nu de bepaalde debieten in het experiment en het door de leverancier en de fabrikant van One Seven® gehanteerde debiet niet strijdig met elkaar zijn. Deze liggen binnen de foutmarge die gezien de afwijkingen in de tijdsmeting kunnen optreden en binnen de maximale miswijzing van de door IFV bij de experimenten DLS 2.0 gehanteerde watermeter.

Op grond van het bovenstaande worden de watermetingen zoals uitgevoerd tijdens de experimenten betrouwbaar geacht en bestaat er geen gegronde reden om de watermetingen van de experimenten DLS 1.0 en 2.0 niet met elkaar te vergelijken.

Bijlage 3: Rapport Kiwa

In deze bijlage is het rapport van Kiwa over de miswijzing van de watermeters opgenomen. In tegenstelling tot wat in paragraaf 4.1 van het KIWA-rapport is opgenomen was er in de opstelling *geen sprake van een automatische watertoevoer afslag* maar werd gebruikt gemaakt van een handbediende kogelafsluiter bij het vullen van de watertank. Het KIWA heeft bevestigd dat dit geen invloed heeft op de conclusies in het KIWA-rapport.

140700898-R2 - BRL-K618
3 juni 2015

Beoordeling miswijzing watermeters en testinstallatie





3 juni 2015

Beoordeling miswijzing watermeters en testinstallatie

© 2015 Kiwa N.V.
Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag
worden verveelvoudigd,
opgeslagen in een
geautomatiseerd
gegevensbestand, of
openbaar gemaakt, in enige
vorm of op enige wijze, hetzij
elektronisch, mechanisch,
door fotokopieën, opnamen,
of enig andere manier, zonder
voorafgaande schriftelijke
toestemming van de uitgever.

Kiwa Nederland B.V.
Sir Winston Churchilllaan 273
Postbus 70
2280 AB RIJSWIJK

Tel. 070 414 44 00
Fax 070 414 44 20
info@kiwa.nl
www.kiwa.nl

Colofon

Titel	Bepaling miswijzing watermeters en beoordeling testinstallatie
Projectnummer	140700898-R2 - BRL-K618
Projectmanager	R.R. de Jong
Opdrachtgever	Instituut voor Fysieke Veiligheid
Kwaliteitsborger(s)	K.H. Poortema
Auteur(s)	J.J.C. van der Westen

Dit rapport is niet openbaar en slechts verstrekt aan de opdrachtgever van het project. Eventuele verspreiding daarbuiten vindt alleen plaats door de opdrachtgever zelf.

Inhoud

1	Inleiding	2
2	Bepaling miswijzing watermeters	3
2.1	Volumestromen in watermeters	3
2.2	Miswijzing watermeter Q_n 3,5 m ³ /h	4
2.3	Miswijzing watermeter DN 50	4
3	Beoordeling test resultaten	5
3.1	Toepassingsgebied	5
3.2	Meetbereik van de toegepaste watermeters	5
3.3	Vergelijking specifieke volumestromen Q_n 3,5 m ³ /h (analoge) DN50 (digitale watermeter)	5
4	Testinstallatie	6
4.1	Huidige werkwijze	6
4.2	Testinstallatie	7
5	Conclusies	8
5.1	Watermeters	8
5.2	Testinstallatie	8

1 Inleiding

Bij het Instituut voor Fysieke Veiligheid (IFV, of Brandweeracademie) worden metingen uitgevoerd op het waterverbruik van blussystemen. Voor deze metingen gebruikt men 2 watermeters. Bij eerdere metingen is het door IFV gemeten waterverbruik van onderzochte blussystemen door de leveranciers van deze systemen ter discussie gesteld. Om hier duidelijk over te krijgen heeft IFV aan Kiwa Nederland B.V. verzocht onderzoek te doen naar de eventuele miswijzing van de gebruikte watermeters.

In latere instantie heeft het IFV verzocht ook onderzoek te doen naar het vullen van de tank.

Hoofdstuk 2 van dit rapport bevat de meetwaarden die Kiwa Nederland B.V. in haar onderzoek heeft bepaald aangaande de miswijzing van beide watermeters. In hoofdstuk 3 zijn de conclusies aangaande miswijzing opgenomen en wordt nader ingegaan op de toepassingsmogelijkheden van beide watermeters. In hoofdstuk 4 wordt nader ingegaan op de wijze waarop IFV de watermetingen uitvoert.

Hoofdstuk 5 bevat de conclusies.

2 Bepaling miswijzing watermeters

2.1 Volumestromen in watermeters

De miswijzing van watermeters wordt bepaald bij een aantal verschillende volumestromen. Deze volumestromen zijn zo bepaald dat zij een getrouw beeld geven van de miswijzing van een watermeter over het gehele belastingsgebied.

2.1.1 Bepaling miswijzing

De miswijzing is bepaald in gekalibreerde ijkinstallaties in het testlaboratorium van Kiwa Nederland B.V. in Rijswijk.

De watermeters zijn ingespannen in een testinstallatie waardoor een hoeveelheid water per tijdseenheid stroomt. De te meten volumestroom kan door middel van een regelventiel worden ingeregeld. De volumestroom wordt ingesteld met behulp van een magnetisch inductieve watermeter.

2.1.2 Maximaal toelaatbare miswijzing Q_n 3,5¹ klasse B (analoge meter)

Onderstaande waarden zijn aangehouden voor de maximaal toelaatbare² miswijzing voor in gebruik zijnde watermeters die voor handelsdoeleinden³ zijn bestemd (zie ook par. 3.2):

Tabel 1: maximaal toelaatbare miswijzing Q_n 3,5

Benaming	Volumestroom	Maximale miswijzing
		In gebruik zijnde
Q_{min}	0,070 m ³ /h	± 10 %
Q_t	0,280 m ³ /h	± 4 %
0,3 Q_n	1,050 m ³ /h	± 4 %
0,5 Q_n	1,750 m ³ /h	± 4 %
Q_n	3,500 m ³ /h	± 4 %
Q_{max}	7,000 m ³ /h	± 4 %

2.1.3 Maximaal toelaatbare miswijzing DN 50 watermeter (digitale meter)

Onderstaande waarden zijn aangehouden voor de maximaal toelaatbare miswijzing voor in gebruik zijnde watermeters die voor handelsdoeleinden zijn bestemd (zie ook par. 3.2):

Tabel 2: maximaal toelaatbare miswijzing DN 50

Benaming	Volumestroom	Maximale miswijzing
		In gebruik zijnde
Q_1 Minimale volumestroom	Niet bekend	± 10 %
Q_4 maximale volumestroom	Niet bekend	± 4 %

2.1.4 Aanvullende eis maximaal toelaatbare miswijzing

IFV heeft bepaald dat een miswijzing kleiner of gelijk aan 10% als acceptabel en voldoende betrouwbaar kan worden geacht bij het testen van blussystemen.

¹ Nominale volumestroom 3,5 m³/h

² Maximaal relatief verschil tussen het gemeten en het werkelijke doorstroomde volume bij een bepaalde volumestroom, ten opzichte van het werkelijk doorstroomde volume.

³ Zoals betaling van de waterrekening

2.2 Miswijzing watermeter Q_n 3,5 m³/h

De eerste watermeter die is beoordeeld is een Itron/Actaris-meter met een nominale volumestroom van 3,5 m³/h, klasse B. De maximale volumestroom bedraagt 7,0 m³/h. De betreffende watermeter is een mechanische watermeter van het "volume"-principe.

Tabel 3: gemeten miswijzing Q_n 3,5

Meternummer	Nr.	Instelling	Aangew.	Opgev.	Tijd	Vol.str.	Miswijzing
		[l/h]	[liters]	[liters]	[sec]	[l/h]	[%]
89402257	1	70	19,8	20,1	1054	69	-1,5
89402257	1	270	101,2	99,8	1295	277	1,4
89402257	1	1.040	503,8	499,7	1725	1043	0,8
89402257	1	1.750	502,4	499,8	1035	1738	0,5
89402257	1	3.500	500,1	499,8	525	3429	0,1
89402257	1	7.000	500,1	499,8	264	6828	0,1

2.3 Miswijzing watermeter DN 50

De tweede watermeter die is beoordeeld is een magnetisch inductieve watermeter met een doorlaat van 50 mm.

Dit type watermeter bevat geen mechanische overbrengingen. De volumestroom wordt bepaald als functie van het spanningsverschil tussen 2 tegenover elkaar geplaatste elektroden passeert.

Bij dit type watermeter is het essentieel dat de geleidbaarheid van het gebruikte water voldoet aan de specificaties die door de leverancier zijn opgegeven.

Tabel 4: gemeten miswijzing DN 50

Meternummer	Nr.	Instelling	Aangew.	Opgev.	Tijd	Vol.str.	Miswijzing
		[l/h]	[liters]	[liters]	[sec]	[l/h]	[%]
Flowmaster 2500L	1	1.800	0,0	0,0	600	1.800	XX ¹
Flowmaster 2500L	1	2.000	1246	1027,5	1828	2.024	21,3 ²
Flowmaster 2500L	1	5.000	1107	1000,3	720	5.002	10,7
Flowmaster 2500L	1	10.000	1062	1008,8	361	10.060	5,3 ³
Flowmaster 2500L	1	21.000	7152	7010,8	1200	21.032	2,0
Flowmaster 2500L	1	42.000	7082	7014,4	602	41.947	1,0
Flowmaster 2500L	1	63.000	7032,0	7021,6	400	63.194	0,1
Flowmaster 2500L	1	84.000	7067	7054,0	303	83.810	0,2
Flowmaster 2500L	1	105.000	7116	7064,8	242	105.096	0,7
Flowmaster 2500L	1	126.000	7121	7073,8	202	126.068 ⁴	0,7

¹ Niet meetbaar

² Onderstreepte meetwaarden betreffen meetwaarden met een miswijzing groter dan 10% volgens 2.1.3.

³ Akkoord volgens 2.1.4.

⁴ Maximale pompcapaciteit ijkinstallatie

3 Beoordeling testresultaten

3.1 Toepassingsgebied

Bij de bepaling van miswijzing zijn als criteria de maximale waarden aangehouden die in Nederland worden gebruikt om het water in rekening (handelsdoeleinden) te brengen dat door consumenten wordt afgenomen van drinkwaterbedrijven. Bij het IFV zijn de watermeters niet bedoeld om afgenomen water in rekening te brengen maar om het waterverbruik van verschillende soorten blussystemen met elkaar te meten.

Misschien ten overvloede kan nog worden vermeld dat genoemde meters bedoeld zijn voor met meten van onsamendrukbare vloeistoffen, zoals water.

3.2 Meetbereik van de toegepaste watermeters

IFV gebruikt 2 watermeters om volumestromen te bepalen:

- Een mechanische (analoge) watermeter met een nominale capaciteit van 3,5 m³/h en een maximum van 7 m³/h. Deze genereert betrouwbare metingen voor het gehele bereik van 0,07 tot en met 7 m³/h.
- Een magnetisch inductieve flowmeter (digitale) met een nominale diameter van 50 mm en een gemeten maximale capaciteit van 126 m³/h.
 - Bij een volumestroom minder dan 5 m³/h zijn de metingen met deze meter onbetrouwbaar.
 - Deze watermeter levert een betrouwbare meting op vanaf 10 m³/h tot en met 140 m³/h.
 - In het gebied tussen de 5 m³/h en 10 m³/h is niet duidelijk of de meter betrouwbare metingen oplevert.

3.3 Vergelijking specifieke volumestromen Q_n 3,5 m³/h (analoge) DN50 (digitale watermeter)

Gezien de volumestromen die met beide meters kan worden gemeten zijn er geen gelijke volumestromen die met beide meters gemeten met zekerheid een betrouwbare meting opleveren.

Bij afname van 26 l in ≈ 20 s (4,680 m³/h) kan de analoge meter een betrouwbare meting leveren, de digitale niet.

Bij het vullen van een tank met 74 l in 16,2 sec. (16,444 m³/h) ligt de volumestroom tussen 10,060 en 21,032 m³/h. In dit gebied verandert de miswijzing van de digitale meter van 5,3% naar 2,0%. Uit 3.2 blijkt dat bij deze volumestroom betrouwbare metingen kunnen worden uitgevoerd met de digitale meter.

Opmerking:

De omschreven volumestromen en tijden zijn ontleend aan de IFV rapporten:

- *Voor de analoge meters: "Verkoelende experimenten met water en schuim (Arnhem 2013), Dikkenberg, R. van den, Groenewegen, K en Kobus, M."*
- *"Schuim en water opnieuw belicht (2015), Dikkenberg, R. van den, Groenewegen, K en Kobus, M., Wolfs, L"*

4 Testinstallatie

In de inleiding is aangegeven dat de leveranciers de meetwaarden van de IFV-watermeters ter discussie stelden. In hun perceptie zouden de blussystemen minder water moeten gebruiken dan vastgesteld tijdens het testen. Zoals uit voorgaande hoofdstukken blijkt voldoen de watermeters, volgens 2.1, 2.2 en 2.3, zoals mag worden verwacht. De gemeten volumestromen voldoen aan de eisen die worden gesteld aan gebruikte watermeters als deze worden toegepast binnen de productspecificaties aangevuld met het gestelde in 2.1.4.

In dit hoofdstuk schetst Kiwa een beeld van de werking van de testinstallatie en is beoordeeld of deze op zodanige wijze heeft gefunctioneerd dat de uitgevoerde metingen als betrouwbaar mogen worden beschouwd.

Omdat er tijdens de onderzoeksperiode geen metingen zijn uitgevoerd was het voor de onderzoeker van Kiwa niet mogelijk om de metingen te schouwen. Dit hoofdstuk is tot stand gekomen op basis van informatie die is aangeleverd door IFV, aangevuld met antwoorden op een aantal vragen die Kiwa heeft voorgelegd aan IFV.

4.1 Huidige werkwijze¹

Voor het testen van de blussystemen wordt op locatie een testinstallatie opgebouwd volgens Foto 1.

Er wordt water afgenomen via een opzetstuk op een standpijp die is gemonteerd op een brandkraan in het openbare net. De verbindingen tussen het opzetstuk, watermeter en blusvoertuig worden bewerkstelligd door standaard 3' bluswaterslangen.

Vanuit het opzetstuk stroomt het water via de watermeter naar de voorraadtank van het blusvoertuig. Met de pomp van het drukluchtsysteem in het blusvoertuig wordt het water op druk gebracht en wordt het water via het te testen blussysteem afgevoerd. Men meet de gebruikte hoeveelheid testwater door de tank in het blusvoertuig steeds tot een bepaalde hoogte bij te vullen en met behulp van de watermeter te bepalen hoeveel water in de tank moet worden toegevoerd om de tank te vullen tot het startniveau. De tank wordt gevuld tot de automatische afslag in de tank de watertoevoer stopt. Een teveel aan water dat wordt afgevoerd via de overstortopening van de tank wordt opgevangen en daarna afgetrokken van de geregistreerde hoeveelheid van de watermeter.

¹ Beschrijving en foto aangeleverd door IFV.

Foto 1: Testopstelling



De tankopstelling en leidingloop in het blusvoertuig is niet zichtbaar.

4.2 Testinstallatie

Zoals uit 4.1 blijkt meet de watermeter dus niet direct het watergebruik van het te testen blussysteem maar de hoeveelheid water minus de opgevangen hoeveelheid via de overstort, die door het blussysteem wordt gebruikt.

4.2.1 De watermeter in de testinstallatie

Het testwater wordt afgenomen vanaf het lokale distributienet. De waterdruk in distributienetten in Nederland ligt tussen 4 en (incidenteel) 10 bar. De watertemperatuur is hoger dan 4°C en lager dan 25°C. Deze waterdruk en temperatuur zijn geen belemmering van het, binnen de specificaties, functioneren van de watermeter.

Bij de levering van watermeters worden installatie-instructies van de leverancier meegeleverd. Voor het functioneren van de watermeter binnen zijn specificaties moeten deze instructies worden aangehouden.

Aangaande het gebruik van de watermeter heeft Kiwa de volgende vragen:

- Werden de watermeters gebruikt in een tegendruk situatie?
- Zijn er vormvaste, of zich als vormvast gedragende, leidingdelen toegepast van minimaal 10D vóór de meter tot en met minimaal 5D na de watermeter?
- Hadden de aansluitende van de watermeter en gekoppelde leidingdelen boven- en benedenstrooms dezelfde doorlaat hebben als de doorlaat van de watermeter?

5 Conclusies

5.1 Watermeters

5.1.1 *Conclusie algemeen*

Beide typen watermeters zijn enkel geschikt om water te meten met een temperatuur hoger dan 4°C en de temperatuur waarbij zich nog geen dampbellen beginnen te vormen en kunnen een betrouwbare meting leveren binnen de gegevens specificaties van de onderzochte watermeters.

5.1.2 *Watermeter Qn 3,5 m³/h (analoog)*

Deze watermeter voldoet op alle volumestromen, groter of gelijk dan 0,07 m³/h, en kleiner of gelijk aan 7,0 m³/h aan de eisen die aan de maximaal toelaatbare miswijzing worden gesteld in gebruik zijnde watermeters die worden gebruikt voor handelsdoeleinden.

Dit betekent dat bij afname van 26 l in ≈20s (4,680 m³/h) een betrouwbare meting kan worden geleverd.

5.1.3 *Watermeter DN 50 (digitaal)*

- Bij een volumestroom kleiner of gelijk aan 1,80 m³/h kan geen miswijzing worden bepaald omdat het telwerk geen signalering afgeeft;
- Bij volumestromen van vanaf 2,024 m³/h tot en met 5,002 m³/h voldoet de watermeter niet aan de eisen die aan de maximaal toelaatbare miswijzing zijn gesteld aan in gebruik zijnde watermeters die worden gebruikt voor handelsdoeleinden;
- Bij een volumestroom groter dan 10,060 m³/h voldoet de watermeter aan de eisen die zijn gesteld aan de maximaal toelaatbare miswijzing van in gebruik zijnde watermeters voor gebruik voor handelsdoeleinden, uitgaande van de eis in 2.1.4. Dit betekent dat bij afname van 74 l in 16,2 s (16,44 m³/h) een betrouwbare meting kan worden geleverd.

5.1.4 *Vergelijking watermeters*

- Bij een volumestroom kleiner of gelijk dan 7,0 m³/h of groter of gelijk dan 10,06 m³/h kan één van beide watermeters een betrouwbare meting leveren;
- Bij een volumestroom groter dan 7,0 m³/h kan de analoge meter niet meten en is het voor de digitale meter bij een volumestroom groter dan 5,002 m³/h en lager dan 10,06 m³/h (voor handelsdoeleinden) niet duidelijk of deze een betrouwbare meting kan leveren.
- Daarmee zijn er geen volumestromen waarop beide watermeters betrouwbaar met elkaar kunnen worden vergeleken.

5.2 Testinstallatie

5.2.1 *Conclusie toepassing watermeter in de testinstallatie*

- Op Foto 1 is te zien dat de gebruikte slangen zich als vormvaste leidingdelen gedragen vanaf minimaal 10D vóór de meter tot en met minimaal 5D na de watermeter.
- In volledig gevulde toestand kunnen de gebruikte slangen zich vormvast gedragen. Men kan visueel vaststellen dat slangen zich vormvast gedragen tijdens de test. Hieruit kan men afleiden dat er geen situatie ontstaat waarin benedenstrooms van de watermeter een druk lager dan de atmosferische kan ontstaan en er dus sprake van een tegendruksituatie zou zijn.