

Praktijkexperimenten technieken offensieve buiteninzet

**Onderzoek naar de effectiviteit van vier
technieken voor offensieve buiteninzet ten
opzichte van de binneninzet met hogedruk**

Versie: 4.0, 4 mei 2012

Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid
Postbus 7010
6801 HA Arnhem

T 026 355 24 00
F 026 351 50 51

info@nifv.nl

Colofon

Opdrachtgever:	Projectgroep Offensieve Buiteninzet (Brandweeracademie/NVBR)
Contactpersoon:	J. Molenaar
Titel:	Praktijkexperimenten technieken offensieve buiteninzet
Datum:	4 mei 2012
Status:	definitief rapport
Versie:	4.0
Projectnummer:	
Auteurs:	ing. R. van den Dikkenberg MCDM drs. K. Groenewegen
Review:	dr. ir. J.G. Post
Eindverantwoordelijken:	dr. ir. J.G. Post (hoofd onderzoek NIFV)

Voorwoord

Voor u ligt het rapport over de testperiode brandbestrijdingstechnieken die door de Brandweeracademie en de afdeling Onderzoek van het NIFV in samenwerking met korpsen uit het land is uitgevoerd.

Binnen het project "Ontwikkelen Offensieve Buiteninzet" is er voor gekozen een aantal blustechnieken die al beschikbaar waren met elkaar te vergelijken, het zogenaamde laaghangend fruit. Een aantal van deze technieken wordt door sommige korpsen al sedert jaren gebruikt als onderdeel van het repressief optreden, zoals fognails en drukluchtschuim. Zelfs de Coldcuttermethode is in een korps al operationeel beschikbaar. Binnen de werkgroep Techniek is besloten de volgende technieken met elkaar te vergelijken:

- Coldcutter
- Fognails
- Nevelkogel
- Drukluchtschuim (DLS)
- Binneninzet met HD

Aanvullend zijn enkele testen gedaan met de buiteninzet met HD.

De testen hebben plaatsgevonden in de periode van 21 tot 24 november 2011 op het oefenterrein TRONED in Twente, waarop in een voormalige testhal voor straaljagers brandproeven zijn uitgevoerd.

Deze testweek is mede tot stand gekomen door de medewerking van:

- Rockwool, die belangeloos de benodigde bescherming van de staalconstructie heeft geleverd en laten aanbrengen
- Firma Nater, die de Coldcutterunit beschikbaar heeft gesteld
- TRONED voor het leveren van de testruimte en ondersteunend personeel
- De korpsen die personeel en materieel beschikbaar hebben gesteld, te weten:
 - o Veiligheidsregio Amsterdam- Amstelland
 - o Veiligheidsregio Utrecht
 - o Veiligheidsregio Haaglanden
 - o Veiligheidsregio Brabant Noord

Deze testen zijn de eerste schreden op het pad van verwerving van robuuste, betrouwbare kennis.

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

Jaap Molenaar

Vakgroepectaan Incidentmanagement
Brandweeracademie

Inhoud

Voorwoord	3
Inhoud	4
1 Inleiding	5
1.1 Achtergrond	5
1.2 Aanleiding	5
1.3 Geteste technieken	6
1.4 Onderzoeksvragen	7
1.5 Afbakening	7
2 Onderzoeksverantwoording	9
2.1 Opzet experimenten	9
2.2 Toetsingscriteria	9
2.3 Testlocatie	9
2.4 Scenario	10
2.5 Inzet van offensieve technieken	12
2.6 Uitvoering van de testen	13
2.7 Veiligheid	15
2.8 Wijze van registratie	16
2.9 Vergelijkbaarheid van de testen	18
3 Resultaten van het onderzoek	19
3.1 Effectiviteit van de technieken	19
3.2 Temperatuurverloop ten aanzien van veiligheid van brandweerpersoneel	24
3.3 Overige meetresultaten en waarnemingen	25
4 Conclusies	30
5 Aanbevelingen	32
Bijlagen	33
Bijlage 1: Registratielijst	34

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De aanleiding voor dit onderzoek ligt bij de brand in de botenloods in De Punt waarbij drie brandweercolllega's om het leven zijn gekomen. De verschillende onderzoeken die naar aanleiding van deze brand zijn uitgevoerd maakten de branche duidelijk dat bij gebouwbranden de offensieve binneninzet niet zondermeer moet worden gehanteerd om een brand in een gebouw te bestrijden. De branche heeft hierop gereageerd door te stellen dat er geen binneninzet wordt uitgevoerd tenzij er mensen te redden zijn. Deze stellingname is in veel korpsen geïmplementeerd, maar roept ook vragen op. Wat kunnen we dan nog wel, is een veel gehoorde vraag. Om het brandweerveld een bruikbaar handelingsperspectief te bieden heeft de Brandweeracademie samen met het Netwerk Repressie van de NVBR een project opgezet genaamd "Offensieve buiteninzet". Hiertoe zijn twee werkgroepen ingesteld: de werkgroep Tactiek en de werkgroep Techniek. De werkgroep Tactiek is verantwoordelijk voor de ontwikkeling van kaders en de bijbehorende doctrines. De werkgroep Techniek doet voorstellen over passende technieken en voert daartoe experimenten en praktijkproeven uit.

Binnen dit project is afgesproken dat de bruikbaarheid en effectiviteit van een aantal bestrijdingstechnieken in een gecontroleerde maar zo realistisch mogelijke context getest moest worden. Dit rapport is het resultaat van deze testperiode.

1.2 Aanleiding

Binnen de werkgroep Techniek zijn een aantal technieken voorgedragen om ervaringen mee op te doen. Het betreft hier technieken die in Nederland al min of meer bekend zijn. Het gaat concreet om de volgende technieken:

- HD blussing
- LD blussing
- Repressieve ventilatie
- Drukluchtschuim
- Coldcutter
- Gebruik warmtebeeldcamera
- Fognails
- Nevelkogel
- DSPA (Dry Sprinkler Powder Aërosol)

In de werkgroep rees de vraag wat de effectiviteit van een aantal van deze technieken ten opzichte elkaar is en hun bijdrage aan de veiligheid van het brandweerpersoneel tijdens een inzet.

Hierop is besloten om een serie experimenten uit te voeren, waarbij een aantal van deze technieken getest worden onder vergelijkbare omstandigheden.

1.3 Geteste technieken

In de werkgroep is er een keuze gemaakt voor het testen van vier technieken voor de offensieve buiteninzet. De keuze voor deze technieken is op de volgende argumenten gebaseerd:

- Technieken moeten in Nederland worden gebruikt of beschikbaar zijn.
- Technieken moeten van buiten het gebouw /testruimte kunnen worden ingezet.
- Van elke techniek moeten ervaren bedienaars beschikbaar zijn.

De warmtebeeldcamera is geen blustechniek maar een belangrijk ondersteunend middel. Bij repressieve ventilatie wordt geen blusmiddel in de ruimte ingebracht, in tegenstelling tot de andere genoemde technieken en wordt daarom niet als blustechniek meegenomen in het onderzoek. De DSPA is vooral ontwikkeld voor een initiële knockdown in een kleine ruimte.

Hierdoor bleven een beperkt aantal technieken over die voor de testen in aanmerking kwamen.

De geteste technieken zijn:

- Coldcutter
- Fognails
- Nevelkogel
- Drukluchtschuim.

Genoemde technieken zijn als offensieve buiteninzet getest ten opzichte van een HD binneninzet. Omdat er ruimte bleek in het testprogramma zijn daarnaast twee HD buiteninzetten uitgevoerd. Hieronder volgt een korte beschrijving van de zes geteste technieken:

1. Coldcutter: Een afzonderlijk apparaat met een lans, waarbij onder hoge druk (300 bar) door middel van snijgrit van buitenaf toegang wordt verschaft tot de brandruimte via een gat van circa 5 millimeter. Op het moment dat het snijgrit door het materiaal van de wand is, wordt uitsluitend een fijne waternevel in de ruimte gebracht. Door de zeer fijne verneveling gedraagt de waternevel zich min of meer als een gas. Als gevolg hiervan en de hoge druk, kunnen grote afstanden overbrugd worden. Voor de coldcutter is permanente bediening noodzakelijk.
2. Fognails: Fognails zijn lansen, aangesloten op het reguliere of lage druksysteem van de TS. De lansen zijn voorzien van een punt, met daarachter een ring met kleine openingen. Uit deze opening komt fijn verdeeld water. Fognails worden ingezet door handmatig (met bijvoorbeeld een boormachine of een hooligantool) van buitenaf openingen in de wand of het dak te creëren. Vervolgens worden de fognails geplaatst. Eenmaal geplaatst kunnen zij zelfstandig functioneren. Er zijn offensieve en defensieve fognails, het verschil zit in de spreidingshoek van de waterkegel en waardoor ook de worplengte verschillend is.
3. Nevelkogel: Een nevelkogel is een lange lans, met aan het uiteinde een draaibare kop (circa 10 cm doorsnede), aangesloten op het lage druk systeem van de TS. Als gevolg van de waterdruk draait de kop waardoor water in de ruimte verspreid wordt. De nevelkogel wordt toegepast door de nevelkogel via een opening, bijvoorbeeld via een gevelopening, van buitenaf in de ruimte te brengen. De lengte van de lans is circa 4 meter. Tijdens de inzet dient de nevelkogel gefixeerd te worden waarbij de nevelkogel op een minimale hoogte van 1,5 meter in de ruimte geplaatst dient te zijn.

4. Drukluchtschuim: Drukluchtschuim (DLS) is een apart systeem wat is geïnstalleerd op de tankautospuit, met een aparte slanghaspel en straalpijp. Via een tussenmenger op het voertuig wordt speciaal schuimvormend middel voor drukluchtschuim aan het water toegevoegd. Vervolgens ontstaat er, mede door het bijzondere schuimvormend middel en de straalpijp, schuim met een behoorlijke kleefkracht.
De worplengte is circa 10 meter. Omdat het schuim kleeft, ook aan verticale vlakken, dekt het beter af dan regulier schuim. Voor de bediening is continue personele inzet nodig. DLS kan zowel tijdens een binneninzet als een buiteninzet worden ingezet.
5. HD-binneninzet: De HD-binneninzet is de reguliere methode van straalpijpvoering onder hoge druk. Tijdens een inzet gaan manschappen met een HD-straal naar binnen via een reguliere toegang, om van daaruit rookgaskoeling uit te voeren en de brand te blussen.
6. HD-buiteninzet: Voor de HD-buiteninzet wordt hetzelfde materiaal ingezet als bij de binneninzet. Echter wordt de inzet van buitenaf, gericht op rookgaskoeling en eventueel blussen, vanuit een bestaande opening uitgevoerd.

1.4 Onderzoeksvragen

De centrale vraag in het onderzoek luidt:

Hoe verhoudt de effectiviteit van enkele technieken voor de offensieve buiteninzet zich tot een binneninzet met hoge druk bij een brand in een industrieel pand?

De onderliggende onderzoeksvragen zijn:

1. Wat is de effectiviteit van de onderzochte technieken
 - a. met betrekking tot brandgaskoeling?
 - b. met betrekking tot blussing?
2. In hoeverre dragen de onderzochte technieken bij aan de veiligheid van het brandweerpersoneel ten aanzien van temperatuurverloop vanaf het moment van binnentreden?
3. Welke overige kenmerken met betrekking tot de effectiviteit komen voort uit het onderzoek ten aanzien van de onderzochte technieken?

1.5 Afbakening

Tijdens de experimenten zijn de bovengenoemde technieken onderzocht. De overige offensieve buitentechnieken zijn niet meegenomen in het onderzoek. Ook de defensieve lagedrukkinzet is in deze testen buiten beschouwing gebleven.

Alle testen zijn vijf maal uitgevoerd, met uitzondering van DLS en de HD buiteninzet. De reden hiervoor vindt u verderop in het rapport.

In het onderzoek is uitsluitend één pand met één scenario getest. Dit betekent dat de resultaten van het onderzoek uitsluitend geldig zijn voor het geteste pand en scenario. In het scenario was sprake van twee vuurhaarden, deze vuurhaarden vormden de enige vuurlast in het pand. Er was geen sprake van uitbreidingsmogelijkheden of aanwezigheid van andere materialen dan uitsluitend schoon vurenhout en aanmaakvloeistof.

In de testen zijn uitsluitend temperatuur(verloop), duur van de inzet en de tijdsduur van de knockdownfase¹ gemonitord. Andere parameters zoals luchtvochtigheid, druk en

¹ Met de term knockdown wordt bedoeld dat er geen zichtbare vlammen meer zijn

waterdebiet zijn niet gemeten. Van het waterverbruik van de verschillende technieken is wel een inschatting gemaakt op basis van het theoretische waterverbruik per minuut en de inzettijd.

De hoeveelheid hout die daadwerkelijk verbrand is, is niet gemeten. De samenstelling van de rookgassen is niet geanalyseerd. Ook de tijd van het inzetgereedmaken van de onderzochte inzetssystemen, de bedrevenheid van het bedienend personeel en kosten en overige organisatorische voor- en nadelen van de inzetssystemen maakten geen deel uit van het onderzoek. De inzetssystemen zijn uitsluitend voor dit scenario getest.

Vanwege de constructie van het testgebouw (staalconstructie, gedeeltelijk beschermd) is er voor gekozen de temperatuur niet zo ver te laten oplopen dat de kritische temperatuur van staal bereikt zou kunnen worden. Dit is gerealiseerd door de hoeveelheid brandbaar materiaal te beperken en een temperatuur vast te stellen waarbij blussing ingezet wordt. Bij de vooraf gehouden proefbranden is vastgesteld dat circa 430 °C hiervoor een geschikte temperatuur is.

De gekozen opzet van de testen en de omvang en vorm van de testlocatie heeft er toe geleid dat niet van alle systemen de maximale gebruiksmogelijkheden in beeld konden worden gebracht. Daarnaast zijn tijdens de testen ook nog verdiepende vragen ontstaan waar geen antwoord op kan worden gegeven vanwege de beschikbare meetinstrumenten. Een voorbeeld hiervan is het effect van een specifieke techniek op het creëren van een overleefbare situatie, anders dan alleen langs de temperatuurschaal. In hoofdstuk 5 Aanbevelingen wordt hier nog nader op teruggekomen.

2 Onderzoeksverantwoording

2.1 Opzet experimenten

De proeven zijn uitgevoerd in een hiervoor geprepareerde loods op oefencentrum TRONED in Enschede. In de loods werd op twee plaatsen een vuurhaard gerealiseerd. Vervolgens werd de vuurhaard volgens een vast patroon aangestoken en werd de tijd en temperatuur gemonitord.

Bij het bereiken van de starttemperatuur werd per test één offensieve buiteninzettechniek getest. Voor betrouwbare meetresultaten is de opzet geweest om alle technieken vijf maal te testen. Omdat DLS de testomgeving dusdanig beïnvloedde dat terugkeer naar de startsituatie niet mogelijk was, is DLS drie maal met een verschillende tactiek ingezet. Omdat er ruimte was voor twee extra testen, is besloten om ook tweemaal een buiteninzet met hogedruk uit te voeren.

Hierdoor zijn er 25 testen uitgevoerd met een offensieve techniek, te weten:

- 5 testen buiteninzet coldcutter
- 5 testen buiteninzet fognails
- 5 testen buiteninzet nevelkogel
- 5 testen binneninzet hogedruk
- 1 test buiteninzet DLS met nadruk op rookgaskoeling
- 1 test buiteninzet DLS met nadruk op vlamfrontbestrijding
- 1 test binneninzet DLS
- 2 testen buiteninzet hogedruk

Voor een beschrijving van de wijze van inzetten gedurende test wordt verwezen naar paragraaf 2.5.

2.2 Toetsingscriteria

De volgende indicatoren zijn tijdens de test gemeten:

1. Temperatuur. Het temperatuurverloop gedurende de test is gemeten door middel van thermokoppels, verbonden met een datalogger en een laptop. De temperatuur is op 7 plaatsen gemeten, zowel hoog in de rooklaag (circa 1 meter onder het plafond) als op leefniveau (1.80 meter boven vloerniveau). De thermokoppels zijn op verschillende plaatsen in de hal gepositioneerd (zie paragraaf 2.4).
2. Tijden. Vanaf het moment van het aansteken van de vuurlast zijn de volgende tijden geregistreerd: moment van het bereiken van de starttemperatuur van 430 C (thermokoppel 5), tijdsduur tussen start inzet en rooklaag onder de 150 C (thermokoppel 6) en de tijdsduur tussen de start van de inzet en de knockdown (zichtbare vlammen eraf).
3. Visuele waarneming van het brandverloop. Met behulp van een warmtebeeldcamera en visuele waarneming is het brandverloop tijdens de inzet geregistreerd. Hierbij ging het met name om het al dan niet plaatsvinden van een knockdown, het oplaaien van de brand na beëindigen van de offensieve buiteninzet en overige effecten.

2.3 Testlocatie

De testen zijn gehouden op TRONED in een daarvoor speciaal geprepareerde voormalige hangar. De hanger had een binnenafmeting van 15,35 diep x 11,60 breed x 4,50 meter hoog.

Het betrof een constructie van stalen balken met stalen windverbanden. De wand- en plafondpanelen waren eveneens van staal en bestonden uit geperforeerd plaatstaal geïsoleerd met steenwol. Het dak is aan de buitenzijde bekleed met bitumen. De vloer is van beton. Aan de voorzijde zijn twee grote schuifdeuren (gezaamenlijk 7,30 m breed, 4,50 hoog). Aan de rechterzijde bevindt zich een loopdeur. Rechts achterin de hal is eveneens een loopdeur die uitkomt in een klein vertrek. Vanuit dit vertrek is een deur naar buiten. In het vertrek bevindt zich bovenin een ventilatieluik. De aanwezige ramen in het pand (2 stuks) zijn dichtgelast. In figuur 1 is een afbeelding van de testlocatie opgenomen. Een schematische weergave van het pand is opgenomen in paragraaf 2.8



Figuur 1: Testlocatie

2.4 Scenario

Vuurlast

Voor de vuurlast werd gebruik gemaakt van vurenhouten pallets. In het pand werd op twee plaatsen een vuurlast geplaatst. Elke vuurlast bestond uit een rek met daarin twee stapels van 8 pallets hoog. Het aantal pallets bedroeg derhalve 32. De vuurlast bedroeg ca. 512 kg vurenhout. Uitbreiding van de brand was bij deze testopzet niet mogelijk. De rekken zorgden voor de mogelijkheid om enerzijds snel de vuurlast in en uit de testruimte te rijden, en anderzijds dat bij iedere brand de pallets op dezelfde wijze en exact dezelfde plaats opgesteld werden. Onder de pallets, op de bodem van het rek, lag een zachtboardplaat van 1.22x2.44 m. De zachtboardplaat had ten doel om de opgebrachte aanmaakvloeistof, die op de pallets werd aangebracht en eventueel naar beneden lekte, in de vuurlast mee te laten doen waardoor een gelijksoortige brandontwikkeling tussen de experimenten mogelijk was.

Alle pallets zijn aangekocht uit één partij en waren vrijwel identiek. De pallets zijn vooraf allemaal in dezelfde loods onder dezelfde condities opgeslagen, waardoor wordt aangenomen dat de pallets min of meer vergelijkbaar waren tijdens de experimenten.

De vuurlast werd op vastgestelde plaatsen in het pand geplaatst, waarbij de locatie op de bodem van de loods was afgetekend. In figuur 2 is een afbeelding van de positie van de vuurlast weergegeven.



Figuur 2: Positie vuurlast

Aansteken van de vuurlast

De pallets werden volgens een vast patroon aangestoken: Er werd per palletbox twee liter aanmaakvloeistof verdeeld, telkens op dezelfde wijze. Nadat de testopstelling geprepareerd was, werden in een vaste volgorde de palletboxen ontstoken. Tijdens deze testen kon de brand niet uitbreiden.

Start, overschakelmoment en einde van het experiment

Na het aansteken van de vuurlast werd op afstand de tijd en temperatuur gemonitord. Het vooraf afgesproken startmoment was tweeledig:

1. Beide vuurlasten dienden volledig te branden
2. De temperatuur van de rooklaag diende circa 430 C te bedragen. Hiervoor was thermokoppel 5 leidend (testen bij een hogere temperatuur leverde een te zware belasting op van de staalconstructie van de testruimte vandaar de keuze om bij circa 430 C in te zetten).

Brandontwikkeling wordt onder andere beïnvloedt door omgevingstemperatuur, luchtvochtigheid, windkracht en -richting. Hierdoor is het lastig om buiten een laboratoriumomgeving, ondanks de identieke vuurlast, telkens exact dezelfde brandontwikkeling te realiseren.

Dit bleek ook tijdens de experimenten het geval. Om de juiste temperatuur te bereiken is daarom het toepassen van ventilatie, door middel van het openen en sluiten van de loopdeur, toegepast door een ervaren stoker van de Brandweeracademie.

Na het voldoen aan bovenstaande criteria voor het startmoment, werd het experiment gestart, waarbij de offensieve techniek werd ingezet vanuit de voorzijde van het pand, waarbij de nadruk lag op rookgaskoeling.

Tijdens dit proces werd de temperatuur door een waarnemer gemonitord. Bij $T=150\text{ C}$ op thermokoppel 6 werd de HD-binneninzet gestart. De keuze voor 150 C is gemaakt, omdat een rookgaslaag met een dergelijke temperatuur relatief veilig wordt geacht voor plotselinge branduitbreiding door brandbare gassen in de rook.

Na het sein om over te schakelen, gingen twee manschappen met HD naar binnen om de brand af te blussen.

Het einde van de meting was in principe het moment van overschakelen op HD. Het afblussen was in dat geval voornamelijk bedoeld voor het opnieuw gereedkrijgen van de testruimte.

Echter, als na het stopzetten van de offensieve buitentechniek de brand weer oplaaide, liep de test door totdat met de HD opnieuw een knockdown was bereikt via een binneninzet.

Tijdens het afblussen van de brand werd, nadat de grote schuifdeuren aan de voorzijde van de loods geopend waren, vanuit een ruimte achterin de loods een overdrukventilator geactiveerd. Dit werd gedaan om zo snel mogelijk de rookgassen en hitte uit de loods te verwijderen.

2.5 Inzet van offensieve technieken

Alle offensieve technieken zijn ingezet aan de buitenzijde, aan de voorzijde van de loods. De technieken zijn als volgt ingezet:

- Coldcutter: De inzetten met de coldcutter werden gedaan met een losse unit, voorzien van een lans met een debiet van 60 liter per minuut. Op de loodsdeur is een locatie aangegeven waar het coldcuttersysteem met behulp van het reguliere grit werd ingezet om een klein gaatje in de deur te maken. Bij de start van het experiment werd dit gaatje gemaakt, waarna direct de rookgaskoeling plaatsvond.
- Fognails: Tijdens de testen met de fognails zijn twee fognails ingezet. Dit betroffen korte hogedruklansen (type offensief) met een debiet van 70 liter per fognail per minuut. Vooraf zijn twee gaten in de loodsdeuren geboord, waardoor de fognails konden worden ingezet. De fognails zijn voor aanvang van de test al in de deur geplaatst.
- Nevelkogel: De ingezette nevelkogel was een standaard nevelkogel met een vaste opstelling en de mogelijkheid tot zwenken. Voor de inzet van de nevelkogel werd gebruik gemaakt van een luik dat speciaal hiervoor in de loodsdeur was aangebracht. Voor de start van het experiment was het luik geopend, maar was de nevelkogel nog niet geplaatst. Dit werd bij de start van het experiment gedaan. Op de nevelkogel was een markering aangebracht voor de diepte waarop de kogel in de loods gebracht werd. Daarnaast was op de grond de positie van de bediener aangegeven, zodat de nevelkogel iedere test op deze wijze en met dezelfde positie werd ingezet.
- Drukluchtschuim: Voor de testen met DLS werd gebruik gemaakt van een in een tankautospuiter ingebouwd DLS-systeem, voorzien van klasse A schuim. Voor de inzet van DLS werd ook gebruik gemaakt van het luik, zoals beschreven bij de nevelkogel.

- HD-binneninzet: De HD-inzetten werden uitgevoerd met een reguliere HD-aanvalsslang, met een debiet van 125 liter per minuut, voorzien van een voor rookgaskoeling geschikte straalpijp. Bij de HD-binneninzet werd vanaf de loopdeur aan de zijkant een binneninzet uitgevoerd conform de nieuwe les- en leerstof. Daarbij gaat het om rookgaskoeling met behulp van een speciale straalpijp. De eerste rookgaskoeling vond plaats ter hoogte van de deur, waarna een diepere inzet richting de vuurhaard plaatsvond. De focus bleef in eerste instantie op rookgaskoeling liggen, met als doel de temperatuur onder de 150 C te krijgen. Als na enige tijd de temperatuur onvoldoende afnam of als de omstandigheden voor de uitvoerders dusdanig oncomfortabel werd qua hitteopbouw, werd ook overgegaan op het blussen van het vlamfront. De HD-binneninzet werd telkens uitgevoerd door ervaren instructeurs van de Brandweeracademie, met veel kennis en ervaring op het gebied van rookgaskoeling. Dit om zo min mogelijk variatie en een zo hoog mogelijke kwaliteit van de inzet te garanderen.
- HD-buiteninzet: Aanvullend op de experimenten is ook tweemaal een buiteninzet met de HD uitgevoerd, onder dezelfde condities als de nevelkogel en drukluchtschuim. De reden hiervoor was dat in de andere experimenten de HD alleen voor een binneninzet gebruikt wordt, terwijl ook een buiteninzet eventueel mogelijk is. Dit gebeurde door het luikje in de loodsdeuren. Hierbij werden rookgassen gekoeld met een continue straal.

De gebruikte offensieve technieken werden voor aanvang van ieder experiment inzetgereed gemaakt vlak voor de loods.

2.6 Uitvoering van de testen (werkwijze)

De testen werden volgens een vaste volgorde uitgevoerd.

Na het gereedmaken van de loods werd de tijd- en temperatuurwaarneming gestart. Vervolgens werd de brand aangestoken. Na het bereiken van het startmoment ($T=430$ C op thermokoppel 5) werd de offensieve buiteninzet gestart. Zodra de rookgaslaag voldoende gekoeld was ($T=150$ C op thermokoppel 6) werd overgeschakeld op afblussen met HD. De coldcutter, fognails, nevelkogel en DLS buiten werden dus uitsluitend ingezet voor de offensieve buiteninzet, en werden niet gebruikt om vervolgens af te blussen. In alle gevallen werd hiervoor de HD gebruikt. Nadat de eventuele vlammen met HD waren afgeblust, werden de grote loodsdeuren geopend en werd vervolgens een overdrukventilator in de ruimte gestart.

Vervolgens werden de smeulende pallets door middel van een heftruck uit de loods gehaald en werd de testruimte weer in de oorspronkelijke staat teruggebracht. Hiervoor werd tussen de experimenten een recuperatietijd van 45 minuten aangehouden. Daarnaast moest de temperatuur van de staalconstructie zijn afgekoeld tot onder de 100 C, en de luchttemperatuur in de loods bij thermokoppel 5 rond de 20 C om een volgende test uit te voeren. Na inzetten waarbij water of schuim na de test in de ruimte aanwezig was (met name nevelkogel en DLS) werd het water/schuim handmatig uit de loods verwijderd.

Uit bovenstaande mag niet worden geconcludeerd dat de beproefde technieken niet geschikt zijn om volledig af te blussen. Dit is in deze testopzet niet beproefd.

Alle systemen zijn vijf keer getest, om de invloed van toeval en omgevingsomstandigheden te beperken. Hierop zijn twee uitzonderingen gemaakt, namelijk HD buiteninzet en DLS.

Omdat er de gelegenheid was om twee extra experimenten uit te voeren, is ervoor gekozen om tweemaal een offensieve buiteninzet met een HD te doen.

DLS is driemaal getest, omdat het gebruik van DLS het vrijwel onmogelijk maakte om bij een volgende inzet dezelfde uitgangssituatie te kunnen bereiken. De reden hiervoor is dat het schuim ook op de wanden terechtkomt, en in de geperforeerde wanden met steenwol wordt opgenomen, wat de brandontwikkeling in volgende proeven beïnvloedt.

Omdat na de eerste DLS-inzet het pand niet meer in de oorspronkelijke situatie terug te brengen was, is ervoor gekozen om in de twee volgende DLS-proeven variaties te onderzoeken. De drie variaties waren:

1. Van buitenaf eerst vlammen eerst inpakken en vervolgens rookgassen koelen (omdat DLS voornamelijk bedoeld is voor het creëren van een knockdown).
2. Van buitenaf eerst rookgassen koelen en vervolgens een knockdown creëren (gebruikelijke procedure bij het betrokken brandweerkorps).
3. Een gebruikelijke offensieve binneninzet met DLS.

Doordat de verschillende DLS-inzetten ieder slechts éénmaal getest zijn in verband met de praktische uitvoerbaarheid, dient hier bij het interpreteren van de resultaten rekening mee te worden gehouden. Ondanks de beperkte test van DLS is toch besloten de resultaten wel mee te nemen in de presentatie van de verzamelde gegevens. Dit louter ter vergelijking. Om met zekerheid de effectiviteit van DLS vast te stellen, is aanvullend noodzakelijk.

Iedere dag werden zes testen uitgevoerd, namelijk vijfmaal een techniek voor de offensieve buiteninzet en eenmaal een HD binneninzet. De inzetten werden per techniek telkens uitgevoerd door hetzelfde team, bestaande uit twee brandweermensen die het systeem ook in de praktijk gebruiken.

2.7 Veiligheid

Veiligheid van de constructie

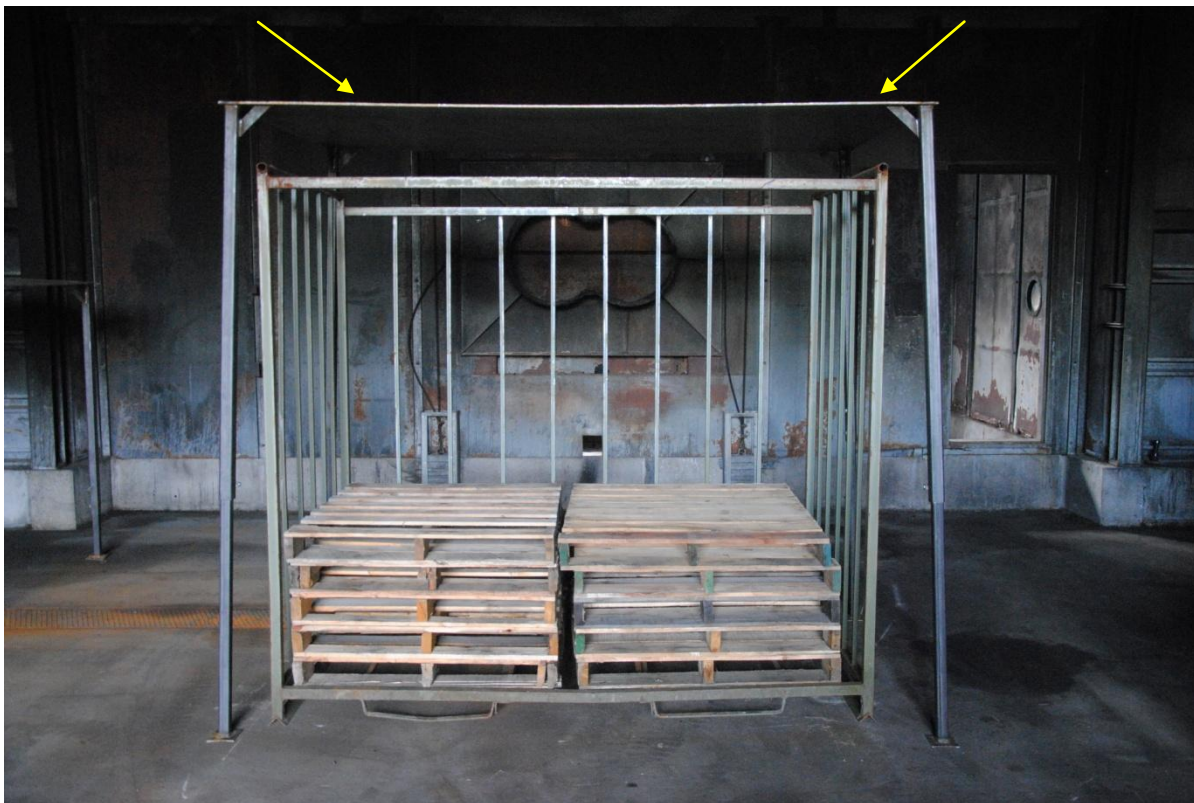
Vooraf is het pand bekeken door een preventiedeskundige, om te zien of het mogelijk was op een veilige wijze de experimenten uit te voeren. Deze deskundige heeft een berekening gemaakt ten aanzien van de maximale temperatuur die de staalconstructie mocht krijgen (kerntemperatuur) om op een veilige wijze te werken.

Op advies van de deskundige zijn de meest kwetsbare delen van het pand, namelijk de windverbanden, geïsoleerd met brandveilige isolatie. Daarnaast is er één thermokoppel zodanig geplaatst, dat de kerntemperatuur van de staalconstructie kon worden gemeten. Vooraf werd afgesproken dat bij het bereiken van de kritische temperatuur van de staalconstructie een no-play-procedure zou worden ingesteld.

Tijdens de experimenten is gebleken dat de temperatuur van de staalconstructie in alle gevallen ruim lager bleef dan de kritische grenswaarde.

Na iedere test werd het pand visueel geïnspecteerd op scheuren, vervormingen en andere indicaties ten aanzien van de veiligheid van de constructie.

Als extra voorzorgsmaatregel voor het beschermen van de constructie zijn boven de palletboxen staalplaten gemonteerd (zie figuur 3), om directe aanstraling van vlammen op de balklaag zoveel als mogelijk te vermijden.



Figuur 3: Staalplaat boven vuurlast

Veiligheid tijdens de inzetten

Om de veiligheid tijdens de inzetten te vergroten, en tevens beïnvloeding van de testen te voorkomen, zijn vooraf alle brandbare materialen uit de loods verwijderd en zijn de aanwezige ramen dichtgelast.

De meest risicovolle inzet, namelijk de HD-binneninzet, werd altijd uitgevoerd met twee personen. Daarnaast was er gedurende alle testen een veiligheidsman met warmtebeeldcamera binnen in de loods. Deze persoon was zo gesitueerd dat hij zich tijdens de offensieve inzetten buiten het bereik van water en/of grit bevond, en een

directe vluchtweg naar buiten had. Daarnaast stonden alle betrokkenen met elkaar in contact via portofoons en was er een no-play-procedure afgesproken. Tijdens de inzet werden kijkers op afstand gehouden en daarnaast werden er werkcirkels gecreëerd van circa 5 meter. Alle betrokkenen die tijdens en na de testen in rook stonden of konden staan, droegen ademlucht.

Veiligheid tijdens het uitruimen

Zolang er nog rook in de ruimte hing, werd deze uitsluitend betreden met ademlucht, inclusief de bestuurder van de heftruck. Daarnaast werden CO-metingen gedaan, voordat de ruimte door niet-ademlucht dragers betreden werd.

2.8 Wijze van registratie

De volgende registraties zijn tijdens het experiment toegepast.

Tijdsregistratie

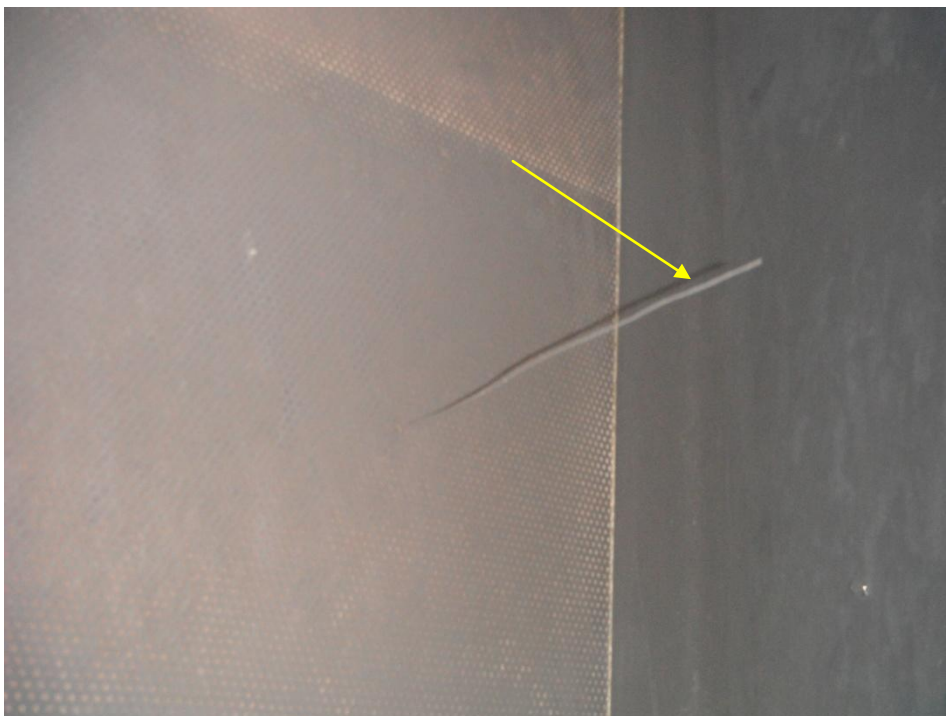
De tijd werd geregistreerd met behulp van stopwatches. Daarnaast registreerde ook het computersysteem van de thermokoppels de tijden.

De volgende tijden of momenten werden geregistreerd:

- Tijd waarop de starttemperatuur werd bereikt
- Tijd waarop de inzet werd gestart
- Tijd waarop de rookgaslaag onder 150 C was
- Tijd waarop de knockdown plaatsvond
- Tijd waarop het afblussen met HD startte.

Temperatuurregistratie

Voor de temperatuurregistratie werd gebruik gemaakt van acht thermokoppels. Een afbeelding van een van de thermokoppels is opgenomen in figuur 4.



Figuur 4: Thermokoppel

De thermokoppels werden op 2 hoogtes (1 meter onder het plafond ('hoog') en op 1.80 m vanaf de vloer ('laag') op verschillende plaatsen in het pand werden bevestigd (zie figuur 5).

De thermokoppels werden als volgt ingezet:

- 4 reguliere thermokoppels op een hoogte waarop de temperatuur van de rookgaslaag bovenin werd gemeten
- 2 reguliere thermokoppels op een hoogte waarop een mens zich in de ruimte bevindt, waarvan 1 bij de toegangsdeur van de HD binneninset.
- 1 reguliere thermokoppel, geïsoleerd geplaatst, voor de kerntemperatuur van de staalconstructie.
- 1 thermokoppel voorzien van een metalen plaat, verkregen vanuit een onderzoeksinstituut in Zweden. Deze thermokoppel is uiteindelijk in de analyse niet gebruikt.

De thermokoppels werden gekoppeld aan een datalogger met een meetprogramma. Hierdoor waren alle temperaturen ter plaatse realtime beschikbaar.

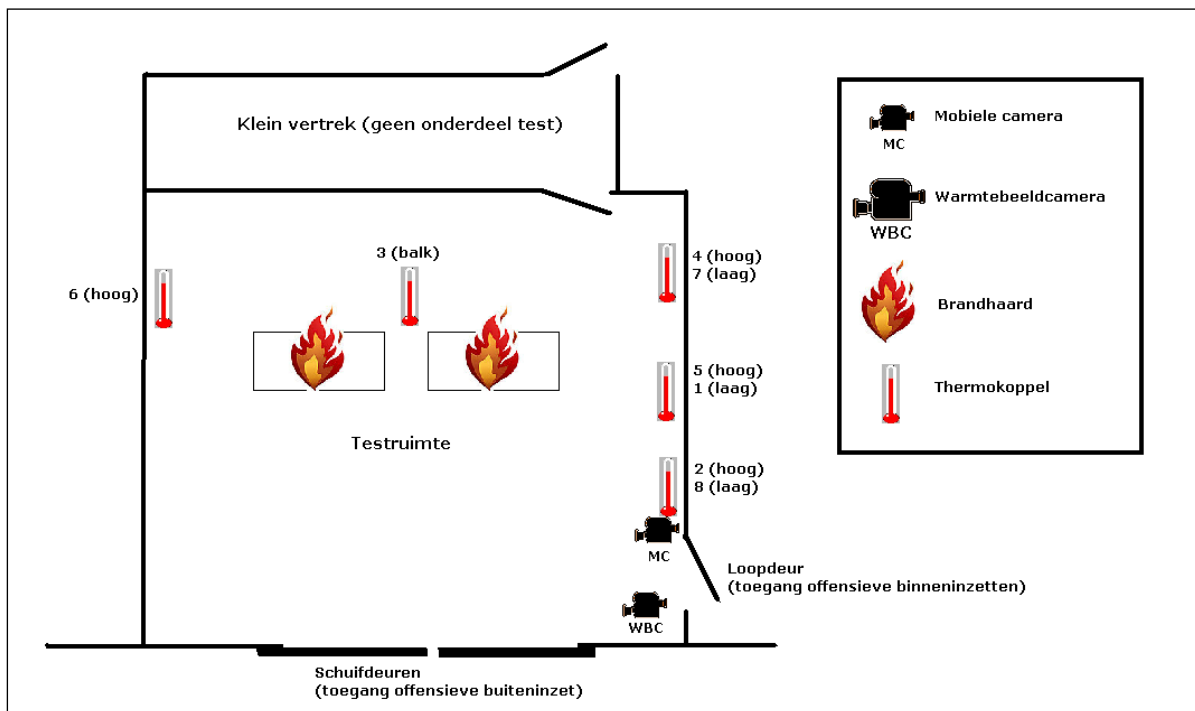
Beeldregistratie

Om te registreren wat er tijdens de inzet in het pand gebeurde, is gebruik gemaakt van een warmtebeeldcamera met de mogelijkheid tot opnemen. Deze werd bediend door de veiligheidsman (mobiele camera in figuur 5)

Daarnaast draaide er binnen een stationaire warmtebeeldcamera (WBC in figuur 5), om het beeld binnen vast te leggen. De inzet werd daarnaast van buitenaf vastgelegd met een reguliere camera.

Om het effect op de constructie te bekijken werd daarnaast gebruik gemaakt van een industriële warmtebeeldcamera (Flir). Dit is een zeer nauwkeurige warmtebeeldcamera met opnamefunctie, bedoeld voor inzet van buitenaf.

Tenslotte werden er visuele waarnemingen gedaan de veiligheidsman binnen, welke achteraf geregistreerd werden.



Figuur 5: Schematische weergave testruimte

2.9 Vergelijkbaarheid van de testen

Door de testopzet, waaronder gelijke hoeveelheid en soort hout, gelijke wijze van aansteken, de ruimte af laten koelen en waar nodig verwijderen van overtollig water, is geprobeerd om alle testen op een zo vergelijkbaar mogelijke manier uit te voeren. Het is lastig gebleken om de condities voor iedere test gelijk te krijgen, mede door weersomstandigheden en het toch opwarmen van de testruimte gedurende de dag.

Om een beeld te geven van de vergelijkbaarheid, zijn hieronder enkele gegevens weergegeven over het verloop van de brand tót het moment van de start van de inzet (streeftemperatuur $T = 430$ C op thermokoppel 5). Zie hiervoor tabel 1.

Tabel 1: overzicht temperaturen voor aanvang inzet

	Minimum	Maximum	Gemiddelde	Standaarddeviatie
Temperatuur testruimte voor aansteken	2	27	17	7
Tijd waarop starttemperatuur werd bereikt (sec.)	312	735	437	104
Temperatuur bij start van de test (C)	374	435	418	15

Uit een one-way-ANOVA analyse blijkt er geen significant verschil tussen de bovenstaande drie variabelen per geteste techniek.

3 Resultaten van het onderzoek

In de beschrijving van de resultaten worden de bevindingen met de DLS blussing ook meegenomen hoewel het aantal uitgevoerde testen zeer beperkt is. We hebben besloten deze gegevens toch weer te geven om het plaatje zo compleet mogelijk te maken. Dit houdt echter wel in dat de resultaten van de DLS testen met de nodige voorzichtigheid moet worden geïnterpreteerd.

3.1 Effectiviteit van de technieken

Onderzocht is in hoeverre de technieken effectief waren op het gebied van rookgaskoeling en het creëren van een knockdown.

Rookgaskoeling

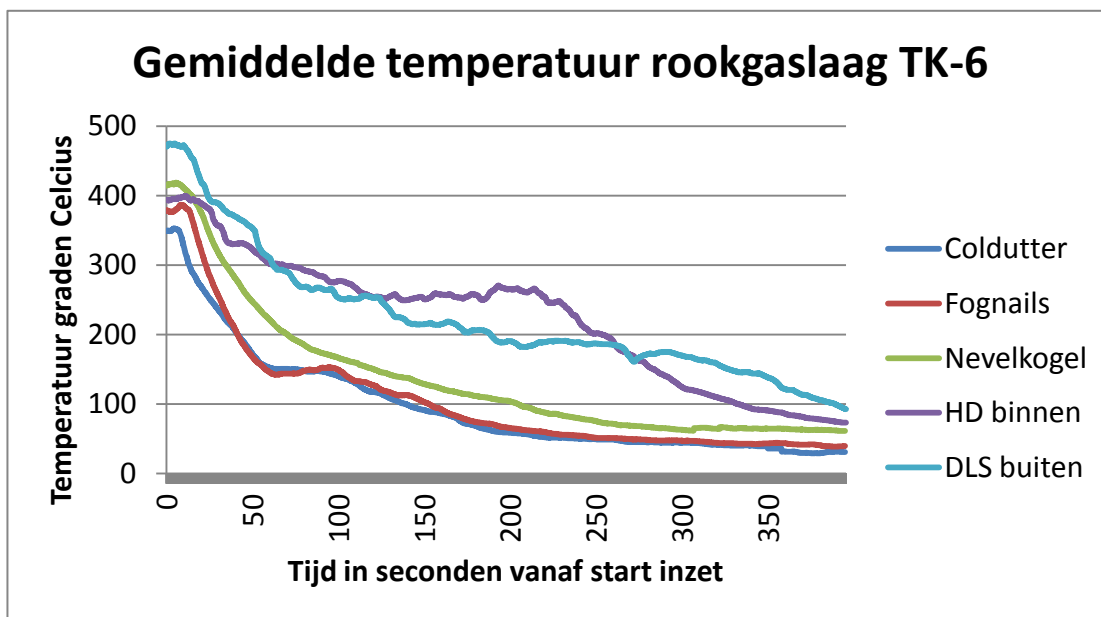
Tijdens het onderzoek is de temperatuur van de rookgaslaag gemeten. In figuur 6 is de gemiddelde temperatuurontwikkeling op thermokoppel 6 (hoog in de ruimte) per inzettechniek uitgezet in de tijd. Te zien is dat de inzetten van de fognails, coldcutter en nevelkogel een steilere lijn geven dan de HD-binneninzet.

Verder valt op dat het koelend vermogen van de fognails in het begin het sterkst is. Op het moment van overgang tussen innovatief middel en afblussen met HD (bij 150 C) valt op dat de temperatuur bij de fognails relatief constant blijft en zelfs iets oploopt, terwijl bij de coldcutter en de nevelkogel de temperatuur blijft dalen. Dit is te verklaren door het feit dat bij de nevelkogel en coldcutter er geen sprake is van herontsteking, terwijl bij de meeste fognailsproeven in de periode waarin men overschakelt op afblussen met HD het vuur weer oplaait.

Daarnaast valt op dat het temperatuurverloop bij de HD-binneninzet grillig verloopt. Dit is het gevolg van de menselijke factor bij de binneninzet. Tenslotte is te zien dat bij de HD-binneninzet de lijn het sterkst daalt na ruim 200 seconden. Dit is te verklaren doordat de focus op rookgaskoeling tijdens de binneninzet wordt verplaatst naar het bestrijden van het vlamfront, omdat de rookgaskoeling onvoldoende effect had op de temperatuur van de rooklaag.

Verder is te zien dat de buiteninzet met DLS² gemiddeld de eerste 50 seconden ook redelijk effectief is op het gebied van temperaturdaling, echter daarna vlakkt de lijn sterk af en bereikt DLS als laatste de eindtemperatuur van 150 C.

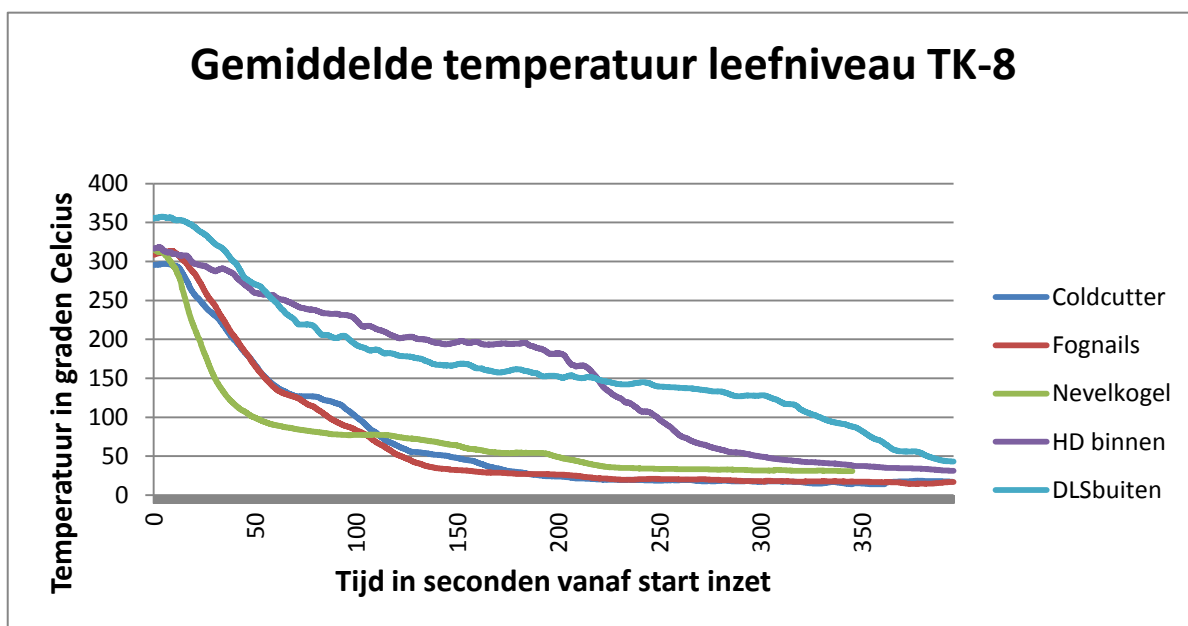
² Let op: de DLS buiteninzet is slechts twee maal uitgevoerd op verschillende wijzen. Aanvullend onderzoek is nodig om de effectiviteit met zekerheid vast te stellen.



Figuur 6: gemiddelde temperatuur rookgaslaag TK-6

Om de effectiviteit van de systemen te bepalen en omdat de testen niet bij exact dezelfde basistemperatuur gestart zijn, is de de steilheid van de lijnen in bovenstaande grafiek geanalyseerd. Hiervoor is de lineaire regressieanalyse gebruikt, waarbij het temperatuurverloop van $t=0$ tot het moment dat de eindtemperatuur van 150 C bereikt werd. Uit deze analyse blijkt dat richtingcoëfficiënt van het gemiddelde temperatuurverloop van de testen met de fognails het sterkst negatief is (-0,49). Dit betekent dat onder de geteste omstandigheden de fognails per tijdseenheid de sterkste temperatuurafname veroorzaakte. Daarna komen respectievelijk de coldcutter (-0,31), de nevelkogel (-0,24), DLS buiten (-0,07) en HD binnen (-0,06).

In figuur 7 is de temperatuur op leefniveau (thermokoppel 8) weergegeven voor de verschillende inzettechnieken.

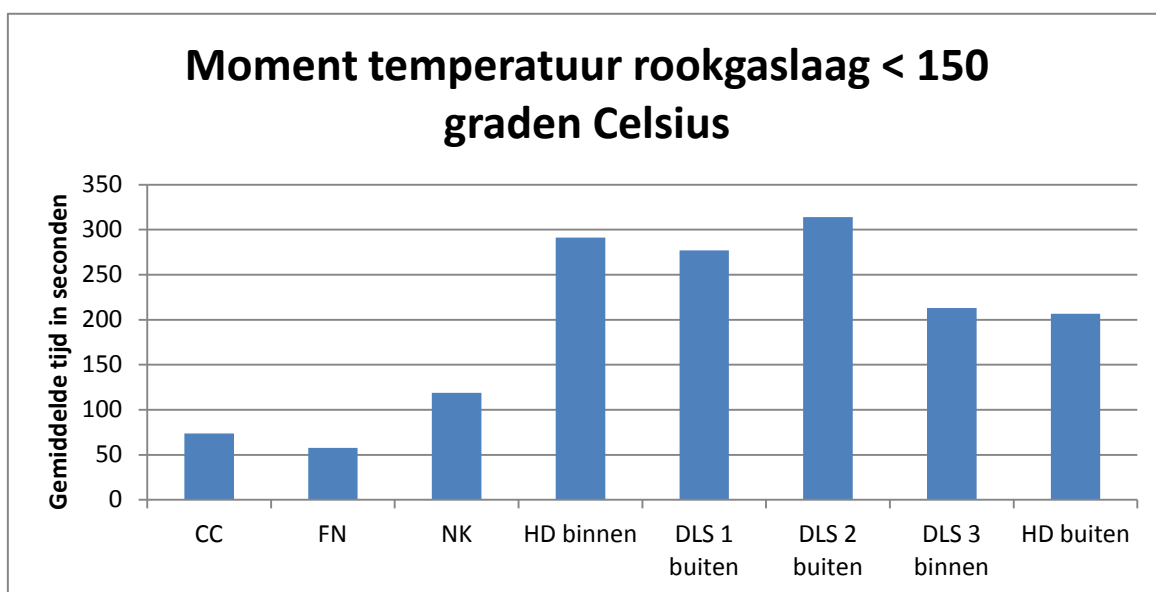


Figuur 7: gemiddelde temperatuur leefniveau TK-8

Opvallend is dat de nevelkogel in verhouding tot de vorige figuur zorgt voor een snelle afkoeling op thermokoppel 8. Daarbij moet worden opgemerkt dat deze thermokoppel geplaatst is bij de zijdeur op 1.80m (leefniveau). De systemen die met name voorin de ruimte koelend werken, zoals de nevelkogel en fognails, zullen daarom op thermokoppel 8 relatief goed scoren. Echter, een analyse van verschil tussen thermokoppel 7 (achterin de ruimte op leefniveau) en thermokoppel 8 (bij de deur op leefniveau) laat geen verschillen zien.

De HD binneninzet en de DLS buiteninzet zijn veel minder effectief dan de buiteninzetten met coldcutter, fognails en nevelkogel.

Verder is gekeken naar de tijd die het duurt tot de rookgaslaag onder de 150 C is (op thermokoppel 6). In onderstaande grafiek (figuur 8) zijn de resultaten weergegeven.



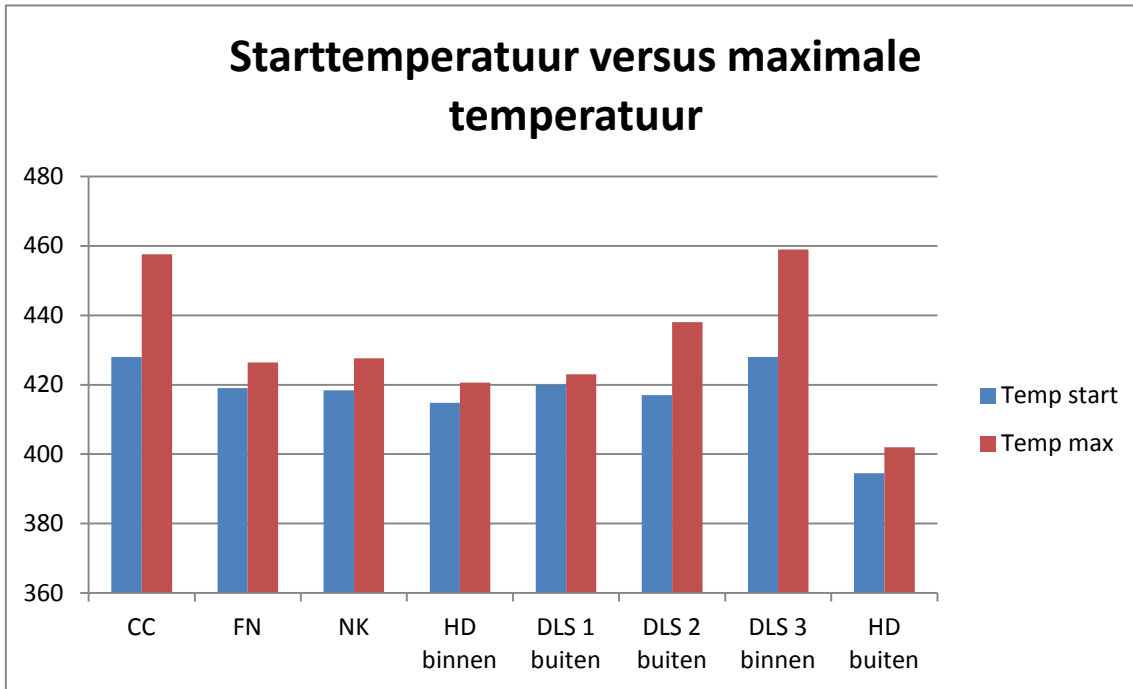
Figuur 8: moment rookgaslaag < 150 C bij de verschillende systemen

Met behulp van statistische analyses door middel van een t-toetsen is gekeken hoe groot de kans is dat de gevonden verschillen toeval zijn. Bij een kans op toeval die kleiner is dan 5% (een betrouwbaarheidsniveau van 95%) wordt gesproken van een significant verschil. De uitkomsten van deze berekeningen zijn opgenomen in bijlage 2.

Qua rookgaskoeling valt het volgende op:

- De coldcutter en de fognails scoren beide significant beter dan de andere systemen. Tussen de coldcutter en de fognails worden geen significante verschillen gevonden.
- De inzet met de nevelkogel scoort significant beter dan de DLS-inzetten en de HD-binneninzet.
- De HD binneninzetten scoren significant slechter dan de uitgevoerde DLS binneninzet. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat er maar één DLS binneninzet is gedaan, waardoor dit niet met zekerheid is vast te stellen.
- Er zijn geen significante verschillen aan te tonen tussen de HD buiteninzetten enerzijds en de fognails, nevelkogel, DLS-inzetten, HD binneninzetten anderzijds. Doordat er maar twee HD buiteninzetten zijn uitgevoerd, die qua resultaat sterk variëren, is er geen uitspraak te doen over significante verschillen tussen deze systemen.
- Verschillen tussen de DLS-inzetten onderling zijn niet statistisch vast te stellen, omdat elke test maar één keer is uitgevoerd.

Ook is gekeken tot hoever de temperatuur tijdens de inzet maximaal is toegenomen na het sein om de offensieve inzettechniek te starten. Uit figuur 9 blijkt dat met name bij de inzet van de coldcutter en DLS-inzetten waarbij in eerste instantie rookgassen worden gekoeld, de temperatuur eerst nog stijgt.



Figuur 9: starttemperatuur versus maximaal bereikte temperatuur

Mogelijke verklaringen hiervoor zijn dat de coldcutter bij de start van de test nog een toegang moet maken (wat tijd kost), terwijl dit bij de andere systemen niet van toepassing is.

Ten aanzien van de DLS-inzetten is een mogelijke verklaring dat DLS maar in beperkte mate geschikt is voor rookgaskoeling.

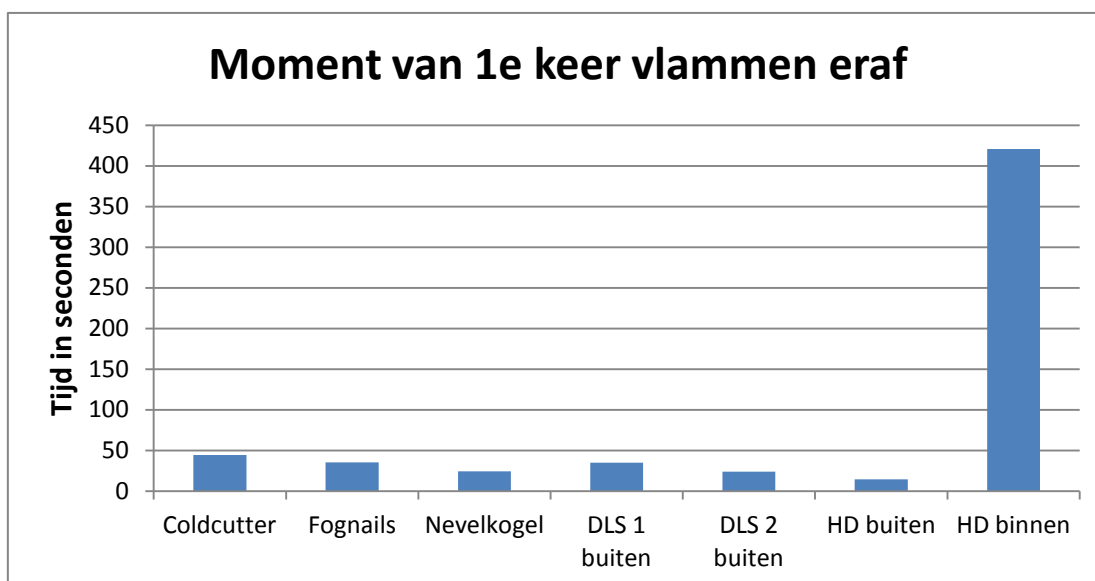
Knockdown

Door de waarnemer binnen is, mede met behulp van een warmtebeeldcamera, geconstateerd of er knockdown plaatsvond en zo ja, wanneer.

Met uitzondering van één inzet met de nevelkogel, heeft er bij alle uitgevoerde testen van de offensieve buiteninzettechnieken een knockdown plaatsgevonden voordat naar binnen werd gegaan.

In figuur 10 is het moment weergegeven waarop de knockdown gemiddeld plaatsvond. Te zien is dat het bij de HD-binneninzetten veel langer heeft geduurd voordat de eerste knockdown plaatsvond. De reden hiervoor is dat in verband met de veiligheid van de manschappen binnen, er eerst rookgaskoeling plaats moet vinden.

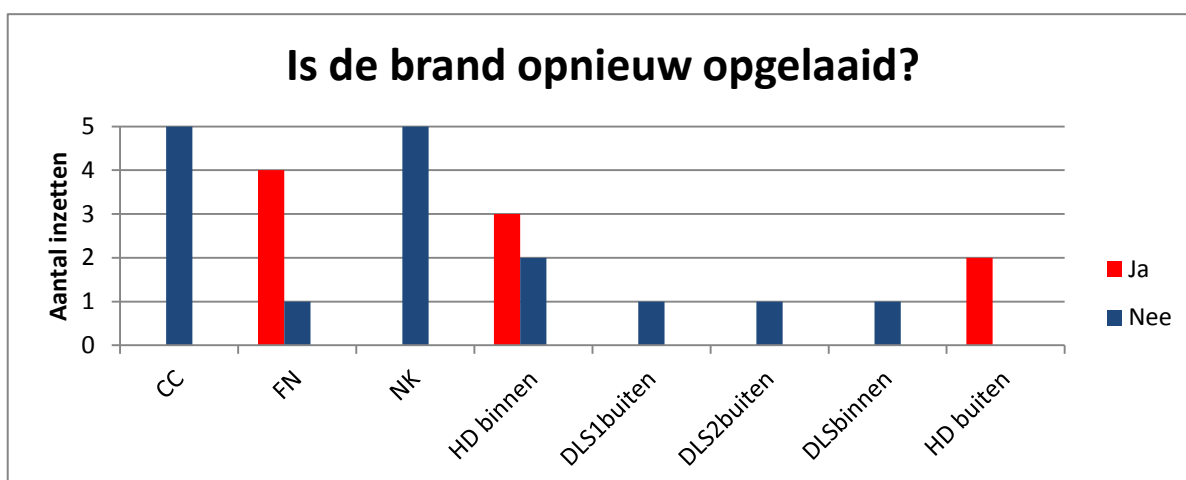
Van de offensieve buiteninzettechnieken heeft met name de nevelkogel relatief snel een knockdown gecreëerd. De DLS-buiteninzetten en de HD-buiteninzetten scoren ook goed, maar door het beperkte aantal testen is niet met zekerheid vast te stellen of dit aan het systeem valt toe te schrijven.



Figuur 10: tijd tot de eerste knockdown werd waargenomen

Daarnaast valt op dat bij de HD-binneninzetten tevens de grootste spreiding is in het moment waarop de vlammen er voor het eerst af zijn. Dit betekent dat een HD-binneninzet erg afhankelijk is van de bediening³. Ook bij de inzetten van de nevelkogel is er sprake van een relatief grote spreiding. Deze spreiding is er mede de oorzaak van dat de verschillen niet significant aantoonbaar zijn op een betrouwbaarheidsniveau van 95%.

Na inzet van de offensieve techniek werd, bij een rookgastemperatuur van 150 C, overgeschakeld op afblussen met HD. Gekeken is in hoeverre de brand na het overschakelmoment weer is opgelaaid.



Figuur 11: overzicht hernieuw oplaaien van de brand bij de verschillende systemen

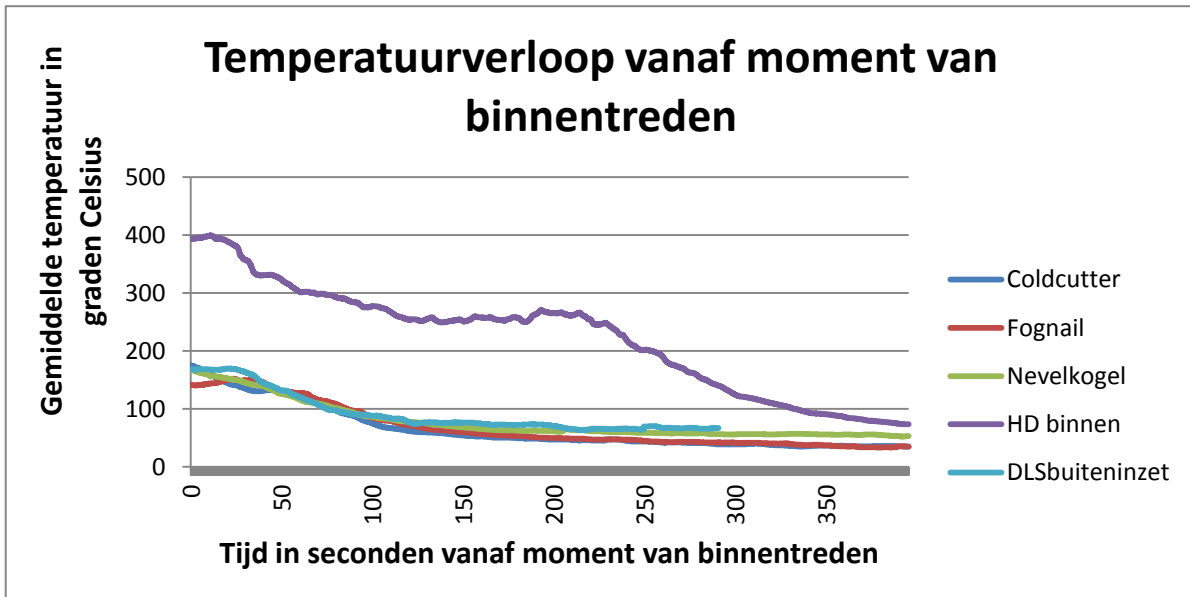
Uit figuur 11 blijkt dat er bij de coldcutter, nevelkogel en DLS geen hernieuwde oplaaiing heeft plaatsgevonden. Bij de fognails, HD-binneninzet en HD-buiteninzet was dit (deels) wel het geval.

³ Ondanks dat tijdens de test de HD-binneninzet telkens door dezelfde, zeer ervaren brandweermensen is uitgevoerd.

Als bij de inzetten van de drie laatst genoemde technieken gekeken wordt hoe lang het duurt voordat de vlammen er definitief af waren, blijkt dat dit bij de fognails gemiddeld na 92 seconden is, bij de HD-binneninzet na 361 seconden en bij de HD-buiteninzet gemiddeld 307 seconden. Significante verschillen zijn niet aan te tonen, dit wordt mede veroorzaakt door het beperkte aantal HD-buiteninzetten en de grote variatie tussen de HD-binneninzetten onderling.

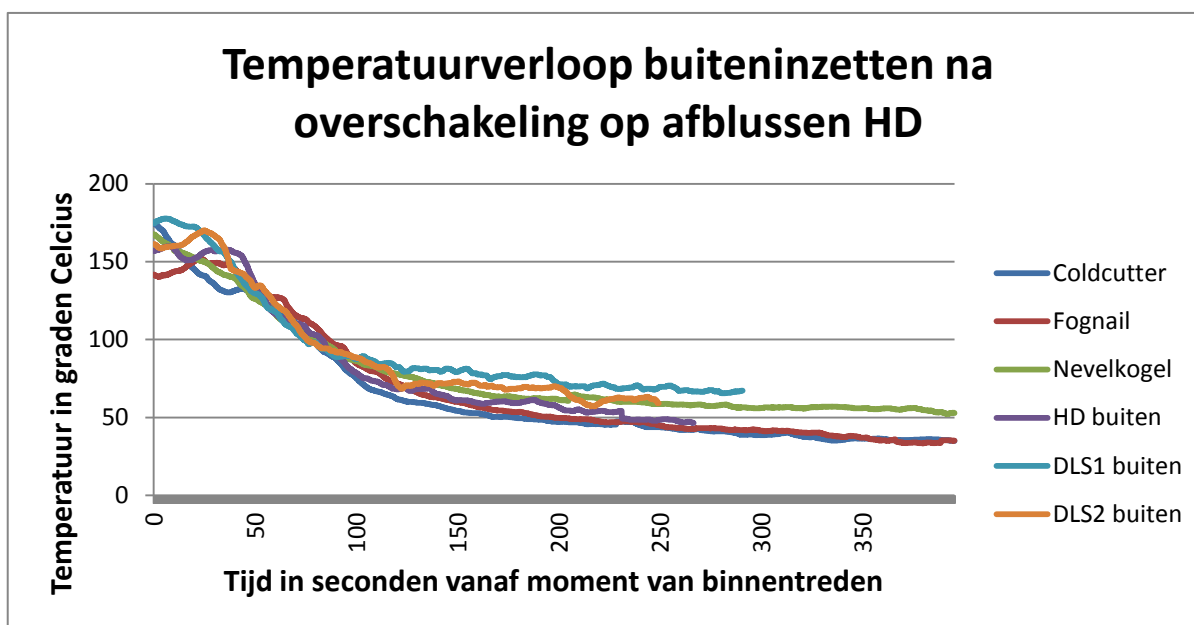
3.2 Temperatuurverloop ten aanzien van veiligheid van brandweerpersoneel

Als een nadere analyse uitgevoerd wordt, waarbij $t=0$ het moment van binnentreden is, ontstaat er een beeld van de temperatuur waaraan de ploeg bij het moment van binnentreden wordt blootgesteld en het temperatuurverloop van de verdere inzet. In figuur 12 is te zien dat bij de HD-binneninzet ten opzichte van de buiteninzet met coldcutter, fognails, nevelkogel en DLS de temperatuur fors hoger is, hetgeen logisch is als gevolg van de keuze voor een binneninzet ten opzichte van een buiteninzet.



Figuur 12: gemiddelde temperatuur bij binnentreden

Tijdens de offensieve buiteninzetten werd nadat de temperatuur van de rookgaslaag onder de 150 C kwam, overgeschakeld op afblussen met HD. Als gekeken wordt naar het temperatuurverloop van de buiteninzetten, nadat men naar binnen is gegaan om af te blussen met HD (zie figuur 13) blijken er weinig verschillen tussen de inzetten met verschillende offensieve buiteninzettechnieken. Bij geen enkele offensieve buiteninzettechniek blijkt er geen sprake te zijn van een sterke toename van de temperatuur nadat men overschakelt op HD, waardoor de binneninzet relatief veilig kan worden uitgevoerd.



Figuur 13: gemiddelde temperatuur bij binnentreden bij de verschillende buiteninzetten

3.3 Overige meetresultaten en waarnemingen

Waternverbruik

Het waternverbruik tijdens de testen is niet expliciet gemeten. Wel is op basis van de gemiddelde inzettijd en het theoretische debiet per techniek, een globale inschatting gemaakt van het gemiddeld verbruikte water. De resultaten zijn opgenomen in tabel 2.

	Gemiddelde inzettijd (sec.)	Debiet (l/sec)	Gemiddeld verbruik water ⁴
Coldcutter	74	1	74
Fognails	58	2,3	133
Nevelkogel	119	5,6	660
DLS buiten	296	2,8	839
DLS binnen	213	2,8	603
HD binnen	291	2,1	611
HD buiten	207	2,1	435

Tabel 2: Geschat waternverbruik

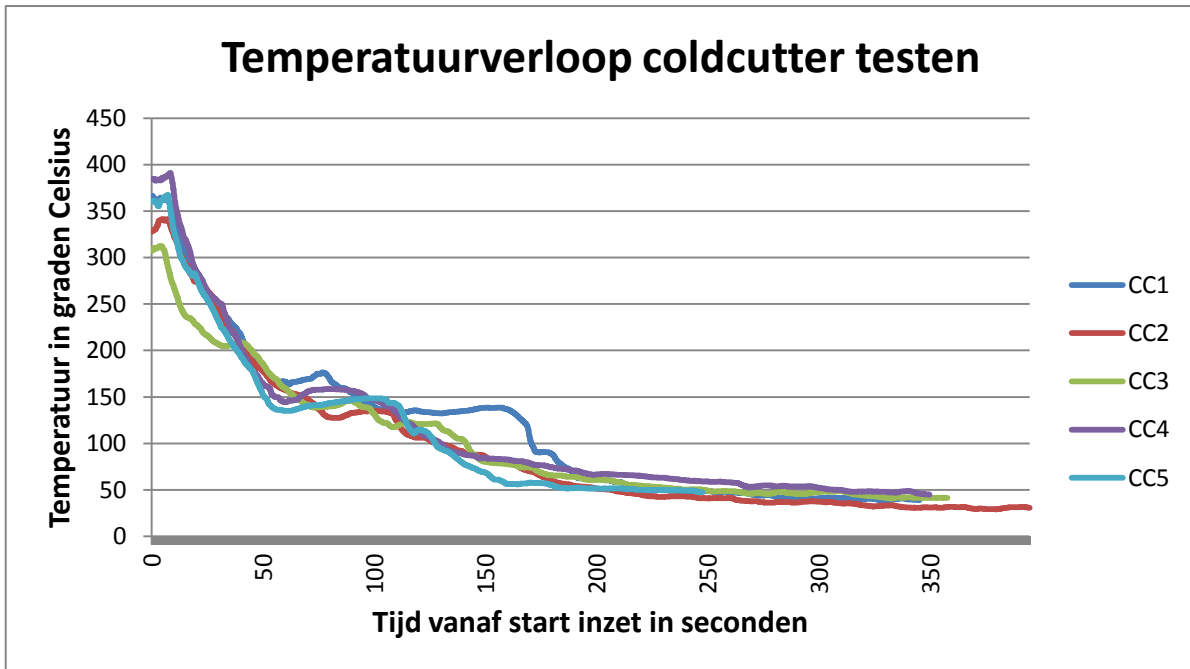
Opgemerkt moet worden dat het uitsluitend een schatting betreft, en uitsluitend geldig voor de uitgevoerde testen. Daarnaast is het gemiddelde waternverbruik geen absolute voorspeller is van nevenschade. Immers, bij bepaalde technieken kan het water gerichter worden ingezet dan bij andere technieken, wat ook van invloed is op de nevenschade.

Tenslotte moet worden opgemerkt dat het watergebruik voor alle technieken geschat is vanaf het moment van de start van de inzet (offensieve buiteninzet of HD binnenzet) tot het moment van het bereiken van de eindtemperatuur van 150 C. Het waternverbruik tijdens het afblussen is hierin niet meegenomen.

⁴ Bij DLS inclusief schuimvormend middel
 NEDERLANDS INSTITUUT FYSIEKE VEILIGHEID

Consistentie van het systeem

Gekeken is of het systeem gedurende de testen min of meer hetzelfde gepresteerd heeft. Deze spreiding zegt iets over de voorspelbaarheid en beïnvloedbaarheid van het systeem. Zie hiervoor de figuren 14-17.

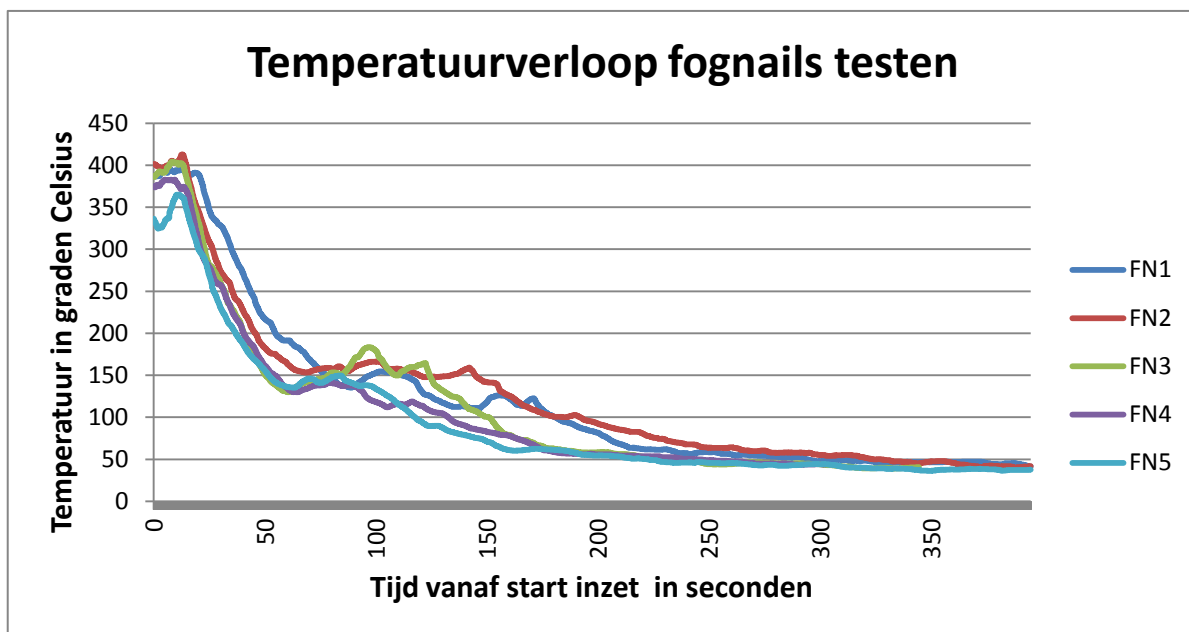


Figuur 14: temperatuurverloop coldcutter testen

Bij de coldcutter startte de inzet, en moest vervolgens het gaatje met grid nog gemaakt worden. Hiervoor is in de meetgegevens een correctie toegepast van 2 seconden⁵⁵. De steilheid van de lijnen is min of meer vergelijkbaar. Uitzondering hierop is de 3^e test, te zien aan de groene lijn. Tijdens deze test schoot de coldcutter-straalpijp tweemaal weg, waardoor er een nieuwe toegang gemaakt moest worden en er een tijdelijke beperkte verhoging van de temperatuur te zien is.

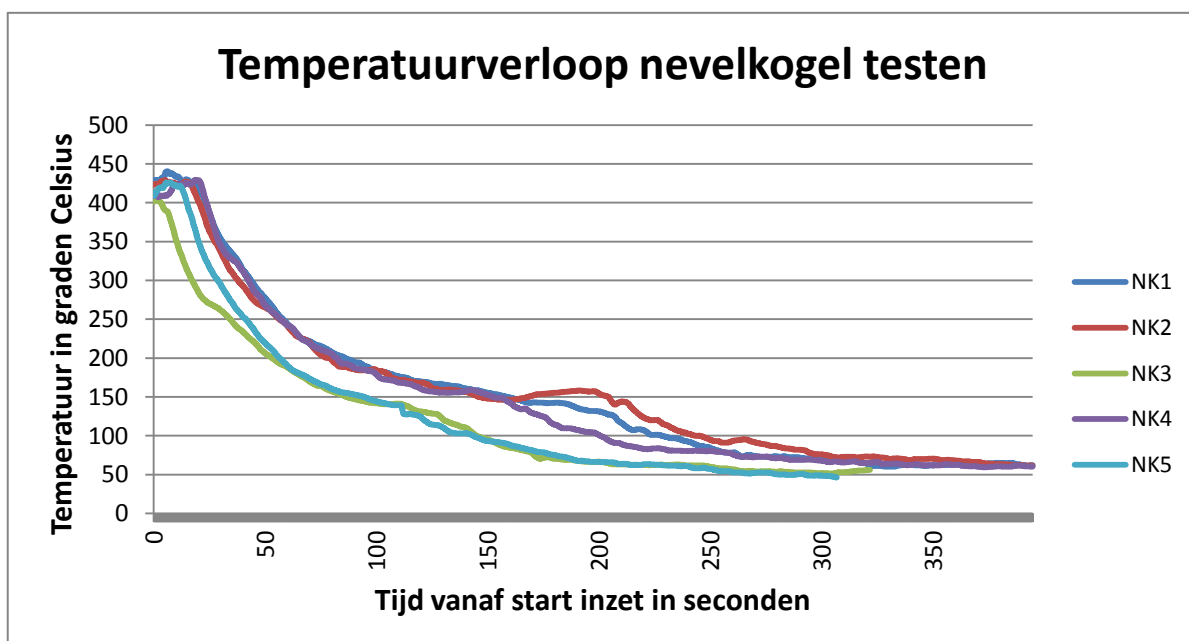
Concluderend, de coldcutter is tijdens de testen constant in rookgaskoeling bij gebruik op exact dezelfde wijze. Echter, vanwege de tactiek en techniek, is de effectiviteit van het middel sterk afhankelijk van de geoefendheid van de bediener.

⁵⁵ Bepaald aan de hand van metingen op basis van de camerabeelden
NEDERLANDS INSTITUUT FYSIEKE VEILIGHEID



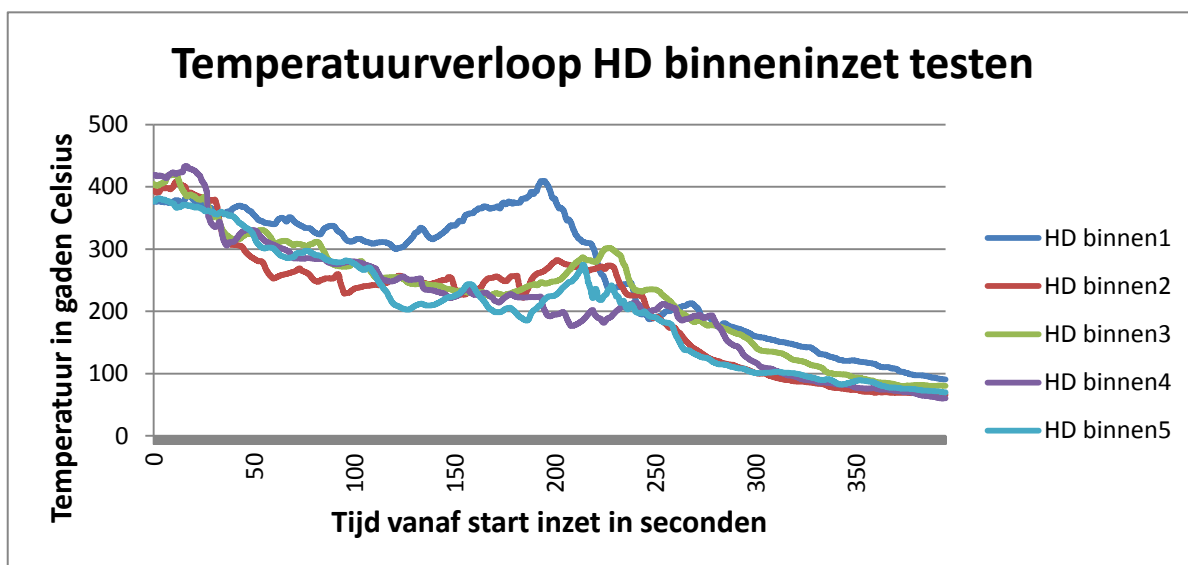
Figuur 15: temperatuurverloop fognails testen

Bij de onderlinge vergelijking van de fognailstesten valt op dat er weinig spreiding is ten aanzien van de rookgaskoeling. De inzet van de fognails was tijdens de testen minder afhankelijk van de bediener. Immers, de toegangsgaten waren vooraf gemaakt, de fognails waren al aangebracht en men diende uitsluitend de afsluiter open te draaien. Wel valt op dat de spreiding groter is na het moment van overschakelen op afblussen met HD (bij 150 C). Dit is gevolg van het in enkele gevallen weer oplaaien van het vuur. Concluderen, de fognails zijn van de onderzochte technieken het meest constant in de fase van rookgaskoeling. Er is meer spreiding in temperatuurverloop na het moment van overschakelen op afblussen.



Figuur 16: temperatuurverloop nevelkogeltesten

De nevelkogel geeft een relatief consistent beeld van het temperatuurverloop.

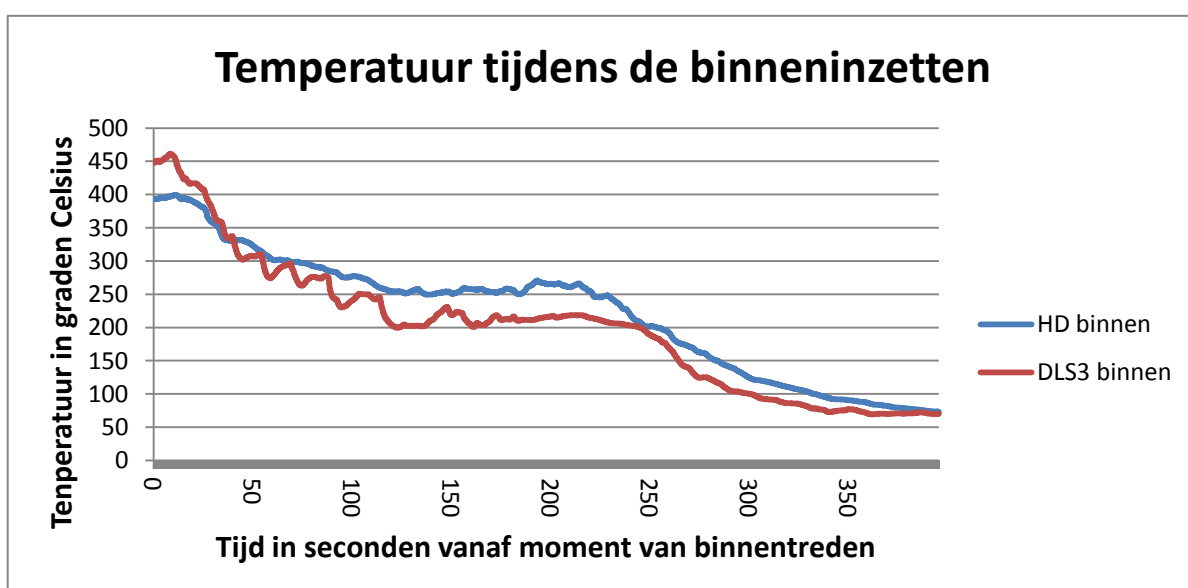


Figuur 17: temperatuurverloop HD binneninzet testen

Het temperatuurverloop tussen de HD binneninzetten varieert. Alleen met rookgascooling wordt een temperatuur van 150 C van de rookgaslaag niet gehaald. De temperatuur daalt pas sterk wanneer overgegaan wordt op vlamfrontbestrijding. Concluderend, er is sprake van een grote mate van spreiding in de temperatuurverlopen. Dit kan worden verklaard door de menselijke factor en keuzemomenten, die er zijn bij een HD binneninzet.

Binneninzetten

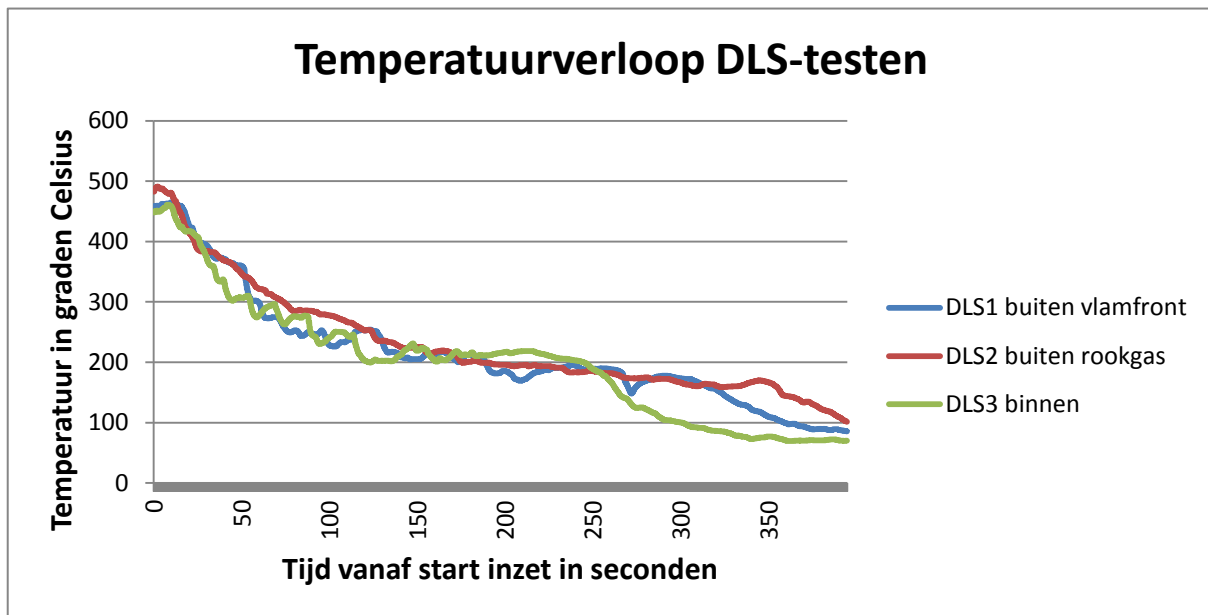
Er is gekeken naar het temperatuurverloop van de binneninzetten. Figuur 18 lijkt aan te geven dat de temperatuurdaling bij een binneninzet met DLS effectiever is. Echter, de DLS-binneninzet is slechts één maal uitgevoerd, waardoor er geen inzicht in de spreiding is. Daarom is niet met zekerheid vast te stellen hoe een HD binneninzet zich verhoudt tot een DLS-binneninzet.



Figuur 18: gemiddelde temperatuur bij binnentreden bij de binneninzetten

Inzettactieken DLS

Hoewel de drie tactieken waarop DLS is ingezet (buitenzet vlamfrontbestrijding, buitenzet rookgaskoeling en binnenzet) allen slechts één maal zijn uitgevoerd, waardoor de factor toeval niet kan worden uitgesloten, laat figuur 19 geen grote verschillen zien. Wel lijkt het erop dat DLS sterker werkt als het wordt ingezet in vlamfrontbestrijding, te zien aan de blauwe lijn, en het laatste gedeelte van de groene lijn.⁶ Om dit met zekerheid vast te stellen zouden meerdere testen moeten worden uitgevoerd met DLS op de verschillende inzetmanieren.



Figuur 19: temperatuurverloop DLS-testen

Beelden warmtebeeldcamera

De inzetten zijn vastgelegd met behulp van een warmtebeeldcamera. De beelden van de inzetten zijn bekeken. De beelden van de warmtebeeldcamera ondersteunen de waarnemingen zoals deze in het rapport gepresenteerd zijn, zoals de effectiviteit ten aanzien van het creëren van een knockdown en het al dan niet heroplaaien van de vuurhaard.

⁶ Bij de binnenzet is in eerste instantie ingezet op rookgaskoeling, en na verloop van tijd op vlamfrontbestrijding.

4 Conclusies

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de onderzoeksvragen zoals gesteld in de inleiding.

Onderzoeksvraag 1: Wat is de effectiviteit van de onderzochte technieken met betrekking tot rookgaskoeling en blussing?

Ten aanzien van rookgaskoeling scoren fognails, coldcutter, nevelkogel en DLS-buiteninzet⁷ beter dan de HD-binneninzet.

De coldcutter en de fognails scoren het beste en zijn ongeveer even goed, de nevelkogel scoort iets minder maar wel significant beter dan de DLS-inzetten en de HD-binneninzet.

De temperatuur van de rookgaslaag blijft bij de coldcutter en de nevelkogel dalen, ook na het stopzetten van de offensieve buiteninzet. Bij de fognails neemt deze beperkt toe als gevolg van het opnieuw opblazen van de brand. Dit heeft geen sterke temperatuurstijging tot gevolg.

Het temperatuurverloop bij de HD-binneninzet verloopt grilliger dan bij de fognails, coldcutter en nevelkogel. De buiteninzet met DLS is niet erg effectief voor het omlaag brengen van de temperatuur van de rookgaslaag. De vergelijking is echter lastig, omdat DLS vanwege praktische redenen slechts drie maal getest is, op drie verschillende manieren.

Coldcutter, fognails en nevelkogel scoren in verhouding tot de HD-binneninzet ook goed qua temperatuur op leefniveau.

Ten aanzien van bestrijding van het vlammenfront (knockdown) scoren alle systemen aanmerkelijk beter dan de HD-binneninzet. De nevelkogel heeft gemiddeld het snelst een knockdown bereikt. Verschillen zijn niet aantoonbaar significant, als gevolg van de grote spreiding in met name de HD-binneninzetten.

Bij de coldcutter, nevelkogel en DLS is er geen sprake geweest van hernieuwde opblazing van het vuur. Bij de fognails, HD-binneninzet en HD-buiteninzet was dit (deels) wel het geval. Van deze technieken was een tweede knockdown bij overschakeling op afblussen met HD bij de fognails veruit het snelst. Significante verschillen hierin zijn ook hierbij niet aan te tonen vanwege het beperkte aantal HD-buiteninzetten en de grote variatie tussen de HD binneninzetten.

Onderzoeksvraag 2: In hoeverre dragen de onderzochte technieken bij aan de veiligheid van het brandweerpersoneel, in de vorm van temperatuurverloop vanaf het moment van binnentreden?

Bij de HD-binneninzet is de temperatuur op het moment van binnentreden ten opzichte van de buiteninzetten met coldcutter, fognails, nevelkogel, DLS buiteninzet fors hoger, wat uiteraard het gevolg is voor de keuze van een binneninzet. Gedurende de eerste drie minuten vanaf het moment dat men binnen is, is de temperatuur bij de HD-binneninzet de gehele tijd circa 250 C hoger dan bij de geteste offensieve buiteninzetten met fognails, coldcutter, nevelkogel en DLS.

Het temperatuurverloop van de buiteninzetten blijkt, nadat men naar binnen is gegaan om af te blussen met HD, onderling weinig te verschillen.

Onderzoeksvraag 3: Welke overige kenmerken met betrekking tot de effectiviteit komen voort uit het onderzoek ten aanzien van de onderzochte technieken?

Bij de offensieve buiteninzetten wordt bij de DLS en de nevelkogel het meeste water/schuim binnengebracht. Dit kan leiden tot nevenschade.

⁷ Let op: De inzetten met DLS zijn vanwege praktische uitvoerbaarheid slechts éénmalig getest. Om de effectiviteit van DLS met zekerheid vast te stellen is aanvullend onderzoek noodzakelijk.

Opgemerkt moet worden dat het gemiddelde waterverbruik geen absolute voorspeller is van nevenschade. Immers, bij bepaalde technieken kan het water gericht worden ingezet dan bij andere technieken, wat ook van invloed is op de nevenschade.

Het minste water wordt gebruikt bij de coldcutter, waarbij de vloer van de ruimte vrijwel volledig droog gebleven is.

Ten aanzien van vergelijkbaarheid van het temperatuurverloop tussen de testen met één techniek onderling, zijn de resultaten van coldcutter, fognails en nevelkogel vergelijkbaar. De HD-binneninzetten kennen de grootste spreiding, en zijn erg afhankelijk van de kwaliteit en keuzes van de manschappen. De grootste spreiding wordt gezien in de fase van rookgaskoeling.

DLS is op drie wijzen eenmalig getest, namelijk een buiteninzet gericht op vlamfrontbestrijding, een buiteninzet gericht op rookgaskoeling en een binneninzet, in eerste instantie gericht op rookgaskoeling en daarna op vlamfrontbestrijding. Hoewel het gezien het beperkte aantal testen niet met zekerheid vast te stellen is, lijkt er in eerste aanleg weinig verschil in temperatuurverloop tussen de drie testen. Wel lijkt het erop dat DLS iets effectiever is als wordt ingezet op vlamfrontbestrijding. Om dit met zekerheid vast te kunnen stellen zijn aanvullende testen nodig.

De uitgevoerde binneninzet met DLS lijkt iets beter te scoren qua temperatuurverloop dan de binneninzet met HD, maar gezien het beperkte aantal testen is dit niet met zekerheid vast te stellen.

Antwoord op de hoofdvraag:

Hoe verhoudt de effectiviteit van enkele offensieve buiteninzettechnieken zich tot een binneninzet met hoge druk bij een brand in een industrieel pand?

In de uitgevoerde testen scoren de coldcutter en fognails het beste op rookgaskoeling. Ook de nevelkogel kan het in geteste scenario goed ingezet worden voor rookgaskoeling. Voor het creëren van een knockdown scoren alle geteste systemen beter dan de HD-binneninzet. Echter, heroplaaiing wordt met een coldcutter en nevelkogel voorkomen, terwijl bij de fognails de brand opnieuw oplaaide, zij het beperkt.

DLS zorgt in de uitgevoerde testen voor een goede knockdown maar lijkt daarbij niet erg geschikt voor rookgaskoeling.

De offensieve technieken zijn in de uitgevoerde testen niet alleen veiliger, maar ook effectiever in zowel rookgaskoeling als vlamfrontbestrijding ten opzichte van de HD-binneninzet.

5. Aanbevelingen

Zoals al eerder gezegd is de omvang van de uitgevoerde testen om meerdere redenen beperkt gebleven. Dat laat onverlet dat er wel veel data en inzicht is verkregen tijdens de uitvoering van de in dit rapport beschreven testen. Om nog beter inzicht te krijgen in de effecten en gebruikruimte van de verschillende technieken zijn aanvullende testen noodzakelijk. Daarbij valt te denken aan testen waarbij:

- sprake is van een complexere situatie: grotere afstand, L- of Z-vormig verloop van de ruimte, ruimte met grote obstakels etc.
- sprake is van een grotere vuurbelasting / veel hogere temperatuur circa 700 C.
- sprake is van branden die kunnen uitbreiden zowel binnen de brandruimte als door middel van verklikkerplaten in aangrenzende ruimten
- het mogelijk is DLS meerdere keren per scenario te testen
- ook luchtvochtigheid en zuurstofpercentage kan worden vastgesteld als parameter van het creëren van een overleefbare situatie (op 1,8 en 0,5 meter hoogte)
- verschillende scenario's (met een behoorlijke variëteit zoals schakeling van ruimten en vuurbelasting) worden opgebouwd waarin de technieken kunnen worden getest en met elkaar vergeleken worden.

Hierdoor ontstaat een nog beter inzicht in de effectiviteit van de verschillende technieken en het onderscheid gegeven de voorliggende scenario's.

Bijlagen

Bijlage 1: Registratielijst

Scenariocode	
Tijd	
Starttijdstip klok	
Starttemperatuur bereikt	
Start inzet	
Vlammen eraf offensieve techniek	
HD naar binnen	
Vlammen eraf bij afblussen/ einde oefening	
Temperatuur	
Starttemperatuur ruimte (TK 5)	
Temperatuur bij start proef (TK5)	
Maximaal bereikte temperatuur (TK5)	
Temperatuur <150 graden (TK 6)	
Overig	
Overige opmerkingen	

Bijlage 2: Significantietoetsen

Er zijn significante verschillen:

- CC en NK ($t=-2.809$; $p=0.023$)
- CC en HD binnen ($t=-16.793$; $p=0.000$)
- CC en DLS1 buiten ($t=-7.858$; $p=0.001$)
- CC en DLS2 buiten ($t=-9.288$; $p=0.001$)
- CC en DLS3 binnen ($t=-5.386$; $p=0.006$)
- CC en HD buiten ($t=-2.944$; $p=0.032$)
- FN en NK ($t=-4.560$; $p=0.002$)
- FN en HD binnen ($t=-24.738$; $p=0.000$)
- FN en DLS 1 buiten ($t=-15.649$; $p=0.000$)
- FN en DLS 2 buiten ($t=-18.288$; $p=0.000$)
- FN en DLS 3 binnen ($t=-11.084$; $p=0.000$)
- NK en HD binnen ($t=-12.087$; $p=0.000$)
- NK en DLS1 buiten ($t=-5.321$; $p=0.006$)
- NK en DLS2 buiten ($t=-6.565$; $p=0.0003$)
- NK en DLS3 binnen ($t=-3.168$; $p=0.034$)
- HD binneninzet en DLS3 binnen ($t=4.256$; $p=0.013$).