

Beschermende kleding brandweer

Deel 1 kleding eigenschappen





Nederlandse Academie voor
Crisisbeheersing en Brandweezorg
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
Kemperbergerweg 783, Arnhem
www.nipv.nl
info@nipv.nl
026 355 24 00

Colofon

© Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV), 2025

Auteurs	R. Heus en K. Kuklane
Contactpersoon	R. Heus

Datum	18 augustus 2025
-------	------------------

Foto's	K. Kuklane, R. Heus, NIPV, Omroep L1, Veiligheidsregio Haaglanden
--------	--

Wij hechten veel belang aan kennisdeling. Delen uit deze publicatie mogen dan ook word overgenomen op voorwaarde van bronvermelding.

Samenvatting

Teneinde de gezondheid en veiligheid van brandweerpersoneel te garanderen, worden persoonlijke beschermingsmiddelen ingezet tegen de gevaren die brandweerprofessionals tegenkomen bij de uitoefening van hun vak. Beschermende kleding vormt een belangrijke component van het totaal aan persoonlijke beschermingsmiddelen. Beschermende kleding zorgt naast de nodige bescherming echter ook voor extra (fysieke) belasting van brandweerprofessionals, waardoor hun taken als zwaarder kunnen worden ervaren. Dit speelt vooral als de zwaarste vorm van beschermende kleding wordt gedragen. Met de introductie van een extra type beschermende kleding voor de dagelijkse werkzaamheden, het operationeel uniform, heeft de brandweer meer mogelijkheden gekregen om voor de taak passende bescherming te kiezen. Maar omdat de huidige typen beschermende kleding niet altijd complementair zijn, heeft de Raad van Brandweercommandanten de opdracht gegeven om te werken aan een geïntegreerd modulair beschermend kledingsysteem voor de toekomst. Een dergelijk project staat voor uitdagingen, zoals verschillen in brandweerkleding tussen de veiligheidsregio's, interpretatieverschillen in draagvoorschriften, toenemende reinigingsfrequenties in het kader van schoon werken en het gebruik in de kleding van voor de gezondheid schadelijke stoffen zoals PFAS.

Met inachtneming van de huidige beschikbaarheid van beschermingsmiddelen is het doel van dit onderzoek te bepalen aan welke eisen beschermende kleding moet voldoen, en wat de gevolgen daarvan zijn voor het comfort van de werknemer en de inzetijd. Hiervoor zijn materiaalmetingen uitgevoerd op allerlei mogelijke combinaties van kledingitems uit de beschikbare kleding van de brandweer. De verkregen data uit deze metingen zijn input geweest voor modelberekeningen om onder verschillende brandweerscenario's te bepalen wat de (comfortabele) inzetijd is voor verschillende kledingcombinaties. Op basis van de uitkomsten kan worden geconcludeerd dat de bluskleding tijdens werken bij lage temperaturen voldoet om mensen comfortabel te houden. Voor temperaturen vanaf 10°C is het prima te gebruiken. Bij heel lage temperaturen is het operationeel uniform echter ongeschikt. Ook bleek uit aanvullende metingen dat compatibiliteit van kledingitems belangrijk is, omdat gecombineerde kleding juist tot lagere isolatiewaarden kan leiden als gevolg van het samenpersen van de luchtlagen tussen de kledinglagen.

De eerste resultaten van vervolgonderzoek met testpersonen en diverse kledingcombinaties in gesimuleerde brandweersomstandigheden laten zien dat de modelvoorspellingen (nog) niet nauwkeurig genoeg zijn, omdat ze geen rekening houden met de specifieke omstandigheden van het werk van brandweerprofessionals. In een aparte rapportage zal van deze metingen uitgebreid verslag worden gedaan.

Summary

In order to guarantee the health and safety of firefighting personnel, personal protective equipment (PPE) is deployed to protect against the hazards that firefighters encounter in the course of their duties. Protective clothing is an important component of the overall PPE package. However, in addition to providing the necessary protection, protective clothing also imposes extra (physical) strain on firefighters, which can make their tasks feel more demanding. This is especially true when the heaviest type of protective clothing is worn. With the introduction of an additional type of protective clothing for daily tasks—the operational uniform—the fire service has gained more options to choose task-appropriate protection. However, because the current types of protective clothing are not always complementary, the Council of Fire Chiefs has commissioned the development of an integrated modular protective clothing system for the future.

A project like this faces challenges such as differences in firefighting clothing between safety regions, varying interpretations of wearing regulations, increasing cleaning frequencies as part of clean working practices, and the presence of health-hazardous substances in the clothing, such as PFAS.

Taking into account the current availability of protective equipment, the aim of this study is to determine the requirements protective clothing must meet, and what the consequences are for worker comfort and deployment time. To this end, material measurements were conducted on various possible combinations of clothing items from the fire service's available gear. The data obtained from these measurements were used as input for model calculations to determine, under different firefighting scenarios, what the (comfortable) deployment time is for various clothing combinations. Based on the results, it can be concluded that firefighting gear is sufficient to keep people comfortable while working at low temperatures. For temperatures from 10°C and higher, it can be used adequately. However, at very low temperatures, the operational uniform is unsuitable. Additional measurements also showed that the compatibility of clothing items is important, as combining garments can actually lead to lower insulation values due to compression of the air layers between clothing layers.

The initial results of follow-up research with test subjects and various clothing combinations in simulated firefighting conditions indicate that the model predictions are (still) not accurate enough, as they do not account for the specific circumstances of firefighters' work. A separate report will provide a detailed account of these measurements.

Inhoud

	Inleiding	6
1	Onderzoeksmethoden	11
1.1	Inleiding	11
1.2	Desk research	11
1.3	Manikin- en materiaalmetingen	11
1.4	Modelberekeningen	16
1.5	Onderzoek met testpersonen	17
2	De huidige beschermende kleding	18
2.1	Inleiding	18
2.2	(Beschermende) kleding voor de brandweer	18
2.3	Uniformiteit beschermende kleding brandweer	19
2.4	Ergonomie en compatibiliteit	20
2.5	Historisch perspectief	20
2.6	Draagwijze beschermende kleding	22
2.7	Combinaties	23
3	Theoretisch kader	24
3.1	Inleiding	24
3.2	Bescherming door kleding	25
3.3	Belasting van beschermende kleding	26
3.4	Scenario's en tactische overwegingen	27
4	Resultaten en discussie	30
4.1	Resultaten thermische isolatie	30
4.2	Resultaten waterdampweerstandmetingen	35
4.3	Resultaten stralingsmetingen	37
4.4	Fysiologische belastingsmodellen	39
4.5	Onderzoek met testpersonen	42
5	Conclusies	44
	Bronnen	46
	Bijlage 1	50

Inleiding

Aanleiding

De veiligheid en gezondheid van brandweermensen is van cruciaal belang bij het uitvoeren van hun taken. Om hen effectief te beschermen tegen de diverse gevaren waarmee ze worden geconfronteerd, zijn adequate beschermingsmiddelen essentieel. Op dit moment maakt het brandweerpersoneel gebruik van verschillende typen beschermende kleding. Daarvan wordt het 'bluspak', ook wel uitrukpak genoemd, het meest gebruikt tijdens repressieve taken. Daarnaast is er voor dagelijks gebruik bij laagrisicotaken tegenwoordig een operationeel uniform beschikbaar. Verder is er beschermende kleding voor meer specialistische taken, zoals natuurbrandbestrijding, incidentbestrijding gevaarlijke stoffen (IBGS) en waterongevallen. Soms worden verschillende typen beschermende kleding (onder andere het uitrukpak over het operationeel uniform) in combinatie met elkaar gedragen. Omdat beschermende kleding naast bescherming ook hinder kan opleveren, is het Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid (NIPV) gevraagd door de Klantenraad Brandweerkleding om te onderzoeken hoe in de toekomst een optimale bescherming bereikt kan worden met een minimale belasting voor de drager van de kleding. Hiervoor is het project modulaire bescherming opgezet.

Ontwikkelingen

Zoals gezegd, heeft de brandweer verschillende typen beschermende kleding. Deze kleding heeft als doel brandweerprofessionals te beschermen tegen gevaren. Beschermende kleding kan echter ook zelf een risico opleveren. Denk aan een (te) hoge warmtebelasting, omdat lichaamswarmte niet weg kan door dikke kleding met te veel isolatie voor de taak die wordt uitgevoerd of niet op elkaar afgestemde kledinglagen. Maar denk ook aan gevaarlijke stoffen die in de kleding (gaan) zitten, en die een risico zijn om beroepsgebonden aandoeningen te ontwikkelen. In dit rapport wordt ingegaan op de primaire bescherming tegen hitte en vuur en de mogelijk gevolgen voor de warmtebelasting voor de drager van de beschermende kleding. In de internationale normering (ISO 11999-3) is er sprake van om het beschermingsniveau (lees: de isolatie) van de beschermende kleding nog verder te verhogen (van bescherming tegen 180°C naar bescherming tegen 260°C), waarmee de warmtebelasting voor de drager alleen nog maar groter wordt. Om te voorkomen dat Nederlands brandweerpersoneel tijdens de uitoefening van het vak te zwaar belast wordt, is het belangrijk deze ontwikkelingen kritisch te volgen en daarop te anticiperen met de juiste beschermende kleding voor de taak.

Een andere ontwikkeling die van invloed is op toekomstig beschermende kleding en uitrusting is het feit dat de WHO het brandweervak als kankerverwekkend heeft bestempeld. Binnen de normering zijn naar aanleiding van die classificatie ontwikkelingen gaande om de bescherming tegen kankerverwekkende stoffen te verbeteren. Hiervoor is een speciale werkgroep opgericht, maar ook in de bestaande werkgroepen wordt rekening gehouden met het toevoegen van eisen voor aanvullende bescherming.

Naast bescherming tegen hitte en vuur moet de kleding ook beschermen tegen water en andere (chemische) vloeistoffen. Hiervoor is de meeste brandweerkleding behandeld met PFAS. Daarnaast zit er vaak ook een PFAS-houdend membraan in brandweerkleding. Op dit moment is er volop discussie over blootstelling van brandweerpersoneel aan PFAS. De belangrijkste oorzaak van blootstelling aan deze stoffen komt door de fluorhoudende blusschuimen waarmee is gewerkt, maar ook de kleding is een factor van belang. Op termijn moeten daarom de eisen voor brandweerkleding worden aangepast, zodat er beschermende brandweerkleding zonder PFAS op de markt komt.

Voor de basisbrandweezorg gebruikt de brandweer in Nederland en in vele andere landen één type kleding. Dat is meestal het bluspak. De meeste brandweertaken vereisen echter niet de zwaarst mogelijke bescherming die het bluspak geeft. Om die reden is het operationeel uniform geïntroduceerd, zodat bij laagrisicotaken minder belastende kleding hoeft te worden gedragen. Toch zijn er nog steeds taken waarbij het bluspak wordt gedragen terwijl dat eigenlijk niet nodig of gewenst is. Denk daarbij aan technische hulpverlening of natuurbrandbestrijding. Probleem dat zich dan in sommige gevallen voordoet, is dat men zich niet aan het juiste gebruik van de kleding houdt en bijvoorbeeld de jas weglaat vanwege de te hoge warmtebelasting. Dit zou kunnen worden voorkomen door in die gevallen de juiste kleding voor de taak te dragen.

Aan de andere kant kan niet worden verwacht dat voor elke taak een andere uitrusting beschikbaar is. Dit is dan ook de reden waarom het project modulaire bescherming is opgezet, dat als doel heeft te komen tot optimale bescherming onder alle omstandigheden met een minimum aan kledingitems. Door slim te combineren en in lagen te werken kan zo'n concept worden gecreëerd. Dit betekent ook dat er anders tegen certificering van kleding moet worden aangekeken. De normen zullen anders moeten worden geformuleerd en dat betekent een actieve bijdrage van eindgebruikers van beschermende kleding in de normeringscommissies.

Ontwikkelingen op het gebied van taakdifferentiatie bij de brandweer vragen ook om verschillende beschermingsconcepten. Als de kleding al op de taken kan worden aangepast, is het ook geen probleem meer om iedereen binnen de brandweer ongeacht zijn of haar taak van de juiste beschermende kleding te voorzien. Ook hoeft er geen onderscheid gemaakt te worden tussen draagvoorschriften van professionele of 'vrijwillige' brandweerprofessionals. Iedereen moet dan immers gekleed zijn zoals voorgeschreven voor een specifieke taak.

Uiteraard blijven er altijd weer nieuwe risico's opkomen, zoals risico's die gepaard gaan met de energietransitie of klimaatverandering. Als we daarop snel wil kunnen inspelen, zullen we dergelijke scenario's moeten invoeren in geschikte modellen waarmee we kunnen bepalen welke bescherming nodig is op basis van de omgevingsbelasting en de fysieke inspanning die geleverd moet worden.

Ten slotte worden (technologische) ontwikkelingen die de brandweer kunnen helpen om de fysieke belasting te verminderen zoveel mogelijk meegenomen binnen het project. Hierbij kan worden gedacht aan exoskeletten¹ om de fysiek zware taken te verlichten of koelvesten die de warmtebelasting kunnen verminderen.

¹ Een exoskelet is een externe structuur die het lichaam ondersteunt in zijn bewegingen..

Uitdagingen

Het project staat voor een aantal uitdagingen. Op de eerste plaats is het niet zo dat elke veiligheidsregio in Nederland beschikt over dezelfde uitrukkleding. Verder is er ondanks een landelijk draagvoorschrift brandweerkleding ruimte voor verschil in interpretatie van de manier waarop de kleding gedragen dient te worden. Hierdoor zijn er regionale verschillen in de draagwijzen. Andere uitdagingen zijn gelegen in de toegenomen reinigingsfrequentie vanwege 'schoon werken', waardoor kleding sneller aan vervanging toe is, en in het gebruik van PFAS om de kleding vloeistofafstotend te maken (zie boven).

In de toekomst dienen we ook rekening te houden met 'slimme oplossingen' in kleding. Hiermee wordt bedoeld op nieuwe slimme materialen en systemen, sensoren en actuatoren (Figuur I.1), die het werk kunnen verlichten maar ook het beschermend kledingsysteem complexer maken.



Figuur I.1 Geïntegreerde sensoren in kledingsysteem brandweer (Bron: Ronald Heus)

Werkvisie op integrale modulaire bescherming voor de brandweer

Het toenmalige Kenniscentrum Arbeidsveiligheid (KCAV) van het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV, nu: NIPV) is gevraagd om een landelijke visie op het totale beschermende kledingpakket voor de brandweerorganisatie in Nederland (Brandweer Nederland) te ontwikkelen. De gedachte achter de visie zou moeten zijn dat slim combineren van beschermende kleding kan leiden tot betere bescherming en minimale hinder. Omdat het in veel brandweerscenario's meestal niet mogelijk is om gevaren uit te sluiten, blijft het gebruik van persoonlijke bescherming noodzakelijk en wettelijk verplicht. Het optimaliseren van de persoonlijke beschermingsmiddelen (pbm's) voor verschillende incidentscenario's kan wel de fysieke werkbelasting en stress verminderen en de prestaties verbeteren. Uiteindelijk kan de collectieve (landelijke) aanpak ook leiden tot gezamenlijk inkoop en distributie van de beschermende kleding (en uitrusting) voor de brandweer.

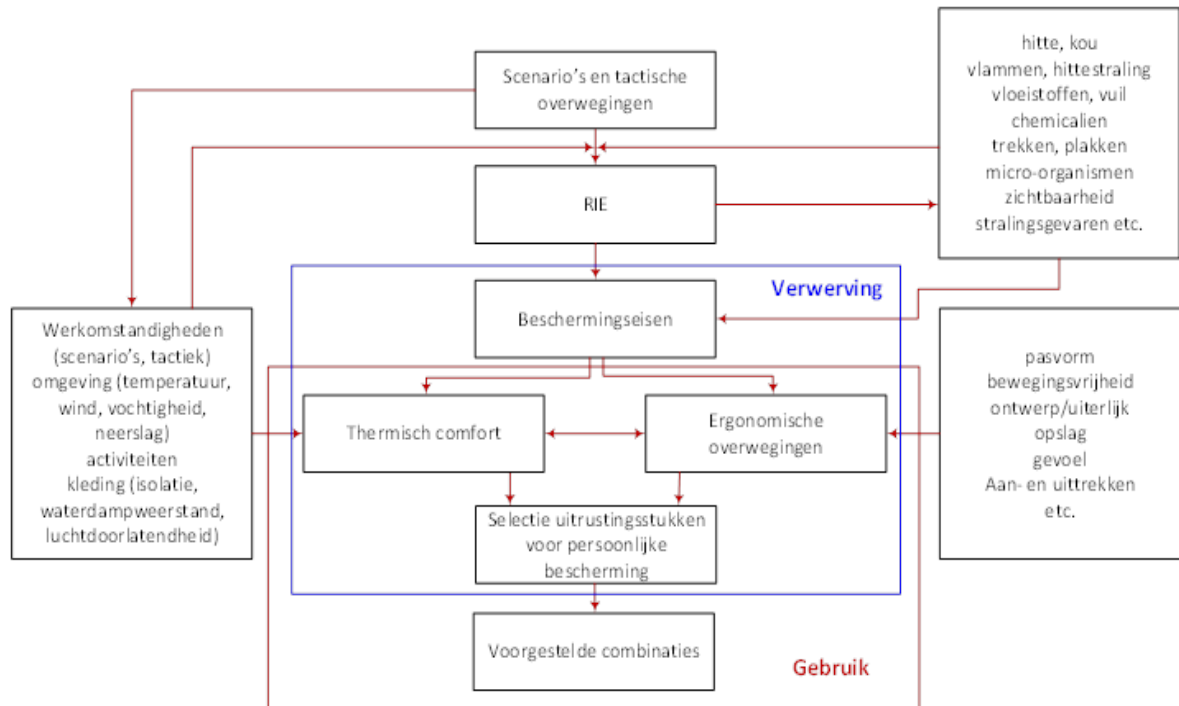
Een integrale visie zou niet alleen moeten gaan over wat de brandweer voor de toekomst wil, maar ook of de visie realiseerbaar is. Daarnaast moet rekening gehouden worden met te voorziene ontwikkelingen op gebied van materialen, kleding en innovaties.

Werkvisie

De werkvisie zoals die hier centraal staat, is de volgende:

In de toekomst beschermen alle brandweerkorpsen in Nederland zich tegen de voorzienbare gevaren met een kledingsysteem dat (bewegings)hinder / discomfort onder alle arbeidsomstandigheden tot een minimum beperkt. Het beschermingsconcept bestaat uit meerdere

lagen die compatibel zijn en een opbouwende bescherming van laag risico naar hoog risico (binnenbrandbestrijding) bieden. De ontwikkeling van een modulaair beschermingsconcept (Figuur I.2), waarbij rekening wordt gehouden met verschillende blootstellingsscenario's, risico's, beschermingsvereisten en ergonomische aspecten. Hiermee kan een optimale selectie worden gemaakt uit verschillende beschermende kledingstukken, afgestemd op het gebruik tijdens de taak



Figuur I.2 Concept modulaire kleding met invoervariabelen

De ontwikkeling van een totaalconcept voor een visie op beschermende kleding omvat naast het in beeld brengen van mogelijke variabelen ook onderwerpen als innovatie, nieuwe materialen en verduurzaming. Een mogelijk beeld van een project dat al deze elementen bevat is in Bijlage 1 weergegeven.

Doelstelling en uitgangspunten

Het doel van de werkvisie is te komen tot een modulaair kleidingsysteem voor de brandweer, waarbij de uitgangspunten zijn dat 1) de huidige uitrusting voor binnenbrandbestrijding het maximale beschermingsniveau is, 2) voor alle andere taken dan binnenbrandbestrijding een lager beschermingsniveau genoeg is en dat 3) een totaal systeem uit meerdere lagen kan bestaan. Of en hoe deze lagen compatibel zijn is nog niet bekend, evenmin als de belemmeringen die het systeem kan opleveren.

Het doel van het onderzoek dat beschreven is in het voorliggende rapport is een eerste stap te zetten in de richting van een integraal modulaair concept voor beschermende kleding voor de brandweer. Deze eerste stap bestaat eruit te bezien in hoeverre de huidige in gebruik zijnde beschermde kleding (het operationeel uniform en de bluskleding) gebruikt kan worden en of beide delen in combinatie kunnen worden gebruikt.

Het operationeel uniform is geïntroduceerd om tijdens taken met een laag risico zo comfortabel mogelijk op te treden en hiermee de brandweer fysiek zo min mogelijk te belasten. De fysiologische impact van het draagvoorschrift (Brandweer Nederland, 2022) om tijdens uitrukken het operationeel uniform onder het uitrukpak te dragen, is (nog) niet onderzocht tijdens (gesimuleerde) brandweertaken. Modelberekeningen naar de belasting van deze combinatie van beschermende kledinglagen hebben onvoldoende duidelijkheid gegeven over de warmtebelasting ten opzichte van uitrukkleding over normale kleding of over het oude kazernetenue. Zonder voldoende informatie over de verschillende kledinglagen is het niet mogelijk om iets te zeggen over de extra belasting als gevolg van kleding die onder de uitrukkleding wordt gedragen.

Hoofd- en deelvragen

De hoofdvraag voor dit onderzoek luidt:

In hoeverre kunnen (combinaties van) het operationeel uniform en de uitrukkleding worden gebruikt voor de verschillende taken die brandweerprofessionals moeten uitvoeren zonder deze te zwaar te belasten?

Deelvragen zijn:

1. Wat zijn de karakteristieken van de huidige beschermende kleding voor de brandweer en aan welke eisen moet die voldoen?
2. Welke ontwikkelingen op het vakgebied en in de beschermende kleding zijn er momenteel die noodzaken tot een mogelijk aanpassing van de toekomstige beschermende kleding?
3. Wat is de mate van comfort van de huidige (combinaties van) beschermende kledingstukken op basis van isolatie en waterdampdoorlatendheid van de kledingmaterialen?

Afbakening

Het ontwikkelen van een visie op integrale modulaire bescherming voor de brandweer is een proces dat in meerdere stappen zal verlopen. Dit rapport behelst fase 1. In deze fase wordt onderzocht wat de materiaaleigenschappen zijn van de huidige beschermende kleding en wat het effect is van het gelijktijdig gebruik van meerdere typen beschermende kleding op de drager en de inzet. Er wordt dus (nog) niet onderzocht of er nog andere oplossingen zijn om brandweerprofessionals te beschermen.

Leeswijzer

In hoofdstuk 1 worden de gebruikte onderzoeksmethoden beschreven, waarna in hoofdstuk 2 de in gebruik zijnde beschermende kleding van de brandweer in Nederland aan bod komt. In hoofdstuk 3 is het theoretisch kader opgenomen. De resultaten van het eerste deel van het onderzoek worden in hoofdstuk 4 beschreven. Ten slotte worden in hoofdstuk 5 worden enkele voorlopige conclusies getrokken.

1 Onderzoeksmethoden

1.1 Inleiding

Dit onderzoek bestaat uit deskresearch en een aantal verschillende methoden voor het meten van relevante parameters aan bestaande kleding.

Om de bescherming en de impact van de beschermende kleding te bepalen, is het belangrijk de materiaaleigenschappen van de gebruikte textiele materialen van de huidige brandweerkleding te meten. Het gaat onder andere om waarden voor de of het:

- > isolerende werking van de kleding als maat voor de bescherming tegen mogelijke verbranding
- > waterdampweerstand die een maat is voor het gemak waarmee transpiratievocht kan worden verdampt door de kleding en een maat voor het comfort
- > stralingsreflectie waarmee aangegeven wordt hoeveel stralingswarmte door de kleding wordt gereflecteerd en dus niet door de kleding gaat
- > bedekte lichaamsoppervlak van de individuele kledingitems, en van de mogelijke kledingsamenstellingen.

Om bovenstaande waarden te bepalen, is meestal speciale meetapparatuur noodzakelijk en moeten de metingen onder reproduceerbare en geconditioneerde omstandigheden worden uitgevoerd. Dit gebeurt vaak bij kleding- en textielinstituten of in gecertificeerde laboratoria² die persoonlijke beschermingsmiddelen mogen certificeren. Voor dit onderzoek zijn de metingen uitgevoerd bij het 'Thermal Environment Laboratory' van de universiteit van Lundin Zweden.

1.2 Desk research

Het deskresearch bestond uit het verzamelen van relevante beleidsstukken van de brandweer over het betreffende onderwerp (hoofdstuk 2) en een inventarisatie van normen die meer duidelijkheid geven over de achtergronden van beschermende kleding voor de brandweer (hoofdstuk 3). Daarbij is gezocht naar normen die van toepassing zijn op de beschermende kleding van de brandweer, onder welke omstandigheden en tijdens welke taken ze gebruikt worden. Daarnaast is gezocht in verslagen van vergaderingen van de brandweer om te komen tot een werkvisie voor het integrale modulaire kledingconcept.

1.3 Manikin- en materiaalmetingen

De metingen aan textiele materialen van het operationeel uniform en het conceptuele model uitrukkleding zijn in 2021 uitgevoerd. Er zijn zowel metingen aan de losse kledingitems gedaan als aan totale beschermende kledingsystemen. De losse kledingitems zijn bemeten

² Een aangemelde (keurings)instantie (AKI) of *notified body* (NB, NoBo) is een door een overheid aangewezen keurings- of testinstituut dat van producten moet testen of zij aan de daarvoor geldende (Europese) richtlijnen voldoen.

met de hot- en cold plate (Figuur 1.2) en de totale kleidingsystemen met een manikin (pop) volgens EN 17528 en ASTM F2370. Bij een aantal kledingmaterialen zijn stralingsmetingen gedaan om te onderzoeken wat het effect van warmtestraling is op doorslag van temperatuur. Later zijn in 2024 aanvullende kledingsysteemmetingen gedaan met de uitrukkleding op de manikin, al dan niet in combinatie met een beschermende 'bolero' voor instructeurs van Veiligheidsregio Kennemerland (VRK) en uitrukbroeken van Veiligheidsregio Utrecht (VRU). Voorafgaand aan de metingen zijn alle kledingitems gewogen; dan kan bij wijzigingen in het kledingpakket beter ingeschat worden wat het effect is op de totale belasting als gevolg van het dragen van beschermende kleding. Daarnaast zijn alle geteste kledingartikelen en kledingcombinaties van voren en van opzij gefotografeerd voor berekeningen van de kledingoppervlaktefactor (f_{cl}), maar ook voor documentatiedoeleinden.

In totaal zijn 37 kledingitems en 25 kledingsamenstellingen gemeten, waarvan hieronder enkele voorbeelden te zien zijn (Figuur 1.1).

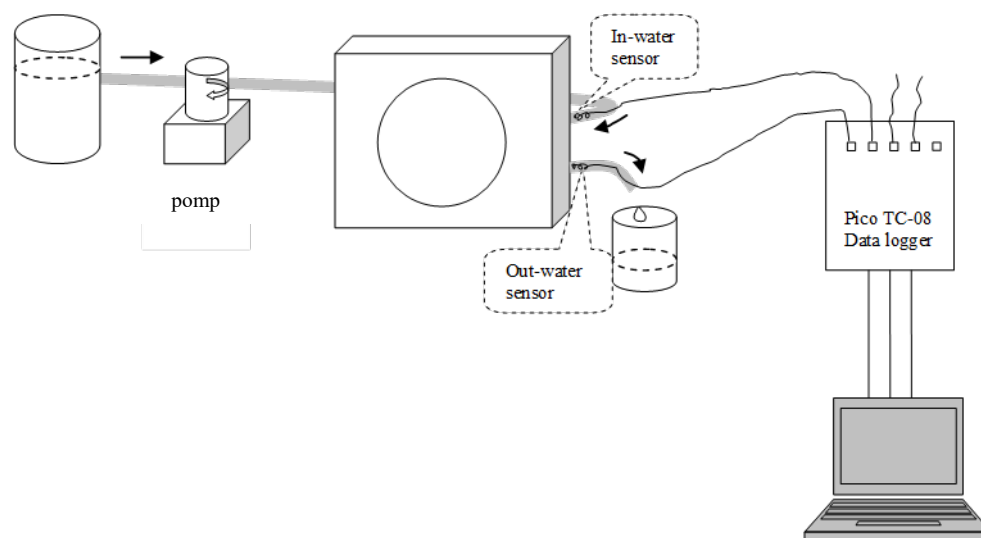


Figuur 1.1 Enkele voorbeelden van kledingitems en kledingsamenstellingen op de thermische manikin (balaclava, operationeel uniform overjas en volledig uitrukkpak) (Bron: Maurice Kemmeren)

Voor de comfortbeleving van beschermende kleding is het belangrijk dat mensen de geproduceerde lichaamswarmte kwijt kunnen. Hiervoor zijn twee kledingparameters van belang, namelijk de isolatiewaarde van de kleding en de mogelijkheid om waterdamp door te laten. Hoe hoger de isolatie van de kleding, hoe lastiger het is om geproduceerde warmte kwijt te raken via droge warmteafgifte aan de omgeving. Hoe hoger de waterdampweerstand, hoe lastiger het is om warmte via verdamping van zweet kwijt te raken. Om die reden is van verschillende kledingcombinaties zowel de isolatiewaarde als waterdampweerstand van de kleding bepaald. Er zijn 150 'droge' metingen voor (thermische) isolatie en 36 'natte' metingen voor waterdampweerstand³ uitgevoerd. Om nauwkeurigheid te garanderen, zijn alle metingen onder geconditioneerde omstandigheden uitgevoerd. De isolatiemetingen zijn uitgevoerd bij maximaal 20 °C en bij een lichtsnelheid < 0,2 m/s met een manikintemperatuur van 34 °C. De waterdampweerstandmetingen zijn echter uitgevoerd bij 34 °C en een lichtsnelheid van 0,4 m/s om warmteafgifte alleen via verdamping van vocht te laten plaatsvinden. Isolatiemetingen en waterdampweerstandsmetingen van deze materialen zijn ook uitgevoerd op een watergekoelde hete en een natte plaat (zie Figuur 1.2).⁴ Tijdens de natte tests waren de textiele 'huid' en een T-shirt verzadigd met leidingwater.

³ Ook wel waterdampdoorlatendheid genoemd (Ret-waarde (total evaporative resistance)). Hoe hoger de Ret-waarde, des te hoger de weerstand om waterdamp door te laten.

⁴ Sweating guarded hot plate: Een genormeerde testmethode die de thermische weerstand en waterdampdoorlaatbaarheid van stoffen bepaalt, die van invloed zijn op het comfort van het kledingstuk (ISO 11092). Zie ook: Kuklane et al. (2022).



Figuur 1.2 Meetopstelling watergekoelde plaat om textiele materialen te bemeten

Verder zijn er ‘droge’ en ‘natte’ warmtestralingsmetingen uitgevoerd om te bepalen wat de invloed van warmtestraling is op de temperatuur van het onderliggend (huid)weefsel (Figuur 1.2 Concept modulaire kleding met invoervariabelenFiguur 1.2) . De warmtestralingsbelasting is gegenereerd met een zonnepaneel die gemiddeld 940 W/m^2 over het testoppervlak genereerde. Met deze methode is de warmtetransmissie door textielmaterialen en de absorptie in de onderliggende materialen (die menselijk weefsel simuleren) berekend. De temperatuur van verschillende kledinglagen en het gesimuleerde ‘huidoppervlak’ is gemeten op het middelpunt van de straling (de warmtebelasting op het middelpunt was 1141 W/m^2) en is daarmee vergelijkbaar met een wolkeloze zomerse dag. Deze warmtestralingsmetingen zijn enkel op doekmonsters van het operationeel uniform of de uitrukkleding uitgevoerd. De doekmonsters waren van poloshirts met gebreid versus gedrukt logo en van uitrukklassen met of zonder reflecterende strepen. De materiaalprestaties onder warmtestralingsbelasting zijn eveneens uitgevoerd op een watergekoelde plaat. (Figuur 1.2).

Geteste kledingitems en kledingcombinaties

In onderstaande tabel staan alle geteste (beschermende) kledingitems (Tabel 1.1).

Tabel 1.1 Geteste kledingitems

Nummer	Beschrijving kledingitem
AL	Ongeklede manikin (luchtlaag isolatie— I_a)
1	Sokken
2	Laag veiligheidsschoeisel
3	Hoog veiligheidsschoeisel
4	Brandweerlaarzen
5	Baseball cap
6	Beanie

Nummer	Beschrijving kledingitem
7	Balaclava
8	Boxershorts (ondergoed)
9	T-shirt (ondergoed)
10	Riem
11	Poloshirt, korte mouw
12	Poloshirt, lange mouw
13	(Polo)sweater (400 gr)
14	Softshell (rits open in de hals)
14A	Softshell (dichtgeritst)
15	Werkbroek
16	THV-handschoen
17	Brandweerhandschoen
18	THV-jas
19	Brandweer buitenlaag (over item 18)
21	Brandweejas (EN 469)
22	Brandweerbroek laag (EN 469)
23	Brandweerbroek hoog (EN 469)
24	Brandweer overall (EN 469)
25	Brandweer helm
26	Nekflap gesloten
26A	Nekflap open
27	THV-helm
28	Ademluchttoestel
29	Veiligheidshesje
30	Doorwerkjas met voering
30A	Doorwerkjas zonder voering
30B	Doorwerkjas zonder voering met capuchon
30C	Voering doorwerkjas
31	Ademluchtsysteem (items 26, 28 en masker Dräger)
31A	Masker
31B	Ademluchtsysteem (items 28 and 31A)

Van bovenstaande kledingitems zijn verschillende kledingconfiguraties samengesteld en getest. Deze zijn in de hierna volgende tabel te vinden (Tabel 1.2).

Tabel 1.2 Geteste kledingcombinaties

Code	Items in de kledingconfiguratie
AL	Ongeklede manikin (luchtlaag isolatie— I_a)
SK	Manikin's textiele huid (katoen)
C1	1, 2, 8, 9, 10, 11, 15
C1A	1, 2, 8, 9, 10, 11, 14, 15
C1B	1, 2, 8, 9, 10, 11, 14, 15 (zie C1A met gesloten rits)
C2	1, 2, 8, 9, 10, 12, 15
C2A	1, 2, 8, 9, 10, 12, 14, 15
C2B	1, 2, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 16
C2C	1, 3, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 29
C2D	1, 3, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 30A
C2E	1, 3, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 30B
C2F	1, 3, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 30
C2G	1, 3, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 16, 30 (zie C2F met THV handschoen 16)
C3	1, 2, 8, 9, 10, 13, 15
C3A	1, 3, 6, 8, 9, 10, 13, 15, 16
C3B	1, 3, 6, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16
C4	1, 4, 8, 9, 10, 12, 15, 17, 18, 19, 22, 31
C5	1, 4, 8, 9, 10, 12, 15, 17, 24, 26
C6	1, 4, 8, 9, 10, 12, 15, 17, 21, 22, 26
C6A	1, 4, 8, 9, 10, 12, 15, 17, 21, 22, 31
C6B	1, 4, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 17, 21, 22, 25, 28, 31A
C6C	1, 4, 8, 9, 10, 12, 15, 17, 21, 23, 31
C7	1, 4, 8, 9, 10, 12, 15, 17, 18, 19, 22, 26
C8	1, 4, 8, 9, 10, 12, 15, 17, 18, 22, 26A
C9	1, 4, 8, 9, 10, 15, 16, 18, 22, 27
C9A	1, 4, 8, 9, 10, 12, 15, 16, 18, 22, 27
C9B	1, 4, 8, 9, 10, 12, 15, 17, 18, 22, 27

Op zowel de kledingitems als de kledingcombinaties zijn metingen uitgevoerd. Reden hiervoor is, dat de totale isolatiewaarde van de kleding berekend kan worden door de isolatiewaarden van de verschillende kledingitems op te tellen, rekening houdend met het lichaamsoppervlak dat bedekt wordt. Ook kan de isolatiewaarde gemeten worden van het totale kledingpakket. Voordeel van de optelmethode is dat bij wijziging van een enkel kledingitem in de kledingsamenstelling gemakkelijk de isolatie van de samenstelling kan worden herberekend. In de volgende paragrafen volgen de belangrijkste resultaten van de materiaalmetingen. Voor een vollediger overzicht van de metingen en berekeningen wordt verwezen naar een publicatie van Kuklane et al. (2022).

1.4 Modelberekeningen

Brandweeractiviteiten zijn vaak zware activiteiten van wisselende intensiteit, afgewisseld met relatief rustige taken vaak uitgevoerd onder extreme omstandigheden (hitte, kou, vervuilde omgeving et cetera). Hierbij is gebruik van persoonlijke beschermende kleding en uitrusting noodzakelijk. Maar gebruik van persoonlijke bescherming geeft ook hinder tijdens het optreden. Behalve dat hinder als gevolg van het dragen van beschermende kleding kan worden gemeten met behulp van gestandaardiseerde testprotocollen zoals vermeld in EN17558 en ISO/TS20141, kan de hinder ook worden voorspeld met behulp van belastingsmodellen.

De momenteel beschikbare normen en (fysiologische) belastingsmodellen op het gebied van gezondheid en veiligheid voor arbeidsomstandigheden (ISO 11079; IREQ en ISO 7933; PHS) zijn echter niet goed toepasbaar op het brandweervak, omdat ze niet zijn ontwikkeld voor werken onder zware omstandigheden in beschermende kleding. Het is ook niet bekend of andere, meer geavanceerde fysiologische modellen voor arbeidsomstandigheden bij de brandweer wel zijn gevalideerd.

Om de mogelijkheden van de fysiologische modellering te kunnen beoordelen, is voor geselecteerde kledingsembles van de brandweer een eerste modevaluatie van de blootstelling aan koude en warme omstandigheden uitgevoerd. Er is gebruikgemaakt van de algoritmen van de beschikbare normen voor kou (ISO 11079, Insulation REQuired, IREQ) en warmte (ISO 7933, Predicted Heat Strain, PHS). Er zijn zeven geteste kledingsystemen beoordeeld die het isolatiebereik van 0,67 tot 2,69 clo bestrijken (

Tabel 1.3).

Tabel 1.3 Vochtdoorlatendheid (I_m), kledingbasisisolatie (I_{cl}) en geschatte luchtdoorlatendheid van de buitenlaag (AP) van de geteste kledingsystemen (voor codes zie Tabel 1.2)

Code kledingcombinaties	I_m	I_{cl}	AP
		clo	m^3/m^2s
C1	0,61	0,67	50
C2A	0,49	1,03	20
C3B	0,43	1,25	20
C2G	0,42	1,51	20
C9A	0,40	2,09	5
C8	0,36	2,33	5
C4	0,35	2,69	5

Als input voor de modellen zijn verschillende arbeidsbelastingsniveaus gebruikt, namelijk 110, 165, 230, 290 en 400 W/m². Deze komen overeen met respectievelijk: zeer lichte arbeid, lichte tot matige arbeid, matige tot zware arbeid, zware arbeid en zeer zware arbeid. De in het model gesimuleerde arbeid bestond uit lopen met verschillende opgelegde snelheden⁵ op een loopband.

1.5 Onderzoek met testpersonen

In december 2023 en januari 2024 zijn metingen met testpersonen uitgevoerd in drie relevante brandweerscenario's, namelijk:

- > gebouwbrandbestrijding (SIF; omgevingstemperatuur 45 °C en luchtvochtigheid 40 %),
- > natuurbrandbestrijding (WLF; omgevingstemperatuur 30 °C en luchtvochtigheid 50 %),
- > technische hulpverlening (TRW; omgevingstemperatuur 25 °C en luchtvochtigheid 60 %).

Tijdens deze scenario's werd ook warmtestraling gesimuleerd, zodat de omgevingscondities realistischer zouden zijn.

Naast belangrijke informatie over de warmte- en arbeidsbelasting van brandweerpersoneel in specifieke brandweerscenario's zijn de data uit deze experimenten ook gebruikt om de hierboven beschreven modelsimulaties te valideren en daarmee de bescherming te optimaliseren. Over deze metingen wordt separaat gerapporteerd en maakt geen onderdeel uit van deze rapportage.

⁵ Respectievelijk 0.2, 0.6, 0.9, 1.2 en 1.2 m/s.

2 De huidige beschermende kleding

2.1 Inleiding

Repressief brandweerpersoneel gebruikt sinds jaar en dag gecertificeerde beschermende kleding. Deze uitrukkleding is eigenlijk alleen bedoeld voor binnenbrandbestrijding. Het dragen van uitrukkleding levert een fysieke belasting op, zowel qua verhoging van de warmtebelasting als hinder bij het vrijelijk kunnen bewegen. De uitrukkleding wordt traditioneel gedragen over het kazerne-uniform of (door vrijwilligers) over de kleding die men draagt op het moment dat men opgeroepen wordt.

2.2 (Beschermende) kleding voor de brandweer

De brandweer beschikt over de volgende soorten beschermende kleding met tussen haakjes de betreffende norm waaraan het product moet voldoen:

- > uitrukkleding (NEN-EN469)
- > operationeel uniform (NEN-ISO21942)
- > afwijkende kleding
- > specialistische kleding
- > *kazernetenue (wordt nog of is reeds vervangen door het operationeel uniform)*
- > *sportkleding*
- > *brandweeruniform*

Alleen de uitrukkleding, het operationeel uniform, de afwijkende kleding en de specialistische kleding vallen onder de noemer beschermende kleding. Dergelijke kleding dient te voldoen aan de Europese verordening persoonlijke bescherming (2016/425) met de daaronder vallende Europese productnormen. De afwijkende kleding is bedoeld voor de leden van de droneteams en van de teams brandonderzoek en de bestuurder van de brandweermotor. Daarnaast is er ook nog beschermende zaagkleding (NEN-EN-ISO 11393) beschikbaar voor optreden met een motorkettingzaag.

Voor specialistische teams zoals handcrews (NEN-EN-ISO 15384), waterongevallen en duiken, specialisme THV (NEN-EN 16689) en USAR is er ook beschermende kleding die afwijkt. Alle afwijkende kleding wordt niet dagelijks gedragen en is geen onderdeel van dit rapport. In dit rapport wordt wat betreft beschermende kleding daarom alleen ingegaan op het operationeel uniform en de uitrukkleding voor brandbestrijding.

Naast beschermende kleding beschikt de brandweer over overige persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM's) om zich te beschermen tegen de gevaren die niet door beschermende kleding worden afgedekt (Figuur 2.1). Deze PBM's moeten net als de kleding aan Europese productnormen voldoen. Voorbeelden van dergelijke PBM's zijn:

- > veiligheidsschoeisel / brandweerlaarzen (NEN-EN 15090)
- > handschoenen (NEN-EN 659)
- > adembeschermingsmiddelen (NEN-EN 137)
- > helmen (NEN-EN 443)
- > balaclava (NEN-EN 13911)
- > gezichtsbescherming (NEN-EN 136)
- > valbescherming (NEN-EN 361).

Hoewel dit rapport niet gaat over dergelijke beschermingsmiddelen is het van groot belang dat ze goed aansluiten op de kleding (= compatibiliteit⁶). Verder zijn twee belangrijke aspecten van beschermende kleding dat de brandweerprofessionals goed **zichtbaar** zijn en dat ze als brandweerpersoneel **herkenbaar** zijn. Op deze aspecten wordt in de volgende paragraaf dieper ingegaan.



Figuur 2.1 Brandweerprofessional met meerdere persoonlijke beschermingsmiddelen (Bron: Veiligheidsregio Haaglanden⁷)

2.3 Uniformiteit beschermende kleding brandweer

De kleur en vorm van de operationele uitrukkleding waarin brandweerprofessionals dagelijks hun taken uitvoeren, zijn sinds 2019 vastgelegd. Hiermee is voldaan aan het doel van de Raad van Brandweercommandanten (RBC; nu Raad Commandanten en Directeuren Veiligheidsregio's (RCDV)), namelijk één gezamenlijke uitstraling voor brandweer Nederland. Het doel 'Eén beeld, één brandweer' geldt voor en binnen alle kledinglijnen van de brandweer; de uitrukkleding is hierop geen uitzondering.⁸ De kledinglijn voor uitrukkleding is vastgelegd en beschermd op het gebied van intellectueel eigendomsrecht. Vastgelegd met betrekking tot de kledinghuisstijl zijn de vorm en de kleur. Verder dient de uitrukkleding te voldoen aan de wettelijke eisen, ook op het gebied van arbeidsveiligheid, maar is de keuze voor leverancier en gebruikte materialen vrij. Alle items van de uitrukkleding behalve de broek zijn ook voorzien van het beschermde brandweerlogo.

⁶ De mate waarin middelen of systemen samen te gebruiken zijn.

⁷ <https://www.vrh.nl/even-voorstellen-onze-vrijwilligers-marije-en-gideon>

⁸ Veiligheidsregio's (o.a. Kennemerland, Groningen, Rotterdam-Rijnmond) mogen als onafhankelijke entiteiten eigen keuzes maken en afwijken van het landelijk voorgeschreven beeld van Brandweer Nederland voor de uitrukkleding.

Het operationeel uniform is ontwikkeld als vervanging van het kazernetenue en biedt de mogelijkheid om gedragen te worden als PBM bij laagrisicotaken. Afhankelijk van de weersomstandigheden kan door de drager gekozen worden voor verschillende kledinglagen. Wanneer het operationeel uniform ingezet wordt bij laagrisicotaken waarbij handgereedschappen worden gebruikt, dan wordt het uniform compleet gedragen, dus inclusief een softshell.

Zoals gezegd, is deze kledinglijn ook beschermd op het gebied van intellectueel eigendomsrecht. Het gaat daarbij om de vorm en de kleur, en er kan opgetreden worden tegen inbreuk door derden. Ook hierbij wordt het doel dat de RBC voor ogen had bereikt: namelijk één gezamenlijke uitstraling.

2.4 Ergonomie en compatibiliteit

Om te testen of alle vormen van persoonlijk bescherming goed op elkaar aansluiten en vast te stellen wat de hinder van de (combinatie van) ervan is, is er een *Handreiking ergonomische beoordeling brandweerkleding* (Heus et al. 2023). Deze handreiking is gebaseerd op de internationale normen voor ergonomie en compatibiliteit.⁹ Brandweerkorpsen kunnen hiermee objectief en betrouwbaar meten hoe goed persoonlijke beschermingsmiddelen op elkaar aansluiten en welke hinder brandweerprofessionals ondervinden als gevolg van het dragen van beschermende brandweerkleding en overige beschermende uitrusting.

2.5 Historisch perspectief

Traditionele beschermingsmethoden bij de brandweer omvatten het dragen van brandwerende kleding, ademhalingsapparatuur en overige persoonlijke beschermingsmiddelen (helm, gelaatsmasker, handschoenen, laarzen et cetera). Dit is in de meeste situaties effectief, maar kan tekortschieten in sommige scenario's. Meestal wordt voor alle taken bij de brandweer uitgerukt in de 'bluskleiding' (= uitrukkleding). Deze kleding, die voldoet aan de Europese norm EN469, is echter niet bedoeld voor alle taken die de brandweer uitoefent, maar slechts voor het bestrijden van binnenbrand. In de norm wordt dan ook duidelijk gesteld dat deze niet gaat over bescherming van het hoofd, handen en voeten en ook niet bedoeld is voor andere gevaren dan die van binnenbrandbestrijding (zie het onderstaande kader).

This document **does not cover** protection for the head, hands and feet or specific protection against other hazards e.g. chemical, biological, radiological and electrical hazards. These aspects may be covered in other European Standards (uit: de Scope van NEN-EN469; 2020).

Vanwege groeiende aandacht voor gezondheid van brandweerpersoneel op korte en lange termijn wordt er ook over nagedacht welke rol persoonlijke bescherming daarbij speelt. Denk daarbij onder andere aan bescherming tegen schadelijke stoffen in rook, (herhaalde) hitte- en stralingsbelasting, zichtbaarheid en herkenbaarheid in de openbare ruimte.

⁹ NEN-EN17558 en NEN-ISO20141.

Daarom ontstond er behoefte aan een eenduidige en beter aanpasbare benadering van bescherming. De eerste stappen die hierin gezet werden, waren het ontwerp voor zichtbare en herkenbare uitrakkleding en de ontwikkeling van een operationeel uniform dat dagelijks gedragen kan worden, maar wel bescherming¹⁰ biedt tijdens de uitvoering van laagrisico-taken. Een en ander heeft geleid tot de vraag naar de mogelijkheid om modulaire beschermingssystemen te ontwikkelen, waarin compatibiliteitissues, optimalisering van beschermende kledingitems, vermindering van fysieke belasting en kostenreductie een rol spelen.

Tijdens een eerste virtuele gebruikersbijeenkomst (mei 2021) met vertegenwoordigers uit het brandweerveld is de basis van het project gepresenteerd en zijn toekomstige stappen besproken. Dit is vastgelegd in een eerste concept van een visie op beschermende kleding van de brandweer (Figuur 2.2).



Figuur 2.2 Landelijk model uitrakkleding, THV¹¹ variant (Bron: NIPV¹²)

Besproken is eerst in kaart te brengen wat de (warmte)belasting van het huidige beschermend kledingsysteem is door materiaalparameters te bepalen en manikinmetingen uit te voeren, een selectie te maken van geschikte modellen om de fysieke belasting te bepalen en validatieonderzoek uit te voeren met testpersonen tijdens een aantal gesimuleerde brandweerscenario's. Hierna zal de huidige situatie worden geschetst en in overleg met het brandweerveld aangegeven worden waar optimalisering mogelijk is.

¹⁰ Deze beschermende kleding voldoet aan de internationale norm voor kazernekleding (ISO21942 Station uniform for firefighters).

¹¹ THV = technische hulpverlening.

¹² <https://archieef.nipv.nl/wp-content/uploads/sites/2/2022/03/20200330-Folder-Uitrakkleding-klein.pdf>

2.6 Draagwijze beschermende kleding

Tegenwoordig is men zich meer bewust van het belang van goede beschermende kleding bij de brandweer. Goede bescherming is een vereiste bij alle taken van de brandweer, waarbij niet alleen bescherming tegen hitte en vlammen van belang is, maar ook de bescherming tegen gevaarlijke stoffen die bij brand of andere incidenten vrijkomen en de gezondheid van het brandweerpersoneel kunnen bedreigen. In de meeste gevallen draagt men daarvoor uitrukkleding. Omdat uitrukkleding voor veel taken overbescherming biedt, is men gaan nadenken of er geen andere oplossing is om taken met een laag risico met minder belastende kleding uit te voeren. Zo is Veiligheidsregio Haaglanden in 2019 gestart met de invoering van interventiekleding¹³ om dergelijke laagrisicotaken zonder overgedimensioneerde uitrukkleding te hoeven uitvoeren. Dit Haagse initiatief is daarna landelijk opgepakt en doorontwikkeld tot een gecertificeerd operationeel uniform voor de brandweer in Nederland.

Operationeel uniform

Zoals boven vermeld, is het operationeel uniform ontwikkeld als vervanging van het kazernetenue met kan gedragen worden als PBM bij laagrisicotaken. Afhankelijk van de weersomstandigheden kan door de drager gekozen worden voor verschillende kledinglagen.¹⁴ Wanneer het operationeel uniform ingezet wordt bij laagrisicotaken waarbij handgereedschappen worden gebruikt, wordt het uniform compleet gedragen met de softshell. Het basispakket is ontwikkeld om gedragen te kunnen worden bij inzetten met laagrisicotaken bij temperaturen boven de 10 graden Celsius. Bij een inzet met een verhoogd risico zal het uitrukpak de primaire bescherming moeten bieden. Het ontwerp van de kleding is erop gericht dat de brandweermedewerker het werk op een veilige en comfortabele manier kan uitvoeren. Voor het toepassen van de kleding als PBM kunnen geen rechten ontleend worden aan het draagvoorschrift, maar ligt de verantwoordelijkheid hiervoor bij de werkgever (aanwijzing) en gebruiker (juiste toepassing).

Alle medewerkers van de brandweer zijn verplicht tijdens het uitvoeren van hun werkzaamheden de voor deze dienst geldende kleding en rangonderscheidingstekens te dragen. De commandant of werkgever bepaalt wie wanneer welk tenue draagt. Eenheid van tenue is het uitgangspunt. Alle onderdelen van het operationeel uniform, behalve riem en ondershirt, zijn voorzien van het beschermde brandweerbeeldmerk. Zoals vermeld, is deze kledinglijn vastgelegd en beschermd op het gebied van intellectueel eigendomsrecht.

Uitrukkleding

De uitrukkleding is ontwikkeld en bedoeld om gedragen te worden tijdens de uitruk naar incidenten met (binnen)brand, dus voor de repressieve, operationele taken met vuur. De brandweer gebruikt in Nederland de uitrukkleding gewoonlijk voor alle repressieve brandweertaken. In 2016 heeft de RBC verzocht aan het NIPV om een huisstijl te ontwikkelen, zodat de brandweer herkenbaarder wordt. Dit streven naar herkenbaarheid geldt voor en binnen alle kledinglijnen van de brandweer; de uitrukkleding is hierop dus geen uitzondering.¹⁵ De keuze qua materiaal is aan de afzonderlijke veiligheidsregio's, maar deze moet uiteraard altijd aan de wettelijke eisen voor persoonlijke beschermingsmiddelen

¹³ <https://www.vrh.nl/nieuws/primeur-nieuwe-interventiekleding-voor-brandweer-haaglanden>.

¹⁴ Zie: DRAAGVOORSCHRIFT BRANDWEERKLEDING 2022.

¹⁵ Tot dan had elke veiligheidsregio haar eigen eisen en wensen en daarmee eigen unieke uitrukkleding.

voldoen. Niet alle regio's maken gebruik van het nieuwe model uitrukkleding; sommige hebben gekozen voor een andere stijl uitrukkleding.

2.7 Combinaties

Omdat het operationeel uniform meerdere kledingitems heeft, kunnen combinaties (modules) gemaakt worden, waarmee men onder alle (weers)omstandigheden comfortabel de werkzaamheden kan uitvoeren. Het operationeel uniform mag echter nooit gecombineerd worden met kledingstukken uit de lijn van het brandweeruniform en/of de 'oude' kazernekleding. Ook de combinatie met privékleiding is niet toegestaan. Voor repressieve operationele taken mag het operationeel uniform wel gedragen worden in combinatie met uitrukkleding. De uitrukkleding is in de meeste gevallen echter nog niet gemaakt om te variëren met verschillende kledingitems. Het is ook nog niet duidelijk hoe belastend de combinatie van operationeel uniform met uitrukkleding is voor de drager. Daarnaast geldt deze combinatie alleen voor beroepsbrandweerprofessionals en (nog) niet voor de 'vrijwillige' brandweer, die nog altijd gewone dagelijkse kleding draagt onder het uitrukpak.

3 Theoretisch kader

3.1 Inleiding

Brandweerpersoneel verleent hulp onder potentieel risicovolle omstandigheden. Wanneer het wegnemen van het risico of het afschermen van de gevarenbron niet mogelijk is, zijn volgens de arbeidshygiënische principes PBM de laatste mogelijkheid voor het elimineren van die risico's in de bestrijding van het gevaar. Gevaren die in verschillende brandweer-scenario's moeten worden getrotseerd zijn onder andere hitte, vuur, straling, rook, gevaarlijke stoffen, snijden, prikken, instorting, struikelen en vallen.

Het is wel zo dat eventuele beschermende (kleding)lagen als barrière tussen de gevaren en het menselijk lichaam (Figuur 3.1) van invloed zijn op het menselijk presteren, en mogelijk nieuwe risico's als bijvoorbeeld een hoge warmtebelasting of bewegingshinder creëren. Het is daarom van belang dat er een optimale balans is tussen bescherming en prestatie. Naast beïnvloeding van fysieke en mentale prestaties kunnen beschermingsmiddelen ook van invloed zijn op de menselijke zintuigen, zoals bijvoorbeeld gehoor, zicht, reuk- en tastzin.



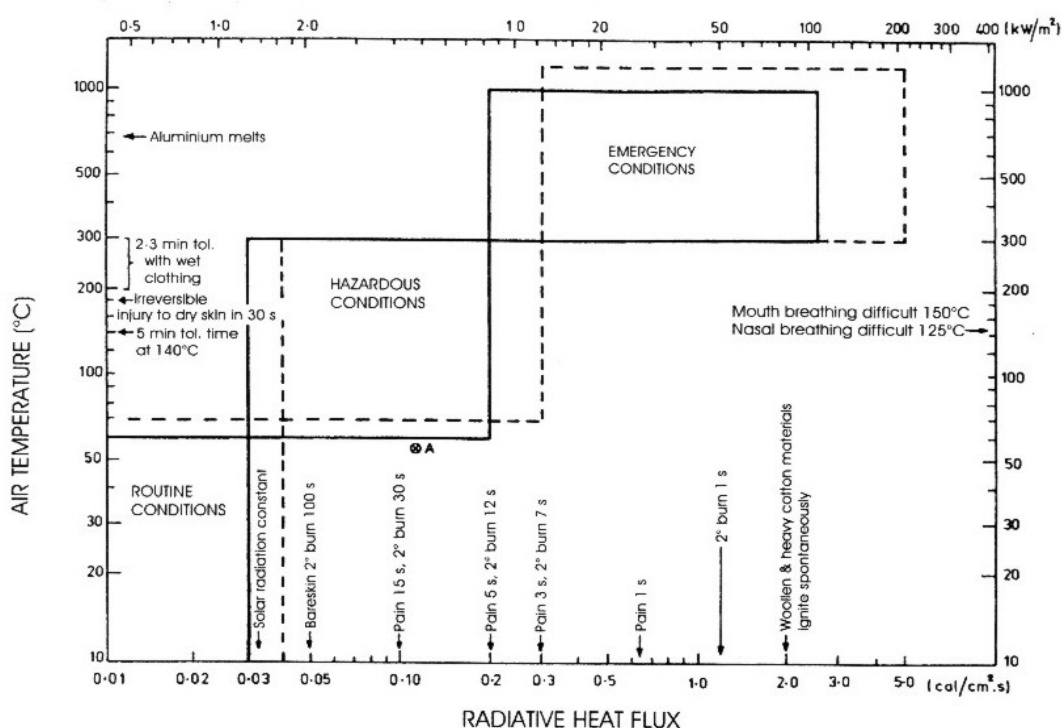
Figuur 3.1 Bescherming tegen gevaren beïnvloedt de prestatie en de afgifte van lichaamswarmte (Bron: K. Kuklane)

Beschermende kleding voor brandbestrijding heeft een impact op de warmtebelasting van brandweerpersoneel, omdat de kleding de warmteafgifte ernstig belemmert. Hierdoor is het ook niet mogelijk om gedurende langere tijd in deze kleding fysiek zware arbeid te leveren zonder regelmatig te herstellen. Er zijn internationale normen om de (thermo)fysiologische impact van de brandweerkleding te bepalen met een 'sweating torso' en bijbehorend fysiologisch computermodel (ISO18640-1&2, 2018). Daarnaast levert de beschermende

kleding voor brandbestrijding ook hinder bij de taakuitvoering op. Om deze hinder objectief vast te stellen is, zoals in de inleiding vermeld, de *Handreiking ergonomische beoordeling brandweerkleding* (Heus et.al., 2023) ontwikkeld. Deze handreiking is gebaseerd op internationale normen om ergonomie en compatibiliteit van PBM vast te stellen (EN17558, 2023; ISO20141, 2022). Vanwege de complexiteit van het tegelijkertijd dragen van meerdere PBM's is binnen CEN een nieuwe Technische Commissie¹⁶ opgericht, waaraan het NIPV actief deelneemt.

3.2 Bescherming door kleding

Uitrukkleding van de brandweer moet tijdens een brandbestrijdingsinzet voldoende beschermen om bijvoorbeeld brandwonden te voorkomen. De uitrukkleding inclusief de onderkleding heeft daarom een hoge isolatiewaarde van ongeveer 2,6 clo^{17,18} (Kuklane et al., 2022). Deze bescherming is gebaseerd op de door Hoschke beschreven condities waarin brandweerpersoneel wordt blootgesteld aan temperatuur en hittestraling (Figuur 3.2)



Firefighter's exposure conditions (N. Hoschke, Fire Safety Journal 4(1981)125-137.)

Figuur 3.2 Blootstellingscondities brandweermensen

Deze hoge kledingisolatiewaarde zorgt ervoor dat de brandweerprofessionals dus goed beschermd zijn tegen hitte van buiten, maar heeft als neveneffect dat zij de geproduceerde lichaamswarmte moeilijk kwijt kunnen raken. Verder is uitrukkleding van de brandweer ook

¹⁶ CEN-CLC/JTC 23 - Horizontal Topics for PPE.

¹⁷ 1 clo = 0,155 K·m²·W⁻¹. Eén clo is de hoeveelheid isolatie die een persoon in rust in staat stelt om thermisch evenwicht te behouden in een omgeving van 21°C (70°F) in een normaal geventileerde ruimte (0,1 m/s luchtverplaatsing). Ter vergelijking: zomerkleding is ongeveer 0,6 clo en dikke winterkleding kan wel oplopen tot 3 a 4 clo (Wikipedia).

¹⁸ De isolatie van alleen het uitrupak is ca. 1,5clo = 0.233 m²·K·W⁻¹) (den Hartog & Heus, 2006).

gemaakt om te beschermen tegen mechanische impact en tegen doordringen van chemische vloeistoffen (EN469, 2020).

De brandweer heeft ook taken waarbij het beschermingsniveau lager mag zijn. Bijvoorbeeld bij een reanimatie of een technische hulpverlening zonder gevaar op brand. Hiervoor is in principe niet de hoge beschermingsgraad nodig die EN469-kleding wel heeft. Sterker nog, zoals aangegeven in de Inleiding is EN469-kleding niet geschikt voor andere taken dan (binnen)brandbestrijding. Ook bij natuurbranden is beschermende kleding met zo'n hoge beschermingsgraad niet persé noodzakelijk en eigenlijk niet toegestaan. Om bovengenoemde redenen zijn de handcrews van de brandweer tegenwoordig uitgerust met speciale natuurbrandbestrijdingskleding en is voor overige laagrisicotaken het operationeel uniform toegevoegd aan het arsenaal beschermende kleding van de brandweer.

3.3 Belasting van beschermende kleding

De hoge kledingisolatiewaarde van uitrukkleding zorgt ervoor dat de brandweerprofessionals goed beschermd zijn tegen hitte van buiten, maar ook dat ze de geproduceerde lichaamswarmte moeilijk kwijt kunnen raken. Brandweerprofessionals kunnen in beschermende kleding maximaal 20 – 30 minuten zware inspanning leveren, totdat hun kerntemperatuur te hoog ($>38,5^{\circ}\text{C}$) is om verantwoord verder te werken (den Hartog & Heus, 2006). Dat is ook een van de redenen dat deze kleding niet geschikt is voor natuurbrandbestrijding, omdat het daar vaak om langdurige inzetten gaat van enkele uren. In dat geval is EN469-kleding te belastend en lopen brandweerprofessionals kans op hittegerelateerde aandoeningen, ook als het niet extreem warm is. Gevolg is vaak dat zij kledingstukken uittrekken, zoals de uitrukjas (Figuur 3.23.2) en niet voldoende beschermd zijn tegen bijvoorbeeld blootstelling aan rook.



Figuur 3.2 Persoonlijke 'bescherming' tijdens natuurbrandbestrijding (Bron: L1¹⁹)

Speciale natuurbrandbestrijdingskleding (EN ISO15384:2020) heeft minder beschermende lagen (lagere isolatiewaarde), zodat warmte beter kan worden afgevoerd en de kleding minder belastend is. Hierdoor is men langer in staat werkzaamheden uit te voeren.

De mechanische en chemische bescherming maakt beschermende kleding stugger dan standaard kleding, waardoor beschermende kleding in het functioneren kan hinderen en leidt tot een hogere werkbelasting die nodig is om de weerstand van de kleding te overwinnen (Dorman & Havenith, 2009). Beschermende brandweerkleding mag leiden tot maximaal een vooraf bepaald percentage prestatieverlies (bijvoorbeeld 10 %) ten opzichte van referentiekleding (Heus et al. 2023). Indien dat prestatieverlies hoger ligt, is het de vraag of de kleding nog wel geschikt is om de taken uit te voeren.

3.4 Scenario's en tactische overwegingen

Tactische overwegingen zijn belangrijk om de te verwachten blootstelling, de overige risico's en de daarvoor benodigde beschermende kleding en uitrusting voor brandweerpersoneel te kunnen bepalen. Om optimale arbeidsomstandigheden te garanderen, moet alle beschikbare incidentinformatie bekend worden gesteld om de beste bescherming te kunnen selecteren. Op die manier kan aan elk scenario een beschermende kledingconfiguratie worden gekoppeld, waarbij enige flexibiliteit (bijvoorbeeld in de vorm van een extra kledinglaag of een koelsysteem) indien nodig gewenst is. De incidentscenario's kunnen verschillen qua

¹⁹ Van: <https://www.l1nieuws.nl/nieuws/1831803/aanhoudende-natuurbrand-legt-al-meer-dan-20-hectare-in-de-as>

arbeidsduur, arbeidsintensiteit, klimatologische omstandigheden en verwachte omgevingscondities. Ze worden weergegeven in Tabel 3.1 op de volgende pagina.

Tabel 3.1 Vergelijking van de omstandigheden van verschillende brandweerscenario's

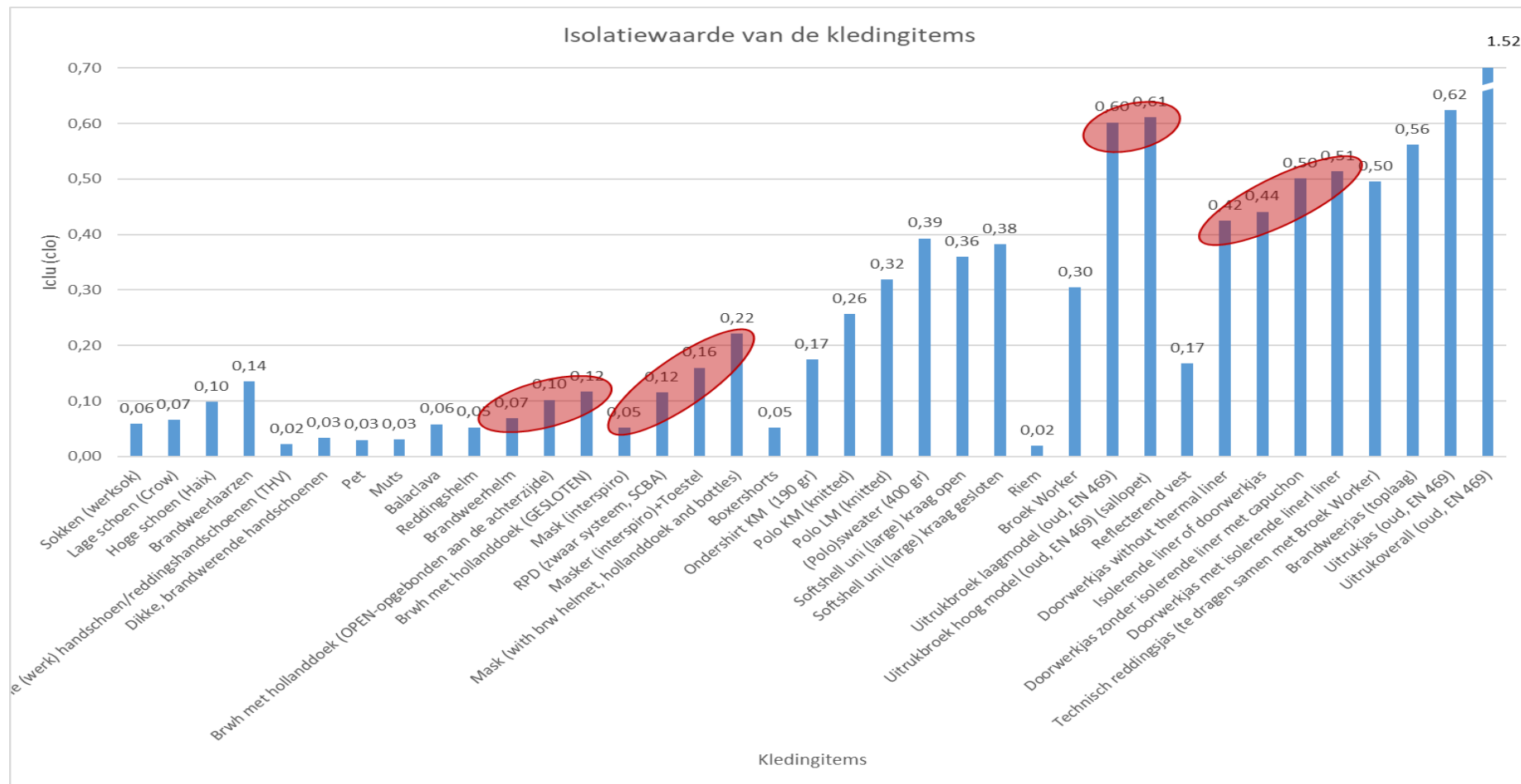
Scenario's	Binnenbrandbestrijding binneninzet		Binnenbrandbestrijding buiteninzet		Buitenbrandbestrijding	Natuurbrandbestrijding	Technische hulpverlening	Overige taken
Parameters	Offensief	Defensief	Offensief	Defensief				
Arbeidsduur	Kort, gewoonlijk <30 min	Kort, gewoonlijk <45 min	Gemiddeld, gewoonlijk <90 min	Gemiddeld, gewoonlijk <90 min	Kort, <30 min	Lang, 8u	Gemiddeld, tot lang, 1-3u	Lang, tot 8u
Werk-intensiteit	Hoog, >500 W	Matig tot hoog, ≈400 W	Matig tot hoog, ≈400 W	Matig, ≈300 W	Matig, ≈300 W	Matig, ≈300 W	Matig, ≈300 W	Licht tot matig ≈200 W
Lucht-temperatuur	Tot 100 °C met korte pieken tot 200 °C	Tot 50 °C	Boven de 30 °C	Boven de 30 °C	Boven de 30 °C	Tot 40 °C	Van -10 tot 35 °C	Van -10 tot 35 °C
Relatieve vochtigheid	Ca. 50 %	Ca. 50 %	Ca. 70 %	Ca. 70 %	Ca. 70 %	Ca. 60 %	10-90 %	10-90 %
Warmte-straling	Tot 10 kW/m ²	Tot 3 W/m ²	Tot 10 kW/m ²	Tot 1 kW/m ²	Tot 1-2 kW/m ²	Tot 4 kW/m ²	Tot 1 kW/m ²	Tot 1 kW/m ²

4 Resultaten en discussie

4.1 Resultaten thermische isolatie

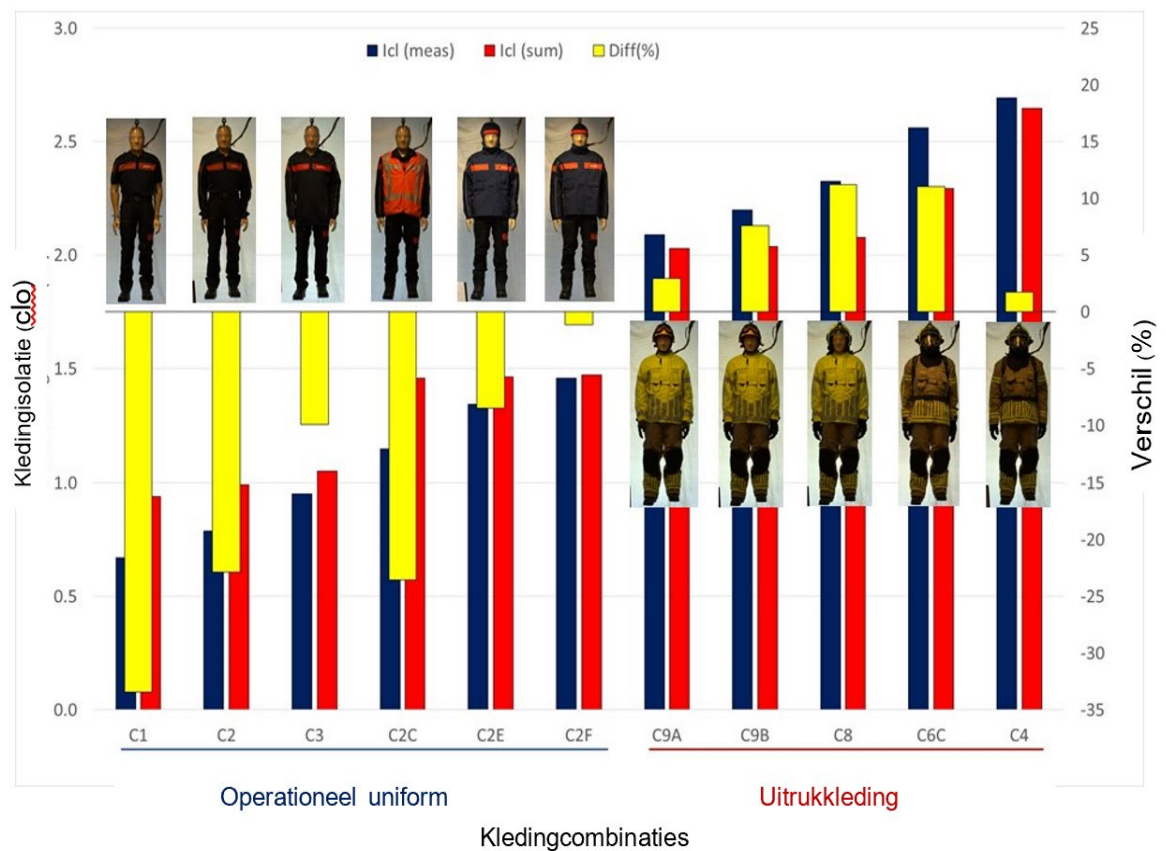
De thermische isolatiewaarden (clo) van de verschillende kledingitems in relatie tot het totale lichaam staan in onderstaande figuur (Figuur). De gemeten waarden zijn gecorrigeerd, voor het door kleding bedekte lichaamsoppervlak ($I_{clu} = I_{tot} - I_a/f_{cl}$, waarbij I_{clu} = gecorrigeerde kledingisolatie, I_{tot} = gemeten kledingisolatie, I_a = isolatie aanhangende luchtlaag en f_{cl} = de toename van het naakte lichaamsoppervlak wanneer het bedekt is met kleding).

I_{clu} is de (basis)isolatiewaarde die een individueel kledingitem geeft in verhouding tot het gehele lichaam, gemeten onder statische omstandigheden met weinig wind; I_{cl} is hetzelfde, maar dan voor een kledingcombinatie.



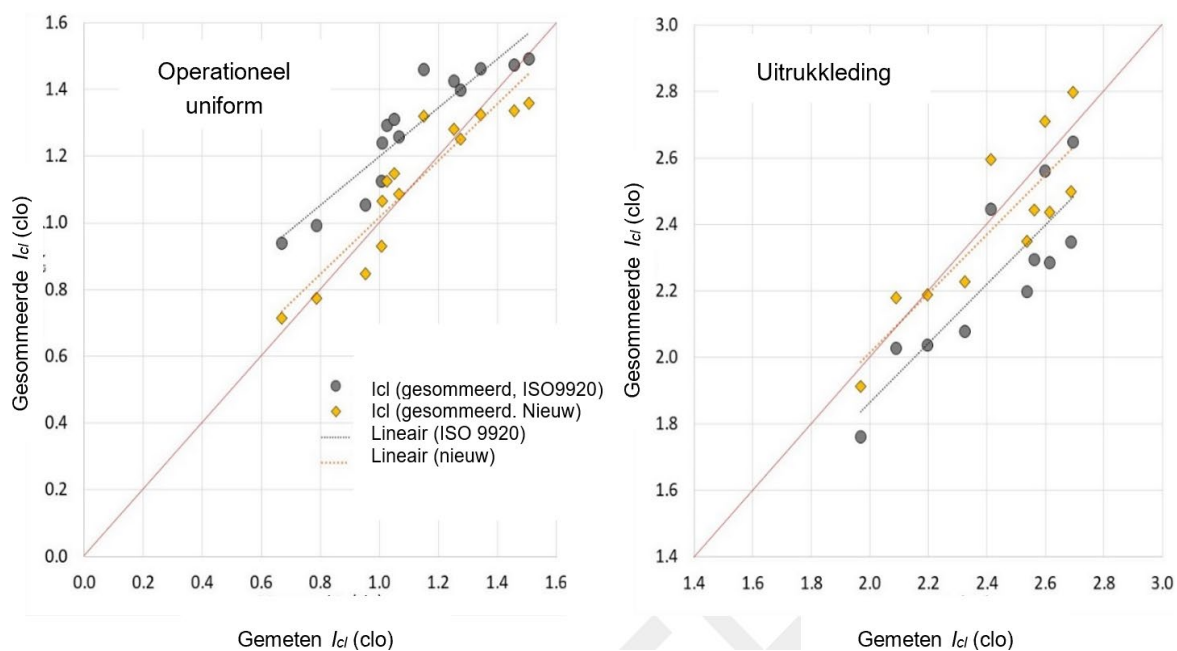
Figuur 4.1 Kledingisolatiewaarden van verschillende kledingitems in verhouding tot lichaamsoppervlak dat ze bedekken (rode cirkels tonen de variatiemogelijkheden voor verschillende specifieke kledingartikelen)

Naast het optellen van de gemeten kledingisolatie van de verschillende kledingitems die een kledingcombinatie vormen, kan zoals gezegd ook de isolatiewaarde van de gehele kledingcombinatie gemeten worden. In onderstaande figuur (Figuur 4.2) zijn beide waarden weergegeven, evenals hun procentuele afwijking ten opzichte van elkaar.



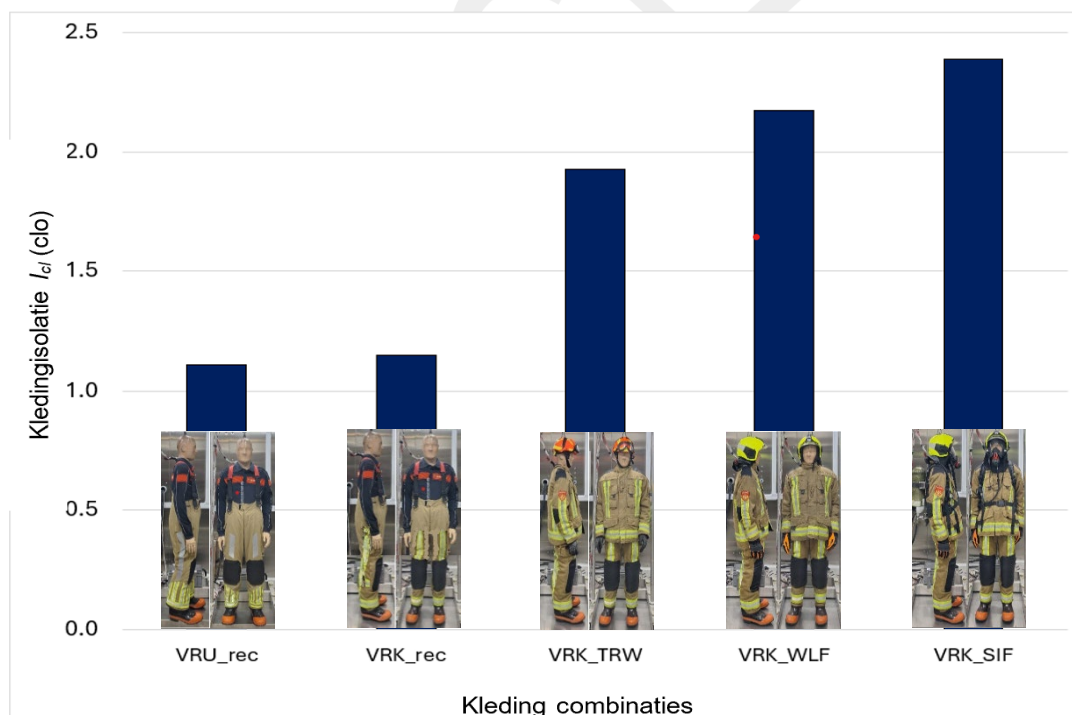
Figuur 4.2 Gesommeerde kledingisolatie (Icl (sum, ISO 9920) voor beschermende kledingcombinatie van de afzonderlijke kledingitems, versus de gemeten kledingisolatie van dezelfde kledingcombinaties en de percentages afwijking (Diff (%)) (Bron: Maurice Kemmeren)

In Figuur 4.3 is te zien dat de gesommeerde isolatie bij kledingcombinaties met het operationeel uniform een **overschatting** geeft van de isolatiewaarden van de kleding, en bij uitrukcombinaties juist een **onderschatting**.



Figuur 4.3 Relatie tussen gesommeerde (Y-as) en gemeten isolatie (X-as) van het operationeel uniform (links) en het uitrukpak (rechts) ten opzichte van de identiteitslijn

De aanvullende isolatiemetingen met kleding van de Veiligheidsregio Kennemerland (VRK) gaven vergelijkbare isolatiewaarden met de eerdere metingen, zie Figuur 4.4 hieronder.



VRU_rec = Veiligheidsregio Utrecht herstel; VRK_rec = Veiligheidsregio Kennemerland herstel; VRK_TRW = VRK technische hulpverlening; VRK_WLF = VRK natuurbrandbestrijding; VRK_SIF = VRK binnenbrandbestrijding

Figuur 4.4 Gemeten kledingisolatie van aanvullende metingen met kledingcombinaties van de VRK

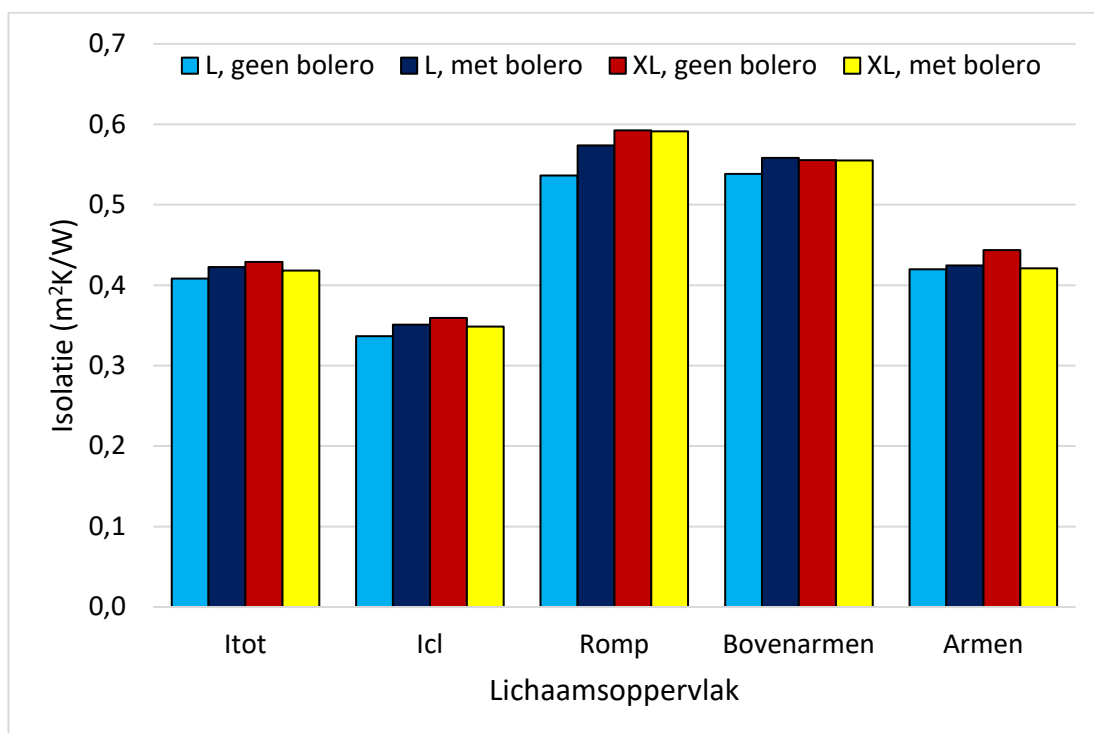
Thermische isolatie met bolero

De bolero die gedragen wordt door instructeurs in een oefencentrum zorgt voor een extra isolerende kledinglaag ter hoogte van het bovenlichaam en de armen om eventuele verbranding te voorkomen bij meerdere inzetten (Figuur 4.5).



Figuur 4.5 Bluskleiding inclusief bolero (Bron: K. Kuklane)

Vanwege incidenten met eerstegraadsverbrandingen tijdens gebruik van een bolero hebben we isolatiemetingen van uitrusting met een bolero gedaan. In onderstaande figuur (Figuur 4.6) wordt weergegeven wat het effect is van het gebruik van een bolero in één maat met verschillende maten kleding.



Figuur 4.6 Isolatie van brandweerkleding in de maten L en XL met een bolero in de maat L

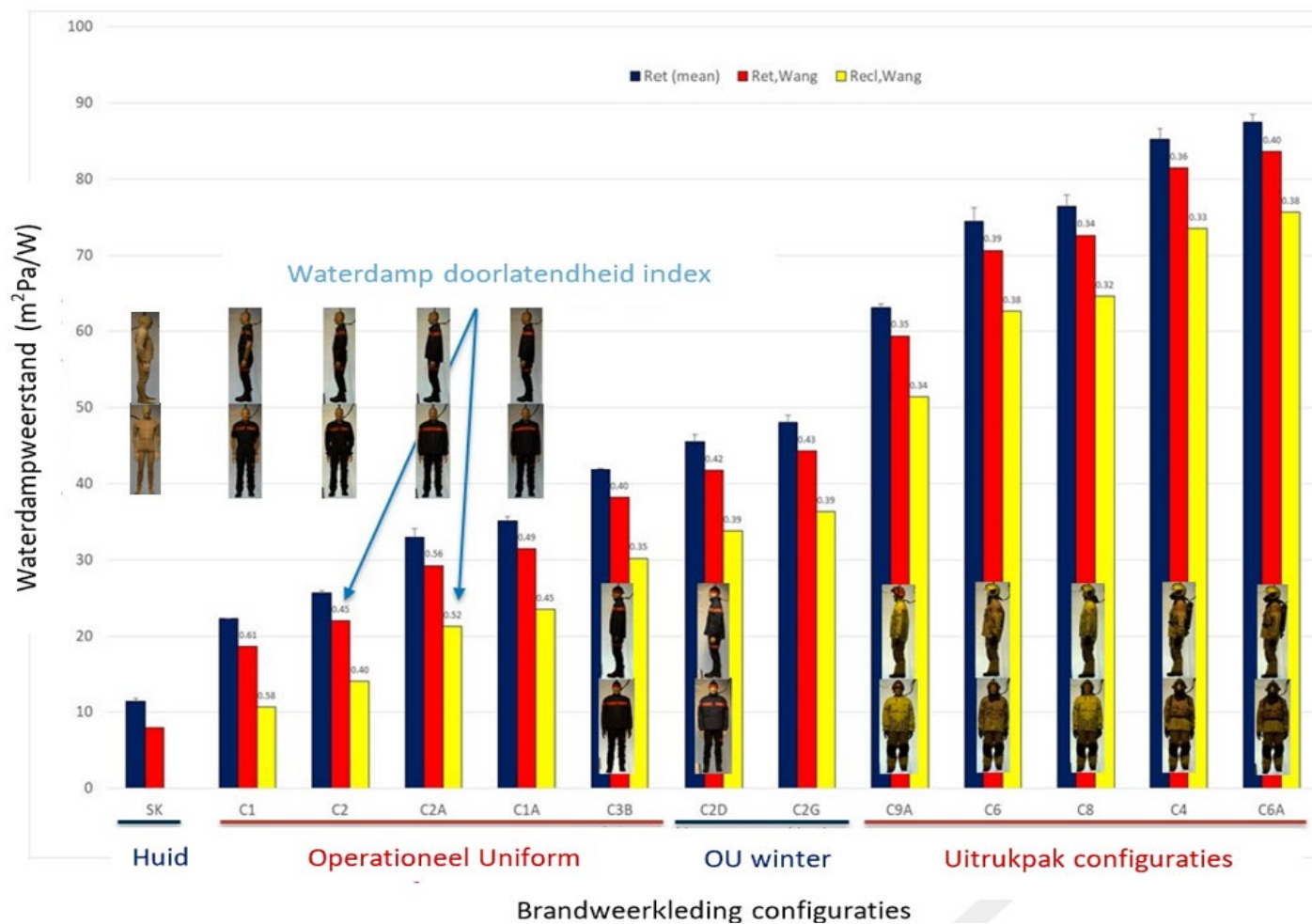
Wanneer de juiste maat bolero wordt gecombineerd met de juiste maat kleding, neemt de totale isolatie toe. Daarmee heeft men extra bescherming tegen de hitte. Als echter de bolero gedragen wordt met een XL uitrustpak, neemt de isolatie af. Een te krappe bolero heeft tot gevolg dat de isolerende luchtlagen onder de kleding worden samengeperst en de isolatie juist afneemt. Ook kan het samendrukken ervoor zorgen dat de kleding tegen de huid komt, wat leidt tot een extra risico op huidverbranding.

De isolatiemetingen met de beschermende 'bolero' tonen aan dat compatibiliteit van verschillende beschermende uitrustingsstukken van groot belang is.

4.2 Resultaten waterdampweerstandmetingen

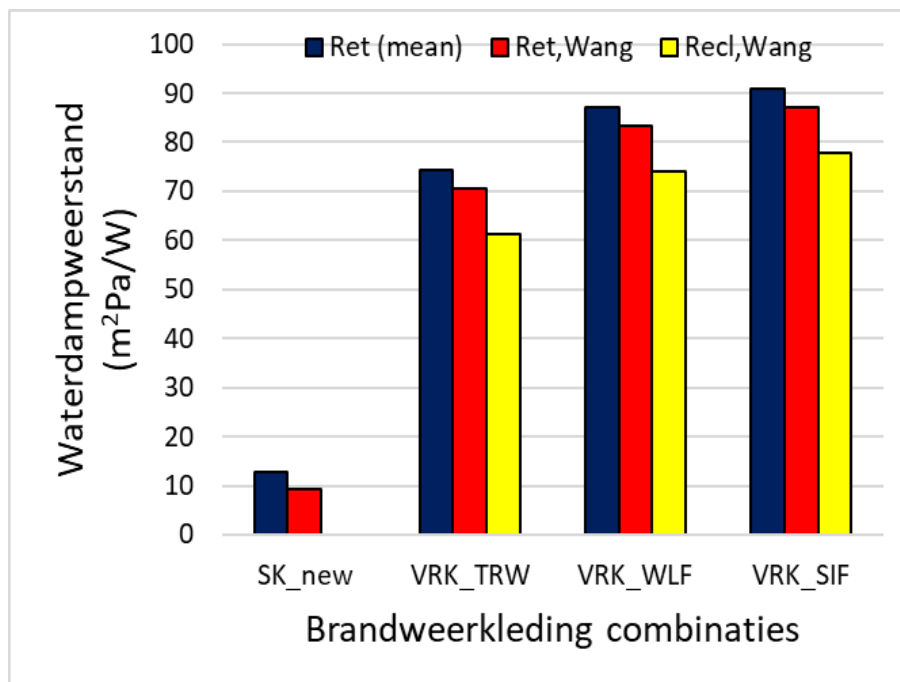
In Figuur 4.7 hieronder staan de gemeten waterdampweerstandswaarden (Ret). De waterdampweerstand geeft de mate aan waarin kleding de verdamping van zweet door de kleding belemmert. De blauwe staven geven de ruwe gemeten data weer, de rode staven de gecorrigeerde waarden²⁰ voor de invloed van de verdamping van de 'huid' van de manikin, en de gele staven zijn de gecorrigeerde waarden (Recl) alleen voor de kleding (dus zonder de waterdampweerstand van de huid (van de manikin) en luchtlagen rond de manikin).

²⁰ Correctie volgens Wang et al. (2017).



Figuur 4.7 Waterdampweerstand van verschillende relevante brandweerkleding configuraties (Bron: Maurice Kemmeren)

Ook nu gaven de aanvullende metingen voor waterdampweerstand met kleding van Veiligheidsregio Kennemerland (VRK) vergelijkbare waarden met de hierboven weergegeven metingen voor waterdampweerstand, zie Figuur 4.8.

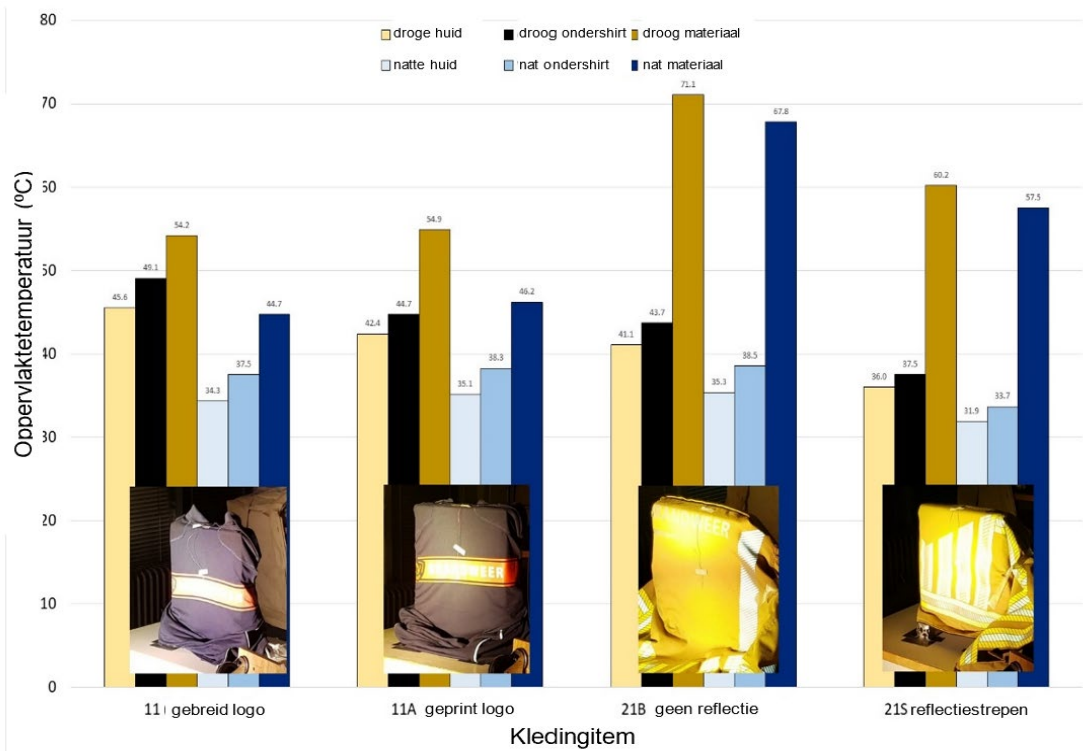


SK_new = huid ; VRK_TRW = VRK technische hulpverlening ; VRK_WLF = VRK natuurbrandbestrijding; VRK_SIF = VRK binnenbrandbestrijding

Figuur 4.8 Waterdampweerstand (Ret) met aanvullende kledingconfiguraties van de VRK

4.3 Resultaten stralingsmetingen

In Figuur 4.9 zijn de huid- en oppervlaktetemperaturen weergegeven van de geteste kledingconfiguraties van het operationeel uniform met gebreid of geprint logo, en van de uitrukjas met of zonder reflecterende striping.



Figuur 4.9 Huid- en materiaaloppervlaktetemperaturen (°C) onder specifieke warmtestralingsbelasting (940 W/m^2)

Opvallend is dat de huidtemperaturen bij het gebruik van meer reflectie lagere waarden te zien gaven. Dit wil zeggen dat de hittestraling waarschijnlijk deels wordt gereflecteerd door de reflectiестреpen op de kleding. Gebreide of geprinte logo's hadden nauwelijks een effect op de huidtemperaturen na blootstelling aan hittestraling.

Toepassingen van de beschermende kledingmaterialendata

De uitkomsten van de materiaalmetingen aan de afzonderlijke artikelen stellen ons in staat om met behulp van de juiste modellen de effecten te onderzoeken van:

- > de bescherming en de belasting van beschermende kledingitems en combinaties daarvan
- > verschillende manieren van kleden
- > aanpassingen in het kledingontwerp of de kledingmaterialen.

Omdat we zowel de specifieke basisgegevens van textiele materialen van afzonderlijke kledingitems hebben verzameld als complete kledingcombinaties hebben gemeten, kunnen we nu ook de kledingsommeringsmethode²¹ optimaliseren voor een betere voorspellingsnauwkeurigheid met de huidige bestaande modellen. Hierdoor kunnen voor specifieke werkomstandigheden bij de brandweer ook aanbevelingen gedaan worden voor de meest geschikte beschermende kledingcombinaties. Daarnaast kunnen we bij kleine aanpassingen in het beschermend kledingsysteem voorspellen wat de eventuele gevolgen zijn voor de belasting van het brandweerpersoneel. Hiervoor dienen specifieke kledingparameters ingevoerd te worden in (fysiologische) voorspellende modellen (zie paragraaf 4.4). De verkregen voorspellingen dienen nog wel te worden gevalideerd met

²¹ Kledingsommeringsmethode wil zeggen dat de optelsom van de materiaalgegevens van de afzonderlijke kledingitems leidt tot dezelfde waarden als de het meten van de kledingcombinatie.

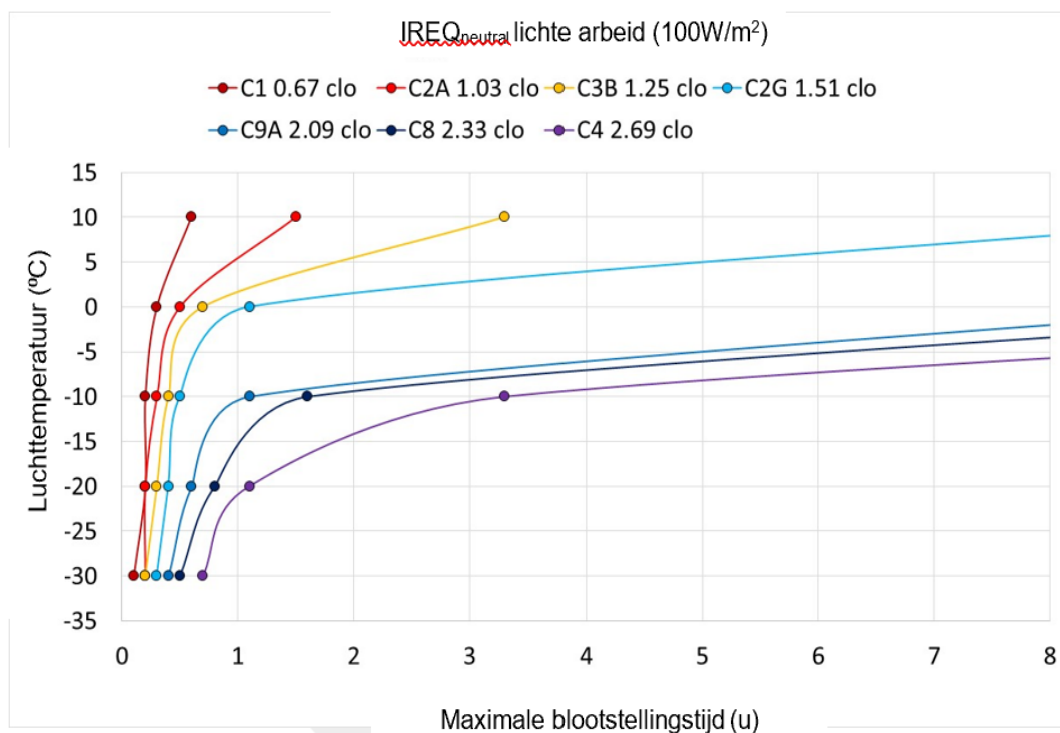
experimenteel onderzoek met mensen onder gesimuleerde brandweerstandigheden om te bepalen of de daadwerkelijk modellen voorspellen wat er in de praktijk gebeurt. Hierover wordt later separaat gerapporteerd.

4.4 Fysiologische belastingsmodellen

Blootstelling aan koude

In de kou zijn de simulaties uitgevoerd met ISO 11079.²² De simulaties zijn uitgevoerd voor verschillende omgevingstemperaturen, namelijk -30, -20, -10, 0 en +10 °C, waarbij is aangenomen dat de stralingstemperatuur gelijk is aan de omgevingstemperatuur. De relatieve luchtvochtigheid is constant op 85 % gehouden en de luchtstroom op 0,4 m/s.

In onderstaande figuur (Figuur 4.10) is de maximale blootstellingstijd weergegeven voor lichte arbeid bij omgevingstemperaturen van -30 tot +10°C met verschillende kledingconfiguraties.

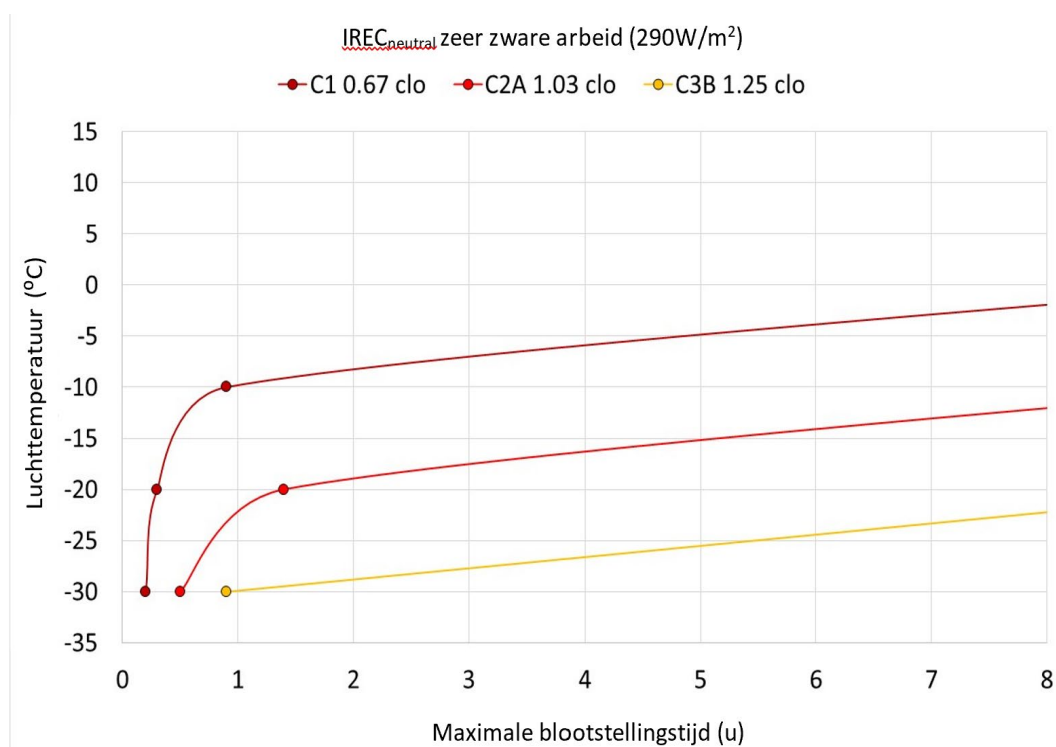


Figuur 4.10 Maximale blootstellingstijd tijdens lichte werkzaamheden bij verschillende omgevingscondities voor verschillende kledingconfiguraties

Duidelijk is dat men, naarmate de isolerende waarde van de kledingconfiguratie toeneemt, langer is staat lichte arbeid te verrichten zonder dat het oncomfortabel koud te krijgen. In de zomeruitvoering van het operationeel uniform (C1) voelt men zich bij 10 °C al na ruim een half uur oncomfortabel bij lichte arbeid, terwijl men in volledig uitruktenu bij -10 °C pas na ongeveer 3,5 uur oncomfortabel is en bij +10 °C de gehele dag lichte arbeid kan verrichten zonder problemen met de temperatuur te hebben. Wel is het zo dat er met de laatste configuratie een verhoogde kans op zweten bestaat, dat bij staken van de arbeid tot (te veel) afkoeling kan leiden.

²² <https://www.design.lth.se/english/the-department/research-laboratories/aerosol-climate-laboratory/climate/tools/-calculations-for-ireq-and-wct/>.

Een ander voorbeeld is tijdens zeer zware arbeid bij diezelfde temperaturen. Met dikke isolerende kleding zijn er dan geen problemen te verwachten, omdat met lichte arbeid waarbij men zelf minder warmte produceert al geen problemen zijn. Dat is met de simulatie ook duidelijk te zien (Figuur 4.11). Met verschillende configuraties van het operationeel uniform is er boven de -5 °C geen probleem om comfortabel te blijven gedurende een werkdag. Hierbij dient overigens opgemerkt te worden dat zeer zware arbeid geen hele werkdag kan worden volgehouden, maar maximaal 2 uur vanwege de vermoeidheid die optreedt (Smit, 2011). Een ander aspect is dat men tijdens zeer zware arbeid gaat transpireren en dat het zweet na het stoppen van de zware arbeid voor extra afkoeling zorgen doordat het gaat verdampen. Het gebruikte model houdt echter geen rekening met dergelijke dynamische arbeidscondities.



Figuur 4.11 Maximale blootstellingstijd tijdens zeer zwaar werk bij verschillende omgevingscondities voor verschillende kledingconfiguraties

Blootstelling aan warmte

Voor warme omstandigheden zijn simulaties uitgevoerd met het Predicted Heat Strain (PHS)-model zoals vermeld in ISO 7933.²³ De simulaties zijn uitgevoerd met twee versies van de PHS. Eén versie is exact gelijk aan die in ISO7933, maar die is niet bedoeld om kleding met een hogere isolatiewaarde dan 1,2 clo (Tabel 3.1) te gebruiken.

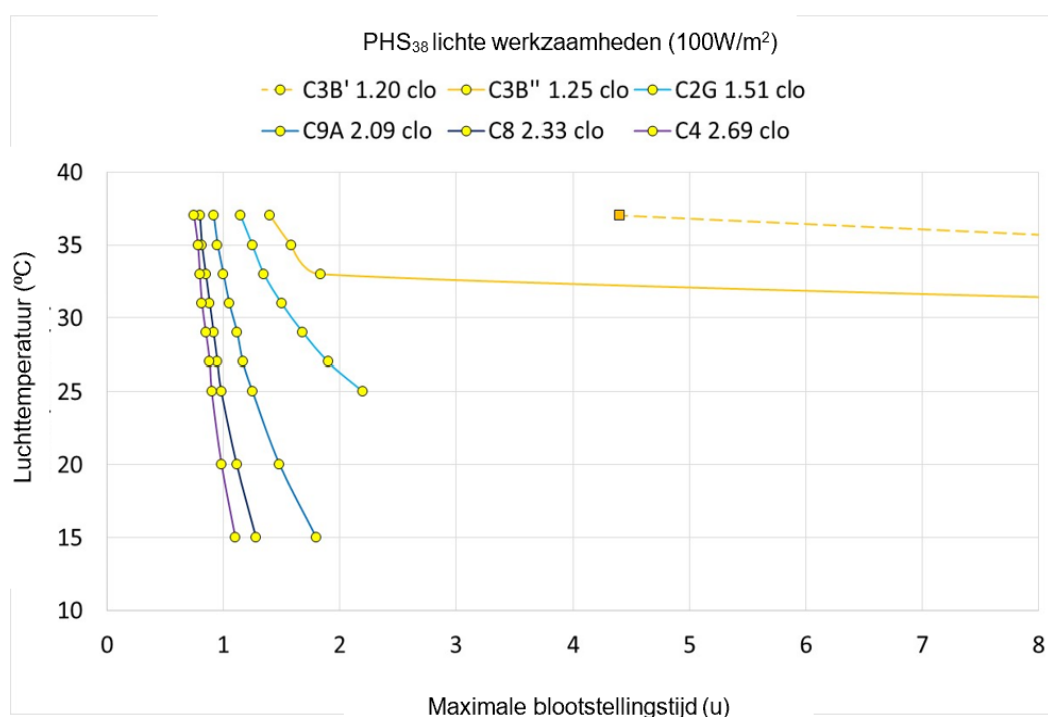
Vanwege de hogere waarden van uitrakkleding is een aangepaste PHS gebruikt, die geschikt is voor dergelijke beschermende kleding. In totaal zijn 225 simulaties uitgevoerd met verschillende kledingsystemen, omgevingstemperatuur en activiteitsniveaus voor blootstelling aan hitte. De simulaties zijn uitgevoerd met de volgende parameters:

- > omgevingstemperaturen van 15, 20, 25, 27, 29, 31, 33, 35 en 37 °C
- > een stralingstemperatuur van 70 °C

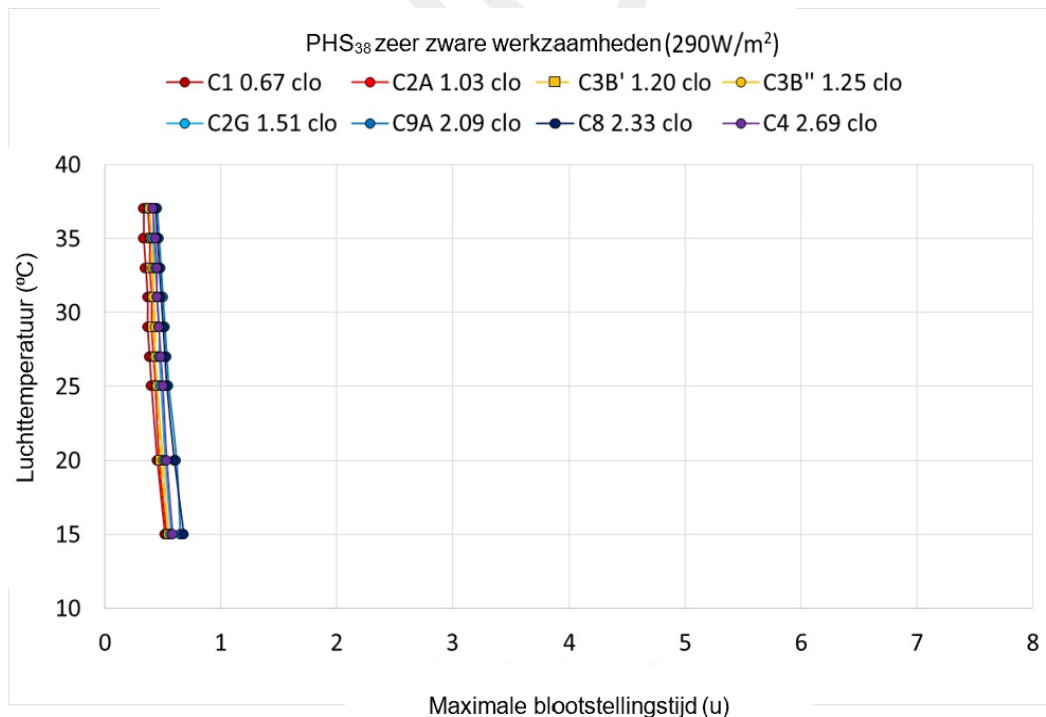
²³ <https://github.com/Rikuklane/PredictedHeatStrainModel>

- > een waterdampdruk van 1.7 kPa, overeenkomend met relatieve luchtvochtigheden van 100, 73, 54, 48, 42, 38, 34, 30 en 27 % bij bovengenoemde omgevingstemperaturen
- > volledig (100 %) geacclimatiseerde personen
- > de proefpersonen kunnen drinken wanneer ze willen
- > de lengte van de proefpersonen is 1,80 m en het gewicht 80 kilo, resulterende in een lichaamsoppervlak van 1,99 m²
- > de proefpersonen hebben een staande houding.

Voor de maximale werkduur zijn twee verschillende afbreekcriteria gebruikt, namelijk het bereiken van een kerntemperatuur van 38 °C en van 38,5 °C. De eerste limiet is aan de veilige kant, terwijl de tweede limiet in arbeidssituaties zonder monitoring de maximaal aanvaardbare waarde is. In de volgende afbeeldingen zien we voorbeelden van simulaties tijdens lichte arbeid en zeer zware arbeid (Figuur 4.13).



Figuur 4.12 Maximale blootstellingstijd tijdens lichte arbeid bij verschillende omgevingscondities voor verschillende kledingconfiguraties

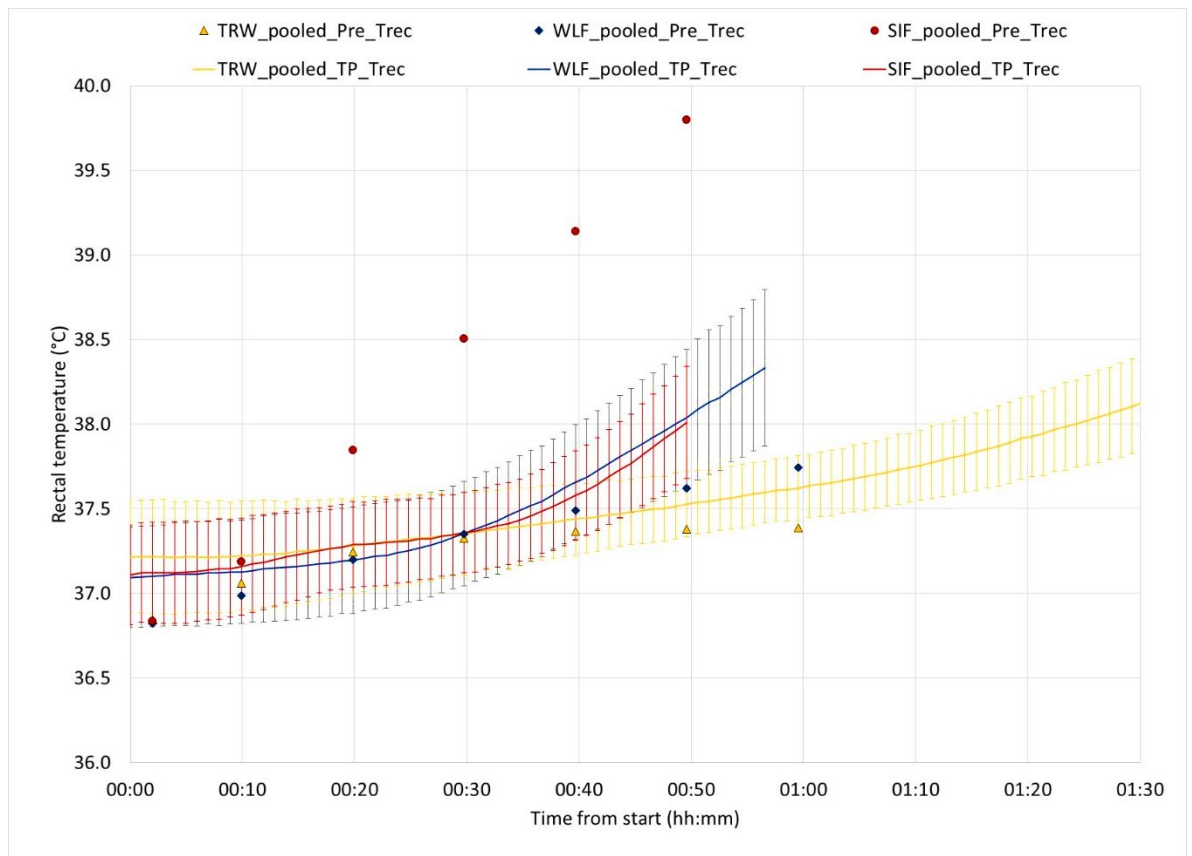


Figuur 4.13 Maximale blootstellingstijd tijdens zeer zware arbeid bij verschillende omgevingscondities voor verschillende kledingconfiguraties

Tijdens de lichte activiteiten is duidelijk te zien dat er boven de 25 °C geen problemen zijn de verwachten met een te hoge warmtebelasting met verschillende configuraties met het operationeel uniform, maar dat met het uitrupak de arbeidsduur beperkt wordt door de hogere isolatiewaarden, waardoor men de warmte niet voldoende kwijt kan. Simulaties met zeer zware werkzaamheden laten zien dat het weinig uitmaakt welke kleding gedragen wordt, omdat niet de isolerende werking van de kleding, maar de warmteproductie als gevolg van de zware inspanning de beperkende factor is.

4.5 Onderzoek met testpersonen

De eerste voorlopige resultaten laten zien dat de voorspelde kerntemperaturen (T_{rec}) bleven stijgen en niet stabiliseerden. In TRW (technische hulpverlening)- en WLF (natuurbrandbestrijding)-simulaties bleven ze onder de experimentele waarden, terwijl ze in de SIF (binnenbrandbestrijding)-simulatie juist veel hoger uitkwamen dan in de experimentele conditie (Figuur 4.14).



Figuur 4.14 Kerntemperatuurstijging tijdens verschillende inzetscenario's van de brandweer

Een eerste voorlopige analyse laat zien dat de voorspellende modellen voor arbeidsomstandigheden bij koude- en hitteblootstelling onvoldoende nauwkeurig zijn voor het brandweervak. De uitkomsten van de experimentele onderzoeken en van de simulaties van hitteblootstelling geven ons wel handvatten om de modellen zodanig te modificeren dat, of meer geavanceerde modellen te selecteren waarmee, kan worden voldaan aan de behoeften van de brandweer om inzicht te krijgen in de hitte- en arbeidsbelasting van het personeel. Met de juiste modellen kunnen we voorspellen wat de gevolgen zijn voor het personeel in bepaalde incidentscenario's, kunnen we aanbevelingen doen voor de meest optimale combinaties van beschermingsmiddelen en kunnen we nieuwe (aan te schaffen) beschermende kleding evalueren zonder dat er eerst weer nieuwe experimentele onderzoeken gedaan hoeven te worden. De modellen kunnen in de toekomst zelfs worden gebruikt als een inzettool voor brandweerpersoneel. Over de details van de experimentele onderzoeken wordt in een separaat document gerapporteerd.

5 Conclusies

In dit hoofdstuk worden de onderzoeksvragen beantwoord en enige conclusies getrokken over het mogelijke vervolg.

De hoofdvraag voor dit onderzoek is: *In hoeverre kunnen (combinaties van) operationeel uniform en uitrukkleding worden gebruikt voor verschillende taken die brandweerprofessionals moeten uitvoeren?* Deze hoofdvraag maakt onderdeel uit van het onderbouwen van de werkvisie zoals die in de inleiding is gesteld. In vervolg op dit rapport volgt een separaat document waarin de metingen aan proefpersonen en de validatie van een model worden beschreven.

Om bovenstaande hoofdvraag te kunnen beantwoorden is het belangrijk te weten welke eisen aan de verschillende typen beschermende kleding gesteld worden, welke ontwikkelingen er zijn te verwachten en hoe comfortabel (de combinaties van) de beschermende kledingpakketten voor de brandweer zijn. Beantwoording van de deelvragen helpt om tot een antwoord te komen. De deelvragen zijn:

1. Wat zijn de karakteristieken van de huidige beschermende kleding voor de brandweer en aan welke eisen moet die voldoen?
2. Welke ontwikkelingen op het vakgebied en in de beschermende kleding zijn er momenteel die noodzaken tot een visie op de toekomstige beschermende kleding?
3. Wat is de mate van comfort van de huidige (combinaties van) beschermende kledingstukken op basis van isolatie en waterdampdoorlatendheid van de kledingmaterialen?

Wat zijn de karakteristieken van de huidige beschermende kleding voor de brandweer en aan welke eisen moet die voldoen?

De eerste deelvraag die over de karakteristieken en kenmerken van de beschermende kleding gaat maakt duidelijk dat de kleding moet voldoen aan Europese regelgeving voor persoonlijke beschermingsmiddelen. Het operationeel uniform voldoet aan de internationale norm voor kazernekleding (NEN-ISO 21942). Hiermee voldoet het aan de kwalificatie persoonlijk beschermingsmiddel conform de Europese regelgeving (Verordening (EU) 2016/425) en mag het gebruikt worden bij werkzaamheden van de brandweer die een laag risico kennen.

Als het risico toeneemt, voldoet het operationeel uniform alleen niet meer en wordt de bluskleiding (conform NEN-EN 469) over het operationeel uniform aangetrokken om toch voldoende beschermd te zijn tegen grotere risico's. Hoewel de bluskleiding slechts bedoeld is voor binnenbrandbestrijding, wordt zij eigenlijk gebruikt voor alle operationele taken met een hoog risico. Naar het dragen van de combinatie van deze typen beschermende kleding is nog niet eerder onderzoek verricht. In het voorliggende onderzoek zijn wel materiaaleigenschappen bekeken, maar is nog niet met mensen in kleding onderzocht wat de effecten van de combinatie zijn op de inzetbaarheid van het brandweerpersoneel.

Welke ontwikkelingen op het vakgebied en in de beschermende kleding zijn er momenteel die noodzaken tot een visie op de toekomstige beschermende kleding?

Omdat eisen niet statisch zijn, is er ook gekeken welke internationale ontwikkelingen van invloed zijn op de eisen die aan de beschermende brandweerkleding worden gesteld. Er wordt momenteel over gesproken om de internationale normering van beschermende kleding te herzien, waarbij gedacht wordt aan een nog hogere beschermingsgraad tegen temperatuur voor de bluskleding, bescherming tegen gevaarlijk stoffen in rook en vervanging van PFAS die beschermt tegen vloeistoffen. Dergelijke ontwikkelingen leiden ertoe dat de kleding mogelijk minder comfortabel wordt en de inzetijd van personeel dat dergelijke kleding moet dragen verminderd wordt.

Wat is de mate van comfort van de huidige (combinaties van) beschermende kledingstukken op basis van isolatie en waterdampdoorlatendheid van de kledingmaterialen?

Om de mate van comfort van de beschermende kleding vast te stellen zijn isolatiewaarden en waterdampdoorlatendheid gemeten van de momenteel in gebruik zijnde kledingpakketten en combinaties daarvan. Deze waarden zijn gebruikt om met fysiologische modellen te bepalen wat de grenzen zijn van inzetbaarheid met de verschillende combinaties. Hiervoor zijn verschillende scenario's doorgerekend.

In de koude is met verschillende typen kleding en combinaties geen probleem te verwachten, omdat in de meeste gevallen de isolatiewaarde van de kleding hoog genoeg is. Enkel met operationeel uniform opereren in een koude omgeving is alleen mogelijk bij zeer zware arbeid, maar voor het operationeel uniform geldt dat de minimumtemperatuur waarbij er nog in wordt opgetreden 10 °C is.

Onder warmere omstandigheden is het duidelijk dat hoe hoger de isolatie, hoe oncomfortabel en hoe korter de inzetijd. Dat geldt vooral bij lichtere inspanningen. Bij zeer zware inspanningen doet de beschermende kleding er niet zo veel meer toe, maar is het vooral de inspanning zelf die de beperkende factor is.

Beantwoording van de hoofdvraag

Omdat de huidige gebruikte modellen niet ontwikkeld zijn voor de omstandigheden waaronder brandweerpersoneel moet werken, is het belangrijk dat de uitkomsten gevalideerd worden onder experimentele condities waarin brandweersomstandigheden worden gesimuleerd en de activiteiten door mensen in de verschillende kledingconfiguraties worden uitgevoerd. Dan kan naast temperatuur bijvoorbeeld ook blootstelling aan stralingswarmte worden meegenomen.

Uit de voorlopige berekeningen met de beschikbare modellen blijkt dat het operationeel uniform samen met de uitrukkleding gedragen kan worden tijdens de uitoefening van het vak, onder de bovengenoemde omstandigheden. De experimentele condities zullen moeten uitwijzen wat de exacte gevolgen zijn voor de werkelijke inzetijden en of er knelpunten zijn in de beschermende kleding. De eerste resultaten van de experimenten laten zien dat het voorspellend vermogen van de huidige modellen onvoldoende is en dat deze moeten worden aangepast om toegevoegde waarde te hebben.

Bronnen

American Society for Testing and Materials International. (2016a). *ASTM F2370-16: Standard test method for measuring the evaporative resistance of clothing using a sweating manikin*. ASTM International.

American Society for Testing and Materials International. (2016b). *ASTM F2371-16: Standard test method for measuring the heat removal rate of personal cooling systems using a sweating heated manikin*. ASTM International.

Bartkowiak, G., & Greszta, A. (2019). Determination of a comfort class for protective clothing based on ergonomic tests. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 27(5), 65–74.
<https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.2904>

Brandweer Nederland. (2022). *Operationeel uniform 2020: Eén beeld, één brandweer. Achtergrondinformatie en verantwoording*. <https://www.brandweernederland.nl/wp-content/uploads/sites/2/2022/10/OU-Achtergrondinformatie-en-Verantwoording-202210-.pdf>

CEN. (1998). *EN 136: Respiratory protective devices – Full face masks – Requirements, testing, marking*. European Committee for Standardization.

CEN. (2002). *EN 361: Personal protective equipment against falls from a height – Full body harnesses*. European Committee for Standardization.

CEN. (2003). *EN 659 + A1: Protective gloves for firefighters*. European Committee for Standardization.

CEN. (2006). *EN 137: Respiratory protective devices – Self-contained open-circuit compressed air breathing apparatus with full face mask – Requirements, testing, marking*. European Committee for Standardization.

CEN. (2008). *EN 443: Helmets for fire fighting in buildings and other structures*. European Committee for Standardization.

CEN. (2012). *EN 15090: Footwear for firefighters*. European Committee for Standardization.

CEN. (2017a). *EN 13911: Protective clothing for firefighters – Requirements and test methods for fire hoods for firefighters*. European Committee for Standardization.

CEN. (2017b). *EN 16689: Protective clothing for firefighters – Performance requirements for protective clothing for technical rescue*. European Committee for Standardization.

CEN. (2018). *EN/TR 14560: Guidance for selection, use, care and maintenance of protective clothing against heat and flame*. European Committee for Standardization.

CEN. (2020). *EN 469: Protective clothing for firefighters – Performance requirements for protective clothing for firefighting activities*. European Committee for Standardization.

CEN. (2023). *EN 17558: Ergonomics – Ergonomics of PPE ensembles*. European Committee for Standardization.

Dorman, L. E., & Havenith, G. (2009). The effects of protective clothing on energy consumption during different activities. *European Journal of Applied Physiology*, 105(3), 463–470. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0924-2>

Hartog, E. A. den, & Heus, R. (2006). *Veilige stralingscontouren bij incidenten – gerelateerd aan warmtebelasting voor hulpverleners* (TNO-rapport TNO-DV3 2006 C024). TNO.

Havenith, G., & Heus, R. (2004). A test battery related to ergonomics of protective clothing. *Applied Ergonomics*, 35(1), 3–20.

Havenith, G., Kuklane, K., Fan, J., Hodder, S., Ouzzahra, Y., Lundgren, K., Au, Y., & Loveday, D. (2015). A database of static clothing thermal insulation and vapor permeability values of non-Western ensembles for use in ASHRAE Standard 55, ISO 7730, and ISO 9920. *ASHRAE Transactions*, 121(1), 197–215.

Heus, R., Kuklane, K., Kistemaker, L., & Kemmeren, M. (2023). *Handreiking ergonomische beoordeling brandweerkleding*. Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV).

International Organization for Standardization. (2004). *ISO 7933: Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain*. ISO.

International Organization for Standardization. (2004). *ISO 15831: Clothing – Physiological effects – Measurement of thermal insulation by means of a thermal manikin*. ISO.

International Organization for Standardization. (2005). *ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices*. ISO.

International Organization for Standardization. (2007). *ISO 11079: Ergonomics of the thermal environment – Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects*. ISO.

International Organization for Standardization. (2007). *ISO 16602: Protective clothing for protection against chemicals – Classification, labelling and performance requirements*. ISO.

International Organization for Standardization. (2009). *ISO 9920: Ergonomics of the thermal environment – Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble*. ISO.

International Organization for Standardization. (2014). *ISO 11092: Textiles – Physiological effects – Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (sweating guarded-hotplate test)*. ISO.

International Organization for Standardization. (2015). *ISO 11999-3: PPE for firefighters – Test methods and requirements – Part 3: Clothing*. ISO.

International Organization for Standardization. (2017). *ISO 7243: Ergonomics of the thermal environment – Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index*. ISO.

International Organization for Standardization. (2018a). *ISO 18640-1: Protective clothing for firefighters – Physiological impact – Part 1: Measurement of coupled heat and moisture transfer with the sweating torso*. ISO.

International Organization for Standardization. (2018b). *ISO 18640-2: Protective clothing for firefighters – Physiological impact – Part 2: Determination of physiological heat load*. ISO.

International Organization for Standardization. (2018). *EN ISO 11393: Protective clothing for users of hand-held chainsaws – Part 6: Performance requirements and test methods for upper body protectors*. ISO.

International Organization for Standardization. (2019). *ISO 21942: Station uniform for firefighters*. ISO.

International Organization for Standardization. (2020). *EN ISO 15384: Protective clothing for firefighters – Laboratory test methods and performance requirements for wildland firefighting clothing (ISO 15384:2018)*. ISO.

International Organization for Standardization. (2022). *ISO/TS 20141: Personal protective equipment – Guidelines on compatibility testing of PPE*. ISO.

Klous, L., Psikuta, A., Gijsbertse, K., Mol, D., van Schaik, M., Daanen, H. A. M., & Kingma, B. R. M. (2020). Two isothermal challenges yield comparable physiological and subjective responses. *European Journal of Applied Physiology*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04494-3>

Kuklane, K. (2021). A progress report on project PRO13068 AV Beschermingsconcepten; subpart Modulaire beschermingsconcepten (Modular protection concept). Instituut Fysieke Veiligheid (IFV).

Kuklane, K., & Heus, R. (2020). *A vision on modular protection for firefighters: A conceptual approach*. Instituut Fysieke Veiligheid (IFV).

Kuklane, K., Eggeling, J., Kemmeren, M., & Heus, R. (2022a). A database of static thermal insulation and evaporative resistance values of Dutch firefighter clothing items and ensembles. *Biology*, 11(12), 1813. <https://doi.org/10.3390/biology11121813>

Kuklane, K., Eggeling, J., Kemmeren, M., & Heus, R. (2022b). Local effects of printed logos and reflective striping fixed to firefighter clothing material packages under low radiation exposure. *Industrial Health*, 61(5). <https://doi.org/10.2486/indhealth.2022-0126>

Kuklane, K., Klomp, A. M., Jacobs, L. M., Heus, R. (2024). Thermal protective properties of a firefighter turnout gear with and without an accessory on top of turnout jacket. *Communications in Development and Assembling of Textile Products* 5(2), 242–254. <https://doi.org/10.25367/cdatp.2024.5.p242-254>

Kuklane, K., Levels, K., Kistemaker, L., Mol, E., Tanck, I., & Heus, R. (2024). Heat stress prediction for simulated rescue activities. In J.-Y. Lee & D.-H. Kim (Eds.), *Book of Abstracts of the 20th International Conference on Environmental Ergonomics 2024* (p. 13590). International Society for Environmental Ergonomics.

Kuklane, K., & Toma, R. (2021). Validation of ISO 9920 clothing item insulation summation method based on an ambulance clothing system. *Industrial Health*, 59(1). <https://doi.org/10.2486/indhealth.2020-0208>

Kuklane, K., Toma, R., & Lucas, R. A. I. (2020). Insulation and evaporative resistance of clothing for sugarcane harvesters and chemical sprayers, and their application in PHS model-based exposure predictions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(9), 3074. <https://doi.org/10.3390/ijerph17093074>

Laitinen, J. (2017). *Determination of the fire residues from firefighting garments* (IFV2016-EO-31). Finnish Institute of Occupational Health.

McCullough, E. A., Jones, B. W., & Huck, J. (1985). A comprehensive data base for estimating clothing insulation. *ASHRAE Transactions*, 91(2), 29–47.

Nederlands Instituut Publieke Veiligheid. (2022). *Draagvoorschrift brandweerkleding*. Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV).

Petersson, J., Kuklane, K., & Gao, C. (2019). Is there a need to integrate human thermal models with weather forecasts to predict thermal stress? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(22), 4586. <https://doi.org/10.3390/ijerph16224586>

Smallcombe, J., Hodder, S., Loveday, D., Kuklane, K., Mlynarczyk, M., Halder, A., Petersson, J., & Havenith, G. (2021). Updated database of clothing thermal insulation and vapor permeability values of Western ensembles for use in ASHRAE Standard 55, ISO 7730 and ISO 9920; results of ASHRAE RP-1760. *ASHRAE Transactions*, 126(1).

Smit, A. (2011). Het kwantificeren en sturen van de trainingbelasting: De herkomst van trainingszones (deel 1). *Sportgericht*, 65(4), 1–7.

Verordening (EU) 2016/425 van het Europees Parlement en de Raad van 9 maart 2016 betreffende persoonlijke beschermingsmiddelen en tot intrekking van Richtlijn 89/686/EEG van de Raad (Voor de EER relevante tekst). (2016). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0425>

Bijlage 1



Figuur B1.1 Samenhang van het project modulaire bescherming