

dr inż. MAGDALENA MŁYNNARCYK

Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: m.mlynarczyk@ciop.pl

DOI: 10.5604/01.3001.0012.0411

Ubranie specjalne dla strażaków

– wymagania normatywne i badania własne

Fot. Four Oaks/Bigstockphoto



Strażacy pracują w skrajnych warunkach środowiskowych, a w czasie pracy muszą rozwiązywać wiele różnorodnych problemów. Mogą to być akcje ratownicze, gaśnicze, czy usuwanie skutków wypadków i klęsk żywiołowych. W celu ochrony nie tylko innych, lecz także i siebie, muszą być maksymalnie skoncentrowani podczas wykonywania swoich zadań, żeby nie popełniać błędów. Optymalne warunki takiej pracy stwarzałyby tzw. komfort cieplny, charakteryzujący się stanem termoneutralnym organizmu. Brak odczuwania komfortu cieplnego może być także przyczyną zwiększonej liczby popełnianych błędów. Dlatego tak ważny jest dobór odpowiedniej ochrony i zbadanie wpływu stosowanej odzieży ochronnej (ubrania specjalnego) na odczucia cieplne strażaków.

W artykule przedstawiono wymagania dotyczące ubrania specjalnego dla strażaków, wyniki badań izolacyjności cieplnej tego ubrania oraz analizę odczuć cieplnych (poprzez wskaźnik PMV) jej użytkowników.

Słowa kluczowe: strażak, ubranie specjalne, odczucia komfortu cieplnego, PMV

The special clothing for firefighters – the normative requirements and original research results

The firefighters work in extreme environmental conditions and have to solve a wide variety of problems during their work. These can be rescuing and firefighting actions or removing effects of accidents or natural disasters. In order to protect, not only others but also themselves, they must be focused as much as possible in order to avoid mistakes. Optimal conditions for such work could create so-called thermal comfort, characterized by a thermoneutral state of a body. Lack of thermal comfort can also cause an increased number of mistakes. That is why it is so important to select the right protection and to know the impact of the protective clothing (special clothing) on the thermal sensation of firefighters. This article presents the requirements for special clothing for firefighters, the results of thermal insulation tests of the above-mentioned clothing and the analysis of thermal sensations of its users (by PMV index).

Keywords: firefighter, special clothing, thermal comfort, PMV index

Wstęp

Państwowa Straż Pożarna składa się z 501 jednostek, w których pracuje ok. 30 500 funkcjonariuszy (ratowników; dane Komendy Głównej PSP, stan na 31 grudnia 2016 r.¹).

Strażacy pracując często w skrajnie trudnych warunkach środowiskowych, muszą mierzyć się z wieloma wyzwaniami, takimi jak usuwanie skutków wypadków i klęsk żywiołowych. Podczas wykonywania obowiązków (zarówno związanych z gaszeniem pożaru, jak i z innymi działaniami ratowniczymi) mogą im zagrażać m.in.: ekspozycja na wysoką temperaturę, dym oraz zapylenie, a także psychospołeczne obciążenie z racji wykonywanego zawodu [1].

Wynika z tego, że strażacy muszą być maksymalnie skoncentrowani podczas pracy, żeby unikać popełniania błędów i chronić nie tylko innych, ale i siebie. Odczuwanie komfortu cieplnego (charakteryzującego się termoneutralnym stanem organizmu) w takiej sytuacji przyczynia się m.in. do zmniejszenia liczby popełnianych błędów, ograniczenia liczby wypadków, a także poprawy wydajności pracy [2].

Na poczucie komfortu wpływają dwa rodzaje czynników: środowiskowe oraz indywidualne. Na te pierwsze (czyli warunki otoczenia) strażacy nie mają wpływu. Mają za to wpływ na jeden z czynników indywidualnych – jaką odzież ochronną (ubranie specjalne) zastosują.

Ubranie stanowiące ochronę np. przed wysoką temperaturą może stać się barierą nieprzepuszczającą potu, produkowanego podczas wysiłku fizycznego. Upośledzenie w odparowaniu potu powoduje wzrost temperatury wewnętrznej ciała, który doprowadza do zwiększenia skórnego przepływu krwi oraz częstości skurczów serca. Dyskomfort cieplny może być także przyczyną wzrostu liczby popełnianych błędów, stąd tak istotny jest dobór odzieży, która go zminimalizuje.

W dokumentach i normach dotyczących wymagań, które muszą spełniać ubrania specjalne dla strażaków, nie ma informacji na temat wartości ich izolacyjności cieplnej. Jest to jeden z głównych parametrów opisujących odzież ochronną, wpływających na wymianę ciepła

¹ http://www.straz.gov.pl/panstwowa_straz_pozarna/jednostki_psp dostępne w dniu 5.12.2017 r.

między człowiekiem a otoczeniem. W związku z tym, w ramach prowadzonych w CIOP-PIB w 2017 r. badań, przeprowadzono testy izolacyjności cieplnej ubrania specjalnego wytypowanego spośród rodzajów obecnie stosowanych w polskich jednostkach PSP.

W artykule przedstawiono wymagania norm dotyczące ubrania specjalnego dla strażaków, a także wyniki wykonanych badań oraz symulacje odczuć cieplnych (przez wskaźnik PMV) użytkowników tej odzieży.

Wymagania dotyczące ubrania specjalnego dla strażaków

Praca w środowisku objętym pożarem, w nienaturalnych warunkach, a także specyfika pracy strażaka na otwartych przestrzeniach, niezależnie od warunków atmosferycznych wymaga stosowania odpowiedniej odzieży ochronnej [3]. Z uwagi na to, że jest ona stosowana w różnych etapach akcji ratowniczych, powinna chronić w bardzo szerokim zakresie: zarówno przed przemoczeniem, niskimi i wysokimi temperaturami, płomieniem, jak również (w stopniu podstawowym) przed niebezpiecznymi substancjami chemicznymi oraz skażeniem biologicznym i czynnikami powodującymi urazy mechaniczne.

Odzież powinna spełniać szereg wymagań dotyczących widzialności (szczególnie w trudnych warunkach atmosferycznych), komfortu cieplnego, paro-przepuszczalności oraz odporności na zniszczenia mechaniczne. Ponadto nie może krępować ruchów strażaka i uniemożliwiać mu wykonywania swoich obowiązków [3].

Wszystkie używane przez strażaków środki ochrony indywidualnej, w tym ubranie specjalne, zakwalifikowane są do III kategorii, czyli podlegają ocenie w akredytowanych laboratoriach. Efektem tego procesu jest certyfikat oceny typu WE, który potwierdza zgodność z wymaganiami dyrektywy 89/686/EWG oraz PN-EN 469 (wg [4]).

Najważniejszymi dokumentami zawierającymi podstawowe wymagania dotyczące ubrań specjalnych dla strażaków, są [4]:

- PN-EN 469: Odzież ochronna dla strażaków – wymagania użytkowe dotyczące odzieży ochronnej przeznaczonej do akcji przeciwpożarowej [5]²

- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 30 listopada 2005 r. w sprawie umundurowania strażaków Państwowej Straży Pożarnej), [6]

- Zarządzenie Komendanta Głównego PSP z dnia 5 lutego 2007 r. w sprawie wzorców oraz szczegółowych wymagań, cech technicznych i jakościowych przedmiotów umundurowania, odzieży specjalnej i środków ochrony indywidualnej użytkowanych w PSP, Karta techniczna 43 [7]

- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 27 kwietnia 2010 r. w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub

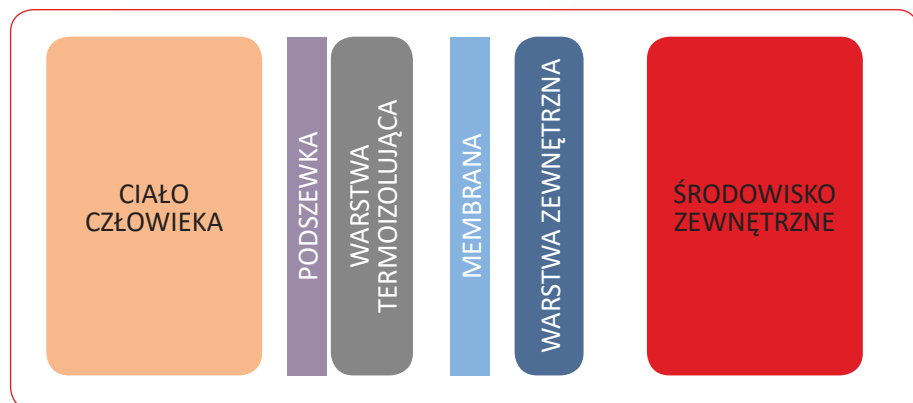
Tabela. Wybrane wartości wymagań wg PN-EN 469:2014

Table. The selected requirements values according to PN-EN 469:2014 [4]

Właściwości	Wskaźnik	Poziom 1	Oznaczenie	Poziom 2	Oznaczenie	Badania wg normy
Przenikanie ciepła (od płomienia)	*HTI ₂₄	≥ 9,0	X1	≥ 13,0	X2	prEN ISO 9151 [9]
Przenikanie ciepła (od promieniowania cieplnego)	**RHTI ₂₄	≥ 10,0		≥ 18,0		EN ISO 6942 [10]
Prześląkanie wody		< 20 kPa	Y1	≥ 20 kPa	Y2	EN 20811 [11]
Opór pary wodnej	R _{et}	> 30 m ² Pa/W ≤ 45 m ² Pa/W	Z1	≤ 30 m ² Pa/W	Z2	EN 31092 [12]

*HTI₂₄ – wskaźnik przenikania ciepła przy działaniu płomienia; jest to liczba całkowita, obliczana jako średni czas (w sekundach) wzrostu temperatury o 24±0,2 °C

**RHTI₂₄ – współczynnik przenoszenia promieniowania cieplnego; jest to liczba podana z dokładnością do jednej dziesiątej, obliczona na podstawie średniego czasu wzrostu temperatury kalorymetru o 24±0,2 °C (mierzonego w sekundach z dokładnością do jednej dziesiątej) przy określonej gęstości padającego strumienia cieplnego – 40 kW/m²



Rys. 1. Wielowarstwowa konstrukcja ubrania specjalnego (oprac. własne wg [3-4])

Fig. 1. The multilayered construction of special clothing

ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania (załącznik pkt. 1.6), [8].

Poniżej przedstawiamy kolejno wymagania zawarte w wymienionych dokumentach.

Wymagania w odniesieniu do odzieży ochronnej dla strażaków wg PN-EN 469

W normie tej zamieszczono m.in. wymagania dotyczące rozprzestrzeniania się płomienia, odporności na przenikanie ciepła konwekcyjnego, promieniowania cieplnego oraz wodoczułności, jak również wytrzymałości na rozciąganie i rozerwanie, a także dopuszczalne zmiany pod wpływem temperatury wymiarów i widzialności. W normie ustalono również wartości w odniesieniu do dwóch poziomów ochrony (poziom 1 i 2). Mimo że nie jest to ujęte żadnym formalnym wymaganiem, ubrania specjalne, posiadające dopuszczenie Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej (bez którego nie można stosować ubrań specjalnych w jednostkach ochrony pożarowej), w przeważającej liczbie wykonywane są pod kątem spełnienia wymagań poziomu 2 [3].

W tabeli zamieszczono wybrane wymagania, które są konieczne do umieszczenia na etykiecie odzieży ochronnej dla strażaków.

Według PN-EN 469:2014, przenikanie ciepła jest rozróżniane jako X_r – od płomienia, oraz X_i – ciepło od promieniowania.

Parametr określający pośrednio komfort pracy w odzieży ochronnej to izolacyjność cieplna oraz

wartość oporu pary wodnej (R_{et}) mierzonego dla wszystkich warstw konstrukcyjnych ubrania.

Wymagania w odniesieniu do odzieży ochronnej dla strażaków wg rozporządzenia MSWiA

Rozporządzenie to zawiera szczegółowy opis m.in. przedmiotów umundurowania, odzieży specjalnej, środków ochrony indywidualnej (ŚOI) dla strażaka PSP [6]. Napisano tam m.in., że „ubranie specjalne jest konstrukcją wielowarstwową, składającą się z kurtki długości 3/4 oraz spodni”. Tkanina zewnętrzna powinna być czarna lub ciemno granatowa. W rozporządzeniu znajdują się również wzory m.in. zasadniczych ŚOI, w tym ubrania specjalnego.

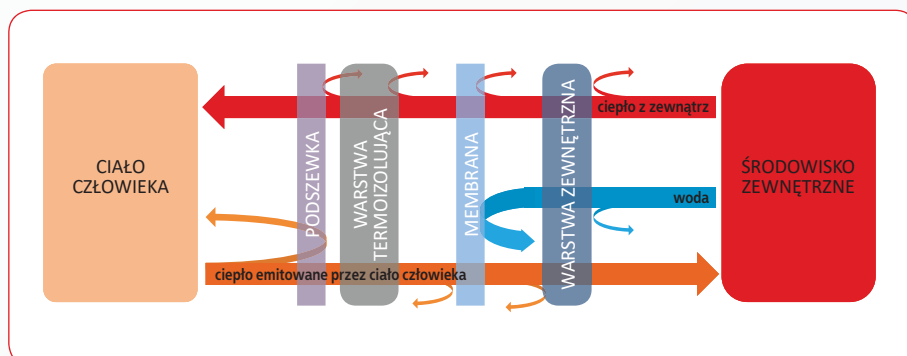
Trwają prace nad nowelizacją rozporządzenia MSWiA w sprawie umundurowania strażaków PSP³. Zaproponowane w treści tego projektu zmiany wynikają z pojawienia się nowych rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych poprawiających bezpieczeństwo, ergonomię i komfort pracy strażaków.

Wymagania w odniesieniu do odzieży ochronnej dla strażaków wg zarządzenia Komendanta Głównego PSP

Karta techniczna (KT-43) do tego zarządzenia zawiera wymagania techniczne w odniesieniu do odzieży ochronnej. Można w niej

²W polskiej wersji językowej norma ta po raz pierwszy pojawiła się w 2006 roku; następnie została zastąpiona przez wersję z roku 2008 i docelowo – z roku 2014 (przyp. red.).

³<https://legislacja.rcl.gov.pl/projekt/12280456> dostępne w dniu 5.12.2017 r.



Rys. 2. Schematyczny sposób wymiany ciepła między ciałem człowieka a środowiskiem zewnętrznym (oprac. własne wg [14])
Fig. 2. The schematic way of heat exchange between a human body and surrounding environment

znaleźć szczegółowe opisy wyglądu kurtki i spodni, wraz z rysunkami modelowego ubrania specjalnego [7].

Według KT-43 ubranie składa się z kurtki o długości 3/4 i spodni, wykonanych z czarnej lub ciemnognatowej tkaniny zewnętrznej wraz z warstwą termoizolacyjną. W dokumencie znajdują się szczegółowe opisy kurtki i spodni dotyczące m.in. stosowanych zapięć, ściągaczy, guzików, suwaków, liczby oraz wymiarów kieszeni i oznakowania taśmami ostrzegawczymi. W punkcie 4 KT-43 zamieszczone są wymagania szczegółowe dotyczące parametrów i aspektów technicznych ubrania specjalnego, na przykład odporności na przemakanie. Widnieje tam również zapis, że masa kompletnego ubrania, bez względu na rozmiar, nie powinna przekroczyć 4 kg [7].

Wymagania w odniesieniu do wykazu wyrobów dla strażaków wg rozporządzenia MSWiA

W punkcie 1.6 załącznika do rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji znajdują się szczegółowe wymagania dotyczące ubrania specjalnego [8]. Powinno ono spełniać wymagania PN-EN 469, a „spełnienie wymagań powinno być potwierdzone stosowanym dokumentem”. Ubranie powinno być wykonane z tkaniny zewnętrznej wraz z warstwą termoizolacyjną, a jego „konstrukcja (...) powinna zapewnić ochronę wewnętrznej strony warstwy termoizolacyjnej przed przemoczeniem” (co jest weryfikowane przez poddanie ubrania tzw. jednogodzinnej próbie sztucznego deszczu). W tym dokumencie znajduje się również zapis, że „masa kompletnego ubrania, bez względu na rozmiar, nie powinna przekroczyć 3,8 kg”.

Charakterystyka i konstrukcja ubrania specjalnego dla strażaków

Ubranie specjalne, jako odzież barierowa, stanowi ochronę przed zewnętrznymi czynnikami fizycznymi, lecz powinno także umożliwić wymianę ciepła pomiędzy ciałem użytkownika a otoczeniem. Ubrania specjalne mają konstrukcję wielowarstwową (zgodnie z [6]). Ich schematyczny podział zamieszczono na rys. 1. [3-4].

Licząc od strony środowiska zewnętrznego, ubranie specjalne składa się z:

- warstwy zewnętrznej
- membrany
- warstwy termoizolującej
- podszewki.

Warstwa zewnętrzna może być wykonana z materiałów takich, jak:

- tkaniny aramidowe typu Nomex lub Kermel
- tkaniny poliamidowe typu PBO i PBI oraz
- impregnowane tkaniny bawełniane [13].

Tkaniny aramidowe oraz poliamidowe cechują się dużą wytrzymałością na temperaturę oraz płomienie [4]. Odzież ochronna z nich wykonana cechuje się odpornością także na czynniki chemiczne oraz na ścieranie⁴. Materiały te nie pękają pod wpływem temperatury, dzięki czemu nie dopuszczają do wnikania płomieni do wewnętrznych warstw ubrania [4].

Podstawowym materiałem konstrukcyjnym warstwy zewnętrznej stosowanym na świecie są obecnie tkaniny z włókien poliamidowych typu PBI i PBO. Tkaniny poliamidowe mają naturalny kolor, potocznie określane jako: złoty, piaskowy lub żółty. Bardzo trudno i nietrwale zabarwiają się na inne kolory. Jasny kolor tkaniny zewnętrznej wymusza częste pranie odzieży. Wpływa to pozytywnie na bezpieczeństwo strażaków, ponieważ uwalniane związki trujące, wynikające z rozpadu pożarowego substancji chemicznych (jakich obecnie jest mnóstwo w naszym otoczeniu), jak również substancje biologiczne, są usuwane w trakcie prania i nie wpływają szkodliwie na organizm.

Kolejną warstwą ubrania jest membrana (mikroporowata, wodoszczelna, paro-przepuszczalna), która zabezpiecza warstwę termoizolacyjną przed przemoczeniem z zewnątrz, a jednocześnie odpowiednio dobrana, pozwala na odparowanie potu strażaka. Membrana powinna zapewnić ochronę przed przemoczeniem przez co najmniej godzinę [3]. Przykładowe tworzywa, z których produkuje się membrany, to: PTFE (politetrafluoroetylen), PE (poliester) oraz PU (poliuretan).

Membrana nie powinna dopuścić do przemoczenia warstwy termoizolującej, która wówczas

traci parametry termoizolacyjności, a także dzięki możliwości odparowania potu chroni organizm użytkownika przed dodatkowym obciążeniem cieplnym. Penetracja wody do warstwy termoizolacyjnej powoduje spadek właściwości termoizolacyjnych w przemoczonych miejscach, grozi poparzeniem w wyniku promieniowania cieplnego, a podczas akcji w środowisku o temperaturze ujemnej grozi nadmiernym wyziębieniem organizmu. Wysoki opór przenikania pary wodnej prowadzi do zwiększonego ryzyka poparzenia nią [14-15]. Zgodnie z wymaganiami PN-EN 469:2014, w odniesieniu do poziomu 2 (tabela), opór pary wodnej dotyczący całego zestawu elementów lub zestawu wielowarstwowego odzieży nie powinien przekraczać 30 m² Pa/W [14].

Warstwa termoizolująca chroni strażaka przez wnikaniem promieniowania cieplnego do wnętrza ubrania. Wykonywana jest głównie z włókien: aramidowych, poliestrowych oraz aramidowo-wiskozowych.

Ostatnia warstwa – podszewka – występuje samodzielnie lub jako integralna część warstwy termoizolacyjnej (zapikowana z włókniną). Wykonywana jest najczęściej z mieszanek włókien aramidowo-wiskozowych, aczkolwiek spotyka się również 100% tkaniny aramidowe oraz odpowiednio zaimpregnowane 100% tkaniny bawełniane.

Każda z wymienionych warstw ma do spełnienia pewne zadanie ochronne. Izolacja termiczna redukuje przenikanie ciepła z zewnątrz, jednak ogranicza również przenikanie pary wodnej oraz wytwarzanego przez strażaka ciepła z wnętrza na zewnątrz ubrania, co stwarza dodatkowe obciążenie dla organizmu człowieka (rys. 2.), [14].

Badania własne izolacyjności cieplnej ubrania specjalnego dla strażaków

W celu przeprowadzenia analizy odczuć cieplnych (poprzez wskaźnik PMV) przeprowadzono badania izolacyjności cieplnej ubrania specjalnego dla strażaków z wykorzystaniem manekina termicznego Newton, wg zasad normy PN-EN ISO 15831 [16]. Do testów wytypowano ubranie specjalne SX-03, obecnie stosowane w PSP (jego szczegółowy opis przedstawiono poniżej).

Ubranie specjalne strażaka SX-03⁵ (fot.), wg producenta, spełnia wymagania m.in. normy EN 469:2005+A1:2006+AC:2006. Składa się z kurtki długości 3/4 i spodni wykonanych z:

- tkaniny zewnętrznej: 75% meta-aramid, 23% para-aramid, 2% włókna antystatyczne
- membrany: 50% melamina, 50% meta-aramid, powłoczenie 100% poliuretanem
- warstwy termoizolującej: 65% meta-aramid, 20% para-aramid, 15% polietylen
- podszewki: 100% bawełny trudnopalnej.

Ubranie ma ergonomiczny, komfortowy krój; uzyskano certyfikat oceny typu WE oraz świadectwo dopuszczenia CNBOP.

⁴ Odzież dla strażaków, opracowanie na stronie CIOP-PIB <http://archiwum.ciop.pl/1367.html> dostępny w dniu 5.12.2017 r.

⁵ <http://sklep998.pl/ubrania-specjalne/30-sx3-ubranie-specjalne-bojowe-strazackie.html> dostępny w dniu 5.12.2017 r.



Fot. Ubranie specjalne SX-03 na manekinie termicznym Newton (fot. autorki)
 Photo. The special clothing (SX-03) on the thermal manikin (Newton)

Wskaźnik PMV (*predicted mean vote*)

Tytułowy wskaźnik służy do oceny komfortu cieplnego. Zgodnie z zapisami PN-EN ISO 7730 [17], jest on funkcją wielu zmiennych. Obliczany jest wg następującego równania:

$$PMV = [0,303 \exp(-0,036 M) + 0,028] \cdot \{(M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5773 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 3,95 \cdot 10^{-8} \cdot f_d \cdot [(t_d + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_d \cdot h_d \cdot (t_d - t_a)\}$$

gdzie:

- M – tempo metabolizmu, W/m²
- W – efektywna moc mechaniczna, W/m²
- I_d – izolacyjność cieplna odzieży, m²·°C/W
- f_d – współczynnik powierzchni odzieży
- t_a – temperatura powietrza, °C
- t_r – temperatura promieniowania, °C
- p_a – ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa
- h_c – współczynnik konwekcji ciepła, W/(m²K)
- t_d – temperatura powierzchni odzieży, °C.

Analiza wskaźnika PMV w odniesieniu do badanej odzieży została wykonana za pomocą programu komputerowego, opartego na kodzie źródłowym zawartym w PN-EN ISO 7730 [17].

Badania izolacyjności cieplnej

W celu wyznaczenia izolacyjności cieplnej ubrania specjalnego, zastosowano manekin termiczny (typu Newton) oraz komorę klimatyczną (WEISS), [18]. Na specjalistyczną skórę manekina założono badane ubranie. Badania wykonano dwukrotnie.

Wartości izolacyjności cieplnej badanego ubrania specjalnego dla strażaków wynosiła:

- 1) zgodnie z metodą *serial*⁶ – 0,429±0,009 m²·°C/W,
- 2) zgodnie z metodą *paralell*⁷ – 0,274±0,002m²·°C/W.

Badania wykonywano w kontrolowanych warunkach w komorze klimatycznej, w temperaturze powietrza 12,4 °C (prędkość przepływu powietrza 0,42 m/s, wilgotność względna 51%).

Analiza symulowanych laboratoryjnie odczuć ciepłych i warunków odczuwania komfortu cieplnego (wskaźnik PMV) użytkowników stosujących ubranie specjalne

Na podstawie uzyskanych wartości izolacyjności cieplnej oszacowano wartość wskaźnika PMV. Według PN-EN ISO 7730 idealny zakres odczuwania komfortu cieplnego mieści się w granicach: -0,5 <PMV< +0,5; rozszerzony zakres komfortu cieplnego to -1 <PMV< +1, natomiast w przypadku wartości PMV< -2 i PMV> +2 odczuwalny jest dyskomfort cieplny (odpowiednio jako zimno i gorąco), [17]. Obliczenia wykonane zostały w odniesieniu do 4 klas tempa symulowanego metabolizmu człowieka: spoczynek (65 W/m²), praca lekka (100 W/m²), praca średnia (165 W/m²) i praca ciężka (230 W/m²) [17]. Obliczenia wykonano w odniesieniu do następujących założeń: t_s = t_r, prędkość przepływu powietrza V_a = 0,5 m/s oraz wartość wilgotności względnej powietrza RH = 50%.

Wyniki badań wartości wskaźnika PMV dotyczące ubrania specjalnego zamieszczono na rys. 3.

⁶ Metoda *serial* – metoda obliczania wartości izolacyjności cieplnej odzieży wg PN-EN ISO 15831 [16], jako suma izolacyjności cieplnych obliczonych dla poszczególnych segmentów.

⁷ Metoda *parallel* – metoda obliczania wartości izolacyjności cieplnej odzieży wg PN-EN ISO 15831 [16], traktująca manekina termicznego jako całość.

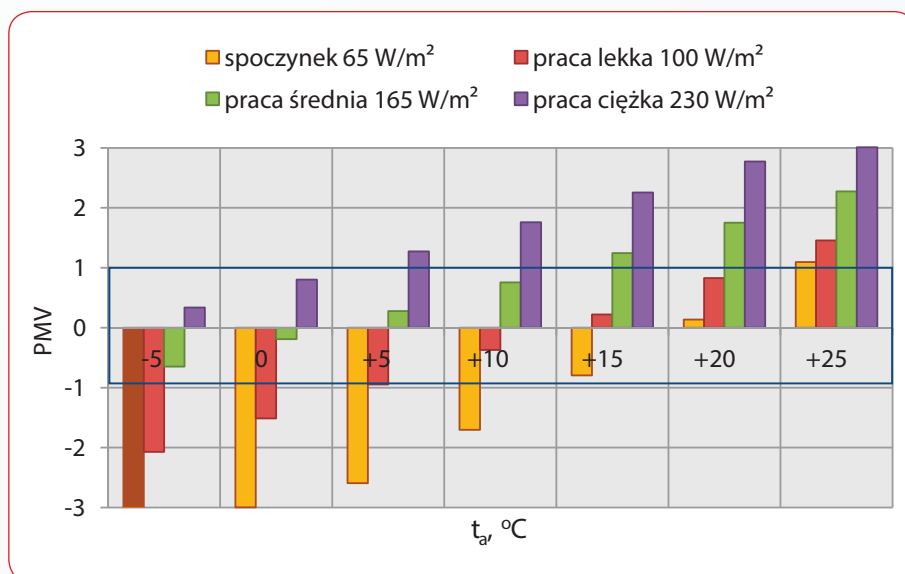
Na podstawie badań wyznaczono wartości temperatury powietrza, w stosunku do których użytkownik mógłby odczuwać komfort cieplny. W przypadku badanego ubrania specjalnego, rozszerzony zakres temperatury, w której odczuwany jest komfort cieplny, wyniósł +15 °C ÷ +25 °C w odniesieniu do osoby znajdującej się w stanie spoczynku. W sytuacji wykonywania pracy lekkiej zakres ten wyniósł +5 °C ÷ +20 °C, a w odniesieniu do pracy ciężkiej (czyli takiej, jaką zazwyczaj wykonują strażacy) – <-5 °C ÷ <+5 °C.

Należy zaznaczyć, że wyniki tej analizy dotyczą wyłącznie badanego ubrania specjalnego. W rzeczywistych warunkach pracy strażaka izolacyjność całego zestawu odzieży (wraz z butami, kominiarką, rękawicami oraz bielizną) jest o wiele większa, a zakresy temperatury, w których odczuwany może być komfort cieplny, będąc przesunięty w stronę jeszcze niższych wartości.

Podsumowanie

Na podstawie przedstawionych w artykule wyników badań można stwierdzić, że problem odczuwania dyskomfortu występuje podczas użytkowania przez strażaków ubrania specjalnego. Badania wykazały, że ubranie specjalne charakteryzuje wysoką wartością izolacyjności cieplnej równą 0,429 m²·°C/W (-2,8 clo, metoda *serial*). Należy zauważyć, że wartości te odnoszą się jedynie do ubrania specjalnego, bez dodatkowych warstw odzieży stosowanych pod ubraniem specjalnym, a także dodatkowego wyposażenia, jakim są buty, rękawice, kominiarka czy hełm strażacki. Dodatkowe elementy jedynie zwiększają wartość całkowitej izolacyjności cieplnej w odniesieniu do kompletnego zestawu odzieży stosowanego w czasie akcji. Podobną wartością izolacyjności cieplnej -2,8 clo cechuje się np. cały zestaw odzieży narciarskiej – jednoczęściowy kombinizon narciarski z kapturem, długa bielizna z ciepłego materiału, gogle, rękawice narciarskie, skarpety do kolan oraz ocieplane buty z cholewką [19].

Przeprowadzona ocena odczuć ciepłych i analiza warunków komfortu cieplnego (wskaźnik PMV) wskazała, że ubranie specjalne stanowi barierę w wymianie ciepła pomiędzy użytkownikiem a otoczeniem. Wykonywanie pracy przez strażaków (ubranych w ubranie specjalne) może odbywać się w warunkach komfortu cieplnego tylko wtedy, gdy temperatura otoczenia nie przekracza ok. 5 °C. Podczas prowadzenia akcji ratunkowych, w trakcie których stosowane jest ubranie specjalne, zakresy temperatury powietrza uznawane za komfortowe są często przekroczone, a więc strażacy odczuwają dyskomfort cieplny. Z jednej strony ubranie specjalne powinno chronić użytkownika przez wnikaniem ciepła z zewnątrz – wyższa wartość izolacyjności cieplnej jest więc pod tym względem wskazana. Z drugiej strony jednak, ubranie to stanowi także barierę w odprowadzaniu ciepła z ciała strażaka do otoczenia, powodując tym samym dodatkowe obciążenie cieplne dla organizmu.



Rys. 3. Wartość wskaźnika PMV w zależności od temperatury powietrza dla badanego ubrania specjalnego (oprac. własne)
Fig. 3. The PMV index depending on the air temperature for the tested special clothing

Stres termiczny, rozumiany jako obciążenie cieplne organizmu, powodowane m.in. wysoką temperaturą, wg D. Smith i in. może być przyczyną problemów układu krążenia (np. zawałów serca wśród strażaków), jak również powodem najczęstszych urazów wśród strażaków, czyli upadków, potknięć czy poślizgnięć [20]. W czasie pracy w wysokiej temperaturze uruchamiane są w organizmie człowieka procesy fizjologiczne, mające na celu obniżenie temperatury ciała. Nadmierny wzrost temperatury ciała może spowodować obniżenie zdolności do oceny sytuacji i prowadzić do popełniania błędów przy pracy. Podwyższona temperatura powietrza i ograniczona przez ubranie specjalne wymiana ciepła powodują wzmożoną aktywność gruczołów potowych, czego efektem jest wydzielanie potu z powierzchni skóry, który odparowując, powoduje obniżenie jej temperatury [21]. Ważny jest zatem aspekt prawidłowego odprowadzania potu z powierzchni skóry, np. przez odpowiedni dobór membrany, lecz również innych elementów, odbierających nadmiar wytworzonego przez organizm ciepła [22-24].

Bardzo istotną cechą dla strażaka jest również ergonomiczność ubrania specjalnego, zarówno podczas jego użytkowania w czasie działań ratowniczo-gaśniczych, jak też zakładania i zdejmowania. Ubranie, które krępuje ruchy strażaka, przyczynia się do wzrostu poziomu stresu i ograniczeń ruchu podczas wykonywania takich czynności, jak np. pomoc poszkodowanemu czy penetrowanie ciasnych przestrzeni w poszukiwaniu poszkodowanych.

Z analizy przedstawionych w artykule dokumentów wynika, że w Polsce dąży się do obniżenia całkowitej masy ubrania i, co za tym idzie, gramatury materiałów konstrukcyjnych. Ostatni dokument obowiązujący w PSP określał maksymalną masę ubrania na 3,8 kg. Jednak światowe i europejskie tendencje w konstrukcji ubrań specjalnych zdają się nie zauważać problemu

całkowitej masy odzieży. Nowoczesne, dobrze skrojone ubranie strażackie, grube i ciężkie tam, gdzie występuje zwiększone zagrożenie, oraz lekkie i cienkie w sytuacjach, gdzie wzmożona ochrona nie jest wymagana, często waży ok. 50 N (masa 5 kg). Mimo to, użytkownicy nie zauważają zwiększonej masy ubrania, ponieważ komfort pracy, poziom ochrony i swoboda ruchu, którą zapewnia tak skonstruowane ubranie, niwelują niedogodność wynikającą ze zwiększonego ciężaru ubrania.

Ciągłe poszukiwane są też nowe rozwiązania, materiały i konstrukcje ubrań specjalnych, pozwalające na jak najlepszą ochronę strażaka przed czynnikami środowiska zewnętrznego, redukcję stresu termicznego oraz poprawę komfortu pracy.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Oprac. rob. *Gaszenie pożarów – wybrane zagrożenia* cz. 1. „Atest” 2013, 6:54-55
- [2] Chojacka A., Sudół-Szopińska I. *Komfort termiczny w pomieszczeniach biurowych w aspekcie obowiązujących norm*, „Bezpieczeństwo Pracy” 2007, 6:16-19
- [3] Sawicki T. *Środki ochrony indywidualnej strażaków* cz. 3, „ATEST” 2013, 9:20-23
- [4] Jaworski M., Zboina J. *Standardy CNBOP-PIB Ochrona przeciwpożarowa. Ocena zgodności w procesie dopuszczenia. Wyposażenie i uzbrojenie osobiste strażaka Ubrania specjalne*, CNBOP-PIB-0017, luty 2012 (<https://www.cnbop.pl/uslugi/swiadectwa-dopuszczenia/standardy/cnbop-pib-00172012.pdf> dostępne w dniu 05.12.2017 r.)
- [5] PN-EN 469 *Odzież ochronna dla strażaków – wymagania użytkowe dotyczące odzieży ochronnej przeznaczonej do akcji przeciwpożarowej*
- [6] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 30 listopada 2005 r. w sprawie umundurowania strażaków Państwowej Straży Pożarnej (Dz.U. 2006 nr 4 poz. 25)
- [7] Zarządzenie Komendanta Głównego PSP z dnia 5 lutego 2007 r. w sprawie wzorców oraz szczegółowych wymagań, cech technicznych i jakościowych przedmiotów umundurowania, odzieży specjalnej i środków ochrony indywidualnej użytkowanych w PSP, Karta techniczna 43 (Dziennik Urzędowy Komendy Głównej PSP Nr 2, z 23.10.2009 r. poz. 17)

[8] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 27 kwietnia 2010 r. w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania (Dz.U. z 2010 r., Nr 85, poz. 553)

[9] prEN ISO 9151 *Protective clothing against heat and flame – Determination of heat transmission on exposure to flame*

[10] EN ISO 6942 *Odzież ochronna. Ochrona przed gorącym i ogniem. Metoda badania: Ocena materiałów i zestawów materiałów poddanych działaniu promieniowania cieplnego*

[11] EN 20811 *Tekstylnia – Wyznaczanie wodoszczelności – Metoda ciśnienia hydrostatycznego*

[12] EN 31092 *Tekstylnia – Wyznaczanie właściwości fizjologicznych – Pomiar oporu cieplnego i oporu pary wodnej w warunkach stanu ustalonego (metoda pocącej się izolowanej cieplnie płyty)*

[13] Song G., Mandal S., Rossi R. *Introduction in Thermal Protective Clothing for Firefighters*. 1st Edition, Woodhead Publishing, 2016

[14] Jaworski M. *Nowe wymagania dla uniwersalnych ubrań specjalnych przeznaczonych dla straży pożarnej wynikające z nowej normy PN-EN 469:2006 odzież ochronna dla strażaków – wymagania dotyczące odzieży ochronnej przeznaczonej do akcji przeciwpożarowej*. Kwartalnik naukowy „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” (Safety & Fire Technique) 2006, 2:171-189

[15] Barker R. L., Guerth-Schacher C., Grimes R. V., Hamouda H. *Effects of Moisture on the Thermal Protective Performance of Firefighter Protective Clothing in Low-level Radiant Heat Exposures*. „Textile Research Journal” 2006, 76, 1:27-31

[16] PN-EN ISO 15831:2006 *Odzież – Właściwości fizjologiczne – Pomiar izolacyjności cieplnej z zastosowaniem manekina termicznego*

[17] PN-EN ISO 7730:2006 *Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczenie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów miejscowego komfortu termicznego*

[18] Zwolińska M., Bogdan A. *Izolacyjność cieplna odzieży*. „Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka” 2010, 461, 2:17-20

[19] PN-EN ISO 9920 *Ergonomia środowiska termicznego – Szacowanie izolacyjności cieplnej i oporu pary wodnej zestawów odzieży*

[20] Smith D., Horn G., Goldstein E., Petruzzello S. *Firefighter fatalities. The role of heat stress and PPE*. Firefighter Life Safety Research Center, Illinois Fire Service Institute, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2008

[21] *Stres termiczny przyczyną śmierci strażaków*. Oprac. rob. „Atest” 2013, 5: 22-23

[22] Zhang H., Sing G., Su H., Ren H., Cao J. *An exploration of enhancing thermal protective clothing performance by incorporating aerogel and phase change materials*. „Fire and Materials” 2017, 1-11, DOI: 10.1002/fam.2435

[23] Hemmatjo R., Motamedzade M., Alibadi M., Kalatpour O., Farhadian M. *The effect of practical cooling strategies on physiological response and cognitive function during simulated firefighting tasks*. „Health Promotion Perspective” 2017, 7, 2:66-73 DOI: 10.15171/hpp.2017.13

[24] Smolander J., Kuklane K., Gavhed, D., Nilsson, H., Holmer, I. *Effectiveness of a Light-Weight Ice-Vest for Body Cooling While Wearing Fire Fighter's Protective Clothing in the Heat*. „International Journal of Occupational Safety and Ergonomics” 2004, 10 (2): 111-117 DOI: 10.1080/10803548.2004.11076599

Publikacja opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach IV etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017-2019 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.