

dr inż. Jan Gielżecki

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

kpt. mgr inż. Marta Godniowska

st. bryg. dr inż. Bogusław Kogut

kpt. mgr inż. Tyberiusz Koniuch

st. kpt. mgr inż. Artur Szewczyk

st. bryg. dr inż. Robert Marcin Wolański

mł. bryg. mgr inż. Zbigniew Wójcik

Szkoła Aspirantów Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie

Badania materiałów ochron osobistych poddanych oddziaływaniu płomienia

Streszczenie

W artykule przedstawiono uwarunkowania realizacji badań jednego z popularniejszych tematów, jakim jest badanie odporności na działanie płomienia. Stanowisko i opracowana metodologia ukierunkowana jest na badanie wyrobów tekstylnych dedykowanych do zastosowań w konstrukcjach ochron osobistych na przykładzie tzw. ubrania specjalnego (wg normy PN-EN 469: 2008). Realizując program projektu rozwojowego z konkursu Bezpieczeństwo i Obronność „Nr O ROB/0011/03/001 „Opracowanie innowacyjnego sytemu stanowisk do badań ochron osobistych”, zespół specjalizujący się w badaniu obciążeń cieplnych pochodzących od płomienia opracowały nowatorską konstrukcję stanowiska z aktualnie najnowocześniejszym oprzyrządowaniem i aparaturą. Opracowana metodologia umożliwi badanie wpływu płomienia na pakiety materiałowe stosowane do budowy ubrań ochronnych. Jednym z kluczowych zadań ubrań specjalnych opartych konstrukcyjnie na ww. pakietach materiałowych jest tworzenie skutecznej bariery blokującej przepływ ciepła pochodzącego od płomienia w kierunku chronionego ciała strażaka. Ocena skuteczności prowadzona jest poprzez odniesienia do stosownych wartości krytycznych w kontekście normowym (weryfikacyjnym) i pozanormowym inżynierskim. Przykładami wyznaczanych metodologicznie parametrów są:

- czas przejścia strumienia ciepłego przez próbkę, czyli czas po którym wystąpi oparzenie II stopnia ciała chronionego ratownika,
- strumień ciepła przechodzący przez próbkę pakietu materiałowego i padający na symulowane ciało ratownika podczas badania,
- ilość przekazanej od płomienia energii.

W artykule przedstawiono wybrane wyniki pomiarów uzyskiwanych podczas badań testowych stanowiska.

Słowa kluczowe: Odporność na płomień, pakiety materiałowe, strażackie ubrania specjalne

The Study of the Effects of Flames on the Materials Used in the Protective Clothing

Abstract

The article presents the conditions of the implementation of one of the most popular research topics which is the study of resistance to flame. The stand and the developed methodology have focused on the study of textile products used in the personal protection constructions on the example of the so-called special clothes (acc. to the PN-EN 469: 2008 [1] standard). Carrying out the program of the developmental project from the 'Security and Defense' competition "No. ROB/0011/03/001" called 'Development of an innovative stands system for testing personal protection', the groups specialized in the study of thermal overloads produced by the flame, developed a novel design stand with currently the most modern instrumentation and apparatus.

The developed methodology allows to study the effects of the flame on the materials packages used in the protective clothing.

One of the key tasks of special clothes structurally based on ,the above mentioned, material packages is to create an effective barrier blocking the flow of heat from the flame directed to the protected firefighter's body.

The evaluation of the effectiveness is conducted by the reference to the relevant critical values in the quota context (verification) and non-quota engineering. The examples of the methodological appointed parameters are as follows:

- transition time of the heat flow through the sample, or the time after which the second degree burns of the protected firefighter's body occur,
- heat flux passing through the sample package of the material and falling to the simulated rescuer's body during the test,
- the amount of energy transferred from the flame.

The article presents selected results of the measurements obtained during the stand testing.

Keywords: flame resistance, packages of materials, fire special clothing (firefighting suit)

WSTĘP

Stanowisko do badania obciążeń cieplnych tekstylnych elementów ochron osobistych (głównie ubrań specjalnych) strażaków poddanych oddziaływaniu płomienia zlokalizowane jest obecnie na terenie Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego w Józefowie. Jego konstrukcję, budowę i testowanie na próbkach wyselekcjonowanych z powszechnie stosowanych ubrań specjalnych strażaków prowadził zespół złożony z członków konsorcjum: Politechniki Warszawskiej, Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej oraz Szkoły Aspirantów Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie.

1. STANOWISKO DO BADANIA OBCIĄŻEŃ CIEPLNYCH ELEMENTÓW OCHRON OSOBISTYCH PODDANYCH ODDZIAŁYWANIU PŁOMIENIA

Stanowisko służy do badania odporności próbek pakietów materiałowych i opcjonalnie pojedynczych warstw tkanin stosowanych w konstrukcji odzieży ochronnej dla służb ratowniczych na działanie płomienia. Pomiaru na stanowisku mają pozwolić na określenie właściwości ochronnych tekstylnych elementów ochron osobistych poddanych bezpośrednio oddziaływaniu płomienia, w szczególności ubrań specjalnych.

Stanowisko umożliwia w drodze pomiaru określenie parametrów:

- czasu przejścia strumienia cieplnego przez próbkę odpowiadającego wystąpieniu oparzenia II stopnia chronionego ciała ratownika (wg metody Stolla [2]),
- czas wystąpienia oparzenia II stopnia wg kryterium Henriquesa [3],
- temperatury podczas badania na symulowanym ciele strażaka,

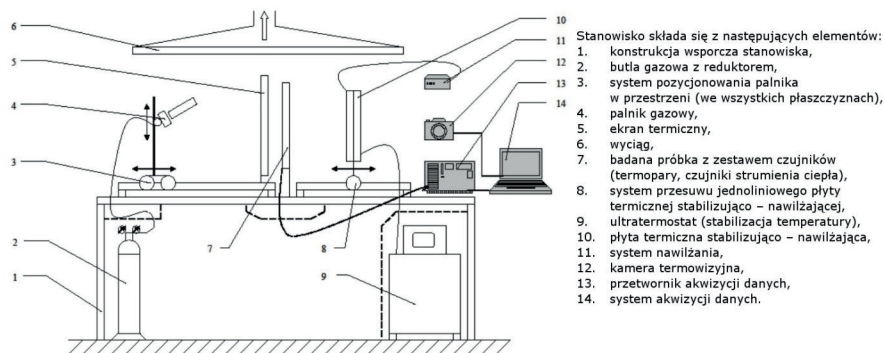
- temperatury na powierzchniach poszczególnych warstw w trakcie pomiaru,
- strumienia ciepła przechodzącego przez próbkę elementów ochron osobistych i docierającego do symulowanego ciała ratownika podczas badania,
- ilości zakumulowanej energii w próbce.

2. BUDOWA STANOWISKA (PODSTAWOWE ELEMENTY, OPROGRAMOWANIE)

W skład stanowiska badawczego (rys. 1 i 2) do badania materiałów poddawanych oddziaływaniu płomienia wchodzi:

- 1) konstrukcja nośna wraz z oprzyrządowaniem podnosząca płaszczyznę pomiaru na wysokość dogodną dla prowadzącego pomiar oraz utwierdzająca resztę elementów w przestrzeni,
- 2) mechanizmy przesuwne umożliwiające zmianę położenia płyty stabilizującej oraz palnika wraz z ich mocowaniami,
- 3) płyta stabilizująca wraz z nakładką symulującą ciało człowieka,
- 4) palnik będący źródłem wymuszenia oddziaływania cieplnego,
- 5) kalorymetr służący do określenia mocy cieplnej płomienia wykonany według normy PN-EN 367,
- 6) mocowanie kalorymetru umożliwiające usytuowanie kalorymetru w osi płomienia na czas kalibracji,
- 7) próbka będąca pakietem materiałów osłon osobistych lub pojedynczym materiałem,
- 8) rama napinająca i podtrzymująca próbkę,
- 9) mocowanie ramy próbki umożliwiające zainstalowanie próbki wraz z ramą w pozycji między palnikiem, a płytą stabilizującą,
- 10) kurtyna (ekran termiczny) umożliwiająca uniknięcie ekspozycji próbki na wymuszenie przed rozpoczęciem pomiaru,
- 11) cienkowarstwowy miernik HFS firmy OMEGA [3] mierzący gęstość strumienia ciepła przenikającego przez próbkę,
- 12) miernik SGB mierzący gęstość strumienia ciepła przenikającego przez próbkę dla sytuacji bez płyty stabilizującej,
- 13) mocowanie miernika SGB,
- 14) termopary typu K,

- 15) układ akwizycji danych, w którego skład wchodzi komputer, obudowa NI PXIe-1073, moduł termopar NI PXIe-4353, izolowany terminal przyłączeniowy NI TB-4353, oprogramowanie dedykowane do stanowiska,
- 16) ultratermostat umożliwiający utrzymanie stałej temperatury płyty stabilizującej przed rozpoczęciem pomiaru.



Rys. 1. Schemat blokowy stanowiska do badania próbek pakietów materiałowych ubrań ochronnych poddanych oddziaływaniu płomienia



Rys. 2. Stanowisko pomiarowe do badania próbek pakietów materiałowych ubrań ochronnych poddanych oddziaływaniu płomienia

2.1. Rozwiązania innowacyjne

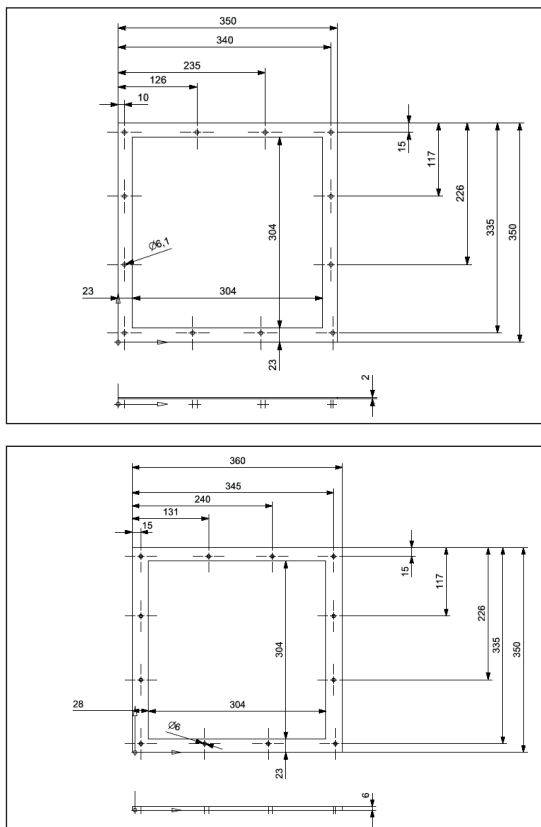
W ramach budowy stanowiska do badań obciążeń cieplnych elementów ochron osobistych poddanych działaniu płomienia powstały autorskie, innowacyjne rozwiązania elementów wyposażenia. Do takich elementów można zaliczyć zarówno części stałe, takie jak płytę ceramiczną, symulującą skórę ratownika, płytę termiczną stabilizująco-nawilżającą, palnik, ramki montażowe, jak również oprogramowanie wraz systemem pomiarowym i akwizycji danych oraz wypracowanymi kryteriami oceny skuteczności ochron osobistych. Do elementów innowacyjnych należy możliwość nawilżania ochron badanych na tym stanowisku, oraz zalecenie badania próbek ochron uprzednio nawilżonych (10% wagowo). Innowacyjnym, w stosunku do aktualnych norm, jest zastosowanie całki Henriques'a, jako kryterium ryzyka oparzenia II stopnia i tym samym kryterium oceny skuteczności badanych ochron. Jednocześnie, na stanowisku podczas pomiarów wyznaczany jest aktualnie stosowany w badaniach normowych parametr HTI (czasu oddziaływania strumienia ciepła przez próbkę, odpowiadającego wystąpieniu oparzenia II stopnia chronionego ciała ratownika).

3. PARAMETRY TECHNICZNE KLUCZOWYCH ELEMENTÓW STANOWISKA BADAWCZEGO

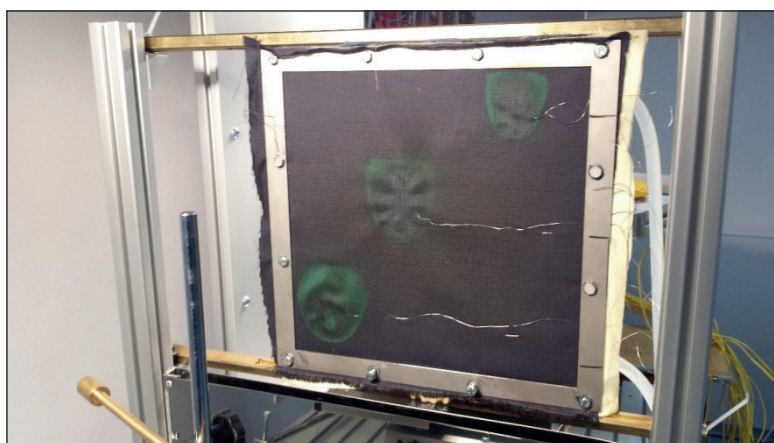
3.1. Ramka mocująca

Ramki wykonane ze stali nierdzewnej służą do naciągania i mocowania próbek badanych materiałów i pakietów materiałowych (rys. 3 i 4). Każda z ramek składa się z dwóch elementów. Pierwszym jest element bazowy posiadający nagwintowane otwory ϕ 6 mm. Umożliwiają one wkręcenie śrub, które służą do rozpięcia i zamocowania próbki materiałowej, a także pozwalają na połączenie z drugim elementem ramki jakim jest element dociskowy. Ramki mocujące przystosowane są do montażu w prowadnicach na stanowisku badawczym.

Badaną próbkę należy przyciąć do wymiaru 350 mm \times 350 mm. W jednym z naroży należy wykonać otwór i następnie przepuścić przez niego jedną z narożnych śrub wkręconych w ramkę. Następnie kwadratową próbkę należy dopasować kształtem do ramki i wykonać kolejny otwór w narożu na tym samym boku, bądź po przekątnej. Należy uwzględnić odpowiednie napięcie próbki. Zaleca się naprzemienne wykonywanie kolejnych otworów.



Rys. 3. Schemat ramek mocujących



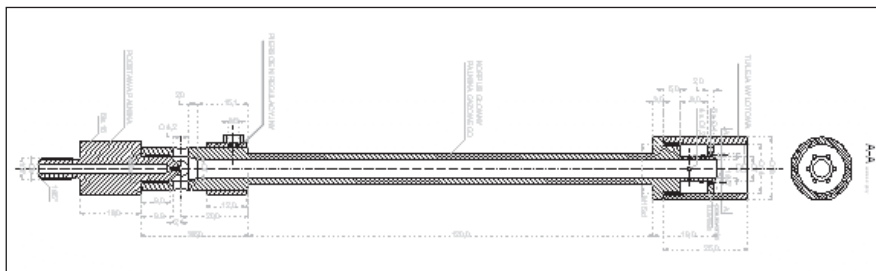
Rys. 4. Widok ramki mocującej pakiet materiałowy zamontowanej na stanowisku badawczym

3.2. Palnik

Jako źródło ciepła wybrano palnik (konstrukcja własna Instytutu Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej – rys. 5 i 6) charakteryzujący się:

- regulacją wysokości płomienia poprzez zastosowanie reduktora oraz dodatkowego zaworu kulowego,
- konstrukcją umożliwiającą pionowe przemieszczanie się palnika, co umożliwia oddziaływanie płomienia zarówno na górną jak i na dolną część badanej próbki,
- konstrukcją umożliwiającą pozycjonowanie palnika w różnych odległościach od próbki,
- konstrukcją palnika umożliwiającą odchylenie go od pionu,
- zasilany paliwem gazowym (propan, czysty metan techniczny).

W skład konstrukcji palnika (rys. 5 i 6) wchodzi następujące elementy:



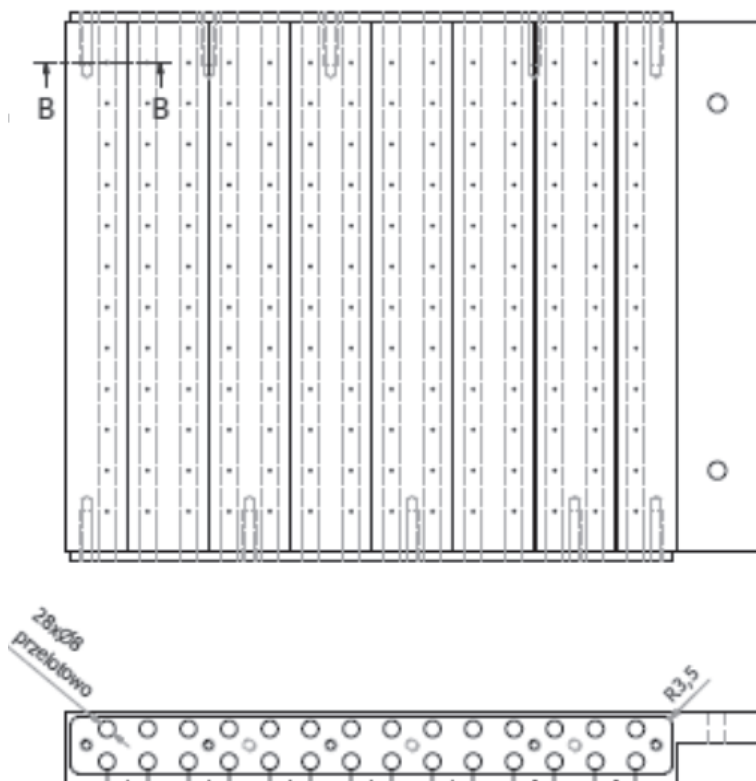
Rys. 5. Schemat palnika gazowego



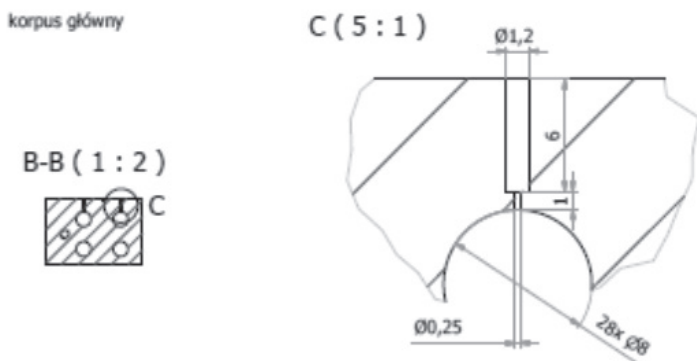
Rys. 6. Widok palnika gazowego

3.3. Płyta termiczna stabilizująco-nawilżająca

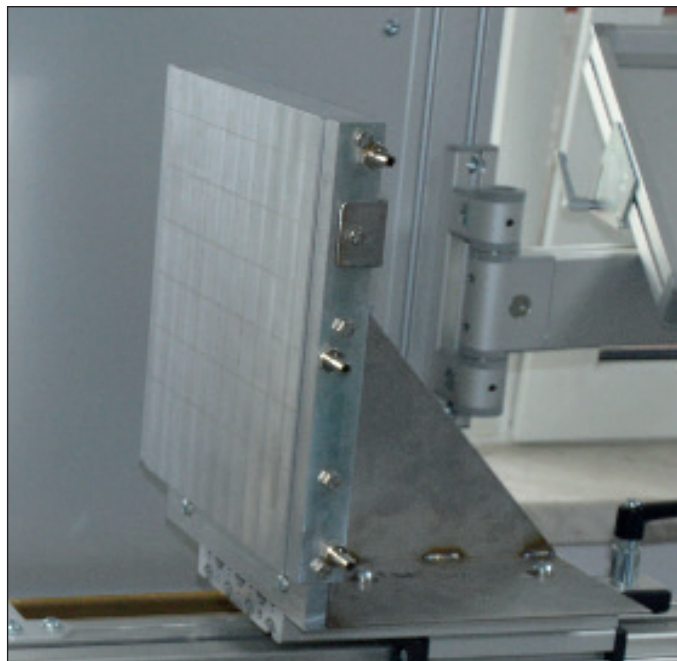
Płyta termiczna stabilizująco – nawilżająca ma za zadanie umożliwić symulację parametrów termodynamicznych wewnątrz ubrania ochronnego tj. po stronie wewnętrznej próbki (rys. 7 i 9). Jest to realizowane przez kanały wodne (rys. 8) zasilane z ultratermostatu. Pozwala ona na regulację parametrów takich jak temperatura oraz wilgotność, symuluje to zjawisko pocenia się strażaka w trakcie badania oraz przepływu wilgoci w ubraniu. Jest to możliwe dzięki specjalnemu systemowi kanałów – punktów zraszających zasilanych z pompy perystaltycznej. Zasilanie czynnika roboczego realizowane jest przyłączem dolnym, przyłącze środkowe umożliwia wprowadzenie czynnika zwilżającego (rys. 9). Rowki poprzeczne na płycie umożliwiają wprowadzenie termopar. Płyta jest także wykorzystywana jako ścianka pomocnicza do pomiaru gęstości strumienia ciepła.



Rys. 7. Schemat płyty termicznej stabilizująco-nawilżającej



Rys. 8. Kanały wodne płyty termicznej stabilizująco-nawilżającej

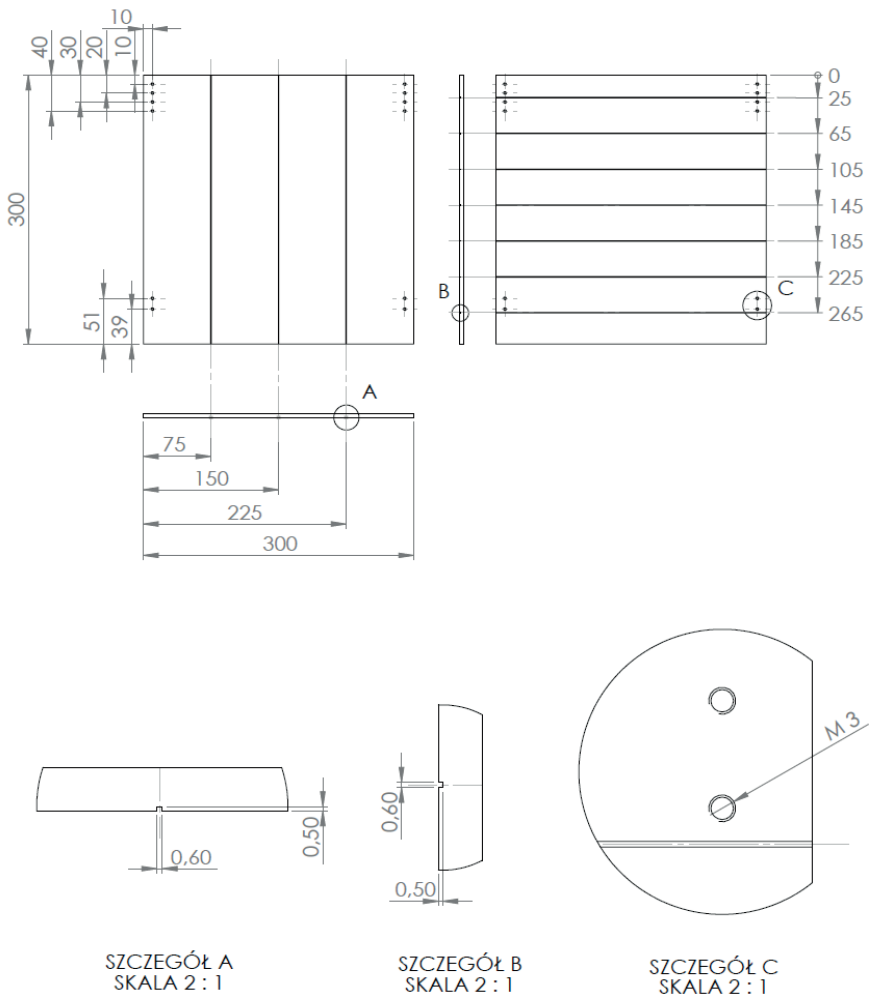


Rys. 9. Widok płyty termicznej stabilizująco-nawilżającej

3.4. Nakładka ceramiczna

W badaniach użyto nakładki wykonanej z ceramiki MACOR, dzięki dyfuzyjności zbliżonej do skóry ludzkiej ma ona za zadanie umożliwić symulację warunków wymiany ciepła wewnątrz ubrania ochronnego tj. po stronie

wewnętrznej próbki. W celu poprawy absorpcji promieniowania (emisyjność i absorpcyjność skóry ludzkiej w zakresie bliskiej podczerwieni są zbliżone do jedności) powierzchnia została pokryta cienką warstwą grafitu. Na powierzchni zewnętrznej płyty wykonano 7 kanałów, na powierzchni wewnętrznej 3 kanały (rys. 10) umożliwiające zamocowanie termopar. Takie umieszczenie termopar umożliwia wykorzystanie nakładki jako ścianki pomocniczej przy określaniu gęstości strumienia ciepła przenikającego przez próbkę, np. zestaw komponentów.



Rys. 10. Rysunek wykonawczy płyty MACOR

3.5. Termopara

Pomiar temperatury na stanowisku zrealizowany został poprzez zastosowanie termopar płaszczowych typu K o średnicy 0,25 mm i 0,5 mm z miniaturową szybkozłączką firmy OMEGA (rys. 11).

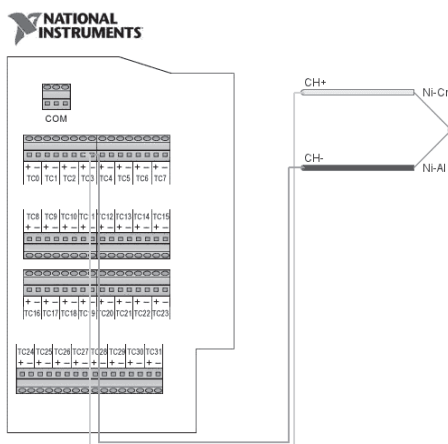


Rys. 11. Termopara firmy Omega wraz z miniaturowymi szybkozłączkami

Źródło: [3]

Termopary typu K zostały wybrane do pomiarów ze względu na szeroki zakres pomiarowy, do 1350°C. Tak szeroki zakres pozwala na pomiar temperatury próbek nawet przy wysokim poziomie gęstości strumienia ciepła.

Sygnal napięciowy z termopar odczytywany jest za pomocą modułu pomiarowego firmy National Instruments (NI), w którego skład wchodzi: obudowa NI PXIe 1073 oraz moduł termoparowy PXIe 4353 wraz z terminalem przyłączeniowym TB 4353. Połączenie termopar z układem akwizycji odbywa się w terminalu przyłączeniowym zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 12.



Rys. 12. Schemat połączenia termopary z układem akwizycji danych

Źródło: [4]

3.6. Kalorymetr

Kalorymetr umieszcza się w określonej odległości od końcówki palnika (podstawy płomienia). Moc palnika reguluje się zaworem redukcyjnym. Umocowany na statywie kalorymetr powinien być usytuowany tak, by jego płaszczyzna robocza była zorientowana prostopadle do osi wzdłużnej palnika. Po przeciwnej od palnika stronie wyprowadzony jest przewód termopary.

Po wystawieniu kalorymetru na oddziaływanie płomienia rejestrowane są zmiany temperatury kalorymetru. Z liniowego odcinka otrzymanej charakterystyki można określić gęstość strumienia ciepła znając pole powierzchni, masę i ciepło właściwe materiału kalorymetru. Kalorymetr stanowi płytką miedzianą o parametrach przedstawionych w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry kalorymetru miedzianego

masa, g	grubość, mm	średnica, mm	materiał
18	1,6	40	miedź (min. 99 %)

Źródło: [5]

Kalorymetr jest zintegrowany z termoparą typu T (rys. 13).



Rys. 13. Kalorymetr zintegrowany z termoparą typu T

Źródło:[5]

3.7. Miernik HFS

Czujnik HFS jest czujnikiem typu cienkowarstwowego (rys. 14). Oznacza to, iż został on wykonany na materiale minimalnej możliwej grubości („cienki film”). Umożliwia to jego umieszczenie pomiędzy elementami składowymi stanowisk badawczych. Pozwala także na jego umiejscowienie, a co za tym idzie pomiar gęstości strumienia ciepła np. pomiędzy warstwami badanego materiału. Możliwym też jest pomiar strumienia na krzywiznach.

Na stanowisku badawczym czujnik HFS został przyklejony folią termoprzewodzącą do powierzchni płyty stabilizującej i podłączono do karty akwizycji danych. W tabeli 2 przedstawiono dane dotyczące modelu czujnika HFS – 4 firmy OMEGA:

Tabela 2. Dane eksploatacyjne czujnika HFS – 4 firmy OMEGA

czułość	spadek temperatury na grubości czujnika,	pojemność cieplna czujnika	czas odpowiedzi	grubość
$\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$	$^{\circ}\text{C}/\text{W}/\text{m}^2$	$\text{J}/\text{m}^2\text{C}$	s	μm
2	0,002	1000	0,6	177,8

Źródło: [3]



Rys. 14. Widok cienkowarstwowego czujnika gęstości strumienia ciepła HFS

Źródło: [3]

3.8. Oprogramowanie

Program do akwizycji danych ze stanowiska został napisany w środowisku Lab View. Jego podstawowym zadaniem jest odczyt sygnałów pomiarowych

ze stanowiska. Dodatkowo umożliwia on wizualizację wyników w czasie rzeczywistym oraz zapis danych na dysku w komputerze w celu późniejszej obróbki i analizy. W programie zostały zawarte elementy umożliwiające sprawną obsługę stanowiska oraz interpretację wyników już w trakcie pomiaru. Zaimplementowane zostały moduły, które poddają analizie ilość energii, która przenika przez zestaw materiałowy, a następnie wyrażają je w postaci współczynników porównawczych takich jak HTI (Heat Transfer Index) oraz wartość całki Henriques'a.

Program umożliwia podgląd przebiegów wartości parametrów krytycznych z punktu widzenia badania, to jest temperatury na płycie stabilizującej oraz wartości gęstości strumienia ciepła, podgląd wartości całek Henriques'a oraz współczynnika HTI wyliczanych przez program wraz z diodą sygnalizującą osiągnięcie wartości krytycznej całki Henriques'a odpowiadającą oparzeniu II stopnia.

3.9. Układ stabilizacji temperatury

Na stanowisku pomiarowym zastosowano układ stabilizacji temperatury po stronie wewnętrznej próbek pakietów materiałowych w postaci ultratermostatu PolyScience AP15R-30-A12E (rys. 15). Układ ten służy do otrzymania zadanej temperatury i utrzymania jej.



Rys. 15. Ultratermostat PolyScience AP15R-30-A12E

Źródło: [6]

4. PONADNORMATYWNE PROCEDURY BADAWCZE REALIZOWANE NA STANOWISKU

Wraz z projektem i budową stanowiska do badania obciążeń cieplnych elementów ochron osobistych poddanych oddziaływaniu płomienia opracowana została również autorska procedura przeprowadzania badań. Zbudowane stanowisko umożliwi przeprowadzenie badań ochron osobistych pod względem ograniczonego rozprzestrzeniania płomienia zgodnie z normą PN-EN ISO 15025 [7], a także pozanormatywnie według opracowanej metody [1, 5]. W ramach opracowania innowacyjnego systemu stanowisk do badań ochron osobistych opracowano:

- pozanormatywne metody wykonywania, znakowania i aklimatyzacji próbek,
- mocowania próbek na stanowisku pomiarowym,
- montażu pakietów materiałowych w ramach montażowych,
- poddawania próbki oddziaływaniu cieplnemu wraz z symulacją temperatury ciała po stronie wewnętrznej ubrania/próbki (oraz symulacja wilgotności lub próbki wstępnie nawilżonej) wraz z pomiarem i akwizycją danych (temperatura, strumień ciepła) w czasie rzeczywistym oraz opracowaniem wyników (wizualizacja rozkładu temperatur, strumienia ciepła, analiza wyników).

4.1. Pomiar właściwy

Pomiaru dokonujemy z wykorzystaniem wykalibrowanego wcześniej palnika (to samo ciśnienie i paliwo) pamiętając, aby przed rozpoczęciem pomiaru ekran termiczny był podniesiony. Po włączeniu palnika i ustabilizowaniu płomienia oraz włączeniu zapisu danych do systemu akwizycji danych, opuszczamy ekran termiczny. Płomień kierujemy na powierzchnię badanej próbki w miejsce, w którym znajdują się termopary. Należy pamiętać o utrzymaniu tej samej odległości krawędzi palnika od próbki, co w trakcie kalibracji. Palnik utrzymujemy w tej pozycji do momentu wystąpienia 60°C na powierzchni płyty stabilizującej. Następnie podnoszony jest ekran termiczny oraz odcinamy dopływ paliwa do palnika. Algorytm wykonywania badań materiałów ochron osobistych poddanych oddziaływania płomienia przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Algorytm wykonywanych badań

1) Przygotowanie próbki pakietu materiałowego
a. wybór próbki pakietu materiałowego przeznaczonego do badania
b. wycięcie próbki o wymiarach 350 × 350 mm
c. zamocowanie pakietu materiałowego w ramce stabilizującej
d. przymocowanie termopar typu K do poszczególnych warstw pakietu materiałowego
e. skręcenie ramki stabilizującej
f. zabezpieczenie wtyczek połączeniowych termopar przed negatywnym wpływem wilgoci
g. umieszczenie przygotowanych próbek w szafie klimatycznej
h. ustawienie parametrów klimatycznych szafy
<ul style="list-style-type: none"> • próbki suche: 24 godziny w stałej temperaturze (20 ± 2) °C i wilgotności względnej (65 ± 2) % • próbki mokre: 24 godziny w stałej temperaturze (20 ± 2) °C i wilgotności względnej (95 ± 2) %
2) Przygotowanie stanowiska pomiarowego zgodnie z instrukcją stanowiskową
a. włączyć zasilanie elektryczne stanowiska
b. uruchomienie aplikacji obsługowo-pomiarowej
c. sprawdzenie poprawności działania aparatury kontrolno-pomiarowej, poprawności odczytów z termopar oraz mierników gęstości strumienia
d. wybór parametrów przewidzianych do zapisu
e. uruchomienie ultratermostatu w celu stabilizacji temperatury płyty termiczno-stabilizująco-nawilżającej. Ustalenie temperatury na poziomie 34°C
f. otwarcie źródła zasilania palnika gazowego oraz nastawienie zadanych parametrów ciśnienia gazu na reduktorze (opcjonalnie kalibracja płomienia)
Zależność gęstości strumienia ciepła od ciśnienia gazu na reduktorze:
0,2 bar – 38 kW/m ²
0,4 bar – 42 kW/m ²
0,6 bar – 47 kW/m ²
0,8 bar – 54 kW/m ²

cd. Tabeli 3.

g. dosunięcie dyszy palnika na odległość 10,5 cm od płaszczyzny próbki
h. podniesienie ekranu termicznego
i. montaż próbki na stanowisku
j. podłączenie czujników termopar do zestawu akwizycji danych
k. ustawienie płyty termiczno-stabilizująco-nawilżającej od strony wewnętrznej badanego pakietu materiałowego
l. uruchomienie wentylatora wyciągowego
3) Przebieg badania
a. rozpoczęcie akwizycji danych pomiarowych
b. opuszczenie ekranu termicznego
c. nakierowanie płomienia na punkt pomiarowy
d. zapis danych pomiarowych do momentu spełnienia warunku Henriquesa
4) Zakończenie badania
a. odsunięcie i zgaszenie palnika
b. podniesienie ekranu termicznego
c. zakończenie akwizycji danych pomiarowych
d. odsunięcie płyty termiczno-stabilizująco-nawilżającej od badanego pakietu materiałowego
e. demontaż próbki (po ustabilizowaniu parametrów temperaturowych)
f. wyłączenie wentylatora wyciągowego
g. odłączenie zasilania stanowiska

5. PRZYKŁADOWE, REPREZENTATYWNE WYNIKI BADAŃ OCHRON OSOBISTYCH

Zaprezentowane przykładowe wyniki dotyczą czterowarstwowych zestawów komponentów tkanin odzieży ochronnej składających się z warstwy zewnętrznej, membrany, izolacji termicznej oraz podszewki. Zestawy te przeznaczone

są do ubrań specjalnych zgodnych z normą PN-EN 469 na poziomie ochrony x2. Warstwę zewnętrzną wykonano z włókien aramidowych z domieszką włókien antystatycznych, natomiast paroprzepuszczalną membranę z włókien aramidowych oraz laminatu wykonanego z poliuretanu. Zarówno wkład termoizolacyjny, jak i zintegrowana z nim podszewka składają się z wiskozy oraz włókien aramidowych. Próbki zostały poddane pięciokrotnemu praniu oraz:

- 1) kondycjonowaniu przez 24h w temperaturze 20 °C oraz 65 % wilgotności względnej,
- 2) kondycjonowaniu przez 24 h w temperaturze 34 °C oraz po naniesieniu wody w ilości 10 % masy suchej próbki.

W trakcie pomiarów próbki zostały poddane wymuszeniu płomieniem o gęstości strumienia ciepła $80 \pm 2 \text{ kW/m}^2$.

Zestawienie parametrów stanowiska oraz wyników ilościowych próbek poddanych oddziaływaniu płomienia przedstawiono w tabeli 4.

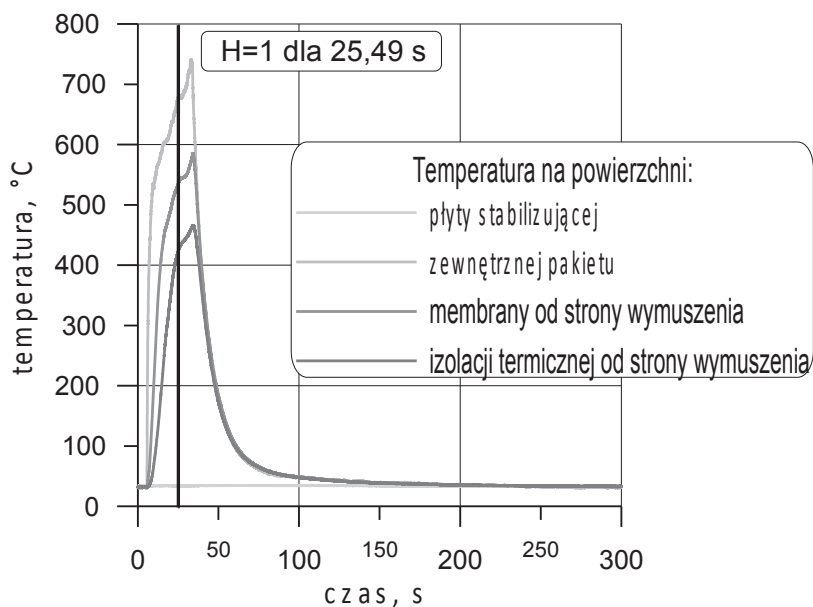
Tabela 4. Parametry stanowiska oraz wyniki ilościowe próbek poddanych oddziaływaniu płomienia

			Zestaw komponentów		
			A	B	C
Parametry stanowiska	Dosunięta płyta stabilizująca		Tak	Tak	Tak
	Temperatura ultratermostatu stabilizującego płytę	°C	34	34	34
	Gęstość strumienia ciepła na próbce	kW/m ²	82,5	81,3	82,5
Temperatura na powierzchni w momencie osiągnięcia kryterium Henriquesa	płyty stabilizującej	°C	59,97	60,08	59,94
	zewnętrznej pakietu	°C	750,55	714,56	632,63
	membrany od strony płomienia	°C	598,09	643,63	616,08
	izolacji termicznej od strony wymuszenia	°C	475,77	502,83	579,36

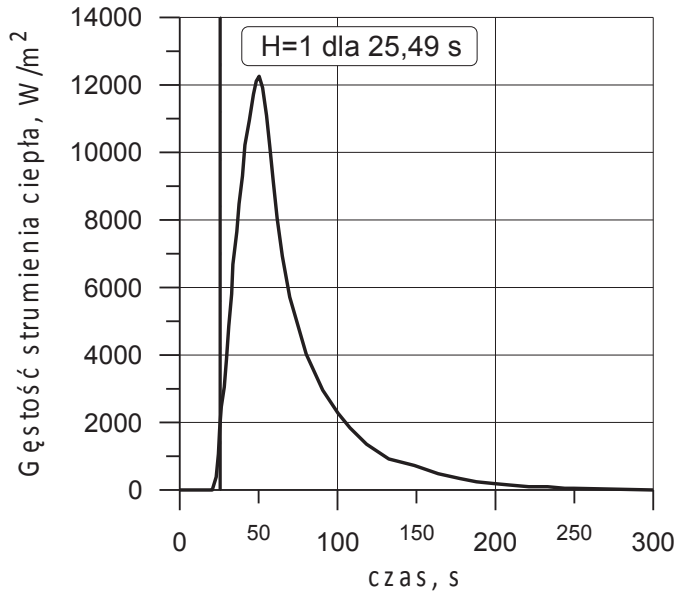
cd. Tabeli 4.

		Zestaw komponentów		
		A	B	C
Średnia temperatura otoczenia	°C	23,70	21,35	24,21
Strumień ciepła przenikającego przez próbkę w momencie osiągnięcia kryterium Henriquesa	W/m ²	12045,77	9226,40	9283,76
Czas od wymuszenia do osiągnięcia kryterium Henriquesa	s	25,49	22,52	20,49
Czas od wymuszenia do osiągnięcia kryterium RHTI	s	31,35	27,40	25,80
Czas ekspozycji	s	33,79	29,60	27,23
Relacja między kryterium Henriquesa, a RHTI		1,23	1,22	1,26

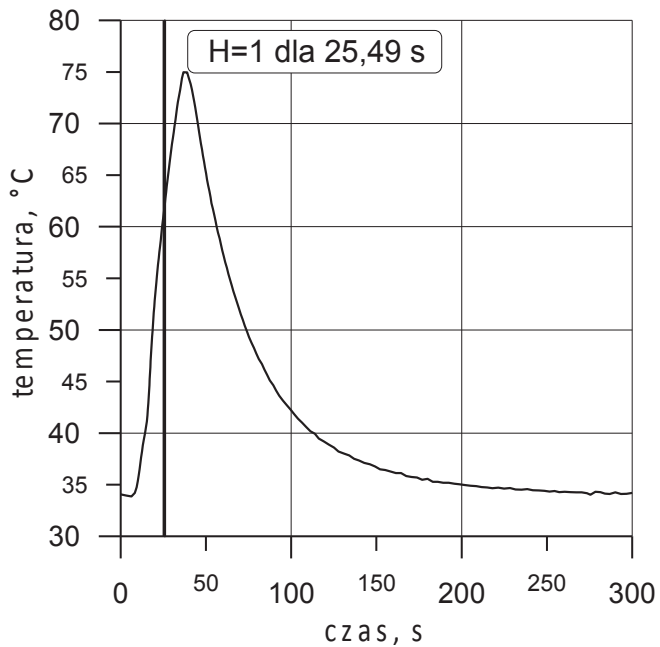
Przykładowe wyniki jakościowe dla próbki A przedstawiono na rysunkach 16 ÷ 18.



Rys. 16. Zależność temperatury na poszczególnych warstwach badanego zestawu materiałów w czasie



Rys. 17. Gęstość strumienia ciepła przenikającego przez próbkę zestawu materiałów w czasie



Rys. 18. Temperatura na powierzchni płyty stabilizującej w zależności od czasu

PODSUMOWANIE

Opracowane stanowisko do badania materiałów ochron osobistych poddanych oddziaływaniu płomienia potwierdziło słuszność przyjętych założeń konstrukcyjnych i w pełni spełnia zadania. Przeprowadzone badania testowe odporności komponentów materiałowych na płomień stanowi potwierdzenie realizacji projektu. W trakcie prowadzonych pomiarów przy użyciu stanowiska na pakietach materiałowych udostępnionych przez producentów krajowych odzieży ochronnej, uzyskano przedstawione poniżej rezultaty w kontekście badania skuteczności ochronnej:

- Zastosowanie płyty termicznej stabilizująco-nawilżającej oraz nakładki z ceramiki MACOR pozwala na bardzo wierne odwzorowanie wymiany ciepła z ciałem ratownika. Dodatkowo, zastosowanie całki Henriquesa umożliwia wiarygodne wyznaczenie czasu, po którym występuje ryzyko oparzenia II stopnia. Czas ten przyjęto jako kryterium do oceny skuteczności ochron osobistych badanych na tym stanowisku.
- Do oceny skuteczności ochron zalecono badanie zarówno próbek suchych (odpowiednio kondycjonowanych), jak i próbek uprzednio nawilżonych (10% wagowo) i kondycjonowanych (zbudowane stanowisko pozwala na ciągłe nawilżanie badanych próbek). Umożliwia to weryfikację złożonych następstw nawilżenia pakietów ubraniowych (w wyniku pocenia lub zamoczenia) skuteczności ochrony przed skutkami promieniowania termicznego.
- Jednocześnie, w trakcie badań wyznaczany jest normowy parametr HTI, który pozwala skonfrontować proponowane kryterium oceny, oparte na całce Henriques'a, z dotychczas stosowanym kryterium.

LITERATURA

- [1] PN-EN 469: 2008, Odzież ochronna dla strażaków – Wymagania użytkowe dotyczące odzieży ochronnej przeznaczonej do akcji przeciwpożarowej.
- [2] Stoll A.M., Chianta M.A.; Method and Rating System for Evaluation of Thermal Protection, *Aerospace Medicine* 1969, November, pp. 1232-1238.
- [3] Henriques, F.C., Moritz, A.R.; Studies of Thermal Injuries: The Relative Importance of Time and Surface Temperature in the Causation of Cutaneous Burns, *The American Journal of Pathology* 1947, Vol. 23, pp. 695-720.

- [4] www.omega.com, dostęp 2016-01-22.
- [5] www.ni.com, dostęp 2016-01-22.
- [6] PN-EN 367: 1996, Odzież ochronna – Ochrona przed ciepłem i płomieniem – Metoda wyznaczania przenikania ciepła przy działaniu płomienia.
- [7] www.polyscience.com, dostęp 2016-01-22.
- [8] PN-EN ISO 15025: 2005, Odzież ochronna – Ochrona przed gorącym i płomieniem – Metoda badania ograniczonego rozprzestrzeniania płomienia.