

dr inż. **Jacek Roguski**¹
mgr inż. **Maciej Błogowski**¹
inż. **Daria Kubis**¹

Przyjęty/Accepted/Принята: 06.02.2015;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 20.08.2015;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2015;

Metody badawcze w ocenie odporności środków ochrony indywidualnej na działanie termicznych czynników zewnętrznych²

Testing Methods Used to Evaluate the Endurance of Personal Protective Clothing Against External Thermal Influences

Методы исследований в оценке устойчивости средств индивидуальной защиты к воздействию внешних термических факторов

ABSTRAKT

Cel: Przedstawienie zagadnień związanych z badaniami odzieży ochronnej (ubrań specjalnych).

Wprowadzenie: W ramach projektu Nr O ROB/0011/03/01/001 „Opracowanie innowacyjnego systemu stanowisk do badania ochron osobistych” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) realizowanego przez konsorcjum, w którego skład wchodzi: SGSP, CNBOP-PIB, Politechnika Warszawska, SA PSP w Krakowie i Thermolab s.c., opracowywany jest szereg nowatorskich stanowisk badawczych do ponadnormatywnych badań próbek materiałów wykorzystywanych w produkcji środków ochrony indywidualnej. W CNBOP-PIB podjęto prace związane z badaniami materiałów używanych do tworzenia ubrań specjalnych stosowanych w Krajowym Systemie Ratowniczo Gaśniczym (KSRG). Jednym z najważniejszych parametrów odzieży ochronnej dla straży pożarnej jest jej odporność na działanie zewnętrznych czynników takich jak: promieniowanie cieplne, oddziaływanie płomienia i kontakt z ciałami stałymi o znacznie podwyższonej temperaturze kontaktowej. Zachowanie parametrów wytrzymałościowych w warunkach pożaru oraz zapewnienie jak najlepszej ochrony mają istotny wpływ na zdrowie i życie strażaków.

Metodologia: Zaprezentowano najważniejsze krajowe i zagraniczne metody badań normatywnych dotyczących wpływu promieniowania cieplnego, płomienia i ciał stałych o podwyższonej temperaturze na odzież ochronną stosowaną w straży pożarnej. Przedstawiono również koncepcję stanowisk do badań odzieży ochronnej m.in. na działanie w/w czynników, opracowanie wytycznych do konstrukcji stanowisk oraz wykonanie stanowisk badawczych wraz z realizacją zakupów wytypowanego sprzętu i aparatury pomiarowej.

Wnioski: Opisane stanowiska łączą w sobie możliwość oceny próbek poddanych oddziaływaniu promieniowania cieplnego, płomienia oraz kontaktu z ciałami stałymi o wysokiej temperaturze w sposób innowacyjny względem istniejących standardów z możliwością (po niewielkich modyfikacjach) przeprowadzania badań normatywnych.

Rezultatem tych działań będzie możliwość oceny obecnie używanych struktur materiałowych wykorzystywanych do produkcji ochron osobistych ratowników w znacznie szerszym ujęciu niż dotychczas. Ponadto zostaną zaproponowane nowe metody badawcze dające lepszą możliwość oceny skuteczności ochron osobistych.

Słowa kluczowe: odzież ochronna dla straży pożarnej, odporność na działanie promieniowania cieplnego, stanowiska badawcze

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

ABSTRACT

Aim: Present issues associated with testing methods used to evaluate personal protective clothing.

Introduction: A range of innovative research initiatives were developed to test samples of materials used in the production of personal protective clothing. These were initiated by the project No. O ROB/0011/03/01/001 and funded by the by the National Research and

¹ Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy, Józefów / Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, Józefów, Poland; jroguski@cnbop.pl;

² Autorzy wnieśli jednakowy wkład merytoryczny w powstanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

Development Centre (NCBR). The project was realized by a consortium, which included; the Main School of The Fire Service (SGSP), Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute (CNBOP-PIB), Warsaw University of Technology, Aspirant's School of the National Fire Service in Cracow (SA PSP) and Thermolab s.c. CNBOP undertook work associated with testing of materials used in the production of specialist clothing worn by personnel engaged in the national firefighting and rescue system (KSRG). The most important criterion for firefighting protective clothing is its resistance to external factors such as heat radiation and ability to cope with the consequences of flames. Clothing with appropriate durability parameters, providing the best possible protection during fire incidents, has a significant impact on the health and life of firefighters.

Methodology: The article identified most significant national and international normative testing methods, dealing with the impact of heat radiation, fire and solids at high temperatures, which come into contact with protective clothing worn by firefighters. Moreover, the article identified an optimum concept for testing stands, implementation of previously mentioned elements and development of guidelines for the construction of testing stands in tandem with the acquisition of selected equipment and measuring apparatus.

Conclusions: The described testing stands combine the potential for evaluation of samples exposed to heat radiation, flames and contact with solids at high temperatures in an innovative way, contrasting with current approaches, with the potential (after small modifications) for the conduct of normative tests. The outcome from these activities will make it possible to evaluate currently used material structures in the manufacture of personal protection clothing, worn by rescue personnel, in a much broader sense than previously. Above all, it is expected that proposed additional testing techniques will facilitate a better effectiveness assessment of personal protection.

Keywords: firefighting protective clothing, resistance to external heat radiation, research stands

Type of article: review article

АННОТАЦИЯ

Цель: Представить вопросы, связанные с исследованиями защитной одежды (специальной одежды).

Введение: В рамках проекта номер О ROB/0011/03/01/001 „Разработка инновационной системы лабораторных установок для исследований средств индивидуальной защиты”, финансируемого Народным Центром Исследований и Развития (NCBR) и реализованного консорциумом, в состав которого входят: Главная Школа Пожарной Службы (SGSP), Научно-Исследовательский Центр Противопожарной Охраны – Государственный Исследовательский Институт (CNBOP-PIB), Варшавский Политехнический Университет, Школа Аспирантов в г. Краков, Thermolab s.c., разрабатывается ряд новаторских установок для дополнительных испытаний образцов, используемых при производстве средств индивидуальной защиты. В CNBOP-PIB начались работы, связанные с исследованиями материалов, используемых для специальной одежды, применяемых в Национальной Спасательно-Гасящей Системе (KSRG). Одним из важнейших параметров защитной одежды является её устойчивость к воздействию внешних факторов, таких как тепловое излучение, взаимодействие с пламенем или контакт с твёрдыми телами повышенной контактной температуры. Соблюдение эксплуатационных параметров в условиях пожара, а также обеспечение наилучшей защиты существенно влияют на здоровье и жизнь пожарных.

Методология: Представлены важнейшие национальные и зарубежные методы нормативных исследований, касающиеся воздействия теплового излучения, пламени, твёрдых тел повышенной контактной температуры на защитную одежду, используемую в пожарной службе. Представлена также концепция установок для испытаний защитной одежды, в том числе ее реакции на воздействие вышеуказанных факторов, разработка правил по постройке исследовательских установок вместе с реализацией покупок выбранного оборудования и измерительной аппаратуры.

Выводы: Описанные установки дают возможность оценивать образцы, подвергаемые тепловому воздействию, пламени и контакту с твёрдыми телами, имеющими высокую температуру, инновационным методом, неописанным в имеющихся стандартах, а также проводить (после небольших изменений) нормативные исследования. В результате этих действий станет возможной оценка используемых современных структур материалов, которые используются во время производства элементов защиты пожарных в более широком плане чем раньше, а кроме того будут предложены новые исследовательские методы, которые позволят лучше оценивать эффективность защитных средств пожарных.

Ключевые слова: защитная одежда для пожарной службы, устойчивость к тепловому воздействию, испытательные установки

Вид статьи: обзорная статья

1. Wybrane wymagania dla innowacyjnych stanowisk do badań odporności ochron osobistych na działanie czynników zewnętrznych

Zadaniem odzieży ochronnej jest zabezpieczenie strażaka przed działaniem czynników zewnętrznych, w tym różnego rodzaju źródeł ciepła, które mogą powodować oparzenia. Zaliczyć do nich można m.in. otwarty płomień, promieniowanie cieplne lub kontakt z ciałami o podwyższonej temperaturze. Badania normowe przewidują określone procedury pomiarowe i współczynniki charakteryzujące badane materiały pod kątem ochrony przed poparzeniem. Analiza stosowanych metod wskazuje, że pozwalają one

porównać badane materiały, lecz nie zawsze pozwalają one na określenie np. czasu wystąpienia oparzenia II stopnia w określonych warunkach oraz wpływu zawilgocenia na efektywną izolacyjność cieplną [8]. Należy podkreślić, że przedmiotem publikacji są metody badawcze zmierzające do oceny skuteczności zabezpieczenia ratownika przed oparzeniem. W pracy nie przeanalizowano pozostałych norm i metod badawczych, które mają zastosowanie do oceny innych właściwości ochron osobistych takich jak STM F2700 [24], NFPA 1971 [25] (wskaźnik TPP), ASTM F2702 [26] oraz NFPA 1977 [27] (wskaźnik RPP). Pomiar ciepła, jakie jest przepuszczane przez warstwy tkaniny stosowanej do produkcji odzieży ochronnej, pozwala na lepsze

sprawdzenie parametrów izolacyjnych tych materiałów i dążenie do poprawy ich właściwości [7], [11].

Stanowiska badawcze do badań ponadnormatywnych powinny umożliwić sprawdzenie zdolności do gromadzenia ciepła przez warstwy odzieży ochronnej. Zdolność do gromadzenia ciepła w odzieży jest badana w metodzie opisanej przez ASTM F2731 – 11 Standard Test Method for Measuring the Transmitted and Stored Energy of Fire-fighter Protective Clothing Systems [28]. Norma ta powstała w wyniku zgłoszeń płynących od strażaków, w których donosili oni o przypadkach oparzeń pod ubraniem bez śladów zniszczeń zewnętrznej i wewnętrznej warstwy odzieży. Przepuszczanie energii o niskim natężeniu oraz kombinacja przepuszczania i uwalniania energii zgromadzonej w odzieży może wystarczyć do powstania tego typu obrażeń. Dodatkowo może dochodzić do wtórnego oparzenia wskutek jednoczesnego działania zgromadzonej energii cieplnej i wilgoci wydzielonej z ciała strażaka, czyli poparzenia wynikającego z odparowania nagromadzonej wilgoci (potu) w odzieży ochronnej (poparzenie gorącą parą) [7], [11].

Wymagania stawiane odzieży ochronnej dopuszczalnej do użytkowania przez straż pożarną w Polsce określa norma PN-EN 469 [29]. Zawarte są w niej informacje na temat minimalnych parametrów odzieży ochronnej używanej w czasie akcji przeciwpożarowej oraz działań z nią związanych. Norma ta określa metodyki stosowane do określenia wymagań dla badań, które powinny być prowadzone zgodnie ze wskazanymi normami. Jeśli chodzi o odporność na promieniowanie cieplne, odzież ochronna powinna być badana zgodnie z normami: PN-EN ISO 6942, ISO 17493 [7], [30].

Polska norma PN-EN ISO 6942 zawiera wymagania dotyczące oceny materiałów i zestawów materiałów poddanych działaniu promieniowania cieplnego oraz opisuje wymagane parametry aparatury badawczej [31]. W normie tej omówione są dwie metodyki badawcze, z których w jednej z metod oceniane są zmiany wyglądu próbki, a w drugiej obliczany jest procentowy wskaźnik przenikania ciepła. Wskaźnik przenikania promieniowania cieplnego (RHTI dla 24°C przy gęstości strumienia cieplnego 40 kW/m²) powinien wynosić [7]:

- dla 1 poziomu wykonania: RHTI 24 > 10;
- dla 2 poziomu wykonania: RHTI 24 > 18.

Natomiast zgodnie z normą ISO 17493 [30] żadna z tkanin i żadne z akcesoriów zastosowanych w wyrobie odzieżowym nie powinny się zapalić, stopić ani skurczyć o więcej niż 5% w czasie badania w 180°C.

Opierając się na publikacjach związanych z badaniami odzieży ochronnej, można przytoczyć następujące stwierdzenia na temat stosowanych metod i procedur pomiarowych [8–9]:

- „Badania odzieży ochronnej zgodnie z polskimi normami wykonuje się w obecności płomienia, źródła promieniowania cieplnego i w kontakcie z ciałem o podwyższonej temperaturze. Jedynie norma amerykańska ASTM F2731 przewiduje badanie próbek (suchych i nawilżonych) pod kątem zmagazynowanego w nich ciepła podczas określonego czasu działania źródła ciepła” [28].
- „Rezultatem polskich badań normowych są wskaźniki, wyznaczone na podstawie zaabsorbowanej przez kalorymetr miedziany energii, które pozwalają porównać i uszeregować odzież ochronną, ale nie wskazują rzeczywistego czasu ochrony przed poparzeniem. Większość norm amerykańskich wykorzystuje krzywą Stoll jako kryterium wystąpienia oparzenia II stopnia. Należy zwrócić uwagę, że krzywa Stoll została opracowana dla prostokątnego impulsu cieplnego o gęstości strumienia 4,2–16,8 kW/m², działającego na ciało ludzkie. W rzeczywistości, gęstość strumienia ciepła przenikającego przez pakiet odzieży ochronnej nie ma takiego charakteru i krzywa Stoll nie odpowiada rzeczywistym warunkom badań. Podobnie, nie powinna być wykorzystywana przy dużych gęstościach strumienia ciepła. Ponadto metoda ta pozwala na ocenę ryzyka oparzenia II stopnia, ale nie daje informacji o możliwych poważniejszych uszkodzeniach skóry. Niektóre z norm amerykańskich wskazują na całą Henriquesa jako właściwe kryterium oceny skuteczności badanych ochron. Badania porównawcze wskazują, że zastosowanie krzywej Stoll daje w wyniku dłuższe czasy ochrony przed oparzeniem niż w przypadku całej Henriquesa lub w ogóle nie wskazuje na ryzyko wystąpienia oparzenia. Wskazane jest zatem wykorzystanie całej Henriquesa jako narzędzia do pełnej oceny skutków działania ciepła na ciało ludzkie” [8].

Oceniane normatywne parametry użytkowe przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 1. Zestawienie badanych parametrów

Table 1. List of examined parameters

Badany parametr / Parameter	Wartość parametru / Value	Metoda badania / Test method
	Ubranie specjalne zgodne z PN-EN 469 Poziom wykonania 2 / Protective clothing in accordance with EN 469 Performance level 2	
Odporność na przenikanie ciepła od płomienia / Heat transfer – flame	HTI24 ≥ 13,0 HTI24–HTI12 ≥ 4,0	PN-EN 15025
Odporność na przenikanie ciepła od promieniowania / Heat transfer – radiation	RHTI24 ≥ 18, 0 RHTI24 – RHTI12 ≥ 4,0 gęstość promieniowania / heat flux 40 KW/m ²	PN-EN ISO 6942

Badany parametr / Parameter	Wartość parametru / Value	Metoda badania / Test method
	Ubranie specjalne zgodne z PN-EN 469 Poziom wykonania 2 / Protective clothing in accordance with EN 469 Performance level 2	
Rozprzestrzenianie płomienia / Flame spread	wskaznik 3 / index 3	PN-EN 15025 PN-EN 533
Wytrzymałość na rozciąganie / Tensile strength	≥ 450 N Szwuy / seam ≥ 225 N	PN-EN 13934-1 metoda 1/ method 1 PN-EN 13935-2
Wytrzymałość na rozerwanie / Tear resistance	≥ 25	
Odporność na ciepło / Heat resistance	brak topienia, kroplenia, kurczliwość $\leq 5\%$ / no ignition, melting, shrink $\leq 5\%$	PN-EN 17493
Odporność na przesiąkanie płynnych chemikaliów / Resistance to penetration by liquid chemicals	zwilżalność $\leq 80\%$ / index of repellency $\geq 80\%$	PN-EN 6530
Odporność na przesiąkanie wody / Water penetration resistance	$2 \geq 20$ kPa	PN-EN 20811
Opór pary wodnej / Water vapour resistance	$2 \leq 30$ m ² Pa/W	PN-EN 31092
Widzialność / Visibility	pasy odblaskowe / retroreflective material $\geq 0,13$ m ² pasy fluoresc. / fluorescent material $\geq 0,20$ m ²	PN-EN 471
Zmiana wymiarów po praniu czyszczeniu / Dimensional change	$\leq 3\%$	PN-EN ISO 5077-1

Źródło: Opracowanie własne na podstawie norm PN-EN z kolumny 3.

Source: Own elaboration on the basis of PN-EN standards (column 3).

Stanowiska zbudowane w ramach projektu O ROB/0011/03/01/001 umożliwiają kompleksową ocenę skuteczności odzieży ochronnej poprzez badania w zakresie:

- odporności ubrań na działanie płomienia (bezpośrednie narażenie strażaka na oddziaływanie pożaru),
- odporności ubrań na promieniowanie cieplne występujące w czasie pożaru,
- odporności ubrań na działanie elementów o znacznie podwyższonej temperaturze (np. w przypadku oparzenia się strażaka o gorący element w budynku podczas pożaru).

Dodatkowo badany jest wpływ temperatury ciała i wilgotności (pocenia się) na odczuwalną temperaturę pod ubraniem i wystąpienie ewentualnych oparzeń (stopnia oparzeń i czasu, po jakim się pojawią). Zakłada się działanie na tkaniny źródłami ciepła o gęstości strumienia ciepła od niewielkich do 100 kW/m² (temperatura rozgorzenia pożaru). Na zbudowanych stanowiskach możliwe będą demonstracje w/w zjawisk, np. dla strażaków PSP i OSP.

Poniżej wymienione zostały szczegółowe założenia stanowisk:

1. Źródła ciepła: płomień, promiennik, gorąca płyta.
2. Zastosowanie próbek o wymiarach: 350 x 350 mm.
3. Obszar pomiarowy próbek: 300 x 300 mm.
4. Gęstości strumienia ciepła w zakresach: 20, 40, 60, 80 kW/m² (max. 100 kW/m²).
5. Pomiar gęstości strumienia ciepła działającego na próbkę (czujnik walcowy chłodzony wodą).

6. Pomiar gęstości strumienia ciepła w próbce z wykorzystaniem cienkowarstwowego czujnika strumienia ciepła.
7. Pomiar rozkładu temperatur na powierzchniach (kamera termowizyjna – wyniki jakościowe) i w warstwach pakietu próbki (termopary – wyniki ilościowe).
8. Uwzględnienie elementów dodatkowych w próbkach (naszywki, emblematy).
9. Zastosowanie płyty stabilizacyjno-nawilżającej (symulacja temperatury i wilgotności ciała strażaka).
10. Badanie próbek nawilżonych przed pomiarem i nawilżanych w trakcie pomiaru (z zastosowaniem płyty stabilizująco-nawilżającej).
11. Zastosowanie całki Henriquesa (kryterium oparzenia II stopnia) do oceny ochron osobistych – z określeniem czasu wystąpienia oparzenia.
12. Badania efektów zmagazynowania ciepła w ochronach osobistych.
13. Różne warunki kondycjonowania próbek (np. 20±35°C).
14. Możliwość wykonywania badań normowych na tych samych stanowiskach.

2. Opis stanowisk badawczych do badań ponadnormatywnych

W celu przeprowadzania badań ponadnormatywnych zaprojektowano i wykonano stanowiska badawcze, których jednym z elementów składowych jest zaprojektowany i opatentowany przez CNBOP-PIB układ do symulacji parametrów termodynamicznych panujących wewnątrz ubrania ochronnego, takich jak temperatura i wilgotność.

Do sterowania procesem badawczym i zbierania danych ma zastosowanie system akwizycji danych umożliwiający rejestrację wartości strumienia cieplnego, temperatur oraz czasu oddziaływania źródła ciepła na badane próbki, wykorzystujący pomiary oparte o elementy wykonawcze takie jak [19–20]:

- termopary do pomiaru temperatury (na powierzchni i wewnątrz próbki),
- cienkowarstwowe czujniki wielkości strumienia cieplnego,
- walcowe czujniki wielkości strumienia cieplnego,
- kamera termowizyjna (badania jakościowe).

Na podstawie wcześniej wykonanych projektów i analiz, wytworzono elementy składowe stanowisk badawczych oraz zrealizowano zakupy komponentów regulacyjno-pomiarowych niezbędnych do funkcjonowania opisywanych stanowisk:

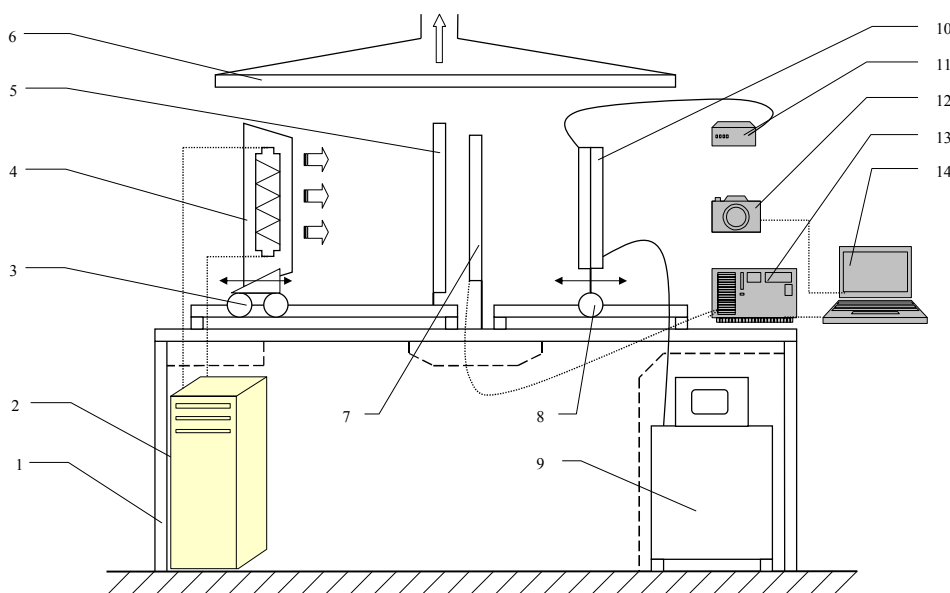
- zintegrowane stoły laboratoryjne wraz z osprzętem,
- systemy przesuwu liniowego jedno oraz dwuosiowego,

- płyty grzewcze stabilizująco-nawilżające wraz z osprzętem,
- ultratermostaty do płyt stabilizacyjnych i dla walcowych czujników strumienia ciepła,
- źródła ciepła (promiennik podczerwieni, palnik gazowy, gorąca płyta),
- sterowanie źródłem ciepła (promiennik podczerwieni, gorąca płyta),
- źródło zasilania palnika gazowego (butle gazowe wraz z osprzętem, paliwo: metan, propan techniczny),
- system akwizycji danych,
- czujniki pomiarowe (termopary, cienkowarstwowe czujniki ciepła, czujniki strumienia ciepła chłodzone wodą).

2.1. Schematy stanowisk

Schematy blokowe wykonanych stanowisk badawczych oraz zdjęcia stanowisk i ich komponentów przedstawiono na rycinach 1–8.

2.1.1. Stanowisko do badania oddziaływania promieniowania cieplnego



Ryc. 1. Schemat blokowy stanowiska badawczego – oddziaływanie promieniowania cieplnego

1. konstrukcja wsporcza stanowiska, 2. zasilanie promiennika, 3. system pozycjonowania 2D promiennika,
4. promiennik podczerwieni, 5. ekran termiczny, 6. wyciąg, 7. badana próbka z zestawem czujników (termopary, czujniki strumienia ciepła), 8. system pozycjonowania 2D płyty termicznej stabilizująco-nawilżającej, 9. ultratermostat,
10. płyta termiczna stabilizująco-nawilżająca, 11. system nawilżania, 12. kamera termowizyjna,
13. przetwornik akwizycji danych, 14. system akwizycji danych [22]

Fig. 1. A block diagram of research stand – the impact of thermal radiation

1. supporting structure of stand, 2. power supply to radiation source, 3. 2D positioning of radiation system,
4. infrared radiation, 5. thermal shielding, 6. fume cupboard, 7. tested samples with set of sensors (thermocouples, heat flux sensors), 8. 2D positioning system of thermal-stabilizing-moisturizing plate,
9. ultrathermostat (temperature stabilizing), 10. thermal-stabilizing-moisturizing plate, 11. moisturizing system,
12. infrared camera, 13. sensor data acquisition, 14. data acquisition system [22]

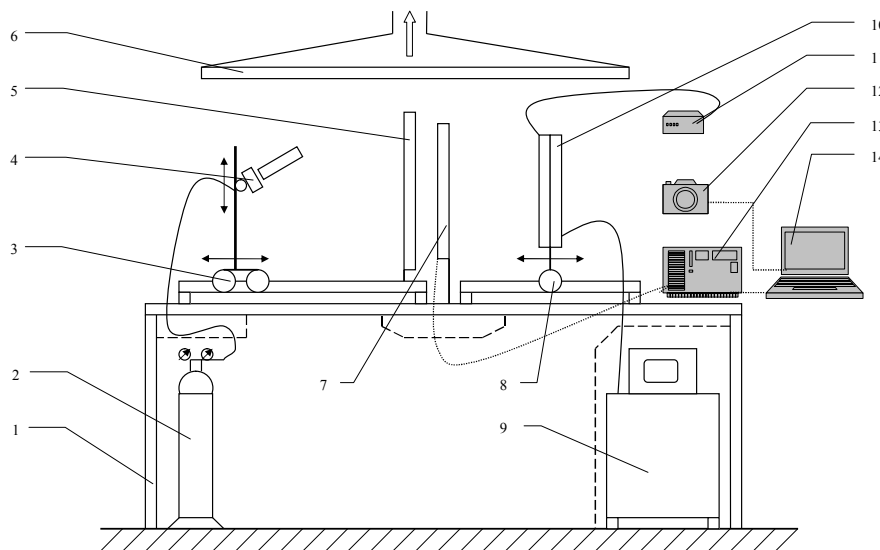


Ryc. 2. Widok stanowiska – promiennik (etap testów i modyfikacji) [22]
Fig. 2. View of research stand – radiation (test and modification stage) [22]



Ryc. 3. Widok stanowiska – promiennik (etap testów i modyfikacji) [22]
Fig. 3. View of research stand – radiation (test and modification stage) [22]

2.1.2. Stanowisko do badania oddziaływania płomienia



Ryc. 4. Schemat blokowy stanowiska badawczego – oddziaływanie płomienia

1. konstrukcja wsporcza stanowiska, 2. butla gazowa z reduktorem, 3. system pozycjonowania 3D palnika, 4. palnik gazowy, 5. ekran termiczny, 6. wyciąg, 7. badana próbka z zestawem czujników (termopary, czujniki strumienia ciepła), 8. system pozycjonowania 2D płyty termicznej stabilizująco-nawilżającej, 9. ultratermostat (stabilizacja temperatury), 10. płyta termiczna stabilizująco-nawilżająca, 11. system nawilżania, 12. kamera termowizyjna, 13. przetwornik akwizycji danych, 14. system akwizycji danych [21]

Fig. 4. A block diagram of the research stand – the impact of a flame

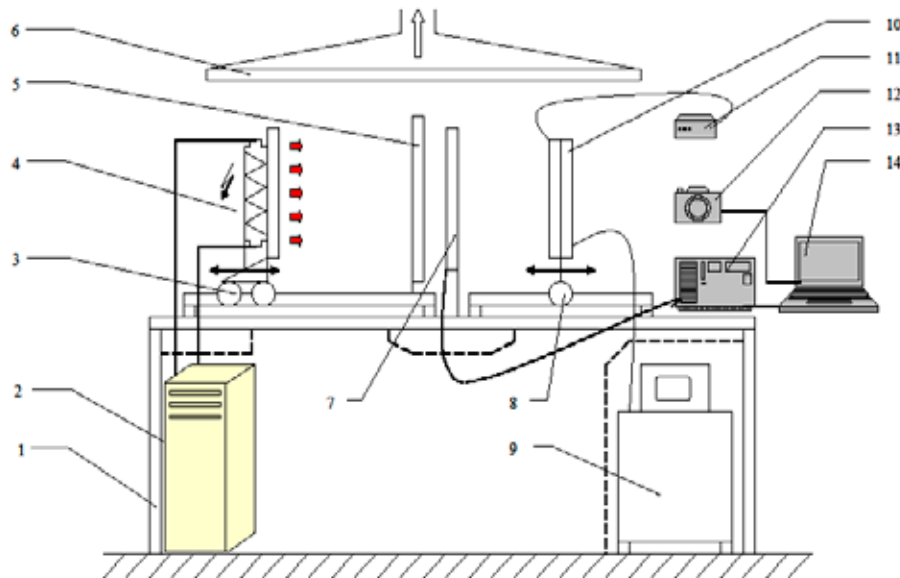
1. supporting structure of stand, 2. Gas cylinder with regulator, 3. 3D positioning system of a burner, 4. gas burner, 5. thermal shielding, 6. fume cupboard, 7. Tested samples with set of sensors (thermocouples, heat flux sensors), 8. 2D positioning system of thermal-stabilizing-moisturizing plate, 9. ultrathermostat (temperature stabilizing), 10. thermal-stabilizing-moisturizing plate, 11. moisturizing system, 12. infrared camera, 13. sensor data acquisition, 14. data acquisition system [21]



Ryc. 5. Widok stanowiska badawczego – oddziaływanie płomienia (etap testów i modyfikacji) [21]

Fig. 5. View of research stand – the impact of the flame (test and modification stage) [21]

2.1.3. Stanowisko do badania oddziaływania ciepła kontaktowego

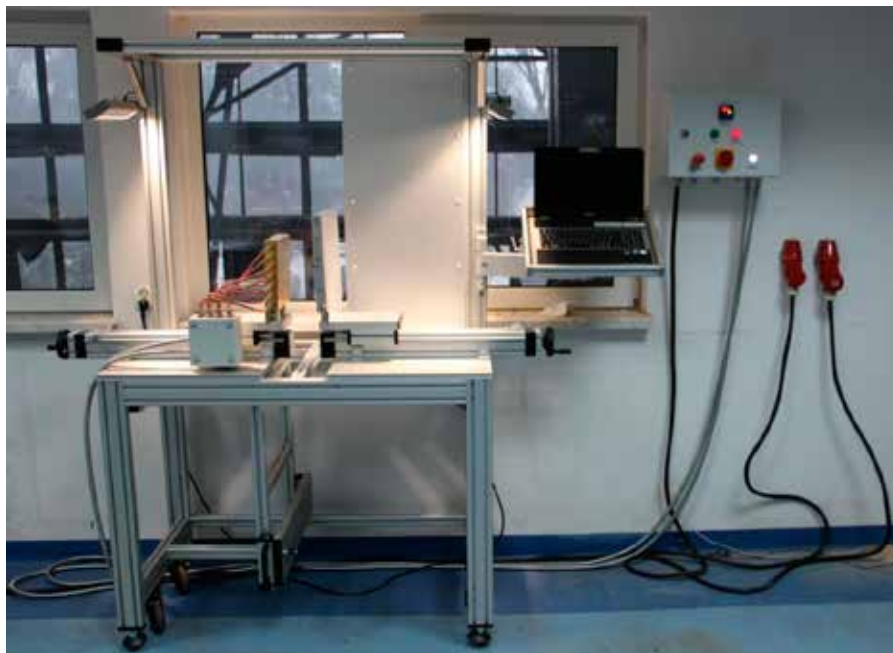


Ryc. 6. Schemat blokowy stanowiska badawczego – oddziaływanie ciepła kontaktowego

1. konstrukcja wsporcza stanowiska, 2. układ zasilania i sterowania płytą grzewczą, 3. system pozycjonowania płyty o podwyższonej temperaturze, 4. grzałki patronowe wraz z płytą, 5. ekran termiczny, 6. wyciąg, 7. badana próbka z zestawem czujników (termopary, czujniki strumienia ciepła), 8. system pozycjonowania 2D płyty termicznej stabilizująco-nawilżającej, 9. ultratermostat (stabilizacja temperatury), 10. płyta termiczna stabilizująco-nawilżająca, 11. system nawilżania, 12. kamera termowizyjna, 13. przetwornik akwizycji danych, 14. system akwizycji danych [23]

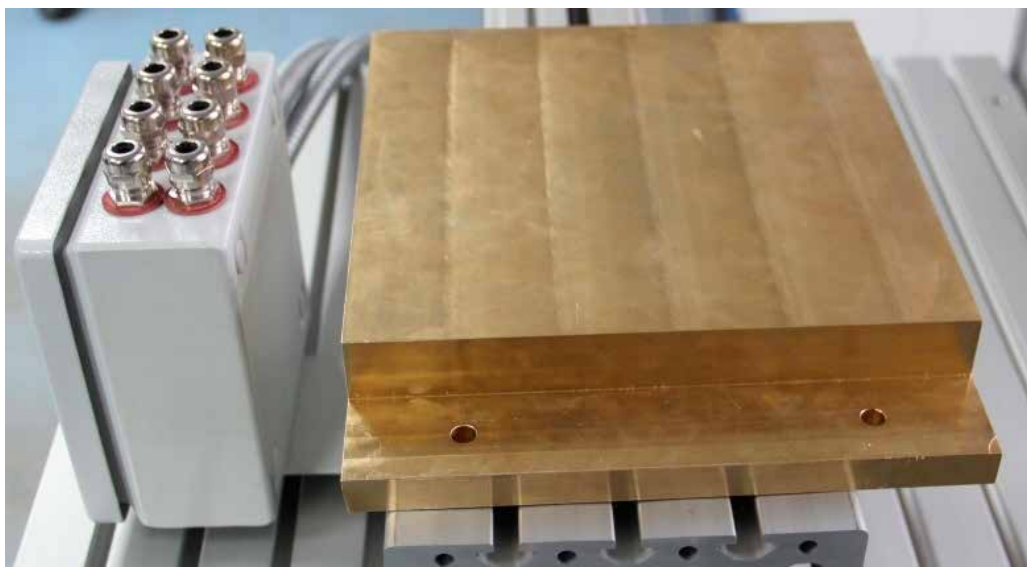
Fig. 6. A block diagram of the research stand – the impact of contact heat

1. supporting structure of stand, 2. power supply and control system of heating plate, 3. positioning system of contact heat,
4. cartridge heaters with plate, 5. thermal shielding, 6. fume cupboard, 7. tested samples with a set of sensors (thermocouples, heat flux sensors), 8. 2D positioning system of thermal-stabilizing-moisturizing plate,
9. ultrathermostat (temperature stabilizing), 10. thermal-stabilizing-moisturizing plate 11. moisturizing system,
12. infrared camera, 13. sensor data acquisition, 14. data acquisition system [23]



Ryc. 7. Widok stanowiska – oddziaływanie ciepła kontaktowego (etap testów i modyfikacji [23]

Fig. 7. Image of a research stand – the impact of contact heat (test and modification stage) [23]



Ryc. 8. Widok stanowiska – gorąca płyta (etap testów i modyfikacji) [23]
 Fig. 8. Image of research stand – hot plate (test and modification stage) [23]

3. Konstrukcja stanowisk badawczych

3.1. Stół bazowy

Konstrukcję stanowisk badawczych przedstawiono na przykładzie stanowiska do badań oddziaływanie płomienia (ryc. 5) [21], [22–23]. Jako podstawę stanowiska badawczego wykonano skręcany, samonośny stół bazowy z kształtowników aluminiowych o następujących parametrach:

- modułowy szybkozłączny system mocowania profili aluminiowych,
- szerokość podstawowa (płaszczyzna bazowa) 1200 mm, głębokość 600 mm,
- wysokość płaszczyzny bazowej 700 mm,
- nadstawka tylna o wysokości 1900 mm z wieńcem do zamontowania wyciągu z wentylatorem (powierzchnia wyciągu = 1200 mm x 400 mm),
- półka na regulowanym wysięgniku do mocowania części elementów pomiarowych (np. kamery termowizyjnej). Podstawowymi elementami wyposażenia stołu bazowego są:
- system mocowania, składający się z dwóch aluminiowych płyt bazowych z systemem mocowania modułowego umożliwiającym elastyczne umiejscowienie wszystkich komponentów stanowiska badawczego,
- stolik przesuwany po stronie źródła ciepła służący do pozycjonowania palnika (promiennika podczerwieni, oraz płyty o podwyższonej temperaturze kontaktowej dla pozostałych stanowisk),
- stolik przesuwany po stronie pomiarowej służący do pozycjonowania płyty termicznej,
- szyna mocująca ekran termiczny,
- szyna mocująca badaną próbkę z zestawem czujników,
- płyta termiczna stabilizująco-nawilżająca,
- kanał kablowy E 1500,
- listwa zasilająca – 5 gniazd z przewodem zasilającym, wyłącznikiem i zabezpieczeniami prądowymi (dwa

komplety umiejscowione w kanałach słupków bocznych nadstawki tylnej),

- lampa maszynowa LED 30W (dwa komplety umiejscowione na bocznych, poziomych elementach wieńca stołu)
- wyciąg spalin/gorącego powietrza wraz ze zbiorczym wentylatorem wyciągowym.

3.2. Płyta termiczna stabilizująco-nawilżająca

Jako układ do symulacji parametrów termodynamicznych panujących wewnątrz ubrania ochronnego, takich jak temperatura i wilgotność, został wykonany zespół płyty termicznej stabilizująco-nawilżającej ze stopu aluminium z elementami przyłączeniowymi z mosiądzu oraz stalowymi śrubami mocującymi głowice poprzez podkładki uszczelniające (ryc. 9). Po przebadaniu prototypu wykonano niezbędne modyfikacje dotyczące elementu mocowania płyty do stolika przesuwającego, systemu doprowadzenia wody do sieci kanałów nawilżania, systemu i średnic otworów nawilżających i systemu odpowietrzeń [21], [22–23].

Urządzenie składa się z:

- płyty głównej i głowicy przyłączeniowej dla obiegu ultratermostatu i nawilżania,
- głowicy końcowej zamykającej obiegi wodne dla ultratermostatu i nawilżania,
- zespołu uszczelek głowic,
- króćców przyłączeniowych do obiegu wodnych i śrub mocujących.

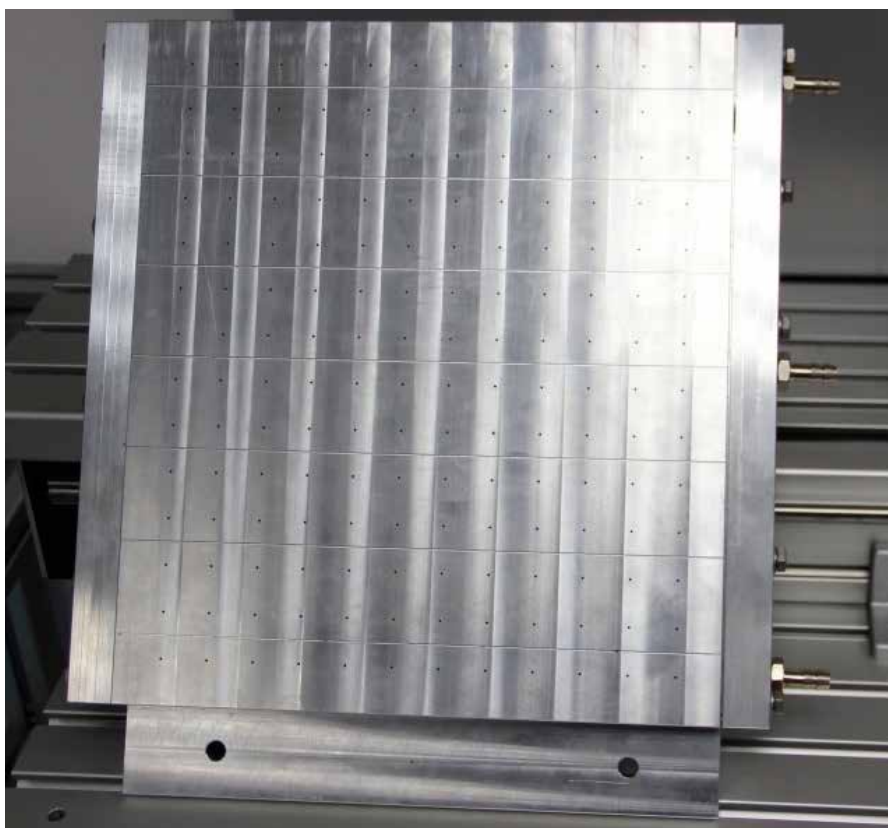
Utrzymanie temperatury powierzchni roboczej płyty głównej na poziomie 32,5°C ze stabilnością $\pm 0,01^\circ\text{C}$ zapewnia sieć kanałów zamkniętego obiegu wodnego. Stabilizacja temperatury odbywa się dzięki zastosowaniu nowoczesnego, programowanego ultratermostatu z pompą obiegową, zbiornikiem buforowym (pojemność 15 litrów) i czujnikowi temperatury (termopara typu K), który jest umieszczony na

powierzchni płyty głównej. Zakres temperaturowy pracy ultratermostatu wynosi od -30 do $+200^{\circ}\text{C}$.

System nawilżania wykonano w oparciu o sieć kanałów półotwartego obiegu wody destylowanej. Symulacja pocenia się powierzchni ciała strażaka odbywa się poprzez sieć otworów wykonanych prostopadle do osi kanałów obiegu nawilżania na powierzchni roboczej płyty głównej. Ciecz nawilżająca jest rozprowadzona do kanałów dzięki specjalnie ukształtowanemu kanałowi w głowicy. Obieg cieczy w systemie kanałów stabilizujących temperaturę

i nawilżających uzupełniony został głowicami: przyłączeniową oraz końcową zamykającą.

Temperatura panująca w trakcie badań na powierzchni roboczej płyty głównej (temperatura skóry strażaka) jest mierzona za pomocą układów termopar (typu K), umieszczonych w sieci rowków wykonanych na powierzchni płyty głównej. W celu modelowania procesu przenikania wilgoci (pocenia się), do płyty termicznej stabilizująco-nawilżającej zastosowano pompę perystaltyczną ze sterownikiem LDS4 [21], [22–23]:



Ryc. 9. Widok płyty głównej termicznej stabilizująco-nawilżającej (etap testów i modyfikacji) [21–23]
Fig. 9. Image of the main thermal-stabilizing-moisturizing plate (test and modification stage) [21–23]

3.3. Ultratermostaty, czujniki pomiarowe, system akwizycji danych

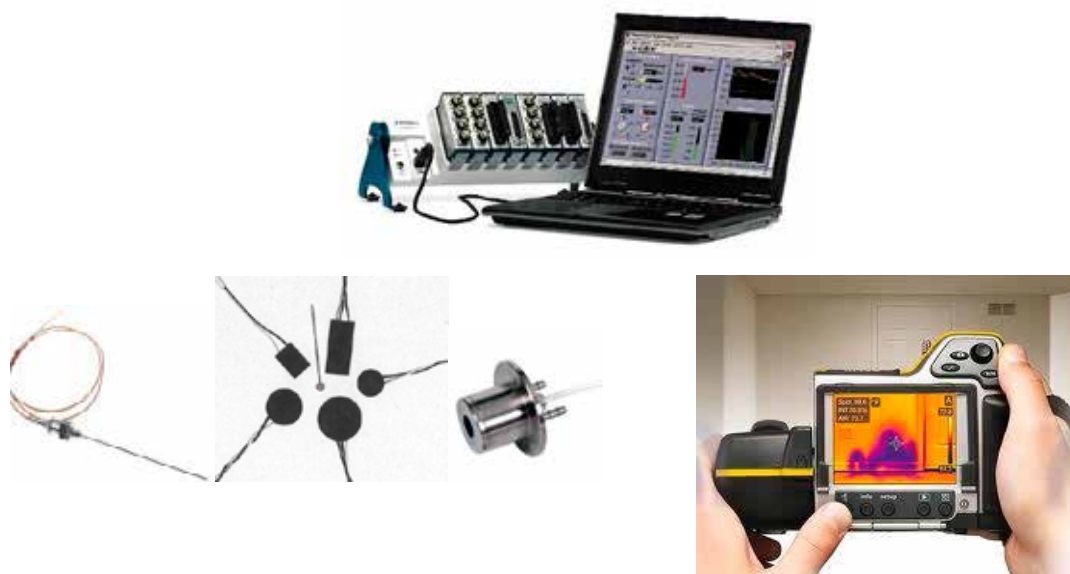
Pozostałe urządzenia kontrolno-pomiarowe (ryc. 11–12), ze względu na ich przeznaczenie i charakterystykę użytkowania, zostały umiejscowione odpowiednio do potrzeb stanowiska [21], [22–23]:

- ultratermostat, w przestrzeni obok stanowiska badawczego,
- termopary typu K – NiCr(+), NiAl(–) o średnicy 0,5 mm, cienkowarstwowe czujniki gęstości strumienia ciepła oraz walcowe czujniki strumienia ciepła – bezpośrednio w obszarze pomiarowym (wewnątrz i na powierzchni badanego pakietu materiałowego na powierzchni roboczej płyty stabilizującej itp.).

Przetworniki pomiarowe i wielokanałowy system akwizycji danych zostały umiejscowione poza przestrzenią roboczą stanowiska badawczego ze względu na możliwość wystąpienia podwyższonych temperatur, które mogą być wynikiem przeprowadzanego eksperymentu, oraz w celu wyeliminowania ewentualnych zakłóceń elektromagnetycznych powodowanych sterowaniem promiennikiem podczerwieni. W razie konieczności możliwe jest zastosowanie dodatkowego ekranowania toru pomiarowego. Do rejestracji pomiarów wykorzystana została kamera termowizyjna typu T650SC, o zakresie spektralnym: 7.5 do 13 μm pozwalająca na pomiar temperatur od -40°C do $+2000^{\circ}\text{C}$ w trzech podzakresach. Kamera ta wyposażona jest w trzy obiektywy z polem widzenia 25°, 45°, 15°, obiektyw Close-Up 2,9–50 μm oraz obiektyw mikroskopowy o rozd. przestrzennej 50 μm /piel.



Ryc. 11. Urządzenia kontrolno-pomiarowe do stanowiska badawczego (ultratermostat AP15R-30) [17]
 Fig. 11. Control-measuring devices for a testing stand (ultratermostat AP15R-30) [17]



Ryc. 12. Urządzenia kontrolno-pomiarowe do stanowiska badawczego [19–20]
 Fig. 12. Control-measuring devices for a testing stand [19–20]

3.4. Źródło ciepła – promiennik podczerwieni wraz ze sterowaniem

Jako źródło ciepła wybrano promiennik podczerwieni o następujących parametrach i charakterystykach [15, Elstein-Werk M.Steinmetz GmbH & Co. KG]:

- zasilanie 240V AC/50 Hz,
- płynna regulacja temperatury/wydajności z kontrolą temperatury poprzez zastosowanie zintegrowanej termopary typu K (NiCr–Ni),

- maksymalna temperatura 900°C,
- strumień ciepła 76,8 kW/m²,
- zakres emisji podczerwieni 2–10 μm.

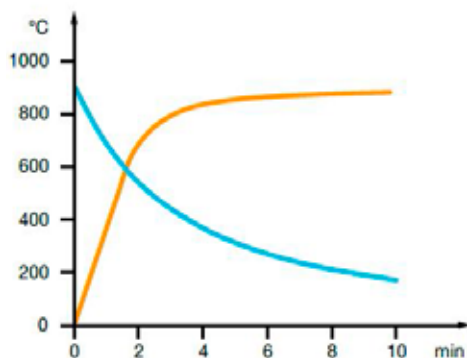


Fig. 45: Radiator temperatures
Heating-up: red curve
Cooling-down: blue curve

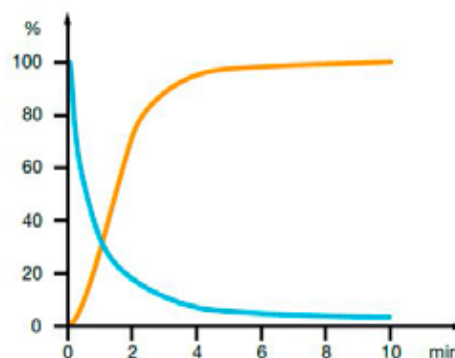


Fig. 46: Radiant powers
Heating-up: red curve
Cooling-down: blue curve

Ryc. 13. Charakterystyki ceramicznego promiennika podczerwieni
[wg. Elstein-Werk M.Steinmetz GmbH & Co. KG]

Fig. 13. Characteristics of ceramic infrared radiator
[Elstein-Werk M.Steinmetz GmbH & Co. KG]

W celu realizacji zmiennego obciążenia cieplnego próbek (w zależności od wymagań) zastosowano dwa zestawy promienników podczerwieni, każdy z osobnym sterowaniem wg poniższej konfiguracji:

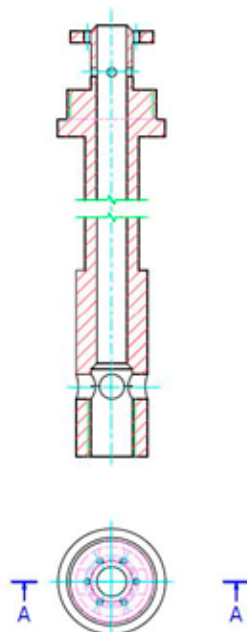
- promiennik podczerwieni EBF/25 (T-SHTS/1) 1 kpl.,
- promiennik podczerwieni EBF/100 (2xSHTS/1 + 1xT-SHTS/1) 1 kpl.,
- regulator temperatury ESM4420 2 kpl.,
- przewód GLS-Ni-2,5,
- przewód + termopara.

3.5. Źródła ciepła zastosowane w pozostałych stanowiskach – palnik gazowy

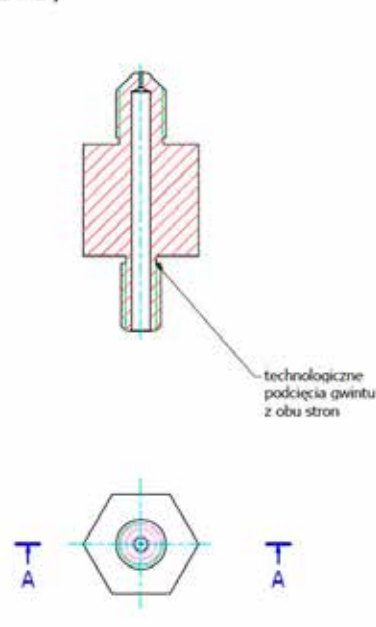
W pozostałych stanowiskach jako źródło ciepła wybrano palnik kinetyczno-dyfuzyjny (ryc. 14) o następujących parametrach technicznych [10]:

- paliwo gazowe: metan, propan techniczny,
- regulacja wysokości płomienia poprzez zastosowanie reduktora oraz dodatkowego zaworu kulowego,
- konstrukcja umożliwiająca pionowe przemieszczanie się palnika, co umożliwi oddziaływanie płomienia zarówno na górną, jak i na dolną część badanej próbki,
- konstrukcja umożliwiająca pozycjonowanie palnika w różnych odległościach od próbki,
- konstrukcja palnika umożliwia odchylenie go od pionu.

A-A (2 : 1)



A-A (2 : 1)

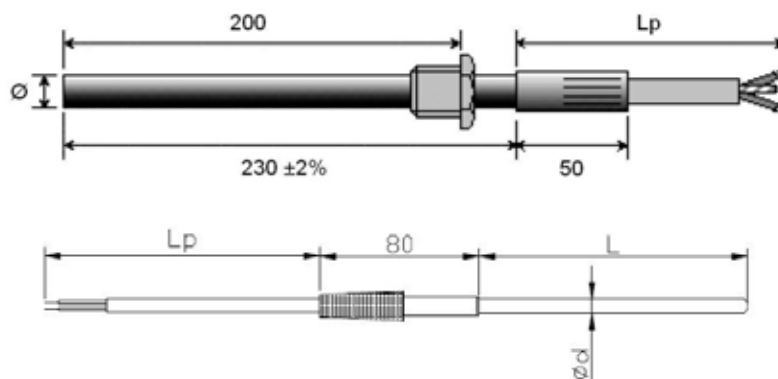


Ryc. 14. Rysunek palnika kinetyczno-dyfuzyjnego [10]
Fig. 14. Drawing of kinetic-diffusion burner [10]

3.6. Źródła ciepła zastosowane w pozostałych stanowiskach – płyta grzewcza o podwyższonej temperaturze (ciepło kontaktowe)

Innym źródłem ciepła, które znalazło zastosowanie w pozostałych stanowiskach, są patronowe elementy grzejne (grzałki patronowe) umieszczone w płycie korpusu z mosiądzu. Do parametrów i charakterystyk tych urządzeń (ryc. 15) zaliczają się:

- płynna regulacja temperatury/wydajności z kontrolą temperatury poprzez zastosowanie zintegrowanej termopary typu K (NiCr–Ni),
- maksymalna temperatura ok. 870°C (mierzona przy płaszczu grzałki),
- patronowy element grzejny GPF Fi 8 mm x 230 mm, 240V, 800W,
- czujnik temperatury płyty: Typ PU Termopara K (NiCr–NiAl).



Ryc. 15. Grzałki patronowe (u góry), czujnik temperatury płyty (na dole) [17]
Fig. 15. Cartridge heaters (upper part), plate temperature sensor (the lower part) [17]

4. Podsumowanie

1. Przedstawione zmodyfikowane wymagania dotyczące stanowisk do badań odporności środków ochrony indywidualnej (ubrań specjalnych) na działanie czynników zewnętrznych takich jak: promieniowanie cieplne, płomień i kontakt z ciałami stałymi o znacznie podwyższonej temperaturze kontaktowej pozwalają na opracowanie optymalnych stanowisk badawczo-pomiarowych.
2. Stanowiska te umożliwią badanie próbek odzieży z uwzględnieniem wszystkich warstw materiałów oraz różnych zgrubień fabrycznych, tj. naszywek, wcięć, szwów, wkładek, kieszeni itp.
3. Opisane stanowiska pozwalają na ocenę próbek odzieży ochronnej w sposób innowacyjny względem istniejących standardów z możliwością (po niewielkich modyfikacjach) przeprowadzania badań normatywnych.
4. Możliwa będzie analiza ciepła zgromadzonego w warstwach odzieży po ekspozycji zewnętrznych źródeł ciepła oraz przewidywanie oparzeń, do jakich może dojść podczas ekspozycji, a co za tym idzie, zapobieganie zagrożeniom zdrowia i życia ratownika dzięki zastosowaniu lepszych i nowoczesnych materiałów na ubrania ochronne.
5. Metody opisane w standardach różnią się nie tylko pod kątem zastosowanej w nich aparatury, ale również wielkościami próbek, liczbą warstw próbki, kątem oddziaływania strumienia ciepła na badaną próbkę oraz zastosowanymi paliwami do zasilenia palników gazowych.
6. Wyniki badań uzyskanych przy realizacji projektu nr O ROB/0011/03/01/001 „Opracowanie innowacyjnego systemu stanowisk do badania ochron osobistych” pozwolą na zaproponowanie nowych, w pełni uzasadnionych naukowo metodyk badawczych i wymagań stawianych środkom ochrony indywidualnej.

Artykuł został opracowany w ramach projektu pt. „Opracowanie innowacyjnego systemu stanowisk do badania ochron osobistych” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (nr O ROB/0011/03/01/001).

5. Terminy i definicje

promieniowanie cieplne (podczerwone) – jest to promieniowanie wysyłane przez każde ciało w temperaturze wyższej od zera bezwzględnego, źródłem promieniowania jest ładunek elektryczny [7]. Promieniowanie to jest falą elektromagnetyczną o określonym widmie częstotliwości, które znajduje się w równowadze termodynamicznej z otoczeniem o ustalonej temperaturze T [2]. Zakres energii E promieniowania cieplnego mieści się w przedziale: $1\text{meV} \leq E \leq 1\text{eV}$, natomiast długość fali promieniowania cieplnego zawiera się w zakresie: $10^{-6}\text{ m} \leq \lambda \leq 10^{-3}\text{ m}$ [3].

płomień – efekt redukcji spalania gazu W w zjawisku tym zostały wyróżnione następujące strefy: rozkładu, powstania sadzy, spalania wytrąconej sadzy oraz spalania gazu. W zależności od rodzaju spalania wyróżnia się następujące rodzaje płomienia: płomień kinetyczny oraz płomień dyfuzyjny [10–11].

termopara – jeden z najbardziej popularnych rodzajów detektorów termicznych, zbudowany z dwóch różnych spojonych ze sobą metali. Siła termoelektryczna termopary zależy od rodzaju zastosowanych metali, obecności zanieczyszczeń i domieszek w materiale, metody wytwarzania termopary i stosowanych obróbek [3], [7], [9]. Zasada działania termopary opiera się na zjawisku Seebecka, które polega na tym, że styk pomiędzy dwoma metalami generuje napięcie będące funkcją temperatury [4], [7], [10].

termopara typu K – standard przemysłowy dla temperatur od -200°C do 1200°C . Termopary typu K mogą korodować w środowiskach odtłuszczanych chemicznie [4].

ultratermostat – jest to urządzenie składające się z naczynia wypełnionego wodą lub wodą z olejem, zaopatrzonego w grzałkę oraz układ sterujący. Ultratermostat służy do otrzymywania i utrzymywania temperatury wewnątrz. Aby ustawić wymaganą temperaturę, używane są termometry kontaktowe napełnione rtęcią [5], [10].

termowizja – metoda pomiaru natężenia promieniowania podczerwonego w zakresie $3\text{--}5\ \mu\text{m}$ (SWIR – termowizja krótkofalowa) lub $8\text{--}12\ \mu\text{m}$ (LWIR – termowizja długofalowa), w sposób bezstykowy i nieinwazyjny za pomocą kamery termowizyjnej. Promieniowanie zależy od temperatury badanego obiektu, co oznacza, że w sposób pośredni termowizja może być wykorzystywana do oceny stanu cieplnego badanej struktury, w tym do określenia wartości temperatury [6], [7], [10].

cienkowarstwowe czujniki gęstości strumienia ciepła – wykonane zazwyczaj z kompozytu ceramiczno-polimerowego, tego typu czujniki mają czułość $50\ \mu\text{V}/\text{Wm}^2$ [7], [10].

walcowe czujniki strumienia ciepła (czujniki Schmidta-Boeltera) – czujniki służące do pomiaru dużych gęstości strumienia ciepła. Składają się one z cienkowarstwowej płytki wykonanej z materiału o niskim współczynniku przewodzenia ciepła umieszczonej w bloku chłodnicy (najczęściej miedzianym). Pomiar za pomocą tego typu czujnika polega na pomiarze różnicy temperatur na skrajnych ściankach warstwy izolacyjnej przez którą przewodzone jest ciepło [7], [10].

całka Henriquesa – pozwala na obliczenie stopnia oparzeń ludzkiej skóry w wyniku oddziaływania strumienia cieplnego [7], [8], [10].

$$\Omega = \int Pe \frac{\Delta E}{RT} dt$$

Ω – parametr określający stopień oparzeń,

t – czas oddziaływania oraz gromadzenia danych [s],

P – współczynnik zależny od głębokości i temperatury [1/s],

ΔE – energia aktywacji [J/kmol],

R – stała gazowa [J/kmol · K],

T – temperatura na zadanej głębokości wewnątrz skóry [K].

Literatura

- [1] Czopek K., Zazulak M., *Notatki w Internecie. Wstęp do fizyki atomowej w teorii kwantowej*, [dok. elektr.], http://oen.dydaktyka.agh.edu.pl/dydaktyka/fizyka/c_fizyka_at_i_kw/ [dostęp: 01.2015].
- [2] Kryszewski S., *Mechanika kwantowa. Skrypt dla studentów III-ego roku fizyki*, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2002–2010.
- [3] Grygiel P., Sodolski H.: *Laboratorium konwersji energii*, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2006.
- [4] Stanisław S., *Termopary bez tajemnic – cz. 1, „Pod kontrolą. Automatyka i pomiary” Issue 3, 2009.*
- [5] Gutkowski A., *Laboratorium z termodynamiki i fizyki II. Pomiar temperatury*, Skrypt PŁ, Łódź 2010.
- [6] Gustavsson R., *Thermography a practical approach*, NORBO KraftTeknik AB 2009, ISBN 978-91-974844-3-5.
- [7] Stegienko K., Trzeciak A., *Opracowanie koncepcji stanowiska do badania próbek poddanych oddziaływaniu promieniowania cieplnego*, Sprawozdanie z projektu Nr O ROB/0011/03/01/001 „Opracowanie innowacyjnego systemu stanowisk do badań ochron osobistych”.
- [8] Wiśniewski T., Furmański P., Łapka P., *Problemy związane z oceną ochron osobistych poddanych obciążeniu cieplnemu*, [w:] *Problemy Monitoringu eksploatacji sprzętu i wyposażenia w Straży Pożarnej*, J. Roguski (red.), CNBOP-PIB, Józefów 2015, 85–106.
- [9] Roguski J. (red.), *Problemy monitoringu eksploatacji sprzętu i wyposażenia w Straży Pożarnej*, CNBOP-PIB, Józefów 2015, 174.
- [10] *Wyznaczanie rozkładu temperatur w gazowym płomieniu kinetycznym i dyfuzyjnym*, [dok. elektr.], http://www.piecz.wip.pcz.pl/laboratoria/instrukcje.cwiczen/wyznaczanie_rozkladu_temperatur_w_gazowym_pplomieniu_kinetycznym_i_dyfuzyjnym_wizualizacja_strugi_gazowej_zapomoca_aparatu_smugowego.pdf, [dostęp: 01–02.2015].
- [11] Kubis D., Błogowski M., *Opracowanie koncepcji stanowiska do badania próbek poddanych oddziaływaniu płomienia*, Sprawozdanie z projektu Nr O ROB/0011/03/01/001 „Opracowanie innowacyjnego systemu stanowisk do badań ochron osobistych”, 11.2013 – 01.2014 r.
- [12] Gieras M., *Opracowanie konstrukcji palnika oraz układu zasilania do stanowiska do badania próbek poddanych oddziaływaniu płomienia*, MEiL, ITC PW, lipiec 2014.
- [13] ASTM F 1060 – 01 Standard Test Method for Thermal Protective Performance of Materials for Protective Clothing for Hot Surface Contact.
- [14] Randall Lawson J., Twilley W. H., Malley K. S., *Development of a Dynamic Compression Test Apparatus for Measuring Thermal Performance of Fire Fighters' Protective Clothing*, NISTIR 6502.
- [15] Lawson J. Randall and. Vettori Robert L., *Thermal Measurements for fire fighters' protective clothing*.
- [16] PN-EN 702, *Odzież ochronna – Ochrona przed gorącym i płomieniem – Metoda badania: Wyznaczanie przenikania ciepła kontaktowego przez odzież ochronną lub materiały na nią przeznaczone*, marzec 2002.
- [17] Oficjalna strona internetowa producenta elementów grzejnych Selfa, <http://www.selfa.pl/katalog/kategoria/patronowe/50> [dostęp: 02.2014–05.2015].
- [18] Oficjalna strona internetowa firmy item, www.item24.pl [dostęp: 02.2014–05.2015].
- [19] Oficjalna strona internetowa firmy PolyScience, www.polyscience.com [dostęp: 02.2014–05.2015].
- [20] Oficjalna strona internetowa firmy OMEGA, www.omega.com [dostęp: 02.2014–05.2015].
- [21] Kubis D., *Weryfikacja poprawności wykonania i prawidłowości założeń konstrukcyjnych, ewentualne poprawki i modyfikacje układów, stanowiska do badania próbek poddanych oddziaływaniu płomienia*, Sprawozdanie z projektu Nr O ROB/0011/03/01/001 „Opracowanie

- innowacyjnego systemu stanowisk do badań ochron osobistych”. 11.2014–01.2015 r.
- [22] Błogowski M., Pogorzelski L., *Weryfikacja poprawności wykonania i prawidłowości założeń konstrukcyjnych, ewentualne poprawki i modyfikacje układów, stanowiska do badania próbek poddanych oddziaływaniu promieniowania cieplnego*, Sprawozdanie z projektu Nr OROB/0011/03/01/001 „Opracowanie innowacyjnego systemu stanowisk do badań ochron osobistych”, 11.2014–01.2015 r.
- [23] Roguski J., *Weryfikacja poprawności wykonania i prawidłowości założeń konstrukcyjnych, ewentualne poprawki i modyfikacje układów, stanowiska do badania próbek będących w kontakcie z ciałami o podwyższonej temperaturze*, Sprawozdanie z projektu Nr O ROB/0011/03/01/001 „Opracowanie innowacyjnego systemu stanowisk do badań ochron osobistych” 11.2014–01.2015 r.
- [24] ASTM F2700, Standard Test Method for Unsteady-State Heat Transfer Evaluation of Flame Resistant Materials for Clothing with Continuous Heating.
- [25] NFPA 1971: Standard on Protective Ensembles for Structural Fire Fighting and Proximity Fire Fighting.
- [26] ASTM F2702, Standard Test Method for Radiant Heat Performance of Flame Resistant Clothing Materials with Burn Injury Prediction.
- [27] NFPA 1977: Standard on Protective Clothing and Equipment for Wildland Fire Fighting.
- [28] ASTM F2731 – 11 Standard Test Method for Measuring the Transmitted and Stored Energy of Firefighter Protective Clothing Systems.
- [29] PN-EN 469:2014-11 Odzież ochronna dla strażaków – Wymagania użytkowe dotyczące odzieży ochronnej przeznaczonej do akcji przeciwpożarowej.
- [30] ISO 17493 Clothing and equipment for protection against heat – Test method for convective heat resistance using a hot air circulating oven.
- [31] PN-EN ISO 6942:2005 Odzież ochronna – Ochrona przed gorącym i ogniem – Metoda badania: Ocena materiałów i zestawów materiałów poddanych działaniu promieniowania cieplnego.

* * *

dr inż. Jacek Roguski – adiunkt w Zespole Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Straży Pożarnej i Technicznych Zabezpieczeń Pożarowych CNBOP-PIB. Zajmuje się naukowo i praktycznie aspektami związanymi z zagadnieniami ochron osobistych, instalacji gaśniczych oraz problemami eksploatacji urządzeń technicznych. Jest autorem i współautorem szeregu artykułów i monografii oraz wystąpień na konferencjach krajowych i zagranicznych.

mgr inż. Maciej Błogowski – zastępca kierownika w Zespole Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Straży Pożarnej i Technicznych Zabezpieczeń Pożarowych CNBOP-PIB.

inż. Daria Kubis – młodszy specjalista w Zespole Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Straży Pożarnej i Technicznych Zabezpieczeń Pożarowych CNBOP-PIB.