

**Katarzyna Majchrzycka, Marcin Jachowicz  
Małgorzata Okrasa, Grażyna Bartkowiak  
Anna Dąbrowska, Grzegorz Gralewicz  
Grzegorz Owczarek, Emilia Irzmańska**

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy  
Zakład Ochron Osobistych  
ul. Wierzbowa 48, 90-133 Łódź

## **Rozwój funkcjonalności i ergonomii środków ochrony indywidualnej z uwzględnieniem innovacyjnych materiałów, systemów i technologii**

Development of functionality and ergonomics of personal  
protective equipment including innovative materials,  
systems and technologies

### **Streszczenie**

Środki ochrony indywidualnej (śoi) stosowane są na ogół w sytuacjach szczególnego zagrożenia dla pracowników. Jednocześnie często są one postrzegane jako niewygodne lub niedopasowane do potrzeb użytkowników. Dlatego konieczne jest ciągle doskonalenie ich konstrukcji z wykorzystaniem nowych materiałów i systemów informatyczno-komunikacyjnych. W artykule przedstawiono najnowsze osiągnięcia w tym zakresie na podstawie wyników badań realizowanych w CIOP-PIB. W szczególności omówiono aplikację aktywnych materiałów do odzieży ochronnej, zastosowanie nanotechnologii do konstrukcji hełmów oraz nowego biobójczego sprzętu do ochrony układu oddechowego. Przedstawiono także zagadnienia związane z czasem bezpiecznego stosowania pochłaniaczy z wykorzystaniem czujników sygnalizujących przebiecie złoza sorpcyjnego. W zakresie wykorzystania technologii informatycznych przedstawiono system do monitorowania czasu zużycia śoi oraz wykorzystanie rzeczywistości wzbogaconej w konstrukcji przyłbicy dla spawaczy. Omówiono także metodę oceny komfortu cieplnego w obuwiu ochronnym.

**Słowa kluczowe:** *ochrony indywidualne, innowacje, ergonomia, funkcjonalność, bezpieczeństwo*

## Abstract

Personal protective equipment (PPE) is generally used to minimize risk to the workers' health and safety in situations of extreme danger. At the same time PPE items are usually perceived as uncomfortable or unsatisfying in terms of users' needs. Therefore, it is necessary to continuously modify and improve their design by use of innovative materials or new and emerging technologies. Some of the achievements in this area, based on the results of research recently carried out in CIOP-PIB, are presented in this paper. In particular, we discuss the application of active materials to the construction of protective clothing, the use of nanocrystalline coatings to improve helmets resistance to infrared radiation and development of new bioactive respiratory protective devices. Moreover we consider issues related to the determination of end-of-service-life of gas filters by means of electronic gas sensors and the use of information technologies in systems monitoring of PPEs' lifecycle. Augmented reality system is presented as a tool providing workers with necessary information support during welding. We also discuss a novel method for thermal comfort evaluation of protective footwear.

**Keywords:** *PPE, innovations, ergonomics, functionality, safety*

## 1. Wprowadzenie

Do najważniejszych technicznych przyczyn wypadków przy pracy należą brak oraz niewłaściwy dobór lub zły stan techniczny urządzeń ochronnych, niewystarczająca wytrzymałość czynnika materialnego oraz niewłaściwy dobór lub zły stan techniczny urządzeń sygnalizujących powstawanie zagrożeń. Wśród przyczyn organizacyjnych należy wymienić brak nadzoru nad pracownikami oraz nie wyposażanie pracowników w wymagane środki ochrony indywidualnej lub niewłaściwy ich dobór do zagrożeń. Jednocześnie należy podkreślić, że w celu wyeliminowania lub zminimalizowania zagrożeń, pracodawcy najczęściej wykorzystują środki ochrony indywidualnej. Dlatego też istnieje realna potrzeba doskonalenia technologii i konstrukcji tych środków tak, aby zapewniały one wysoki stopień ochrony i jednocześnie uwzględniały wymagania ergonomii. Należy wyróżnić następujące podstawowe kierunki rozwoju funkcjonalności i ergonomii środków ochrony indywidualnej:

- kształtowanie właściwości ochronnych z wykorzystaniem innowacyjnych materiałów i technologii,
- sygnalizacja czasu bezpiecznego stosowania i procesów degradacji środków ochrony indywidualnej,
- doskonalenie funkcjonowania środków ochrony indywidualnej przez zastosowanie interaktywnych materiałów oraz technik informatycznych i telekomunikacyjnych w ramach koncepcji tzw. inteligentnego środowiska pracy,

- rozwój metod projektowania i badania innowacyjnych środków ochrony indywidualnej, ze szczególnym uwzględnieniem indywidualnych potrzeb użytkowników.

Poniżej zaprezentowano możliwości techniczne, technologiczne i materiałowe w zakresie rozwoju każdego z wymienionych kierunków wraz z podaniem przykładów z prac badawczych i rozwojowych prowadzonych w Zakładzie Ochrony Osobistych Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego.

## **2. Kształtowanie właściwości ochronnych środków ochrony indywidualnej z wykorzystaniem innowacyjnych materiałów i technologii**

Dynamiczny rozwój inżynierii materiałowej obserwowany w ciągu ostatnich lat stwarza możliwości wytwarzania innowacyjnych wyrobów, a także nadawania klasycznym wyrobom specyficznych cech, niemożliwych do osiągnięcia przy zastosowaniu technologii tradycyjnych. W tym nurcie badawczym jednym z nowych kierunków jest nanotechnologia, która umożliwia uzyskanie materiałów o wyspecjalizowanych cechach. W szczególności wykorzystuje się nanocząstki do modyfikacji materiałów polimerowych z przeznaczeniem na wyroby zabezpieczające przed działaniem szkodliwych czynników chemicznych i biologicznych. Szerokie zastosowanie mają też cienkie, nanokrystaliczne powłoki nanoszone na tradycyjne materiały stosowane do ochrony przed promieniowaniem optycznym.

### **2.1. Nowoczesne, cienkie, nanokrystaliczne powłoki podnoszące odporność hełmów na działanie promieniowania podczerwonego**

Na stanowiskach pracy w hutach lub odlewniach, poza źródłami intensywnego promieniowania podczerwonego, występują także iskry i bezpośredni kontakt z otwartym płomieniem oraz zagrożenia mechaniczne. W takim przypadku hełmy ochronne stosowane do ochrony głowy mogą pod wpływem promieniowania cieplnego utracić swoje właściwości mechaniczne, takie jak zdolność amortyzacji lub odporność na przebicie. Obecnie, jedynie hełmy strażackie wykazują odporność w tym zakresie, ale jest ona uzyskana najczęściej przez użycie wewnętrznych warstw izolujących, co znacznie zwiększa masę hełmu i podnosi położenie jego środka ciężkości. Rozwiązaniem tego problemu może być naniesienie na skorupę hełmu cienkiej powłoki metalicznej np. z aluminium, miedzi, tytanu lub chromu. Bardzo dobrze mogą sprawdzić się także węgliki i tlenki ww. materiałów. Warstwa nanoszona na hełm może być pojedyncza lub może składać się z wielu komponentów, które dzięki swoim właściwościom zapewnią podwyższenie parametrów mechanicznych. Do tego typu aplikacji najlepiej nadają się technologie próżniowe np. fizycznego osadzania z fazy gazowej. Jedną z nich - rozpylanie magnetrone

daje możliwość prawie dowolnej kompozycji składu chemicznego powłok, a zastosowanie gazów reaktywnych możliwość wytwarzania tlenków, węglików lub azotków materiałów podstawowych. W procesie technologicznym konieczne jest uzyskanie odpowiedniej adhezji nanopowłoki do powierzchni hełmu oraz utrzymanie niskiej temperatury procesu, aby nie nastąpiła destrukcja podstawowego tworzywa hełmu.

## **2.2. Bioaktywny sprzęt ochrony układu oddechowego**

Szkodliwe czynniki biologiczne stanowią bardzo ważny problem medycyny pracy i zdrowia publicznego. Wdychane wraz z pyłem mikroorganizmy i wytwarzane przez nie substancje (endotoksyna, peptydoglikan, glukany, mikotoksyny) stanowią poważne zagrożenie dla pracowników zatrudnionych w ochronie zdrowia, rolnictwie, leśnictwie, przemyśle rolno-spożywczym i drzewnym, biotechnologii oraz przetwórstwie odpadów komunalnych i przemysłowych. Dlatego też duże znaczenie w działaniach profilaktycznych ma stosowanie odpowiednio skutecznego sprzętu ochrony układu oddechowego. W tym kontekście ważne jest doskonalenie funkcji związanej z biobójczością materiałów filtracyjnych, przy zapewnieniu przez te materiały wysokiej skuteczności wychwytywania cząstek zanieczyszczeń ze strumienia powietrza oddechowego. Wynika to głównie z faktu, iż materiał filtracyjny stanowiący podstawę konstrukcji sprzętu pozostaje w bliskim kontakcie z układem oddechowym użytkownika, co może przyczynić się do powstania tzw. „wtórnego źródła zakażenia”. Prace badawcze zmierzających do nadania włókninom właściwości biobójczych prowadzono z wykorzystaniem tradycyjnych polimerów termoplastycznych a także polimerów biodegradowalnych [1-3]. Najnowsze prace w tym zakresie ukierunkowane są na wykorzystanie techniki cyklicznego uwalniania czynników biobójczych zamkniętych w mikrokapsułkach polimerowych. Zasadniczym celem mikrokapsulacji jest otoczkowanie tych związków w taki sposób, aby powstał proszek do wykorzystania podczas formowania włókien w technologii melt-blown. Zaletą mikrokapsuł jest możliwość ścisłej kontroli uwalniania substancji biobójczych na powierzchni włóknin podczas użytkowania sprzętu ochrony układu oddechowego. Zapewni to spełnienie funkcji dezynfekujących podczas wielokrotnego użycia sprzętu, przy minimalnym narażeniu użytkownika na kontakt z tymi związkami.

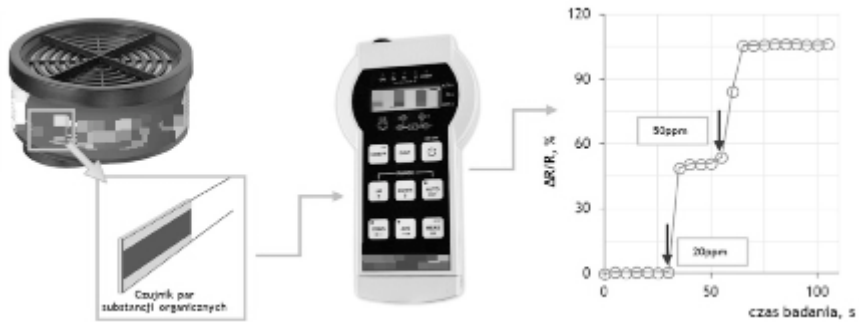
## **3. Sygnalizacja czasu bezpiecznego stosowania i procesów degradacji środków ochrony indywidualnej**

Istotnym problemem związanym z bezpieczeństwem użytkowania środków ochrony indywidualnej jest sygnalizacja czasu ich zużycia. Bez wyraźnie określonych wskaźników pozwalających na monitorowanie zużycia materiału podstawowego danego typu środka ochrony np. rękawicy lub pochłaniacza, nie jest możliwe kontrolowanie faktycznego poziomu bariery ochronnej podczas ich długotrwałego użytkowania na stanowiskach pracy. W tym celu intensywnie rozwijane są

indykatory wykorzystujące różne technologie. Prace badawcze prowadzono nad wykorzystaniem selektywnie reagujących na wybrane grupy chemiczne barwników/pigmentów zatopionych w strukturach polimerowych, a także barwników fotochromowych i nanorurek węglowych. Do konstrukcji tych rozwiązań wykorzystywane są najnowsze technologie związane z mikrokapsulacją, oraz bezprzewodowym systemem przesyłania danych.

### **3.1. Wskaźniki czasu ochronnego działania pochłaniacza do ochrony układu oddechowego**

Do ochrony przed zagrożeniami w postaci par lub gazów stosowany jest oczyszczający sprzęt ochrony układu oddechowego wyposażony w wypełnione sorbentem węglowym elementy pochłaniające szkodliwe substancje chemiczne. Po nasyceniu sorbentu przez substancję chemiczną dochodzi do tzw. przebicia złoża, pochłaniacz traci wtedy swoje właściwości ochronne. Określenie momentu, w którym dochodzi do wyczerpania zdolności sorpcyjnej pochłaniacza, jest niezwykle istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa użytkownika. Czas ten, określanej jako czas ochronnego działania zależy od dostępnej pojemności sorpcyjnej złoża, objętościowego natężenia przepływu powietrza, bezpośrednio powiązanego z wentylacją minutową płuc użytkownika sprzętu, stężenia danej substancji w otoczeniu, składu atmosfery, jak również temperatury i wilgotności powietrza [4]. Dokładne wyznaczenie czasu ochronnego działania pochłaniacza na stanowisku pracy jest bardzo trudne, a wartość określona na podstawie badań laboratoryjnych odpowiada wyłącznie przyjętym standardowym i stabilnym warunkom pomiarowym. Rozwiązanie tego problemu stanowi wprowadzenie do konstrukcji pochłaniacza wskaźnika, umożliwiającego określenie momentu jego przebicia i zasygnalizowanie, że daną ochronę należy wymienić. Pomimo, że idea ta nie jest nowa, w chwili obecnej na rynku nie występują aktywne wskaźniki czasu przebicia złoża. Jedyne, komercyjnie dostępne rozwiązanie opiera się na zmianie koloru polimerowego paska umieszczonego na zewnątrz pochłaniacza w miarę nasycania się sorbentu [5]. Wskaźnik tego typu należy do grupy indykatorów pasywnych, których główną zaletą jest niska cena. Jednak jego zastosowanie wymaga aktywnego monitorowania przez użytkownika barwy indykatora, a obserwacji takich nie można dokonać podczas użytkowania sprzętu. W aktywnych systemach wskaźnikowych do monitorowania obecności szkodliwych substancji stosuje się czujniki elektroniczne oraz wskaźnik (światlny lub dźwiękowy) zapewniający możliwość ostrzeżenia użytkownika o wyczerpaniu złoża (Rys. 1.), jednak ich powszechne zastosowanie ograniczała do tej pory wysoka cena [6].



Rys. 1. Schemat ideowy implementacji czujnika do pochłaniacza par substancji organicznych  
 Fig. 1. Schematic diagram of the implementation of gas sensor to the construction of organic gas filter  
 Źródło: CIOP-PIB

Nowe możliwości w zakresie projektowania i konstruowania sensorów substancji chemicznych daje wykorzystanie do tego celu nanomateriałów, wśród których na szczególną uwagę zasługują nanorurki węglowe. Prowadzone obecnie prace badawcze zmierzają do opracowania taniego i niezawodnego sensora na bazie cienkich warstw zawierających nanorurki węglowe, którego wprowadzenie do konstrukcji pochłaniacza par związków organicznych umożliwi powiadomienie użytkownika o konieczności wymiany pochłaniacza.

#### 4. Doskonalenie funkcjonowania środków ochrony indywidualnej przez zastosowanie interaktywnych materiałów oraz technik informatycznych i telekomunikacyjnych

Odpowiednie stosowanie środków ochrony indywidualnej powinno mieć mocne oparcie w ich społecznej akceptacji, uwarunkowanej odczuciami fizjologicznymi i psychofizycznymi użytkowników. Znamiennym przykładem takich prac są badania w sferze środków ochrony indywidualnej aktywnie reagujących na zmiany zarówno środowiska zewnętrznego jak i funkcji organizmu użytkownika. W tym kontekście szczególnie liczne prace prowadzone są w kierunku aplikacji materiałów przemiany fazowej (PCM) oraz konstrukcji systemów chłodzących. Aktualnie na świecie znane są także rozwiązania wspomagające użytkowników środków ochrony indywidualnej, szczególnie podczas aktywności zawodowej w ekstremalnie trudnych warunkach. Do takich rozwiązań zaliczyć można m.in. systemy do wizualizacji otoczenia użytkownika oraz przekazujące informacje o zagrożeniach za pośrednictwem specjalnych interfejsów wizyjnych.

#### 4.1. Kamizelka o właściwościach termoregulacyjnych z materiałami przemiany fazowej

Z uwagi na znaczące obciążenie cieplne związane z pracą w barierowej odzieży ochronnej w środowisku gorącym, osoby pracujące w takich warunkach wymagają znacząco krótszych okresów pracy, częstszych i dłuższych okresów odpoczynku [7-9]. Dlatego ważne jest, aby w tym zakresie wykorzystać nowoczesne technologie funkcjonalizacji odzieży ochronnej za pomocą materiałów tzw. inteligentnych, które pod wpływem danego bodźca są zdolne do zmiany swoich właściwości w określony sposób [10]. Najbardziej znaną technologią, która znalazła zastosowanie w konstrukcji inteligentnej odzieży ochronnej są materiały przemiany fazowej (z ang. *Phase Change Materials* – PCM). Zostały one wykorzystane do opracowania kamizelki, która odbiera nadmiar ciepła generowanego przez ciało człowieka i ogranicza dyskomfort związany z pracą w szczelnej odzieży ochronnej. Kamizelka wykonana została z dwuwarstwowej dzianiny o budowie kanałowej, do której wprowadzono makrokapsułki z materiałami przemiany fazowej (Rys. 2.). Istotą opracowanej kamizelki jest również fakt, iż została ona wykonana z dwuwarstwowej dzianiny, która poprzez odpowiedni układ surowców, w tym udział specjalistycznych, wysokosorpcyjnych włókien celulozowych z makrokapsułkami PCM, zapewnia także regulację wilgotności względnej mikroklimatu pod szczelną odzieżą ochronną [7, 11 - 12].



Rys. 2. Kamizelka o właściwościach termoregulacyjnych zastosowana pod szczelną ochroną  
Fig. 2. Vest with thermo-regulating properties under clothing protecting against chemicals  
Źródło: CIOP-PIB

Badania laboratoryjne entalpii przeprowadzone metodą skaningowej kalorymetrii różnicowej wykazały, że dwuwarstwowa dzianina wypełniona makrokapsułkami PCM charakteryzuje się właściwościami termoregulującymi (entalpia równa 154 J / g) i wykazuje zdolność do pochłaniania ciepła w temperaturze 28°C. Dzięki zawartości włókien celulozowych, wytworzony wyrób włókienniczy charakteryzuje się także wysoką sorpcją cieczy, która zapewnia zadowalające odprowadzanie potu ze skóry użytkownika podczas użytkowania. Wielowarstwowa budowa oraz

zastosowanie włókien hydrofobowych w wewnętrznych warstwach wyrobu powoduje, że użytkownik odzieży nie odczuwa wilgoci związanej z pochłanianiem potu przez opracowany wyrób [12]. Zdolność kamizelki z makrokapsułkami PCM do termoregulacji organizmu użytkownika szczelnej odzieży ochronnej potwierdzono na podstawie badań z udziałem ochotników w komorze klimatycznej, w mikroklimacie umiarkowanym (temperatura 20°C) [12].

#### 4.2. System automatycznej identyfikacji i monitorowania czasu użytkowania środków ochrony indywidualnej

Uzasadnione jest poszukiwanie rozwiązań umożliwiających monitorowanie czasu użytkowania środków ochrony indywidualnej z wykorzystaniem technologii informatycznych. Jedną z propozycji jest system automatycznej identyfikacji i monitorowania czasu użytkowania środków ochrony indywidualnej (przechowywania, stosowania w warunkach środowiska pracy, konserwacji) przedstawiony na Rys. 3. Głównym założeniem proponowanego rozwiązania jest wykorzystanie technologii RFID (ang. RFID - *Radio Frequency Identification*), czyli oznakowanie środków ochrony indywidualnej znacznikami elektronicznymi (tagami). Wbudowana w znacznik antena przekazuje dane zapisane w znaczniku do czytnika, a następnie dane te trafiają do bazy danych zapisanej na serwerze. Aplikacja komputerowa, zainstalowana na serwerze, przetwarza te dane, a następnie są one wizualizowane na ekranie komputera (terminal użytkownika).



Rys. 3. Schemat zasady działania systemu automatycznej identyfikacji i monitorowania czasu użytkowania środków ochrony indywidualnej

Fig. 3. Diagram showing the operating principle of PPEs' automatic identification and end-of-service life monitoring system

Źródło: CIOP-PIB

System umożliwia: ustalanie, właściwych do stopnia zużycia środków ochrony indywidualnej, okresów konserwacji, napraw i wymiany na nowe, rejestrację „cyklu życia” tych środków, analizę kosztów związanych z zakupem w podziale na działy/stanowiska pracy, prowadzenie statystyk i planowanie kosztów z uwzględnieniem miejsca powstania kosztów.



### **4.3. Rzeczywistość wzbogacona – element wspomagający komfort i bezpieczeństwo pracy**

Systemy rzeczywistości wzbogaconej (ang. *Augmented Reality* – AR) pozwalają na obserwowanie otaczającej rzeczywistości oraz wprowadzenie w pole widzenia dodatkowych informacji. W procesie pracy układy AR znajdują głównie zastosowanie podczas wykonywania czynności o złożonym charakterze, wymagającej od pracownika odbioru i szybkiej analizy dużej ilości informacji. Aby takie układy były akceptowane przez użytkowników muszą spełniać szereg wymagań w zakresie rozwiązań technicznych i ergonomicznych uwzględniających komfort użytkownika oraz rzeczywiste potrzeby użytkownika. Z tego względu systemy AR są projektowane głównie pod kątem ich zastosowania dla konkretnie zdefiniowanej grupy przyszłych użytkowników. Opracowano model takiego systemu z przeznaczeniem dla spawaczy. Pozwala on na rozszerzenie funkcji aktualnie stosowanych osłon spawalniczych o szereg dodatkowych możliwości, takich jak: obserwacja otoczenia obszaru spawania, informowanie spawacza o parametrach i warunkach spawania oraz o zagrożeniach środowiskowych. Opracowano również algorytm i oprogramowanie do analizy defektów elementów spawanych [13].

## **5. Rozwój metod projektowania i badania innowacyjnych środków ochrony indywidualnej ze szczególnym uwzględnieniem indywidualnych potrzeb użytkowników**

Szczególnie istotnym i nowatorskim kierunkiem jest wykorzystanie technik skanowania 3D do szybkiego projektowania wyrobów spełniających wymagania indywidualnych użytkowników. Projektowanie nowych konstrukcji sprzętu ochrony układu oddechowego, obuwia ochronnego oraz odzieży ochronnej na podstawie cyfrowego, trójwymiarowego odwzorowania kształtów ciała człowieka, zapewni dopasowanie środków ochrony do indywidualnych cech antropometrycznych użytkowników. Przyczyni się to do poprawy stopnia zaspokojenia potrzeb pracownika w zależności od rodzaju i intensywności jego aktywności, a zarazem zwiększy akceptację stosowania środków ochrony indywidualnej przez pracowników. Ponadto należy podkreślić, że do badania innowacyjnych wyrobów coraz powszechniej wykorzystywane są różnego rodzaju manekiny termiczne z funkcją pocenia.

### **5.1. Ocena komfortu użytkowania wkładek kompozytowych do szczelnego obuwia ochronnego z wykorzystaniem termicznego modelu stopy**

Środki ochrony indywidualnej oprócz podstawowych funkcji ochronnych powinny spełniać wymagania z zakresu higieny, zdrowotności i ergonomii. Problem ten dotyczy również obuwia ochronnego, które z jednej strony zabezpiecza stopę przed czynnikami niebezpiecznymi i szkodliwymi, a z drugiej powoduje znaczne obciążenie dla człowieka i wpływa na pogorszenie komfortu jego użytkowania. Stosowane materiały i elementy ochronne uniemożliwiają skuteczną dystrybucję

ciepła i potu [14]. Wysoka temperatura i nadmierna wilgotność w obuwiu mogą prowadzić do rozkładu substancji organicznych zawartych w pocie. Powoduje to rozwój chorobotwórczych bakterii i grzybów [15]. Wkładki obuwnicze spełniają ważną rolę w obuwiu ponieważ mogą absorbować od 85 do 90% wydzielonego przez stopę potu. W przypadku, gdy wkładki są wykonane z tworzywa polimerowego lub kompozytów tekstylnych o właściwościach buforujących wilgoć, hamowany jest efektywny ciekły transport wilgoci, a pot kumuluje się w strukturze tekstyliów [16]. Zaprojektowano nową wkładkę kompozytową do obuwia szczelnego ochronnego [17]. Pod względem materiałowym wkładka kompozytowa zbudowana jest następująco: warstwa 1 – tkanina dwuwarstwowa, w której warstwa górna utworzona jest z włókien hydrofobowych poliestrowych, a dolna warstwa utworzona jest z włókien hydrofilowych typu Lyocell (kontaktująca się ze stopą użytkownika), warstwa 2 - włóknina melt-blown z włókien hydrofilowych poliwęglanowych zawierających składnik bioaktywny tworząca dystansową przestrzeń (środkowa), warstwa 3 – włóknina usztywniająca o wysokich parametrach mechanicznych z włókien hydrofobowych polipropylenowych (kontaktująca się bezpośrednio z obuwiem). Kompozytowa wkładka wspomaga efektywnie proces dystrybucji potu w warunkach pH zasadowego, typowego dla warunków ciężkiej pracy i kształtuje optymalną wilgotność w szczelnym obuwiu ochronnym [18]. Ocenę wpływu wkładek na kształtowanie wilgotności względnej w obuwiu ochronnym, przeprowadzono na termicznym modelu stopy (ATTElectro, Polska). Nowością stanowiska, w stosunku do istniejących termicznych modeli stopy na świecie, jest jego wysokość, która odpowiada pod względem anatomicznym długości kończyny dolnej od stopy do kolana i umożliwiła ocenę wszystkich wariantów konstrukcyjnych obuwia ochronnego wg EN ISO 20344:2011 (Rys. 4).



Rys. 4. Stanowisko pomiarowe; 1 – komora klimatyczna; 2 – symulator kończyny dolnej o wysokości do kolana; 3 – blok sterowania przepływem powietrza; 4 – komputer wraz z oprogramowaniem sterującym modelem

Fig. 4. Testing equipment; 1- climatic chamber; 2 – knee high leg simulator; 3 – air flow controlling unit; 4 – computer with software controlling leg simulator

Źródło: CIOP-PIB

Dokładny opis urządzenia i zasadę jego działania opisano w publikacji [19]. Badanie prowadzono przy szybkości wydzielania potu w ilości 15 g/h, która jest charakterystyczna dla aktywności człowieka wymagającej ciężkiego wysiłku fizycznego. Zastosowano warunki badania dynamiczne (ruch i nacisk stopy) w celu przybliżenia rzeczywistych warunków użytkowania obuwia. W czasie badania wyznaczano wilgotność względną w przestrzeni obuwia pomiędzy podeszwową częścią stopy a wkładką kompozytową. W badaniach na termicznym modelu stopy potwierdzono, że zastosowanie wkładek kompozytowych wpływało korzystnie na mikroklimat w obuwiu ochronnym [20].

## 6. Podsumowanie

Nowe zagrożenia oraz dążenie do lepszego przystosowania środków ochrony indywidualnej do potrzeb użytkownika powoduje konieczność prowadzenia prac ukierunkowanych na wykorzystanie do konstrukcji tych środków innowacyjnych technologii oraz materiałów i systemów przewidzianych do monitorowania wybranych parametrów fizjologicznych. Drugim istotnym nurtem badawczym jest wyposażanie środków ochrony indywidualnej w czujniki sygnalizujące koniec okresu ich bezpiecznego stosowania. Ważnym kierunkiem jest także wykorzystanie nanotechnologii i zminiaturyzowanych systemów elektronicznych zdolnych do przetwarzania sygnałów, zgodnie z założonymi algorytmami. Rozwiązanie problemu wymiany ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem wymaga prowadzenia prac badawczych ukierunkowanych na wykorzystanie innowacyjnych materiałów typu membrany paroprzepuszczalne czy suberabsorbenty, a także modelowanie odpowiednich układów kompozytowych zapewniających przewodzenie i odprowadzanie potu oraz nadmiaru ciepła.

## LITERATURA

- [1] Majchrzycka K., Gutarowska B., Brochocka A., Brycki B.: *New filtering antimicrobial nonwovens with various carriers for biocides as respiratory protective materials against bioaerosol*, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE), 2012, nr 18(3), s. 375.
- [2] Brochocka A., Majchrzycka K.: *Technology for the Production of Bioactive Melt-blown Filtration Materials Applied to Respiratory Protective Devices*, Fibres & Textiles In Eastern Europe, 2009, nr 5(76), s. 92.
- [3] Majchrzycka K., Brochocka A.: *Modyfikacja biodegradowalnych włókien filtracyjnych środkiem biobójczym*, Przetwórstwo Tworzyw, 2013, nr 3(153), s. 217.
- [4] Brochocka A., Pietrowski P.: *Wpływ nanoszenia katalizatorów na materiały węglowe – bezpieczne użytkowanie pochłaniaczy par substancji organicznych*, Bezpieczeństwo Pracy, 2011, nr 6, s. 27.

- [5] <http://umip.com/manchester-polymer-helps-protect-people-work>, (dostęp z dnia 20.02.2015).
- [6] Favas G.: End of Service Life Indicator ( ESLI ) for Respirator Cartridges . Part I: Literature Review, Human Protection & Performance Division, Defence Science and Technology Organisation, Victoria, Australia 2005, s. 1.
- [7] Bartkowiak G., Dąbrowska A., Czapska A.: *Konstrukcje odzieżowe ograniczające dyskomfort cieplny podczas pracy w barierowej odzieży ochronnej*, Przegląd Włókienniczy - Włókno, Odzież, Skóra, 2013, nr 8, s. 25.
- [8] Marszałek A., Smolander J., Sołtyński K.: *Age-related thermal strain in men Chile wearing radiation protective clothing during short term exercise in the heat*, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 2004, nr 10(4), s. 361.
- [9] Marszałek A., Bartkowiak G., Łęzak K.: *Physiological Effects of a Modification of the Construction of Impermeable Protective Clothing*, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE), 2009, nr 15 (1), s. 61.
- [10] Dąbrowska A., Bartkowiak G., Okrasa M.: *Funkcjonalizacja tekstyliów i odzieży za pomocą stopów z pamięcią kształtu*, Przegląd Włókienniczy – Włókno, Odzież, Skóra, 2014, nr 10, s. 32.
- [11] Bartkowiak G., Dąbrowska A.: *Assessment of the Thermoregulation Properties of Textiles with Fibres Containing Phase Change Materials on the Basis of Laboratory Experiments*, Fibres & Textiles In Eastern Europe, 2012, nr 1(90), s. 47.
- [12] Bartkowiak G., Dąbrowska A., Marszałek A.: *Analysis of thermoregulation properties of PCM garments on the basis of ergonomic tests*, Textile Research Journal, 2013, nr 83(2), s. 148.
- [13] Owczarek G.: *Metoda badania defektów elementów spawanych z wykorzystaniem algorytmu cyfrowego przetwarzania obrazów*, Przegląd Spawalnictwa, 2013, nr 5, s. 8.
- [14] Irzmańska E.: *Footwear use at workplace and recommendations for the improvement of its functionality and hygiene*, Autex Research Journal, 2014, nr 14(2), s. 89.
- [15] Irzmańska E., Brochocka A., Majchrzycka K.: *Textile Composite Materials with Bioactive Melt-Blown Nonwovens for Protective Footwear*, Fibres & Textiles In Eastern Europe, 2012, nr 20, s. 119.
- [16] Irzmańska E., Dutkiewicz J.: *New approach to assessing comfort of use of protective footwear with a textile liner and its impact on foot physiology*, Textile Research Journal, 2014, nr 84(7), s. 728.
- [17] Irzmańska E., Orlikowski W., Brochocka A., Majchrzycka K.: *Wkładka kompozytowa do szczelnego obuwia*, Zgłoszenie patentowe nr P.406296, 2013, Polska.
- [18] Irzmańska E., Brochocka A.: *Influence of the Physical and Chemical Properties of Composite Insoles on the Microclimate in Protective Footwear*, Fibres & Textiles In Eastern Europe, 2014, nr 5(107), s. 89.
- [19] Irzmańska E.: *Case study of the impact of toecap type on the microclimate in protective footwear*, International Journal of Industrial Ergonomics, 2014, nr 44(5), s. 706.
- [20] Irzmańska E.: *The impact of different types of textile liners used in protective footwear on the subjective sensations of firefighters*, Applied Ergonomics, 2015, nr 47, s. 34.

*Publikacja opracowana na podstawie wyników I, II i III etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego odpowiednio w latach 2008-2010, 2011-2013 i 2014-2016 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej.*

*Koordinator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy*