

Emilia IRZMAŃSKA

CENTRALNY INSTYTUT OCHRONY PRACY – PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY, ZAKŁAD OCHRON OSOBISTYCH
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
ZAKŁAD OCHRON OSOBISTYCH, PRACOWNIA OCHRON RĄK I NÓG, ul. Wierzbowa 48, 90-133 Łódź

Mikroklimat obuwia ochronnego – badania z zastosowaniem termicznego modelu stopy

Dr inż. Emilia IRZMAŃSKA

Adiunkt w Pracowni Ochron Rąk i Nóg w Zakładzie Ochron Osobistych w Łodzi, Centralnego Instytutu Ochrony Pracy - Państwowego Instytutu Badawczego w Warszawie. Specjalizuje się w opracowywaniu metod i stanowisk do badań rękawic i obuwia ochronnego, poprawie komfortu użytkownika rękawic i obuwia ochronnego, opracowywaniu nowych wzorów ochron rąk i nóg poprawiających bezpieczeństwo i ergonomię ich użytkowania oraz badaniu zjawisk zachodzących w trakcie użytkowania rękawic i obuwia ochronnego.



e-mail: emirz@ciop.lodz.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań mikroklimatu obuwia ochronnego wyznaczonego na termicznym modelu stopy. Stwierdzono, że w obuwiu ochronnym z podnoskami kompozytowymi stopa jest lepiej wentylowana z uwagi na paroprzepuszczalny charakter materiału w okolicy palców, w porównaniu do obuwia z podnoskami metalowymi. Izolacyjność obuwia była lepsza w przypadku występowania w obuwiu podnosków metalowych. Wartości odchylenia standardowego potwierdziły mały rozrzut wyników pomiarów; wartości względnego błędzi przypadkowego wartości średniej (przy $p=0,95$) potwierdziły dobrą dokładność przyrządu pomiarowego.

Słowa kluczowe: termiczny model stopy, obuwiu ochronne, mikroklimat, izolacyjność.

The microclimate in protective footwear – study with use of a thermal foot model**Abstract**

This paper presents investigation results of microclimate parameters of protective footwear for a thermal foot model. The standards harmonized with the Directive 89/686/EEC are currently used for assessing protective properties. They concern only assessment of hygienic materials used in manufacturing [1-6]. An alternative can be tests on a thermal foot model fit in terms of the feasibility of five variants of construction protective footwear (with high upper) [7-9]. The study was performed on the thermal foot model which ensures the release of water in a manner similar to human sweat glands and heat dissipation by conduction, convection and radiation in proportions similar to those at different speeds of real sweat, different time use of the footwear and different possibilities of simulated movement of the foot. The test method includes monitoring the simulated release of moisture in seven segments and heat release in nine independent isothermal zones (Figs. 3, 4). Based on the results, it was found that the footwear with a composite toe cap foot (Fig. 1) was better ventilated (Fig. 5) because of permeable material around the fingers, compared to the footwear with a steel toecap (Fig. 2). There was greater loss of insulation for the footwear with a composite toecap with and without a function of perspiration (Fig. 6). The values of standard deviations and variation coefficients confirmed the small scattering of measurements, the values of the relative random error of the mean (at $p = 0.95$) confirmed the good accuracy of the measuring instrument (Tables 5, 6).

Keywords: thermal foot model, protective footwear, microclimate, insulation.

1. Wprowadzenie

Podstawową funkcją obuwia ochronnego jest ochrona kończyn dolnych przed zagrożeniami występującymi w środowisku pracy [1]. W zależności od występujących zagrożeń obuwiu wykonane jest z odpowiednich materiałów oraz wyposażone w elementy ochronne, które uniemożliwiają odprowadzenie ciepła i potu wytwarzanego podczas wysiłku fizycznego [2]. Aktualnie, w kraju oraz europejskich jednostkach badawczych, do oceny właściwości

ochronnych stosowane są odpowiednie normy zharmonizowane, które dotyczą wyłącznie oceny właściwości higienicznych materiałów zastosowanych do jego wytworzenia [3-6]. Alternatywą mogą być badania z wykorzystaniem modelu sztucznej stopy, które pozwalają na przeprowadzanie spektrum powtarzalnych wielowariantowych badań dla różnych warunków użytkowania i rodzajów obuwia ochronnego [7-9]. Urządzenia gwarantują wydzielanie wody w sposób zbliżony do gruczołów potowych człowieka oraz emisję ciepła przez: przewodzenie, konwekcję i promieniowanie w proporcjach zbliżonych do rzeczywistych przy różnych szybkościach wydzielania potu, czasu użytkowania obuwia i przy możliwości symulowanego poruszania się stopy.

2. Charakterystyka materiałów obuwia ochronnego wytypowanego do badań

Badania mikroklimatu obuwia wykonano dla wybranych wzorów przeznaczonych do ekstremalnych warunków pracy. Wytypowano dwa rodzaje obuwia ochronnego posiadającego ochronę palców stopy (podnoski), typu konstrukcyjnego B (trzewik) z podwyższoną cholewką. Obuwiu wykonane zostało przez tego samego producenta, ale zgodnie z jego deklaracją, do konstrukcji ochronnych zastosowano materiały różniące się pod względem higienicznym. Charakterystyka konstrukcji wytypowanych do badań obuwia opisano poniżej:

- pierwszy rodzaj obuwia (**obuwiu A**) - z wysokiej jakości skór nubukowych oraz podszewki o wysokim współczynniku przepuszczalności pary wodnej (wg deklaracji producenta 15-krotnie wyższym od wymagań normy), w okolicy palców perforowany ochronny podnosek kompozytowy AirTec®, w którym specjalnie rozmieszczone mikropory gwarantują stopie naturalną „oddychalność”, wg deklaracji producenta obuwiu określane jest jako spełniające wymagania określonych norm w zakresie parametrów ochronnych oraz niestandardowych użytkowych jako „bardzo komfortowe” (rys. 1);



Rys. 1. Obuwiu ochronne (obuwiu A) zastosowane w badaniach – w okolicy palców podnosek kompozytowy [źródło własne]

Fig. 1. Protective footwear (shoes A) used in the study – a composite toecap in the toe area [own source]

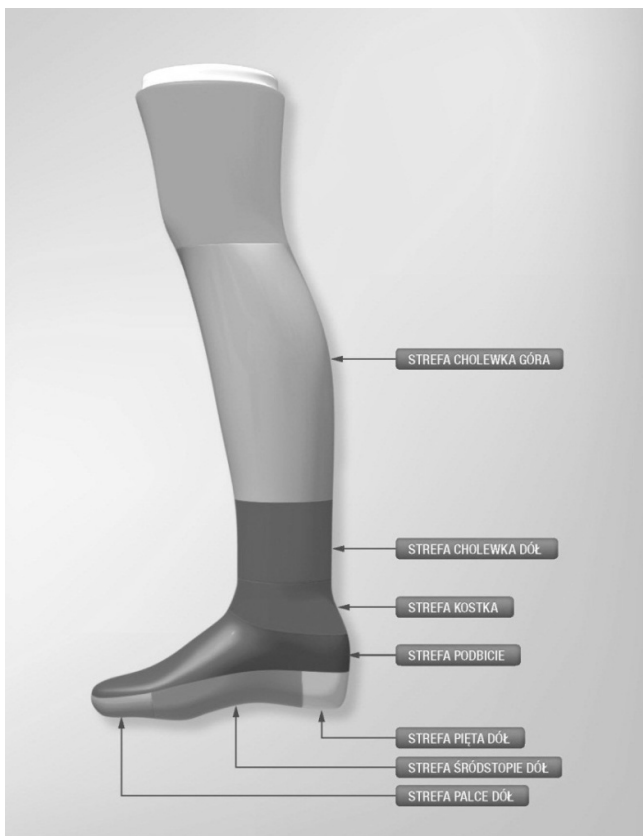
- drugi rodzaj obuwia (**obuwiu B**) - ze skóry licowej, górna część cholewki zakończona kołnierzem ochronnym wypełnionym pianką lateksową, w okolicy palców ochronny podnosek metalowy, wg deklaracji producenta obuwiu określane jest jako

spełniające wymagania określonych norm w zakresie wyłącznie parametrów ochronnych (rys. 2).

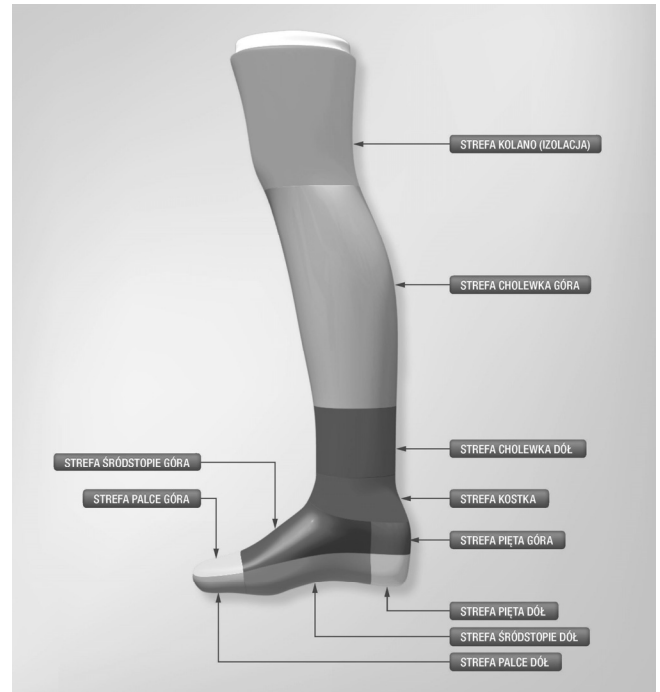


Rys. 2. Obuwie ochronne (**obuwie B**) zastosowane w badaniach – w okolicy palców podnosek metalowy [źródło własne]
 Fig. 2. Protective footwear (**footwear B**) used in the study – a steel toecap in the toe area [own source]

Badanie mikroklimatu obuwia wykonano na termicznym modelu stopy (ATT Electro, Polska) o powierzchni około 1300 cm² i rozmiarze odpowiadającym 43 stopy męskiej. Podczas badania urządzenie wydzielalo wilgoć (symulowanie pocenia) w pięciu segmentach (rys. 3) oraz ciepło w siedmiu (rys. 4). Wyznaczano podstawowe parametry mikroklimatu w przestrzeni pomiędzy obuwem, a stopą (temperatura i wilgotność) oraz izolacyjność obuwia.



Rys. 3. Trójwymiarowy obraz termicznego modelu stopy z podziałem na siedem stref wydzielania wilgoci [źródło własne]
 Fig. 3. Three-dimensional image of the thermal foot model divided into seven zones of moisture secretion [own source]



Rys. 4. Trójwymiarowy obraz termicznego modelu stopy z podziałem na dziewięć stref wydzielania ciepła z uwzględnieniem strefy izolacji w okolicy kolana [źródło własne]
 Fig. 4. Three-dimensional image of the thermal foot model divided into nine heat release zones including isolation zone around the knee [own source]

3. Sposób postępowania podczas badania obuwia

Badania prowadzono w laboratorium przy zachowaniu stałych warunków klimatycznych, starając się utrzymać możliwie dużą liczbę czynników egzogennych na stałym porównywalnym poziomie. Temperaturę powietrza utrzymywano na poziomie $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, a jego wilgotność względną na poziomie $(50 \pm 5)\%$. Prędkość ruchu powietrza wynosiła 0,10 m/s (parametry klimatu wymagane w normie PN - EN ISO 20344:2012 dotyczącej badań ergonomicznych obuwia ochronnego). Ze względu na fakt, że testowane obuwie jest użytkowane na ogół w bardzo zmiennych warunkach, uznano za celowe prowadzenie badań w atmosferze standardowej, co pozwoliło na ocenę wyników badań parametrów mikroklimatu w kontekście dokładności wykonywanych pomiarów.

Pomiar i ciągłą rejestrację zmian temperatury i wilgotności względnej powietrza w strefie palców obuwia, prowadzono przez 65 minut w trzech fazach badania. Pierwsza faza - odpoczynek (wyłączona funkcja ruchu) trwała 10 minut. Druga faza - ruch (włączona funkcja ruchu) trwała 45 minut, a trzecia faza - spoczynek (wyłączona funkcja ruchu) trwała 10 minut. Przyjęty łączny czas badania wynoszący 65 minut był wystarczający do ustabilizowania fazy przebiegu krzywych temperatury i wilgotności [10]. Prowadzono także pomiar i ciągłą rejestrację zmian izolacyjności obuwia w strefie palców w czasie 10 godzin z włączoną funkcją pocenia.

W badaniach zastosowano symulację pocenia stopy umożliwiającą ocenę spadku izolacyjności obuwia spowodowanego zawilgoceniem i utratą ciepła pobranego na odparowanie potu w okolicy palców przy zadanej szybkości wydzielania potu, czasu użytkowania obuwia i przy możliwości poruszania się stopy. Woda do modelu stopy była dostarczana z określoną szybkością za pomocą pomp i rozprowadzana za pośrednictwem referencyjnej skarpety w ilości około 5 g/h [7, 8]. Pompa była odpowiednio wykalibrowana, tak aby do każdego emitera wilgoci mogła być dostarczana tylko określona oraz jednakowa ilość wody. Temperatura powierzchni i moc dostarczana do każdej strefy były sterowane

oddzielnie za pomocą programu komputerowego. Zastosowana wartość temperatury w badaniach wynosiła 34°C [8, 9]. Testy przeprowadzono przy obciążeniu 500 N z włączoną lub wyłączoną symulacją ruchu podczas chodzenia [9].

Do badań na modelu stopy zastosowano skarpety referencyjne o wadze 20 g, wykonane z przędz z włókien bawełny (70%) i włókien poliamidowych (30%) [8, 9]. Obuwie i skarpety były, przed wykonaniem badań, aklimatyzowane w atmosferze powietrza o temperaturze $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej $(50 \pm 5)\%$.

4. Analiza statystyczna i omówienie wyników badań

Przeprowadzona analiza statystyczna miała na celu po pierwsze odnalezienie różnic statystycznych w zakresie wartości parametrów mikroklimatu dla dwóch rodzajów obuwia w symulowanej pozycji stopy statycznej oraz dynamicznej. Oceniono różnice statystyczne w zakresie izolacyjności dla dwóch rodzajów obuwia, wyznaczonych dla włączonej funkcji pocenia oraz wyłączonej funkcji pocenia. Następnie dokonano oceny statystycznej w zakresie stabilności warunków prowadzenia pomiarów oraz dokładności zastosowanego przyrządu.

Dla średnich wartości analizowanych zmiennych wyznaczono 95% przedział ufności (± 2 SD). Bazując na statystykach Grubbs'a usunięto obserwacje odstające. Analiza z użyciem testu Z Kołmogorowa-Smirnowa wykazała, że parametry mikroklimatu charakteryzuje brak zgodność z rozkładem normalnym, natomiast parametr izolacyjności charakteryzuje zgodność z rozkładem normalnym. W celu odnalezienia różnic statystycznych pomiędzy dwoma rodzajami obuwia wykorzystano test t-Studenta dla zmiennych o rozkładzie normalnym oraz test Wilcoxon dla zmiennych o rozkładzie odbiegającym od normalnego. Analizę przeprowadzono przy użyciu programu SPSS Statistics 17.0.

4.1. Ocena parametrów mikroklimatu oraz izolacyjności obuwia

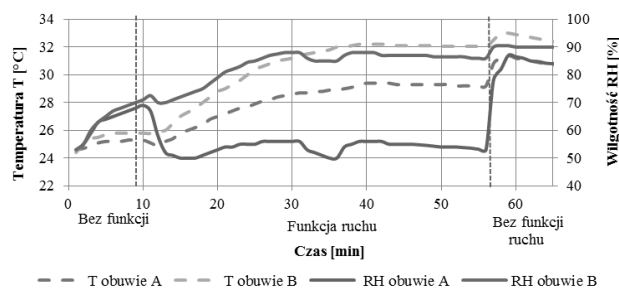
W tabeli 1 przedstawiono podstawowe statystyki opisowe temperatury i wilgotności dla obuwia A i B wyznaczonych dla włączonej funkcji ruchu oraz wyłączonej funkcji ruchu. Przedstawiono wykresy zmian temperatury i wilgotności względnej w obuwiu A i B podczas eksperymentu (rys. 5).

W tabeli 2 przedstawiono podsumowanie analizy testem Wilcoxon dla różnic statystycznych w pomiarach mikroklimatu pomiędzy obuwiem A i B. Zaobserwowano istotne statystycznie dla wartości parametrów temperatury i wilgotności względnej, zarówno z włączoną funkcją ruchu oraz wyłączonej funkcji ruchu (na początku badania oraz na końcu).

Tab. 1. Statystyki opisowe parametrów temperatury i wilgotności dla obuwia A i B wyznaczonych dla włączonej funkcji ruchu oraz wyłączonej funkcji ruchu
Tab. 1. Descriptive statistics of temperature and humidity parameters for footwear A and B for activated and excluded motion functions

		Min	Max	M ⁾	SD ⁾	
Wyłączona funkcja ruchu - I faza	Temperatura T, °C	Obuwie A	24,00	25,00	24,73	0,47
		Obuwie B	53,00	69,00	63,27	5,35
	Wilgotność RH, %	Obuwie A	24,00	25,00	24,91	0,30
		Obuwie B	53,00	72,00	64,82	6,42
Włączona funkcja ruchu - II faza	Temperatura T, °C	Obuwie A	24,00	29,00	27,84	1,38
		Obuwie B	25,00	32,00	30,42	2,04
	Wilgotność RH, %	Obuwie A	50,00	58,00	53,80	2,06
		Obuwie B	70,00	88,00	83,60	5,51
Wyłączona funkcja ruchu - III faza	Temperatura T, °C	Obuwie A	30,00	31,00	30,50	0,53
		Obuwie B	78,00	87,00	84,00	2,54
	Wilgotność RH, %	Obuwie A	32,00	33,00	32,20	0,42
		Obuwie B	90,00	90,00	90,00	0,00

M⁾ średnia arytmetyczna, SD⁾ odchylenie standardowe



Rys. 5. Wykresy zmian temperatury i wilgotności względnej w obuwiu A i B
Fig. 5. Graphs of temperature and relative humidity in footwear A and B

Tab. 2. Podsumowanie analizy testem Wilcoxon różnic statystycznych pomiędzy obuwiem A i B

Tab. 2. Summary of analysis of statistical differences between A and B footwear with Wilcoxon test

		Statystyki testu Wilcoxon		Porównanie
		Z	p	
Wyłączona funkcja ruchu - I faza	Temperatura T, °C	-1,41	< 0,001	Obuwie A < Obuwie B
	Wilgotność RH, %	-2,59	< 0,001	Obuwie A < Obuwie B
Włączona funkcja ruchu - II faza	Temperatura T, °C	-6,07	< 0,001	Obuwie A < Obuwie B
	Wilgotność RH, %	-5,87	< 0,001	Obuwie A < Obuwie B
Wyłączona funkcja ruchu - III faza	Temperatura T, °C	-2,92	< 0,001	Obuwie A < Obuwie B
	Wilgotność RH, %	-2,82	< 0,001	Obuwie A < Obuwie B

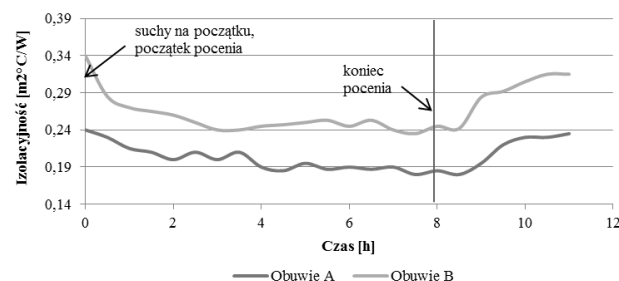
W tabeli 3 przedstawiono podstawowe statystyki opisowe utraty izolacyjności w obuwiu A i B wyznaczonych dla włączonej i wyłączonej funkcji pocenia. Przedstawiono wykresy zmian izolacyjności w obuwiu A i B podczas eksperymentu (rys. 6).

Tab. 3. Statystyki opisowe podstawowe utraty izolacyjności w obuwiu A i B wyznaczonych dla włączonej i wyłączonej funkcji pocenia.

Tab. 3. Basic descriptive statistics for the loss of insulation in footwear A and B for on and off perspiration function

		Min	Max	M ⁾	SD ⁾
Włączona funkcja pocenia	Obuwie A	0,18	0,24	0,20	0,02
	Obuwie B	0,24	0,34	0,26	0,03
Wyłączona funkcja pocenia	Obuwie A	0,18	0,24	0,26	0,02
	Obuwie B	0,24	0,32	0,34	0,03

M⁾ średnia arytmetyczna, SD⁾ odchylenie standardowe



Rys. 6. Utrata izolacyjności w czasie dla obuwia A i B z włączoną i wyłączoną funkcją pocenia

Fig. 6. Loss of insulation during time for footwear A and B with and without function of perspiration

W tabeli 4 przedstawiono podsumowanie testu t dla różnic pomiędzy obuwiem A i B w zakresie badań izolacyjności. Zaobserwowano istotne statystycznie różnice pomiędzy obuwiem A i obuwiem B w wartościach izolacyjności, zarówno z włączoną funkcją pocenia, jak i wyłączoną funkcją pocenia. Obuwie B uzyskiwało istotnie wyższe wartości izolacyjności w porównaniu do obuwia A w całym eksperymencie.

Tab. 4. Podsumowanie testu t dla różnic pomiędzy obuwiem A i B
Tab. 4. Summary of t-test for the difference between A and B footwear

	Statystyki testu t			Porównanie pomiarów
	t	df	p	
Włączona funkcja pocenia	-14,88	15	< 0,001	Obuwie A < Obuwie B
Wyłączona funkcja pocenia	-18,00	6	< 0,001	Obuwie A < Obuwie B

4.2. Ocena dokładności przyrządu i stabilności warunków prowadzenia pomiarów

Oceniono dokładność przyrządu pomiarowego oraz stabilność warunków prowadzenia pomiarów. Przy ocenie tej uwzględniono, zarówno wyniki z badań obejmujących fazę z włączoną i wyłączoną funkcją ruchu, fazę z włączoną i wyłączoną funkcją pocenia jak i rodzaj ocenianych wzorów obuwia. Wyznaczono następujące współczynniki statystyczne: średnia, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności, bezwzględny błąd przypadkowy wartości średniej oraz względny błąd przypadkowy wartości średniej.

W tabeli 5 przedstawiono wartości błędów przypadkowych wartości średniej w zakresie pomiarów temperatury i wilgotności oraz odchylenie standardowe i współczynniki zmienności.

Tab. 5. Wartość błędów przypadkowych dla pomiarów temperatury i wilgotności z uwzględnieniem włączonej i wyłączonej funkcji ruchu oraz rodzaju obuwia

Tab. 5. Values of the random errors for measurements of temperature and humidity when taking into account the on and off the function of movement and the type of footwear

		M*)	SD*)	Współczynnik zmienności	Bezwzględny błąd przypadkowy wartości średniej	Względny błąd przypadkowy wartości średniej	
Brak ruchu	T, °C	Obuwie A	24,73	0,47	1,89%	0,31	1,27%
		Obuwie B	63,27	5,35	8,45%	3,59	5,68%
I faza	RH, %	Obuwie A	24,91	0,30	1,21%	0,20	0,81%
		Obuwie B	64,82	6,42	9,90%	4,31	6,65%
Ruch	T, °C	Obuwie A	27,84	1,38	4,96%	0,41	1,49%
		Obuwie B	30,42	2,04	3,83%	0,62	1,15%
II faza	RH, %	Obuwie A	53,80	2,06	6,70%	0,61	2,01%
		Obuwie B	83,60	5,51	6,07%	1,52	1,82%
Brak ruchu	T, °C	Obuwie A	30,50	0,53	1,73%	0,38	1,24%
		Obuwie B	84,00	2,54	3,02%	1,82	2,16%
III faza	RH, %	Obuwie A	32,20	0,42	1,31%	0,30	0,94%
		Obuwie B	90,00	0,00	0,00%	0,00	0,00%

M*) średnia arytmetyczna, SD*) odchylenie standardowe

W tabeli 6 przedstawiono wartości błędów przypadkowych wartości średniej w zakresie pomiarów temperatury i wilgotności oraz odchylenie standardowe i współczynniki zmienności.

Tab. 6. Wartość błędów przypadkowych pomiarów izolacyjności z uwzględnieniem włączonej i wyłączonej funkcji pocenia oraz rodzaju obuwia

Tab. 6. Values of the random errors of insulation measurements including on and off sweat functions and the type of footwear

		M*)	SD*)	Współczynnik zmienności	Bezwzględny błąd przypadkowy wartości średniej	Względny błąd przypadkowy wartości średniej
Pocenie	Obuwie A	0,20	0,02	8,41%	0,01	4,46%
	Obuwie B	0,26	0,03	9,92%	0,01	5,26%
Brak pocenia	Obuwie A	0,26	0,02	8,98%	0,02	8,31%
	Obuwie B	0,34	0,03	9,06%	0,03	8,38%

M*) średnia arytmetyczna, SD*) odchylenie standardowe

5. Wnioski

Na podstawie wykonanych badań sformułowano następujące wnioski:

Obuwie ochronne z ochronami w okolicy palców z metalu (mniejszy komfort użytkowania) podczas badań uzyskało istotnie wyższe wartości temperatury i wilgotności, w porównaniu do kompozytowych (większy komfort użytkowania) zarówno podczas pomiaru z wyłączoną funkcją ruchu na początku i na końcu badania oraz podczas pomiaru z włączoną funkcją ruchu. W obuwiu z podnoskami kompozytowymi stopa była lepiej wentylowana z uwagi na paroprzepuszczalny materiał w okolicy palców, w porównaniu do obuwia z podnoskami metalowymi, co jest istotne podczas wielogodzinnej pracy w ekstremalnych warunkach.

Obuwie z ochronami w okolicy palców z metalu podczas badań izolacyjności uzyskało istotnie wyższe wartości (większa izolacja w strefie palców), w porównaniu do obuwia z podnoskami kompozytowymi zarówno podczas pomiaru z wyłączoną i włączoną funkcją pocenia (mniejsza izolacja w strefie palców). Po zakończeniu symulowanego procesu pocenia (czas 8h odpowiadający cyklowi pracy) obydwa rodzaje obuwia odzyskiwały stopniowo izolacyjność w wyniku osuszania (desorpcji wilgoci) z obuwia.

Otrzymane wyniki badań oraz ich analiza statystyczna dowodzą, że obliczone w odniesieniu do tych danych odchylenia standardowe i współczynniki zmienności potwierdziły stosunkowo mały rozrzut wyników pomiarów, świadczący o powtarzalnych właściwościach mierzonych obiektów oraz o stabilności warunków prowadzonych pomiarów.

Otrzymane wyniki badań oraz ich analiza statystyczna dowodzą, że obliczone w odniesieniu do tych danych względny i bezwzględny błąd przypadkowy wartości średniej były małe, co świadczyło o dobrej dokładności przyrządu pomiarowego.

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

6. Literatura

- Praca zbiorowa pod redakcją naukową Koradeckiej D., Nauka o pracy-bezpieczeństwo, higiena, ergonomia. Czynniki fizjologiczne 4, CIOP, Warszawa, (2000).
- Kamińska W.: Jak zapewnić komfort fizjologiczny użytkownikom obuwia ochronnego, Poradnik, CIOP-PIB, Warszawa (2004).
- Irzmańska E.: Mikroklimat w obuwiu o właściwościach ochronnych. Przegląd - WOS, 5, 35-37 (2011).
- Irzmańska E.: Ocena komfortu użytkowania obuwia o właściwościach ochronnych w świetle literatury oraz badań własnych; Rozdział w Monografii cz. 1 pt.: Obuwie Bezpieczeństwo i Funkcjonalność (ang. Footwear Safety and Functionality, Red. Przyjemka L., str 208 – 225, ISBN 978-83-9321-50-2-7 Instytut Przemysłu Skórzanego, Kraków (2012).
- Praca zbiorowa pod red. Majchrzyckiej K. i Pościka A., Dobór środków ochrony indywidualnej, Wydawnictwo CIOP-PIB (2007).
- Irzmańska E., Brochocka A., Majchrzycka K.: Textile Composite Materials with Bioactive Melt-Blown Nonwovens for Protective Footwear, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe; 20, 6A(95): 119-125 (2012).
- Irzmańska E.: Termiczny model stopy – próba aplikacji w badaniach obuwia ochronnego, Pomiary Automatyka Kontrola (2012) in Press.
- Kuklane K.: Protection of Feet in Cold Exposure, Industrial Health Vol.47, p. 214-225 (2009).
- Kuklane K.: A comparison of two methods of determining thermal properties of footwear. International Journal of Occupational Safety and Ergonomic, Vol. 5, No. 4, p. 477-484 (1999).
- Irzmańska E., Charłusz M., Irzmański R.: The use of impedance plethysmography to evaluate the impact of increasing physical activity on blood flow in the lower extremities involving footwear comfort – a preliminary report, Clinical And Experimental Medical Letters (CEML); Vol.52, No 1-2, 45-51 (2011).