



Magdalena Młynarczyk  
Joanna Orysiak  
Jarosław Jankowski  
Piotr Prus

**WPŁYW DOPASOWANIA ODZIEŻY OCHRONNEJ  
NA PARAMETRY CIEPLNE UKŁADU  
ODZIEŻ – ŹRÓDŁO CIEPŁA**

Opracowano i wydano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rodziny i Polityki Społecznej. Zadanie nr 3.SP04, pt. „Badanie wpływu dopasowania odzieży na izolacyjność cieplną i opór pary wodnej w układzie odzież – źródło ciepła”.

Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

#### Autorzy

dr inż. Magdalena Młynarczyk, dr Joanna Orysiak, dr inż. Jarosław Jankowski, inż. Piotr Prus  
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Opracowanie redakcyjne: Kamil Jach

Projekt i opracowanie graficzne: Anna Antoniszewska

Fot: zasoby własne autora

Fot. na okładce: ovocim/Bigstockphoto

© Copyright by

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Warszawa 2022



Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa  
tel. (48) 22 623 36 98, [www.ciop.pl](http://www.ciop.pl)

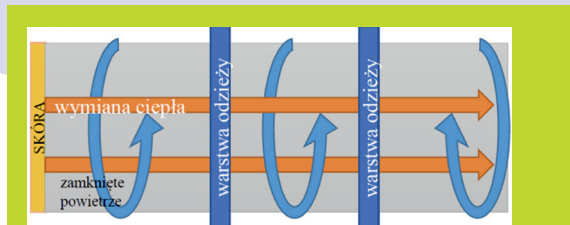
|  |    |
|--|----|
| 1. WSTĘP . . . . .   | 3  |
| 2. WYMIANA CIEPŁA PRZEZ ODZIEŻ. . . . .  | 5  |
| 3. STOPIEŃ DOPASOWANIA ODZIEŻY – przestrzenie powietrzne a wymiana ciepła . . . . .      | 6  |
| 4. METODY POMIARU PARAMETRÓW CIEPLNYCH ODZIEŻY<br>WEDŁUG MIĘDZYNARODOWYCH NORM . . . . . | 8  |
| 5. TECHNIKA SKANOWANIA 3D . . . . .  | 9  |
| 6. WYNIKI BADAŃ . . . . .  | 11 |
| 7. PODSUMOWANIE . . . . .  | 14 |
| TEKSTY ŹRÓDŁOWE . . . . .  | 15 |

Wymiana ciepła w układzie odzież – źródło ciepła zależy w dużej mierze od **izolacyjności cieplnej użytej odzieży**. Jest to podstawowy parametr opisujący zestaw odzieży, na który składa się opór cieplny poszczególnych warstw odzieży (który zależy od zastosowanego materiału i jego struktury), a także uwzględnia on występujące pomiędzy warstwami odzieży przestrzenie powietrzne (szczeliny powietrzne; ang. *air gaps*).

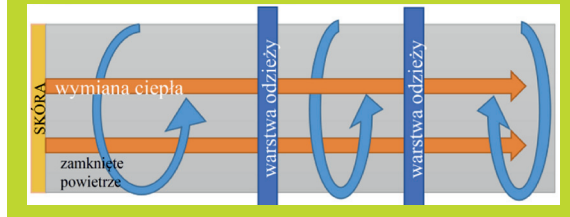
Wymiana ciepła w przestrzeni powietrznej może odbywać się na drodze **promieniowania**, **przewodzenia** lub **konwekcji**. Od wielkości przestrzeni wypełnionych powietrzem zależy udział sposobu wymiany ciepła. Przewodność cieplna i promieniowanie to podstawowe metody wymiany ciepła w mniejszej przestrzeni powietrznej. Wówczas izolacyjność cieplna wzrasta wraz z wielkością przestrzeni powietrznej, ale do pewnego momentu. Gdy wielkość przestrzeni powietrznej jest zbyt duża, ze względu na konwekcyjny transfer ciepła, efekt izolacyjny przestrzeni powietrznej jest osłabiony [1].

Gazy (w tym powietrze) charakteryzują się niską przewodnością cieplną, dzięki czemu są bardzo dobrymi izolatorami ciepła [2]. Powietrze, znajdujące się w przestrzeni powietrznej między warstwami odzieży, jest dobrym izolatorem, ale tylko wtedy, gdy jest zamknięte w przestrzeni i nie „miesza się” z chłodniejszym powietrzem z zewnątrz [3]. Biorąc pod uwagę efekt pompowania („mieszanie się” z chłodniejszym powietrzem z zewnątrz) oraz sposoby wymiany ciepła, zbyt duże przestrzenie powietrzne mogą zmniejszać izolacyjność cieplną odzieży, a przez to działać negatywnie (na niekorzyść pracownika) (rys. 1b). Dlatego tak ważny jest prawidłowy dobór (rys. 1a) odzieży ochronnej/roboczej pod kątem stopnia dopasowania jej do ciała pracownika [3].

a)  
odzież prawidłowo dobrana



b)  
odzież zbyt luźna



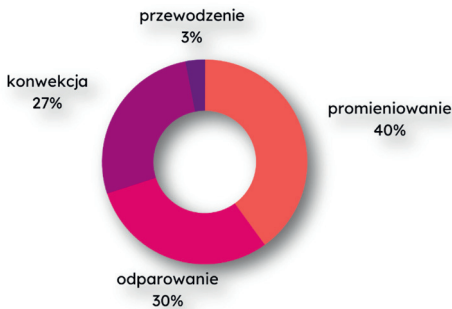
Rys. 1. Schematyczne rozmieszczenie przestrzeni powietrznych między warstwami odzieży [3]



Rys. 2. Drogi wymiany ciepła w układzie człowiek – otoczenie  
 [Pracownia Obciążeń Termicznych FB; <https://fb.watch/dNbwgVTxr/>]

Wymiana ciepła między dwoma obiektami odbywa się trzema podstawowymi drogami, którymi są: **przewodzenie**, **konwekcje** oraz **promieniowanie** (tzw. jawna wymiana ciepła), a w przypadku gdy źródłem ciepła jest człowiek (lub manekin termiczny z funkcją pocenia), dodatkowym kanałem wymiany ciepła jest **parowanie** [4] (rys. 2).

Wymiana ciepła na drodze **promieniowania** polega na przekazywaniu ciepła w postaci fal elektromagnetycznych, z zakresu podczerwieni, przez powłoki ciała. W przypadku **konwekcji** (czyli unoszenia) wymiana ciepła polega na przemieszczaniu się ogrzanych cząsteczek powietrza, przylegających do powierzchni powłok ciała i pojawieniu się w ich miejsce nowych, nieogranych cząsteczek. Natomiast przez **przewodzenie** ciepło wymienia się na skutek bezpośredniego kontaktu przedmiotu stykającego się nieruchomo ze skórą (np. przez siedzisko) [5].



Rys. 3. Procentowy udział wymiany ciepła pomiędzy siedzącym, niewykonyującym żadnej pracy człowiekiem a otoczeniem [5]

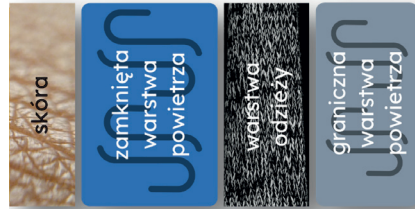
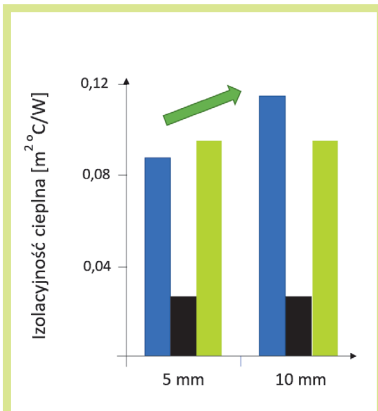
W przypadku wymiany ciepła przez **odparowanie wody**, zarówno potu z powierzchni skóry, jak i cząsteczek wody podczas oddychania, ciepło zużywane jest do zmiany stanu skupienia wody w gaz, czyli parę wodną.

Dla człowieka niewykonyującego żadnej pracy, znajdującego się w pozycji siedzącej, wymiana ciepła zachodzi w: 40% na drodze promieniowania, 30% poprzez odparowanie wody z organizmu, 27% poprzez konwekcję, a 3% przez przewodzenie (np. kontakt z siedziskiem) [5] (rys. 3).

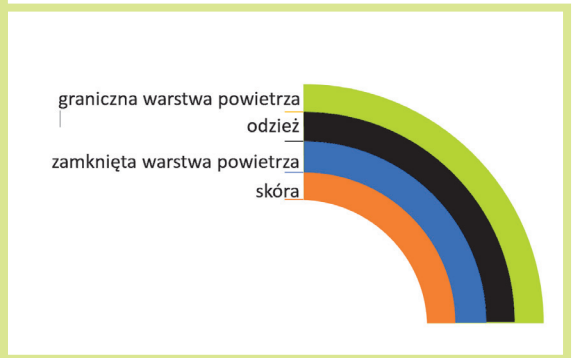
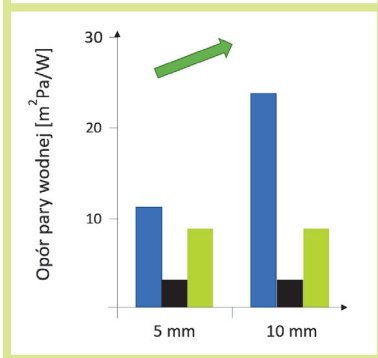
W przypadku odzieży (oprócz izolacyjności cieplnej) na wymianę ciepła wpływają także takie parametry jak: przepuszczalność powietrza i wodoszczelność (a więc pośrednio także zawilgocenie odzieży) [6]. Wynikają one z samej konstrukcji odzieży (czyli z zastosowanych materiałów oraz projektu odzieży), na które jej pracownik nie ma realnego wpływu.

W układzie odzieży – źródło ciepła ważnymi aspektami w procesie wymiany ciepła są: stopień dopasowania odzieży, ruch powietrza i aktywność fizyczna, postawa ciała, a także w przypadku pozycji siedzącej – oddziaływanie siedziska [4, 7]. Są to czynniki, na które „pracownik” może świadomie wpływać.

W zależności od **dopasowania odzieży do ciała** człowieka powstają zamknięte pomiędzy warstwami materiałów przestrzenie powietrzne, z których składa się badany zestaw odzieży, a także przestrzenie pomiędzy skórą a najbliższą warstwą materiału (rys. 4). Im większa przestrzeń powietrzna, tym większy przepływ powietrza pod odzieżą. Wpływa to negatywnie na wartość izolacyjności cieplnej całego zestawu odzieży [7].



Rys. 4. Schematyczne przedstawienie położenia przestrzeni powietrznych






Rys. 5. Od lewej: opór pary wodnej oraz izolacyjność cieplna poszczególnych warstw w zestawie odzieży składającym się z tkaniny bawełnianej (o grubość ok. 1 mm), oddzielonych zamkniętą warstwą powietrza o grubości 5 mm i 10 mm, w temperaturze skóry 24°C i temperaturze powietrza 10°C, wraz ze schematem ułożenia poszczególnych warstw w zestawie odzieży (opracowanie własne na podstawie [9, 22])

Nieprawidłowo dobrana pod względem rozmiaru bielizna lub odzież wierzchnia może zatem znacząco obniżać wartość izolacyjności cieplnej całego zestawu odzieży.

W warunkach ustalonych nawet niewielka zmiana wielkości przestrzeni powietrznej, np. o 5 mm, zauważalnie wpływa zarówno na opory cieplne, jak i na parowanie odzieży [8]. Wg modelu Wisslera, wielkość przestrzeni powietrznej ma wpływ na zmiany oporu cieplnego oraz parowania (wskazuje na wzrost obu oporów) [9] (rys. 5).

Przy mniejszej przestrzeni powietrznej (< 3 mm) duża ilość energii jest przekazywana na zasadzie przewodzenia. Przy większej przestrzeni powietrznej: 6-7 mm lub > 7,5 mm inicjowana jest konwekcja, a dominującą formą przekazywania energii jest połączenie promieniowania i konwekcji (tab. 1). Wg Song [10] zwiększenie rozmiaru przestrzeni powietrznej powyżej zakresu 7-8 mm nie powoduje zwiększenia izolacyjności cieplnej, może natomiast ją obniżyć (tab. 1).

Tabela 1. Dominujące drogi wymiany ciepła w zależności od wielkości przestrzeni powietrznych w odniesieniu do odzieży chroniącej przed warunkami termicznymi (TPP = *thermal protective performance*; np. ubranie specjalne dla strażaka) [10]

| Wielkość / rozmiar przestrzeni powietrznej | < 3 mm   | 6-7 mm   | > 8 mm   |
|--|--|--|--|
| Dominująca droga wymiany ciepła            | przewodzenie   | promieniowanie + zainicjowanie konwekcji   | konwekcja  |
| Wpływ na wartość izolacyjności cieplnej    |  |  |  |

W przypadku większych przestrzeni powietrznych (> 8 mm) lokalną wymianę ciepła i pary wodnej można zwiększyć przez zapoczątkowanie naturalnej konwekcji. Dodatkowo w przypadku kontaktu powierzchni tkanin lub powierzchni skóry nastąpi bezpośrednia wymiana ciepła wody przez parowanie [6, 11].



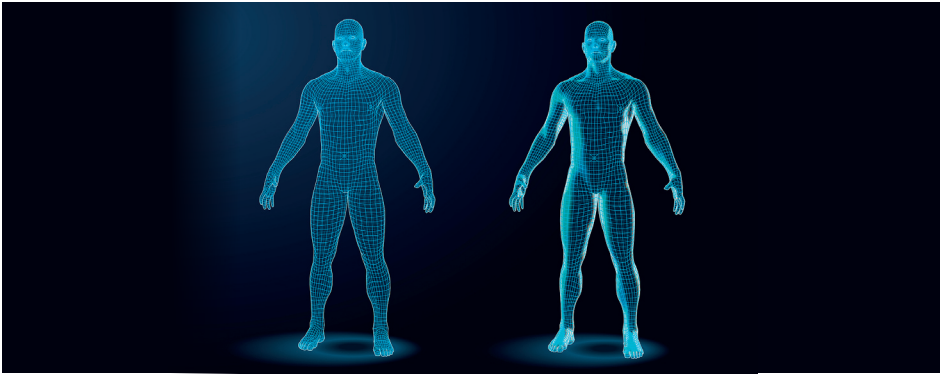
Badania parametrów cieplnych odzieży z wykorzystaniem manekinów termicznych zostały opisane szczegółowo w normach [12-15], w wielu artykułach naukowych [4, 16, 17] oraz opracowaniach CIOP-PIB [18, 19].

#### IZOLACYJNOŚĆ CIEPLNA

Zgodnie z PN-EN ISO 15831 [12] oraz PN-EN 342 [13], badania izolacyjności cieplnej odzieży (warunki statyczne) przeprowadza się w komorze klimatycznej z wykorzystaniem nieruchomego (wiszącego) manekina termicznego. Natomiast badania wynikowej izolacyjności cieplnej (uwzględniającej efekt pompowania powietrza) prowadzi się przy użyciu poruszającego się manekina termicznego. W badaniach stosuje się tryb pracy manekina – wymiana ciepła z utrzymaniem stałej temperatury powierzchni manekina równej 34°C, przy zmiennej mocy dostarczanej do każdego segmentu manekina (w zależności od badanego zestawu odzieży) [14].

#### OPÓR PARY WODNEJ

Zgodnie z normą ASTM F2370 [15] badania oporu pary wodnej ( $R_{et}$ ) są prowadzone z utrzymaniem stałej temperatury powierzchni manekina. Za pomocą programu komputerowego ThermDAC8 możliwe jest sterowanie przepływem płynów (objętości) na poszczególnych segmentach manekina. Opór pary wodnej wyznaczony jest poprzez wyznaczanie strat ciepła w stanie ustalonym.



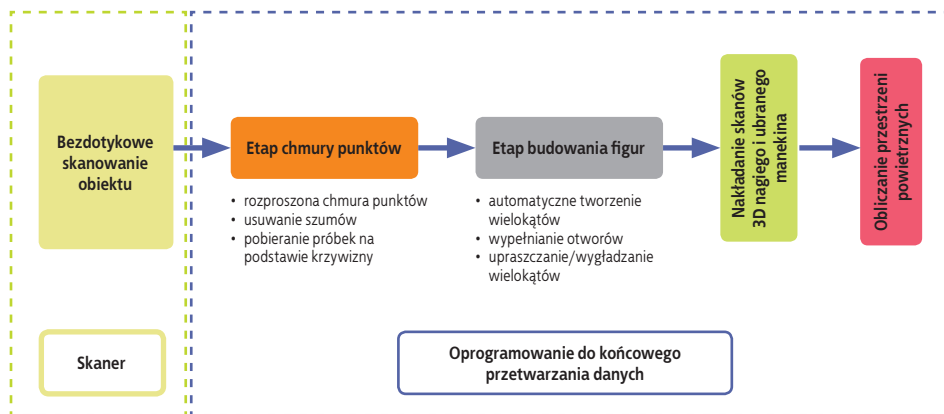
Skaner 3D ma za zadanie odwzorować kształt rzeczywistego obiektu przez zbiór punktów opisujących jego powierzchnię. W efekcie pomiaru otrzymywana jest chmura punktów o współrzędnych: X, Y, Z, opisujących cały obiekt. Skaner 3D jest zatem urządzeniem umożliwiającym przekształcanie geometrii obiektu rzeczywistego do pliku cyfrowego (dyskretyzacja, kwantowanie, digitalizacja).

Technika skanowania 3D wykorzystywana jest w wielu dziedzinach życia, m.in. w: medycynie, inżynierii lądowej, kulturze i sztuce, a nawet w sporcie. Skanowanie 3D możemy podzielić na bezkontaktowe i stykowe (rys. 6).



Rys. 6. Uproszczony podział technik skanowania 3D [3]

Do badań przestrzeni powietrznych można zastosować zarówno skaner laserowy, jak i wykorzystujący wiązkę widzialnego światła strukturalnego. W celu prawidłowego wykonania pomiarów można posłużyć się wskazówkami zawartymi w PN-EN ISO 20685-1:2019-01 [20]. Proces techniki skanowania 3D stosowany do oceny przestrzeni powietrznych został szczegółowo opisany przez Deng i wsp. [1] (rys. 7).



Rys. 7. Proces techniki skanowania 3D [3]

Metoda ta przyczyniła się do bardziej realistycznej oceny wymiany ciepła i masy przez systemy odzieżowe i zapewniła dokładniejsze dane wejściowe dotyczące ergonomicznego i komfortowego projektowania odzieży [6, 21].

Do badań wytypowano 4 zestawy odzieży roboczej (odzieży wierzchniej) przeznaczonej dla pracowników z poszczególnych branż: budowlanej (W1), energetycznej (W2), spawalniczej (W3) i chemicznej (W4) oraz 1 rodzaj bielizny spodniej (rys. 8). Każdy zestaw odzieży zbadano pod kątem dopasowania do manekina termicznego. Badaniom poddano odpowiednio po trzy rozmiary (50, 54 oraz 56) odzieży wierzchniej i jeden rozmiar bielizny.



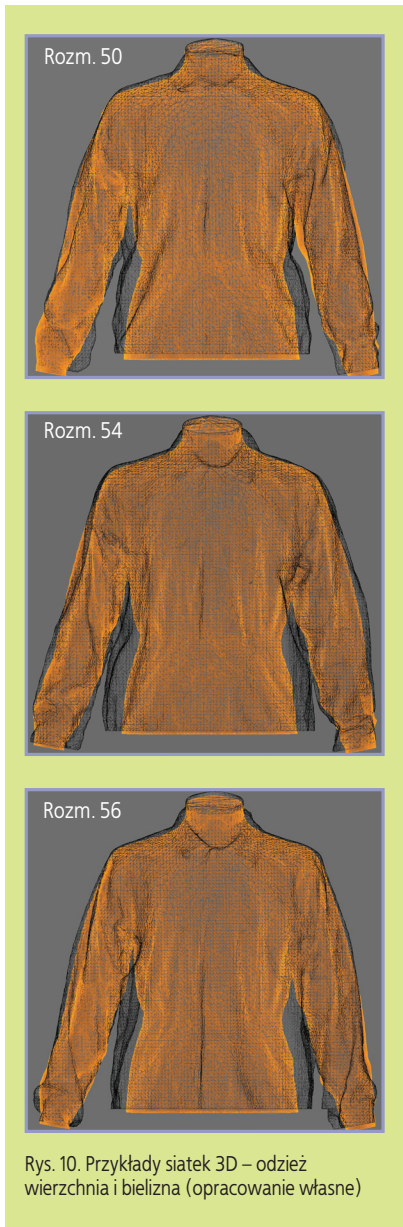
Rys. 8. Wytypowana odzież do badań wpływu dopasowania na izolacyjność cieplną odzieży; od lewej: bielizna (S), odzież dla pracowników z poszczególnych branż: budowlanej (W1), energetycznej (W2), spawalniczej (W3) i chemicznej (W4)



Rys. 9. Przykładowe skany odzieży [22]

Proces skanowania polegał na manewrowaniu skanerem w taki sposób, aby umożliwić generowanie kompletnej siatki skanowanego obiektu przez oprogramowanie [22]. Przeprowadzone obliczenia komputerowe pozwoliły na wyznaczenie wielkości przestrzeni powietrznych (rys. 9).

Ułożenie w zależności od rozmiaru odzieży wierzchniej na bieliznie graficznie przedstawiono na rysunku 10.



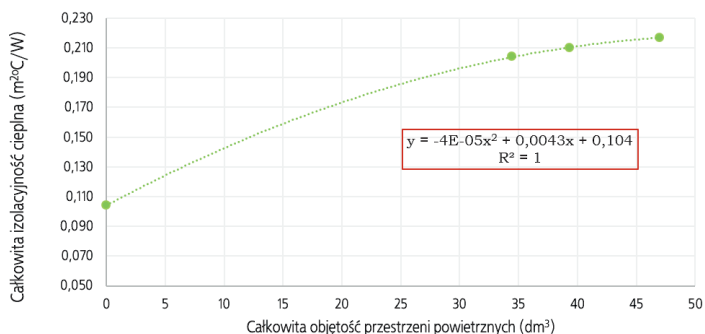
Rys. 10. Przykłady siatek 3D – odzież wierzchnia i bielizna (opracowanie własne)

Za pomocą odpowiedniego oprogramowania obliczono całkowitą objętość przestrzeni powietrznych. Przykładowe wartości zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Przykładowe wartości całkowitej objętości przestrzeni powietrznych w wybranych zestawach odzieży w zależności od rozmiaru odzieży

| Wariant badania (bielizna + odzież W1) | Całkowita objętość przestrzeni powietrznych; dm <sup>3</sup> |
|--|--|
| roz. 50                                | 34   |
| roz. 54                                | 39   |
| roz. 56                                | 47   |

Przykładowe wyniki całkowitej objętości przestrzeni powietrznych (w przypadku W1) zestawiono z wartościami izolacyjności cieplnej zestawów odzieży (rys. 11).



Rys. 11. Przykładowa zależność między całkowitą izolacyjnością cieplną a całkowitą objętością przestrzeni powietrznych (dla zestawu W1)

Uzyskano zależność opisywaną równaniem funkcji wielomianu stopnia drugiego. Wyniki potwierdzają zatem zależności wskazane w tabeli 1. Wartości izolacyjności cieplnej nie wzrastają mimo dalszego wzrostu wielkości przestrzeni powietrznych. Po przekroczeniu określonej wielkości przestrzenie powietrzne przestają działać na korzyść ciepłochronności.

## Badania wykazały:

- wpływ rozmiaru (dopasowania odzieży) na wielkość przestrzeni powietrznej,
- wpływ wielkości przestrzeni powietrznej na wartość izolacyjności cieplnej (zarówno dla warunków statycznych, jak i dynamicznych) w przypadku odzieży roboczej,
- zależność wartości izolacyjności cieplnej od wielkości przestrzeni powietrznej jako wielomian drugiego stopnia ( $R > 0,98$ ).

W przypadku odzieży roboczej:

- gdy wielkość przestrzeni powietrznej wynosiła ok. 20 mm, nie obserwowano wzrostu izolacyjności cieplnej (zarówno w odniesieniu do warunków statycznych, jak i dynamicznych),
- gdy objętość przestrzeni powietrznej wynosiła ok. 30 dm<sup>3</sup>, nie obserwowano wzrostu izolacyjności cieplnej (zarówno w odniesieniu do warunków statycznych, jak i dynamicznych).

Uwzględniając wymiary manekina – najlepszym rozwiązaniem pod kątem izolacyjności cieplnej był rozmiar M (rozmiar 54), czyli rozmiar najbardziej dopasowany do wymiarów, ale nieopinający sylwetki manekina.

Na podstawie uzyskanych rezultatów opracowano zalecenia dotyczące doboru odzieży roboczej (poniżej):

- **Podczas wyboru odzieży roboczej dla pracownika należy zwrócić uwagę na jego wymiary antropometryczne.**
- **Odzież, przy uwzględnieniu wymiarów antropometrycznych pracownika, może być najwyżej o 1 rozmiar większa.**
- **Odzież nie powinna być bardzo dopasowana ani krępować ruchów pracownika.**

- [1] Deng M, Wang Y, Li P. Effect of air gaps characteristics on thermal protective performance of firefighters' clothing: A review. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2018;30(2):246-267.
- [2] Wartości współczynnika lambda – współczynnik przewodzenia ciepła materiałów budowlanych. <https://domenergooszczedny.eu/pl/content/16-wspolczynniki-lambda> [dostęp: 21.06.2022].
- [3] Młynarczyk M, Orysiak J. Przestrzenie powietrzne pod odzieżą – ich pomiar i wpływ na poziom ciepłochronności. *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka*. 2021(4);595:22-25.
- [4] Bogdan A, Zwolińska M. Wpływ odzieży na wymianę ciepła między człowiekiem a otoczeniem. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*. 2010;1:27-31.
- [5] Pracownia Obciążeń Termicznych FB. <https://fb.watch/dNbw-gVTxr/>
- [6] Psikuta A, Frackiewicz-Kaczmarek J, Rossi R, et al. Quantitative evaluation of air gap thickness and contact area between body and garment. *Textile Research Journal*. 2012;82(14):1405-1413.
- [7] Havenith G. Heat balance when wearing protective clothing. *The Annals of Occupational Hygiene*. 1999;43(5):289-296.
- [8] Frackiewicz-Kaczmarek J., Psikuta A, Rossi RM, et al. Air gap thickness and contact area in undershirts with various moisture contents: influence of garment fit, fabric structure and fiber composition. *Textile Research Journal*. 2015;85(20):2196-2207.
- [9] Frackiewicz-Kaczmarek J, Psikuta A, Rossi R. Quantitative Analysis of the Air Gap Between the Skin and the Clothing. *International Conference on 3D Body Scanning Technologies*, Lungano, Switzerland, 19-20 October 2010; 2010.
- [10] Song G. Clothing air gap layers and thermal protective performance in single layer garment. *Journal of Industrial Textiles*. 2007;36(3):193-205.
- [11] Psikuta A, Frackiewicz-Kaczmarek J, Mert E, et al. Validation of a novel 3D scanning method for determination of the air gap in clothing. *Measurement*. 2015;67:61-70.
- [12] PN-EN ISO 15831:2006. *Odzież. Właściwości fizjologiczne. Pomiar izolacyjności cieplnej z zastosowaniem manekina termicznego*.
- [13] PN-EN 342:2018-01. *Odzież ochronna. Zestawy odzieży i wyroby odzieżowe chroniące przed zimnem*.
- [14] PN-EN ISO 9920:2009. *Ergonomia środowiska termicznego. Szacowanie izolacyjności cieplnej i oporu pary wodnej zestawów odzieży*.
- [15] ASTM F2370-16. *Standard Test Method for Measuring the Evaporative Resistance of Clothing Using a Sweating Manikin*.
- [16] Młynarczyk M. Manekiny termiczne jako narzędzie do badania izolacyjności cieplnej oraz oporu pary wodnej zestawów odzieży. *Bezpieczeństwo Pracy – Nauka i Praktyka*. 2015;1:18-20.
- [17] Młynarczyk M., Havenith G, Hodder S, et al. Inter-laboratory proficiency tests in measuring thermal insulation and evaporative resistance of clothing using the Newton-type thermal manikin. *Textile Research Journal*. 2018;88(4):453-466.
- [18] Młynarczyk M. Wpływ parametrów mikroklimatu na parametry termiczne odzieży ochronnej – badania z wykorzystaniem manekina termicznego Newton. *Warszawa: CIOP-PIB*; 2019. <https://m.ciop.pl/CIOPPortalWAR/file/89414/Materialy-informacyjne-1-G-09-M-Mlynarczyk.pdf>
- [19] Młynarczyk M. Manekin termiczny typu Newton – pomiar izolacyjności cieplnej oraz oporu pary wodnej odzieży. *Warszawa: CIOP-PIB*; 2016. <https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/file/83991/Manekin-termiczny-M-Mlynarczyk-3-Z-16.pdf>
- [20] PN-EN ISO 20685-1:2019-01. *Metodyka skanowania 3D do celów międzynarodowych baz danych antropometrycznych – Część 1: Protokół oceny wymiarów ciała ludzkiego uzyskanych ze skanowania 3D*.
- [21] *Body Scanners, Simulations and Avatars: The Future is 3D*. [https://www.ispo.com/en/trends/id\\_79705556/body-scanners-and-avatars-the-future-of-clothing-is-3d.html](https://www.ispo.com/en/trends/id_79705556/body-scanners-and-avatars-the-future-of-clothing-is-3d.html)
- [22] Młynarczyk M, Orysiak J, Jankowski J. Określanie objętości przestrzeni powietrznych pod odzieżą z wykorzystaniem techniki skanowania 3D – studium przypadku. *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka*. 2022;(8):17-21.



# GDZIE NAS ZNALEŹĆ?

ZAPRASZAMY NA STRONY INTERNETOWE CIOP-PIB ORAZ  
NA STRONĘ PRACOWNI OBCIĄŻEŃ TERMICZNYCH

#pracowniaOT #labtherm

email: [pracownia.ot@ciop.pl](mailto:pracownia.ot@ciop.pl) | [www.facebook.com/pracowniaOT](http://www.facebook.com/pracowniaOT)

## ZESPÓŁ BADAWCZY

pracujący nad realizacją zadania badawczego



dr inż. Magdalena Młynarczyk

Pracownia  
Obciążeń Termicznych



dr Joanna Orysiak

Pracownia  
Obciążeń Termicznych



dr inż. Jarosław Jankowski

Pracownia  
Rzeczywistości Wirtualnej



inż. Piotr Prus

Pracownia  
Obciążeń Termicznych

ul. Czerniakowska 16  
00-701 Warszawa  
tel.: 22 623 36 98

Pracownia Obciążeń Termicznych  
e-mail: [pracownia.ot@ciop.pl](mailto:pracownia.ot@ciop.pl)  
tel.: 22 623 32 76