

Wybrane metody oceny właściwości komfortu materiałów przeznaczonych na odzież zawodową stosowaną w środowisku zimnym – przegląd literatury

Selected methods of evaluating the comfort-related properties of materials designed to workwear applied in cold conditions – literature review

Małgorzata Matusiak*, Dorota Szpak

Instytut Architektury Tekstyliów, Wydział Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów,
Politechnika Łódzka

Abstrakt

W artykule przedstawiono przegląd wybranych metod badawczych stosowanych do pomiaru właściwości termoizolacyjnych materiałów odzieżowych przeznaczonych na odzież zawodową stosowaną w warunkach mikroklimatu zimnego. Omówiono takie przyrządy, jak: „model skóry”, Alambeta, Permetest oraz Thermo Labo II. Ponadto przedstawiono informację na temat manekinów termicznych stosowanych do pomiaru izolacyjności cieplnej wyrobów odzieżowych.

Abstract

The article presents an overview of selected measurement methods used to measure thermal insulation properties of clothing materials for working clothing used in cold microclimate conditions. Devices such as “skin model”, Alambeta, Permetest and Thermo Labo II were discussed. In addition, information on thermal manikins used to measure thermal insulation of clothing products is presented.

Słowa kluczowe: odzież ochronna, izolacyjność cieplna, opór cieplny, opór pary wodnej;

Keywords: protective clothing, thermal insulation, thermal resistance, water-vapor resistance;

1. Wprowadzenie

Jedną z pierwotnych i podstawowych funkcji odzieży jest ochrona organizmu użytkownika przed czynnikami niekorzystnymi i/lub niebezpiecznymi. Czynniki takie występują, zarówno w życiu prywatnym, jak i zawodowym. W przypadku odzieży pozazawodowej dobór odzieży jest dowolny. Użytkownik sam określa, jakie cechy ochronne powinna posiadać odzież przez niego używana. W przypadku odzieży stosowanej podczas wykonywania pracy, w zależności od jej rodzaju oraz czynników szkodliwych lub niebezpiecznych, mogących występować na stanowisku pracy, cechy ochronne odzieży nie mogą być dobierane dowolnie. Są one ściśle określone odpowiednimi przepisami.

Podczas pracy w warunkach szkodliwych, pracodawca zobowiązany jest do zapewnienia

* autor korespondencyjny: Małgorzata Matusiak: małgorzata.matusiak@p.lodz.pl

odzieży ochronnej gwarantującej pracownikowi bezpieczne warunki pracy. Odzież ochronna zaliczana jest do tzw. środków ochrony indywidualnej. Jest to rodzaj odzieży chroniącej człowieka przed działaniem czynników niebezpiecznych lub szkodliwych. Stosowanie tej odzieży podczas pracy na określonych stanowiskach jest sankcjonowane odpowiednimi normami. Odzież ochronna powinna być zaprojektowana, biorąc pod uwagę wszystkie zagrożenia towarzyszące wykonywaniu pracy oraz zapewniać odpowiedni stopień ochrony określony na podstawie analizy ryzyka. Ponadto oprócz właściwości ochronnych projektowana odzież powinna uwzględniać takie aspekty, jak:

- wymiary ciała użytkownika, w celu zapewnienia odpowiedniego przylegania odzieży do ciała użytkownika,
- komfort termiczny,
- komfort psychologiczny,
- komfort sensoryczny,
- wpływ odzieży na ciało, na przykład na skutek elektryzowania się [1].

Odzież ochronna stosowana jest na stanowiskach pracy w większości dziedzin gospodarki, m.in. w budownictwie, przemyśle, służbach specjalnych, medycynie, transporcie i innych. Oprócz wielu czynników szkodliwych i niebezpiecznych, specyficznych dla określonego stanowiska pracy, w wielu zawodach występuje zagrożenie związane z warunkami mikroklimatu. Dotyczy to, zarówno prac wykonywanych w otwartej przestrzeni, gdzie pracownik narażony jest na zmienne i często niekorzystne warunki pogodowe, jak też pracy w pomieszczeniach, w których, z uwagi na specyfikę stanowiska pracy, warunki mikroklimatu są niekorzystne dla organizmu pracownika. Przykładem może być praca w chłodniach.

Praca w środowisku zimnym stanowi poważne obciążenie dla organizmu człowieka. Dlatego też dużą grupę odzieży ochronnej stanowią asortymenty ukierunkowane na ochronę przed zimnem. Pracując w zimnym środowisku pracownik zazwyczaj obciążony jest pracą o zróżnicowanym wydatku energetycznym. Dodatkowo każdy człowiek posiada wewnętrzny mechanizm fizjologiczny – układ termoregulacyjny, który wytwarza ciepło chroniąc organizm [2]. Wewnętrzny system ochrony przed zimnem jest uzależniony od takich czynników, jak: wiek, płeć, budowa ciała, czy sposób odżywiania [3].

Termoregulacja nie stanowi wystarczającej ochrony organizmu przed wyziębieniem, dlatego wymagane jest stosowanie środków ochrony indywidualnej w postaci odzieży ochronnej, chroniącej organizm przed nadmierną utratą ciepła w warunkach mikroklimatu zimnego. Szczegółowe wymagania dotyczące odzieży ochronnej, przeznaczonej do pracy w

niskich temperaturach, zawarto w Polskich Normach: PN-EN 14058:2018-02 [4] oraz PN-EN 342:2018-01 [5]. Normy te zawierają również metody badania skuteczności ochrony tych wyrobów przed oddziaływaniem chłodnego otoczenia w temperaturze odpowiednio powyżej -5°C (wyroby chroniące przed chłodem) i w temperaturze równej lub niższej od -5°C .

Odzież chroniąca przed chłodem powinna charakteryzować się odpowiednim oporem cieplnym i przepuszczalnością powietrza. Odzież chroniąca przed zimnem, przeznaczona do użytku w temperaturze poniżej -5°C , charakteryzująca się przepuszczalnością powietrza powyżej 100 ms^{-1} klasyfikowana jest do klasy 1. Natomiast odzież ciepłochłonna, która dodatkowo chroni przed opadami atmosferycznymi, powinna wyróżniać się oporem pary wodnej na poziomie przynajmniej $55\text{ m}^2\text{PaW}^{-1}$ [4]. Często wyroby ciepłochronne posiadają warstwy wodoszczelne, dzięki czemu zapewniają również ochronę przed opadami atmosferycznymi. Ponadto do pracy w środowisku zimnym zaleca się stosowanie wielowarstwowych zestawów odzieży ochronnej, co umożliwia stopniowanie oporu cieplnego zestawu poprzez założenie lub zdjęcie jednej, czy więcej warstw [6]. Jest to szczególnie ważne na stanowiskach, gdzie wykonywana jest praca o zmiennej intensywności.

2. Metody badawcze służące do pomiaru właściwości charakteryzujących zdolność materiałów i wyrobów włókienniczych do zapewnienia komfortu termo-fizjologicznego

Z punktu widzenia projektowania odzieży ochronnej chroniącej przed zimnem, niezmiernie ważną rolę odgrywa prawidłowy i precyzyjny pomiar właściwości ciepłochronnych materiałów przeznaczonych na tego typu odzież, jak również pomiar ciepłochronności pojedynczych asortymentów odzieży ciepłochronnej i ich zestawów. Do pomiaru właściwości termoizolacyjnych materiałów odzieżowych stosowana jest zazwyczaj metoda zaizolowanej cieplnie, pocącej się płyty, zwana również „modelem skóry”. Metoda badawcza za pomocą „modelu skóry” jest znormalizowana. Została opisana w Polskiej Normie PN-EN ISO 11092:2014-11 [7], zgodnej z normą międzynarodową ISO 11092: 2014 [8]. Za pomocą „modelu skóry” wyznacza się opór cieplny (R_{ct}) i opór przenikania pary wodnej (R_{et}). Ponadto w oparciu o uzyskane wyniki oblicza wskaźnik przenikania pary wodnej (i_{mt}) oraz przepuszczalność pary wodnej (W_d).

Zasada pomiaru oporu cieplnego i oporu przenikania pary wodnej, znormalizowana w normie międzynarodowej ISO 11092: 2014 [8] jest stosowana również w przyrządzie Permetest firmy Sensora (Czechy). Przyrząd stanowi przenośny „model skóry” (Rys. 1, 2) i umożliwia pomiar oporu cieplnego (R_{ct}) i oporu przenikania pary wodnej (R_{et}) [9 - 11]. Ponadto za pomocą

przyrządu Permetest wyznacza się względną przepuszczalność pary wodnej P . Wartość tego wskaźnika obliczana jest ze wzoru (1):

$$P = \frac{q_v}{q_o} \cdot 100, \quad (1)$$

gdzie:

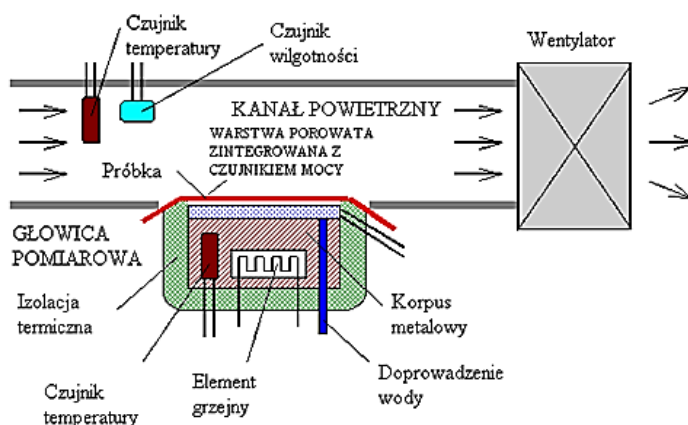
P – względna przepuszczalność pary wodnej [%],

q_v – gęstość strumienia ciepła przechodzącego przez mierzony materiał [W/m^2],

q_o – gęstość strumienia ciepła przechodzącego z powierzchni głowicy nieprzykrytej materiałem do powietrza w kanale pomiarowym [W/m^2].



Rys. 1. Przyrząd Permetest firmy Sensora (Czechy) [10].



Rys. 2. Schemat przyrządu Permetest [9, 10].

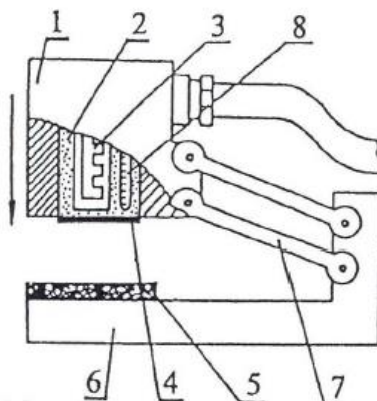
Względna przepuszczalność pary wodnej (P) nie jest wskaźnikiem znormalizowanym, jednakże jest bardzo praktycznym narzędziem do oceny materiałów włókienniczych z punktu widzenia ich zdolności do zapewnienia komfortu fizjologicznego. Wartość P mieści się w

przedziale od 0 do 100 %. Wartość względnej przepuszczalności pary wodnej P równa 100% oznacza całkowitą przepuszczalność pary wodnej. Im niższa wartość wskaźnika P , tym mniejsza przepuszczalność pary wodnej, a tym samym gorszy komfort fizjologiczny użytkownika danego wyrobu.

Innym przyrządem, coraz częściej stosowanym do pomiaru parametrów termicznych materiałów włókienniczych, jest Alambeta (Rys. 3, 4), również firmy Sensora (Czechy) [9, 10, 12, 13]. Jest to przyrząd dwupłytowy, który służy do pomiaru statycznych i dynamicznych parametrów termicznych charakteryzujących materiały włókiennicze. Za pomocą przyrządu Alambeta wyznaczane są statyczne i dynamiczne charakterystyki termiczne materiałów włókienniczych: przewodność cieplna (λ), dyfuzyjność cieplna (a), absorpcyjność cieplna (b) i opór cieplny (R) oraz grubość próbki (h).



Rys. 3. Przyrząd Alambeta firmy Sensora (Czechy) [10].



Rys. 4. Schemat przyrządu Alambeta [9, 10]: 1) – głowica grzejna, 2) – blok metalowy, 3) – element grzejny, 4) – płyta metalowa ogrzewana, 5) – badany materiał, 6) – płyta metalowa nieogrzewana, 7) – przewodnik głowicy pomiarowej, 8) – termometr.

Wśród przyrządów stosowanych do pomiaru właściwości termoizolacyjnych materiałów włókienniczych należy również wymienić przyrząd Thermo Labo II (Rys. 5) firmy KATO TECH Co. Ltd (Japonia) [10, 14, 15]. Przyrząd Thermo Labo został opracowany w 1983 r. przez Yonedę i Kawabatę [14], którzy jako pierwsi zastosowali wartość maksymalnej gęstości strumienia ciepła (q_{max}), jako miarę ciepłego lub zimnego chwytu materiałów włókienniczych. Za pomocą przyrządu Thermo Labo II wyznacza się:

- przewodność cieplną (λ),
- maksymalną gęstość strumienia ciepła (q_{max}),
- współczynnik utrzymania ciepła HKP (Heat Keeping Property, Insulation Value).

Ostatni wskaźnik wyznacza się w różnych warunkach pomiaru: na sucho i na mokro, przy przyleganiu próbki lub nieprzyleganiu próbki do płyty oraz przy różnych prędkościach ruchu powietrza [10].



Rys. 5. Przyrząd Thermo Labo II firmy KATO TECH [10].

Do pomiaru izolacyjności cieplnej i oporu pary wodnej wyrobów odzieżowych i ich zestawów wykorzystuje się manekiny termiczne. Pierwszy jednosegmentowy manekin został skonstruowany w Stanach Zjednoczonych w latach 40 XX wieku. Takie manekiny posiadały jednakową temperaturę na całej powierzchni manekina. Wraz z upływem lat naukowcy opracowywali nowe modele manekinów, które są wielosegmentowe (Rys. 6) i posiadają funkcję poruszania się, oddychania, czy pocenia [16].

Ogólnie manekiny termiczne do pomiaru izolacyjności cieplnej odzieży można podzielić na trzy rodzaje:

- stojące,
- poruszające się, ale niepocące,

- poruszające się z możliwością symulacji pocenia [10].

Manekiny termiczne stosuje się do badania właściwości termicznych gotowych asortymentów odzieży ochronnej, lub zestawów odzieżowych. Pozwala to na ocenę gotowego prototypu. Dzięki wizualizacji w programie komputerowym można zaobserwować, w których obszarach wyroby wymagają większego dopracowania [17]. Badania przeprowadzane są w specjalnych komorach, w których jest możliwe symulowanie określonych warunków termicznych.



Rys. 6. Manekin termiczny [18].

Dostępność zaawansowanych technicznie przyrządów i systemów pomiarowych do pomiaru właściwości termoizolacyjnych materiałów włókienniczych umożliwia dokładne i wieloaspektowe scharakteryzowanie materiałów odzieżowych oraz odpowiedni dobór tych materiałów do wytwarzania odzieży o pożądanej ciepłochronności.

3. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza metod pomiarowych wykazała, że istnieje wiele metod badawczych, które mogą być zastosowane do pomiaru właściwości charakteryzujących materiały włókiennicze oraz wyroby odzieżowe pod względem ich zdolności do zapewnienia komfortu termo-fizjologicznego użytkownika odzieży. Część z wymienionych przyrządów pomiarowych do pomiaru materiałów włókienniczych, tj. Alambeta i Permetest, jak również manekin termiczny stosowany do pomiarów wyrobów odzieżowych, umożliwiają badania nieniszczące. Przyrządy Alambeta i Permetest firmy Sensora (Czechy) zostały wykorzystane

do pomiaru właściwości termoizolacyjnych wyrobów odzieżowych stosowanych do pracy w warunkach mikroklimatu zimnego. Przebieg badań oraz uzyskane wyniki zostaną przedstawiono w drugiej części artykułu.

Literatura

- [1] Bartkowiak G., Dąbrowska A.: *Ergonomia środków ochrony indywidualnej*, Bezpieczeństwo Pracy, **1**, 2016, str. 27 – 29.
- [2] Marszałek A.: *Zimne środowisko- sposoby zabezpieczenia organizmu człowieka przed oddziaływaniem zimna*, Bezpieczeństwo Pracy, **10**, 2011, str. 18 – 21.
- [3] Fanger P. O.: *Komfort cieplny*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1974.
- [4] PN-EN 14058:2018-02: *Odzież ochronna – Wyroby odzieżowe chroniące przed chłodem*.
- [5] PN-EN 342:2018-01: *Odzież ochronna – Zestawy odzieżowe i wyroby odzieżowe chroniące przed zimnem*.
- [6] Marszałek A.: *Odzież ochronna do pracy w zimnym środowisku - zasady projektowania i doboru*, Bezpieczeństwo Pracy, **2**, 2013, str. 8 – 12.
- [7] PN-EN ISO 11092:2014-11: *Tekstyliia – Właściwości fizjologiczne - Pomiar oporu cieplnego i oporu pary wodnej w warunkach stanu ustalonego (metoda począcej się zaizolowanej ciepłnie płyty)*.
- [8] ISO 11092:2014: *Textiles – Determination of physiological properties – Measurement of thermal and water – vapour resistance under steady – state conditions (sweating guarded – hotplate test)*.
- [9] Hes L., Sluka P.: *Uvod do komfortu textili*, Technical University of Liberec, Liberec 2005.
- [10] Matusiak M.: *Ciepłochronność tkanin odzieżowych*, Instytut Włókiennictwa, Łódź 2011.
- [11] Hes L.: *Alternative methods of determination of water vapour resistance of fabrics by means of a skin model*, 3rd European Conference on Protective Clothing and NOKOBETEF 8, 10 – 12. 05. 2006, Gdynia.
- [12] Hes L., Doležal I., Hanzl J.: *Neue Methode und Einrichtung zur objektiven Bewertung der Thermokontakten Eigenschaften textiler Flaschengebilde*, Melliand Textilberichte, **9**, 1990, str. 679 – 681.
- [13] Internal Standard 23-204-02/01: *Measurement of the Thermal Properties by Alambeta Device*, Technical University of Liberec, Liberec 2001.
- [14] Yoneda M., Kawabata S.: *Analysis of transient heat conduction in textiles and its applications - Part II*, Journal of Textile Machinery Society of Japan, **31**, 1983, str. 73 – 81.
- [15] Instrukcja obsługi przyrządu KES-F7 Thermo Labo II, KES KatoTech Company Ltd, Japonia.
- [16] Młynarczyk M.: *Manekiny termiczne jako narzędzie do badania izolacyjności cieplnej oraz oporu pary wodnej zestawów odzieżowych*, Bezpieczeństwo Pracy, **1**, 2015, str. 18 – 20.
- [17] Marszałek A.: *Zastosowanie manekinów termicznych do badania komfortu cieplnego człowieka*, Bezpieczeństwo Pracy, **10**, 2002, str. 26 – 29.
- [18] Szpak D.: *Analiza porównawcza właściwości termoizolacyjnych wybranych asortymentów odzieży ochronnej* - praca dyplomowa wykonana na Wydziale Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów PŁ, Łódź 2018.