

## OCENA KOMFORTU BIOFIZYCZNEGO KREOWANEGO PRZEZ TEKSTYLIA Z ZASTOSOWANIEM POCĄCEJ SIĘ, ZAIZOLOWANEJ CIEPLNIE PŁYTY I MANEKINA TERMICZNEGO

Agnieszka KOMISARCZYK<sup>1</sup>, Katarzyna SROKA<sup>2</sup>, Izabella KRUCIŃSKA<sup>3</sup>

1. Miejsce pracy: Politechnika Łódzka, Katedra Materiałoznawstwa, Towaroznawstwa i Metrologii Włókienniczej  
tel.: 42 631 33 08, e-mail: agnieszka.komisarczyk@p.lodz.pl
2. Miejsce pracy: Politechnika Łódzka, Katedra Materiałoznawstwa, Towaroznawstwa i Metrologii Włókienniczej – Studentka, tel.: 42 631 33 08
3. Miejsce pracy: Politechnika Łódzka, Katedra Materiałoznawstwa, Towaroznawstwa i Metrologii Włókienniczej  
tel.: 42 631 33 17, e-mail: izabella.krucinska@p.lodz.pl

**Streszczenie:** Uwzględniając obecny rozwój inżynierii materiałowej, również w obszarze włókiennictwa, dostępność zróżnicowanych pod względem właściwości pakietów odzieżowych oraz rozwijające się zapotrzebowanie na odzież specjalnego przeznaczenia, pojawia się konieczność oceny komfortu biofizycznego kreowanego przez te wyroby. Ocena taka jest prowadzona na różnych etapach projektowania i produkcji. Niniejsza publikacja prezentuje porównanie wartości oporu cieplnego dla tkanin oraz izolacyjności cieplnej odzieży wytworzonej z tych tkanin. Tkaniny badano stosując metodykę zapisaną w normie PN-EN ISO 11092:2014-11, z wykorzystaniem metody pocącej się zaizolowanej cieplnie płyty, zaś ocenę izolacyjności cieplnej prowadzono w oparciu o normę PN-EN ISO 15831:2006 z zastosowaniem manekina termicznego NEWTON.

**Słowa kluczowe:** Komfort biofizyczny. Manekin termiczny. „Model skóry”.

### 1. WSTĘP

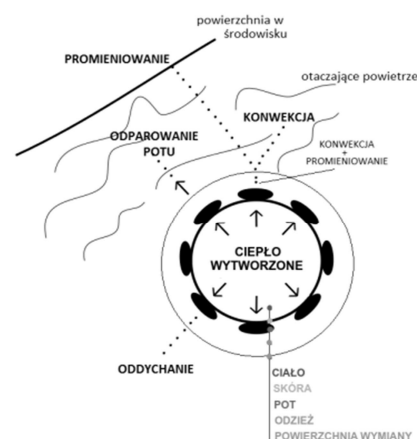
Odzież stanowi podstawową barierę izolującą organizm człowieka od jego otoczenia. Jedną z jej naczelných funkcji jest wsparcie organizmu w utrzymaniu równowagi termicznej w zmiennych warunkach klimatycznych. Mając na uwadze, że obecnie człowiek znajduje się często w ekstremalnych warunkach środowiskowych, takich jak wysokie lub niskie temperatury, konstrukcja pakietów odzieżowych musi zapewniać utrzymanie możliwie stałego i korzystnego mikroklimatu.

Komfort biofizyczny jest rozumiany jako zdolność materiału do zapewnienia poczucia ciepła, ale nie przegrzania [1]. Komfort ten będzie zapewniony, gdy ogólny bilans cieplny, zapisany równaniem (1) będzie równy zero.

$$\pm \Delta Q = M - E \pm C \pm R - Z \quad (1)$$

gdzie:  $M$  – metabolizm;  $E$  – parowanie;  $C$  – unoszenie;  $R$  – promieniowanie,  $Z$  – energia pochłaniana na czynności życiowe

Jednym z ciągłych procesów realizowanych przez nasz organizm jest transport ciepła na drodze biernej, pomiędzy człowiekiem a środowiskiem (rys. 1.).



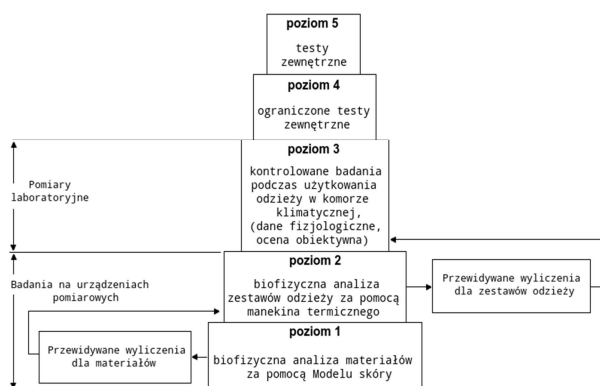
Rys.1. Kanały wymiany ciepła (źródło [2])

Bierna wymiana ciepła pomiędzy organizmem a otoczeniem odbywa się poprzez:

- przewodzenie (przekazywanie ciepła poprzez dotyk z innymi przedmiotami),
- unoszenie (przekazywanie ciepła związanego z ruchem cząsteczek materii w gazie),
- promieniowanie (emitowanie ciepła proporcjonalnie do swej temperatury za pomocą długości fal większej od 4  $\mu\text{m}$ ),
- oddychanie,

Jedynym mechanizmem, który może być regulowany przez nasz organizm jest odparowywanie potu z powierzchni skóry, stąd też mechanizm ten nazywany jest czynnym. Istotne jest to, że o ile w wyniku biernej wymiany ciepła można organizm zarówno ogrzać jak i ochłodzić, o tyle czynna wymiana ciepła prowadzi wyłącznie do jego wychłodzenia. Dlatego też w równaniu bilansu cieplnego wartości promieniowania, unoszenia i promieniowania są oznaczone znakiem +/-.

Rozwój nowych technik produkcji idzie w parze z rozwojem metod pomiarowych. Metody te różnią się między sobą obiektem badań, warunkami pomiaru, precyzją i obiektywnością wyników. Metody te zostały zestawione w modelu zaproponowanym przez Umbacha [3], który został przedstawiony na rysunku 2. Model ten obejmuje szereg pomiarów, poczynając od analizy właściwości materiału z zastosowaniem pocącej się, zaizolowanej cieplnie płyty w warunkach stanu ustalonego, poprzez ocenę trójwymiarowej odzieży z zastosowaniem manekina termicznego, również w warunkach stanu ustalonego, ocenę odzieży na człowieku w kontrolowanych warunkach klimatycznych aż do oceny odzieży w warunkach rzeczywistego użytkowania. Wraz z kolejnymi poziomami maleje obiektywność uzyskiwanych wyników i rośnie dokładność odwzorowania warunków użytkowania.



Rys. 2. Pięciosłupowy model analizy właściwości biofizycznych materiałów i zestawów odzieżowych. (Źródło: [3])

Analizując przedstawiony model należy spodziewać się pewnej korelacji wyników uzyskiwanych na poszczególnych stopniach modelu. Niniejsza publikacja stanowi przedstawienie wyników związanych z obiektywną oceną odzieży z zastosowaniem dwóch podstawowych technik – pocącej się, zaizolowanej cieplnie płyty, powszechnie zwanej „Modelem skóry” oraz manekina termicznego.

## 2. METODYKA BADAŃ

### 2.1. Ocena oporu cieplnego z zastosowaniem pocącej się, zaizolowanej cieplnie płyty

Metoda pomiaru opiera się na analizie strumienia ciepła przepływającego przez badaną próbkę w jednostce czasu. Metoda pomiarowa została przedstawiona w normie PN-EN ISO 11092:2014-11 „Tekstylna. Wyznaczanie właściwości fizjologicznych. Pomiar oporu cieplnego i oporu pary wodnej w warunkach stanu ustalonego (metoda pocącej się zaizolowanej cieplnie płyty)”. Zaizolowana cieplnie, podgrzana do temperatury  $35 \pm 0,1$  °C płyta jest umieszczona w komorze klimatycznej, w której ustalone są warunki klimatu normalnego ( $T=20 \pm 1$  °C,  $RH=65 \pm 2$  %). Różnica temperatur powoduje, że generowany jest strumień ciepła od płyty do otoczenia. Tym samym powierzchnia płyty ulega wychłodzeniu. Układ regulacji, dążąc do utrzymania stałej temperatury płyty zwiększa moc dostarczaną do urządzenia. W warunkach stanu ustalonego generowany strumień ciepła jest stały w czasie, a tym samym moc jest również na stałym poziomie. W tych warunkach wartość oporu cieplnego, wyrażona w  $m^2KW^{-1}$ , wyrażona jest wzorem (2)

$$R_{ct} = \frac{(T_p - T_o) \cdot A}{H - \Delta H} - R_{ct0} \quad (2)$$

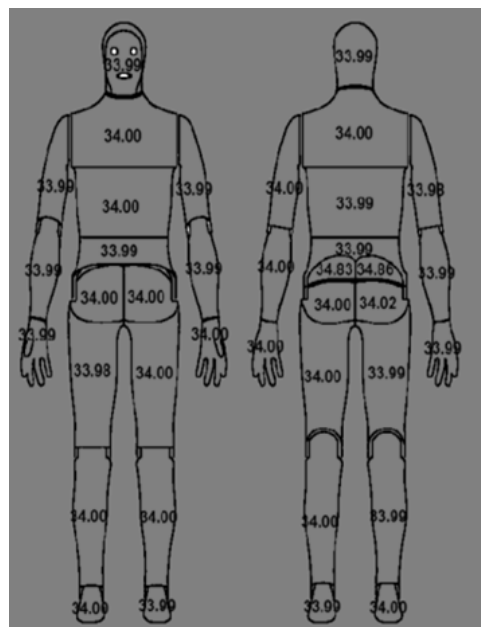
gdzie:  $R_{ct}$  - opór cieplny badanej próbki,  $m^2KW^{-1}$ ;  $T_p$  - temperatura płyty, K;  $T_o$  - temperatura otoczenia, K;  $A$  - powierzchnia próbki,  $m^2$ ;  $H$  - moc grzejna dostarczana do płyty pomiarowej, W;  $\Delta H$  - poprawka mocy grzejnej, W;  $R_{ct0}$  - stała przyrządu pomiarowego, którą jest opór cieplny płyty  $m^2K/W$ .

Wartość  $R_{ct0}$  wskazaną we wzorze (2) określa się dokonując pomiaru płyty bez badanej próbki.

W trakcie pomiaru oporu cieplnego, zgodnie z wymaganiami normy europejskiej, do urządzenia nie dostarcza się wody, a więc nie ma efektu „pocenia się”.

### 2.2. Ocena izolacyjności cieplnej z zastosowaniem manekina

Manekin termiczny NEWTON 34 jest układem pomiarowym składającym się z niezależnie sterowanych 34 stref grzewczych, dla których określa się wartość strumienia cieplnego (rys.3.).



Rys. 3. Schemat manekina termicznego NEWTON 34 z podziałem na strefy grzewcze. Liczby oznaczają temperaturę każdej ze stref, w °C (opracowanie własne na podstawie programu ThermDac).

Podobnie, jak w zaizolowanej cieplnie płycie, temperatura powierzchni manekina jest stała. Co prawda, system pozwala na ustalenie różnych temperatur na poszczególnych strefach, niemniej jednak, aby uniknąć strumienia ciepła pomiędzy strefami, zgodnie z normą zakłada się jednakową temperaturę we wszystkich strefach. Norma PN-EN ISO 15831:2006 zakłada, że temperatura powierzchni manekina powinna wynosić  $34$  °C, niemniej jednak, dążąc do ujednoczenia warunków pomiaru, do celów niniejszej pracy przyjęto, że temperatura ta wynosi  $35 \pm 0,1$  °C. Manekin był umieszczony w komorze klimatycznej, zapewniającej warunki klimatu normalnego, zgodnie z normą PN-EN ISO 139:2005 – wilgotność powietrza  $65 \pm 2$  %, temperatura powietrza  $20 \pm 0,2$  °C.

Metoda pomiaru opiera się na tych samych wskazaniach, co w przypadku zaizolowanej cieplnie płyty. W warunkach stałego strumienia ciepła, przepływającego

z powierzchni manekina do otoczenia utrzymuje się stała wartość mocy dostarczona do każdej z sekcji. Wartość całkowitej izolacyjności cieplnej, wyrażonej w  $m^2KW^{-1}$  obliczono według modelu szeregowego, zgodnie ze wzorem (3):

$$I_{ti} = \sum_i f_i \left[ \frac{(T_{si} - T_a) \cdot a_i}{H_{ci}} \right] \quad (3)$$

gdzie:  $T_{si}$  – temperatura powierzchni powłoki  $i$ -tego segmentu manekina, K;  $T_a$  – temperatura powietrza wewnątrz komory klimatycznej, K;  $H_{ci}$  – moc grzejna dostarczana do  $i$ -tego segmentu manekina, W;  $a_i$  – pole powierzchni  $i$ -tego segmentu manekina,  $m^2$ ;  $f_i$  – część całkowitego pola powierzchni manekina, jaką stanowi pole powierzchni  $i$ -tego segmentu manekina.

Pomiar prowadzi się dla manekina ubranego w badaną odzież oraz dla manekina bez próbki. Wartość całkowitej izolacyjności cieplnej odzieży  $I_{cl}$  jest wyliczana w oparciu o wzór (4):

$$I_{cl} = I_t - I_a \quad (4)$$

gdzie:  $I_t$  – całkowita izolacyjność cieplna zestawu odzieży,  $Km^2W^{-1}$ ;  $I_a$  – całkowita izolacyjność cieplna granicznej warstwy powietrza z zastosowaniem „nagiego” manekina,  $Km^2W^{-1}$ . [4]

### 2.3. Materiał badań

Do prac wytypowano trzy tkaniny bawełniane o splocie płóciennym, różniące się pomiędzy sobą masą powierzchniową. Charakterystyka tkanin została przedstawiona w Tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka tkanin

Oznaczenie tkaniny	Masa powierzchniowa	Grubość	Przepuszczałość powietrza
	$g/m_2$	mm	mm/s
A	80,9	0,16	323
B	120,5	0,20	278
C	205,2	0,33	236

Z tkanin pobrano po 3 próbki o wymiarach 32cmx32cm do badań z zastosowaniem zaizolowanej cieplnie płyty, oraz uszyto koszulę męską w rozmiarze dopasowanym do kształtu sylwetki manekina (rozmiar M). Obwód koszuli, wyniósł 116 cm, długość rękawa 63 cm, wzrost 170-176 cm. Wzór koszuli przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Krój koszuli męskiej (opracowanie własne)

## 3. WYNIKI

### 3.1. Opór cieplny tkanin

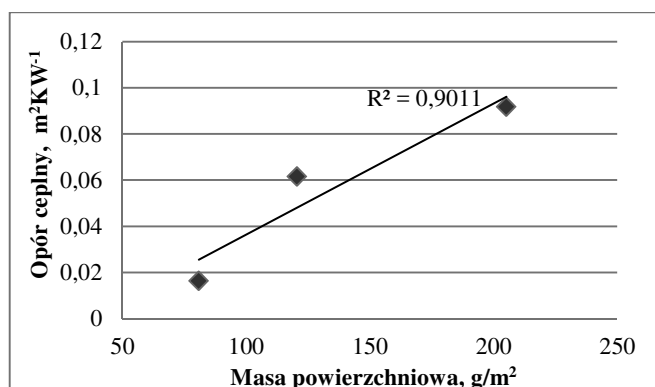
Opór cieplny tkanin, mierzony za pomocą zaizolowanej cieplnie płyty określono jako wartość średnią z trzech kolejnych pomiarów badanych próbek. Liczba próbek została określona na podstawie wytycznych normy PN-EN ISO 11092:2014-11.

Wartości średnie oporu cieplnego dla płyty z badaną próbką oraz wyliczoną wartość oporu cieplnego dla badanej próbki zestawiono w tabeli 2. Wartość oporu cieplnego płyty wynosi 0,0709  $m^2K/W$ .

Tabela 2. Opór cieplny badanych tkanin

Oznaczenie tkaniny	Opór cieplny płyty z badaną próbką	Opór cieplny badanych tkanin	Całkowita niepewność standardowa
	$m^2KW^{-1}$	$m^2KW^{-1}$	$m^2KW^{-1}$
A	0,0872	0,0163	0,0110
B	0,1324	0,0615	0,0085
C	0,1627	0,0918	0,0085

Niepewność standardowa typu B dla przeprowadzonych pomiarów wynosi 0,002  $m^2KW^{-1}$ . Wartości oporu cieplnego przedstawione w powyższej tabeli kształtują się na poziomie 0,01 do 0,1  $m^2KW^{-1}$ . Zależność oporu cieplnego od masy powierzchniowej tkanin przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Zależność oporu cieplnego od masy powierzchniowej

Na podstawie powyższego wykresu można stwierdzić, że istnieje zależność pomiędzy masą powierzchniową a oporem cieplnym badanych próbek. Wraz ze wzrostem masy powierzchniowej tkanin rośnie wartość oporu cieplnego.

### 3.2. Izolacyjność cieplna koszul męskich

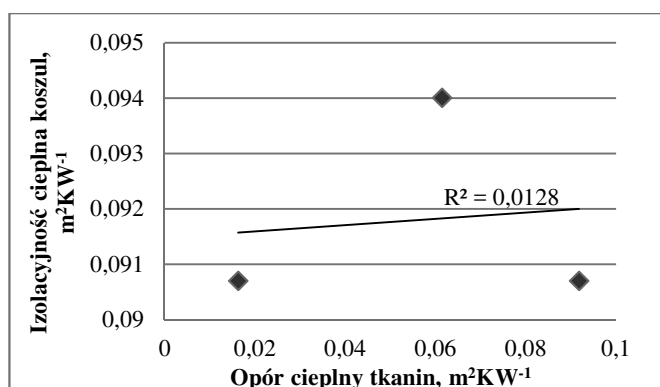
Izolacyjność cieplna koszul badana była z zastosowaniem manekina termicznego NEWTON. Wartość izolacyjności cieplnej wyliczana była w oparciu o model szeregowy. Niepewność standardowa typu B dla przeprowadzonych pomiarów wynosi 0,0008  $m^2KW^{-1}$ . Podczas pomiaru segmenty manekina nieokryte badaną odzieżą (nogi, głowa) były wyłączone z pomiaru. Wartość izolacyjności cieplnej granicznej warstwy powietrza, mierzonej za pomocą nagiego manekina wynosi 0,088  $m^2KW^{-1}$ .

Wartości izolacyjności cieplnej dla badanych koszul zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Całkowita izolacyjność cieplna

Oznaczenie tkaniny	Całkowita izolacyjność cieplna manekina ubranego w badaną odzież	Całkowita izolacyjność cieplna badanych koszul	Całkowita niepewność standardowa
	$m^2KW^{-1}$	$m^2KW^{-1}$	$m^2KW^{-1}$
A	0,1710	0,0907	0,0012
B	0,1740	0,0940	0,0009
C	0,1707	0,0907	0,0013

Wartości całkowitej izolacyjności cieplnej są na zbliżonym poziomie, niezależnie od masy powierzchniowej i izolacyjności cieplnej tkanin użytych do wytworzenia koszul. Zależność pomiędzy oporem cieplnym tkanin a izolacyjnością cieplną koszul przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Zależność izolacyjności cieplnej od oporu cieplnego

Powyższy wykres wskazuje, że istnieje całkowity brak korelacji pomiędzy wartościami uzyskiwanymi z zaizolowanej cieplnie płyty i manekina.

#### 4. WNIOSKI KOŃCOWE

Brak zależności pomiędzy oporem ciepła a izolacyjnością cieplną wydaje się zaskakujący w kontekście

### ASSESSMENT OF BIOPHYSICAL COMFORT CREATED BY TEXTILES USING SWEATING, THERMALLY INSULATED HOT PLATE AND THERMAL MANIKIN

Taking into account the current development of materials engineering, also in the field of textile industry, the availability of clothing packages with different properties in terms of properties and the growing demand for special-purpose clothing, there is a need to assess the biophysical comfort created by these products. This assessment is carried out at various stages of design and production. This publication presents a comparison of thermal resistance values for fabrics and thermal insulation of clothing made from these fabrics. The fabrics were tested using the methodology described in the PN-EN ISO 11092: 2014-11 standard, using the method of a heat-insulated thermal plate, and the assessment of thermal insulation was based on the PN-EN ISO 15831: 2006 standard using the NEWTON thermal manikin. Presented tests were done using three woven fabrics, differentiated by surface mass and the male shirts made from these wovens. Obtained results independently on similarities between measurements shows no correlation. It is assumed that the reason for the lack of correlation is the varied adaptation of the samples to the measurement system that occurs in both tests. This work is the introduction to further research.

**Keywords:** Biophysical comfort. Thermal manikin. Hot – plate.

zbieżności pomiarów – stałość strumienia ciepła, ten sam sposób pomiaru i przetwarzania wyników. Niemniej jednak należy zwrócić uwagę na mechanizm transportu ciepła w obu przypadkach. Podczas pomiaru oporu ciepła z zastosowaniem zaizolowanej cieplnie płyty próbka jest płasko położona na płycie, a cała jej powierzchnia ma bezpośredni kontakt z płytą. Tym samym transport ciepła odbywa się w głównej mierze na drodze przewodnictwa pomiędzy płytą a badaną próbką oraz unoszenia pomiędzy badaną próbką a otoczeniem. W przypadku badania odzieży, która jest obiektem trójwymiarowym, powierzchnia kontaktu pomiędzy badanym obiektem a urządzeniem pomiarowym ma charakter punktowy. Większość odzieży „odstaje” od powierzchni manekina. Tym samym, w tym przypadku dominuje zjawisko unoszenia ciepła. Mając na uwadze budowę manekina, odwzorowującą sylwetkę człowieka, zróżnicowane dopasowanie badanej odzieży do sylwetki urządzenia pomiarowego oznacza, że nie ma możliwości pewnego wyliczenia powierzchni kontaktu próbka – manekin. Należy się spodziewać, że będzie istniała zależność pomiędzy oporem cieplnym badanej tkaniny a izolacyjnością cieplną, jeżeli do równania wprowadzi się dodatkowe współczynniki opisujące sztywność zginania materiału. W chwili obecnej takie prace są realizowane.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

1. Krucińska I., Konecki W., Michalak M.: Systemy pomiarowe we włókiennictwie, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2006.
2. Zwolińska M., Bogdan A.: Izolacyjność cieplna odzieży, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, BP 02/2010, str. 17-20.
3. Umbach K. H.: Physiological tests and evaluation models for the optimization of the performance of protective clothing, I.B. Mekjavic, E.W. Banister and J.B. Morrison (Eds), Environmental Ergonomics, London: Taylor & Francis, 1988, ss. 139–161.
4. PN-EN ISO 15831:2006 Odzież. Właściwości fizjologiczne. Pomiar izolacyjności cieplnej z zastosowaniem manekina termicznego.