

MANEKIN TERMICZNY TYPU NEWTON – POMIAR IZOLACYJNOŚCI CIEPLNEJ ORAZ OPORU PARY WODNEJ ODZIEŻY

Zapewnienie pracownikom odczuwania komfortu cieplnego przez dobór odzieży o odpowiednich parametrach w zakresie suchej i mokrej wymiany ciepła przekłada się m.in. na poprawę koncentracji i zmniejszenie liczby popełnianych błędów, a tym samym na ograniczenie liczby wypadków. Ważny jest więc dobór odpowiedniej odzieży wspomagającej termoregulację dzięki wytwarzaniu sztucznego mikroklimatu wokół ciała człowieka i chroniącej je przed czynnikami fizycznymi i chemicznymi.

Badania prowadzone z wykorzystaniem manekina termicznego umożliwiają precyzyjną ocenę parametrów cieplnych zestawu odzieży, co przekłada się na prawidłowy jej dobór i dostosowanie do wymagań stanowiska pracy.

Ułatwieniem prawidłowego doboru odzieży jest baza danych opracowana w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym w ramach realizacji III etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” (2014-2016)*. Baza ta będzie na bieżąco aktualizowana na podstawie wyników badań prowadzonych w CIOP-PIB i dostępna w internecie na stronie www.ciop.pl

* Program wieloletni „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, III etap (2014-2016), zadanie 3.Z.16. *Ocena izolacyjności cieplnej odzieży stosowanej w środowisku gorącym za pomocą manekina termicznego z funkcją pocenia*

Baza danych

Opracowana baza danych ułatwia pracodawcom i pracownikom, w tym pracownikom służby bhp, wybór odpowiedniej odzieży na dane stanowisko pracy. Zawiera takie informacje na temat zestawu odzieży, jak: nazwa handlowa odzieży, skład i opis zastosowanych materiałów, przeznaczenie, wartości określające suchą wymianę ciepła (m.in. izolacyjność cieplną całkowitą) oraz mokrą wymianę ciepła (opór pary wodnej). W bazie danych zamieszczono także informacje na temat rodzaju manekina, na którym wykonano badanie. Baza danych umożliwia wyszukiwanie rekordów po nazwie wyszukiwanego zestawu odzieży. Przykład danych dotyczących odzieży chirurgicznej zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Odzież chirurgiczna - wyciąg z bazy danych

nazwa	wpis wyszukiwaną frazę:										
chirurg	chirurg										
				sucha wymiana ciepła $m^{20}C/W$				mokra wymiana ciepła m^2kPa/W (400 ml/h m^2)			
nazwa	nazwa handlowa	skład zestawu odzieży i opis zastosowanych materiałów	przeznaczenie	parallel: I_T (wraz z bielizną ref.)	serial: I_T (z bielizną ref.)	parallel: I_{cle} (sama odzież (-I_ref-I_a))	serial: I_{cle} (sama odzież (-I_ref-I_a))	parallel: Ret warunki izoterm. (odzież+ skóra)	parallel: Ret warunki nieizoterm. (odzież+ skóra)	rodzaj manekina na którym wykonano badania	
ODZIEŻ CHIRURGICZNA	ODZIEŻ CHIRURGICZNA WRAZ Z FARTUCHEM STANDARD	Odzież składa się z bluzki oraz spodni wykonanych z: 55% bawełna, 45% poliester. Fartuch STANDARD do krótkich zabiegów, wykonany z polipropylenowej włókniny typu SMS 45 g/m^2 Rękawy zakończone mankietami elastycznymi; bawełniane cienkie skarpety	Odzież przeznaczona na blok operacyjny wraz z fartuchem do krótkich operacji.	0,4227	0,5267	0,1055	0,1697			Newton	
ODZIEŻ CHIRURGICZNA	ODZIEŻ CHIRURGICZNA WRAZ Z FARTUCHEM COMFORT PLUS	Odzież składa się z bluzki oraz spodni wykonanych z: 55% bawełna, 45% poliester. Fartuch COMFORT PLUS wykonany z wysokoprzewiewnej hydrofobowej włókniny typu spunlace (55% celuloza, 45 % PES). Nieprzemakalne wstawki na przedniej części fartucha i rękawach; bawełniane cienkie skarpety	Odzież przeznaczona na blok operacyjny wraz z fartuchem do mokrych operacji.	0,1906	0,2639	0,1056	0,1745		0,0294	Newton	

Manekin termiczny typu NEWTON

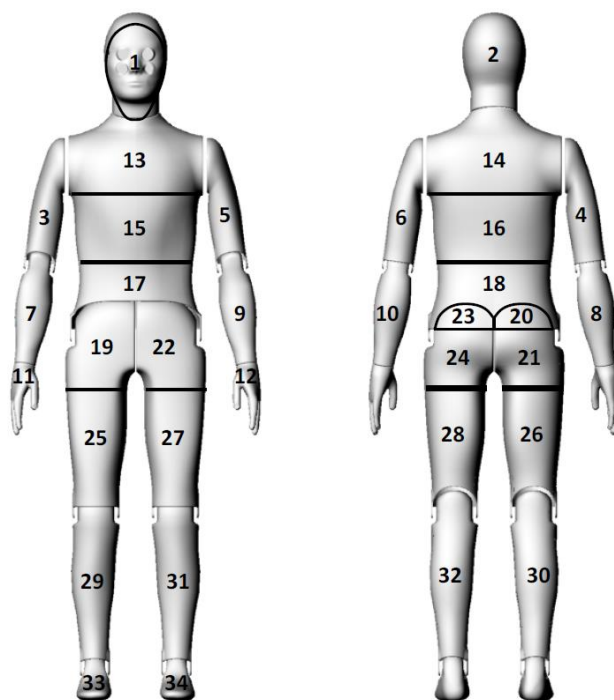
Podstawowym narzędziem do badań właściwości termicznych odzieży jest manekin termiczny. W CIOP-PIB znajduje się manekin termiczny NEWTON (manekin o męskim kształcie ciała), składający się z 34 segmentów (rys. 1).



Rys. 1. Manekin termiczny NEWTON (prod. MTNW – Measurement Technology Northwest USA)

Manekin NEWTON jest wykonany z miedzi i pokryty węglowo-epoksydową skorupą z wbudowanymi elementami grzejnymi i odpowiednimi czujnikami. Ma ruchome stawy biodrowe, kolanowe i ramienne. Dodatkowo możliwy jest ruch w stawach łokciowych i nadgarstkach, co ułatwia ułożenie manekina w badanej przestrzeni w różnych pozycjach.

Na rysunku 2 przedstawiono podział manekina NEWTON na segmenty.



Rys. 2. Podział manekina termicznego NEWTON na segmenty

Przedstawiony manekin umożliwia wyznaczanie suchej wymiany ciepła. Jest również wyposażony w system pocenia, umożliwiający doprowadzenie wody do każdego segmentu. Pory rozmieszczone są jednorodnie na całej powierzchni manekina, a jego konstrukcja umożliwia sterowanie przepływem płynów (objętości) na poszczególnych segmentach.

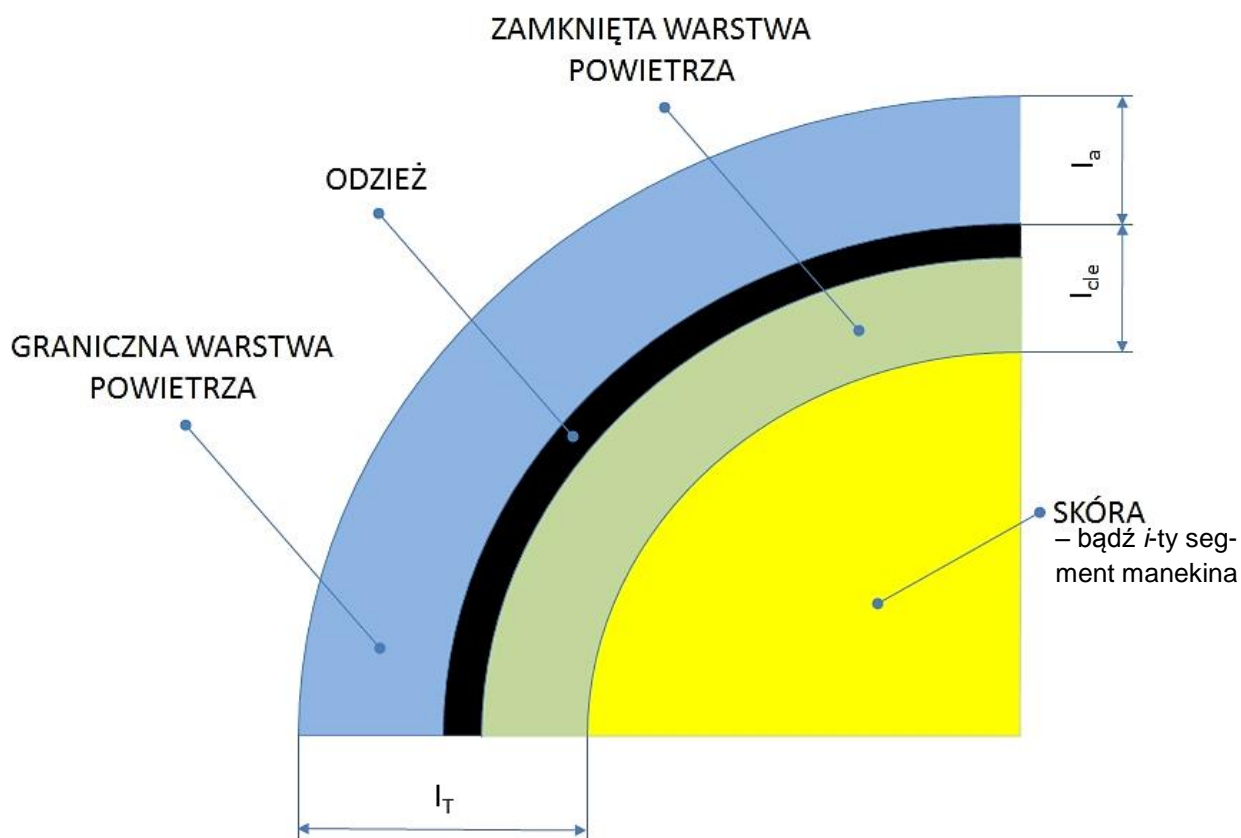
Izolacyjność cieplna odzieży

Pojęcie izolacyjności cieplnej odzieży występuje we wszystkich normach dotyczących oddziaływania środowiska cieplnego na człowieka (np. PN-EN ISO 9920:2008 [1], PN-EN ISO 342:2006 [2], PN-EN ISO 11079:2008 [3]).

Każdy zestaw odzieży charakteryzuje się konkretną wartością izolacyjności cieplnej. W bardzo dokładny i znormalizowany sposób, na podstawie wyników badań wykonywanych na manekinie termicznej, można określić wartości izolacyjności cieplnej zarówno poszczególnych części garderoby, jak i całych zestawów odzieży.

Na podstawie badań z wykorzystaniem manekina termicznego NEWTON są wyznaczone takie wartości, jak izolacyjność cieplna całkowita I_T i izolacyjność cieplna efek-

tywna I_{cle} (rys. 3). Na podstawie wyników badań można także obliczyć wartość izolacyjności cieplnej efektywnej wynikowej I_{cler} .



Rys. 3. Rodzaje izolacyjności cieplnej (I_a – granicznej warstwy powietrza, I_T – całkowita, I_{cle} – efektywna) [4]

Izolacyjność cieplna odzieży może być podawana w dwóch jednostkach: $m^2 \cdot K/W$ oraz clo (1 clo = $0.155 m^2 \cdot K/W$) [5]. Na podstawie wyników pomiarów można dokonać oceny wyrobu na zgodność z normą PN-EN 342:2006 [2].

W normach, m.in. PN-EN ISO 9920:2008 [1], są zamieszczane tabele z wartościami izolacyjności cieplnych poszczególnych części garderoby oraz zestawów odzieży. W tabeli 2 przedstawiono przykładowe wartości izolacyjności cieplnej typowych zestawów odzieży.

Tabela 2. Wartości izolacyjności cieplnej wybranych typowych zestawów odzieży (PN-EN ISO 9920:2008 [1])

Odzież	I_{cle}
	clo
Koszula z krótkimi rękawami	0.15
Typowa koszula z długimi rękawami	0.25
Majtki, podkoszulek T-shirt, krótkie spodenki, cienkie skarpetki, sandały	0.30
Bielizna z krótkimi rękawami i nogawkami, koszula, spodnie, kurtka, kurtka i spodnie ogrodniczki grubo pikowane, skarpety, buty, czapka, rękawice	2.00

Na podstawie tabel można jedynie oszacować izolacyjność cieplną danej odzieży. W celu dokładnego określenia izolacyjności odzieży należy przeprowadzić odpowiednie badania z wykorzystaniem manekina termicznego.

Opór pary wodnej

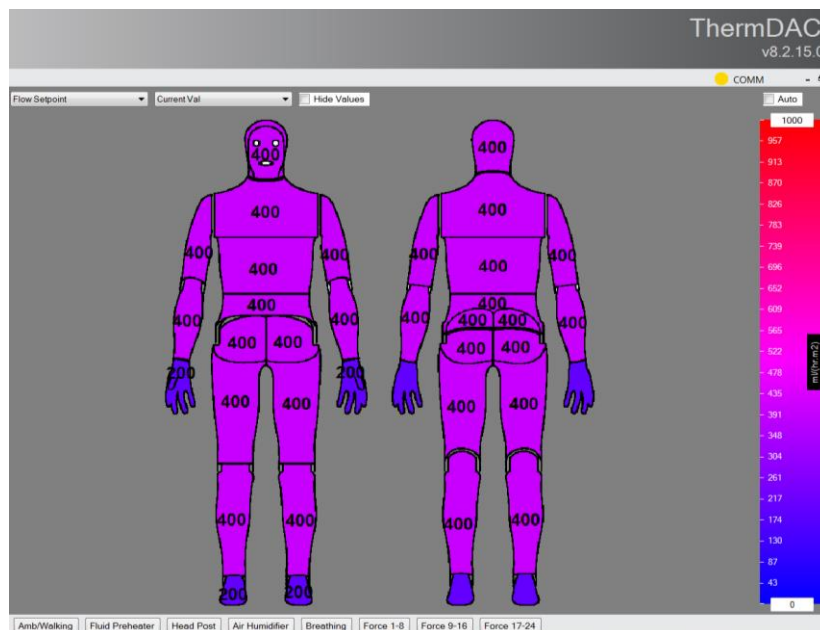
Zgodnie z zapisami normy PN-EN 342:2006 [2] opór pary wodnej R_{et} dla próbki materiału jest wyznaczany na modelu skóry (procedura badania – norma PN-EN ISO 11092:2014 [6]). Istnieje również możliwość wyznaczenia wartości oporu pary wodnej (R_{et}) dla całego wyrobu odzieżowego. Wówczas wartość R_{et} można wyznaczyć za pomocą manekina termicznego wyposażonego w funkcję pocenia (rys. 4), (procedura badania – norma ASTM F2370-15 [7]).

Badania mogą być prowadzone w warunkach tzw. izotermicznych, gdy temperatura skóry manekina jest równa temperaturze otoczenia ($t_s = t_a$), bądź w warunkach nieizotermicznych ($t_s \neq t_a$) jako symulacja warunków rzeczywistych.



Rys. 4. Manekin termiczny NEWTON

Manekin termiczny z funkcją pocenia umożliwia podczas badań regulację intensywności pocenia na każdym jego segmencie (rys. 5).



Rys. 5. Przykładowy rozkład intensywności pocenia ($\text{ml} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) na poszczególnych segmentach manekina

W normie PN-EN ISO 9920:2008 [1] zamieszczono także wartości oporu pary wodnej różnych zestawów odzieży. W tabeli 3 są przedstawione wybrane wartości oporu pary wodnej typowych zestawów odzieży roboczej.

Tabela 3. Wartości oporu pary wodnej typowych zestawów odzieży (PN-EN ISO 9920:2008 [1])

Odzież robocza	R_{et}
	$\text{m}^2 \cdot \text{kPa} \cdot \text{W}^{-1}$
Szorty białe, podkoszulek T-shirt, koszula z długimi rękawami, ogrodniczki, skarpetki sportowe, obuwie robocze	0.035
Szorty białe, koszula z krótkimi rękawami, długie spodnie, pasek, skarpetki długie, obuwie z twardą podeszwą, kombinezon z poliestru/bawełny	0.037
Szorty białe, koszula z krótkimi rękawami, długie spodnie, pasek, skarpetki długie, obuwie z twardą podeszwą, lekka bluza Gore-tex, spodnie Gore-tex	0.044

Na podstawie tabel można jedynie oszacować wartość oporu pary wodnej danego zestawu odzieży. W celu dokładnego określenia oporu pary wodnej należy przeprowadzić badanie z wykorzystaniem manekina termicznego z funkcją pocenia.

Bibliografia

- [1] PN-EN ISO 9920:2008 Ergonomia środowiska termicznego – Szacowanie izolacyjności cieplnej i oporu pary wodnej zestawów odzieży.
- [2] PN-EN 342:2006 Odzież ochronna – Zestawy odzieży i wyroby odzieżowe chroniące przed zimnem.
- [3] PN-EN ISO 11079:2008 Ergonomia środowiska termicznego. Wyznaczanie i interpretacja stresu termicznego wynikającego z ekspozycji na środowisko zimne z uwzględnieniem wymaganej izolacyjności cieplnej odzieży (IREQ) oraz wpływu wychłodzenia miejscowego.
- [4] Zwolińska M., Bogdan A.: Izolacyjność cieplna odzieży. *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka* 2010, 2 (461): 17-20.
- [5] PN-EN ISO 15831:2006 Odzież – Właściwości fizjologiczne – Pomiar izolacyjności cieplnej z zastosowaniem manekina termicznego.
- [6] PN-EN ISO 11092:2014 Tekstylia – Właściwości fizjologiczne – Pomiar oporu cieplnego i oporu pary wodnej w warunkach stanu ustalonego (metoda pocącej się zaizolowanej cieplnie płyty).
- [7] ASTM F2370-15 Standard Test Method for Measuring the Evaporative Resistance of Clothing Using a Sweating Manikin.

Opracowano i wydano w ramach III etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” (2014-2016) finansowanego w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej.

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

*Kontakt: mgr inż. Magdalena Młynarczyk;
e-mail: m.mlynarczyk@ciop.pl*