

Małgorzata MATUSIAK

KATEDRA ODZIEŻOWNICTWA I TEKSTRONIKI POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ,
ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź

Badania materiałów włókienniczych w zakresie ich zdolności do transportu wilgoci

Dr inż. Małgorzata MATUSIAK

Jest adiunktem w Katedrze Odzieżownictwa i Tekstyoniki Politechniki Łódzkiej. Z wykształcenia jest włókiennikiem, specjalistą w zakresie mechanicznej technologii włókna. Główne obszary zainteresowania to przedziałnictwo włókien odcinkowych, metrologia włókiennicza, modelowanie właściwości wyrobów włókienniczych oraz komfort fizjologiczno-termiczny użytkowania tekstyliów.



e-mail: malgorzata.matusiak@p.lodz.pl

Streszczenie

Celem badań była ocena materiałów włókienniczych w zakresie przepuszczalności pary wodnej, będącej jedną z podstawowych właściwości materiałów włókienniczych z punktu widzenia ich zdolności do zapewnienia komfortu fizjologicznego. Badaniom poddano 29 próbek tkanin bawełnianych i bawełnianopodobnych o zróżnicowanej strukturze. Badania parametrów charakteryzujących przepuszczalność pary wodnej materiałów włókienniczych wykonano za pomocą zaizolowanej ciepłnie pocącej się płyty oraz Permetestu. Oceniono zgodność wyników uzyskanych za pomocą obu metod pomiaru.

Słowa kluczowe: materiały włókiennicze, przepuszczalność pary wodnej, „model skóry”, Permetest, transport wilgoci, włókna profilowane.

Investigations of moisture transport of textile materials

Abstract

The aim of the presented work is to investigate textile materials from the point of view of their ability to transport the moisture. The water-vapour permeability is one of the most important comfort-related properties of textiles. It determines an ability to keep a human body dry and ensures natural body thermoregulation. There are some parameters expressing the ability of textile to transfer the moisture. The water-vapour resistance can be considered as one of the most important ones. It can be determined with the sweating guarded-hotplate test called “skin model” and the Permetest. Both instruments enable also measurement of other parameters characterizing the textile materials from the point of view of the moisture transport. In the presented work the “skin model” and Permetest were applied to measure the water-vapour permeability of 29 samples of cotton woven fabrics of different structure. The diversification of fabric structure was achieved by changing the linear density of weft as well as the number of picks and ends. On the basis of the measurement results an agreement between the results from the “skin model” and Permetest was assessed. It was stated that there was strong correlation between the water-vapour resistance from the “skin model” and the Permetest (Table 1). The strong correlation also exists between the water-vapour permeability according to the “skin model” and parameters determined with the Permetest: the water-vapor resistance and the percentage water-vapor permeability (Fig. 3). The values of the water-vapor resistance according to the Permetest are higher than those of the same parameter determined with the “skin model” (Fig. 4).

Keywords: textile materials, moisture transport, „skin model”, Permetest, profiled fibers.

1. Wprowadzenie

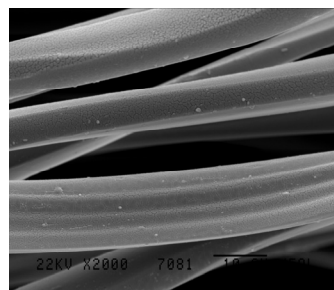
Komfort fizjologiczny, zwany także komfortem termofizjologicznym oznacza stan zadowolenia z warunków ciepłych otoczenia [1]. O komforcie fizjologicznym można mówić wówczas, gdy człowiek nie odczuwa, że jest mu ani za zimno, ani za ciepło oraz gdy pot wydzielany przez organizm jest odprowadzany

do otoczenia. Czynniki wpływające na odczuwanie komfortu fizjologicznego można podzielić na trzy grupy. Są to:

- czynniki związane z warunkami klimatycznymi środowiska,
- czynniki związane z organizmem człowieka,
- czynniki związane z odzieżą [2].

Spśród czynników związanych z odzieżą, stanowiącą barierę pomiędzy organizmem człowieka a otoczeniem, za jeden z kluczowych z punktu widzenia komfortu fizjologicznego uznaje się przepuszczalność pary wodnej. Jest to cecha wyrobu włókienniczego ważna z punktu widzenia zdolności dyfuzji pary potu przez wyrób. Przepuszczalność pary wodnej zachodzi w wyniku jej dyfuzji przez pory zawarte między nitkami oraz między włóknami. Przepuszczalność pary wodnej warunkuje uzyskanie komfortu cieplnego w wyniku odprowadzania z powierzchni skóry potu wydzielanego przez organizm w czasie życiowej aktywności człowieka. Najważniejszym parametrem strukturalnym materiału włókienniczego, decydującym o przepuszczalności pary wodnej jest porowatość, polegająca na istnieniu w materiałach porów, tj. przestrzeni niewypełnionych włóknami.

Badania nad poprawą komfortu fizjologicznego użytkowania wyrobów włókienniczych doprowadziły m.in. do pojawienia się innowacyjnych rozwiązań w zakresie włókien o unikatowej strukturze i właściwościach. Mowa tu o włóknach chemicznych, najczęściej poliestrowych lub poliamidowych, z funkcją efektywnego odprowadzania wilgoci (*“moisture management” fibres*). Generalną ideą włókien z funkcją „zarządzania wilgocią” jest odpowiednie ukształtowanie włókien, umożliwiające maksymalną absorpcję potu i szybkie jego rozprzestrzenianie się na powierzchni wyrobu, co zapewnia szybkie jego odparowanie. Na powierzchni tych włókien znajdują się kanały równoległe do osi włókien (rys. 1), które ułatwiają i ukierunkowują wymianę gazową pomiędzy organizmem człowieka a otoczeniem. Dodatkowo obecność kanałów zewnętrznych zwiększa powierzchnię włókien, co intensyfikuje odparowanie wilgoci z powierzchni wyrobu.



Rys. 1. Mikroskopowy obraz włókien z wzdłużnymi kanałami zewnętrznymi na powierzchni

Fig. 1. Microscopic picture of profiled fibers with visible rows on the fiber surface

Kształt włókien z funkcją regulacji wilgoci oferowanych przez różnych producentów jest bardzo zróżnicowany. Mogą to być włókna cztero- lub sześciokanałowe, o przekroju poprzecznym trójramiennym, w kształcie liścia koniczyny i in. Dzięki tak zaprojektowanej strukturze włókien ich powierzchnia jest o ok. 30% – 40% większa od powierzchni włókien o kształcie standardowym, tj. o przekroju okrągłym lub eliptycznym. Dodatkowo specyficzne ukształtowanie powierzchni włókien minimalizuje kontakt wyrobu ze skórą, co zapewnia wyższy komfort użytkowania w porównaniu do wyrobów standardowych stosowanych w tych samych warunkach.

2. Metody pomiaru materiałów włókienniczych w zakresie oporu przenikania pary wodnej

Do pomiaru przepuszczalności pary wodnej materiałów włókienniczych stosuje się metodę zaizolowanej cieplnie pocącej się płyty, zwaną potocznie „modelem skóry”. Procedury pomiaru za pomocą „modelu skóry” zostały znormalizowane w Polskiej Normie PE-EN 31092 [3], która jest zgodna z normą międzynarodową ISO 11092:1993. Przyrząd symuluje procesy wydzielania ciepła i wilgoci, które występują na skórze ludzkiej. Za pomocą „modelu skóry” w warunkach ustalonej równowagi wyznacza się opór przenikania pary wodnej R_{et} . Parametr ten określa „utajony” strumień ciepła parowania przepływający przez daną powierzchnię w wyniku utrzymania stałej różnicy ciśnienia pary wodnej. Opór przenikania pary wodnej wyrażony jest w m^2PaW^{-1} . W oparciu o wyniki pomiaru za pomocą „modelu skóry” można obliczyć dodatkowe wskaźniki charakteryzujące badany materiał pod względem zapewnienia komfortu fizjologicznego:

- wskaźnik przenikania pary wodnej i_{mt} ,
- przepuszczalność pary wodnej W_d .

Wskaźnik przenikania pary wodnej i_{mt} stanowi iloraz oporu cieplnego i oporu pary wodnej zgodnie z równaniem:

$$i_{mt} = S \cdot \frac{R_{et}}{R_{et}} \quad (1)$$

gdzie: $S = 60 \text{ Pa/K}$, R_{et} – opór cieplny w m^2KW^{-1} .

Wskaźnik i_{mt} jest bezwymiarowy i przyjmuje wartości od 0 do 1. Wartość 0 wskazuje, że materiał nie przepuszcza pary wodnej, to znaczy, że ma nieskończony opór pary wodnej. Materiał, dla którego wartość wskaźnika i_{mt} równa jest 1 ma zarówno opór cieplny jak i opór pary wodnej odpowiadający warstwie powietrza o tej samej grubości [3]. Przepuszczalność pary wodnej W_d obliczana jest za pomocą równania:

$$W_d = \frac{I}{R_{et} \Phi_{Tm}} \quad (2)$$

gdzie Φ_{Tm} jest utajonym ciepłem parowania wody w temperaturze płyty pomiarowej T_m . Przepuszczalność pary wodnej W_d wyrażana jest w gramach na metr kwadratowy razy godzina razy Pascal ($gm^{-2}h^{-1}Pa^{-1}$).

Innym przyrządem, coraz powszechniej stosowanym do oceny materiałów włókienniczych pod względem ich zdolności do przepuszczania pary wodnej jest Permetest. Za pomocą tego przyrządu wyznacza się względną przepuszczalność pary wodnej P i opór pary wodnej R_{et} . Względna przepuszczalność pary wodnej P wyrażona jest równaniem:

$$P = 100 \cdot \frac{q_v}{q_o} \quad (3)$$

gdzie: q_v - gęstość strumienia ciepła przechodzącego przez mierzony materiał w Wm^{-2} , q_o - gęstość strumienia ciepła przechodzącego z powierzchni głowicy nieprzykrytej materiałem do powietrza w kanale pomiarowym w Wm^{-2} .

Względna przepuszczalność pary wodnej wyrażana jest w procentach. Wartość względnej przepuszczalności pary wodnej $P = 100\%$ oznacza całkowitą przepuszczalność pary wodnej. Im niższa wartość wskaźnika P , tym mniejsza przepuszczalność pary wodnej, a tym samym gorszy komfort fizjologiczny użytkownika danego wyrobu.

Natomiast opór przenikania pary wodnej wyrażony jest następującym wzorem:

$$R_{et} = (p_m - p_a) \cdot \left(\frac{1}{q_v} - \frac{1}{q_o} \right) \quad (4)$$

gdzie: p_m - ciśnienie pary wodnej nasyconej w temperaturze panującej w kanale powietrznym przyrządu w Pa, p_a - ciśnienie pary wodnej nasyconej w temperaturze otoczenia w Pa [4, 5].

Zasada działania przyrządu zbliżona jest do zasady działania „modelu skóry”, a pomiary wykonywane są zgodnie z procedurą opisaną w międzynarodowej normie ISO 11092. Permetest umożliwia pomiar oporu cieplnego przy dwóch prędkościach ruchu powietrza: $1,0 \text{ ms}^{-1}$ i $2,0 \text{ ms}^{-1}$. Główne różnice pomiędzy „modelem skóry” i Permetestem są następujące:

- mniejsza powierzchnia próbki roboczej przy pomiarze za pomocą Permetestu w porównaniu do pomiaru za pomocą „modelu skóry”,
- badanie za pomocą Permetestu jest możliwe w warunkach odbiegających od klimatu normalnego, gdyż istnieje możliwość kalibracji przyrządu w określonych warunkach pomiaru,
- pomiar R_{et} za pomocą Permetestu odbywa się w temperaturze otoczenia, podczas gdy w „modelu skóry” - przy temperaturze zbliżonej do temperatury ciała ludzkiego ($35^\circ C$).

3. Przebieg badań i uzyskane wyniki

Badania przepuszczalności pary wodnej wykonano dla 29 wariantów tkanin bawełnianych i bawełnopodobnych. Tkaniny zróżnicowane były pod względem podstawowych parametrów struktury: splotu, masy liniowej osnowy i wątku oraz liczności osnowy i wątku. Zróżnicowanie wymienionych parametrów struktury tkanin skutkowało zróżnicowaniem tkanin od względem ich porowatości.

Pomiary wykonano za pomocą następujących przyrządów:

- model skóry – wyznaczając opór przenikania pary wodnej R_{et} , wskaźnik przepuszczalności pary wodnej i_{mt} i przepuszczalność pary wodnej W_d ,
- Permetest – wyznaczając opór pary wodnej R_{et} i względną przepuszczalność pary wodnej P .

Badania za pomocą „modelu skóry” wykonano zgodnie z normą PE-EN 31092 [3], a za pomocą Permetestu – zgodnie z instrukcją przyrządu. Dla każdego wariantu tkaniny wykonano pomiary 3 próbek roboczych.

Na podstawie uzyskanych wyników przeanalizowano zgodność obu metod pomiaru. W tabeli 1 przedstawiono wartości współczynników korelacji liniowej pomiędzy wynikami uzyskanymi za pomocą „modelu skóry” i Permetestu.

Tab. 1. Wartości współczynników korelacji liniowej pomiędzy wynikami uzyskanymi za pomocą „modelu skóry” i Permetestu

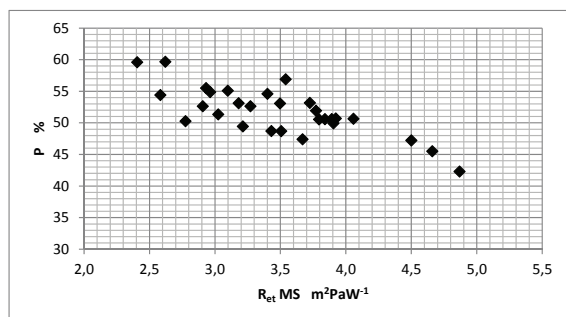
Tab. 1. Correlation coefficients between the results from „skin model” and Permetest

Parametr	$R_{x,y}$	
	R_{et} wg Permetestu	P wg Permetestu
R_{et} wg „modelu skóry”	0,798	- 0,772
i_{mt} wg „modelu skóry”	- 0,260	0,169
W_d wg „modelu skóry”	- 0,744	0,751

Najsilniejsza zależność korelacyjna ($R_{x,y} \approx 0,8$) występuje pomiędzy wartościami oporu przenikania pary wodnej wyznaczonymi za pomocą obu analizowanych metod pomiarowych. Niższą wartość współczynnika korelacji liniowej uzyskano pomiędzy oporem przenikania pary wodnej z „modelu skóry”, a względną przepuszczalnością pary wodnej wg Permetestu. W tym przypadku im wyższa wartość oporu przenikania pary wodnej tym niższa względna przepuszczalność pary wodnej (rys. 2).

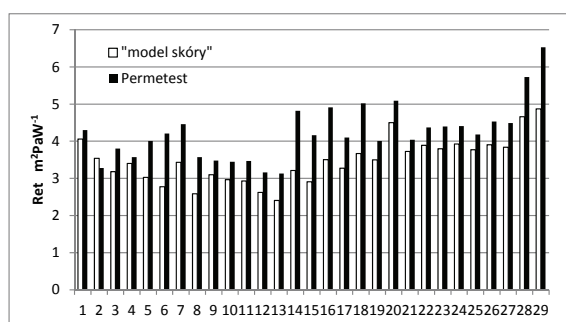
Stwierdzono również zależność pomiędzy przepuszczalnością pary wodnej W_d wg „modelu skóry”, a parametrami wyznaczanymi za pomocą Permetestu, przy czym wraz ze wzrostem przepuszczalności pary wodnej W_d opór przenikania pary wodnej wg Permetestu maleje, natomiast względna przepuszczalność pary wodnej P - rośnie.

Nie stwierdzono natomiast zależności pomiędzy wskaźnikiem przenikania pary wodnej i_{mt} wg „modelu skóry”, a parametrami wyznaczanymi za pomocą Permetestu (tabela 1).



Rys. 2. Zależność pomiędzy oporem przenikania pary wodnej wg „modelu skóry” i względną przepuszczalnością pary wodnej wg Permetestu
Fig. 2. Relationship between the water-vapour resistance from „skin model” and relative water-vapor permeability from Permetest

Badania wykazały także, że wartości oporu przenikania pary wodnej wyznaczone za pomocą Permetestu są wyższe od wartości tego wskaźnika wyznaczonych za pomocą „modelu skóry” (rys. 3).



Rys. 3. Porównanie oporu przenikania pary wodnej wg „modelu skóry” i Permetestu
Fig. 3. Comparison of the water-vapor resistance from „skin model” and Permetest

Opisane przyrządy wykorzystano również do oceny efektywności zastosowania w tkaninach włókien profilowanych z funkcją transportu wilgoci (“moisture management” fibres). Włókna takie najczęściej stosowane są w dzianinach. Badania dotyczące tkanin z udziałem włókien profilowanych są dotychczas rzadko publikowane.

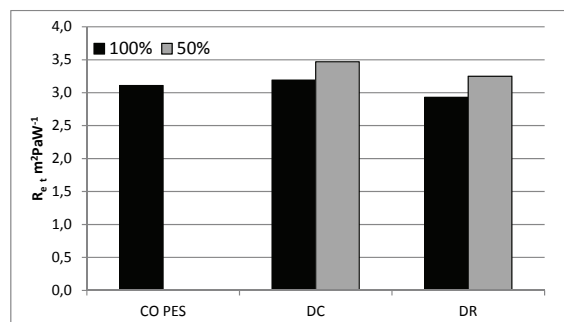
Dla celów badawczych wytworzono próby tkanin ubraniowych na bazie osnowy poliestrowo-bawełnianej o masie liniowej 40 tex. Włókna profilowane zastosowano w wątku. Do prób jako wątek zastosowano następujące asortymenty przędzy:

- 20 tex Dry Release (88% PES/12% Seacel Activ) – oznaczono symbolem DR,
- 200/194 Dacron Coolmax – oznaczono symbolem DC,
- 20 tex CO50/PES50 – dla celów porównawczych.

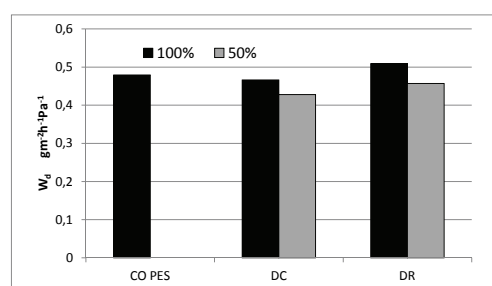
Wykonano próby ze 100-procentowym oraz z 50-procentowym udziałem (co drugi wątek) włókien profilowanych w wątku. Wykonano również próbę z przędzy standardowej 20 tex bawełna 50% + standardowe włókna poliestrowe 50%. Ogółem wytworzono 5 wariantów tkanin o jednakowym splocie i jednakowej liczności osnowy i wątku.

Badania wykazały pewne zróżnicowanie tkanin pod względem wartości parametrów charakteryzujących przepuszczalność pary wodnej. Wg „modelu skóry” najniższą wartość oporu przenikania pary wodnej odnotowano dla wariantu tkaniny zawierającego w wątku 100% przędzy 20 tex Dry Release (rys. 4).

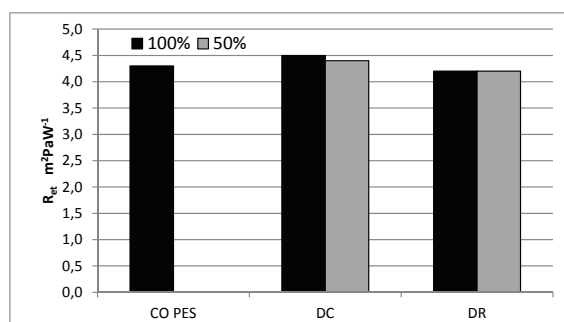
Tkaniny z 50-procentowym udziałem włókien profilowanych w wątku odznaczają się znacznie wyższą wartością oporu przenikania pary wodnej niż tkaniny ze 100-procentowym udziałem tych włókien w wątku. Również wartość przepuszczalności pary wodnej W_d wg „modelu skóry” sugeruje, że 50-procentowy udział włókien profilowanych w wątku daje gorszy efekt transportu wilgoci niż 100-procentowy udział tych włókien w wątku (rys. 5).



Rys. 4. Opór przenikania pary wodnej tkanin z udziałem włókien profilowanych wg „modelu skóry”
Fig. 4. Water-vapor resistance of the woven fabrics containing moisture management fibers acc. to “skin model”



Rys. 5. Przepuszczalność pary wodnej tkanin z udziałem włókien profilowanych wg „modelu skóry”
Fig. 5. Water-vapour permeability of the woven fabrics containing moisture management fibres acc. to “skin model”

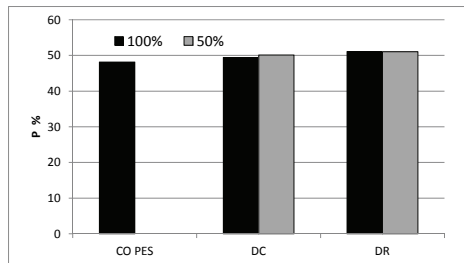


Rys. 6. Opór przenikania pary wodnej tkanin z udziałem włókien profilowanych wg Permetestu
Fig. 6. Water-vapour resistance of the woven fabrics containing moisture management fibers acc. to Permetest

Z kolei na podstawie wyników uzyskanych za pomocą Permetestu stwierdzono, że oba warianty tkaniny zawierającej w wątku przędzy 20 tex Dry Release (zarówno 100% jak i 50% wątku) charakteryzują się najniższym oporem przenikania pary wodnej (rys. 6) oraz najwyższą względną przepuszczalnością pary wodnej (rys. 7).

Wbrew oczekiwaniom badania za pomocą „modelu skóry” i Permetestu nie potwierdziły jednak istotnej intensyfikacji transportu wilgoci poprzez zastosowanie włókien profilowanych w tkaninach. Próbowano zatem ustalić przyczynę tego faktu analizując zarówno czynniki leżące po stronie włókien i materiałów włókienniczych zwłaszcza ich struktury, jak również czynniki związane z zastosowanymi metodami pomiaru.

Analiza doniesień literaturowych pozwoliła stwierdzić, że zastosowane metody, powszechnie stosowane do oceny standardowych materiałów włókienniczych pod względem przepuszczalności pary wodnej, również w badaniach prowadzonych w innych światowych ośrodkach naukowych nie przyniosły oczekiwanego rezultatu.



Rys. 7. Względna przepuszczalność pary wodnej tkanin z udziałem włókien profilowanych wg Permetestu

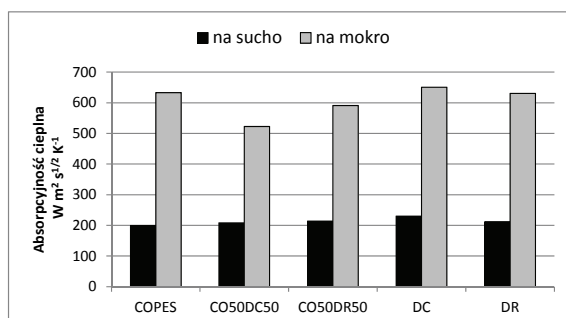
Fig. 7. Relative water-vapour permeability of the woven fabrics containing moisture management fibers acc. to Permetest

Początkowo przypuszczano, że pomimo deklaracji producentów włókna profilowane nie zapewniają podwyższonego transportu wilgoci. Z kolei badania użytkowe w pełni potwierdziły tę funkcję. Jednakże zróżnicowanie pomiędzy materiałami włókienniczymi zawierającymi włókna standardowe i materiałami zawierającymi włókna profilowane ujawnia się w sposób istotny w warunkach długotrwałego użytkowania wyrobów z tych materiałów podczas wzmożonej aktywności fizycznej. Materiały zawierające włókna profilowane szybko odprowadzają pot wydzielany w wyniku intensywnego wysiłku fizycznego, natomiast standardowe materiały chłoną wilgoć i zatrzymują ją w sobie schnąc znacznie wolniej. W celu potwierdzenia tej właściwości włókien profilowanych i materiałów z nich wykonanych niezbędne są badania materiałów w warunkach podwyższonej wilgotności, gdyż dopiero w takich warunkach ujawnia się ich wyższość pod względem zapewnienia komfortu fizjologicznego nad standardowymi materiałami włókienniczymi.

Prof. Hes, twórca Alambety i Permetestu, zaleca badanie materiałów włókienniczych zawierających włókna profilowane w warunkach mokrych [6]. Z kolei w Instytucie Włókienniczym w Taipei (*Department of Testing & Certification, Taiwan Textile Research Institute*) opracowano System Oceny Materiałów z funkcją transport wilgoci (*MM test- "Moisture Management Fabric Evaluation System"*) obejmujący zestaw 5 testów: nasiąkliwość, izolacyjność, zdolność dyfuzji, absorpcyjność, czas schnięcia [7]. Testy zostały opisane w tajwańskiej normie przemysłowej.

W Instytucie Włókiennictwa w Łodzi do oceny tkanin zawierających włókna profilowane oprócz „modelu skóry” i Permetestu zastosowano również pomiary sorpcji i desorpcji wilgoci [8].

W celu oceny analizowanych tkanin z udziałem włókien profilowanych wykonano zatem badania za pomocą Alambety wyznaczając absorpcyjność cieplną tkanin w stanie suchym i mokrym. Uzyskane wyniki (rys. 8) potwierdziły, że badanie w stanie mokrym wykazują istotne zróżnicowanie tych materiałów pod względem absorpcyjności cieplnej.



Rys. 8. Absorpcyjność cieplna tkanina w stanie suchym i mokrym

Fig. 8. Thermal absorptivity of fabrics in dry and wet state

Wskaźnik ten charakteryzuje materiały włókiennicze pod względem chwytu (ciepły/zimny) w momencie pierwszego kontaktu. Wyższa wartość absorpcyjności cieplnej świadczy o chłodniejszym odczuciu przy dotyku. Wśród ocenianych materiałów najniższą wartością absorpcyjności cieplnej w stanie mokrym, a tym samym najcieplejszym chwytym odznacza się tkanina z 50-procentowym udziałem przędzy 200/194 Dacron Coolmax w wątku. Widzimy także, że badanie w stanie suchym praktycznie nie wykazuje różnic pomiędzy ocenianymi tkaninami pod względem wartości absorpcyjności termicznej.

Pomimo licznych badań i coraz powszechniejszego stosowania włókien profilowanych z funkcją transportu wilgoci brak jest powszechnie uznanych metod i procedur badawczych do oceny materiałów włókienniczych zawierających te włókna oraz kryteriów oceny tych materiałów pod względem skuteczności odprowadzania wilgoci i zapewnienia komfortu fizjologicznego użytkownikowi odzieży zawierającej włókna profilowane. Problem ten wymaga dalszych kompleksowych badań.

4. Wnioski

1. Wykonane badania potwierdziły korelację pomiędzy wynikami pomiaru oporu przenikania pary wodnej i przepuszczalności pary wodnej za pomocą „modelu skóry” i Permetestu, jednakże wartości współczynników korelacji liniowej nie przekraczają 0,8.
2. Wartości oporu przenikania pary wodnej wyznaczone za pomocą Permetestu są wyższe, niż wartości tego parametru wyznaczone za pomocą „modelu skóry”.
3. Badania za pomocą „modelu skóry” czy Permetestu są niewystarczające do weryfikacji efektywności transportu wilgoci przez tkaniny z włókien profilowanych z funkcją „zarządzania wilgocią”.
4. W celu oceny funkcjonalności materiałów włókienniczych zawierających włókna profilowane z zewnętrznymi kanałami na powierzchni, niezbędne są szersze badania, obejmujące większą liczbę wskaźników, charakteryzujących te materiały pod względem chłonności wilgoci, transportu wilgoci, czasu schnięcia itp.
5. Niezbędne jest opracowanie metodyki oceny materiałów włókienniczych zawierających włókna profilowane z funkcją „zarządzania wilgocią” oraz procedur pomiarowych i kryteriów oceny.

5. Literatura

- [1] Norma międzynarodowa ISO 7730 1984, Moderate thermal environments -- Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.
- [2] Matusiak M.: Thermal Comfort Index as a Method of Assessing the Thermal Comfort of Textile Materials, *Fibres And Textiles in EE* 201, Vol. 18, No. 2(79), s. 45 – 50.
- [3] Polska Norma PN-EN 31092, Tekstylia. Wyznaczanie właściwości fizjologicznych. Pomiar oporu cieplnego i oporu pary wodnej w warunkach stanu ustalonego (metoda pocącej się zaizolowanej cieplnie płyty).
- [4] Hes L., Dolezal I.: A New Portable Computer-controlled Skin Model for Fast Determination of Water Vapour and Thermal Resistance of Fabrics, *Asian Textile Conference ATC 7*, New Delhi, 2003.
- [5] Matusiak M.: Badania właściwości termoizolacyjnych tkanin odzieżowych, *Pomiary Automatyka Kontrola*, 2010, Nr 8, Vol. 56, ISSN 0032-4140, s. 901 – 904.
- [6] Hes L., Loghini C.: Heat, Moisture and Air Transfer Properties of Selected Woven Fabrics in Wet State, *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, s. 141 – 149.
- [7] Wang L.C., Chang Y.C., Yang-Cheng Shih Y.C.: The Evaluation of Moisture Management Fabrics, *Fiber Society Spring'2012 Conference*, St. Gallen (Szwajcaria), 2012.
- [8] Sikorski K., Matusiak M.: Investigation of innovative fibres with “moisture management” function, *10th Joint International Conference CLOTECH'2012*, Warszawa.