

Własności przepuszczalności i absorpcji pary wodnej trójwarstwowych pakietów na bazie włókien bambusowych

Water vapour permeability and absorption property for three – layered textile
packages based on bamboo fibers

Wioleta Serweta¹, Katarzyna Ławińska^{1*}, Natalia Popowych²

¹Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Przemysłu Skórzanego

²Łwowski Uniwersytet Handlu i Ekonomii

Streszczenie

Celem pracy była analiza ilościowa i jakościowa zjawiska przepuszczalności i absorpcji pary wodnej przez trójwarstwowe układy cholewkowe wytwarzane na bazie tekstyliów z włókien naturalnych. Pakiety te miały formę kompozycji, w której wewnętrzna strona - sąsiadująca z powierzchnią stopy wykonana była z materiałów z dodatkiem włókien bambusa, zaś zewnętrzną stanowiła tkanina bawełniana o splocie płóciennym. Jako element łączący obie warstwy wykorzystano samoprzylepną piankę poliuretanową perforowaną, powleczoną warstwą kleju. Uzyskane rezultaty odniesiono do układu kontrolnego sporządzonego na bazie tekstyliów wykonanych z włókien bawełnianych. Udowodniono możliwość zastępowalności standardowych materiałów bawełnianych poprzez dzianiny i tkaniny z dodatkiem włókien bambusa, przy jednoczesnym uzyskaniu efektu poprawy właściwości higienicznych materiałów cholewkowych.

Abstract

The main goal of the following investigations was qualitative and quantitative analysis of water vapour transfer through the three – layered material packages based on the natural textiles, in order to improve the hygienic properties of footwear. The packages were made of bamboo textiles – in the foot neighbourhood – used as an inner layer. The outer cotton layer was fixed in each package. was woven material with plain weave. As a connection element, the polyurethane self – adhesive foam with perforation was used. The obtained results were related to the control sample made cotton as an inner layer. The substitution possibility of common cotton materials was demonstrated by using the bamboo textiles. The effect of improvement of hygienic properties was achieved.

Słowa kluczowe: materiały tekstylne bambusowe, obuwiu zdrowotne, cholewka obuwnicza, pakiety materiałowe.

Keywords: bamboo textile, healthy footwear, upper, material packages.

* autor korespondencyjny: dr inż. Katarzyna Ławińska – k.lawinska@ips.lodz.pl

1. Wstęp

W niniejszej pracy autorzy skoncentrowali się na zaprojektowaniu innowacyjnych trójwarstwowych układów tekstylnych z wykorzystaniem materiałów bambusowych z przeznaczeniem na cholewki obuwia. Celem podjętych badań było wytworzenie pakietów cholewkowych o polepszonych właściwościach higienicznych w stosunku do obecnie stosowanych na rynku. Działanie takie podyktowane jest faktem, że stopa dziecięca wobec słabo wykształconej warstwy epidermalnej, charakteryzuje się podwyższoną wrażliwością na wpływ działania szkodliwych czynników zewnętrznych [1].

Przepuszczalność pary wodnej jest jednym z najważniejszych parametrów determinujących czynności fizjologiczne stopy wewnątrz objętości obuwia [2]. Z praktycznego punktu widzenia definiuje ona oddychalność materiałów, czyli jeden z parametrów, mających udział w kształtowaniu warunków mikroklimatu wokół stopy podczas użytkowania. W przypadku niskich wartości przepuszczalności pary wodnej, przy intensywnym wysiłku fizycznym, następuje szybkie podniesienie temperatury stopy, a co za tym idzie zwiększa się sekrecja potu i w konsekwencji następuje zawilgocenie materiałów. Efektem takiej sytuacji jest powstanie odczucia dyskomfortu, a także możliwość występowania schorzeń stóp związanych z rozwojem grzybów i mikroorganizmów chorobotwórczych.

Bardzo dobre właściwości w odniesieniu do parametru przepuszczalności pary wodnej nie są wystarczającym elementem, który gwarantuje optymalne warunki higieniczne w obuwiu. Powinny być one połączone z szybkim absorbowaniem pary wodnej i odprowadzaniem jej na zewnątrz w procesach desorpcji do otoczenia, dyfuzji pary wodnej przez pory otwarte materiału obuwicznego, wysychanie po wnikięciu w strukturę materiałów oraz wymianę powietrza w wyniku działania mechanizmu ssąco – tłoczącego, związanego ze zginaniem stopy w stawie skokowym [3]. Zastosowanie w bliskim sąsiedztwie stopy materiałów tekstylnych z włókien naturalnych o wysokim stopniu hydrofilowości

takich, jak: len, bawełna, czy bambus powoduje zwiększenie absorpcji pary wodnej. Dzięki temu, w przypadku, gdy kolejna warstwa układu jest bardzo dobrze przepuszczalna, można uzyskać efekt szybkiego odprowadzenia wody, wskutek czego stopa nie pozostaje w sąsiedztwie materiałów zawilgoconych. Z tego powodu bardzo często wykonuje się różne warianty – szczególnie w połączeniu z dzianinami dystansowymi. Typowy układ stopa – cholewka przedstawiono na Rys. 1.



Rys. 1. Standardowy układ stopa – cholewka ze skarpetą i podszewką.

Wiele publikacji, dotyczących własności higienicznych materiałów tekstylnych, poświęconych jest przede wszystkim właściwościom strukturalnym materiałów [4, 5], rodzajowi włókien oraz jakością ich mieszanki [4 - 7], porowatością materiału [7], ścisłością rządkową oraz kolumnkową oraz wrobieniem [6, 8]. W pracy [8] dodatkowo za pomocą regresji liniowej zaproponowano kilka modeli, w których w roli zmiennych objaśniających wystąpiły na przykład: objętość i masa włókna, liczność wątku i osnowy, przepuszczalność powietrza materiału.

Ozdil i współautorzy [9] zaproponowali równanie regresji pomiędzy przepuszczalnością pary wodnej oraz parametrami materiału takimi, jak: skręt włókna, długość oczka i grubość materiału.

Wytwarzanie dwu – lub wielowarstwowych pakietów z odpowiednio sterowanymi za pomocą doboru materiałów właściwościami konduktywno – dyfuzyjnymi ma ogromne znaczenie z praktycznego punktu widzenia w badaniach na uczestnikach [10, 11]. Zaobserwowano istotne statystycznie zmiany, prowadzące do redukcji wskaźnika dyskomfortu, co jest najważniejszym efektem, do którego osiągnięcia dąży się przy projektowaniu pakietów.

Ta idea została przeniesiona na grunt prezentowanych w niniejszej pracy badań. Zrealizowano w nich dwa cele – skonstruowano układy materiałowe w oparciu o tekstylia z dodatkiem włókien bambusowych oraz wykazano ich przewagę nad tradycyjnym rozwiązaniem będącym kombinacją bawełna – bawełna.

3. Materiały i metodyka

W celu oceny właściwości higienicznych pakietów materiałowych, dwie warstwy tekstylne (zewnątrzna bawełniana i wewnętrzna z dodatkiem włókien bambusa) były łączone w pakiet za pomocą medium adhezyjnego w roli, którego wykorzystano poliuretanową piankę perforowaną, ze średnią ilością perforacji 6 otworów o średnicy 1 mm, na centymetr kwadratowy. Zestaw materiałów oraz ich podstawowe parametry podano w Tabeli 1. Opis składu surowcowego kompozytów, zawarto w Tabeli 2.

Tabela 1. Podstawowe charakterystyki badanych materiałów

Nazwa próbki	Rodzaj materiału	Masa powierzchniowa, [g/m ²]	Grubość, [mm]	Gęstość objętościowa, [kg/m ³]
M1	Tkanina	170	0,40	425
M2	Tkanina	500	1,74	287
M3	Tkanina	300	0,61	492
M4	Tkanina	170	0,35	486
B1	Tkanina	230	0,58	397
B2	Tkanina	145	0,37	392
M5	Dzianina	290	1,20	242
M6	Dzianina	220	0,38	579
M7	Dzianina	320	0,86	372

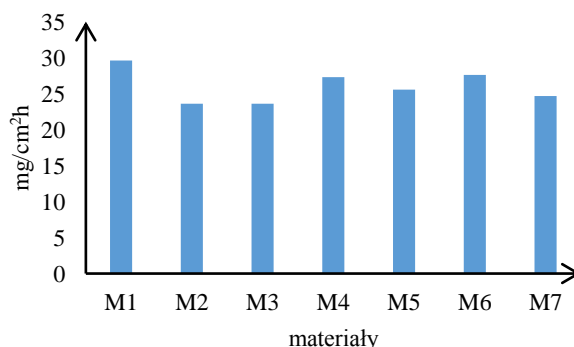
Tabela 2. Skład materiałowy pakietów

Nazwa próbki	Skład materiałowy, [%]
B1/B2	bawełna 100%/PU/ bawełna 100%
B1/M1	bawełna 100%/PU/bambus 100%
B1/M2	bawełna 100%/PU/bamboo 100%
B1/M3	bawełna 100%/PU/95% bambus +5% poliester
B1/M4	bawełna 100%/PU/50% bambus +50% len
B1/M5	bawełna 100%/PU/85% bambus +15% poliester
B1/M6	bawełna 100%/PU/95% bambus +5% elastan
B1/M7	bawełna 100%/PU/97% bambus +3% elastan

Metodyka przeprowadzenia badań przepuszczalności (zwaną dalej WVP) i absorpcji pary wodnej (zwaną dalej WVA) oparta była na metodologii opisanej w normie PN-EN ISO 20344:2012 [12].

3. Omówienie wyników badań

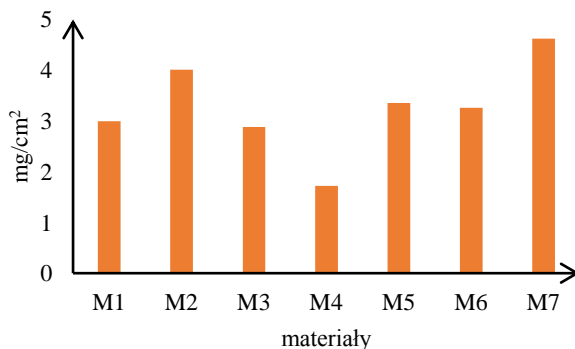
Przed przystąpieniem do tworzenia pakietów materiałowych, każdy materiał został zbadany – określono dla niego przepuszczalność i absorpcję pary wodnej, a także sprawdzono bezpieczeństwo jego stosowania na zawartość metali ciężkich, wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) oraz formaldehydu. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że w grupie materiałów bambusowych M1 – M7, współczynnik zmienności osiągnął poziom 9% dla WVP oraz 28% dla WVA.



Rys. 2. Rezultaty dla przepuszczalności pary wodnej dla materiałów M1 – M7.

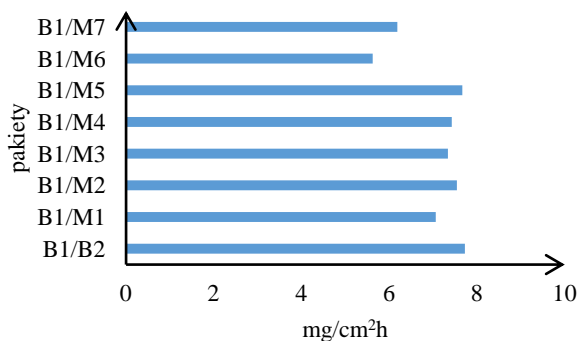
Oznacza to niewielką zmienność wśród materiałów pod względem przepuszczalności pary wodnej, kształtującą się pomiędzy 23,61 mg/cm²·h dla M2 do 29,62 mg/cm²·h dla M1 (Rys. 2).

Z kolei dla absorpcji wartości uplasowały się w przedziale 1,72 mg/cm² dla M4 do 4,62 mg/cm² dla M7 (Rys. 3).



Rys. 3. Rezultaty dla absorpcji pary wodnej dla materiałów M1 – M7.

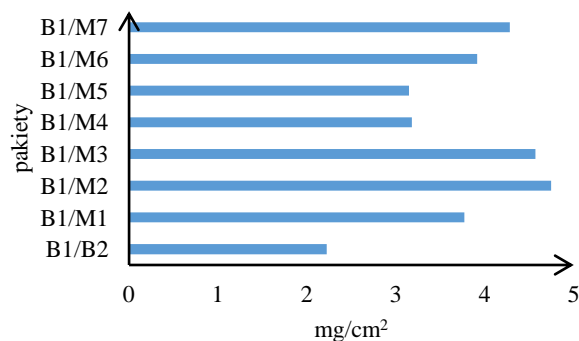
Tworzenie pakietów materiałowych spowodowało pojawienie się dodatkowych barier dla transportu pary wodnej. Spowodowało to w każdym przypadku degradację tej własności (Rys. 4).



Rys. 4. Rezultaty dla przepuszczalności pary wodnej dla pakietów bawełnianych B1 łączonych z M1 – M7.

Wartości przepuszczalności ukształtowały się między 5,62 mg/cm²·h (dla układu kontrolnego z B2) a 7,22 mg/cm²·h (dla układu z M6), przy stosunkowo niskim zróżnicowaniu wewnątrzgrupowym na poziomie 11%.

W odniesieniu do absorpcji pary wodnej najniższe wyniki otrzymano dla układu kontrolnego B1/B2 ($2,22 \text{ mg/cm}^2$), zaś najwyższe dla pakietu z wykorzystaniem materiału M2 – $4,75 \text{ mg/cm}^2$. Zaznaczyła się większa zmienność uzyskanych wyników – na poziomie 23%.

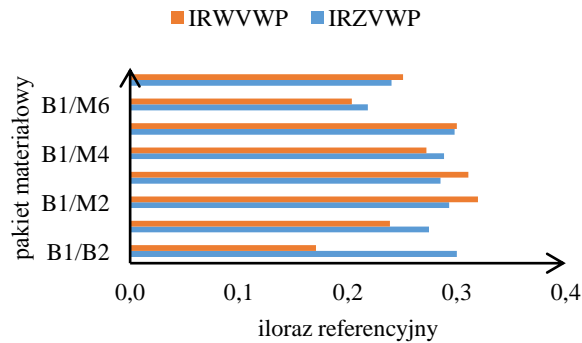


Rys. 5. Rezultaty dla absorpcji pary wodnej dla pakietów B1 łączonych z M1 – M7.

W celu jakościowej oceny poziomu degradacji własności przepuszczalności i absorpcji pary wodnej wprowadzono ilorazy referencyjne (IRZ_{VWP} oraz IRW_{VWA}), zdefiniowane równaniem, jako relacja między wartością przepuszczalności układu a wartością przepuszczalności materiału zewnętrznego (IRZ_{VWP}) oraz wartością przepuszczalności materiału wewnętrznego (IRW_{VWP}). Te same obliczenia poczyniono dla własności absorpcji pary wodnej. Uzyskane wartości ilorazu referencyjnego można zinterpretować w sposób następujący:

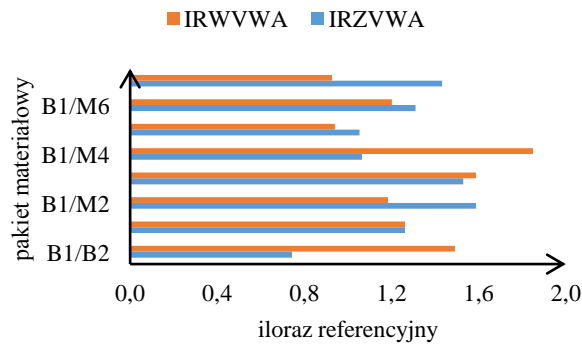
- wartości z przedziału (0, 1) świadczą o jakościowej przewadze własności uzyskanej dla materiału pojedynczego w stosunku do wartości zagregowanej dla pakietu.
- wartości większe od 1 świadczą o jakościowej przewadze własności uzyskanej dla pakietu.

Przeprowadzona analiza ilorazów referencyjnych pokazuje, że w wielu przypadkach, elementem dominującym w wartości sumarycznej ilorazu jest rodzaj materiału zastosowanego, jako warstwa wewnętrzna (Rys. 6) i (Rys. 7).



Rys. 6. Wartości ilorazów referencyjnych dla przepuszczalności pary wodnej.

W przypadku materiałów M2, M3, M5 oraz M7 zaobserwowano większe wartości ilorazów referencyjnych. Co więcej – w przypadku materiałów na bazie włókien bambusowych, ilorazy te były wyższe niż dla materiału bawełnianego. Świadczy to o intensywnym wpływie zaproponowanych podszewek na kreowanie właściwości higienicznych układu cholewkowego.



Rys. 7. Wartości ilorazów referencyjnych dla absorpcji pary wodnej.

Nieco inne jakościowo zachowanie zaobserwowano dla zjawiska absorpcji pary wodnej (Rys. 7). W dominującej ilości przypadków zaobserwowano, że wartości absorpcji układu były większe od pojedynczych materiałów. Dzieje się tak z uwagi na pojawienie się bariery w postaci pianki poliuretanowej blokującej odprowadzanie wilgoci z pierwszej warstwy. Następuje wobec tego kumulowanie jej i ekspansja wewnątrz struktury materiałów tworzących warstwy.

W omawianym przypadku materiały takie, jak: M2, M5, M6 i M7 wpłynęły w sposób istotny na obniżanie wartości absorpcji poprzez równomierne pochłonięcie pary wodnej wewnątrz ich struktury. Jest to zjawisko niezwykle korzystne, z punktu widzenia późniejszej jej desorpcji do otoczenia.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone w niniejszej pracy badania potwierdziły, że materiały tekstylne (zarówno dzianiny, jak i tkaniny) mogą stanowić istotny atut przy projektowaniu innowacyjnych pakietów dedykowanych dla nowoczesnego obuwnictwa. Autorzy pracy udowodnili zasadność zastosowania badanych materiałów bambusowych w układach tekstylnych przeznaczonych na cholewki obuwia. Wykorzystanie tkanin oraz dzianin bambusowych [13, 14] dostępnych na rynku na wierzchy obuwia jest jedną z opcji poprawienia właściwości higienicznych układów i podczas jego użytkowania może przyczyniać się do redukcji odczuwanego dyskomfortu.

Ma to szczególne znaczenie dla obuwia dziecięcego, wykorzystywanego przez długi okres czasu w pomieszczeniach zamkniętych. Fakt ten, przy jednoczesnej wysokiej aktywności fizycznej, może w bardzo krótkim czasie wywoływać niekorzystne zmiany w warunkach mikroklimatu i powodować uczucie dyskomfortu.

Warto zauważyć, że proponowane rozwiązanie jest w wielu aspektach konkurencyjne do stosowanych obecnie w obuwiu tekstylnym materiałów bawełnianych. Jednym z elementów kreowania przewagi konkurencyjnej jest zastosowanie materiałów naturalnych, zwłaszcza w bezpośrednim sąsiedztwie stopy. Dzięki temu możliwe jest istotne zredukowanie poziomu emisji dwutlenku węgla w całym cyklu życia obuwia. Aspekt ten szczegółowo omówiono w pracach [15] i [16]. Innym elementem jest niski koszt i łatwa dostępność materiałów naturalnych, ukazująca nowe kierunki poszukiwania substytutów istniejących już rozwiązań rynkowych. Niniejsze wyniki stanowią podstawę

do dalszych badań dotyczących możliwości zastosowania materiałów naturalnych do konstruowania pakietów przeznaczonych na cholewki obuwnicze.

Źródło finansowania

Badania wykonane w ramach projektu pt.: „Zastosowanie włókien i ekstraktu bambusa w elementach dziecięcego obuwia skórzanego, tekstylnego oraz skórzano - tekstylnego” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (Umowa NR LIDER/16/0091/L-8/16/NCBR/2017).

Literatura

- [1] Hoath S. B., Maibach H. I.: *Neonatal skin structure and functions – 2nd edition*, Marcel Dekker Incorporation, New York 2003.
- [2] Rajan T. P., Souza L. G., Ramakrishnan G., Zakriya G. M.: *Comfort properties of functional warp – knitted polyester spacer fabrics for shoe insole applications*, Journal of Industrial Textiles, **45**, 2016, str.1239–1251.
- [3] Gulbinienė, A., Jankauskaitė, V., Saceviciene, V., Mickus, K.V.: *Investigation of water vapour resorption – desorption of textile laminates*, Materials Science, **13** (3), 2007, str. 255–261.
- [4] Knight, B. A., Hersh, S. P., Brown P.: *Moisture characteristics of some knit fabric made from blend yarns*, Textile Research Journal, **1**, 1970, str. 843–851.
- [5] Praharsan C., Barker R. L., Gupta B. S.: *Moisture vapour transfer behaviour of polyester knit fabrics*, Textile Research Journal, **75** (4), 2005, str. 346–351.
- [6] Cil M. G., Nergis U.B., Canndan C.: *An experimental study of come comfort – related properties of cotton – acrylic knitted fabrics*, Textile Research Journal, **79** (1), 2009, str. 917–923.
- [7] Yoon H. N., Buckley A.: *Improved comfort polyester, part I: transport properties and thermal comfort of polyester/cotton blend fabrics*, Textile Research Journal, **54** (3), 1984, str. 259–298.
- [8] Irandoukt S., Irandoukt A.: *Development of the predictive models for the fabric water vapour resistance*, Journal of Engineered Fibers and Fabrics, **6** (2), 2011, str. 40–49.
- [9] Ozdil N., Marmarali A., Kretzchmar S. D.: *Effect of yarn properties on thermal comfort of knitted fabrics*, International Journal of Thermal Science, **46** (12), 2007, str. 1318–1322.
- [10] Serweta W., Olejniczak Z., Woźniak B.: *Influence of the thermal and humidity properties of multi – layered lining fabrics on microclimate of leather footwear*, [in:] Innovations in Protective and E-textiles in Balance with Comfort and Ecology, Lodz University of Technology, Lodz 2017.

- [11] Serweta W., Olejniczak Z., Woźniak B.: *Analysis of insole material impact on comfort during physical exertion*, *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, **2** (128), 2018, str. 100-103.
- [12] PN-EN ISO 20344:2012 Środki ochrony indywidualnej. Metody badania obuwia.
- [13] Ławińska K., Serweta W., Gendaszewska D.: *Applications of bamboo textiles in individualised children's footwear*, *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, **5** (131), 2018, str. 87-92.
- [14] Ławińska K., Serweta W., Jaruga I., Popowych N.: *Examination of selected upper shoe materials based on bamboo fabrics*, *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, **6** (138), 2019, str. 85-90.
- [15] Serweta W., Gajewski R., Olszewski P., Zapatero A., Ławińska K.: *Carbon footprint of different kinds of footwear – a comparative study*, *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, **5** (137), 2019, str. 94–99.
- [16] Serweta W., Gajewski R., Olszewski P., Zapatero A., Ławińska K.: *Analiza wartości śladu węglowego dla grupy obuwia dziecięcego*, *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, **107**, 2018, str. 215–225.