

Projektowanie układów tekstylnych z udziałem włókien TENCEL[®] FCP poprawiających komfort użytkowania obuwia zamkniętego

Designing textile systems using TENCEL[®] FCP fibers to improve comfort of use of closed footwear

Joanna Alvarez^{1*}, Michalina Falkiewicz-Dulik¹

¹ Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Przemysłu Skórzanego

Streszczenie

Zaprojektowano i wykonano nowe wielowarstwowe hydrofobowo-hydrofilowe układy tekstylne z udziałem włókien TENCEL[®] FCP. Przedstawiono wyniki wybranych parametrów tych układów, tj. przepuszczalności pary wodnej (W_{VP}), absorpcji pary wodnej (W_{VA}) oraz współczynnika pary wodnej (W_{VC}). Wykazano, że włókna TENCEL[®] FCP, zastosowane jako wypełnienie układów tekstylnych, mogą zapewnić podwyższony komfort użytkowania obuwia zamkniętego. Optymalny, pod względem parametru W_{VA} , układ materiałowy zbudowany jest z hydrofobowej dzianiny poliestrowej biostatycznie-oddychającej (od strony kontaktu ze stopą) i hydrofilowej tkaniny z włókien bawełny (od strony kontaktu z materiałem wierzchnim). Najlepsze efekty w zakresie W_{VP} i W_{VC} uzyskano w przypadku połączenia dzianiny poliamidowej biostatycznie-oddychająco-ciepłochronnej (od strony kontaktu ze stopą) z włókniną poliamidową (od strony kontaktu z materiałem wierzchnim).

Abstract

New multilayer hydrophobic-hydrophilic textile systems using TENCEL[®] FCP fibers have been designed and fabricated. The results of selected parameters of these systems, i.e. water vapor permeability (W_{VP}), water vapor absorption (W_{VA}) and water vapor coefficient (W_{VC}) have been presented. It has been proved that TENCEL[®] FCP fibers, used as a filling for textile systems, can provide improved comfort of close footwear usage. In terms of W_{VA} the optimal, material system is made of hydrophobic biostatic-breathable polyester knit fabric (from the foot contact side) and a hydrophilic cotton fabric (from the contact side upper material). Across the field of W_{VP} and W_{VC} the best effects were obtained when combining biostatic-breathable and heat-retaining polyamide knit fabric (from the contact side with the foot) with polyamide nonwoven fabric (from the contact side with the upper material).

Słowa kluczowe: TENCEL[®] FCP, układy tekstylne, przepuszczalność pary wodnej (W_{VP}), absorpcja pary wodnej (W_{VA}), współczynnik pary wodnej (W_{VC}), obuwie zamknięte.

Keywords: TENCEL[®] FCP, textile systems, water vapor permeability (W_{VP}), water vapor absorption (W_{VA}), water vapor coefficient (W_{VC}), covered footwear.

* autor korespondencyjny: dr inż. Joanna Alvarez – j.alvarez@ips.krakow.pl

1. Wstęp

Obuwie zamknięte, głównie zawodowe, klasyfikowane jest zgodnie z normą PN-EN ISO 20347 [1] klasą I – tj. wykonane ze skóry i innych materiałów, z wyłączeniem obuwia całogumowego lub całotworzywowego, w tym obuwia: I-A – z niską cholewką, I-B – trzewików, I-C – butów do połowy łydki, I-D – butów do kolana, I-E – butów z cholewką sięgającą powyżej kolana. Materiały wierzchnie i podszewkowe, wykorzystywane do produkcji takiego obuwia, powinny być zbadane m.in. w zakresie parametrów higienicznych, tj. przepuszczalności pary wodnej i współczynnika pary wodnej, mających szczególne znaczenie w zapewnieniu komfortu jego użytkowania. Podobne badania prowadzone są również dla materiałów przeznaczonych do produkcji obuwia bezpiecznego [2] i ochronnego [3]. Dla klasyfikowanego zgodnie z normą PN-EN ISO 20347 klasą II – tj. obuwia całogumowego (całkowicie wulkanizowanego) lub całotworzywowego (całkowicie formowanego) nie są wymagane badania parametrów higienicznych. Oczywistym jednak jest, że użytkownik korzystający z obuwia całogumowego lub całotworzywowego, zwłaszcza podczas długotrwałej pracy, doznaje dyskomfortu spowodowanego zawilgoceniem wnętrza obuwia oraz utrudnionym (z uwagi na szczelność obuwia) odparowaniem potu nagromadzonego w obuwiu. Obuwie zawodowe, bezpieczne i ochronne, z uwagi na charakter zastosowania, musi spełniać szereg funkcji. Jedną z ważniejszych jest zapewnienie komfortu fizjologiczno-higienicznego, polegającego na stworzeniu takiego mikroklimatu wokół stopy, który zapewni pozytywne odczucia fizjologiczne, sensoryczne i psychologiczne [4, 5]. Komfort fizjologiczno-higieniczny jest kształtowany właściwościami zastosowanych materiałów obuwniczych, głównie ich zdolnością absorbowania i przepuszczania pary wodnej oraz izolacją termiczną [6]. W trakcie użytkowania obuwia w jego wnętrzu, w układzie stopa – elementy obuwia – otoczenie, zachodzą ściśle ze sobą powiązane procesy wymiany ciepła i wilgoci z jednoczesnym procesem przenikania pary wodnej przez elementy obuwia

do otoczenia. Procesy te są złożone i nie do końca wyjaśnione [7], dlatego prowadzenie badań w tym kierunku jest w pełni uzasadnione. W Tabeli 1 przedstawiono wymagania w zakresie przepuszczalności pary wodnej i współczynnika pary wodnej dla materiałów przeznaczonych na elementy wewnętrzne obuwia zawodowego, ochronnego i bezpiecznego (zgodnie z ww. normami).

Tabela 1. Wymagania norm PN-EN ISO 20347, PN-EN ISO 20345 i PN-EN ISO 20346 w zakresie przepuszczalności i współczynnika pary wodnej elementów wewnętrznych obuwia zawodowego, bezpiecznego i ochronnego

Rodzaj obuwia	Przepuszczalność pary wodnej [mg/(cm ² ·h)]	Współczynnik pary wodnej [mg/cm ²]
Obuwie zawodowe	≥ 0,8	≥ 15
Obuwie bezpieczne	≥ 2,0	≥ 20
Obuwie ochronne	≥ 0,8	≥ 15

Dla wymienionych rodzajów obuwia najczęściej stosowanymi materiałami wewnętrznymi są płaskie wyroby tekstylne. Ich charakterystyczną cechą jest zróżnicowana higroskopijność włókien, z których są wytwarzane, determinowana przez parametry budowy chemicznej tworzywa włókna, parametry budowy nadmolekularnej oraz jego makrostrukturę. Zróżnicowana higroskopijność włókien pozwala na rewersyjne przyłączenie cząsteczek wody w postaci pary – w przypadku, gdy wilgotne powietrze otacza włókno, jak też wody w postaci cieczy – w przypadku, gdy włókno styka się z ośrodkiem ciekłym. W konsekwencji dążenia do osiągnięcia stanu równowagi pomiędzy wilgotnością włókna i wilgotnością otoczenia, zachodzi w nim zjawisko sorpcji lub desorpcji cząsteczek wody. Typowymi grupami funkcyjnymi, zapewniającymi hydrofilowość włókna, są grupy hydroksylowa (–OH), imidowa (–NH), aminowa (–NH₂), karboksylowa (–COOH), amidowa (–CONH₂). Przykładem włókna hydrofilowego jest celulozowe włókno wiskozowe (wilgotność normalna włókna – ok. 13 %). W każdym ogniwie merowym celulozy występują trzy polarne grupy wodorotlenowe (OH) o dużym powinowactwie do cząsteczek wody, tworzące z wodą wiązania wodorowe.

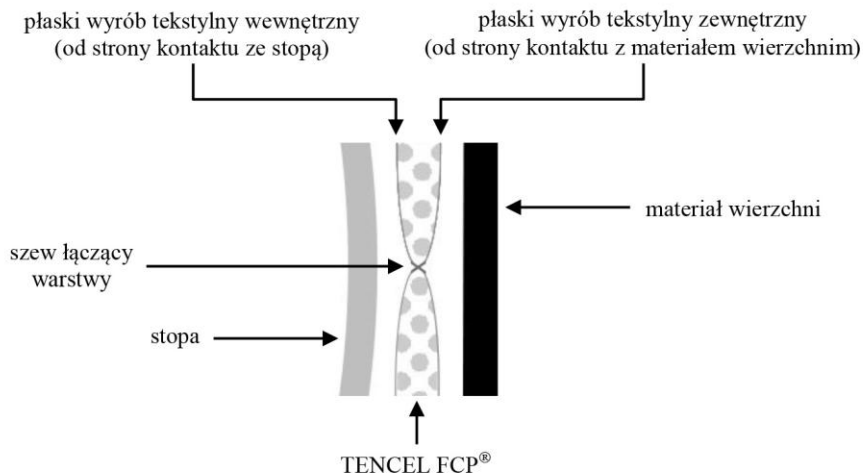
Przeciwny biegun stanowią włókna poliestrowe o skrajnie niskiej higroskopijności ze względu na brak w jego budowie grup hydrofilowych. Trzeba jednak nadmienić, że nie wszystkie grupy hydrofilowe występujące we włóknach mają zdolność do sorpcji cząsteczek wody.

Z czynników budowy nadcząsteczkowej na zdolność sorpcyjną ma wpływ stopień krystaliczności, orientacja wewnętrzna i usieciowanie polimeru. Ze wzrostem tych czynników maleje zdolność włókna do sorpcji. Czynniki makrostruktury włókna współokreślającymi ich zdolność do sorpcji wody jest występowanie w nim mikrokapilarnych szczelin, sprzyjających wiązaniu wody w sposób mechaniczny oraz stopień rozwinięcia powierzchni zewnętrznej włókna. Większe rozwinięcie linii brzegowej przekroju poprzecznego zwiększa zdolność sorpcyjną [8]. Wszystkie te czynniki sprawiają, że prognozowanie poziomu sorpcji wyrobów tekstylnych, wpływających na kształtowanie mikroklimatu wewnątrz obuwia, jest zagadnieniem bardzo złożonym.

Celem badań, opisanych w publikacji, było sprawdzenie możliwości zastosowania w wielowarstwowym układzie tekstylnym, przeznaczonym na elementy wewnętrzne obuwia zamkniętego, hydrofilowych włókien TENCEL® FCP w formie „proszku” (ang. *Fibrous Cellulose Powder*) dla poprawy komfortu użytkowania tego obuwia.

2. Materiał badawczy i metodyka badań

Prace eksperymentalno-badawcze prowadzono z udziałem wytypowanych płaskich wyrobów tekstylnych – dzianin, tkanin i włóknin (Tabela 2). Testowane materiały różniły się poziomem hydrofilowości, wynikającym z rodzaju zastosowanych włókien i wykończenia oraz masą powierzchniową. Zaprojektowano i skonstruowano z nich układy (Rys. 1), w których każdy wyrób W1 do W5, przeznaczony na wewnętrzną część układu (od strony kontaktu ze stopą), łączono z wyrobem Z1 do Z3 przeznaczonym na zewnętrzną część układu (od strony kontaktu z materiałem wierzchnim).



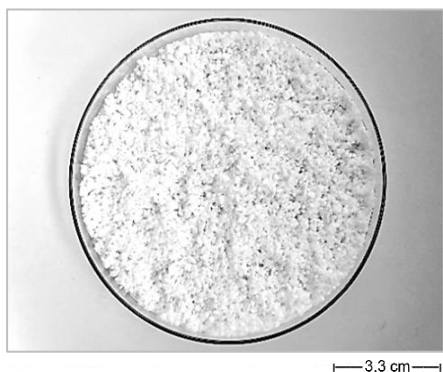
Rys. 1. Schemat przedstawiający budowę układu tekstylnego i jego umiejscowienie w obuwiu [źródło: opracowanie własne].

Tabela 2. Charakterystyka płaskich wyrobów tekstylnych przeznaczonych do skonstruowania układów materiałowych o podwyższonych właściwościach higienicznych (sorpcyjnych)

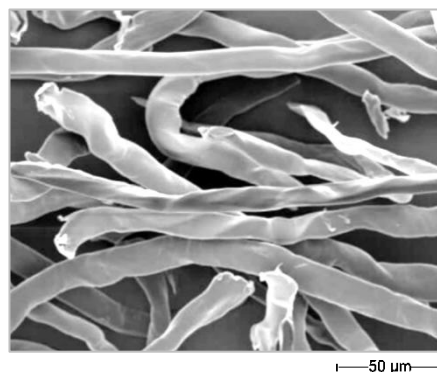
Symbol próbki	Charakterystyka płaskiego wyrobu tekstylnego	Masa powierz. [g/m ²]
Płaski wyrób tekstylny wewnętrzny (od strony kontaktu ze stopą)		
W1	Dzianina poliestrowa oddychająca „CoolBest [®] ”	185±10
W2	Dzianina poliestrowa ciepłochronna „NanoRed [®] ” (z przędzy ciepłochronnej)	165±10
W3	Dzianina poliamidowa biostatycznie-oddychająco-ciepłochronna „Meryl [®] ” (z przędzy antybakteryjnej i przędzy ciepłochronnej)	200±10
W4	Dzianina poliestrowa biostatycznie-oddychająca (z apreturą biostatyczną „Sanitized [®] ”)	250±10
W5	Dzianina poliestrowa „Microsidney” drapana	133±10
Płaski wyrób tekstylny zewnętrzny (od strony kontaktu z materiałem wierzchnim)		
Z1	Włóknina poliamidowa dwuskładnikowa „Cambrelle”	70±10
Z2	Włóknina poliamidowa	135±10
Z3	Tkanina bawełniana „Cerber”	235±10

Ostatecznie uzyskano piętnaście różnych układów, wewnątrz których znalazły się hydrofilowe sztuczne włókna celulozowe TENCEL[®] FCP 10/400 – CAS 9004-34-6 w formie „proszku” (Rys. 2-3). Liczba 10 oznacza średnią średnicę włókna [μm], liczba 400 – średnią długość włókien [μm]. Włókna TENCEL[®] FCP

zostały wyprodukowane przez rozdrobnienie standardowych, przyjaznych dla środowiska włókien TENCEL[®] (1,3 dtex, 38 mm) [9], przy użyciu precyzyjnego młyna tnącego (Pallmann PSC) [10]. Włókna te charakteryzują się, według danych producenta, modułem Younga $E = 10\text{-}15$ GPa, wytrzymałością na rozciąganie – 570 MPa i wydłużeniem przy zerwaniu – 11 %, gęstością na poziomie $1,5$ g/cm³, średnicą – 10 μm i średnią długością – 300-400 μm .



Rys. 1. Rzeczywisty widok włókien TENCEL[®] FCP 10/400 [źródło: własne].



Rys. 2. Mikroskopowy obraz włókien TENCEL[®] FCP 10/400 [źródło: [11]].

W próbkach badawczych umieszczano odważoną ilość celulozowego proszku w ilości umożliwiającej prowadzenie testów z użyciem aparatury do badań higienicznych, tj. $0,300 \pm 0,005$ g. Proszek umieszczony w próbkach zabezpieczono przed wysypywaniem i przesypywaniem się szwem stębnowym wewnątrz próbki (układ pikowany).

Parametry przepuszczalności pary wodnej (W_{VP}), absorpcji pary wodnej (W_{VA}) oraz współczynnika pary wodnej (W_{VC}) dla otrzymanych układów, oceniono zgodnie z metodyką podaną w normie PN-EN ISO 20344 [12]. Zasada pomiaru przepuszczalności pary wodnej polega na zamocowaniu badanej próbki nad otworem słoika, zawierającego środek suszący. Całość jest umieszczona w silnym strumieniu powietrza w klimatyzowanej atmosferze (temperaturze $23 \pm 2^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej 50 ± 5 %). Słoik jest ważony w celu określenia masy wilgoci, która przeniknęła przez badaną próbkę i została pochłonięta przez środek suszący.

Badanie W_{VP} prowadzono dla próbek układów tekstylnych wyciętych w kształcie koła o średnicy 34 mm. Wartość przepuszczalności pary wodnej obliczono zgodnie z równaniem (1):

$$W_{VP} = \frac{m}{At} = \frac{m}{\pi r^2 t}, \quad (1)$$

gdzie: m oznacza różnicę: $m_2 - m_1$ [mg], przy czym m_1 – masa początkowa słoika z próbką do badań i żelem krzemionkowym [mg], m_2 – masa końcowa słoika z próbką do badań i żelem krzemionkowym [mg], $A - \pi r^2$ = pole badanej powierzchni [cm²], r – promień badanej powierzchni [cm], t – czas między pierwszym i drugim ważeniem próbki ($t = 7$ [h]).

Zasada pomiaru absorpcji pary wodnej polega na zamocowaniu na czas badania nieprzepuszczalnego materiału i próbki do badań nad otworem metalowego naczynia zawierającego 50 ml wody. Parametr ten jest określany jako różnica masy przed badaniem i po badaniu. Badanie W_{VA} prowadzono dla próbek układów tekstylnych wyciętych w kształcie koła o średnicy 43 mm. Wartość W_{VA} obliczono z dokładnością do 0,1 mg/cm² (2):

$$W_{VA} = \frac{m_2 - m_1}{a}, \quad (2)$$

gdzie: m_1 – masa początkowa próbki do badań [mg], m_2 – masa końcowa próbki do badań [mg] (po $t = 8$ [h]), a – pole badanej powierzchni [cm²].

Wartość współczynnika pary wodnej obliczono za pomocą równania (3), z dokładnością do 0,1 [mg/cm²]:

$$W_{VC} = t \cdot W_{VP} + W_{VA}, \quad (3)$$

gdzie: t – czas trwania badania ($t = 8$ [h]), W_{VP} – przepuszczalność pary wodnej [mg/(cm²·h)], W_{VA} – absorpcja pary wodnej [mg/cm²].

3. Wyniki badań i ich omówienie

Wytypowane płaskie wyroby tekstylne (Tabela 2) zbadano w zakresie parametrów W_{VP} , W_{VA} oraz W_{VC} (Tabela 3).

Tabela 3. Wyniki badań pojedynczych płaskich wyrobów tekstylnych przeznaczonych do skonstruowania układów materiałowych o podwyższonych właściwościach higienicznych

Symbol próbki	W_{VP} [mg/(cm ² ·h)]	W_{VA} [mg/cm ²]	W_{VC} [mg/cm ²]
Płaski wyrób tekstylny wewnętrzny (od strony kontaktu ze stopą)			
W1	47,65	0,02	380,82
W2	46,97	0,01	375,77
W3	36,55	0,61	293,01
W4	21,14	0,53	169,65
W5	27,89	0,07	223,19
Płaski wyrób tekstylny zewnętrzny (od strony kontaktu z materiałem wierzchnim)			
Z1	34,60	0,01	276,81
Z2	30,12	0,38	241,30
Z3	34,29	1,86	276,18

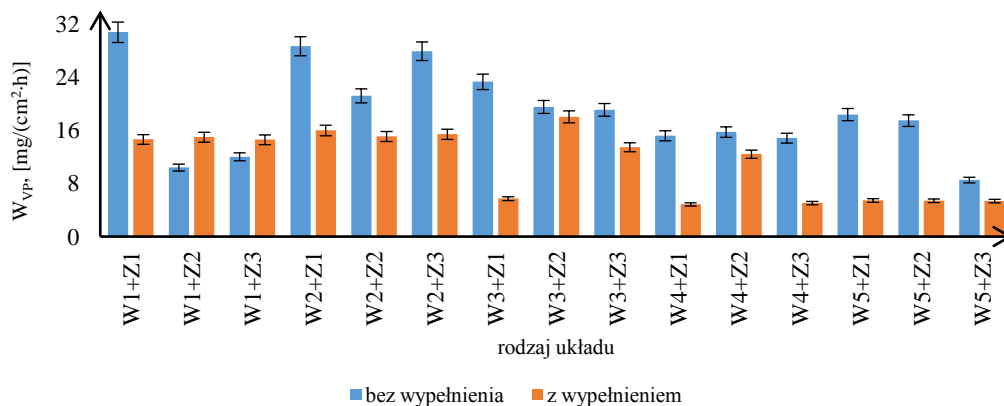
Przedstawione wyniki badań wskazują, że wszystkie testowane wyroby, w zakresie parametrów higienicznych, spełniają wymagania stawiane materiałom przeznaczonym na elementy wewnętrzne obuwia zamkniętego (Tabela 1), są więc odpowiednie do konstruowania z nich układów tekstylnych. Wymagane parametry higieniczne są spełnione zarówno dla układów bez wypełnienia, jak również z zastosowaniem włókien TENCEL[®] FCP, jako wypełnienia.

Poniżej zestawiono wyniki badań przepuszczalności pary wodnej (W_{VP}) dla układów tekstylnych z wypełnieniem z wynikami dla układów tekstylnych bez wypełnienia (Rys. 4). Uzyskane w badaniach wyniki wykazały, że spośród układów tekstylnych bez wypełnienia, najlepszą przepuszczalność pary wodnej posiadały próbki:

- W1+Z1 (dzianina poliestrowa oddychająca „CoolBest[®]” zestawiona z włókniną poliamidową dwuskładnikową „Cambrelle”),
- W2+Z1 (dzianina poliestrowa ciepłochronna „NanoRed[®]” zestawiona z tą samą włókniną „Cambrelle”),

- W2+Z3 (dzianina poliestrowa ciepłochronna „NanoRed[®]” zestawiona z tkaniną bawełnianą „Cerber”).

Po wypełnieniu tych trzech układów włóknami TENCEL[®] FCP, zestawienie W2+Z1 dało najlepsze wyniki. W przypadku próbek: W1+Z2 (dzianina poliestrowa oddychająca „CoolBest[®]” zestawiona z włókniną poliamidową) oraz W1+Z3 (dzianina poliestrowa oddychająca „CoolBest[®]” zestawiona z tkaniną bawełnianą „Cerber”), po wypełnieniu zyskały większą przepuszczalność pary wodnej. Optymalne wyniki uzyskało zestawienie W3+Z2 (dzianiny poliamidowej biostatycznie-oddychająco-ciepłochronnej „Meryl[®]” z włókniną poliamidową).



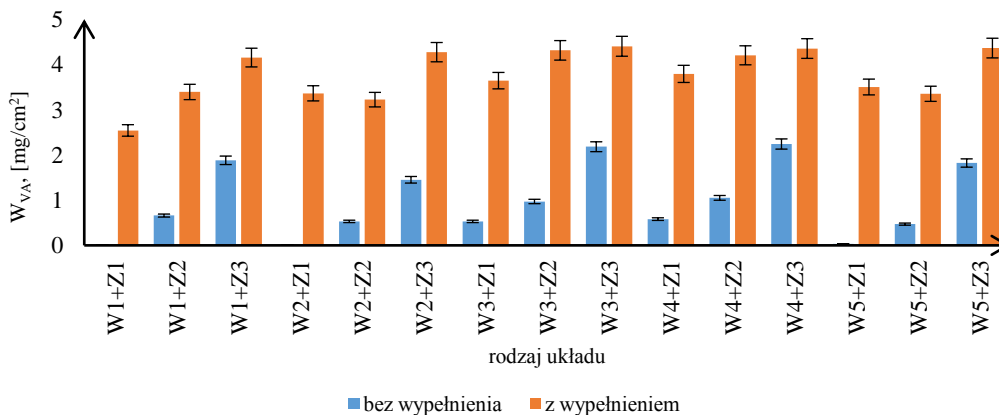
Rys. 3. Wartości przepuszczalności pary wodnej wyznaczonej dla układów bez i z wypełnieniem włóknami TENCEL[®] FCP 10/400.

Wyniki badań absorpcji pary wodnej (W_{VA}), wyznaczonej dla układów tekstylnych z wypełnieniem, zestawiono z wynikami dla układów tekstylnych bez wypełnienia (Rys. 5). Porównując otrzymane wyniki można stwierdzić, że spośród układów tekstylnych bez wypełnienia, największą absorpcję pary wodnej wykazały próbki:

- W4+Z3 (dzianina poliestrowa biostatycznie-oddychająca zestawiona z tkaniną bawełnianą „Cerber”),
- W3+Z3 (dzianina poliamidowa biostatycznie-oddychająco-ciepłochronna „Meryl[®]” zestawiona z tkaniną bawełnianą „Cerber”),

- W1+Z3 (dzianina poliestrowa oddychająca „CoolBest[®]” zestawiona z tkaniną bawełnianą „Cerber”).

Po wypełnieniu tych układów włóknami TENCEL[®] FCP, najlepsze wyniki uzyskano dla zestawienia W3+Z3 oraz W4+Z3. Wyniki te wskazały na pozytywny wpływ włókien bawełny w tkaninie zewnętrznej (od strony kontaktu z materiałem wierzchnim) układu na poziom absorpcji pary wodnej (dodatkowo zaabsorbowały wilgoć z włókien FCP w układzie tekstylnym), jak też specyficzna cecha (dzianina oddychająca) wyrobu wewnętrznego (od strony kontaktu ze stopą).



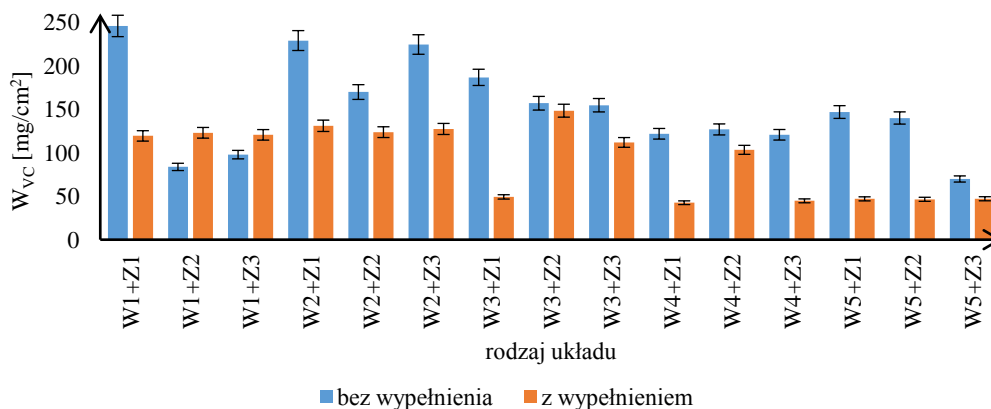
Rys. 4. Wartości absorpcji pary wodnej wyznaczonej dla układów bez i z wypełnieniem włóknami TENCEL[®] FCP 10/400.

Wyniki badań współczynnika pary wodnej (W_{VC}) dla układów tekstylnych z wypełnieniem, zestawione z wynikami dla układów tekstylnych bez wypełnienia, przedstawiono na Rys. 6. Spośród układów tekstylnych bez wypełnienia, najwyższą wartość współczynnika pary wodnej wykazały próbki, charakteryzujące się największą przepuszczalnością pary wodnej:

- W1+Z1 (dzianina poliestrowa oddychająca „CoolBest[®]” zestawiona z włókniną poliamidową dwuskładnikową „Cambrelle”),
- W2+Z1 (dzianina poliestrowa ciepłochronna „NanoRed[®]” zestawiona z tą samą włókniną „Cambrelle”),

- W2+Z3 (dzianina poliestrowa ciepłochronna „NanoRed[®]” zestawiona z tkaniną bawełnianą „Cerber”).

Po wypełnieniu tych układów włóknami TENCEL[®] FCP, najlepsze wyniki otrzymano dla zestawienia W2+Z1, jednak optymalny wynik (z nieznacznym spadkiem wartości współczynnika po wypełnieniu układu włóknami) uzyskało zestawienie W3+Z2 (dzianiny poliamidowej biostatycznie-oddychająco-ciepłochronnej „Meryl[®]” z włókniną poliamidową). Zestawienie W3+Z2 było również najkorzystniejsze pod względem przepuszczalności pary wodnej; wartość przepuszczalności pary wodnej jest ściśle zależna od wartości parametrów W_{VP} i W_{VA} .



Rys. 5. Wartości współczynnika pary wodnej wyznaczonego dla układów bez i z wypełnieniem włóknami TENCEL[®] FCP 10/400.

4. Wnioski

Przeprowadzone badania układów tekstylnych w zakresie przepuszczalności pary wodnej, absorpcji pary wodnej i współczynnika pary wodnej pozwoliły na sformułowanie ogólnych wniosków.

- Wszystkie badane układy tekstylne spełniają wymagania norm dla obuwia zawodowego, bezpiecznego i ochronnego: PN-EN ISO, 20347; PN-EN ISO 20345; PN-EN ISO 20346 w zakresie przepuszczalności pary wodnej

i współczynnika pary wodnej, zarówno bez wypełnienia, jak i z wypełnieniem włóknami TENCEL[®] FCP 10/400.

- Włókna TENCEL[®] FCP 10/400 w sposób znaczący poprawiają absorpcję pary wodnej badanych układów. W mniejszym stopniu wpływ na absorbowanie wilgoci ma zastosowanie hydrofilowego surowca w części zewnętrznej układu (tkanina bawełniana), jak też specyficzne cechy wyrobu.
- Włókna TENCEL[®] FCP 10/400 z reguły obniżają poziom przepuszczalności pary wodnej, jednak w niektórych przypadkach (próbki W1+Z2 i W1+Z3), po wypełnieniu układów tymi włóknami, wartość przepuszczalności pary wodnej wzrosła lub uległa pogorszeniu w niewielkim stopniu (W3+Z2). Wyniki te mogą świadczyć o znaczącym wpływie specyficznych cech wyrobu, w tym przypadku z zastosowania dzianiny oddychającej.
- Zawartość włókien TENCEL[®] FCP w układzie tekstylnym w połączeniu z płaskimi wyrobami tekstylnymi o specyficznych cechach, może tworzyć zaawansowany funkcjonalnie układ tekstylny kształtujący komfort użytkownika obuwia zamkniętego.
- Przeprowadzone prace badawcze w zakresie oceny parametrów: przepuszczalności pary wodnej, absorpcji pary wodnej i współczynnika pary wodnej pozwoliły zaprojektować i opracować wymienny wkład do wielokrotnego zastosowania w obuwiu zamkniętym. Zastosowanie takiego wkładu wpłynie na poprawę mikroklimatu obuwia, zwłaszcza zawodowego, bezpiecznego i ochronnego. Układ tekstylny z zawartością włókien TENCEL[®] FCP „w proszku” może być ukształtowany także w formie wkładki wymiennej lub zastosowany jako stała podszewka obuwia.

Podziękowania

Autorzy składają serdeczne podziękowania firmie Lenzing AG za udostępnienie materiału badawczego – włókien TENCEL[®] FCP 10/400.

Literatura

- [1] PN-EN ISO 20347:2012. Środki ochrony indywidualnej – Obuwie zawodowe.
- [2] PN-EN ISO 20345:2012. Środki ochrony indywidualnej – Obuwie bezpieczne.
- [3] PN-EN ISO 20346:2014-08. Środki ochrony indywidualnej – Obuwie ochronne.
- [4] Olejniczak Z., Woźniak B. *Komfort i mikroklimat w obuwiu*. Technologia i Jakość Wytrobów, **59**, 2014, 55-60.
- [5] Brzozowska, H.; Paździor, M. *Sorpcja materiałów wyściółkowych a mikroklimat wnętrza obuwia*. Przegląd Włókienniczy-Włókno, Odzież, Skóra, **1**, 2005, str. 31-32.
- [6] Boulanger J.P., et al. *Le confort de la chaussure: une notion mesurable. A. Materiaux a dessus et doublures. Les proprietes physico-mecaniques et le confort*, Technicuir, **3**, 1976, str. 37-42.
- [7] Harlan S.L. *A new concept in temperature-adaptable fabrics containing polyethylene glycols for skiing and skiing-like activities*, Proceedings of 98th National Meeting American Chemical Society, Florida, 1989.
- [8] Urbańczyk G.W. *Fizyka włókna*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2002.
- [9] Erdumlu N.; Ozipek B. *Investigation of regenerated bamboo fibre and yarn characteristics*. Fibres and Textiles in Eastern Europe, **16** (4), 2008, str. 43-47.
- [10] U.S. Patent 13/138 Innerlohinger J., et al.: *Foam element with cellulose incorporated in it*, 2011.
- [11] https://www.bio-pro.de/application/files/8514/3521/4228/16107_de.pdf, [dostęp dn. 25.10.2019].
- [12] PN-EN ISO 20344 : 2012. Środki ochrony indywidualnej – Metody badania obuwia.