

BADANIA NAD MOŻLIWOŚCIĄ ZASTOSOWANIA WŁÓKIEN COOLMAX W INNOWACYJNYM OBUWNICTWIE

Wioleta Serweta, Barbara Wionczyk, Justyna Wójcik, Beata Szalek

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Przemysłu Skórzanego

DOI 10.34658/9788366741805.13

1. Wstęp

Zapewnienie odpowiednich właściwości higienicznych wyrobom włókienniczym, wykorzystywanym w obuwnictwie, jest jednym z najważniejszych zagadnień, związanych z projektowaniem innowacyjnych rozwiązań technologicznych. Kreowanie optymalnych warunków funkcjonowania stopy wewnątrz objętości obuwia, zależy przede wszystkim od warunków jego użytkowania oraz właściwości biofizycznych zestawu materiałów pozostających w bezpośrednim sąsiedztwie stopy¹⁹. Zagadnienie związane z doбором materiałów obuwniczych, wspomagających wymianę mediów biofizycznych, takich, jak ciepło, para wodna, czy powietrze, między stopą i otoczeniem (i odwrotnie), stanowią jeden z najważniejszych nurtów badań prowadzonych w tej tematyce. Jest ono skomplikowane z uwagi na fakt, iż przestrzenny układ stopa – obuwie charakteryzuje się wysokim stopniem niestacjonarności²⁰. W chwili obecnej istnieje wiele rozwiązań, opracowanych przez znane ośrodki badawcze, które poprawiają komfort fizjologiczny użytkowanego obuwia. Przykładowo, w pracy²¹, zaproponowano użycie w obuwiu strażackim, kompozytowych wkładek na bazie włókniny poliwęglanowej. Badania wskazały na istnienie silnej korelacji między kinetyką sorpcji a strukturą morfologiczną badanych materiałów ocenianą jakościowo za pomocą parametru porowatości, a także ilości porów o najmniejszej średnicy przypadającej na powierzchnię badanego materiału. W pracy²² zbadano wpływ rodzaju dzianin dystansowych na zjawisko odprowadzania

¹⁹ Pinar A., Mielicka E., *Charakterystyka wyrobów w technologii seamless*, Przegląd Włókienniczy – Włókno, Odzież i Skóra 2010, nr10, ss. 39 – 41.

²⁰ Irzmańska E., *Termiczny model stopy – próba aplikacji w badaniach obuwia ochronnego*, Pomiary Automatyka Kontrola 2012, vol. 58, nr 12, ss. 1076 – 1081.

²¹ Irzmańska E., Brochocka A., *Wpływ właściwości fizykochemicznych kompozytowych wkładek do obuwia ochronnego na poprawę mikroklimatu*, Fibres and Textiles in Eastern Europe 2014, nr 5 (107), ss. 89 – 95.

²² Serweta W., Olejniczak Z., Matusiak M., *Improve of footwear comfort sensation with material packages and knitted fabrics*, Fibres and Textiles in Eastern Europe 2019, nr 3 (135), ss. 85 – 90.

potu z powierzchni skóry stopy podczas badań symulowanego wysiłku. Wykazano, że zastosowanie w bliskim sąsiedztwie stopy materiałów o strukturach przestrzennych, pozwoliło na poprawę wskaźników komfortu użytkowania obuwia i obniżyło w sposób istotny statystycznie wartości współczynnika dyskomfortu. Badania te były następstwem wcześniejszych prac realizowanych w Instytucie Przemysłu Skórzanego^{23,24}, skoncentrowanych na zagadnieniach innowacyjnego obuwnictwa w ujęciu poprawy właściwości higienicznych. Badania symulacyjne z użyciem modelu sztucznej stopy potwierdziły, że dzianiny wielowarstwowe, w tym te o strukturze przestrzennej, mogą w sposób istotny poprawiać higieniczność obuwia. Uzyskane w tych pracach wyniki dają gwarancję, że kontynuowanie wskazanego kierunku badań jest zasadne i może wskazać nowe obszary implementacji innowacyjnych rozwiązań, opartych o stosowanie struktur tekstylnych o charakterze przestrzennym.

Włókna coolmax ze względu na swoje właściwości są znane i stosowane. Za pomocą dodatku tych włókien, możliwa jest poprawa komfortu fizjologicznego dla różnych elementów odzieży i innych materiałów (np. materacy). Przykładowo w pracy²⁵ przedstawiono badania, w których wykazano, że zastosowanie w strukturze skarpety włókien coolmax w ilości 50%, powoduje poprawę transportu wilgoci w formie ciekłej i przyspiesza schnięcie materiału już po zawilgoceniu. Podobne analizy przeprowadzono w pracy²⁶, gdzie porównano dzianiny z włóknami coolmax oraz outlast w odniesieniu do takich parametrów, jak przewodnictwo cieplne, opór cieplny i absorpcyjność cieplna, a także przepuszczalność powietrza.

Dzianina z włóknami coolmax zapewniała lepszą izolacyjność, objawiającą się wyższymi wartościami oporu cieplnego, niższymi wartościami przewodnictwa cieplnego i absorpcyjności. Również badania w stanie mokrym potwierdziły podwyższone właściwości w ujęciu komfortu fizjologicznego dla materiałów zawierających w swojej strukturze włókna coolmax. Innym rodzajem znanego zastosowania włókien coolmax jest ich obecność w materiałach przeznaczonych na materace, której wpływ zbadano w pracy²⁷. Dzięki takiemu rozwiązaniu osiągnięto bardzo dobre efekty w ujęciu zdolności do odprowadzania wilgoci i transferowania jej ku kolejnym warstwom materaca. W efekcie wspomagane jest tworzenie

²³ Woźniak B., *Funkcjonalność dzianin w układzie stopa – obuwie oceniana na modelu sztucznej stopy z funkcją ruchu i wydzielania wilgoci*, Politechnika Łódzka, Łódź 2011.

²⁴ Olejniczak Z., *Wpływ dzianin wielowarstwowych na mikroklimat w obuwiu*, Politechnika Łódzka, Łódź 2008.

²⁵ Komarkowa P., Glombikowa V., Havelka A., *Head and moisture transport of socks*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 254, 2017, ss. 1 - 6

²⁶ Onofrei E., Rocha A.M., Catarino A., *Investigating the effect of moisture on the thermal comfort properties of functional elastic fabrics*, Journal of Industrial Textiles 2012, vol. 42, nr 1, ss. 34 - 51

²⁷ Terliksiz S., Kalaoglu F., Eryuruk S.H., *Moisture transport properties of double jersey mattress ticking fabrics*, Journal of Textiles and Engineer 2012, vol.19, nr 85, ss. 15 - 19

optymalnego mikroklimatu wokół skóry w oparciu o zapewnianie ciągłego przepływu powietrza przez powierzchnię kontaktową. Również w odniesieniu do obuwia, znane są sposoby poprawiania właściwości higienicznych poprzez zastosowanie włókien funkcjonalnych. Przykładowo w pracy²⁸ przedstawiono analizę porównawczą materiałów znanych pod komercyjnymi nazwami, jako: coolpass, coolmax, dri – release oraz outlast w ujęciu właściwości mechanicznych związanych z podatnością na mechacenie i odpornością na tarcie. Przeprowadzone badania potwierdziły, że zastosowanie materiałów z włókien funkcjonalnych – w tym coolmax, może być również ukierunkowane na zwiększenie trwałości poszczególnych elementów obuwia – w szczególności wyściółek. Analogiczne badania materiałów przeznaczonych na skarpetki sportowe, ale w ujęciu właściwości higienicznych takich, jak czas nasiąkania, ilość zaabsorbowanej wody, czy szybkość zwilżania powierzchniowego przeprowadzono i opisano w pracy²⁹. Jedną z najlepszych kombinacji włókien, w ujęciu zarządzania wilgocią były te, które zawierały w swojej strukturze włókna coolmax.

Celem prezentowanej pracy jest zbadanie właściwości higienicznych trójwarstwowych pakietów materiałowych, w których jedną z warstw stanowi dzianina dystansowa wykonana na bazie włókien coolmax. Z uwagi na unikalną czterokanałową budowę włókna elementarnego, dzianiny takie zapewniają bardzo dobre odprowadzanie wilgoci z powierzchni skóry, a dodatkowo zapewniają bardzo dobrą oddychalność. Z uwagi na duże powinowactwo do pillingu oraz mniejszą niż inne materiały odporność na ścieranie³⁰, dzianinę tę zastosowano w warstwie środkowej, nienarażonej bezpośrednio na działanie sił destrukcyjnych o charakterze ścierającym. Próbkę skomponowaną na bazie dzianiny z włókien coolmax porównano z tymi, które zostały wytworzone przez zastosowanie dzianiny dystansowej na bazie włókien poliestrowych oraz pianki poliuretanowej.

2. Materiały i metodyka

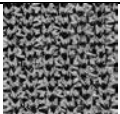
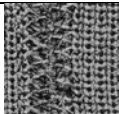
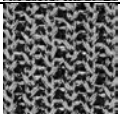
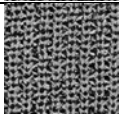
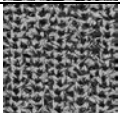
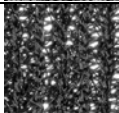
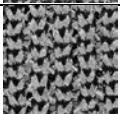
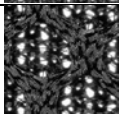
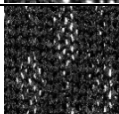
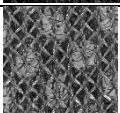
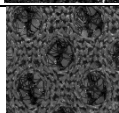
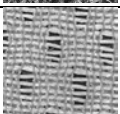
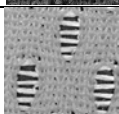
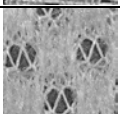
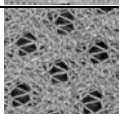
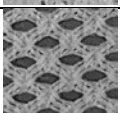
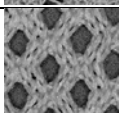
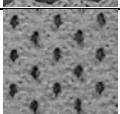
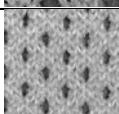
Badania przeprowadzono w grupie włókienniczych materiałów polimerowych (poliestrowych i poliamidowych) o płaskiej oraz przestrzennej strukturze o właściwościach opisanych w tabeli 1.

²⁸ Icin A.A., Kumaslar F.O., *Functional knitted fabrics for footwear linings*, *Textil ve Konfeksiyon* 2011, nr 1, ss. 30 - 35

²⁹ Siddique H.F., Mazari A., Tanveer M., *Sweat – management poroperties of semi bleached socks using different main yarn and plating yarn combinations*, *Vlakna a Textil* 2020, nr 1, ss. 69 - 75

³⁰ Blaga M., Marmarali A., Mihai A., *Functional knitted fabrics for footwear linings*. *Tekstil ve Konfeksiyon* 2011n nr 1, ss. 30-35.

Tabela 1. Charakterystyka materiałów zastosowanych w badanych układach włókienniczych.

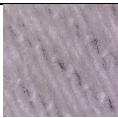
Nazwa próbki	Skład surowcowy	Masa pow. [g/m ²] ±5%	Grubość [mm] ±6%	Ścisłość rządkowa (liczność rządków/dm)	Ścisłość kolumnkowa (liczność kolumniek/dm)	Obraz dzianiny (strona lewa x20)	Obraz dzianiny (strona prawa x20)
D1	100% PES	317	2,7	240	100		
D2	100% PES	306	3,1	190	110		
D3	100% PES	265	2,3	180	100		
D4	100% PES	361	2,5	142,5	107,5		
D5-C	100% PES	287	2,3	182,5	170		
P2	100% PES	263	1,2	170	100		
P3	100% PA	163	0,6	160	100		
P4	100% PA	110	0,8	250	130		
P5	100% PA	148	0,4	170	150		
P6	100% PA	213	0,6	170	150		

Źródło: opracowanie własne.

Materiałami o strukturze przestrzennej są dzianiny dystansowe (D) poliestrowe, oznaczone kolejno, jako: D1, D2, D3, D4. W roli materiałów płaskich (P) zastosowano warianty poliamidowe (P3 – P6) oraz poliestrowy (P2). Materiał łączący stanowił przestrzenny materiał poliestrowy z włókien funkcjonalnych coolmax (D5-C) oraz dzianina D1 i pianka poliuretanowa PU grubości 2 mm i masie powierzchniowej 313 g/m². Charakterystykę tkaniny bawełnianej B1, zamieszczono w tabeli 2.

W pierwszej kolejności wykonano badania higieniczne wszystkich pojedynczych materiałów. Badania obejmowały oznaczanie przepuszczalności pary wodnej (PPW) i absorpcji pary wodnej (APW) według normy³¹. Następnie takie same badania wykonano dla materiałów trójwarstwowych. W roli materiału zewnętrznego (leżącego najdalej od powierzchni stopy) w każdym z układów zastosowano materiał bawełniany B1. Z kolei, w bezpośrednim sąsiedztwie stopy, zastosowano materiały D1 – D4 oraz P2 - P6. Jako łącznik zastosowano dzianiny D5-C oraz D1 oraz piankę poliuretanową PU.

Tabela 2. Charakterystyka materiału bawełnianego zastosowanego na warstwę zewnętrzną

Nazwa próbki	Skład surowcowy	Masa pow. [g/m ²] ±5%	Grubość [mm] ±6%	Zagęszczenie tkaniny nitkami (liczność nitek/100 mm)		Obraz tkaniny (strona lewa x20)	Obraz tkaniny (strona prawa x20)
				wątek	osnowa		
B1	100% bawełna	230	0.48	190	320		

Źródło: opracowanie własne.

³¹ PN-EN ISO 20344:2012. Środki ochrony indywidualnej. Metody badania obuwia p. 6.6, 6.7.

3. Rezultaty i ich omówienie

Wyniki oznaczania PPW i APW otrzymane dla pojedynczych materiałów zamieszczono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki oznaczania przepuszczalności i absorpcji pary wodnej pojedynczych materiałów.

Lp.	Materiał	PPW	APW
1.	D1	42,6	0,12
2.	D2	39,1	0,04
3.	D3	42,6	0,05
4.	D4	44,3	0,05
5.	D5-C	32,8	0,38
6.	P2	34,7	0,04
7.	P3	41,4	0,19
8.	P4	38,3	0,02
9.	P5	33,6	0,02
10.	P6	37,9	0,03
11.	B1	35,8	2,99
12.	PU	29,1	0,19

Źródło: opracowanie własne.

Analiza uzyskanych wyników oznaczania przepuszczalności oraz absorpcji pary wodnej wykazała, że poprawę właściwości higienicznych pakietów obuwniczych można uzyskać poprzez odpowiednie ich ułożenie względem siebie. Innymi słowy, właściwości higieniczne pakietów materiałowych ściśle zależą od właściwości pojedynczych materiałów, użytych do ich skonfigurowania (Tab. 3).

Badania przeprowadzone dla materiałów pojedynczych (Tab. 3) wskazują, że najlepsze właściwości przepuszczalności pary wodnej otrzymano w grupie dzianin o strukturze przestrzennej (D), gdzie najwyższą wartość równą 44,3 mg/(cm²h) osiągnięto dla materiału D4. Jednak, różnice pomiędzy wartościami PPW wyznaczonymi dla tych materiałów są niewielkie, na co wskazuje wartość obliczonego współczynnika zmienności wewnątrzgrupowej równa 11%. Wśród materiałów o strukturze płaskiej, największą wartość PPW, równą 41,4 mg/(cm²h) osiągnięto dla materiału P3. Z drugiej zaś strony, obliczona wartość współczynnika zmienności wewnątrzgrupowej jest niska i równa 8%, co może świadczyć o podobnych zdolnościach tych materiałów pod względem PPW. W przypadku APW największe wartości wśród dzianin dystansowych otrzymano dla D5-C (0,38 mg/cm²), a wśród materiałów płaskich dla P3 (0,19 mg/cm²). Ponadto, porównując wyniki otrzymane w poszczególnych grupach materiałów (Tab. 3), można zauważyć, duże zróżnicowanie pod względem zdolności do absorbowania pary wodnej.

W tabeli 4 przedstawiono wyniki oznaczania przepuszczalności i absorpcji pary wodnej dla badanych pakietów materiałowych.

Na podstawie uzyskanych wyników (Tab. 4), można stwierdzić, że zastosowanie, jako materiału łączącego, dzianiny poliestrowej D5-C z włóknami funkcjonalnymi coolmax zamiast standardowej dzianiny dystansowej D1, spowodowało poprawę właściwości przepuszczalności pary wodnej w przypadku materiałów P2, P4, P5 i P6 odpowiednio o około 13%, 5%, 28% i 9%, natomiast w przypadku materiału P3 zdolność do przepuszczania pary wodnej pogorszyła się o około 8%.

Tabela 4. Wyniki oznaczania PPW i APW otrzymane dla materiałów połączonych w różnych konfiguracjach.

Lp.	Układ materiałowy			PPW			APW		
	Materiały łączące								
	D1	D5-C	PU						
1.	B1+D1+P2	B1+ D5-C +P2	B1+ PU +P2	14.9	17.1	10.6	1.2	0.6	1.2
2.	B1+D1+P3	B1+ D5-C +P3	B1+ PU +P3	15.3	14.1	11.3	1.4	1.0	1.5
3.	B1+D1+P4	B1+ D5-C +P4	B1+ PU +P4	17.8	18.8	15.1	1.7	0.8	2.4
4.	B1+D1+P5	B1+ D5-C +P5	B1+ PU +P5	18.2	25.4	15.2	1.5	0.7	2.2
5.	B1+D1+P6	B1+ D5-C +P6	B1+ PU +P6	16.1	17.6	13.7	1.1	0.7	1.9
6.	B1+D1+D1	B1+ D5-C+D1	B1+ PU +D1	16.3	15.0	9.5	1.3	1.3	1.3
7.	B1+D1+D2	B1+ D5-C+D2	B1+ PU +D2	17.0	13.8	9.4	1.8	1.3	1.7
8.	B1+D1+D3	B1+ D5-C+D3	B1+ PU +D3	18.2	18.0	10.2	1.4	1.4	2.1
9.	B1+D1+D4	B1+ D5-C+D4	B1+ PU +D4	17.4	16.6	11.3	1.2	0.6	2.0

Źródło: opracowanie własne.

Jednak, porównując wyniki PPW otrzymane dla układów, w których zastosowano dwie standardowe dzianiny dystansowe (łączącą D1 i brzegowe D1-D4) z podobnymi układami, w których materiałem łączącym jest dzianina poliestrowa D5-C z włóknami funkcjonalnymi coolmax, można stwierdzić, że w tym przypadku zastosowanie dzianiny D5-C spowodowało pogorszenie wyników PPW.

Dzieje się tak, ponieważ dodanie warstwy materiału przestrzennego bardzo dobrze przepuszczającego parę wodną, powoduje poprawę jej cyrkulacji przez otwarte pory obydwu materiałów przestrzennych wchodzących w skład pakietu.

Najniższe wartości przepuszczalności otrzymano dla pakietów, gdzie w roli łącznika między warstwami zewnętrzną i wewnętrzną zastosowano piankę poliuretanową o niskiej gęstości (Tab. 4). Obniżona przepuszczalność pianki poliuretanowej, osiągająca wartość 29,1 mg/(cm²h) (Tab. 3), wynika z litej struktury materiału powodującej powstanie bariery, ograniczającej przepływ pary wodnej. W tym przypadku uzyskane wartości przepuszczalności kształtowały się w granicach między 9,4 mg/(cm²h) dla D2 a 15,2 mg/(cm²h) dla P5 (Tab. 4). Ponadto, można zauważyć, że nieco gorsze właściwości PPW zaobserwowano dla układów z pianką PU połączonych z materiałami o strukturze przestrzennej (D1 – D4) niż z materiałami o strukturze płaskiej (P2 – P6). Widoczne jest również, że zastąpienie litego materiału

piankowego, dzianinami dystansowymi w roli łącznika, poprawiło zdolność transmisji pary wodnej.

Zastosowanie w pakietach materiału zawierającego włókna funkcjonalne coolmax (D5-C), spowodowało w większości efekt obniżenia absorpcji pary wodnej w stosunku do pakietów z zastosowaniem jako łącznika dzianin o strukturze płaskiej i strukturze przestrzennej (Tab. 4). Zdolność materiałów do absorbowania pary wodnej ma szczególne znaczenie przy projektowaniu układów obuwniczych, gdyż materiały pozostające w bezpośrednim sąsiedztwie stopy, powinny charakteryzować się jak najlepszą przepuszczalnością pary wodnej, przy minimalnym jej absorbowaniu. Taki układ zmniejsza prawdopodobieństwo „więzienia” wilgoci w układach materiałów, co stanowi bardzo ważny aspekt dla oceny higieniczności obuwia.

W celu zidentyfikowania różnic jakościowych pomiędzy uzyskanymi parametrami określającymi higieniczność pakietów materiałowych, przeprowadzono analizę statystyczną metodą ANOVA. Na poziomie ufności α równym 0,05 zweryfikowano hipotezę H_0 , mówiącą o braku zróżnicowania pomiędzy przepuszczalnością pary wodnej poszczególnych badanych układów materiałowych ze względu na rodzaj zastosowanej bariery, wobec alternatywnej H_1 , orzekającej o występowaniu takich różnic. Analizę przeprowadzono w dwóch grupach obejmujących dzianiny o strukturze płaskiej (P2 – P6) i przestrzennej (D1 – D4). Istnienie zróżnicowania międzygrupowego, spowodowanego rodzajem zastosowanej bariery zaobserwowano w każdej z badanych grup zarówno w odniesieniu do przepuszczalności pary wodnej (Tab. 5), jak i jej absorpcji (Tab. 6). Najsilniejsze statystycznie istotne różnice są widoczne dla absorpcji pary wodnej.

Tabela 5. Wyniki analizy ANOVA dla zróżnicowania przepuszczalności pary wodnej ze względu na rodzaj bariery w grupie płaskich i przestrzennych wyrobów włókienniczych

Grupa dzianin o strukturze płaskiej (P2 – P6)						
Źródło wariancji	SS	df	MS	F	p	Test F
<i>pomiędzy grupami</i>	75	2	37,5	4,62	0,03000	3,89
<i>w obrębie grup</i>	97	12	8,1			
<i>razem</i>	172	14				
Grupa dzianin o strukturze przestrzennej (D1-D4)						
<i>pomiędzy grupami</i>	114	2	57,1	36,11	0,00005	4,26
<i>w obrębie grup</i>	14	9	1,6			
<i>razem</i>	128	11				

SS – suma kwadratów odchyłeń od średniej, df – liczba stopni swobody,

MS – średni kwadrat, F – wartość statystyki empirycznej,

Test F – wartość statystyki krytycznej

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 6. Wyniki analizy ANOVA dla zróżnicowania absorpcji pary wodnej ze względu na rodzaj bariery w grupie płaskich i przestrzennych wyrobów włókienniczych.

Grupa dzianin o strukturze płaskiej (P2– P6)						
Źródło wariancji	SS	df	MS	F	p-value	Test F
<i>pomiędzy grupami</i>	29912	3	9971,7	223,91	0,00002	3,24
<i>w obrębie grup</i>	712	16	45,5			
<i>razem</i>						
Grupa dzianin o strukturze przestrzennej (D1-D4)						
<i>pomiędzy grupami</i>	35042	3	11680,8	503,67	0,00007	3,49
<i>w obrębie grup</i>	278	12	23,2			
<i>razem</i>	35320	15				

SS – suma kwadratów odchyłeń od średniej,

df – liczba stopni swobody,

MS – średni kwadrat,

F – wartość statystyki empirycznej,

p – wartość prawdopodobieństwa testowego,

Test F – wartość statystyki krytycznej

Źródło: opracowanie własne.

W zbadanych grupach wartość statystyki empirycznej (F) była wyższa od wartości krytycznej (Test F). Dodatkowo, oszacowane prawdopodobieństwo testowe plasuje się poniżej wartości przyjętej, jako poziom ufności. Oznacza to, że na zadanym poziomie ufności nie ma podstaw do przyjęcia hipotezy H_0 , orzekającej o braku zróżnicowania wartości przepuszczalności pary wodnej ze względu na rodzaj bariery (D1, D5-C, PU). W celu uzyskania jakościowej oceny istniejącego zróżnicowania, przeprowadzono test porównań wielokrotnych Tukey'a. W tabeli 7 zamieszczono wyniki testu post-hoc dla badanych układów materiałowych. Efektem wykonanego testu Tukey'a jest wskazanie grup materiałów, w których zróżnicowanie ze względu na rodzaj przegrody ma charakter istotny statystycznie. Wyniki otrzymane (Tab. 7) dla różnych materiałów łączących (D1, D5-C, PU) skonfigurowanych z materiałami o strukturze płaskiej (P2 – P6) jak i o strukturze przestrzennej (D1 – D4) wskazują, że różnice w wartościach przepuszczalności pary wodnej zależą od rodzaju materiału łączącego i są istotne statystycznie.

W przypadku płaskich materiałów włókienniczych (P2 – P6) istotne statystycznie zróżnicowanie przepuszczalności pary wodnej wystąpiło między grupami, w których jako warstwę łączącą zastosowano odpowiednio dzianinę z włókien funkcjonalnych coolmax (D5-C) lub piankę poliuretanową (PU). W przypadku dzianin o strukturze przestrzennej (D1 – D4), obie dzianiny dystansowe (D1, D5-C), stanowiące warstwę łączącą, uzyskały istotną przewagę nad pianką poliuretanową.

Tabela 7. Wyniki testu Tukey’a dla badanych grup materiałów zróżnicowanych ze względu na warstwę łączącą

Porównywane grupy materiałów ze względu na rodzaj bariery	HSD-F*	p	Istotność
test post – hoc dla absorpcji pary wodnej w grupie płaskich wyrobów włókienniczych			
(D1) z (D5-C)	0,568	0,0400	TAK
(D5-C) z (PU)	1,062	0,0005	TAK
test post – hoc dla przepuszczalności pary wodnej w grupie płaskich wyrobów włókienniczych			
(D5-C) z (PU)	5,438	0,0300	TAK
test post – hoc dla przepuszczalności pary wodnej w grupie przestrzennych wyrobów włókienniczych			
(D1) z (PU)	7,125	0,0001	TAK
(D5-C) z (PU)	5,738	0,0003	TAK

HSD-F* – wartość statystyki Tukey’a,

p – prawdopodobieństwo testowe

Źródło: opracowanie własne.

W odniesieniu do absorpcji pary wodnej (Tab. 7) zaobserwowano przewagę układów z dzianiną łączącą (D5-C) nad klasyczną dzianiną dystansową (D1) z włókien poliestru bez udziału włókien coolmax oraz nad pianką poliuretanową, które skonfigurowano z materiałami o strukturze płaskiej. Natomiast, w przypadku zastosowania tych materiałów łączących w konfiguracji z materiałami o strukturze przestrzennej różnice w absorpcji pary wodnej są nieistotne statystycznie.

Uzyskane wyniki absorpcji pary wodnej (Tab. 4) pozwalają stwierdzić, że wartości tego parametru mają przebieg bardziej korzystny z higienicznego punktu widzenia dla układów, w których zastosowano dzianinę dystansową z włókien coolmax D5-C. Widoczna poprawa właściwości higienicznych, świadczy o zasadności implementacji materiału z włókien funkcjonalnych coolmax.

4. Podsumowanie

Właściwości higieniczne materiałów i układów materiałowych, stosowanych w produkcji obuwia determinują komfort jego użytkowania. Ogólnie wiadomo, że właściwości higieniczne, liczba warstw oraz sposób konfiguracji poszczególnych materiałów obuwniczych wchodzących w skład cholewki, mają znaczący wpływ na procesy wymiany ciepła i wilgoci pomiędzy stopą a otoczeniem a konsekwencji na komfort użytkowania obuwia.

Wykonane badania wykazały, że zastosowanie dzianiny z włókien funkcjonalnych coolmax powoduje poprawę właściwości higienicznych badanych pakietów materiałowych pod względem zarówno przepuszczalności, jak i absorpcji pary wodnej. W stosunku do układów, w których materiałem łączącym jest przestrzenna dzianina dystansowa D1, zmiany poprawiające przepuszczalność pary wodnej, zaobserwowano dla następujących układów materiałowych: B1+D5-C+(P2, P4, P5, P6). Dzieje się tak, ponieważ połączenie warstwy (D5-C) bardzo dobrze przepuszczającej parę wodną z płaskim materiałem włókienniczym (P), powoduje pojawienie się dodatkowej przestrzeni przepływu pary wodnej, bez wydłużenia drogi transmisji, dzięki niewielkiej grubości uzyskanego pakietu. Ponadto, obecność przewężeń w przekroju włókien coolmax sprawia, że ilość przetransferowanej pary wodnej jest wyższa, aniżeli w przypadku standardowego włókna poliestrowego, które stanowiło budulec dzianiny D1. Porównując, obie dzianiny o strukturze przestrzennej – D1 i D5-C – można zauważyć, że ich obecność spowodowała istotną poprawę przepuszczalności pary wodnej w porównaniu z wariantem, w którym w roli warstwy łączącej zastosowano popularną, często wykorzystywaną w układach obuwniczych, piankę poliuretanową PU.

Zastosowanie dzianiny D5-C jako materiału łączącego powoduje, na ogół, redukcję ilości zaabsorbowanej pary wodnej w porównaniu do pakietów, w których materiałem łączącym jest dzianina D1 lub pianka PU.

Zredukowanie ilości absorpcji pary wodnej, przy jednoczesnym zwiększeniu jej przepuszczalności, sprawia, że walory higieniczne badanego układu materiałów ulegają poprawie i dzięki temu można prognozować skuteczność danej konfiguracji materiałów w redukowaniu dyskomfortu podczas użytkowania obuwia. Zastosowanie w bliskim sąsiedztwie stopy materiałów bardzo dobrze przepuszczających parę wodną, a przy tym hydrofobowych, powoduje, że w realnych warunkach użytkowania stopa pozostanie sucha, zaś materiał z nią sąsiadujący nie ulegnie zawilgoceniu.

Na podstawie otrzymanych wyników badań można stwierdzić, że parametry opisujące warunki wilgotności we wnętrzu obuwia zależą w głównej mierze od zdolności do przepuszczania i absorbowania pary wodnej materiałów obuwniczych znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie stopy. W związku z tym, zasadnym jest ukierunkowanie badań w taki sposób, aby rozszerzać gamę materiałów i sposobów ich konfiguracji w celu uzyskania oczekiwanych efektów poprawy parametrów higienicznych. Ma to szczególne znaczenie, np. dla obuwia zamkniętego typu kalosze, śniegowce, lub wellingtony, gdzie jedyna droga dyfuzji pary wodnej biegnie wzdłuż krzywizny kończyny okrytej cholewką, wyznaczonej od tylnej części łoża stopy do zakończenia cholewki.

5. Literatura

- [1] **Pinar A., Mielicka E.**, *Charakterystyka wyrobów w technologii seamless*, Przegląd Włókienniczy - Włókno, Odzież, Skóra 2010, nr 10, ss. 39 – 41.
- [2] **Irzmańska E.**, *Termiczny model stopy – próba aplikacji w badaniach obuwia ochronnego*, Pomiary Automatyka Kontrola 2012, vol. 58, nr 12, ss. 1076 – 1081.
- [3] **Irzmaska E., Brochocka A.**, *Wpływ właściwości fizykochemicznych kompozytowych wkładek do obuwia ochronnego na poprawę mikroklimatu*, Fibres and Textiles in Eastern Europe 2014, vol. 5 (107), ss. 89 – 95.
- [4] **Serweta W., Olejniczak Z., Matusiak M.**, *Improve of footwear comfort sensation with material packages and knitted fabrics*, Fibres and Textiles in Eastern Europe 2019, vol. 3 (135), ss. 85 – 90.
- [5] **Woźniak B.**, *Funkcjonalność dzianin w układzie stopa – obuwiu oceniana na modelu sztucznej stopy z funkcją ruchu i wydzielania wilgoci*, Politechnika Łódzka, Łódź 2011
- [6] **Olejniczak Z.**, *Wpływ dzianin wielowarstwowych na mikroklimat w obuwiu*, Politechnika Łódzka, Łódź 2008
- [7] **Komarkowa P., Glombikowa V., Havelka A.**, *Head and moisture transport of socks*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 254, 2017, ss. 1 - 6
- [8] **Onofrei E., Rocha A. M., Catarino A.**, *Investigating the effect of moisture on the thermal comfort properties of functional elastic fabrics*, Journal of Industrial Textiles 2012, vol. 42, nr 1, ss. 34 – 51
- [9] **Terliksiz S., Kalaoglu F., Eryuruk S.H.**, *Moisture transport properties of double jersey mattress ticking fabrics*, Journal of Textiles and Engineer 2012, vol. 19, nr 85, ss. 15 - 19
- [10] **Icin A.A., Kumaslar F.O.**, *Functional knitted fabrics for footwear linings*, Textil ve Konfeksiyon 2011, nr 1, ss. 30 - 35
- [11] **Siddique H. F., Mazari A., Tanveer M.**, *Sweat – management poroperties of semi bleached socks using different main yarn and plating yarn combinations*, Vlakna a Textil 2020, nr 1, ss. 69 - 75
- [12] **Blaga M., Marmarali A., Mihai A.**, *Functional knitted fabrics for footwear linings*, Tekstil ve Konfeksiyon 2011, nr 1, ss. 30-35.
- [13] PN-EN ISO 20344:2012. Środki ochrony indywidualnej. Metody badania obuwia. p. 6.6, 6.7.