

ZBIGNIEW OLEJNICZAK
Instytut Przemysłu Skórzanego
Łódź

WPŁYW DZIANIN WIELOWARSTWOWYCH NA MIKROKLIMAT W OBUWIU

Promotor: **dr hab. inż. Krzysztof J. Kowalski, prof. PŁ**

Recenzenci: **dr hab. inż. Maria Pawłowa, prof. nadzw. PR**
prof. dr hab. inż. Władysław Korliński, PŁ

Praca dotyczy oceny dzianin wielowarstwowych przeznaczonych na wewnętrzne elementy obuwia. W ramach pracy zaprojektowano i wykonano 11 wariantów tekstyliów dwu i trzywarstwowych. Badano mikroklimat w obuwiu, w którym zastosowano opracowane materiały tekstylne. Opracowano nowe rodzaje wskaźników charakteryzujących mikroklimat w obuwiu. Zaproponowano również zastosowanie generalnego wskaźnika jakości, stosowanego do oceny tekstyliów, do klasyfikacji jakości obuwia pod kątem mikroklimatu jego wnętrza w trakcie użytkowania. Badania wykazały, że jest możliwe polepszenie właściwości obuwia przez zastosowanie dwuwarstwowych dzianin o właściwościach kodyktywno-dyfuzyjnych i sorpcyjnych.

1. WPROWADZENIE

Od kilkudziesięciu lat notuje się w przemyśle obuwniczym wzrost produkcji obuwia z tworzyw sztucznych i syntetycznych. Na cholewki stosuje się w coraz większym zakresie tworzywa skóropodobne, na spody zaś – gumy oraz różne tworzywa syntetyczne.

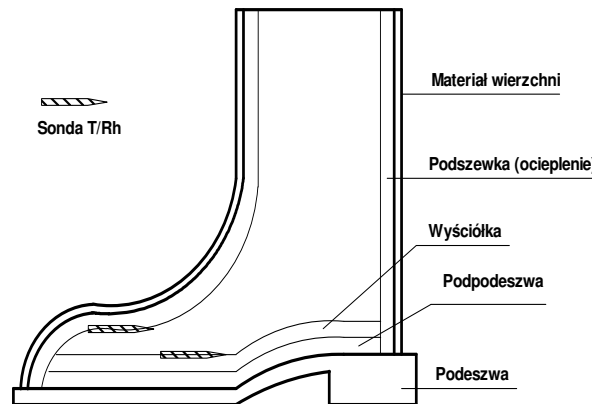
Komfort użytkowania obuwia jest rezultatem wielu różnych aspektów wynikających z funkcjonowania człowieka i rodzaju jego aktywności [1-3]. Mikroklimat w obuwiu i higieniczność obuwia określają temperatura i wilgotność względna wewnątrz obuwia podczas jego użytkowania [2-7]. Aby obuwiu mogło zapewnić stopień optymalny mikroklimat, materiały do wyrobu obuwia, szczególnie na cholewki i podpodeszwy, powinny odpowiadać określonym warunkom [2, 3, 8].

W trakcie użytkowania wewnątrz obuwia zachodzą ściśle ze sobą związane procesy wymiany ciepła i wilgoci w układzie stopa-materiały obuwnicze – otoczenie. Ze względu na działanie różnorodnych czynników fizycznych procesy te są dość złożone i do końca nie są wyjaśnione [4, 5, 9].

2. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

2.1. Zastosowana metoda badawcza

Opracowano nową metodę badania mikroklimatu stopy w warunkach dynamicznych. Badania zmian warunków mikroklimatu w obuwiu prowadzone są na stanowisku z wykorzystaniem wielofunkcyjnego urządzenia wysiłkowego. Cykl pomiarowy obejmuje rejestrację temperatury i wilgotności względnej w trakcie 90-minutowego cyklu: w stanie spoczynku w okresie 30 min, w fazie wysiłku fizycznego przy obciążeniu 50 W przez okres 30 min., a następnie w fazie 30-minutowego odpoczynku. Zaletą tej metody jest możliwość realnego (w czasie rzeczywistym) oceniania zmian parametrów fizycznych mikroklimatu w użytkowanym obuwiu, a co za tym idzie możliwość oceny i porównania wpływu na mikroklimat stosowania różnych materiałów obuwniczych oraz dokonywanych zmian konstrukcyjnych obuwia. Dla rozmieszczenia sond pomiarowych dobrano eksperymentalnie optymalne miejsca w obuwiu pokazane na rysunku 1. Na rysunku 2 przedstawiono stanowisko badawcze w trakcie symulacji użytkowania obuwia – w fazie wysiłkowej.



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia sond pomiarowych T/RH w badanym obuwiu



Rys. 2. Faza wysiłkowa podczas badania obuwia typu trzewik

Dysponując wartościami przebiegu w czasie temperatury i wilgotności względnej wybranych punktów w obuwie można przedstawić również przebieg zmian entalpii wilgotnego powietrza we wnętrzu obuwia. Do wyliczeń i przeprowadzenia wykresów służyły wzory opracowane na podstawie materiałów firmy ROTRONIC A G.

2.2. Warianty badanego obuwia wraz tekstylnymi elementami wewnętrznymi

Badane obuwie cechowało się typową budową: trzewik z cholewką derbową składał się ze spodu oraz wierzchu (cholewki), w której mogła być także wmontowana podszewka tkaninowa. W przypadku obuwia całotworzywowego i całogumowego skorupa obuwia nie była trwale połączona ze skarpetą bawełnianą lub wykonaną z syntetycznych materiałów włóknistych. Podstawowym układem skarpety w obuwie było takie ułożenie dzianiny, aby kolumienki („wałeczki”) skierowane były do stopy. Układ kolumienek („wałeczków”) w skarpecie obuwia był pionowy w celu stworzenia jak najlepszej możliwości wentylacji wnętrza obuwia. Dla celów porównawczych przebadano także: botek całotworzywowo z wkładem z obuwniczego syntetycznego materiału włóknistego, oznaczony dalej jako: „Tworz. + wkład z mat. włókn.” i botek całotworzywowo z syntetycznym materiałem włóknistym trwale złączonym z polimerową skorupą obuwia oznaczony dalej jako: „Tworz. + mat. włókn.”. Do badań użytkowych oceny mikroklimatu

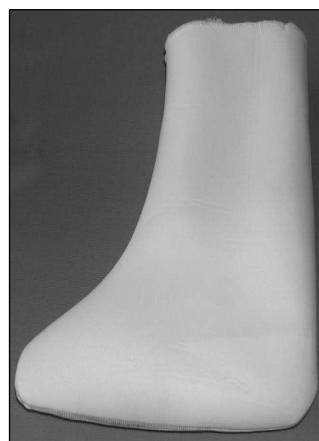
w obuwiu na wielofunkcyjnym urządzeniu wysiłkowym wykonano badania obuwia zawierającego następujące tekstylia:

Lp.	Oznaczenie wariantu tekstyliów	Nazwa wyrobu tekstylnego
1.	R-I-2w-PA/Bw	rządkowa dzianina dwuwarstwowa „gładka” PA -Bawełna
2.	R-II-2w-PAab/Bw	rządkowa dzianina dwuwarstwowa „gładka” PA antybakt. - Bawełna
3.	R-III-2w-PAab/Bw”wał.”	rządkowa dzianina dwuwarstwowa „wałeczkowa” PA antyb. - Baw.
4.	K-V-dyst.PA/mon.PA/PA	kolumnienkowa dzianina dystansowa „gładka” PA-PA
5.	K-VI-dyst.PA/mon.PA/PA”ażur”	kolumnienkowa dzianina dystansowa „ażurowa” PA-PA
6.	K-VII-2w-PA”wał.”/Bw	kolumnienkowa dzianina „wałeczkowa” PA - Bawełna
7.	K-VIII-2w-PA/Bw”wał.”	kolumnienkowa dzianina „wałeczkowa” PA - Bawełna
8.	K-IX-2w-PA/Bw”wał.-ażur”	kolumnienkowa dzianina „wałeczkowa” ażur PA - Bawełna
9.	Podszewka 1	włóknina o nazwie handlowej Vulcano (100% PE)
10.	Podszewka 2	włóknina o nazwie handlowej Carlom (100% PA)
11.	Mat. włóknisty	włóknina cholewkowa (100% PE)

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono kluczowe elementy wpływające na mikroklimat obuwia: podszewkę w trzewiku oraz skarpetę obuwia całotworzywowego.



Rys. 3. Wnętrze trzewika z podszewką z dzianiny K-V-dyst.PA/mon.PA/PA



Rys. 4. Skarpeta z dzianiny K-V-dyst.PA/mon.PA/PA

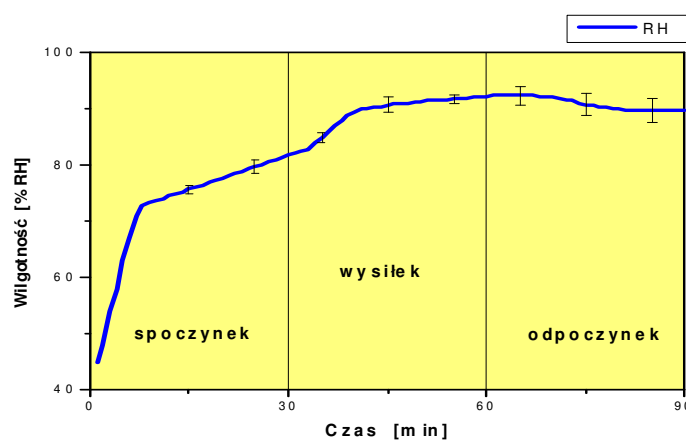
Badania prowadzone były na 5 użytkowników (mężczyźni z przedziału wiekowego 30-55 lat. Aby zmniejszyć do minimum błędy pomiarowe otrzymane wyniki dla jednego typu sondy i jednego rodzaju obuwia uśredniano, wykorzystując możliwości pakietu sztucznych sieci neuronowych NEUROSOLUTIONS.

2.2. Przykłady uzyskiwanych wyników

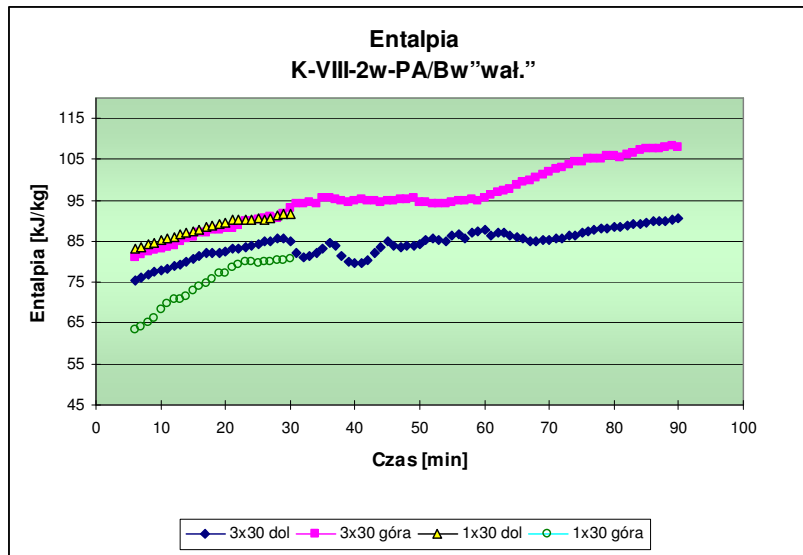
W czasie symulowanego użytkowania obuwia na urządzeniu wysiłkowym rejestrowano przebieg zmian temperatury i wilgotności względnej. Przykład zarejestrowanego przebiegu T i H w jednym cyklu badania przedstawia rys. 5. Na rys. 6 pokazano uśrednione wartości przebiegu wilgotności względnej dla 5 pomiarów wraz z obliczonymi odchyleniami standardowymi. Graficzny wykres obliczanych zmian entalpii wilgoci w obuwiu przedstawiono na rys. 7.



Rys. 5. Przykładowy wynik badania otrzymany dla górnej sondy w trakcie cyklu: I odpoczynek 30 min – II wysiłek 30 min – III odpoczynek linia czerwona – temperatura linia niebieska – wilgotność względna



Rys. 6. Wykres uśrednionych wartości H otrzymany dla górnej sondy z uwzględnieniem odchylenia standardowego w trakcie cyklu: odpoczynek 30 min – wysiłek 30 min. – odpoczynek 30 min



Rys. 7. Obliczone zmiany entalpii dla obuwia całotworzywowego ze skarpetą wykonaną z kolumnkowej dzianiny „wałeczkowej” K-VIII-2w-PA/Bw”wał.”

3. WSKAŹNIKI MIKROKLIMATU UZYSKANE DLA OBUWIA CAŁOTWORZYWOWEGO I TRZEVIKÓW

Opierając się na dostępnych danych literaturowych oraz wynikach badań własnych dla analizy wilgotności względnej mierzonej wewnątrz obuwia założono przedział 80-90% H, jako obszar względnego dyskomfortu użytkowania obuwia i przedział powyżej 90% H, jako obszar całkowitego dyskomfortu użytkowania obuwia. W dostępnej literaturze podkreśla się decydującą rolę wilgotności względnej wewnątrz obuwia w charakteryzowaniu jego mikroklimatu. Na podstawie tych założeń zaproponowano następujące wskaźniki:

n_{dyskH} – współczynnik bezwymiarowy określający udział wyników wilgotności względnej przekraczających wartość przyjętego obszaru dyskomfortu ($H > 80\%$) w całkowitym czasie badania, obliczany wg wzoru:

$$n_{dyskH} = \frac{t_{dyskH}}{t_{cak}} \quad (1)$$

gdzie: t_{dyskH} – okres czasu badania, gdzie wilgotność względna przekraczała w cyklu pomiarowym przyjętą granicę dyskomfortu (80%),
 t_{cak} – całkowity czas badania

x_{dyskH} – współczynnik bezwymiarowy określający stopień dyskomfortu dla obszaru uzyskiwanych wyników wilgotności względnej większej od 80%.

$$x_{dyskH} = \frac{x_{\text{sr. dyskH}} - x_{umH}}{x_{\text{max H}} - x_{umH}} \quad (2)$$

gdzie: $x_{\text{sr. dyskH}}$ [%] – średnia wartość uzyskanych w badaniu wyników wilgotności względnej dla wartości większych od przyjętej granicy wilgotności względnej dla obszaru dyskomfortu,

x_{umH} [%] – przyjęta granica wilgotności względnej dla obszaru dyskomfortu,

$x_{\text{max H}}$ [%] – maksymalna teoretyczna wartość wilgotności względnej wewnątrz obuwia.

Dla wartości większych od 0,5 współczynnik x_{dyskH} określa całkowity dyskomfort ($H > 90\%$) w obszarze dyskomfortu (przedział 80-100% H dla otrzymanych w badaniu zmian wartości wilgotności względnej).

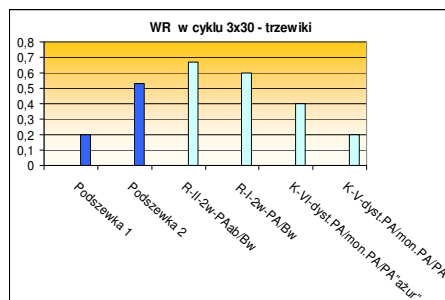
W_{dH} – współczynnik określający stopień dyskomfortu, przy kryterium wilgotności wewnątrz obuwia (im niższa wartość wskaźnika tym mniejszy stopień dyskomfortu)

$$W_{dH} = n_{dyskH} \cdot x_{dyskH} \quad (3)$$

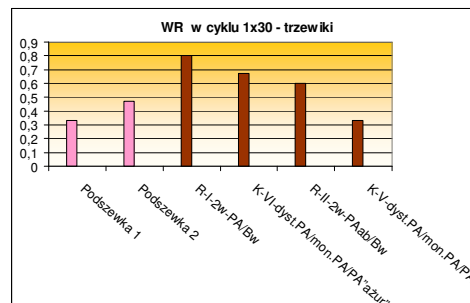
Dla wskaźnika temperaturowego zaproponowano, na podstawie badań własnych oraz analizy uzyskanych wyników badanego obuwia, przyjąć przedział temperatur 32-33°C, jako obszar względnego dyskomfortu termicznego oraz przedział powyżej 33°C, jako obszar całkowitego dyskomfortu termicznego. Wskaźniki (w_{33} , n_{33} , W_{dT}) obliczano analogicznie jak dla H z uwzględnieniem powyższych kryteriów.

Aby móc porównać otrzymane wartości wskaźników dyskomfortu dokonano szacunkowej oceny rangowej dyskomfortu dla wszystkich badanych rodzajów obuwia. Uzyskanym wskaźnikom dyskomfortu przypisano rangi jakości, gdzie 0 oznacza obuwie o maksymalnym dyskomforcie. Na rysunku 8 przedstawiono wartości wskaźników rangowego oszacowania komfortu obuwia typu trzewik w cyklu 3x30. Najwyższe wskaźniki otrzymano dla obuwia z podszewką R-II-2w-PAab/Bw, a następnie z podszewką R-I-2w-PA/Bw. Na rysunku 9 przedstawiono wartości wskaźników rangowego oszacowania komfortu obuwia typu trzewik w cyklu 1x30. Najwyżej oceniono mikroklimat w obuwie z podszewką R-I-2w-PA/Bw, a następnie z podszewką K-VI dyst.PA/mon PA/PA "ażur" i R-II-2w-PAab/Bw. W przypadku obuwia całotworzywowego najwyżej oceniono warianty K-IX-2w-PA/Bw "wał.-ażur" i K-VIII-2w-PA/Bw "wał." (rys. 10 i 11).

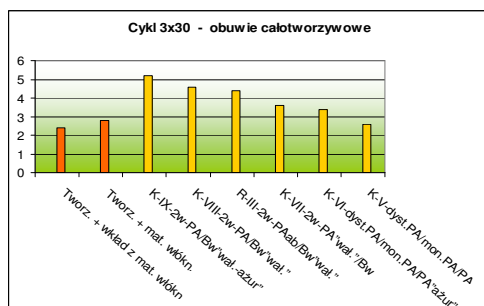
Dokonano również oceny komfortu użytkowanego obuwia wyrażoną poprzez indywidualną ocenę użytkowników testów. Uzyskano wyniki zbieżne z wynikami uzyskanymi dla rangowego oszacowania komfortu obuwia.



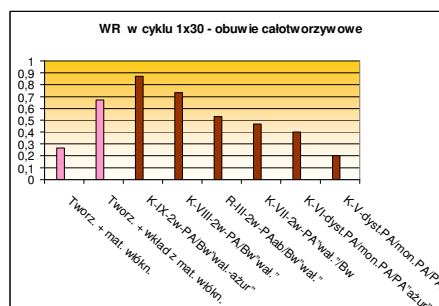
Rys. 8. Porównanie wartości rangowego oszacowania komfortu dla różnych wariantów badanego obuwia typu trzewik w cyklu badania 3x30



Rys. 9. Porównanie wartości rangowego oszacowania komfortu dla różnych wariantów badanego obuwia typu trzewik w cyklu badania 1x30



Rys. 10. Porównanie wartości rangowego oszacowania komfortu dla różnych wariantów badanego obuwia całotworzywowego w cyklu badania 3x30



Rys. 11. Porównanie wartości rangowego oszacowania komfortu dla różnych wariantów badanego obuwia całotworzywowego w cyklu badania 1x30

4. METODA OCENY KOMFORTU FIZJOLOGICZNEGO OBUWIA GENERALNYM WSKAŹNIKIEM JAKOŚCI

Wskaźniki generalne występują jako wielkości liczbowe, które odtwarzają globalną wartość z punktu widzenia jakości lub przydatności wyrobu do określonego celu. Zastosowanie tych wskaźników do oceny pozwala uzyskać porównywalne oceny. W literaturze wskaźniki generalne posiadają wiele opracowań. T. Żyliński [11] podaje kilka postaci tego wskaźnika, z których najogólniejsza jest następująca:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \frac{a_i}{m_i}}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (4)$$

gdzie: t_i – stopnie ważności,
 a_i – wskaźnik danej cechy,
 m_i – maksymalny lub podstawowy wskaźnik danej cechy.

Zgodnie z definicją mankamentu, czyli cechy korzystnej dla wartości minimalnych, kryterialny wyróżnik jakości dla temperatury w mikroklimacie obuwia przyjmie postać:

$$KW_T = 1 - \frac{T_{sr}}{T_{max}} \quad (5)$$

gdzie: T_{sr} – obliczona średnia wartość temperatury pomierzonej dla poszczególnych cykli pomiarowych,
 T_{max} – wartość maksymalna parametru $T_{max} = 36,6^{\circ}\text{C}$.

Zgodnie z definicją mankamentu, czyli cechy korzystnej dla wartości minimalnych, kryterialny wyróżnik jakości dla wilgotności względnej w mikroklimacie obuwia przyjmie postać:

$$KW_H = 1 - \frac{H_{sr}}{H_{max}} \quad (6)$$

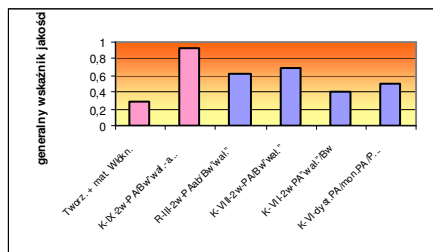
gdzie: H_{sr} – obliczona średnia wartość wilgotności względnej dla poszczególnych cykli pomiarowych,
 H_{max} – wartość maksymalna parametru $H_{max} = 100\%$

Aby dokonać analizy porównawczej poszczególnych wariantów dzianin wyznaczone wartości wskaźników podzielono na klasy, przyjmując dla wartości najbardziej korzystnej z punktu widzenia komfortu fizjologicznego wartość 1, a dla wartości najmniej korzystnej wartość 0. W ten sposób utworzono dziesięć przedziałów co 0,1 wg których sklasyfikowano poszczególne wartości kryterialnych wskaźników szczegółowych. Następnie obliczono wartość średnią z poszczególnych klas jakości dla danego wariantu wkładu tekstylnego.

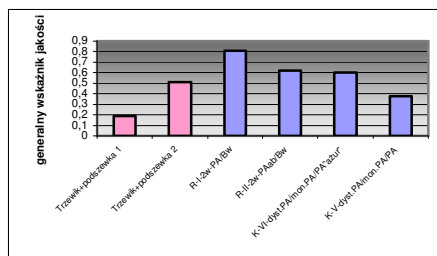
Generalne wskaźniki jakości badanych wariantów obuwia J_{HT} w aspekcie ich własności biofizycznych określone za pomocą wzoru Żylińskiego w tym przypadku przyjmują postać:

$$J_{HT} = \frac{1}{8} \left(\sum QH_{sr} + \sum QT_{sr} \right) \quad (7)$$

Wyniki badań, wyrażone przypisanymi klasami jakości dla poszczególnych wskaźników biofizycznych i obliczonymi wskaźnikami generalnymi wg Żylińskiego zestawiono na rysunku 12 (dla obuwia całotworzywowego) i 13 (dla trzewików).



Rys. 12. Wartość generalnego wskaźnika jakości J_{HT} dla poszczególnych wariantów obuwia całotworzywowego



Rys. 13. Wartość generalnego wskaźnika jakości J_{HT} dla poszczególnych wariantów trzewików

Z przeprowadzonych badań wynika, iż dla obuwia całotworzywowego uzyskano poprawę mikroklimatu w obuwiu w stosunku do tradycyjnych wkładów filcowych. Obliczone generalne wskaźniki jakości na podstawie szczegółowych wskaźników kryterialnych dla temperatury i wilgotności względnej dla obuwia całotworzywowego z tradycyjnymi wkładami filcowymi wynosiły $J_{HT} = 0,28$ i $0,41$ a dla zaprojektowanych wariantów dzianinowych zawierały się w przedziale $0,62 \div 0,93$.

Wariant	J_{HT}
K-IX-2w-PA/Bw''wał.-aźur''	0,93
R-III-2w-PAab/Bw''wał.''	0,62
K-VIII-2w-PA/Bw''wał.''	0,68

Również dla trzewików uzyskano poprawę mikroklimatu w obuwiu w stosunku do tradycyjnych wyrobów. Obliczone generalne wskaźniki jakości na podstawie szczegółowych wskaźników kryterialnych dla temperatury i wilgotności względnej dla trzewików z tradycyjnymi podszewkami wynosiły $0,19$ i $0,51$, a dla zaprojektowanych wariantów dzianinowych zawierały się w przedziale $0,60 \div 0,81$.

Wariant	J_{HT}
R-I-2w-PA/Bw	0,81
R-II-2w-PAab/Bw	0,62
K-VI-dyst.PA/mon.PA/PA''aźur''	0,60

Dla badanych rodzajów obuwia ocena przy użyciu generalnego wskaźnika jakości pokrywa się z uzyskanymi wskaźnikami mikroklimatu, zwłaszcza dla wskaźnika określającego stopień dyskomfortu w różnych obszarach wewnątrz obuwia.

Dokonano również analizy korelacyjnej (r) oraz rangowej Spearmana (R) dla wskaźników opartych na dyskomforcie, skali odczuć użytkowników testów i generalnym wskaźniku jakości. Uzyskano silne korelacje r w zakresie 0,85-0,95 oraz R rzędu 0,94.

5. WNIOSKI

1. W oparciu o uzyskane wyniki badań można stwierdzić, że poprawę własności fizjologiczno-higienicznych obuwia można uzyskać poprzez zastosowanie dwóch warstw w wyrobach tekstylnych; jednej o własnościach konduktywno-dyfuzyjnych usytuowanej bliżej ciała i drugiej sorpcyjnej przylegającej do cholewki oraz ażurowej konstrukcji tekstyliów zapewniającej drożność dla mediów biofizycznych: powietrza i pary wodnej.
2. Na podstawie nowych wskaźników do oceny własności fizjologicznych obuwia w odniesieniu do temperatury i wilgotności względnej w warunkach symulowanego użytkowania obuwia, możliwe jest uszeregowanie zastosowanych wewnętrznych elementów obuwia pod względem ich przydatności w niestacjonarnych warunkach użytkowania.
3. Z przeprowadzonych badań wynika, że dla badanego obuwia przy zastosowaniu tekstylnych materiałów wielowarstwowych, uzyskano poprawę mikroklimatu w obuwiu w stosunku do seryjnego obuwia z zastosowaniem typowych materiałów obuwniczych.
4. Uzyskano silną korelację wskaźnikowej oceny dyskomfortu obuwia (stworzonej na podstawie danych literaturowych i badań własnych), generalnym wskaźnikiem jakości oraz ocenami użytkowników. Potwierdza to zasadność stosowania wskaźników w odniesieniu do charakteryzowania mikroklimatu w obuwiu oraz na słuszność przyjętych założeń wskaźnikowej oceny jakości mikroklimatu w obuwiu.

LITERATURA

- [1] **Tailby S.:** Building in comfort, World Footwear XI/XII 1998 Vol. 12, nr 6, s. 15.
- [2] **Wilford A.:** Footwear comfort, World Footwear III/IV 2000 Vol. 13, No 5, s. 37.
- [3] **Tailby S.:** Comfort footwear, World Footwear III/IV 1997 Vol. 11, nr 2, s. 16.
- [4] **Wilson. M.:** Footwear breathability and sweat management, World Footwear I/II 1996 Vol. 8, nr 6, s. 67.
- [5] **Langmaier F.:** Hygiena a komfort obuté nohy, Kozarstvi 1990 R. 40 nr 12, s. 345.

- [6] **Kennedy J. E., Sweeney D.M.:** A study of the microclimate in footwear. Experimental design and statistical analysis, J. Amer. Leath. Chem. Ass. 1967 t. 2 nr 5 s. 310.
- [7] **Wilson. M.:** Comfort factor in footwear, World Footwear I/II 2001 Vol XV, nr 15, s. 19.
- [8] **Nachiappan C.** i in.: Komfort - das Schlagwort in Schuhindustrie, Schuhtechnik Int. 1994 R. 88 nr 1/2 s.19.
- [9] **Wilford A.:** New materials to enhance comfort, World Footwear III/IV 2000, Vol.14 No 2, s. 15.
- [10] **Langmaier F.** i in.: Wpływ właściwości materiałów obuwniczych na mikroklimat noszonego obuwia, Przegląd Skórzany XLIII 1988, nr 9, str. 260.
- [11] **Żyliński T.:** Metrologia Włókiennicza, Tom III, Warszawa 1969, WNT.

EFFECT OF MULTILAYER KNITTED FABRICS ON MICROCLIMATE IN FOOTWEAR

Summary

Research has been conducted on different modern multilayer knitted fabrics which might be applied inside footwear. Eleven alternative two and three layer textile materials were designed. Two different kinds of footwear were tested. The first ones were all plastic boots and the second ones were boots with leather upper. Research was concentrated on measuring the main factors of microclimate in the footwear. New indicators for assessing microclimate in footwear was been elaborated. The General Quality Factor, used for describing quality of textiles, has been adopted to evaluate and assess the quality of the footwear fabrics in dependence on its microclimate characteristic. The results of the research has shown that is possible to improve comfort of footwear by applying in it two-layer specially knitted fabrics with conductive-diffusion and sorption properties.

Leather Institute in Lodz