

ELŻBIETA MAKLEWSKA**Katedra Fizyki Włókna i Metrologii Włókienniczej
Politechnika Łódzka****PROJEKTOWANIE
WŁÓKNISTYCH WYROBÓW NIETKANYCH
PRZEZNACZONYCH NA WARSTWY
PRZECIWUDERZENIOWE****Promotor: prof. dr hab. inż. Izabela Krucińska****Recenzenci: doc. dr hab. inż. Jan Wojtysiak,
dr hab. inż. Krzysztof Kowalski, prof. PŁ**

W wyniku badań uzyskano materiał włóknisty, o strukturze przestrzennej, przeznaczony na warstwy przeciwuderzeniowe w ochroniaczach stosowanych w ubiorach i wyposażeniu ochronnym osób uprawiających sporty urazogenne. Materiał otrzymano w wyniku nowatorskiego zastosowania proekologicznych włókien kokosowych, o dużej zawartości ligniny oraz środka wiążącego z udziałem kopolimeru etylenu i octanu winylu z dodatkiem środków porotwórczych. materiał został zgłoszony pod nazwą Impactex w 2005 r. do Urzędu Patentowego jako projekt wynalazczy nr P-374169. Jego skuteczność w zakresie tłumienia energii uderzenia potwierdziły wyniki badań przeprowadzonych na stanowisku, służącym do oceny zdolności amortyzacji uderzenia ochroniaczy sportowych. Oryginalna konstrukcja stanowiska umożliwia taką ocenę przy jednoczesnym zastosowaniu dwóch metod badawczych. Została również zaproponowana nowatorska metoda oceny rozkładu siły pod ochroniaczem, podczas badań na stanowisku, wykorzystująca cienkościenne czujniki ciśnienia. Procedura badań ochroniaczy przeciwuderzeniowych przewiduje także możliwość porównania wytypowanych wskaźników z przyjętymi w literaturze biomechanicznej wybranymi kryteriami dla określania poziomu ludzkiej tolerancji na uszkodzenie danego obszaru ciała.

1. WPROWADZENIE

Narastający problem urazowości w sporcie, zarówno uprawianym rekreacyjnie jak i wyczynowo, nabiera z roku na rok coraz większego znaczenia. Wynika to ze skali tego zjawiska, przynoszącego w skali globalnej ogromne straty materialne i niemożliwe do oszacowania skutki społeczne. Corocznie na świecie aż 75 milionów ludzi ulega różnego rodzaju urazom „sportowym”, przy czym ponad 10% ginie lub doznaje trwałego inwalidztwa [1]. Statystyki dotyczące urazów w sporcie były między innymi powodem ogłoszenia przez Sekretarza Generalnego Organizacji Narodów Zjednoczonych, Koffi Annana lat 2000-2010 – dekadą profilaktyki urazów.

Podkreślenia wymaga fakt, że zdecydowana większość urazów powstaje u osób uprawiających sport w ramach rekreacji. Może to wynikać z braku prawidłowego przygotowania fizycznego tych ludzi, jak również z faktu, że sport rekreacyjny uprawia wielokrotnie więcej osób, niż sport wyczynowy. Przekrój dyscyplin, stanowiących najczęstsze przyczyny urazów, obejmuje szereg sportów. Obok, uznawanych za najbardziej „urazogenne”, sportów kontaktowych, takich jak: hokej, koszykówka, piłka nożna, piłka ręczna czy zapasy, na liście tej znalazły się również jazda konna, kolarstwo, narciarstwo, siatkówka i tenis.

Zgodnie z prawdą, że lepiej zapobiegać niż leczyć, wszelkie działania profilaktyczne w zakresie omawianej problematyki są bardzo istotne. Należy do nich stosowanie specjalistycznego wyposażenia ochronnego: kasków, ochraniaczy przeciwuderzeniowych, odzieży ochronnej. Skuteczność i wynikająca stąd potrzeba stosowania takiego wyposażenia została wielokrotnie potwierdzona raportami i badaniami medycznymi [9, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Przedmiotem rozważań niniejszej pracy jest analiza skuteczności tłumienia energii uderzenia.

2. CEL PRACY I ZAKRES BADAŃ

Głównym celem pracy było udowodnienie następującej tezy:

Zastosowanie technik włókninowych umożliwia wytworzenie warstw trójwymiarowych o podwyższonych właściwościach pochłaniania energii uderzenia i podwyższonej przepuszczalności powietrza przeznaczonych m.in. do produkcji ochraniaczy przeciwuderzeniowych w ubiorach ochronnych.

Realizacja celu wymagała podjęcia pracy badawczej obejmującej etapy.

1. Zaprojektowanie i budowa stanowiska badawczego, umożliwiającego przeprowadzenie badań, będącego głównym narzędziem wspomagającym proces projektowania włóknistych wyrobów nietkanych, przeznaczonych na warstwy przeciwuderzeniowe,
2. Opracowanie nowej procedury oceny właściwości dynamicznych badanego materiału w warunkach udarowych obciążeń ściskających, z uwzględ-

nieniem oceny równomierności rozkładu (dystrybucji) siły przekazanej pod próbkę,

3. Opracowanie założeń do technologii włóknistych wyrobów nietkanych przeznaczonych na warstwy przeciwuderzeniowe,
4. Zaprojektowanie optymalnej struktury wyrobu nietkanego przeznaczonego na warstwy przeciwuderzeniowe w jednym wybranym typie ubioru ochronnego, spełniającego wymagania odpowiedniej normy europejskiej w zakresie zdolności amortyzacji energii uderzenia.

3. METODYKA BADAŃ ZDOLNOŚCI AMORTYZACYJNYCH Z WYKORZYSTANIEM STANOWISKA DO BADAŃ UDAROWYCH

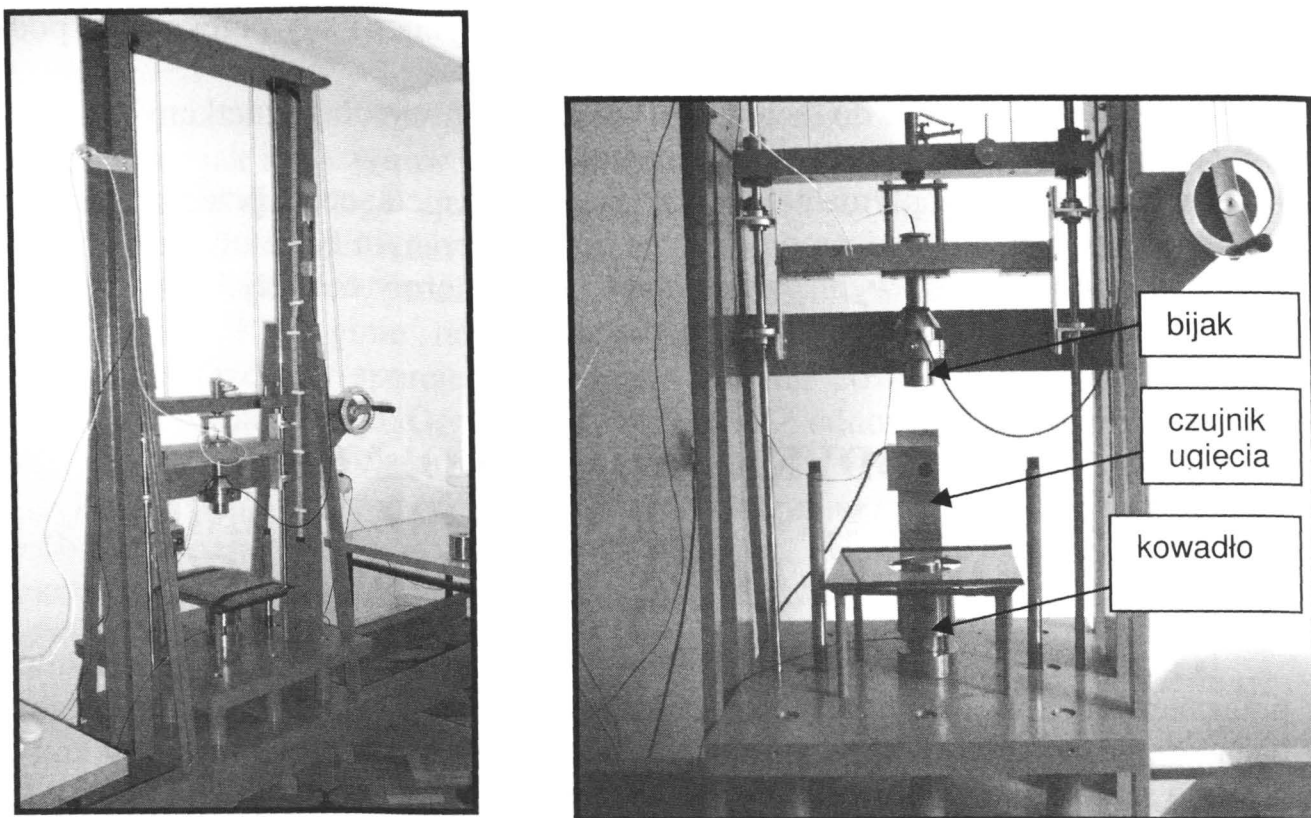
Na potrzeby prowadzenia badań właściwości amortyzacyjnych materiałów przeznaczonych na ochraniacze przeciwuderzeniowe, w tym również materiału badawczego przygotowanego w ramach niniejszej pracy, zaprojektowano i zbudowano stanowisko zrzutowe do badań udarowych.

3.1. Opis stanowiska do badań udarowych

Założenia do projektu konstrukcji stanowiska Impactest opracowane zostały w oparciu o metody badawcze opisane w normach opisujących badanie ochraniaczy sportowych.

- PN-EN 1621-1:1997 Odzież ochronna dla motocyklistów zabezpieczająca przed skutkami uderzeń mechanicznych. Część 1: Wymagania i metody badań dla ochron przeciwuderzeniowych.
- PN-EN 13158: 2001 Odzież ochronna – Kurtki ochronne, ochraniacze ciała i ochraniacze barków dla jeźdźców konnych – Wymagania i metody badań.
- ASTM F355-95 Metoda badawcza do określania zdolności amortyzowania energii udaru przez niektóre elementy wyposażenia obiektów sportowych.

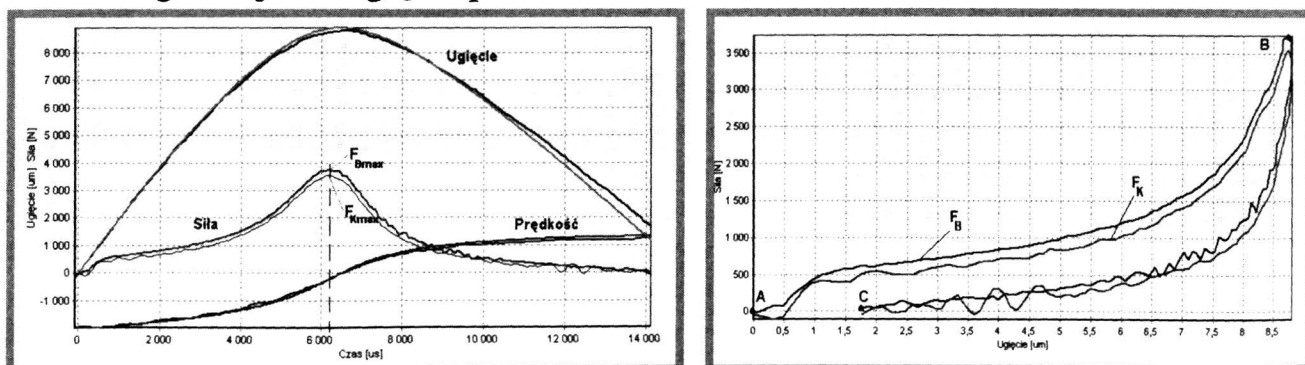
Metody badawcze opisane w tych normach opierają się na wykorzystaniu urządzenia zrzutowego (*ang. Drop Tower*). Działanie stanowiska polega na pionowym, swobodnym spadku bijaka, o określonej masie i energii kinetycznej, na próbkę umieszczoną na kowadle. Konstrukcja stanowiska umożliwia ocenę i badania porównawcze właściwości tłumieniowych badanych materiałów przy równoczesnym zastosowaniu dwóch różnych metod pomiarowych, opisanych w wybranych normach amerykańskich oraz w normach europejskich. Poniżej przedstawiono widok ogólny i widok części roboczej stanowiska badawczego (rys. 1).



Rys. 1. Widok ogólny i widok części roboczej stanowiska badawczego

Podczas uderzenia bijaka w próbkę rejestrowane są następujące wielkości fizyczne:

- opóźnienie bijaka, za pomocą akcelerometru zamontowanego wewnątrz bijaka; na podstawie opóźnienia bijaka, wyznaczana jest siła działająca na bijak (F_B);
- siła przekazana pod próbkę na kowadło (F_K), za pomocą zamontowanego w podstawie kowadła piezoelektrycznego czujnika siły;
- odkształcenie próbki (droga zagłębienia bijaka w próbkę), za pomocą laserowego czujnika ugięcia próbki.



Rys. 2. Ilustracja graficzna wyników badań prowadzonych na stanowisku badawczym – wykresy: ugięcia próbki, siły zarejestrowanej przy wykorzystaniu akcelerometru (F_B), siły zarejestrowanej za pomocą czujnika siły (F_K), prędkość bijaka

Wyniki badań charakteryzujące właściwości dynamiczne badanych materiałów przedstawiane są w formie raportu (18 parametrów) oraz wykresów czasowych siły, prędkości bijaka, ugięcia próbki oraz wykresu siły w funkcji ugięcia próbki – histerezy (rys. 2).

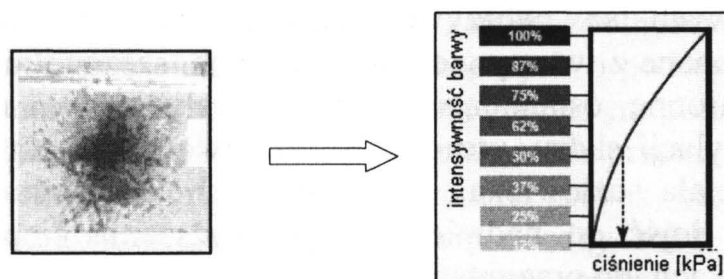
Próbki spełniają wymagania odpowiedniej normy europejskiej, jeżeli maksymalna wartość siły przekazanej, przy danej wartości energii uderzenia, nie przekracza wartości określonej w normie.

W pracy, do określania zdolności amortyzowania energii uderzenia przez ochroniacze, przyjęto średnią wartość siły maksymalnej wyznaczanej na podstawie wskazań akcelerometru. Wskazuje ona na wartość siły, jaka byłaby przekazana podczas takiego uderzenia, na osłaniany przez ochroniacz obszar ciała. Każda z próbek uderzana była w trzech różnych miejscach, przy czym badaniu poddawane były trzy próbki dla każdego rodzaju materiału.

3.2. Opis metodyki badań na stanowisku udarowym Impactest z zastosowaniem folii Pressurex®

Wyniki badań prowadzonych na stanowisku udarowym, dają obszerną charakterystykę dynamiczną badanego materiału, nie dostarczają jednakże informacji na temat dystrybucji siły przekazanej pod próbkę w zakresie pola powierzchni kontaktu próbki i kowadła. Tego rodzaju informacja ma szczególne znaczenie w przypadku badań ochroniaczy przeciwuderzeniowych. W celu określenia rozkładu ciśnienia wywołanego tą siłą, podczas badań prowadzonych na stanowisku badawczym, wykorzystano w pracy cienkościenne czujniki ciśnienia występujące w postaci folii, pod nazwą *Pressurex®* (USA).

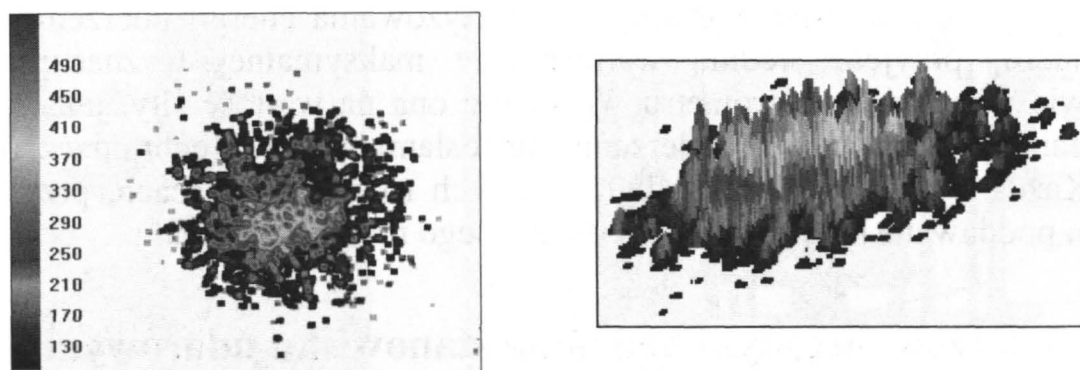
W wyniku uderzenia, folia *Pressurex®*, ułożona na kowadło – pod próbką, ulega zabarwieniu na kolor różowy. Intensywność koloru jest proporcjonalna do wartości zarejestrowanego ciśnienia wywołanego uderzeniem. Na podstawie wzorca intensywności zabarwienia, można wstępnie oszacować wartość tego ciśnienia (rys. 3).



Rys. 3. Oryginalny ślad uderzenia na folii *Pressurex®* po uderzeniu badanej próbki oraz wstępna ocena wartości ciśnienia wg wzorca intensywności barwy

Źródło: materiały informacyjne producenta *Sensor Products Company*

Monochromatyczny obraz na folii Pressurex[®], ślad po uderzeniu przedstawiony na rys. 3 wysyłany jest do producenta folii, gdzie obraz jest poddany procesowi obróbki cyfrowej za pomocą program komputerowego Topaq Advanced Analysis System[®]. W wyniku tej obróbki otrzymujemy dwu- i trójwymiarowy wielobarwny obraz rozkładu ciśnienia na powierzchni kontaktu próbka – kowadło (rys. 4).



Rys. 4. Cyfrowy obraz dwu- i trójwymiarowy oryginalnego śladu uderzenia

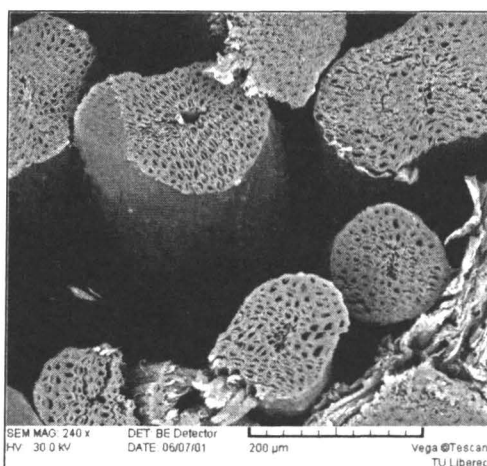
Obrazy te pozwalają na zidentyfikowanie miejsc, gdzie ciśnienie przyjmuje najwyższe wartości. Program Topaq pozwala również na uzyskanie szeregu innych, dodatkowych informacji dotyczących pola powierzchni kontaktu, które mogą doskonale uzupełniać wyniki badań udarowych i mogą być wykorzystane przy optymalizacji konstrukcji ochraniaczy przeciwuderzeniowych.

4. OPRACOWANIE TECHNOLOGII WYTWARZANIA WŁÓKNIN KOKOSOWYCH O PODWYŻSZONEJ ZDOLNOŚCI AMORTYZOWANIA ENERGII UDERZENIA

Podstawowym surowcem stosowanym zwykle do produkcji ochraniaczy przeciwuderzeniowych są tworzywa elastomerowe. Ochraniacze przeciwuderzeniowe wykonane z tworzyw elastomerowych, szczególnie te wbudowane w kamizelki ochronne osłaniające szczelnie cały tułów, nie umożliwiają prawidłowej wentylacji skóry, utrudniając odprowadzanie potu i pary wodnej z powierzchni ciała człowieka. W sytuacjach podwyższonego wysiłku fizycznego może dojść do nadmiernego podwyższenia ciepłoty ciała, a w skrajnych przypadkach, do przegrzania organizmu.

Podjęto badania zmierzające do opracowania oryginalnego materiału z wykorzystaniem technik włókienniczych. Przy wyborze optymalnej technologii zwrócono uwagę na nietkane wyroby z włókien kokosowych, które zawierają w swojej strukturze przestrzenie powietrzne wynikające z wielokierunkowego

ułożenia włókien oraz ze specyficznej budowy wewnętrznej samych włókien posiadających wypełnione powietrzem lumeny (rys. 5). Znajdując analogie w budowie strukturalnej materiałów elastomerowych i nietkanych wyrobów z włókien kokosowych założono, że wyroby kokosowe powinny mieć dobre własności amortyzowania energii uderzenia przy zachowaniu wysokiej zdolności przepuszczalności powietrza i niskiej masy właściwej.



Rys. 5. Przekrój poprzeczny włókien kokosowych

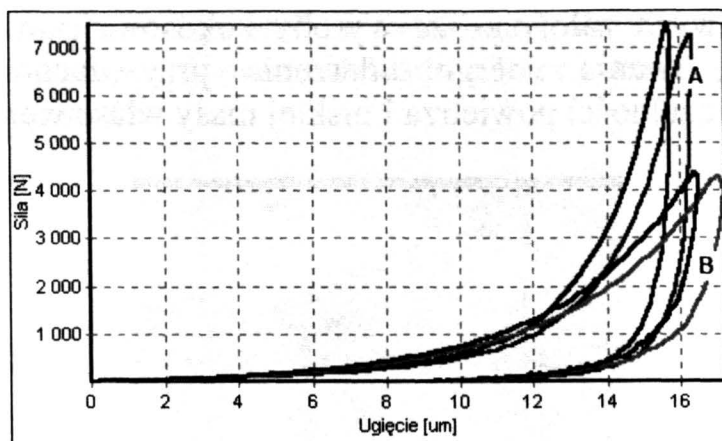
Ponadto włókna kokosowe są higroskopijne, wchłaniają wilgoć i pot, dzięki czemu możliwe jest odprowadzenie pary wodnej z powierzchni ciała do warstwy zewnętrznej pakietu włókienniczego, poprzez zastosowanie między powierzchnią ciała człowieka a włókniną kokosową, warstwy materiału np. z włókien polipropylenowych.

Biorąc pod uwagę powyżej przedstawione przesłanki, w niniejszej pracy założono możliwość opracowania technologii wytwarzania materiału włókninowego, o podwyższonej zdolności amortyzowania energii uderzenia, którego podstawowymi surowcami będą włókna kokosowe oraz odpowiednio dobrany środek wiążący z grupy elastomerów mikroporowatych. Środek wiążący powinien charakteryzować się wyższą zdolnością amortyzowania energii aniżeli stosowany w obecnie produkowanych włókninach kokosowych lateks – środek wiążący o dużej sprężystości i małej zdolności tłumienia.

Technologia wytwarzania włóknin kokosowych o podwyższonej zdolności amortyzowania energii uderzenia opracowana została na podstawie technologii otrzymywania włóknin z włókien kokosowych metodą przemysłową.

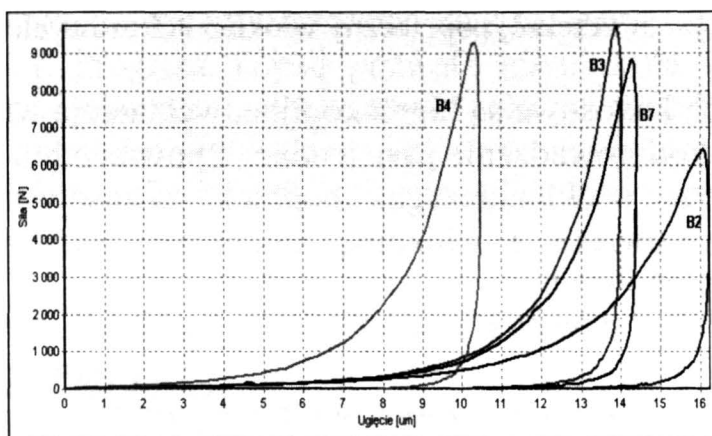
Zgodnie z ustaloną technologią wykonywania próbek, przygotowano szereg próbek włóknin kokosowych, różniących się między sobą jakością włókien, rodzajem środka wiążącego i strukturą. Wybór rodzaju włókien i środka wiążącego, dokonywany był na podstawie rezultatów badań udarowych, oceniających zdolności amortyzacji energii uderzenia, pozwalających wyselekcjonować materiał o największej zdolności tłumienia. Wskaźnikiem zdolności amortyzacji energii uderzenia była, zgodnie z zaleceniem

odpowiednich norm europejskich, średnia wartość maksymalnych wartości siły F_{\max} przekazanej pod badaną próbkę podczas uderzenia.



Rys. 6. Ilustracja graficzna wyników dla próbki A (runo z włókien Mattress) i próbki B (runo z włókien Omat) przy energii uderzenia 15 J

Źródło: opracowanie własne



Rys. 7. Ilustracja graficzna przykładowych wyników badań dla próbek mat włóknistych z udziałem różnych rodzajów środków wiążących przy energii uderzenia 15 J

Źródło: badania własne

Wyniki badań porównawczych próbek runa włókien kokosowych, różniących się między sobą jakością (rys. 6) oraz próbek włókniny kokosowej wykonanych z tego samego rodzaju włókna i różnych środków wiążących (rys. 7), pozwoliły na wytypowanie do dalszych badań wyrobu charakteryzującego się najwyższą zdolnością amortyzowania energii uderzenia, czyli wyrobu nietkanego z udziałem włókien kokosowych typu Omat oraz środka wiążącego – dyspersji wodnej kopolimeru etylenu z octanem winylu z dodatkiem środków porotwórczych. Istotność różnic między wartościami sił maksymalnych dla poszczególnych próbek zweryfikowano przy użyciu testu t-Studenta. Test wykazał, że na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, nie ma podstaw do

przyjęcia hipotezy zerowej zakładającej równość wartości średnich sił – wyników badań próbek.

Opracowany w ramach niniejszej pracy włókienniczy wyrób nietkany został zgłoszony jako projekt wynalazczy pod nazwą IMPACTEX, do Urzędu Patentowego RP. Numer zgłoszenia P 374169 (dn.05.04.2005).

5. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ WPLYWU STRUKTURY MATERIAŁU IMPACTEX NA JEGO WŁAŚCIWOŚCI AMORTYZACYJNE

Analiza statystyczna wyników badań udarowych próbek materiału Impactex, o zróżnicowanym udziale wagowym poszczególnych składników: włókien i środka wiążącego wykazała, iż zdolności tłumienia obu składników są zbliżone i nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o równości średnich wartości sił – wyników badań poszczególnych próbek. Biorąc pod uwagę konieczność zapewnienia niezbędnej wytrzymałości mechanicznej wzajemnych powiązań włókien, zakładając poprawność receptury stosowanej przez doświadczonego producenta mat kokosowych ENKEV Polska SA, proporcję 50/50% przyjęto jako najbardziej optymalny udział wagowy włókna i środka wiążącego w wytwarzanych matach klejonych. Niższy udział środka wiążącego nie jest zalecany ze względu na zbyt małą ilość powiązań między włóknami wynikających z jego obecności oraz możliwości wzajemnego przesuwania się włókien, co mogłoby prowadzić do trwałych odkształceń podczas użytkowania wyrobu gotowego. W tej sytuacji w dalszych badaniach opisywanych w niniejszej pracy, rozważane były próbki Impactex o składzie 50/50%.

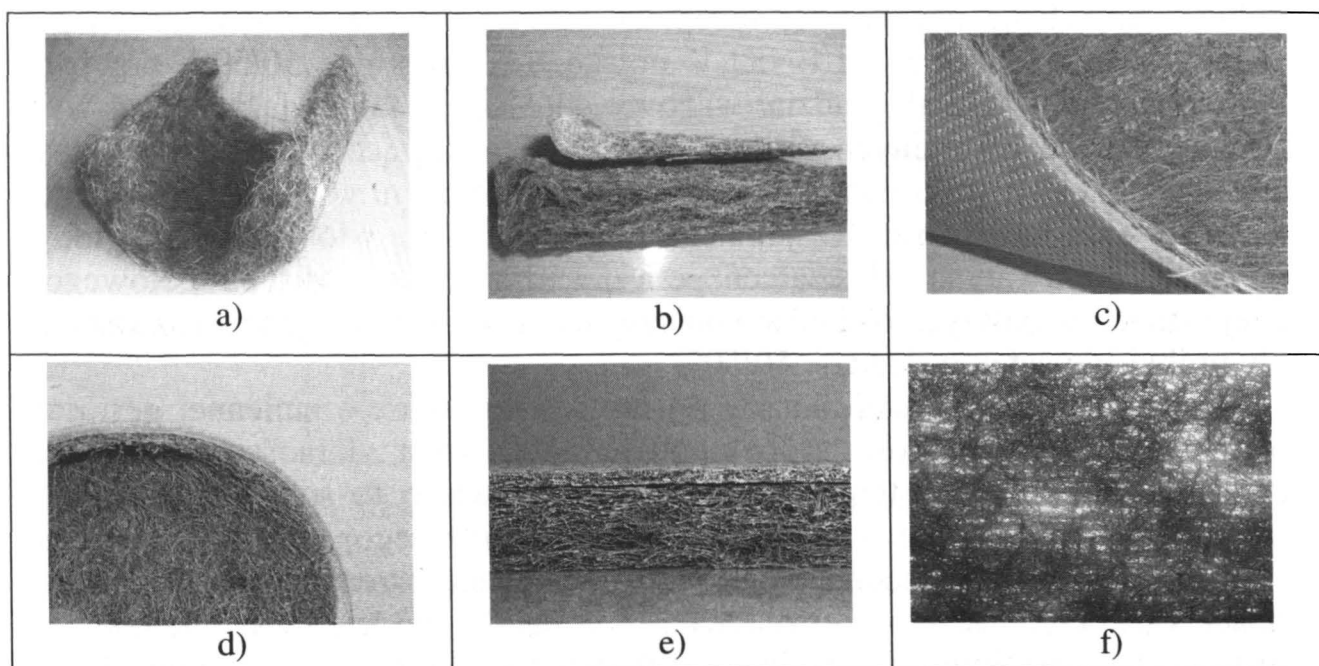
Analiza wyników badań udarowych próbek Impactex o zmiennej gęstości pozornej i zbliżonej grubości próbek potwierdziła wzrost zdolności amortyzacji uderzenia wraz ze wzrostem gęstości próbki. Zjawisko to spowodowane jest większą ilością włókien i powiązań środka wiążącego, biorących udział w rozpraszaniu energii uderzenia. Biorąc pod uwagę przeznaczenie materiału Impactex na ochraniacze przeciwuderzeniowe, należy zwrócić uwagę na fakt, że wzrost gęstości włókniny spowoduje zwiększenie jej sztywności oraz powiększy masę właściwą. Natomiast niższa gęstość włókniny oznacza lepszą układalność ochraniaczy i możliwość dostosowywania ich kształtów do kształtu osłanianego obszaru ciała, skutkuje także obniżeniem masy właściwej ochraniaczy.

Przeprowadzone badania zależności zdolności tłumienia w zależności od grubości próbki (w zakresie 4÷32 mm) wykazały, że wraz ze wzrastającą grubością próbki, zarejestrowane podczas badania wartości siły maksymalnej gwałtownie maleją, by po przekroczeniu określonej grubości próbki, ustalić się na pewnym poziomie. Oznacza to, że zdolności tłumienia włókniny kokosowej wzrastają progresywnie wraz z rosnącą grubością próbki. Po

przekroczeniu określonej wartości grubości, wzrost zdolności do tłumienia jest już nieznaczny.

Porównanie wyników badań włókniny igłowanej i nieigłowanej wykazało, że wraz ze wzrostem ilości przeigłowań próbki rośnie jej zdolność amortyzacji energii uderzenia. Jednakże, rozważając włókniny: kokosową klejoną i igłowaną w aspekcie możliwości zastosowania ich w ochraniaczach przeciwuderzeniowych, należy zwrócić uwagę na fakt, że zastosowanie mat kokosowych igłowanych na ochraniacze przeciwuderzeniowe w ubiorach ochronnych jest utrudnione ze względu na ograniczenia technologii igłowania. Technologia mat klejonych daje szersze możliwości projektowania właściwości tłumieniowych włókniny kokosowej poprzez dobór dowolnej grubości i gęstości wyrobu, a także poprzez możliwość formowania, podczas procesu produkcyjnego, kształtów przestrzennych wyrobów gotowych oraz możliwość modyfikowania wyrobów finalnych w kontekście ich ewentualnych zastosowań na warstwy przeciwuderzeniowe w ubiorach ochronnych.

Poniższe zdjęcia (rys. 8) ilustrują przykładowe możliwości modyfikowania wyrobów finalnych.



Rys. 8. Zdjęcia przedstawiające przykładowe wersje klejonych mat kokosowych i ich modyfikacje

6. KAMIZELKA JEŹDZIECKA JAKO PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA MATERIAŁU IMPACTEX

Przykładem zastosowania materiału Impactex jest opracowana w ramach niniejszej pracy kamizelka jeździecka z wymiennymi elementami przeciwuderzeniowymi, umieszczonymi w specjalnie do tego przeznaczonych kieszeniach. Przygotowano dwa zestawy ochraniaczy przeciwuderzeniowych. Jedne wykonane z pianki poliuretanowej, stosowane w kamizelkach jeździeckich dostępnych w handlu, drugie – wykonane z włókniny kokosowej: Impactex. Kształt, pole powierzchni elementów elastomerowych i elementów z materiału Impactex były zbliżone. Wierzchnia warstwa kamizelki została wykonana z tkaniny elanobawełnianej, natomiast spodnia – z tkaniny podszewkowej. Poniższe zdjęcia przedstawiają kamizelkę jeździecką opracowaną w ramach niniejszej pracy.



Rys. 9. Widok opracowanej kamizelki jeździeckiej

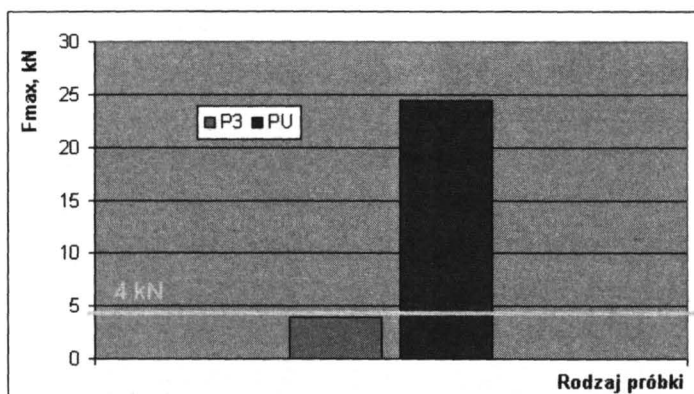
Obydwie wersje kamizelek poddano badaniom przepuszczalności powietrza, a następnie badaniom udarowym na stanowisku Impactest. Wyniki badań przepuszczalności powietrza wykazały, że wkłady poliuretanowe praktycznie nie przepuszczają powietrza w ogóle, natomiast kamizelka z wkładami z włókniny kokosowej powietrze przepuszcza, aczkolwiek bardzo istotną rolę w przewiewności kamizelki odgrywa obecność i rodzaj tkaniny osłaniającej wkłady przeciwuderzeniowe.

Elementy kamizelki jeździeckiej poddano badaniom udarowym, zgodnie z procedurą opisaną w niniejszej pracy i z uwzględnieniem wymagań normy PN-EN 13158:2002. Wyniki badań zamieszczono w tabeli 1 oraz przedstawiono na wykresach (rys. 10 i rys. 11). Różnice między wartościami sił maksymalnych dla obu rodzajów ochraniaczy potwierdzono za pomocą testu t-Studenta. Test wykazał, że na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, nie ma podstaw do przyjęcia hipotezy zerowej zakładającej równość średnich wartości sił maksymalnych dla obu rodzajów ochraniaczy.

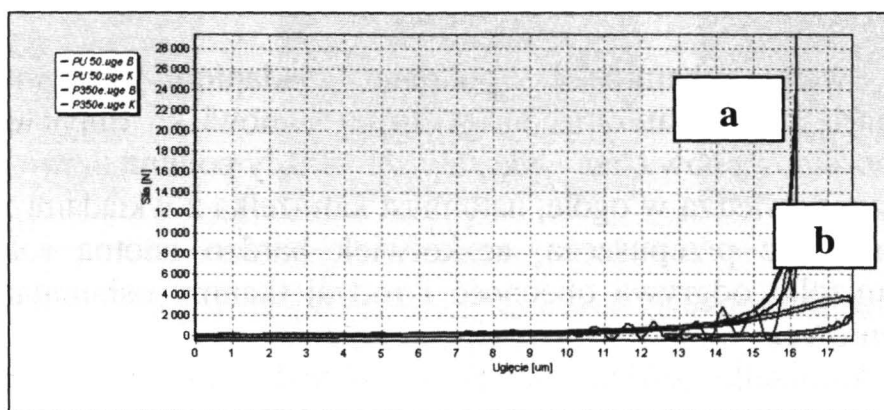
Tabela 1

Budżet wyników badań udarowych elementów kamizelki jeździeckiej wkładami z włókniny kokosowej P3 i kamizelki z pianką poliuretanową PU

Energia uderzenia bijaka	Rodzaj próbki ^{*)}	Siła max F_{Bmax}	Niepełność standardowa typu A	Względna niepewność standardowa typu B	Niepełność standardowa typu B	Niepełność złożona	Niepełność rozszerzona $U=k*u_c(y)$	Wynik pomiaru
			$u_{A(y)}$	$u_B(y)/y$	$u_B(y)$	$u_c(y)$	U	$Y=(y\pm U)$
J		kN	kN		kN	kN	kN	kN
l	2	3	4	5	6	7	8	9
20	P3	3,89	0,16	0,008	0,03	0,16	0,7	(3,9±0,7)
	PU	24,51	0,26	0,008	0,19	0,32	0,3	(24,5±0,3)



Rys. 10. Ilustracja wyników badań udarowych elementów kamizelki jeździeckiej na stanowisku Impactest, Linia żółta oznaczono wartość siły, określoną w normie PN-EN 13158:2002, jako maksymalna wartość siły przekazanej, po przekroczeniu której, badany wyrób jest kwalifikowany jako nie spełniający wymagań normy



Rys. 11. Przykładowa ilustracja wyników badań udarowych kamizelek jeździeckich dla energii uderzenia 20 J. Zestawienie histerez: a) poliuretan PU, b) materiał Impactex P3

W badaniach uwzględniono ocenę kamizelki w aspekcie kryterium ustalonym w normie PN-EN 13158:2002 dla poziomu ochrony I, gdzie dla ochraniaczy

obszaru tułowia, średnia z wartości sił maksymalnych zarejestrowanych na stanowisku do badań uderowych, przy energii uderzenia 20J nie powinna przekraczać 4 kN, natomiast pojedyncze wyniki badań nie powinny przekraczać 6 kN. Jak wynika z rezultatów badań kamizelki, średnia wartość siły przekazanej dla energii uderzenia 20 J dla ochraniaczy z materiału Impactex wynosi 3,89 kN, natomiast dla ochraniaczy z tworzywa poliuretanowego przekracza 24 kN. Stąd można przyjąć, że kamizelka z ochraniaczami z materiału włóknistego spełnia wymagania normy PN-EN 13158:2002, w zakresie amortyzowania energii uderzenia, dla poziomu ochrony I. Zastosowany tutaj rodzaj ochraniaczy z materiału włóknistego amortyzuje energię uderzenia lepiej, aniżeli ochraniacze z pianki poliuretanowej, w które wyposaża się większość kamizelek jeździeckich dostępnych w handlu. Dodatkowo ochraniacze z materiału włóknistego umożliwiają przepływ powietrza. Proponowany materiał włóknisty należy traktować jako materiał alternatywny.

7. WNIOSKI

1. Zaproponowane w pracy oryginalne rozwiązanie konstrukcyjne stanowiska do badań uderowych umożliwia przeprowadzenie pełnej analizy zdolności do tłumienia badanych materiałów.
2. Opracowanie specyficznej procedury badań na stanowisku zrzutowym oraz nowej metody oceny zdolności amortyzacyjnych przy wykorzystaniu cienkościennych czujników ucisku Pressurex Film, poszerza stosowaną dotąd metodykę badania właściwości absorbowania energii w warunkach udaru, przydatną szczególnie w przypadku badania takich ochraniaczy, gdzie zastosowano warstwę odbojną o podwyższonej sztywności i zakrzywionej powierzchni czołowej w celu obniżenia wartości siły przekazanej.
3. W wyniku nowatorskiego zastosowania proekologicznych włókien kokosowych o dużej zawartości lignin oraz środka wiążącego z udziałem kopolimeru etylenu i octanu winylu z dodatkiem środków porotwórczych, o innej charakterystyce niż stosowany obecnie lateks, otrzymano produkt o podwyższonej zdolności amortyzowania energii stanowiący alternatywny wyrób do zastosowań na warstwowe pakiety przeciwuderzeniowe o różnym stopniu ochrony. Opracowany materiał, pod nazwą Impactex, został zgłoszony w kwietniu 2005 r. do Urzędu Patentowego jako projekt wynalazczy nr P-374169.
4. Zdolność amortyzacji energii materiału Impactex rośnie wraz ze wzrostem jego gęstości i grubości. Rozważając aspekt zastosowania materiału Impactex na ochraniacze przeciwuderzeniowe, należałoby podkreślić, że nadmierny wzrost gęstości i grubości włókniny spowoduje zwiększenie jej sztywności, masy i obniżenie jej przewiewności, a tym samym wpłynie na obniżenie komfortu użytkownika wyrobów gotowych. Stąd parametry włókniny kokosowej należy dobierać w sposób kompromisowy, biorąc pod uwagę oczeki-

wania przyszłego użytkownika. W tej sytuacji jednym z kryteriów w doborze odpowiednich parametrów włókniny powinien być maksymalny ciężar ubioru ochronnego wraz z ochraniaczami przeciwuderzeniowymi nie przekraczający 2% masy ciała użytkownika.

5. Przeprowadzone w ramach niniejszej pracy badania udarowe runa igłowego wskazały na wzrost zdolności do tłumienia wraz ze wzrostem liczby przeigłowań oraz na możliwość kształtowania tych właściwości poprzez zmieniającą się liczbę przeigłowań. Wynika stąd, że aby polepszyć właściwości materiału Impactex, celowym byłoby poprzedzenie procesu klejenia runa przeznaczonego na ochraniacze przeciwuderzeniowe, wstępnym przeigłowaniem tego runa.
6. Opracowane materiały mogą znaleźć zastosowanie nie tylko w odzieży ochronnej, lecz także, i to na znacznie szerszą skalę, w przemyśle obuwniczym na wkładki komfortowe i ortopedyczne do obuwia, mające na celu eliminowanie mikrowstrząsów, na które narażeni są użytkownicy obuwia w trakcie chodzenia.

LITERATURA

- [1] **Garlicki J. i in.:** Urazy sportowe u progu trzeciego tysiąclecia, *Medycyna Sportowa* 1/2001, nr 114, Rok 17, s. 3-4.
- [2] **Pościk A.:** Zastosowanie środków ochrony indywidualnej podczas uprawiania wybranych dyscyplin sportowych, *Bezpieczeństwo Pracy* 2/2006, s. 22-26.
- [3] **Mills N.J., Gilchrist A.:** Body Protectors for Horse-Riders, *International Research Council on Biokinetic of Impacts Conference Proceedings*, Sept. 1990, Lyons, France.
- [4] **Otte D., Middelhaue V.:** Quantification of Protective Effects of Special Synthetic Protectors in Clothing for Motorcyclists, *IRCOBI 1987*, Birmingham.
- [5] PN-EN 13158:2002 *Odzież ochronna – Kurtki ochronne, ochraniacze ciała i ochraniacze barków dla jeźdźców konnych. Wymagania i metody badań.*
- [6] **Pedder J.B., Newman J.A.:** After Helmets – Is There Anything Else?, *Proc. of IRCOBI Conference*, Birmingham,(UK), 1987, 43-50.
- [7] **Aldman B, Kajzer J et al.:** The protective effect of specially designed suit for motorcyclists, *X International Conference on Experimental Safety Vehicles*, Oxford, England, July 1-4, 1985.
- [8] **Dziak S. Tayara:** *Urazy i uszkodzenia w sporcie*, Kraków 2000 , wydanie I.

DESIGNING OF NONWOVENS FIBROUS PRODUCTS DESIGNED FOR SCHOCK ABSORBING LAYERS

Summary

As the results of dissertation it has been developed a nonwovens fibrous material with spatial structure, designed for schock absorbing layers in impact protectors used in sports protective equipment. In this material, it was used the pro-eco coir rich in lignin and the binding agent – the water dispersion of ethyl-vinyl acetate copolymer with porogenic addition.

The developed material has been registered at the Polish Patent Office in 2005 as the invention project no. P-374168. The measuring of damping ability of the tested samples was carried out with the use of newly designed test stand of Drop Tower type. An innovatory method of damping ability estimation with use of pressure sensors Pressurex Film was also proposed. The procedure of testing includes the possibility of comparing the test results with selected criteria approved in biomechanics literature to define the level of human injury tolerance.

Technical University of Lodz