

Polietylenowy wyrób arkuszowy charakteryzuje się bardzo wysoką pracą dezintegracji. Cecha ta ulega zwielokrotnieniu w miękkich wkładach kamizelek kuloodpornych, ponieważ wkłady te są multiwarstwową kompozycją powstającą na bazie polietylenowego wyrobu arkuszowego. Tym samym odpady powstające przy konfekcjonowaniu kamizelek są również wielowarstwowymi kompozycjami polietylenowego wyrobu arkuszowego i posiadają ich budowę oraz specyficzne właściwości. Próby rozdrobnienia przedmiotowych odpadów na znanych maszynach nie powiodły się. Wysoka koncentracja energii cieplnej w miejscach rozrywania tworzywa i niedostateczne przewodnictwo ciepłe narzędzi realizujących proces powodowały wzrost ich temperatury, uplastycznianie się polimeru i zaklejanie mechanizmów nożowych, co prowadziło do zatrzymania i unieruchomienia maszyny, a nawet jej awarii.

W związku z tym zagadnienie to wymagało poznania i zbadania od podstaw. Wiązało się to z koniecznością opracowania nowego agregatu rozdrabniającego do tego specyficznego rodzaju wielowarstwowych odpadów włókienniczych.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2009 jako projekt badawczy rozwojowy.

Literatura

1. Andrzej Moraczewski, Marek Wiśniewski, Jan Wojtysiak, *Recykling tekstyliów, Przegląd – WOS*, 2007 r., nr 4, s. 51-52
2. Andre Wouters, Piotr Kwiecień, (DSM High Performance), *Tworzywo Dyneema w zastosowaniach balistycznych*, „Techniczne Wyroby Włókiennicze”, 1996 r., nr 4, s. 118-121
3. M. J. N. Jacobs, J. L. J. van Dingenen, *Ballistic protection mechanisms in personal armour*, „Journal of Materials Science”, 2001, No 36, 3137-3142
4. Jadwiga Polak, *Kamizelki kuloodporne z Dyneemy*, „Techniczne Wyroby Włókiennicze”, 1997 r., nr 1 s. 5-9
5. www.dsm.com
6. Krystyna Czaja, *Poliolefiny*, WNT, Warszawa 2005
7. *Dyrektywa Ramowa w sprawie odpadów (75/442/EEC, skodyfikowana 2006/12/EC)*
8. *Dyrektywa w sprawie składowania odpadów (1999/31/EC)*
9. *Dyrektywa w sprawie spalania odpadów (2000/76/EC)*
10. *Dyrektywa w sprawie odpadów opakowaniowych (94/62/EC)*
11. Andrzej Moraczewski, Marek Wiśniewski, Jan Wojtysiak, *Recykling odpadów i zużytków tekstylnych*, *Recykling*, 2006 r., nr 1, s. 16-18
12. *Praca zbiorowa pod redakcją Marka Kozłowskiego: Recykling tworzyw sztucznych w Europie*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2006
13. *Praca zbiorowa pod redakcją prof. dr hab. Andrzeja K. Błędzkiego, Recykling materiałów polimerowych*, WNT, Warszawa 1997
14. *Praca zbiorowa pod redakcją dr hab. inż. Józefa T. Haponiuka: Tworzywa sztuczne w praktyce*, Verlag Dashofer, Warszawa 2008

Projektowanie włóknistych wyrobów nietkanych, przeznaczonych na warstwy przeciwuderzeniowe

Elżbieta Maklewska

Instytut Technologii Bezpieczeństwa „Moratex”, Łódź

Wprowadzenie

Narastający problem urazowości w sporcie, zarówno uprawianym tak rekreacyjnie jak i wyczynowo, nabiera z roku na rok coraz większego znaczenia. Wynika to z zakresu 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% z nich ginie lub doznaje trwałego inwalidztwa. Statystyki dotyczące urazów w sporcie były, między innymi powodem ogłoszenia przez Sekretarza Generalnego Organizacji Narodów Zjednoczonych, Koffi Annana dekady 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.

Przedmiotem rozważań niniejszej pracy jest analiza skuteczności tłumienia energii uderzenia przez opracowane w ramach pracy materiały włókiennicze.

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 następujące etapy:

1. Zaprojektowanie i budowa stanowiska badawczego umożliwiającego przeprowadzenie badań zdolności amortyzacji uderzenia, stanowiącego główne narzędzie wspomagające procesy decyzyjne przy projektowaniu włóknistych wyrobów nietkananych przeznaczonych na warstwy przeciwuderzeniowe,

2. Opracowanie nowej procedury oceny właściwości dynamicznych badanego materiału w warunkach udarowych obciążeń ściskających, z uwzględnieniem oceny równomierności rozkładu (dystrybucji) siły przekazanej pod próbkę,

3. Opracowanie założeń do technologii włóknistych wyrobów nietkananych 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.

Metodyka badań zdolności amortyzacyjnych z wykorzystaniem stanowiska do badań udarowych

Dla potrzeb 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. Stanowisko powstało w Instytucie Technik i Technologii Dziewiarskich TRICOTEXTIL w Łodzi (obecnie Instytut Włókiennictwa). Nadano mu nazwę Impactest.

Opis stanowiska do badań udarowych

Założenia do projektu konstrukcji stanowiska opracowane zostały w oparciu o metody badawcze opisane w następujących, opisujących badania ochraniaczy sportowych, normach:

- 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.

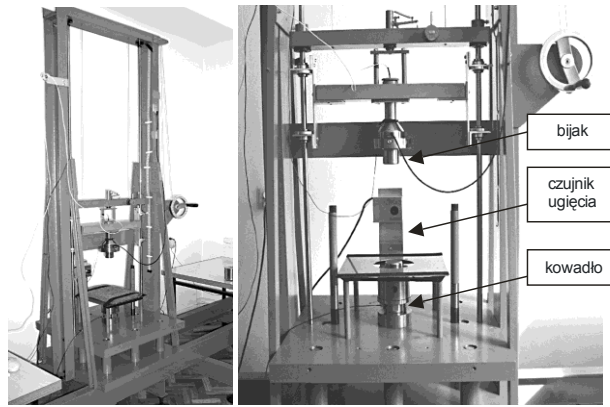
Metody badawcze opisane w tych normach opierają się na wykorzystaniu urządzenia zrzutowego (*ang. Drop Tower*). Działanie takiego stanowiska polega na pionowym, swobodnym spadku bijaka, o określonej masie i energii kinetycznej, na próbkę umieszczoną na kowadło. Poniżej przedstawiono widok ogólny i widok części roboczej stanowiska badawczego (rys.1).

W trakcie badań, podczas uderzenia bijaka w próbkę rejestrowane są następujące wielkości fizyczne:

- opóźnienie bijaka, przy pomocy akcelerometru zamontowanego wewnątrz bijaka. Na podstawie opóźnienia bijaka, wyznaczana jest siła działająca na bijak (F_B).

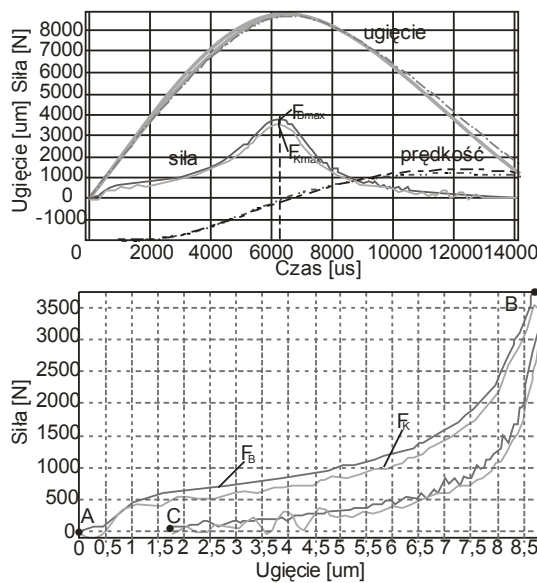
- siła przekazana pod próbkę na kowadło (F_K), przy wykorzystaniu zamontowanego w podstawie kowadła piezoelektrycznego czujnika siły.

- odkształcenie próbki (droga zagłębienia bijaka w próbkę), przy pomocy laserowego czujnika ugięcia próbki.



Rys. 1. Widok ogólny i widok części roboczej stanowiska badawczego [9]

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).



Rys. 2. Ilustracja graficzna wyników badań prowadzonych na stanowisku badawczym – wykresy: ugięcia próbki, siły zarejestrowanej przy wykorzystaniu akcelerometru (F_B), siły zarejestrowanej przy pomocy czujnika siły (F_K), prędkość bijaka [9]

Próbki spełniające wymagania odpowiedniej normy europejskiej to te, dla których maksymalna wartość siły przekazanej, przy danej wartości energii uderzenia, nie przekracza wartości określonej w normie.

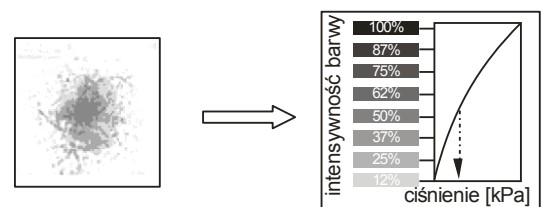
W pracy, do określania zdolności amortyzowania energii uderzenia przez ochroniacz, przyjęto średnią wartość siły maksymalnej wyznaczanej na podstawie wskazań akcelerometru. Wskazuje ona na wartość siły, jaka byłaby przekazana podczas takiego uderzenia, na osłaniany przez ochroniacz obszar

ciała. Każda z próbek uderzana była w trzech różnych miejscach, przy czym badaniu poddawane były po trzy próbki dla każdego rodzaju materiału.

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).

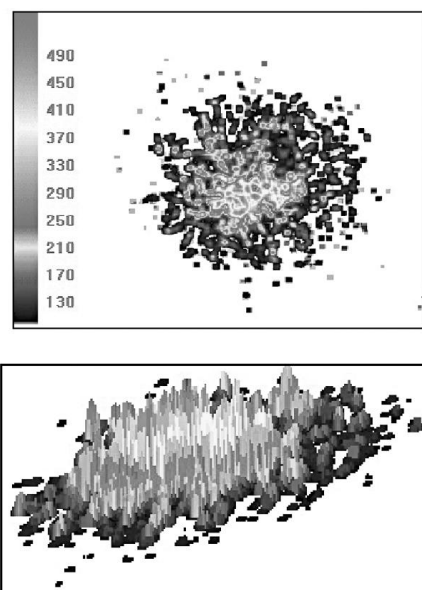
W wyniku uderzenia, folia Pressurex®, ułożona na kowadło, pod próbką, ulega zabarwieniu na kolor różowy. Intensywność koloru jest proporcjonalna do wartości zarejestrowanego ciśnienia wywołanego uderzeniem. Na podstawie wzorca intensywności zabarwienia, można wstępnie oszacować wartość tego ciśnienia (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) [10]

Monochromatyczny obraz na folii Pressurex®, ślad po uderzeniu przedstawiony na rys. 3 wysyłany jest do producenta folii, gdzie obraz jest poddany procesowi obróbki cyfrowej przy pomocy 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).



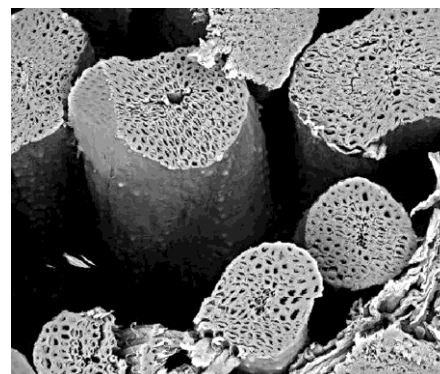
Rys. 4. Cyfrowy obraz dwu- i trójwymiarowy oryginalnego śladu uderzenia [10]

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 ochroniaczy przeciwuderzeniowych.

Opracowanie technologii wytwarzania włókien kokosowych o podwyższonej zdolności amortyzowania energii uderzenia

Podstawowym surowcem stosowanym zwykle do produkcji ochroniaczy przeciwuderzeniowych są tworzywa elastomerowe. Ochroniacze 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. Dlatego też 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 lub poliestrowych.

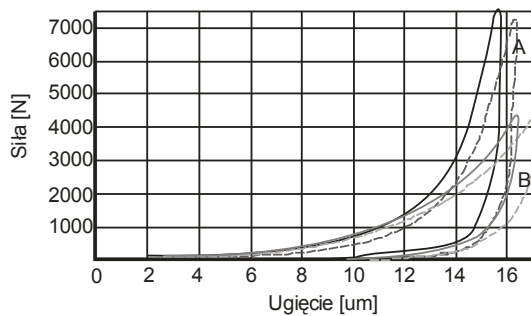
Biorąc pod uwagę powyżej przedstawione przesłanki, w pracy założono możliwość opracowania technologii wytwarzania materiału włókiennego, o podwyższonej zdolności amortyzowania energii uderzenia, którego podstawowymi surowcami będą włókna kokosowe oraz odpowiednio dobrany środek wiążący z grupy elastomerów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

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

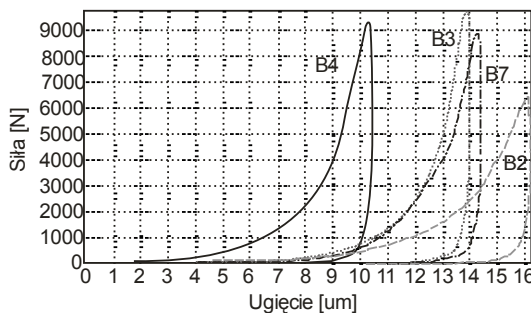
Zgodnie z ustaloną technologią wykonywania próbek, przygotowano szereg próbek włóknin kokosowych, różniących się między sobą jakością włókien, rodzajem środka wiążącego i strukturą. Wybór rodzaju włókien i środka wiążącego, dokonywany był na podstawie rezultatów badań udarowych, oceniających zdolności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

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 ten wykazał, że na poziomie istotności $\alpha=0,05$ nie ma podstaw do przyjęcia hipotezy zerowej zakładającej równość wartości średnich sił – wyników badań próbek.



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 15J (Źródło: badania własne)

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)

Analiza wyników badań wpływu struktury materiału impactex na jego właściwości amortyzacyjne

Analiza statystyczna wyników badań uderowych próbek materiału Impactex, o zróżnicowanym udziale wagowym poszczególnych składników: włókien i środka wiążącego wykazała, iż zdolności tłumienne 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 uderowych próbek Impactex o zmiennej gęstości pozornej i zbliżonej grubości próbek potwierdziła fakt wzrostu zdolności amortyzacji uderzenia wraz ze wzrostem gęstości próbki. Zjawisko to spowodowane jest większą ilością włókien i powiązań, wynikających z udziału 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 jej 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.

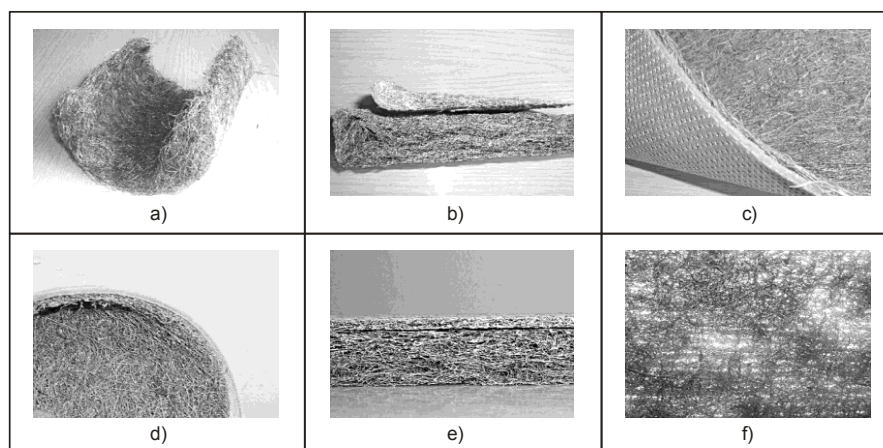
Przeprowadzone badania zależności zdolności tłumiennej w zależności od grubości próbki (w zakresie 4÷32 mm) wykazały, że wraz ze wzrastającą grubością próbki, zarejestrowane podczas badania wartości siły maksymalnej gwałtownie maleją by, po przekroczeniu określonej grubości próbki, ustalić się na pewnym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

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, jedno 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, przedstawiają to poniższe zdjęcia.

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 kami-



Rys. 9. Widok opracowanej kamizelki jeździeckiej

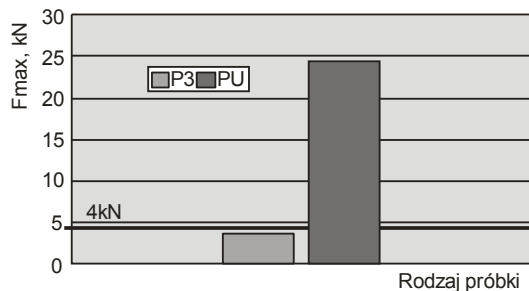
zelka z wkładami z włókniny kokosowej powietrze przepuszcza, aczkolwiek bardzo istotną rolę w przewodności kamizelki odgrywa obecność i rodzaj tkaniny osłaniającej wkłady przeciwuderzeniowe.

Elementy kamizelki jeździeckiej poddano badaniom udarowym, zgodnie z procedurą opisaną w niniejszej pracy i z uwzględnieniem wymagań normy PN-EN 13158:2002.

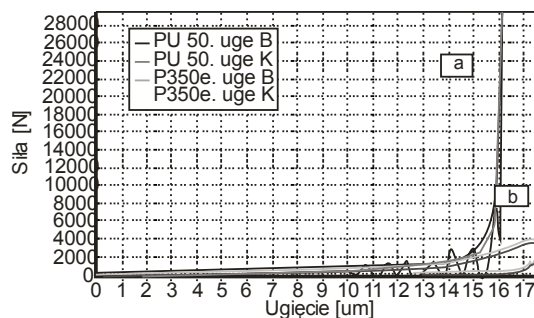
Wyniki badań zamieszczono w tab. 1 i przedstawiono na wykresach (rys. 10 i rys.11) Istotność różnic między wartościami sił maksymalnych dla obu rodzajów ochraniaczy potwierdzono przy pomocy testu t-Studenta. Test wykazał, że na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, nie ma podstaw do przyjęcia hipotezy 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}	Niepewność standardowa typu A	Względna niepewność standardowa typu B	Niepewność standardowa typu B	Niepewność złożona	Niepewność rozszerzona $U=k \cdot u_c(y)$	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
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 20J. Zestawienie histerez: a) poliuretan PU, b) materiał Impactex P3

W badaniach uwzględniono ocenę zdolności ochronnych 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 udarowych, przy

energii uderzenia 20 J 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 z kamizelek jeździeckich dostępnych w handlu. Dodatkowo ochraniacze z materiału włóknistego umożliwiają przepływ powietrza.

Proponowany materiał włóknisty należy traktować jako materiał alternatywny.

Wnioski

1. Zaproponowane w pracy oryginalne rozwiązanie konstrukcyjne stanowiska do badań udarowych umożliwia przeprowadzenie pełnej analizy właściwości tłumieniowych 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 fakt, że nadmierny wzrost gęstości i grubości włókniny spowoduje zwiększenie jej sztywności, masy i obniżenie jej przewodności, a tym samym wpłynie na obniżenie komfortu użytkowania wyrobów gotowych. Stąd parametry włókniny kokosowej należy dobierać w sposób kompromisowy, biorąc pod uwagę oczekiwania 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 igłowanego wskazały na wzrost właściwości tłumieniowych runa wraz ze wzrostem liczby przeigłowań oraz na możliwość kształtowania tych właściwości poprzez zmieniającą się liczbę przeigłowań. Wynika stąd, że aby polepszyć właściwości tłumienne 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 mikro-wstrząsów, na które narażeni są użytkownicy obuwia w trakcie chodzenia.

W wyniku powyższej pracy badawczej opracowano materiał włóknisty, o strukturze przestrzennej, przeznaczony na warstwy przeciwuderzeniowe w ochraniaczach stosowanych w ubiorach i wyposażeniu ochronnym osób uprawiających sporty urazogenne. Materiał otrzymano go 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. Opracowany 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 rezultaty badań przeprowadzonych na stanowisku, służącym do oceny zdolności amortyzacji uderzenia ochraniaczy sportowych. Oryginalna konstrukcja stanowiska umożliwia taka ocenę przy jednoczesnym zastosowaniu dwóch metod badawczych. Została również zaproponowana nowatorska metoda oceny rozkładu siły pod ochraniaczem, podczas badań na stanowisku, wykorzystująca cienkościenne czujniki ciśnienia. Procedura badań ochraniaczy przeciwuderzeniowych przewiduje także, możliwość porównania wytypowanych wskaźników z przyjętymi w literaturze biomechanicznej wybranymi kryteriami dla określania poziomu ludzkiej tolerancji na uszkodzenie danego obszaru ciała.

Niniejsza publikacja stanowi skróconą wersję pracy doktorskiej napisanej pod kierunkiem prof. dr hab. Inż. Izabelli Krucińskiej i dofinansowanej w ramach realizacji projektu promotorskiego 3T 08E 026 26. Obszerne fragmenty tej pracy publikowane były wcześniej w Zeszytach Naukowych Politechniki 2008, z. 64, s. 91—105.

Literatura

1. J. Garlicki i In., *Urazy sportowe u progu trzeciego tysiąclecia*, *Medycyna Sportowa* 1/2001 nr 114, Rok 17, 3-4
2. <http://www.e-uzbzdrowia.pl/html/more3089b.php>
3. A. Pościk, *Zastosowanie środków ochrony indywidualnej podczas uprawiania wybranych dyscyplin sportowych*, *Bezpieczeństwo Pracy* 2/2006, str. 22-26
4. Mills N.J., Gilchrist A., *Body Protectors for Horse-Riders*, *International Research Council on Biokinetic of Impacts Conference Proceedings*, Sept.1990, Lyons, France
5. Otte D., Middelhaue V., *Quantification of Protective Effects of Special Synthetic Protectors in Clothing for Motorcyclists*, *IRCOBI 1987, Birmingham*
6. PN-EN 13158:2002 *Odzież ochronna-Kurtki ochronne, ochraniacze ciała i ochraniacze barków dla jeźdźców konnych. Wymagania i metody badań*
7. Pedder J.B., Newman J.A., *After Helmets – Is There Anything Else?*, *Proc. of IRCOBI Conference, Birmingham, (UK), 1987, 43-50*
8. Aldman B, Kajzer J et al., *The protective effect of specially designed suit for motorcyclists*, *X Inter-*

- national Conference on Experimental Safety Vehicles, Oxford, England, July 1-4, 1985*
9. A. Dziak, S. Tayara, *Urazy i uszkodzenia w sporcie, Kraków 2000, wydanie I*
10. E. Maklewska, W. Tarnowski, I. Krucińska, J. Demus *New Measuring Stand for Estimating a Material's Ability to Damp the Energy of Impact Strokes, Fibres&Textiles in Eastern Europe, 2004, Vol.12, No.3(47)*
11. E. Maklewska, I. Krucińska, G.E. Mayers, *Estimating the Shock-Absorbing Ability of Protector Materials by Use of Pressure Films, Fibres & Textiles in Eastern Europe, 2005, Vol.13, No.4(52)*
12. E. Maklewska, I. Krucińska, M. Matyjewski *Study on an Ability to Dampen Energy by Textiles under Dynamic Compressive Load, Joint IMEKO TC-1 & XXXIV MKM Conference Proceedings 2002, Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002, Vol.III, 119-126*
13. E. Maklewska, M. Matyjewski I. Krucińska, *Textile impact protectors?, 2nd European Conference on Protective Clothing (ECP Proceedings C), „Challenges for Protective Clothing”, 21-24 May 2003 in Montreux, Switzerland*
-

Propozycje unowocześnienia aktualnie użytkowanych kamizelek kuloodpornych

Grażyna Grabowska

Jadwiga Polak

Joanna Błaszczyk

Instytut Technologii Bezpieczeństwa „Moratex”, Łódź

Wstęp

W ostatnich latach podstawowym polskim dokumentem obowiązującym dla kamizelek kuloodpornych w zakresie wymagań ogólnych i badań jest PN-V-87000:1999. Kamizelki aktualnie użytkowane przez funkcjonariuszy służb podległych MSWiA, żołnierzy i innych użytkowników spełniają postanowienia powyższej normy. Jednymi z bardzo ważnych są wymagania niezawodnościowe, według których wkłady balistyczne kamizelek kuloodpornych powinny posiadać okres trwałości wynoszący nie mniej niż 10 lat. Wymagania te są rygorystycznie przestrzegane przez konstruktorów, producentów, użytkowników oraz potwierdzane, w odpowiednim czasie, badaniami. W związku z tym, za wyjątkiem przypadków niespełnienia kryterium sprawdzającego odporność balistyczną kamizelek (po 5 i 8 latach), co zdarza się rzadko, unowocześnienia aktualnie użytkowanych kamizelek kuloodpornych z pominięciem wymogu ich badań balistycznych z partii, można dokonać jedynie w zakresie zastosowania nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych poszyć wykonanych z nowych materiałów i dodatków

w miejsce poprzednich, zużytych poszyć (okres ich użytkowania to maksimum 3 lata). Jest to, zatem jeden z możliwych kierunków unowocześniania tego typu osłon balistycznych tułowia, który został przyjęty przez Instytut Technologii Bezpieczeństwa MORATEX. Kolejne wytyczone kierunki unowocześniania kamizelek kuloodpornych, uwzględniające światowe trendy i wieloletnie doświadczenia Instytutu to:

- doposażenie ich zarówno w nowoczesne poszycia, jak i we wkłady: przeciwugięciowe oraz dystansowe,
- zastosowanie w nich lekkich kompozytowych płyt kuloodpornych, zamiast stalowych, podwyższających miejscowo odporność balistyczną,
- poszerzenie ich odporności balistycznej o inne rodzaje pocisków nieobjęte PN-V-87000:1999.

Te trzy ostatnie kierunki unowocześniania kamizelek wymagają już przeprowadzenia sprawdzających badań balistycznych.

Wszystkie wyżej wymienione kierunki unowocześniania kamizelek mają na celu podwyższenie ich walorów użytkowych, w tym zagwarantowanie możliwie maksymalnego bezpieczeństwa, komfortu i ergonomii.