

Techniczne Wyroby Włókiennicze (TECHNICAL TEXTILES)

ISSN 1230-7491

Wydawca (Editor)

Instytut Technologii Bezpieczeństwa "MORATEX", Łódź

Redakcja (Editorial Office)

3, Skłodowskiej-Curie str., 90-965 Łódź, Poland

tel.: (42) 637-37-10, (42) 637-44-00

fax: (42) 636-92-26

e-mail: redakcja.tww@moratex.eu

Redaktor Naczelny (Editor-in-Chief):

dr inż. Elżbieta Witczak

Zastępca Redaktora Naczelnego:

mgr Iwona Dusio-Kraska

Skład: Mateusz Gajdacz, Jan Tabaszewski

Projekt okładki: dr hab. inż. Marcin Struszczyk

Rada Programowa (Editorial Board)

Przewodniczący (Chairman):

prof. zw. dr hab. inż. Janusz Szosland

Członkowie (Members):

prof. dr hab. inż. Józef Masajtis

prof. dr hab. n. med. Jan Henryk Goch

dr inż. Elżbieta Witczak

dr hab. inż. Marcin Struszczyk

*Wydanie publikacji dofinansowane
przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego*

ABSTRACTS

B. Wilbik-Halgas, E. Ledwoń — Institute of Security Technologies "MORATEX": **Comparison of the Factors of Knitted Fabrics Resistance to Piercing Obtained with Various Test Methods**

„Technical Textiles” 2011, No. 1-2, page 10

The comparative analysis of two methods for determining the resistance to mechanical penetration of knittwares by a ball according to PN-P-04738:1979 Standard and PN-EN ISO 9073-5:2008 Standard which replaces the former one, was performed. Five knittwares with different structural parameters were considered. The statistical analysis of the obtained results was carried out.

D. Zielińska, S. Halacheva — Institute of Security Technologies "MORATEX"; Department of Physical Chemistry of Polymers, Technical University of Lodz, Faculty of Material Technologies and Textile Design, Poland; Department of Chemistry, University of Oxford, U.K.; Department of Chemistry, University of bath, U.K.: **Application of the Layer-by-layer Deposition Technique to Improve the Hydrophilic Properties of Polypropylene Nonwoven**

„Technical Textiles” 2011, No. 1-2, page 16

A new synthetic well-defined comb-like poly(ethylene imine) polymer (bPEI) was deposited onto polypropylene (PP) nonwoven using a layer-by-layer deposition technique (LBL). Such modification significantly changes the hydrophilic properties of the resulting material. FTIR analysis has been performed in order to confirm the modification of the PP nonwoven. It was observed that the surface wettability, capillarity and moisture sorption were substantially improved.

M. H. Struszczyk, M. Olejnik — Institute of Security Technologies "MORATEX": **Current and Future Development Trends of Textile Ballistic Products, part 1**

„Technical Textiles” 2011, No. 1-2, page 20

The paper analyses current state and expected demand for textile ballistic products such as individual protection, and add-on armouring for transportation means

and solid object. The data regarding the trends of research and development works were also estimated and analyzed, concerning designing the modern ballistic products.

The main focus was put on the analysis of market potential, barriers and trends in the research and development of textile products in Poland, as well as abroad - on a basis of available information.

M. H. Struszczyk, M. Łandwijt, M. Olejnik — Institute of Security Technologies "MORATEX": **Current and Future Development Trends of Textile Ballistic Products, part 2**

„Technical Textiles” 2011, No. 1-2, page 27

The paper presents an assessment of technologies of textile ballistic products, concerning (i) scale of necessary expenses for realisation of research and implementation, (ii) scale of benefits from introducing them into the practice, and (iii) potential barriers that limit the research and implementation into the scope being analyzed. The current state of advancement of research on the textile ballistic products home and abroad is described, as well as the rate of readiness for introduction into the practice, and probable directions of further research. The analysis of probable development trends was also done, regarding the growing demand, including the possibilities of export of innovative Polish technologies and factors which stimulate development of research and introducing the innovations. The network of relations (mutual dependencies and influences) between technologies of textile ballistic products within the analysed technology area and whole textile industry was determined and discussed.

M. Cichecka — Institute of Security Technologies „MORATEX”: **Criteria for Assessment of the Electrostatic Properties of Workwear and Protective Clothing to be Worn within Explosion Hazard Area**

„Technical Textiles” 2011, No. 1-2, page 34

This work shows current test methods and also specifies rules for electrostatic properties assessment of fabrics for manufacturing workwear and protective clothing for use in explosive atmospheres.

Conclusions indicate lack of unambiguous and aut-

horitative requirements for electrostatic properties of workwear and protective clothing for use in explosive atmospheres.

Moreover there is a need of revision and updating current standards including test methods and requirements for electrostatic properties of workwear and protective clothing.

I. Jasińska, Z. Mokowińska — Instytut Włókiennictwa, Laboratorium Badań Surowców i Wyrobów Włókienniczych: **The Analysis of Reproducibility of Selected Test Methods on Basis of an Interlaboratory Comparison Studies**
„Technical Textiles” 2011, No. 1-2, page 37

- Interlaboratory comparison no III: Determination of mass per unit area using small samples according to PN-EN 12127:2000,
- Interlaboratory comparison no IV: Determination of resistance to surface wetting (spray test) of fabrics according to PN-EN 24920:1997.

In those interlaboratory comparison tests took part: testing laboratories accredited by Polish Centre for Accreditation and foreign laboratories.

M. Wesołowska, B. Delczyk-Olejniczak — Institute of Security Technologies „MORATEX”: **Fibres for Ballistics - Today and Tomorrow**
„Technical Textiles” 2011, No. 1-2, page 41

The article discusses four interlaboratory comparisons in scope of accredited test methods, organized by the Textile Research Institute, Laboratory of Testing Textile Raw Materials and Fabrics:

- Interlaboratory comparison no I: Determination of dimensional change in washing and drying according to PN-EN ISO 5077:2008,
- Interlaboratory comparison no II: Determination of thermal vapour resistance textile material according to PN-EN 31092:1998+Ap1:2004,

Man-made fibres of the latest generation, like Kevlar®, Twaron®, Dyneema®, Spectra®, M5® feature before all very high tensile strength. The article shall present their properties most important concerning the application into protective products. Moreover, the examples of design solution with materials applied which are based on described fibres (bullet- and fragment-proof vest, helmets and ballistic shields) shall be presented. Some scientific novelties about new-generation fibres shall be also drawn.

STRESZCZENIA

B. Wilbik-Halgas, E. Ledwoń — Instytut Technologii Bezpieczeństwa „MORATEX”: **Analiza porównawcza dwóch metod wyznaczania wskaźnika wytrzymałości na przebicie kulą dla dzianin**

„Techniczne Wyroby Włókiennicze” 1-2/2011, s. 10

Przeprowadzono analizę porównawczą wskaźnika wytrzymałości na przebicie wg normy PN-P-04738:1979 oraz normy PN-EN ISO 9073-5:2008, która ją zastąpiła. Badania zostały przeprowadzone na pięciu dzianinach o zróżnicowanych parametrach strukturalnych. Wykonano ocenę statystyczną uzyskanych wyników badań.

D. Zielińska¹, S. Halacheva² — Instytut Technologii Bezpieczeństwa „MORATEX”¹; Katedra Chemii Fizycznej Polimerów, Wydział Inżynierii Materiałowej i Wzornictwa Tekstyliów, Politechnika Łódzka, Polska¹; Wydział Chemii, Uniwersytet Oxford, Wielka Brytania²; Wydział Chemii, Uniwersytet Bath, Wielka Brytania²: **Zastosowanie metody layer-by-layer do poprawy właściwości hydrofilowych włókniny polipropylenowej**

„Techniczne Wyroby Włókiennicze” 1-2/2011, s. 16

Metoda layer-by-layer (LBL) pozwala na nakładanie cienkich warstw na płaskie wyroby włókiennicze. W wyniku takiej modyfikacji ulegają zmianie właściwości hydrofilowe. Nakładano rozgałęzioną poli(etylenoiminę) (bPEI) na włókninę polipropylenową (PP). Za pomocą spektroskopii w podczerwieni potwierdzono nałożenie warstwy na włókninę. Stwierdzono, że znacząco poprawił się zarówno kąt zwilżania, włoskowatość jak i sorpcja wilgoci.

M. H. Struszczyk, M. Olejnik — Instytut Technologii Bezpieczeństwa „MORATEX”: **Obecne i przyszłe trendy rozwojowe włókienniczych wyrobów balistycznych, cz.1**

„Techniczne Wyroby Włókiennicze” 1-2/2011, s. 20

Artykuł analizuje stan obecny oraz oczekiwany popyt na włókiennicze wyroby balistyczne w zakresie ochron osobistych oraz dopancerzeń środków transportów oraz obiektów stałych. Oszacowano także i przeanalizo-

zowano dane dotyczące trendów w pracach badawczo-rozwojowych w zakresie projektowania nowoczesnych wyrobów balistycznych.

Główny nacisk położono na analizę potencjału rynkowego, bariery oraz trendy w zakresie prac badawczych oraz rozwojowych związanych z włókienniczymi wyrobami balistycznymi w Polsce oraz, w oparciu o dostępne dane, w odniesieniu do zagranicy.

M. H. Struszczyk, M. Łandwajt, M. Olejnik — Instytut Technologii Bezpieczeństwa „MORATEX”: **Obecne i przyszłe trendy rozwojowe włókienniczych wyrobów balistycznych, cz.2**

„Techniczne Wyroby Włókiennicze” 1-2/2011, s. 27

W artykule przeprowadzono ocenę technologii włókienniczych wyrobów balistycznych biorąc pod uwagę (i) skalę koniecznych nakładów na realizację badań i wdrożenia, (ii) skalę korzyści wdrożenia ich do praktyki oraz (iii) ewentualnych barier ograniczających badania i wdrożenie w analizowanym obszarze. Opisano obecny stan zaawansowania badań nad włókienniczymi wyrobami balistycznymi w kraju i za granicą, stopień gotowości do wdrożenia do praktyki oraz prawdopodobne kierunki dalszych badań. Przeprowadzono także analizę prawdopodobnych trendów rozwojowych z uwagi na rosnący popyt, w tym możliwości eksportu polskich technologii innowacyjnych, oraz czynniki stymulujące rozwój badań i wdrażania innowacji. Określono i omówiono sieci powiązań technologii włókienniczych wyrobów balistycznych w analizowanym obszarze technologii i w całym przemyśle włókienniczym (wzajemne zależności i wpływy technologii)

M. Cichecka — Instytut Technologii Bezpieczeństwa „MORATEX”: **Kryteria oceny właściwości elektrostatycznych odzieży roboczej i ochronnej przeznaczonej do użytkowania w strefach zagrożenia wybuchem**

„Techniczne Wyroby Włókiennicze” 1-2/2011, s. 34

W pracy omówiono aktualnie obowiązujące metody badawcze i związane z nimi zasady służące do oceny właściwości elektrostatycznych materiałów włókienniczych stosowanych do produkcji odzieży roboczej

i ochronnej przeznaczonej m. in. do użytkowania w obiektach i strefach zagrożenia wybuchem. We wnioskach podkreślono brak jednoznacznych i miarodajnych kryteriów stosowanych do oceny odzieży roboczej i ochronnej przeznaczonej do użytkowania w obiektach i strefach zagrożenia wybuchem. Wskazano potrzebę przeglądu i nowelizacji obowiązujących dokumentów normatywnych zawierających poziomy wymagań elektrostatycznych w aspekcie oceny właściwości elektrostatycznych odzieży roboczej i ochronnej.

I. Jasińska, Z. Mokowińska — Instytut Włókiennictwa, Laboratorium Badań Surowców i Wyrobów Włókienniczych: **Analiza odtwarzalności wybranych metod pomiarowych na podstawie porównań międzylaboratoryjnych**

„Techniczne Wyroby Włókiennicze” 1-2/2011, s. 37

W artykule omówione zostały cztery porównania międzylaboratoryjne zorganizowane przez Laboratorium Badań Surowców i Wyrobów Włókienniczych Instytutu Włókiennictwa, dotyczące akredytowanych metod badawczych:

- PM I: Wyznaczanie zmiany wymiarów po praniu i suszeniu wg PN-EN ISO 5077:2008,
- PM II: Wyznaczanie oporu cieplnego wyrobów włókienniczych wg PN-EN 31092:1998+Ap1:2004,

- PM III: Wyznaczanie masy powierzchniowej z zastosowaniem małych próbek wg PN-EN 12127:2000,
- PM IV: Wyznaczanie odporności wyrobów na zwilżanie powierzchniowe (spray test) wg PN-EN 24920:1997

W porównaniach międzylaboratoryjnych brały udział:

- laboratoria badawcze akredytowane przez Polskie Centrum Akredytacji,
- zagraniczne laboratoria badawcze.

M. Wesołowska, B. Delczyk-Olejniczak — Instytut Technologii Bezpieczeństwa „MORATEX”: **Włókna w balistyce - dziś i jutro**

„Techniczne Wyroby Włókiennicze” 1-2/2011, s. 41

Włókna sztuczne najnowszej generacji, takie jak Kevlar®, Twaron®, Dyneema®, Spectra®, M5® charakteryzuje przede wszystkim bardzo duża wytrzymałość na rozciąganie. W artykule omówiono ich najważniejsze właściwości w aspekcie zastosowania w wyrobach ochronnych. Przedstawione zostaną także przykładowe rozwiązania konstrukcyjne z udziałem materiałów na bazie scharakteryzowanych włókien (kulo- i odłamkoodporne kamizelki i hełmy oraz tarcze balistyczne). W zarysie zostaną przedstawione nowinki naukowe na temat włókien nowej generacji.

1-2
2011

TECHNICZNE WYROBY WŁÓKIENNICZE

**WYDAWNICTWO INSTYTUTU
TECHNOLOGII BEZPIECZEŃSTWA**

2011
No. 1-2

CONTENTS

Comparison of the Factors of Knitted Fabrics Resistance to Piercing Obtained with Various Test Methods - B. Wilbik-Hałgas, E. Ledwoń.....	10
Application of the Layer-by-layer Deposition Technique to Improve the Hydrophilic Properties of Polypropylene Nonwoven - D. Zielińska, S. Halacheva	16
Current and Future Development Trends of Textile Ballistic Products, part 1 - M. H. Struszczyk, M. Olejnik.....	20
Current and Future Development Trends of Textile Ballistic Products, part 2 - M. H. Struszczyk, M. Łandwijt, M. Olejnik.....	27
Criteria for Assessment of the Electrostatic Properties of Workwear and Protective Clothing to be Worn within Explosion Hazard Area - M. Cichecka.....	34
The Analysis of Reproducibility of Selected Test Methods on Basis of an Interlaboratory Comparison Studies - I. Jasińska, Z. Mokowińska.....	37
Fibres for Ballistics - Today and Tomorrow - M. Wesołowska, B. Delczyk-Olejniczak	41

**TECHNICAL
TEXTILES**

**TECHNISCHE
TEXTILEN**

1-2
2011

TECHNICZNE WYROBY WŁÓKIENNICZE

WYDAWNICTWO INSTYTUTU
TECHNOLOGII BEZPIECZEŃSTWA

2011
Nr 1-2

SPIS TREŚCI

Analiza porównawcza dwóch metod wyznaczania wskaźnika wytrzymałości na przebicie kulą dla dzianin - B. Wilbik-Hałgas, E. Ledwoń.....	10
Zastosowanie metody layer-by-layer do poprawy właściwości hydrofilowych włókna polipropylenowej - D. Zielińska, S. Halacheva	16
Obecne i przyszłe trendy rozwojowe włókienniczych wyrobów balistycznych, cz.1 - M. H. Struszczyk, M. Olejnik	20
Obecne i przyszłe trendy rozwojowe włókienniczych wyrobów balistycznych, cz.2 - M. H. Struszczyk, M. Łandwajt, M. Olejnik	27
Kryteria oceny właściwości elektrostatycznych odzieży roboczej i ochronnej przeznaczonej do użytkowania w strefach zagrożenia wybuchem - M. Cichecka	34
Analiza odtwarzalności wybranych metod pomiarowych na podstawie porównań międzylaboratoryjnych - I. Jasińska, Z. Mokowińska	37
Włókna w balistyce - dziś i jutro - M. Wesołowska, B. Delczyk-Olejniczak	41

**TECHNICAL
TEXTILES**

**TECHNISCHE
TEXTILEN**

Analiza porównawcza dwóch metod wyznaczania wskaźnika wytrzymałości na przebicie kulką dla dzianin

B. Wilbik-Hałgas, E. Ledwoń

Instytut Technologii Bezpieczeństwa "MORATEX"

Wprowadzenie

Wytrzymałość na działanie sił rozciągających jest jedną z cech fizycznych włókienniczych wyrobów decydującą o ich trwałości (czasie użytkowania). Dla większości płaskich wyrobów włókienniczych do określenia wytrzymałości na rozciąganie stosuje się rozciąganie jednokierunkowe. Są jednak wyroby, dla których bardziej wskazane jest stosowanie rozciągania wielokierunkowego [1]. Działaniny w przeciwieństwie do tkanin mają dużą zdolność do rozciągania, wydłużenie przekracza niekiedy początkową długość próbki. Spowodowane jest to strukturą dzianin, w których nitki mogą przesuwać się pod naprężeniem. Decydujący wpływ na rozciągliwość dzianin ma dobór splotu. W przypadku zastosowania splotu dwuprawego ich rozciągliwość jest dwukrotnie większa w porównaniu do splotu lewoprawego. Różnice w budowie dzianin i tkanin powodują, że właściwości tych wyrobów znacznie różnią się między sobą. Od wielu lat jedną z metod służącą do określenia wytrzymałości na rozciąganie dzianin jest przebicie za pomocą metalowej kulki [2].

Do listopada 2008 roku w Polsce funkcjonowała norma PN-P-04738:1979 „Metody badań wyrobów włókienniczych - Wyznaczanie wytrzymałości na przebicie”[3], która była powszechnie stosowana między innymi przy badaniu dzianin. Zakresem obejmowała płaskie i konfekcjonowane wyroby włókiennicze. Precyzowała sposób pobierania próbek do badań gdy występowały różnice w strukturze wyrobu, głównie w przypadku wyrobów pończosznich. Dopuszczała dwie średnice kulki w zależności od przeznaczenia wyrobu. Dla wyrobów technicznych średnica kulki powinna wynosić 10mm a dla pozostałych wyrobów 20mm.

Obecnie norma PN-P-04738:1979 została wycofana i zastąpiona normą PN-EN ISO 9073-5:2008 „Tekstylna - Metody badania włókien - Część 5: Odporność na przebicie mechaniczne (metoda wypychania kulką)”[4], która swoim zakresem obejmuje jedynie włókniny.

Ponieważ metodyki badania zawarte w obu normach różnią się w istotny sposób istnieje potrzeba sprawdzenia jak zmienia się poziom wytrzymałości na przebicie wyrobów włókienniczych przy wykorzystaniu obu metodyk badawczych.

Ponadto minimalne wartości wskaźnika wytrzymałości na przebicie kulką w przypadku dzianin przy uwzględnieniu składu surowcowego są przedstawione w normie PN-P-84005:1996 „Działaniny i wyroby dzieciarskie – Wartości wskaźnika wytrzymałości na przebicie”[5]. Norma ta została opracowana na podstawie metodyki badawczej obecnie wycofanej, dlatego podjęto próbę weryfikacji podanych wartości wskaźnika wytrzymałości na przebicie przy wykorzystaniu aktualnie obowiązującej metodyki badawczej przedstawionej w normie PN-EN ISO 9073-5:2008.

Cel pracy

Celem pracy było przeprowadzenie analizy porównawczej wyników badania wskaźnika wytrzymałości na przebicie kulką wyznaczonego przy zastosowaniu dwóch metod badawczych dla dzianin.

Powodem przeprowadzenia analizy porównawczej jest wycofanie polskiej normy PN-P-04738:1979 i zastąpienie jej normą PN-EN ISO 9073-5:2008.

Działaniny wykorzystane do badań

Jakość każdej dzianiny określają parametry użytkowe, które są zależne od parametrów technologicznych: ścisłości, masy powierzchniowej, grubości, splotu oraz przede wszystkim zastosowanego surowca. Dobierając dzianiny, na których przeprowadzono badania zróżnicowano w/w parametry technologiczne, a jako podstawowe kryterium doboru przyjęto skład surowcowy, zachowując grupy surowcowe wymienione w normie PN-P-84005:1996. Badania przeprowadzono na dzianinach rzdkowych o splocie lewoprawym i dwuprawym pochodnym. Zróżnicowanie dzianin pod względem splotowym było celowe ze względu na

Tabela 1 - Różnice między wymaganiami omawianych metod

Wymagania	PN-P-04738:1979	PN-EN ISO 9073-5:2008
Uchwyt do mocowania próbek	Dwie płytki metalowe okrągłe lub o innym kształcie z otworem o średnicy 25 mm	Dwie okrągłe płytki metalowe z otworem o średnicy $(44,500 \pm 0,025)$ mm
Kształt i wielkość próbek	Kwadrat lub koło o wymiarach dostosowanych do uchwytu mocującego	Kwadrat o boku min. 125 mm lub koło o średnicy min. 125 mm
Liczba próbek	10	5
Średnica kulki	10 mm dla wyrobów włókienniczych technicznych 20 mm dla pozostałych wyrobów włókienniczych	$(25,400 \pm 0,005)$ mm
Prędkość badania – przesuwu kulki	(100 ± 5) mm/min	(300 ± 10) mm/min

różną rozciągliwość i sposób zachowania się próbek podczas badania.

Ostatecznie do badań wykorzystano pięć dzianin, których charakterystykę przedstawiono w tabeli 2.

Metodyka badań

Metoda badania wytrzymałości na przebicie polega na wyznaczeniu siły potrzebnej do przebicia próbki wyrobu włókienniczego kulką metalową o określonej średnicy, działającą prostopadle do powierzchni próbki. Badania wykonano na maszynie wytrzymałościowej wyposażonej w odpowiednie urządzenia spełniające wymagania obu norm rys. 1 (Źródło własne). Zasadnicza różnica między omawianymi metodykami polega na wielkości średnicy kulki i zastosowaniu odpowiedniego urządzenia mocującego próbkę. Szczegółowe

główne różnice między wymaganiami omawianych metod przedstawione zostały w tabeli 1.



Rysunek 1 - Widok stanowiska laboratoryjnego do badania wytrzymałości na przebicie kulką

Tabela 2 - Charakterystyka dzianin wybranych do badań

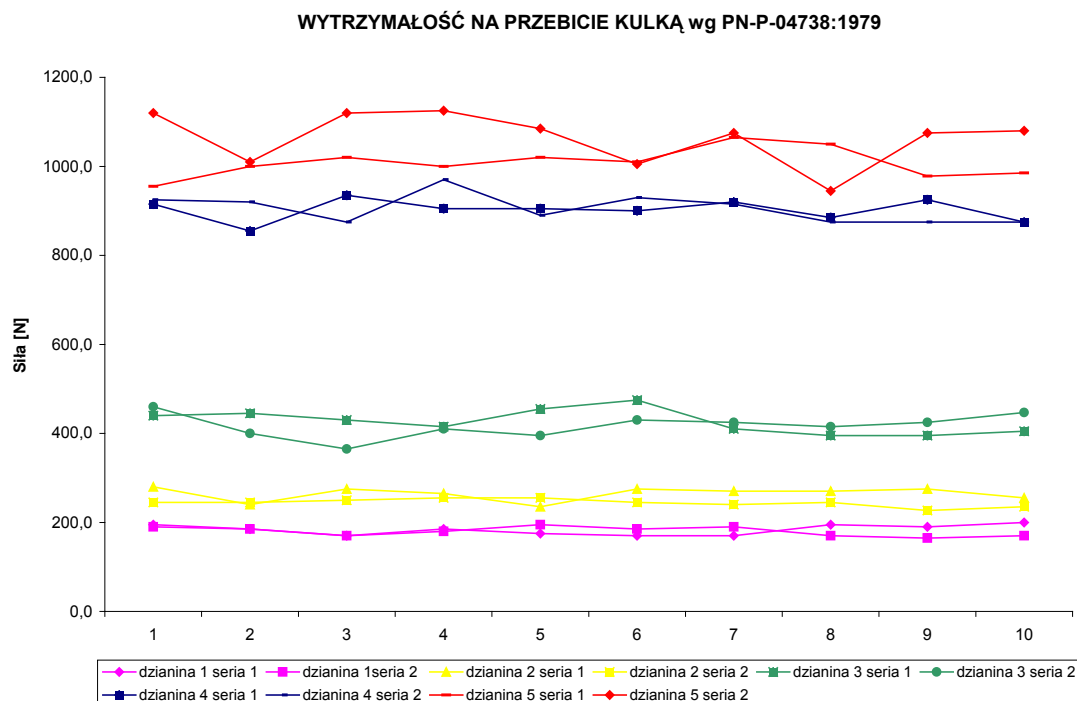
	Dzianina 1	Dzianina 2	Dzianina 3	Dzianina 4	Dzianina 5
Skład surowcowy	65% CO 35% PES	86% CO 14% PU	100% CO	100% PES	50% PAN 50% W
Splot	dwuprawy pochodny	lewoprawy	lewoprawy	dwuprawy pochodny	dwuprawy pochodny
Masa powierzchniowa [g/m ²]	160	250	230	300	700
Grubość [mm]	0,70	0,79	0,75	1,02	3,30
Ścisłość powierzchniowa [1/cm ²]	256	375	255	330	38

Wyniki badań

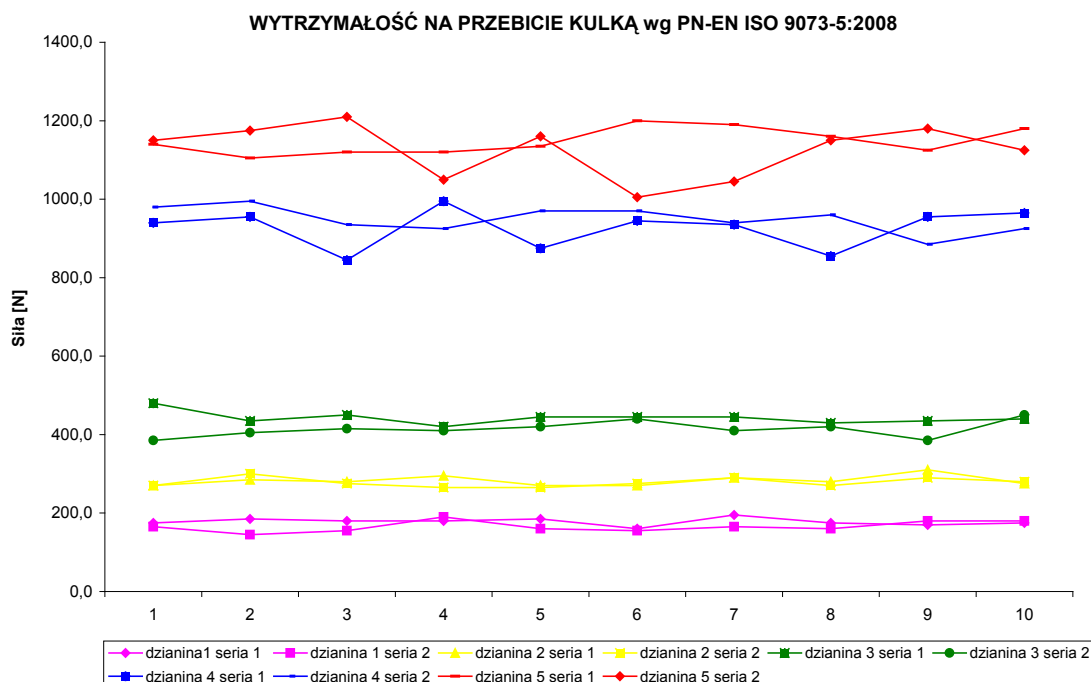
W każdej z metodyk badawczych wykonano po dwie serie badań, w serii po dziesięć pomiarów w celu szerszego spojrzenia na rozrzut otrzymanych wyni-

ków. Badania wykonano w warunkach powtarzalności, przez tę samą osobę przy użyciu tego samego przyrządu pomiarowego.

Otrzymane wyniki badań przedstawiono odpowiednio na wykresach rys.2 i rys.3.



Rysunek 2 - Wykres wytrzymałości na przebicie kulka serii I i serii II dla pięciu dzianin wg PN-P-04738



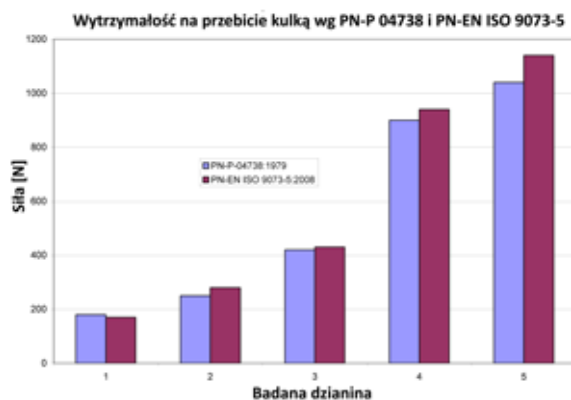
Rysunek 3 - Wykres wytrzymałości na przebicie kulka serii I i serii II dla pięciu dzianin wg PN-EN ISO 9073-5

Wartości średnie wytrzymałości na przebicie oraz ich parametry rozrzutu dla badanych dzianin przedstawiono w tabeli 3.

Średnią wartość wytrzymałości na przebicie kulką dla pięciu dzianin przy wykorzystaniu dwóch różnych metodyk badawczych przedstawiono na rys. 4.

Tabela 3 - Zestawienie wyników badań

Nazwa wskaźnika	PN-P-04738:1979		PN-EN ISO 9073-5:2008	
	Seria I	Seria II	Seria I	Seria II
Dzianina 1				
Średnia wartość wytrzymałości na przebicie [N]	185	180	180	165
Odchylenie standardowe S [N]	11	10	10	13
Współczynnik zmienności V [%]	6,2	5,6	5,4	7,9
Dzianina 2				
Średnia wartość wytrzymałości na przebicie [N]	265	245	280	280
Odchylenie standardowe S [N]	15	8	13	11
Współczynnik zmienności V [%]	5,8	3,4	4,5	3,9
Dzianina 3				
Średnia wartość wytrzymałości na przebicie [N]	425	415	445	415
Odchylenie standardowe S [N]	26	28	16	20
Współczynnik zmienności V [%]	6,2	6,7	3,7	4,8
Dzianina 4				
Średnia wartość wytrzymałości na przebicie [N]	905	905	925	950
Odchylenie standardowe S [N]	24	33	51	34
Współczynnik zmienności V [%]	2,7	3,6	5,4	3,5
Dzianina 5				
Średnia wartość wytrzymałości na przebicie [N]	1010	1065	1125	1150
Odchylenie standardowe S [N]	34	59	13	61
Współczynnik zmienności V [%]	3,3	5,5	1,1	5,3



Rysunek 4 - Średnia wartość wytrzymałości na przebicie kulką dla pięciu badanych dzianin przy wykorzystaniu dwóch różnych metod badawczych

Testy statystyczne

W celu ustalenia istotnych różnic między wariancjami i wartościami średnimi wytrzymałości na przebicie uzyskanymi dwoma porównywanymi metodami zastosowano test F-Fischera i test t-Studenta.

Wyniki obu testów przedstawiono w tabelach 4 i 5.

Dla wszystkich badanych dzianin wartość testu F jest mniejsza od wartości krytycznej dla prawdopodobieństwa 0,95 można więc przyjąć, że nie występuje istotna różnica statystyczna między wariancjami badanej cechy przy zastosowaniu różnych metod badania.

Dla czterech z przebadanych dzianin wartości statystyki u obliczeniowe uzyskały większą wartość od wartości krytycznej dla prawdopodobieństwa 0,95. Tylko w jednym przypadku wartości statystyki u jest mniejsza od wartości krytycznej dla prawdopodobieństwa 0,95.

Są więc podstawy do stwierdzenia, że ze statystycznego punktu widzenia występuje istotna różnica między wartościami średnimi wytrzymałości na przebicie przy zastosowaniu dwóch porównywanych metod badań.

Korelacja

Podjęto również próbę wyznaczenia korelacji pomiędzy otrzymanymi wynikami wytrzymałości na przebicie przy wykorzystaniu norm PN-P-04738 oraz PN-EN ISO 9073-5. Wyliczone wartości współczynnika korelacji liniowej dla wszystkich badanych dzianin są na poziomie od $R=0,1$ do $R=0,3$ co świadczy o braku związku pomiędzy porównywanymi metodami.

Dla dwóch przykładowo wybranych dzianin przedstawiono na jednym wykresie rozkład wyników otrzymanych przy zastosowaniu obu metodyk badawczych oraz krzywą korelacji.

Aktualność normy PN-P-84005:1996

Funkcjonująca w kraju norma PN-P-84005 powstała w oparciu o wyniki badań otrzymane zgodnie z normą wycofaną. W celu weryfikacji podanych w niej wartości wskaźnika wytrzymałości na przebicie z otrzymanymi wynikami badań, przy wykorzystaniu metodyki badawczej wg PN-EN ISO 9073-5:2008 przeanalizowano wymagania w/w normy i otrzymane wyniki.

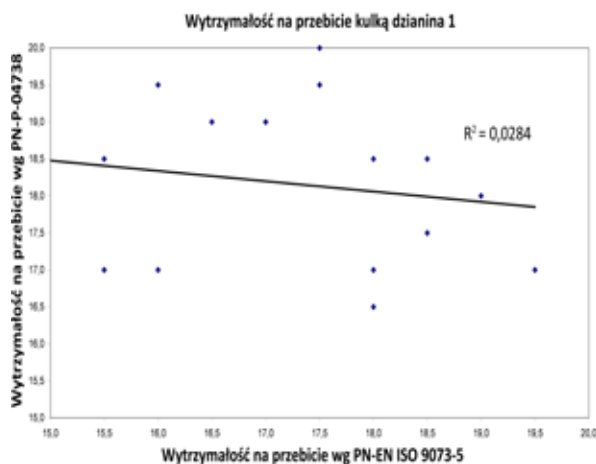
Uzyskane wartości wskaźnika wytrzymałości na przebicie dla wszystkich dzianin zarówno starą jak i nową metodą znacznie przekraczają wymagania normy, można więc w dalszym ciągu posiłkować się nor

Tabela 4 - Wyniki uzyskane przy zastosowaniu testu F-Fischera

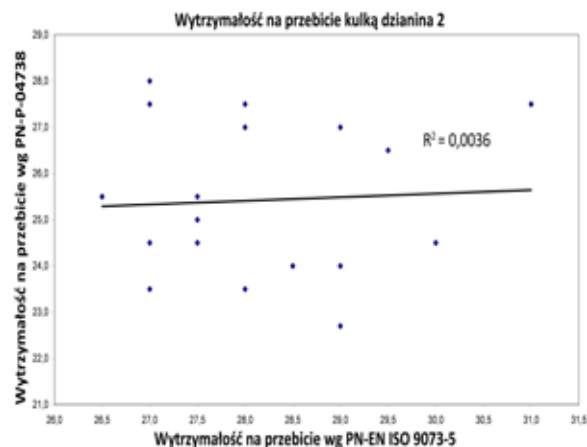
Wartość statystyki	Dzianina 1	Dzianina 2	Dzianina 3	Dzianina 4	Dzianina 5
F	1,46	1,68	1,33	1,62	1,03
$F_{0,95}$	2,16				
	$F < F_{0,95}$	$F < F_{0,95}$	$F < F_{0,95}$	$F < F_{0,95}$	$F < F_{0,95}$

Tabela 5 - Wyniki uzyskane przy zastosowaniu testu t-Studenta

Wartość statystyki	Dzianina 1	Dzianina 2	Dzianina 3	Dzianina 4	Dzianina 5
u	2,60	5,80	0,80	3,11	4,12
$u_{0,95}$	2,09				
	$u > u_{0,95}$	$u > u_{0,95}$	$u < u_{0,95}$	$u > u_{0,95}$	$u > u_{0,95}$



Rysunek 5 - Wykres korelacji wyników badań otrzymanych wg PN-P-04738 oraz PN-EN ISO 9073-5 dzianiny 1



Rysunek 6 - Wykres korelacji wyników badań otrzymanych wg PN-P-04738 oraz PN-EN ISO 9073-5 dzianiny 2

Tabela 6 - Porównanie uzyskanych wyników z wymaganiami wg PN-P-84005:1996

Surowiec	Min. wytrzymałość na przebicie wg PN-P-84005:1996 [daN]	Uzyskane wyniki [daN]	
		PN-P-04738:1979	PN-EN ISO 9073-5:2008
Bawełna 100%	10	42	43
Bawełna w mieszance z włóknami syntetycznymi	14	18 25	17 28
Wełna w mieszance z włóknami syntetycznymi	18	104	114
Włókna ciągle poliestrowe	20	90	94

ma PN-P-84005:1996 pomimo zmiany metodyki badania.

Wnioski

1. Analiza różnic w otrzymanych wynikach wytrzymałości na przebicie przy zastosowaniu porównywanych metod wskazuje w czterech przypadkach większą wytrzymałość na przebicie przy zastosowaniu metody wg PN-EN ISO 9073-5:2008; w jednym przypadku mniejszą. Różnice te jednak nie przekraczają 10%.
2. Średnie wartości wytrzymałości na przebicie uzyskane porównywanymi metodami różnią się istotnie ze statystycznego punktu widzenia.
3. Otrzymane wartości współczynnika korelacji w przypadku wszystkich badanych dzianin potwierdziły brak korelacji pomiędzy porównywanymi metodami.
4. Wycofanie normy PN-P-04738:1979 i zastąpienie jej normą PN-EN ISO 9073-5:2008 pozostawia nierozwiązaną kwestię badania wyrobów pończoszniczych oraz włókienniczych wyrobów technicznych.

5. Badania wskaźnika wytrzymałości na przebicie wykonano dla przykładowych dzianin, w celu głębszej analizy problemu należało by badania wykonać na innych grupach asortymentowych tj. tkaninach i włókninach.

Literatura

1. Norma PN-EN ISO 9073-5:2008 Tekstylnia - Metody badania włókien - Część 5: Odporność na przebicie mechaniczne (metoda wypychania kulką)
2. Norma PN-P-04738:1979 - Metody badań wyrobów włókienniczych - Wyznaczanie wytrzymałości na przebicie
3. Norma PN-P-84005:1996 - Działania i wyroby dziewiarskie - Wartości wskaźnika wytrzymałości na przebicie
4. Tadeusz Żyliński - Metrologia Włókiennicza II, rok 1967, str. 347-351
5. Włodzimierz Konecki - Metrologia Surowców i Wyrobów Włókienniczych - Laboratorium cz. II, rok 1996, str. 32-33

Application of the layer-by-layer Deposition Technique to Improve the Hydrophilic Properties of Polypropylene Nonwoven

D. Zielińska¹, S. Halacheva²

¹ Department of Physical Chemistry of Polymers, Technical University of Lodz, Faculty of Material Technologies and Textile Design, Poland
Institute of Security Technologies "MORATEX, Poland

² Department of Chemistry, University of Oxford, U.K.;
Department of Chemistry, University of Bath, U.K.

Introduction

Recently, intensive studies have been carried out on the preparation of nanostructured materials using a layer-by-layer deposition technique [1, 2]. The inventor and pioneer of this method, Gero Decher, has published a series of papers describing the technique in detail [3-8]. The formation of the first surface layer is usually performed by grafting, chemical modification or strong adsorption. For example, grafting of acrylic acid (AA) onto fiber activated polyester surfaces is an effective method for the deposition of the first acidic layer [9]. When the grafting of the first layer is complete, a polymer layer containing basic functional groups can be applied leading to the formation of a stable polymer complex onto which oppositely charged layers can be deposited. These results in the formation of new materials with surface characteristics that reflect the properties of the individual layers applied. Through an appropriate selection of the layer(s) to be deposited, the surface properties of the final product could be accurately controlled and thus matched to the requirements of the intended application.

Nowadays, the LBL technique is mainly applied to flat (non-textile) surface modifications in order to obtain materials with antireflective [10], anticorrosive [11], antibacterial [12], hydrophobic or hydrophilic properties [13, 14].

Polyelectrolyte nanolayers can be deposited onto various flat surfaces such as mica [15], glass [16-19], gold [20] or titanium [21], as well as textile fabrics such as: cotton fabric, polypropylene or polyester nonwoven, nylon fibers [22-29].

Improvement of the applicative properties of the fiber surface is of high commercial and industrial importance: polypropylene nonwoven is highly hydrophobic. In order to improve its wettability, a hydrophilic comb-like poly(ethylene imine) polymer (bPEI) has

been deposited onto the nonwoven PP substrates by the LBL method.

The chemical structure of the polymer and its architectural composition are presented in Figure 1. Poly(ethylene imine) has been used in a number of applications in biotechnology, nanomedicine and pharmacy [30-35]. It is, therefore, anticipated that a deeper understanding of the properties of these new composites. It will enable additional practical applications to be identified. Herein we report the results from our studies of three representative samples: sample 1- unmodified PP nonwoven; sample 2- PP nonwoven after grafting with AA; sample 3- PP nonwoven with a deposited bPEI layer. Their properties and behavior will be fully characterized and compared.

1. Experimental

1.1. Materials

Polypropylene nonwoven textile fabric (surface weight=27,9 g/m², average filament diameter=9,65 μm) was prepared by the melt-blown method (Cenaro-Lodz, Poland). The bPEI polymer was synthesized as described elsewhere [36-37]. It is a random sparsely graft polymer of general formula (EI)₆₆-graft-(EI)₄₈, where EI denotes ethylene imine units (see Figure 1).

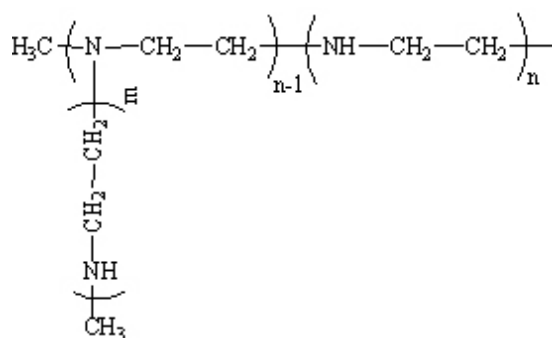


Figure 1: Comb-like poly(ethylene imine), $n = 66$, $m = 48$

The degree of grafting for this polymer was calculated to be approximately 21%. Its solubility in aqueous media are similar to those reported earlier for the linear poly(ethylene imine) (LPEI). Due to its linear, unsubstituted and flexible macromolecules, LPEI is insoluble in water at room temperature and dissolve in solution at 58.5°C to a hydrated state [38]. A water-solubility temperature around 60°C was previously determined for bPEI [37].

1.2. Measurements

• FTIR analysis

The modification of the PP nonwoven was confirmed by FTIR analysis. FTIR spectra were recorded using a Perkin-Elmer 2000 Fourier Transform Infrared (FTIR) instrument with KBr pellets. A Perkin-Elmer reflectance variable angle spectrophotometer was used to gather the specular reflectance FTIR spectra at 60°. The unmodified nonwoven fabric was used as a background.

• Surface wettability

Surface wettability was determined by measuring the contact angle (α) of a liquid droplet applied to the surface. A low contact angle between the fiber and the water indicates the high wettability of the substrate. Wetting is the initial process involved in water spreading. In this process the fiber-air interface is replaced with a fiber-water interface as shown in Figure 2. The forces in equilibrium at a solid-water boundary can be described by the Young-Dupre equation (1) [39]:

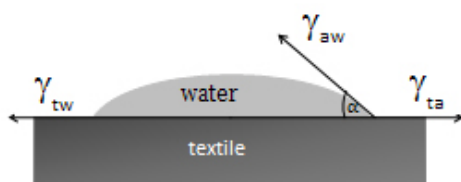


Figure 2: Contact angle of a liquid sample

$$\gamma_{aw} \cos \alpha = \gamma_{ta} - \gamma_{tw} \quad (1)$$

Where:

γ_{ta} - the surface energy between textiles (t) and air (a)

γ_{tw} - the surface energy between textiles (t) and water (w)

γ_{aw} - the surface energy between air (a) and water (w)

For our experiment, a water droplet with a volume of 5 μ l was applied to a sample which had been pre-conditioned ($T = 26^\circ\text{C}$, air humidity 29%, $t = 48$ h). Its enlarged image was observed and photographed using a microscope camera (Micro Ocular) and a program for processing microscope photos (Unlead Photo). The contact angle was calculated graphically using the Image J program.

• Capillarity

The rate of absorption of liquids by fabrics is affected by the nature and size of the small capillaries present in the textiles [40]. Capillarity has very important boosting function in process of sorption water. It happens because capillaries are able to spread H₂O in to areas outside wetting point. Capillarity was examined by applying a colored drop of 0,1% w/v potassium permanganate solution onto a flat surface section of the substrate. The sample was left undisturbed for 24 h, after which the colored fragments of fabric were removed and weighed.

• Moisture absorption

The tested samples were first conditioned for 48 h under the standard conditions ($T = 24,0^\circ\text{C}$, air humidity 36%) and then weighed and placed at maximum humidity ($T = 24,0^\circ\text{C}$, air humidity 99%) for 72 h. After reweighing the samples, the percentage moisture content was obtained from the difference between the two values, according to the following equation (2).

$$W = (Mw - Ms) / Ms * 100\% \quad (2) [41]$$

W- percentage moisture content

Ms- weight of the dry sample

Mw- weight of the wet sample

1.3. Modification of the PP nonwoven

The PP nonwoven was modified as described previously [22, 23, 25].

The nonwoven was activated in a solution of ammonium persulfate ($c = 20$ g/L, $t = 30$ min, $T = 80^\circ\text{C}$), under a nitrogen atmosphere.

In order to produce the first grafted AA layer, the activated PP nonwoven was dipped in the concentrated AA aqueous solution ($c = 52$ g/L, $t = 60$ min, $T = 80^\circ\text{C}$), again under a nitrogen atmosphere. The quantitatively determination of the average number of the acidic groups presented in the grafted AA layer is described elsewhere [36].

Prior to each operation (activated and grafting), the samples were rinsed thoroughly with distilled water [23]. After grafting, the samples were immersed in bPEI aqueous solutions (10-2 mol/dm³), at a temperature between 80-90°C.

2.Results

In order to confirm the modification of the PP nonwoven, FTIR analyses were performed. Figure 3 shows the transmittance solid state spectra of the bPEI polymer before deposition. The characteristic signals due to secondary (-NH-) and tertiary (-N<) amine groups were observed at $\nu = 1134$ and 880 cm^{-1} , respectively.

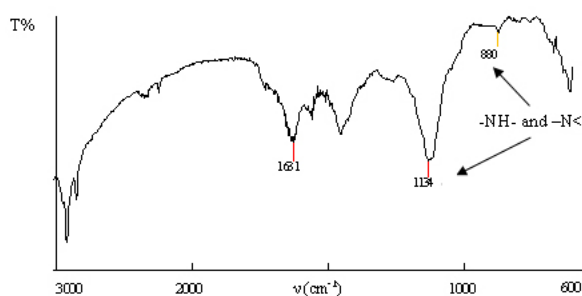


Figure 3: Transmittance FTIR spectrum of bPEI

FTIR reflectance spectroscopy (rFTIR) was performed on the surface after deposition. Comparing the rFTIR spectra of bPEI and the PP nonwoven, the change of the -NH- group signals is clearly apparent, with those of the nonwoven slightly shifted to 1167cm^{-1} (see Figure 4). Since the reflectance spectroscopy was carried out using unmodified PP nonwoven as a background, the spectrum in Figure 4 indicates successful modification.

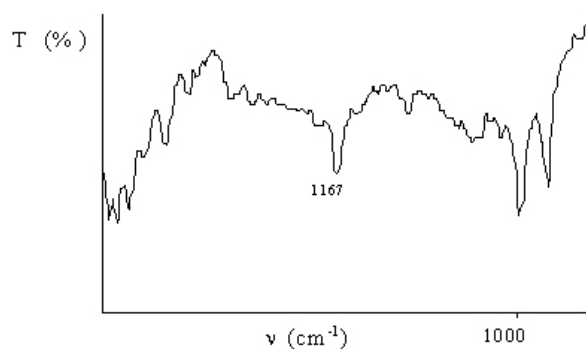


Figure 4: Partial reflectance FTIR spectrum of Sample 3.

- Surface wettability

Figure 5 shows a microscope image of a drop on the surface of unmodified PP nonwoven. The measured contact angle is 134° , which confirms the high hydrophobicity of this material.

For the modified samples (both grafted and post-deposition) the contact angle was impossible to measure due to the increased hydrophilicity of the samples.

- Capillarity

A drop of potassium permanganate (0,1% w/v) placed onto the surface of unmodified nonwoven remained intact. When this test was repeated with the graf-

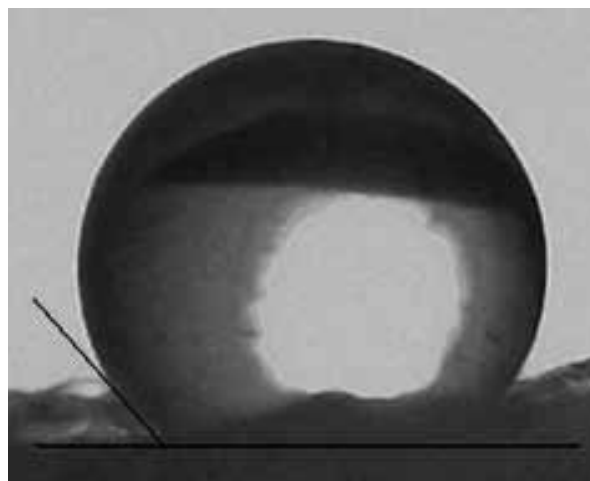
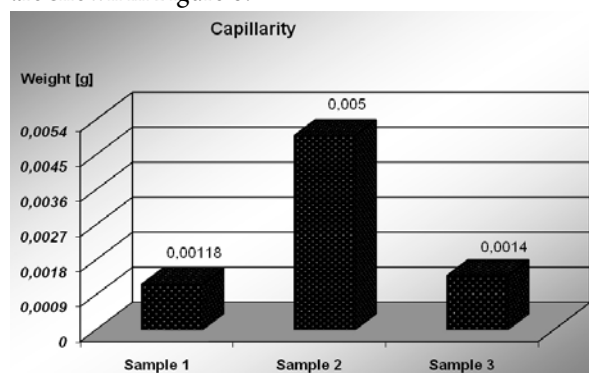


Figure 5: A drop of water ($5\mu\text{l}$) deposited onto Sample 1

ted sample and the sample after deposition of bPEI, the drop was quickly absorbed into the material.

The wet capillary area of each sample was weighed in order to make a direct comparison and the results are shown in Figure 6.



6: Result of capillarity for the Sample No: 1, 2 and 3.

Comparing unmodified and modified PP nonwoven, better capillarity properties were observed for the modified samples (Figure 6). Relative to sample 1, the mass of wetted area for sample 2 increased by several hundred percent, while for sample 3 the increase was approximately twenty percent. It should also be mentioned that samples featuring acidic layers are slightly more hydrophilic than those with amines. The carboxyl group is known to be somewhat more hydrophilic than the amino group, according to previous literature reports [42]. The molar water content, determined by van Krevelen, is also approximately 7% higher for the carboxyl group than for the amino group ($0.375 : 0.35$ mol/repeat unit).

- Moisture absorption

The most frequently determined parameter in moisture absorption tests is the weight of water absorbed by a sample during a given time.

From the data presented in Figure 7, it can be deduced that samples 2 and 3 show an approximately ten-fold increase in hydrophilicity (as measured by sorption). The results are consistent with the recently determined values of water retention for systems where poly(acrylic acid) and poly(4-vinylpyridine) were deposited onto polyester fabric [24]. The highest values were observed for the samples where the layers were deposited using the LBL technique.

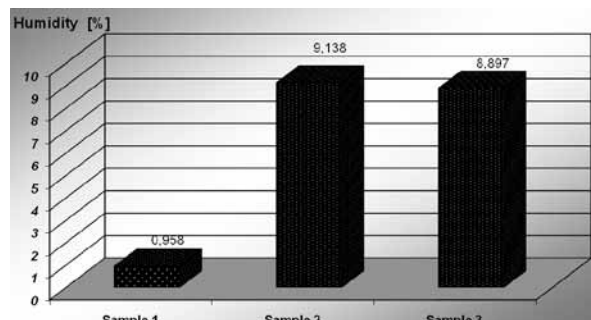


Figure 7: Results of moisture sorption for the Sample No: 1, 2 and 3.

Conclusion

This research confirms that the layer-by-layer (LBL) technique can be successfully utilized for the deposition of bPEI polymers onto PP nonwoven fabric, resulting in a sharp increase in the hydrophilicity of the PP nonwoven. The structures of the modified materials were verified by FTIR spectroscopy. The wetting properties of the textiles are significantly improved after deposition of bPEI. The contact angle, capillarity and moisture absorption measurements clearly indicated a radical increase in hydrophilicity for the samples featuring a deposited layer of bPEI.

Literature

1. G. Yang, L. Yu, X. Chen, P. Zhang, *Appl. Surf. Sci.*, 2009, 255, 4097
2. G. Yang, Z. Geng, H. Ma, Z. Wu, P. Zhang, *Thin Solid Films*, 2009, 517, 1778
3. G. Decher, J. Hong, *Macromol.Chem., Macromol. Symp.*, 1991, 46, 321
4. G. Decher, J. B. Schlenoff, *Multilayer Thin Films: Sequential Assembly of Nanocomposite Materials*, eds., Wiley-VCH: Weinheim, 2003; 524 pages.
5. G. Decher, B. Lehr, K. Lowack, Y. Lvov, J. Schmitt, *Biosens. Bioelectron.*, 1994, 9, 677
6. Y. Lvov, H. Haas, G. Decher, H. Moehwald, A. Mikhailov, B. Mtchedlishvily, E. Morgunova, B. Vainshtein, *Langmuir*, 1994, 10, 4232
7. J. Hong, K. Lowack, J. Schmitt, G. Decher, *Progr. Colloid Polym. Sci.*, 1993, 93, 98
8. G. Decher, *Science*, 1997, 277, 1232
9. J. Buchenska, *J. Appl. Polym. Sci.* 1997, 65, 967
10. H. Hattori, *Adv. Mater.*, 2001, 13, 51
11. T. Farhat, J. Schlenoff, *Electrochem. Solid-State Lett.*, 2002, 5, B13
12. F. Caruso, K. Niikura, D. Neil Furlong, Y. Okahata, *Langmuir*, 1997, 13, 3427
13. D. Elbert, C. Herbert, J. Hubbell, *Langmuir*, 1999, 15, 5355
14. J. Hwang, K. Jaeger, J. Hancock, S. Stupp, *J. Biomed. Mater. Res.*, 1999, 47, 504
15. Z. Adamczyk, M. Zembala, A. Michna, *J. Colloid Interface Sci.*, 2006, 303, 353
16. S. Sangrisub, P. Tangboriboonrat, T. Pith, G. Decher, *Eur. Polym. J.*, 2005, 41, 1531
17. D. Kovacevic, S. van der Burgh, A. de Keizer, M. A. Cohen Stuart, *Langmuir*, 2002, 18, 5607
18. V. Zucolotto, C. He J. Constantino, N. Barbosa Neto, Jr J. Rodrigues, C. Mendonca, S. Zilio, L. Li, R. Aroca, Jr O. Oliveria, J. Kumar, *Polymer*, 2003, 44, 6129
19. K. Shinbo, A. Baba, F. Kaneko, T. Kato, R. Advincula, W. Knoll, *Mater. Sci. Eng. C*, 2002, 22, 319
20. H. Yoon, H. Kim, *Anal. Chem.* 2000, 72, 922
21. T. Sasaki, Y. Ebina, M. Watanabe, G. Decher, *Chem. Commun.*, 2000, 21, 2163
22. S. Połowiński, *Fibers Tex. East. Eur.*, 2005, 13, 50
23. S. Połowiński, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2007, 103, 1700
24. R. Jantas, S. Połowiński, *Fibers Tex. East. Eur.*, 2007, 15, 97
25. S. Połowiński, D. Stawski, *Fibers Tex. East. Eur.*, 2007, 15, 82
26. H. Lu, A. Zheng, H. Xiao, *Polym. Adv. Techn.*, 2007, 18, 335
27. K. Hyde, M. Rusa, J. Hinestroza, *Nanotechnology*, 2005, 16, S422
28. Q.Wang, P.Hauser, *Cellulose*, 2009, 16, 1123
29. S. Dubas, L. Limsavarn, C. Iamsamai, P. Potiyaraj, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2006, 101, 3286
30. M. H. Zareie, S. Dincer, E. Piskin, *J. Colloid Interface Sci.* 2002, 251, 424
31. H. Bisht, D. Manickam, Y. You, D. Oupicky, *Biomacromolecules* 2006, 7, 1169
32. A. Kichler, M.Chillon, C. Leborgne, O. Danos, B. Frisch, *J. Controlled Release* 2002, 81, 379;
33. K. Kunath, A. von Harpe, H. Petersen, D. Fischer, K. Voigt, T. Kissel, U. Bickel, *Pharmaceutical Research* 2002, 19, 810;
34. H. Petersen, K. Kunath, A. Martin, S. Stolnik, C. Roberts, M. Davies, T. Kissel, *Biomacromolecules* 2002, 3, 926;
35. W. Liang, Chia-Hui Lien, Ping-Lin Kuo, *J. Colloid Interface Sci.* 2006, 294, 371;

36. D. Stawski, S. Halacheva, C. Hellmann, F. Simon, S. Połowiński, G. Price J. *Adhesion Sci. Technol.*, online <http://brill.publisher.ingentaconnect.com/content/vsp/ast/pre-prints/jastem10010> (25.03.2011 r.)
37. S. Halacheva, G. Price, V. Garamus, submitted
38. H. Lambermont-Thij, F. van der Woerd, A. Baumgartel, L. Bonami, F. Du Prez,
39. U. Schubert, R. Hoogenboom, *Macromolecules*, 2010, 43, 927
40. Brojeswari Das, A. Das, V. K. Kothari, R. Fanguiero, M. de Araújo, *Autex Research. Journal*, 2007, 7, 100
41. S. K. Mhetre, Dissertation „Effect of fabric structure on liquid transport, ink jet drop spreading and printing quality”, 2009, Georgia Institute of Technology
42. T. Żyliński, „Metrologia Włókiennicza”, tom I, wyd. II, WPLiS, 1967, Warszawa
43. D. van Kreven, *Properties of Polymers*, Elsevier, 1997, Amsterdam

Obecne i przyszłe trendy rozwojowe włókienniczych wyrobów balistycznych, cz. 1

M. H. Struszczyk, M. Olejnik

Instytut Technologii Bezpieczeństwa „MORATEX”



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Artykuł powstał jako rezultat prac w ramach projektu typu foresight pt. „Nowoczesne technologie dla włókiennictwa. Szansa dla Polski” nr umowy UDA-01.01.01-00-005/09 współfinansowanego przez Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

1. Oczekiwany popyt na technologie, wyroby gotowe i półprodukty z uwagi na rozwój obecnych i przyszłych dziedzin zastosowania oraz trendy w realizacji prac badawczych

Przemysł włóknistych kompozytów balistycznych, nie tylko w Polsce, ale także na całym świecie, ulegał w ciągu ostatnich 20 lat (od czasu zakończenia „zimnej wojny”) ciągłej restrukturyzacji. Obecnie można analizować go raczej w odniesieniu do skali globalnej, niż lokalnej. Większość przedsiębiorstw typu MŚP została albo wchłonięta przez większych graczy rynkowych, albo połączyła się w Grupy Kapitałowe, co umożliwiło zwiększenie ich konkurencyjności poprzez zwiększenie skali produkcji, jej efektywności oraz dywersyfikację asortymentu produktowego.

Obserwując, w ostatnie dekadzie rozwój, rynku balistycznych wyrobów balistycznych można stwierdzić, w oparciu o dostępne dane, że średnioroczna dynamika produkcji lekkich wyrobów kompozytowych wynosi 5%, konstrukcyjnych wyrobów kompozytowych - 10%, zaś kompozytowych materiałów lub wyrobów balistycznych - 25% [1].

Największą dynamikę przyrostu wykazują te gałęzie przemysłu, które wymagają zastosowania materiałów lub wytwarzają wyroby o zwiększonym współczyn-

niku efektywności (opisanym jako funkcjonalność w stosunku do ceny) zwłaszcza w zakresie wyrobów balistycznych produkowanych masowo, np.: w przypadku osłon balistycznych oraz opancerzeń pojazdów (zarówno dla służb odpowiedzialnych za utrzymanie bezpieczeństwa wewnętrznego, jak i dla zastosowań militarnych). Główną zaletą kompozytów włókienniczych, w tego typu zastosowaniach, jest ich trwałość w różnych i zmieniających się warunkach środowiskowych i klimatycznych.

Tendencje globalne w wykorzystaniu lekkich kompozytów balistycznych oraz rozszerzeniu ich możliwości aplikacyjnych (głównie w zakresie kompozytów konstrukcyjnych) i w innych zastosowaniach spowodowały dynamiczne zwiększenie produkcji wysoko wyspecjalizowanych włókien oraz preimpregnatów.

Należy zauważyć, że obecnie w Polsce nie ma producentów surowców podstawowych (m.in.: polimerów, włókien, przędz, żywic, itp.) do wytwarzania kompozytów balistycznych. Z tego powodu nasz rodzimy przemysł prawie w 100% opiera się na imporcie surowców podstawowych z zagranicy, co wpływa negatywnie na potencjał jego innowacyjności (bariera ograniczonej innowacyjności) oraz jego silne uzależnienie surowcowe i technologiczne od producentów zagranicznych.

“Część artykułu stanowi rozdział z nieopublikowanego RAPORTU Z BADAŃ W OBSZARZE TECHNOLOGICZNYM T8. Specjalne włókiennicze wyroby techniczne, Projekt Foresight Nowoczesne Technologie dla Włókiennictwa. Szansa dla Polski, 2010”

Przedsiębiorstwa, także te w Polsce, które już weczesnym stadium rozpoznały potencjał tkwiący w rynku włóknistych wyrobów balistycznych są obecnie, mimo globalnego kryzysu, w fazie stałego rozszerzania rynku [1].

Identyfikuje się obecnie kilka zagrożeń związanych z obecnym, gwałtownym rozwojem rynku kompozytów balistycznych:

- brak akceptowalności całkowitego zastąpienia stali pancernej przez włókniste kompozyty balistyczne (w aspekcie kosztu, odporności na działanie czynników zewnętrznych, odporności na bezpośrednie działanie ognia, problemy z uzyskaniem jednorodnych jakościowo kompozytów, braku dostępnych ogólnie danych naukowych o właściwościach kompozytów balistycznych),
- brak międzynarodowych dokumentów normatywnych oraz międzynarodowej unifikacji klas balistycznej odporności dla wyrobów balistycznych,
- brak akceptowalności rynku na wyroby o wysokim koszcie wytworzenia i/lub wysokim koszcie stosowania,
- brak szerokiej dostępności nowoczesnych włókien o potencjalnym przeznaczeniu do produkcji wyrobów balistycznych (nieakceptowalna rynkowo cena pojedynczych partii produkcyjnych, brak znaczenia komercyjnego, brak możliwości utrzymania ciągłości produkcji ze względu na małe zapotrzebowanie rynku).

W przypadku Polski dochodzi do tego wspomina- ne wyżej uzależnienie od dostawców zagranicznych w zakresie materiałów podstawowych oraz technologii w powiązaniu z ograniczeniem innowacyjności wdra- żanych w Polsce rozwiązań.

Rozwój rynku włóknistych wyrobów balistycznych jest obecnie ograniczany nie tylko przez dostępność rodzimych rozwiązań technologicznych czy surow- cowych, lecz przede wszystkim przez aspekty eko- nomiczne. Przełomem technologicznym stanie się zapewne możliwość uzyskania lżejszych materiałów balistycznych o powtarzalnej i jednorodnej jakości oraz cenie porównywalnej do ceny materiałów obec- nie stosowanych w środkach transportu cywilnego, jak i użytkowanych w obszarze bezpieczeństwa wewnętr- nego oraz obronności.

Fundamentalne znaczenie dla szybszego rozwoju technologii włóknistych materiałów balistycznych mają prace badawcze dotyczące zrozumienia zjawisk zachodzących w czasie interakcji pocisku z kompozy- tem balistycznym. Opisanie tych zjawisk oraz możli- wość wdrożenia do praktyk badawczych zwalidowa- nych analiz komputerowego modelowania oraz tech-

nik „rapid prototyping” z pewnością rozszerzy możli- wości stosowania kompozytów włóknistych [1–2].

Nowoczesne włókniste wyroby balistyczne wyma- gają nowych typów wysoko wytrzymałych i odpornych na działanie czynników środowiska włókien oraz pół- produktów o odpowiednim składzie chemicznym ma- trycy kompozytowej. Docelowo pozwoli to na znaczą- ce obniżenie masy gotowych wyrobów oraz umożliwi ewentualnie znalezienie nowych zastosowań, także w zakresie zastosowań cywilnych. Obniżenie masy oso- bistych ochron balistycznych pozwoli na zniesienie barier wynikających z ograniczeń związanych z bra- kiem lub znaczącym ograniczeniem komfortu użyt- kowania. Związane z tym są także negatywne aspekty fizjologiczne użytkowania osobistych ochron bali- stycznych wynikające z dużego wydatku energetycz- nego w czasie użytkowania, szybkiej utraty zdolności koncentracji, wprowadzenia dodatkowego elementu rozpraszającego, ryzyka szybkiego odwodnienia or- ganizmu (zwłaszcza w czasie użytkowania w wysokiej temperaturze) oraz przegrzania organizmu [2].

W przyszłości wymagalnym będzie projektowanie ochron balistycznych o jak najmniejszej masie i jak największym poziomie ochrony balistycznej. Oczywi- stym jest, więc że obniżenie masy wyrobów balistycz- nych nie może odbywać się kosztem ich odporności balistycznej. Wręcz odwrotnie, w obecnie aktualizo- wanych wytycznych normatywnych zaleca się, aby odporność balistyczna była jak najwyższa. Dotyczy to także maksymalizacji powierzchni ochrony wyrobu balistycznego.

Biorąc pod uwagę doświadczenia z obecnie sto- sowanymi kompozytami balistycznymi oraz rosnące wymagania użytkowników końcowych należy założyć, że największy nacisk w przyszłych pracach bada- wczych powinien być położony na projektowanie coraz to trwalszych kompozytów włóknistych wraz ze ści- słym zdefiniowaniem ich potencjalnego zakresu stoso- wania. Ze względu na właściwości stosowanych obec- nie wkładów balistycznych, zarówno miękkich, jak i twardych, nie jest możliwe uzyskanie jednocześnie maksymalnej powierzchni ochronnej, wysokiej klasy odporności balistycznej oraz minimalnej ergonomii. Projektując balistyczne ochrony osobiste wybiera się konsensus pomiędzy bezpieczeństwem (odporność balistyczna oraz ochrona tylko najważniejszych dla ży- cia organów) oraz ergonomią.

Ze względu na konieczność obniżenia masy środ- ków transportu dużą dynamikę wykazują obecnie pra- ce badawcze, powiązane pośrednio lub bezpośrednio, z opracowaniem ultralekkich, wysoko funkcjonalnych opancerzeni/dopancerzeń powietrznych środków transportu [1]. Dotyczy to także innych potencjalnych

zastosowań. Z drugiej jednak strony lekkie kompozyty balistyczne posiadają wiele wad, m.in.:

- wysoki koszt surowcowy i wytworzenia (bariera ekonomiczna),
- nieekologiczne procesy wytwarzania i przetwarzania surowców oraz wyrobów gotowych (bariera ekologiczna),
- brak lub ograniczone możliwości wymiany oraz naprawy zużytych/uszkodzonych elementów (bariery związane z użytkowaniem i konserwacją) oraz
- brak lub ograniczone możliwości recyklingu po utracie przydatności do użycia (bariera ekologiczna ujęta zwłaszcza w aspekcie polityki zrównoważonego rozwoju UE) [1].

Drugim aspektem rozważanym w pracach badawczych jest ocena wpływu czasu użytkowania/przechowywania osłon osobistych oraz warunków, w jakim były one przechowywane/użytkowane na utrzymanie wyjściowych parametrów ochronnych, niezależnie od warunków użytkowania i przechowywania. Obecnie większość producentów osłon balistycznych gwarantuje 5-letni, a nawet 10-letni, bezpieczny okres ich użytkowania, co w przypadku braku realnej możliwości kontroli warunków użytkowania zwiększa ryzyko wynikające z niekontrolowanej utraty odporności balistycznej [3].

Poważnym ograniczeniem będzie z pewnością dostępność nowoczesnych i innowacyjnych surowców oraz półproduktów w takiej ilości, aby zapewnić dostępność wyrobów gotowych w jak najniższej cenie. Długofalowe prace badawczo-rozwojowe powinny być nastawione na opracowanie nowych materiałów lub znaczące modyfikacje istniejących oraz ich zastosowanie w nowych kombinacjach konstrukcyjnych [2].

Zaawansowane technologie, takie jak np. nanotechnologia, będą miały coraz większy wpływ na rozwój technologii włóknistych wyrobów balistycznych. Umożliwią w przyszłości opracowanie elastycznych i ergonomicznych osłon balistycznych o aktywnym działaniu poprzez np.: zastosowanie cieczy reologicznych i/lub magnetoreologicznych. Ciecze te mają właściwość natychmiastowego zwiększenia lepkości (ciecze reologiczne) lub porządkowania struktury (ciecze magnetoreologiczne) pod wpływem działającej siły zewnętrznej lub pola elektromagnetycznego lub magnetycznego np. poprzez indukcje pola magnetycznego dzięki włókienniczym elementom przewodzącym prąd oraz sensorom „rozpoznającym” uderzenie balistyczne [4-5].

Prace badawczo-rozwojowe w zakresie projektowania nowoczesnych osobistych ochron balistycznych powinny być bezpośrednio powiązane z projektowa-

niem materiałów balistycznych charakteryzujących się wielofunkcyjnością, tzn. powinny łączyć wysoką odporność balistyczną z odpornością na przekłuciem bronią białą oraz odpornością na uderzenia. Wydaje się, że zastosowanie hybrydowych połączeń materiałów balistycznych przyniesie znaczący sukces w osiągnięciu w/w właściwości.

Oczywiście każda modyfikacja powinna być analizowana z punktu widzenia efektywności ekonomicznej. Skróceniu powinny ulec wszystkie procesy wytwórcze, a udział prac manualnych powinien być zredukowany do nieznacznego minimum [6].

Przykładem tego jest obecnie produkowany w Norwegii hełm balistyczny TEPEX® [6-7]. Proces technologiczny składa się jedynie z kilku 5-minutowych cykli prasowania bez konieczności zastosowania długotrwałego procesu przygotowawczego z udziałem czynnika ludzkiego.

Obecne bariery surowcowe dotyczą głównie dostępności wysoko wytrzymałych włókien (o wysokiej wytrzymałości właściwej: czyli jak największej wytrzymałości przy jednoczesnym maksymalnym obniżaniu średnicy włókna ciągłego), co warunkuje uzyskanie wysokiej jednorodności balistycznej docelowego wyrobu.

Wysoko wytrzymałe włókna powinny być umieszczane w strukturze matrycy opracowanej z specjalnych kombinacji termostabilnych żywic odpornych na działanie czynników środowiskowych (wilgoć, promieniowanie UV, itp.). Prawidłowe oszacowanie optymalnej zawartości żywicy w matrycy powinno chronić wyrób przed niekorzystną delaminacją oraz zjawisku zwijania się preimpregnatu oraz gotowego wyrobu. Chociaż zjawisko delaminacji może mieć także pozytywny aspekt związany z polepszeniem właściwości balistycznych, co prowadzi do konieczności prowadzenia prac badawczo-rozwojowych w zakresie opracowania optymalnego składu jakościowego i ilościowego preimpregnatów stosowanych do produkcji włóknistych kompozytów balistycznych oraz oceny wpływu czynników środowiskowych na ich bezpieczeństwo i funkcjonalność. Krytycznym staje się opracowanie metodyki badawczej pozwalającej na ocenę w czasie przyspieszonym efektów starzeniowych i odniesienie wyników badań do przechowywania i/lub użytkowania wyrobu w czasie rzeczywistym.

Struktura materiałów włóknistych jest znacząco bardziej złożona niż innych materiałów. Z tego powodu procesy funkcjonalizacji (zwiększania użyteczności lub rozszerzenia zakresu aplikacji) są dla materiałów włóknistych bardziej skomplikowane, zwłaszcza w aspekcie jednorodności oraz trwałości efektu modyfikacji.

Istnieje niewiele doniesień literaturowych dotyczących modyfikacji techniką plazmową (w tym modyfikacji w plazmie nisko temperaturowej) materiałów o potencjalnym zastosowaniu w balistyce [8-15]. W rzeważającej części dotyczą one modyfikacji podstawowych surowców – włókien, przędz lub, w ostateczności, oczyszczonych tkanin. Prace badawcze skupiają się na uzyskaniu lepszej adhezji np. włókien z polietylenu o ultra wysokiej masie cząsteczkowej (UHMWPE) z żywicą (w większości epoksydową) lub z niskocząsteczkowym polietylenem stanowiących matrycę docelowego materiału balistycznego, m. in. poprzez zwiększenie energii powierzchniowej. Umożliwia to lepsze i trwalsze połączenie tak zmodyfikowanych włókien z materiałem matrycy [8-15].

Prowadzone są także prace badawcze związane z modyfikacją włókien aramidowych poprzez użycie plazmy NH_3 , O_2 , dzięki czemu uzyskuje się ich lepszą adhezję do żywicy epoksydowej przy nieznacznym spadku wytrzymałości mechanicznej (o ok. 10%) [16]. W [17] oceniano wpływ modyfikacji plazmą oczyszczonych tkanin aramidowych (Kevlar®) na parametry użytkowe (odporność na tarcie) preimpregnatów wytworzonych z zmodyfikowanych włókien oraz żywicy fenolowej. Zmiany strukturalne w włóknach aramidowych powstałe w czasie modyfikacji plazmą zostały ocenione przy zastosowaniu takich metod analitycznych jak: XPS, FT-IR, a morfologia włókien dzięki SEM. W procesie modyfikacji na powierzchni włókien powstawały grupy funkcyjne zawierające tlen i azot. Stwierdzono także zwiększenie stopnia adhezji tkaniny aramidowej do żywicy fenolowej oraz zwiększenie odporności na ścieranie i rozwarstwianie docelowych preimpregnatów. W [18] modyfikowano plazmowo w atmosferze argonu włókna z UHMWPE oznaczając odporność tak zmodyfikowanych włókien na zwilżanie oraz powierzchniowe uszkodzenia mechaniczne. Wykazano, że w/w modyfikacja wpływa pozytywnie na oceniane właściwości włókien, zwłaszcza w zakresie ich zastosowania do formowania kompozytów balistycznych.

Inne aspekty związane z funkcjonalnością oraz bezpieczeństwem dotyczą technologii balistycznych hełmów kompozytowych. Wytwarzane są one obecnie z tkanin para-aramidowych lub kompozytów z włókien polietylenowych o ultra wysokiej masie cząsteczkowej (UHMWPE; np. Spectra®, Dyneema®) oraz z zastosowaniem termoplastycznych substancji budujących matrycę kompozytu. W przypadku opracowania materiałów/technologii umożliwiających obniżenie masy hełmu balistycznego powinno się wdrożyć prace badawcze powiązane tematycznie z metodami zwiększenia trwałości oraz obniżenia ryzyka urazów

głowy powstałych po ostrzale (nawet gdy nie dochodzi do penetracji wyrobu).

W wielu krajach trwają obecnie prace badawcze nad integracją systemów zarządzania akcją z wyposażeniem i umundurowaniem funkcjonariuszy służb wewnętrznych oraz żołnierzy. Nowa struktura ochron balistycznych (hełmów, kamizelek balistycznych) wraz z zintegrowanymi sensorami oraz innymi urządzeniami (GPS, systemy mobilnej komunikacji, etc.) powinna zapewnić konsensus pomiędzy zwiększoną funkcjonalnością, a całkowitą masą wyposażenia i umundurowania.

Z najważniejszych programów badawczych dotyczących wprowadzania elementów tektonicznych do umundurowania i wyposażenia żołnierza należy wymienić:

- Land Warrior w z Future Combant System (FSC), Stany Zjednoczone,
- Infanterist der Zukunft (IdZ), Niemcy,
- FIST, Wielka Brytania,
- Félin, Francja,
- Land 125, Australia,
- F-INSAS, Indie,
- Projekt TYTAN, (Polska) [19].

Future Combant System (FSC) był podstawowym programem modernizacji armii USA w latach 2003 – 2009. Jednym z podsystemów tego projektu był Future Force Warrior (FFW). Celem projektu FFW było opracowanie lekkiego, w pełni zintegrowanego systemu bojowego dla oddziałów piechoty. Oprócz wprowadzania rozwiązań w zakresie nanotechnologii, exoskieletu oraz cieczy magnetoreologicznych (wprowadzanych bezpośrednio do wkładów balistycznych) opracowano także system zarządzania polem walki, poprzez wprowadzenie elementów tektonicznych w elementy wyposażenia hełmu balistycznego, w tym w jego czerep kompozytowy [20].

FÉLIN (Fantassin à Équipement et Liaisons Intégrés) jest projektem prowadzonym przez armię francuską. Dotyczy przede wszystkim modyfikacji umundurowania oraz osobistych ochron balistycznych, elementów maskujących, osobistego systemu elektronicznego zarządzania - Portable electronic platform (PEP), indywidualnych źródeł energii oraz broni [21].

Inne projekty typu Future Solders w mniejszej lub większej skali powielają systemy opracowane lub będące w opracowaniu przez armię USA [18].

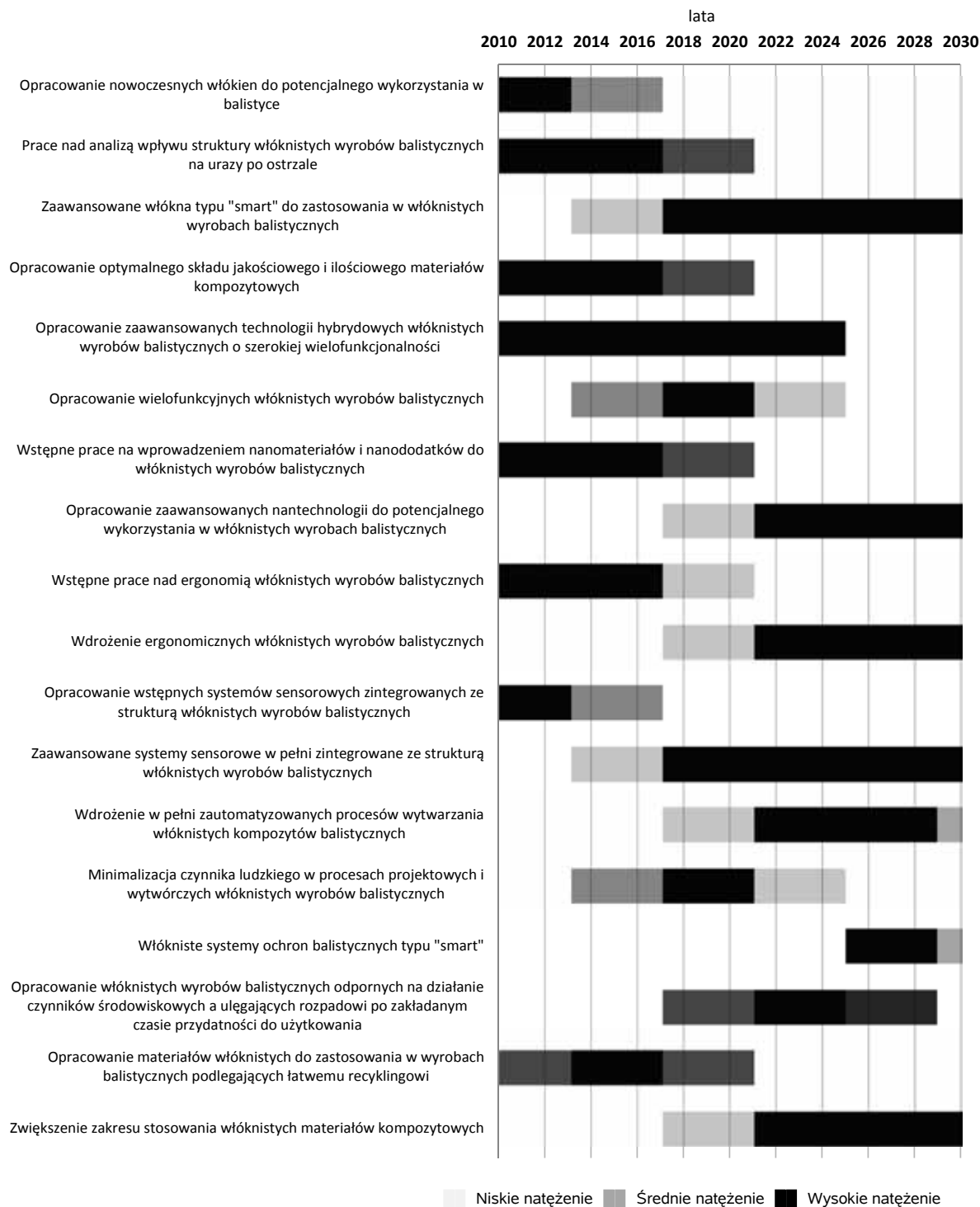
Ważnymi aspektami prac badawczych jest także ocena wpływu struktury, konstrukcji włóknistych wyrobów balistycznych na urazy po ich ostrzale. Powiązane jest to z optymalizacją konstrukcji zarówno hełmów balistycznych, jak i wkładów do kamizelek kuloodpornych, w zakresie uzyskania wysokich

właściwości ochronnych, nie tylko poprzez typ zastosowanego surowca włóknistego, ale także poprzez optymalizację konstrukcji wyrobu balistycznego.

Na rysunku 1. przedstawiono potencjalne trendy rozwojowe w przemyśle włóknistych wyrobów balistycznych w latach 2010 – 2030.

Na podstawie przeprowadzonej autorskiej analizy trendów badawczych oszacowano terminy rozpoczęcia

(inicjacji) prac badawczych, okresy szczytowe (maksimum) powiązane z praktycznym zastosowaniem ich wyników oraz okres końcowy powiązany z brakiem zainteresowania na rezultaty projektów (wygaszanie prac badawczych), jak także natężenie prowadzonych prac badawczych – czyli okres przesycenia rynku w opracowane rozwiązania oraz zaniku zainteresowania daną technologią.



Rys. 1. Przewidywane trendy rozwoju przemysłu włóknistych wyrobów balistycznych w 2010 – 2030

2. Analiza stanu przemysłu z branży produkującej włóknistych wyroby balistyczne

Przemysł obronny oraz związany produktowo i technologicznie z bezpieczeństwem wewnętrznym w Polsce ulega ciągłym przemianom (restrukturyzacji) od czasu rozpadu Układu Warszawskiego.

Okres ten można podzielić na dwa podstawowe etapy:

1) okres po rozpadzie Układu Warszawskiego, gdy próbowano budować niezależną od czynników zewnętrznych bazę przemysłową oraz

2) okres po wejściu Polski do NATO oraz integracji z UE, w którym dominowała strategia unifikacji procedur oraz technologii i powiązania ich z systemami funkcjonującymi w krajach Sojuszu Północnoatlantyckiego oraz UE.

Obecnie są realizowane trzy, równoległe kierunki strategiczne:

- przebudowa i modernizacja struktur służb wewnętrznych oraz sił zbrojnych,
- zwiększenie możliwości (mobilność) prowadzenia akcji poza granicami RP (w ramach sił porządkowych, w ramach globalnej walki z terroryzmem, jak także w ramach misji pokojowych ONZ),
- unifikacja systemów uzbrojenia i wyposażenia.[3]

Przedsiębiorstwa produkujące balistyczne ochrony osobiste (PSO MASKPOL oraz LUBAWA SA) należały do grupy wykazującej w ocenianym okresie największy zysk, co może w sposób pośredni wskazywać na wysoki stopień zwrotu kapitału zainwestowanego w wdrożenie technologii powiązanych z produkcją wyrobów balistycznych. Podobną sytuację można zaobserwować w innych krajach UE oraz USA, gdzie w sektorze przemysłu obronnego doszło do integracji przedsiębiorstw w grupy kapitałowe o zdywersyfikowanym asortymencie produktowym.

3. Podsumowanie

Zastosowanie na początku lat 70 XX w oddziałach policji stanowych USA kamizelek kuloodpornych spowodowało drastyczny spadek liczby śmiertelnych postrzałów funkcjonariuszy [23]. Ciągłe polepszanie jakości kamizelek wynikające z konieczności sprostania przez producentów rosnącym wymaganiom kolejnych edycji dokumentów normatywnych NIJ (National Institute of Justice) [23] powodowała obniżenie ryzyka utraty życia lub uszczerbku zdrowia funkcjonariuszy policji mimo dynamicznego zwiększenia liczby incydentów z bronią palną. Spowodowało to także ponad dwukrotne obniżenie wartości wypłat zadośćuczynień oraz rent z budżetów stanowych [23].

Można spodziewać się, że wprowadzenie kolejnych udoskonaleń w zakresie balistycznych wyrobów włókienniczych będzie pozytywnie wpływać na poprawę bezpieczeństwa zarówno funkcjonariuszy policji, jak i odczucie bezpieczeństwa społecznego (efekt: czuję się chroniony – częściej i efektywniej reaguję; obserwuję efektywną reakcję – mam większe poczucie bezpieczeństwa), co stanowi jedno z podstawowych zadań Państwa.

Biorąc pod uwagę nasz kraj oraz opracowując strategię rozwoju przemysłu włókienniczych wyrobów balistycznych należy bardzo mocno powiązać ją z sytuacją globalną zwłaszcza w aspekcie zidentyfikowanych barier i zagrożeń wynikających z tendencji globalnych, w tym strategii krajów przodujących, oraz powiązań surowcowych i technologicznych (łańcuchy zależności) z zagranicznymi producentami surowców podstawowych oraz dostawcami technologii.

Bibliografia

- [1] A.M.S Hamuda, M.S. Risby, *Modeling Impact, Lightweight Ballistic Composites – Military and Law-enforcement Applications*, ed. A. Bhatnager, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge England, 2006, 101 – 121
- [2] B.R. Scott, *New Ballistic Products and Technologies, Lightweight Ballistic Composites – Military and Law-enforcement Applications*, ed. A. Bhatnager, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge England, 2006, 336 – 361
- [3] F. Bekkers, M. Butter, E. Anders Eriksson, E. Frinking, K. Hartley, D. Hoffmans, M. Leis, M. Lundmark, H. Masson, A. Rensma, G. Willemsen, *Development of a European Defence Technological and Industrial Base, European Communities*, 2009
- [4] M.J. Zieniewicz, i in., *IEEE Pervasive Computing*, 4, 2002, 30–40
- [5] R. G. Egres, i in., *“Liquid armor”: Protective fabrics utilizing shear thickening fluids*, IFAI 4th Intentional Conference. on Safety and Protective Fabrics. October 26-27, 2004. Pittsburgh, USA, http://www.ccm.udel.edu/STF/PubLinks2/LiquidArmorProtectiveFabrics_Pub.pdf [dostęp: 2011-09-30]
- [6] E. Effing, M. Hopkins, M. W. Beyeler, E. P., *The Tepe System: Cost Effective High Volume Production of Parts and Profiles for Recreation, Protection and Transportation Markets*, Proc. 38th Int. SAMPE Symp. and Exhibition, 1994.
- [7] S. M. Walsh, B. R. Scott, D. M. Spagnuolo, *The Development of a Hybrid Thermoplastic Ballistic Ma-*

Z NAMI BEZPIECZNIEJ



Centrala
tel. 34 310-93-00
fax 34 317-98-31
maskpol@maskpol.com.pl

Dział Handlowy
tel. 34 310-94-16
34 310-94-17
34 317-98-77
biuro@maskpol.com.pl

Dział Zaopatrzenia
tel. 34 310-93-61
34 310-93-62
34 310-93-63

Dział Gospodarki
Narzędziowej
tel. 34 310-94-06
34 310-94-07
34 310-94-13

PRODUKUJEMY

SPRZĘT OCHRONY DRÓG
ODDECHOWYCH, SKÓRY I GŁOWY

SPRZĘT WYPOSAŻENIA WOJSKA
I POLICJI

NARZĘDZIA I OPRZYRZĄDOWANIE
DO OBRÓBKİ PLASTYCZNEJ
I TWORZYW SZTUCZNYCH

MASKPOL S.A. KONIECZKI 42-140 PANKI TEL. 34 310-93-00 34 317-98-77 FAX 34 317-98-31
e-mail: maskpol@maskpol.com.pl; biuro@maskpol.com.pl <http://www.maskpol.com.pl>

- terial With Application to Helmets, Army Research Laboratory, December 2005
- [8] B. Tissington, G. Pollard, I.M. Ward, *Compos. Sci. Technol.*, 44, 1992, 185
- [9] S.L. Gao, Y.G. Zeng, *J. Appl. Polym. Sci.*, 47, 1993, 2093
- [10] S.L. Gao, Y.G. Zeng, *J. Appl. Polym. Sci.*, 47, 1993, 2065
- [11] S. Holmes, P. Schwartz, *Compos. Sci. Technol.*, 1990, 38,
- [12] M. Breznick, J. Banhaji, H. Guttman, G. Marom, *Polym. Commun.*, 28, 1987, 55
- [13] A.G. Andreopoulos, *J. Appl. Polym. Sci.*, 38, 1989, 1053
- [14] P.A. Tarantili, A.G. Andreopoulos, *J. Appl. Polym. Sci.*, 65, 1997, 267
- [15] T. Nakajima, M. Koh, R.N. Singh, M. Shimada, *Electrochim. Acta*, 44, 1999, 2879–2888
- [16] J.R. Brown, Z. Mathys, *J. Mater. Sci.*, 32, 1997, 2599
- [17] Fang Guo, Zhao-Zhu Zhang, Wei-Min Liua, Feng-Hua Su, Hui-Juan Zhang, *Tribology International*, 42, 2009, 243–249
- [18] Hengjun Liu, Yanan Pei, Dong Xie, Xingrui Deng, Y.X. Leng, Yong Jin, Nan Huang, *Applied Surface Science*, 256, 2010, 3941–3945
- [19] http://en.wikipedia.org/wiki/Future_Soldier [do-step: 2010-06-04]
- [20] Spiegel K., *LSAT NDIA Small Arms, US Army ARDEC*, 2007
- [21] *SoldierMod, Vol.2*, 2009
- [22] *FBI Uniform Crime Reports: Law Enforcement Officers Killed and Assaulted 1994-1996*

Obecne i przyszłe trendy rozwojowe włókienniczych wyrobów balistycznych, cz. 2

M. H. Struszczyk, M. Łandwijt, M. Olejnik

Instytut Technologii Bezpieczeństwa "MORATEX"



INNOWACYJNA
GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Artykuł powstał jako rezultat prac w ramach projektu typu foresight pt. „Nowoczesne technologie dla włókiennictwa. Szansa dla Polski” nr umowy UDA-01.01.01-00-005/09 współfinansowanego przez Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

1. Ocena technologii włókienniczych wyrobów balistycznych z punktu widzenia skali koniecznych nakładów na realizację badań i wdrożenia, skalę korzyści wdrożenia do praktyki oraz ewentualnych barier ograniczających badania i wdrożenie.

Oslony balistyczne wymagają, w procesie projektowym, kompleksowej weryfikacji parametrów związanych z ich funkcjonalnością oraz bezpieczeństwem. Funkcjonujące obecnie dokumenty normatywne w zakresie wymagań dla balistycznych wyrobów włókienniczych zostały wprowadzone na przełomie wieku i stanowią state-of-the-art na ten okres. Nie odnoszą się one do obecnego stanu techniki oraz przewidywanego rozwoju technologii w przyszłości. Dotyczy to także wprowadzonych w 2011 r. nowych edycji norm polskich, które stanowią jedynie próbę przeniesienia na grunt polski pewnych aspektów opisanych w dokumentach normatywnych NIJ.

W tabelach 1a i 1b przedstawiono najczęściej stosowane obecnie dokumenty normatywne dotyczące osobistych ochron balistycznych oraz opancerzeni/doopancerzeń środków transportu.

Głównymi przyczynami wprowadzania zmian w zakres dokumentów normatywnych oraz specyfikacji technicznych wyrobów balistycznych są [8]:

- wprowadzanie nowoczesnych i innowacyjnych surowców/materiałów balistycznych,
- rozwój technologii kompozytowych,
- coraz lepsze zrozumienie zmian zachodzących w właściwościach balistycznych materiałów włókienniczych w czasie przechowywania, konserwacji i użytkowania,
- zwiększony stopień zagrożeń wynikających z ataków terrorystycznych,
- możliwość opisu oraz symulacji zjawisk zachodzących przy ostrzale materiałów balistycznych,

“Część artykułu stanowi rozdział z nieopublikowanego RAPORTU Z BADAŃ W OBSZARZE TECHNOLOGICZNYM T8. Specjalne włókiennicze wyroby techniczne, Projekt Foresight Nowoczesne Technologie dla Włókiennictwa. Szansa dla Polski, 2010”

Tabela 1a. Aktualne dokumenty normatywne z obszaru osobistych ochron balistycznych

Dokumenty normatywne NATO	Normy polskie	Dokumenty normatywne USA	Dokumenty normatywne w Wlk. Brytanii	Normy międzynarodowe	Normy europejskie
STANAG 2920 - Ballistic Test Method for Personal Armour Materials and Combat Clothing	PN-V-87000:2011 Osłony balistyczne lekkie - Kamizelki kulo- i odłamkoodporne - Wymagania ogólne i badania	Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06 [1]	HOSDB Body Armour Standards for UK Police (2007) Part 1: General Requirements [2]	- ¹⁾	- ²⁾
STANAG 2911 - Design criteria for fragmentation protective body armour	PN-V-87001:2011 Osłony balistyczne lekkie -- Helmy ochronne odłamkowo- i kuloodporne - Wymagania ogólne i badania	Stab Resistance of Personal Body Armor NIJ Standard-0115.00 [3]	HOSDB Body Armour Standards for UK Police (2007). Part 2: Ballistic Resistance [4]		
STANAG 2902 - Criteria for a NATO combat helmet		Ballistic Helmets, NIJ Standard – 0106.01 [5]	HOSDB Body Armour Standards for UK Police (2007). Part 3: Knife and Spike Resistance [6]		

¹⁾ – projekt normy ISO/FDIS 14876 Protective clothing – body armor został wycofany z dalszych prac,

²⁾ – obecnie trwają prace nad normą europejską w ramach Komitetu Technicznego CEN/TC 162/WG 5/PG 5 (projekt normy prEN XXXX, Protective clothing - Body armour)

Tabela 1b. Aktualne dokumenty normatywne z obszaru opancerzeń/dopancerzeń środków transportu

Dokumenty normatywne NATO	Normy polskie	Dokumenty normatywne USA	Dokumenty normatywne w Europie i na Świecie	Normy europejskie
STANAG 4164 Test Procedures for Armour Perforation Tests of Anti-Armour Ammunition	PN-EN 1522:2000 Okna, drzwi, żaluzje i zasłony. Kuloodporność. Wymagania i klasyfikacja.	Ballistic Resistant Protective Materials, NIJ Standard-0108.01 [13]	BRV 1999 Spezifikation für Angriffshemmende Fahrzeuge -Durchschusshemmende Fahrzeuge- Anforderungen, Klasseneinteilung, Prüfverfahren, Prüfmittel u. Zertifizierung, Rev. 29.10.02	EN 1063 2000 Glass in building. Security glazing. Testing and classification of resistance against bullet attack.
STANAG 4569 Protection Levels for Occupants of Logistic and Light Armoured Vehicles, 2004	PN-EN 1523:2000 Okna, drzwi, żaluzje i zasłony. Kuloodporność. Metody badań.	Mil-A-46100D 1986 Military Specification Armor Plate, Steel, Wrought, High Hardness	VPAM BRV 2009 Stand: 14.05.2009 Prüfrichtlinie Sondergeschützte Fahrzeuge - Anforderungen, Klassifizierungen und Prüfverfahren -	EN 1522:2000 Windows, Doors, Shutters and Blinds - Bullet Resistance - Requirements and Classification
STANAG 2920 NATO - Military Agency for Standardization (MAS) Ballistic Test Method for Personal Armour Materials and Combat Clothing	PN-EN 1063:2002 „Szkło w budownictwie. Bezpieczne oszklenia – Badania i klasyfikacja odporności balistycznej na uderzenie pocisku”	Mil-A-12560H 1990 Military Specification Armor Plate, Steel, Wrought, Homogeneous (for Use in Combat-Vehicles and for Ammunition Testing)	BS 5051 1988 Bullet-resistant glazing. Specification for glazing for interior use.	
AEP-55 Volume 1 (Edition 1) Feb. 2005 Procedures for Evaluating the Protection Levels of Logistic and Light Armoured Vehicles for KE and Artillery Threats		Mil-Std-662F 1997 USA Department of Defense - Test Method Standard	AS/NZS 2343 Australian and New Zealand Standard - Bullet Resistance Panels and Elements	

- konieczność zrozumienia i zidentyfikowania efektu traumy balistycznej i jej wpływu na narządy wewnętrzne,
- konieczność zapewnienia pełnej ochrony całej powierzchni ciała ludzkiego.

Analizując obecne tendencje w rozszerzeniu zakresu wymagań normatywnych można wymienić 6 podstawowych obszarów zmian:

1) opracowanie nowoczesnych metod analitycznych umożliwiających, m.in.:

a. ocenę wpływu czynników fizycznych oraz chemicznych (temperatura, promieniowanie UV oraz światła widzialnego, detergenty oraz substancje czyszczące) oraz sposobu użytkowania, jak także warunków przechowywania i konserwacji na funkcjonalność oraz bezpieczeństwo wyrobów balistycznych [10],

b. ocenę wpływu czynników biologicznych (bakterie, grzyby pleśniowe), działających także synergicznie, na funkcjonalność i bezpieczeństwo wyrobów balistycznych,

c. niedestrukcyjną ocenę bezpieczeństwa i funkcjonalności, w tym ocenę zmian strukturalnych, wywołanych na drodze chemicznej lub/i we właściwościach mechanicznych, zachodzących w czasie przechowywania, konserwacji oraz użytkowania wyrobów [10],

d. ocenę bezpieczeństwa w zakresie punktowego, wielokrotnego ostrzału wyrobu balistycznego [10],

e. wiarygodną i powtarzalną ocenę poziomu odporności balistycznej dzięki stosowaniu walidowalnych procedur badawczych.

2) ocenę innowacyjnych materiałów balistycznych.

Obecne tendencje w projektowaniu lekkich i ergonomicznych osłon balistycznych wymagają maksymalizacji powierzchni ochrony oraz zabezpieczenia nie tylko przed ostrzałem, ale także przekłuciem (bronią białą, ostrymi przedmiotami), czyli nadawania wyrobowi wielofunkcyjności. Powinno się więc dążyć do opracowania i wdrażania wielofunkcyjnych materiałów balistycznych o wysokiej elastyczności oraz maksymalnie obniżonej masie oraz odpornych na niekorzystny wpływ czynników zewnętrznych (fizycznych, chemicznych oraz biologicznych), działających także synergicznie. Wymaga to ciągłego wdrażania nowych normatywów odpowiednio klasyfikujących wyroby balistyczne (ze względu na funkcje oraz poziom odporności balistycznej), które zostały opracowane na bazie nowoczesnych surowców balistycznych. Projektując wyroby ochronne powinno dążyć się do uzyskania ochrony jak największej powierzchni ciała użytkownika. Obecny stan wiedzy pozwala jedynie na ograniczoną ochronę tylko najważniejszych organów wewnętrznych (ryzyko urazów letalnych), głównie

z powodu wysokiej sztywności paneli balistycznych oraz braku ich optymalnej ukladalności [9-10].

Integracja elementów tektonicznych oraz sensorów w wyrobach balistycznych wymaga wprowadzenie nowych aspektów badawczych, głównie w zakresie weryfikacji funkcjonalności zintegrowanych z wyrobami systemów tektonicznych.

3) ocenę komfortu użytkowania oraz wpływu konstrukcji na parametry fizjologiczne i psychologiczne użytkownika. Zwiększona ergonomia balistycznych ochron osobistych może zostać osiągnięta dzięki zastosowaniu innowacyjnych technologii materiałowych umożliwiających zminimalizowanie powierzchni bezpośredniego kontaktu wyrobu z ciałem użytkownika, stosowanie materiałów warstwowych o różnej funkcjonalności oraz systemów aktywnie regulujących temperaturę w warstwie kontaktującej się bezpośrednio do ciała użytkownika [10].

4) opracowanie walidowanych symulacji potencjalnych zagrożeń wynikających z urazów ciała/narządów wewnętrznych powstałych po ostrzale wyrobu, co znacząco wpłynie na bezpieczeństwo wyrobu [10].

5) ocenę jakości gotowych wyrobów oraz zachowania jednorodności w zakresie parametrów odpowiedzialnych za ich bezpieczeństwo i funkcjonalność. Stopień zaawansowania przyszłych technologii związany głównie z uzyskaniem wysokiej ekonomiczności procesu wytwórczego oraz jednorodności jakościowej wyrobu będzie wymagał wprowadzenie automatyzacji procesu oraz jego skrócenia do niezbędnego minimum.

6) wdrożenie systemu zarządzania ryzykiem w procesie projektowania, produkcji oraz okresie post-sprzedażnym.

1.1. Nakłady na prace badawczo-rozwojowe w obszarze włókienniczych wyrobów balistycznych

Obserwując obecne światowe tendencje rozwojowe można założyć, że nakłady związane z pracami badawczo-rozwojowymi nad nowymi konstrukcjami wyrobów balistycznych, w tym osobistych osłon balistycznych, będą rosły znacząco. Biorąc pod uwagę spełnienie jedynie obecnych wymagań normatywnych kwota na prace badawczo-rozwojowe powinna szacunkowo wzrosnąć od 3 do 5 razy (w zależności od stopnia zaawansowania wyrobu oraz ilości i stopnia zintegrowania systemów wspomagających).

Koszty wdrożenia, głównie związane z procesem automatyzacji produkcji, powinny wzrosnąć od 2 do 4 razy w stosunku do obecnych (szacowanych na minimalnym poziomie ok. 100 000 EUR dla wyrobu o nieskomplikowanej konstrukcji). Jednorazowe wprowa-

dzenie automatyzacji produkcji może wpłynąć w późniejszym czasie na zmniejszenie kosztów wdrożeń kolejnych wyrobów lub ich modyfikacji.

Oczywiście, poziom wzrostu kosztów będzie w głównej mierze zależny od stopnia zaawansowania technologicznego oraz dostępności parku technologicznego w ujęciu lokalnym, a nie globalnym.

1.2. Zidentyfikowane bariery ograniczające badania i wdrożenia w obszarze włókienniczych wyrobów balistycznych

Potencjalnymi barierami ograniczającymi badania i wdrożenia w obszarze włókienniczych wyrobów balistycznych są:

a. bariery strukturalne, ekologiczne i formalno-prawne:

- brak wypracowanej strategii UE w zakresie finansowania badań w obszarze obronności i bezpieczeństwa wewnętrznego,
- brak strategii na poziomie UE odnoszącej się do wytypowania i rozwoju technologii z obszaru obronności i bezpieczeństwa wewnętrznego,
- nieekologiczne procesy wytwarzania i przetwarzania surowców oraz wyrobów gotowych (polityka horyzontalna oraz polityka zrównoważonego wzrostu UE) – rynek i wymagania prawne nie będą aprobować technologii „brudnych” powodujących obciążenie środowiska naturalnego odpadami, zarówno w procesie produkcji, jak i po utracie przez wyrób właściwości użytkowych (brak możliwości lub utrudniony recycling),
- ograniczenia wynikające z możliwości nieupoważnionego lub niedozwolonego wykorzystania technologii - ze względu na kontrolę nad dystrybucją wyrobów/technologii z obszaru obronności i bezpieczeństwa wewnętrznego, wyroby i technologie te poddawane są bezpośredniemu nadzorowi państwowemu (np. system koncesji, pozwoleń, kontrole eksportowe, itp.), co znacząco utrudnia rozwój sprzedaży, w tym sprzedaży i wdrożeń rezultatów prac badawczo-rozwojowych [11].

b. bariery ekonomiczne:

- obniżenie wzrostu gospodarczego. Większość wyrobów balistycznych jest zamawianych przez służby państwowe odpowiedzialne za obronność i zachowanie bezpieczeństwa wewnętrznego. Obniżenie wzrostu gospodarczego powoduje zmniejszenie wartości lub zamrożenie zamówień publicznych. Dotyczy to także finansowania badań w ramach dotacji państwowych lub projektów współfinansowanych przez dane państwo lub bezpośrednio ze źródeł UE (np. w ramach programów ramowych),

- istnieje ryzyko szybkiego nasycenie rynku (-ów) w nowe wyroby/technologie,
- rynek będzie akceptował wyroby i technologie, których koszty wdrożenia i wytworzenia spowodują wzrost ceny gotowego wyrobu o maksymalnie 20 – 30%. W przypadku większego wzrostu ceny potencjalne korzyści wynikające z zastosowanych innowacji nie skompensują niezbędnych do poniesienia kosztów [11].

c. bariery społeczne/etyczne:

- w przypadku obniżenia ryzyka wystąpienia ataków terrorystycznych społeczeństwo nie będzie akceptowało zwiększania nakładów na projektowanie wyrobów i technologii z obszaru obronności i bezpieczeństwa wewnętrznego, zwłaszcza dla wyrobów/technologii, dla których analiza kosztów/korzyści wykazuje brak racjonalności wdrożeniowej,
- istnieje opór niektórych grup społecznych w zakresie finansowania prac nad wyrobami/technologiami z obszaru obronności i bezpieczeństwa wewnętrznego (np. ugrupowania pacyfistyczne, anarchistyczne, liberalne) [11].

d. bariery związane z użytkowaniem:

- brak lub ograniczone możliwości wymiany oraz naprawy zużytych/uszkodzonych elementów,
- niedopracowane lub niezbieżne z sobą wytyczne producentów w zakresie przechowywania, użytkowania oraz konserwacji wyrobów,
- brak lub niepoprawnie wypracowana przez końcowych użytkowników strategia użytkowania wyrobów.

2. Obecny stan zaawansowania badań nad włókienniczymi wyrobami balistycznymi w kraju i za granicą oraz stopień gotowości do wdrożenia do praktyki

W tabeli 2 przedstawiono szacowany przez autorów:

- stan zaawansowania badań nad grupą technologii i technologiami szczegółowymi w obszarze włóknistych wyrobów balistycznych oraz
- stopień ich gotowości do wdrożenia do praktyki wraz z przyporządkowaniem do prawdopodobnych kierunków dalszych badań nad technologiami w danym obszarze.

Najbardziej konkurencyjne trendy rozwojowe, biorąc nie tylko pod uwagę rosnący popyt, ale także potencjał rynku, oraz możliwości rozszerzenia zakresu aplikacji, zostały wyszczególnione w tabeli 2.

3. Czynniki stymulujące rozwój badań i wdrażania innowacji w obszarze włókienniczych wyrobów balistycznych

Tabela 2. Obecny stan zaawansowania badań w obszarze włókienniczych wyrobów balistycznych w kraju i za granicą oraz stopień ich gotowości do wdrożenia do praktyki

Prawdopodobne kierunki dalszych badań nad technologiami w obszarze balistycznych ochron ciała	Stopień zaawansowania badań w kraju	Stopień zaawansowania badań za granicą	Stopień gotowości do wdrożenia do praktyki Przewidywana data wdrożenia
Opracowanie nowoczesnych włókien do potencjalnego wykorzystania w balistyce	+	+++	2017
Komercyjne wykorzystanie prac badawczych nad analizą wpływu struktury włóknistych wyrobów balistycznych na urazy po ostrzale	++	+++	2020
Zaawansowane włókna typu "smart" do zastosowania w włóknistych wyrobach balistycznych	+	++	2020
Opracowanie optymalnego składu jakościowego i ilościowego materiałów kompozytowych	+++	+++	2014
Opracowanie zaawansowanych technologii hybrydowych, włóknistych wyrobów balistycznych o szerokiej wielofunkcyjności	+++	+++	2012
Opracowanie zaawansowanych wielofunkcyjnych włóknistych wyrobów balistycznych	++	+++	2014
Prace na wprowadzeniu nanomateriałów i nanododatków do włóknistych wyrobów balistycznych	+	+++	2014
Opracowanie zaawansowanych nanotechnologii do potencjalnego wykorzystania w włóknistych wyrobach balistycznych	+	+++	2022
Wstępne prace nad ergonomią włóknistych wyrobów balistycznych	++	+++	2015
Wdrożenie ergonomicznych włóknistych wyrobów balistycznych	+	+++	2020
Opracowanie wstępnych systemów sensorowych zintegrowanych ze strukturą włóknistych wyrobów balistycznych	+	+++	2014
Zaawansowane systemy sensorowe w pełni zintegrowane ze strukturą włóknistych wyrobów balistycznych	+	++	2020
Wdrożenie w pełni zautomatyzowanych procesów wytwarzania włóknistych kompozytów balistycznych	0	++	2022
Minimalizacja czynnika ludzkiego w procesach projektowych i wytwórczych włóknistych wyrobów balistycznych	+	+++	2016
Włókniste systemy ochron balistycznych typu "smart"	0	+	2026
Opracowanie włóknistych wyrobów balistycznych odpornych na działanie czynników środowiskowych a ulegających rozpadowi po zakładanym czasie przydatności do użytkowania	+	++	2020
Opracowanie materiałów włóknistych do zastosowania w wyrobach balistycznych podlegających łatwemu recyklingowi	++	++	2016
Zwiększenie zakresu aplikacji włóknistych materiałów kompozytowych	+	+++	2022
Stopień zaawansowania prac: 0 - brak prac badawczych w danym zakresie + - niski ++ - średni +++ - wysoki			

Czynnikami stymulującymi rozwój badań i wdrażania innowacji w obszarze włókienniczych wyrobów balistycznych są przede wszystkim:

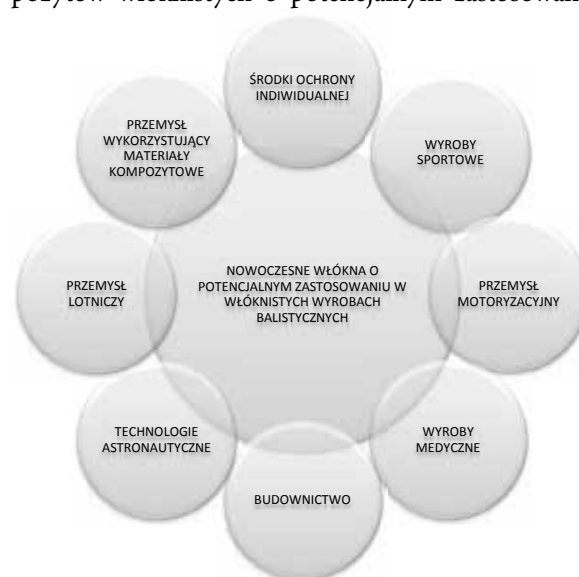
- rosnące zagrożenie ze strony ataków terrorystycznych bez oznak możliwości obniżenia ryzyka wystąpienia tych ataków,
- konieczność zapewnienia przez państwo wysokiego poziomu bezpieczeństwa wewnętrznego,
- liczne inicjatywy systemowe w obszarze wspomagania procesów badawczych w obszarze obronności i bezpieczeństwa wewnętrznego, zarówno w skali regionalnej, jak i UE (rozszerzenie tematyczne programów ramowych w zakresie finansowania projektów z obszaru obronności i bezpieczeństwa wewnętrznego),
- globalna recesja – paradoksalnie może stać się czynnikiem stymulującym rozwój technologii z obszaru bezpieczeństwa wewnętrznego. Większość krajów, w tym Polska i całościowo UE, wspomaga gospodarkę poprzez inwestycję w innowacyjne technologie (w tym z obszaru obronności i bezpieczeństwa wewnętrznego), aby rozbudzić gospodarkę i zwiększyć zatrudnienie w innowacyjnych przedsiębiorstwach,
- konieczność inwestowania w gałęzie przemysłu, których produkty wpływają na zwiększenie poziomu bezpieczeństwa wewnętrznego,
- stabilny rynek dostaw – okres dostaw rządowych powiązanych z obszarem obronności i bezpieczeństwa wewnętrznego jest zbyt długi, aby miały na niego wpływ krótkoterminowe wahania stanu gospodarki,
- znaczący wzrost zaawansowanych technologii, które stosują terroryści musi być co najmniej zrównoważony dzięki bardziej zaawansowanym technologiom celem przeciwdziałania potencjalnym atakom terrorystycznym,
- możliwości rozszerzenia zastosowania technologii włóknistych kompozytów o inne gałęzie przemysłu, np.: przemysł samochodowy i lotniczy, technologie astronautyczne, technologie konstrukcyjne, itp.,
- gałęzie przemysłu wytwarzającego kompozyty, w tym kompozyty balistyczne, wykazywały stały, wysoki wzrost w ciągu ostatnich 20 lat niezależnie od stanu gospodarki regionalnej oraz globalnej,
- wiele nowych rozwiązań z zakresu kompozytów włóknistych posiada status innowacji i szeroką perspektywę rozwoju, głównie w zakresie optymalizacji, poszukiwania nowych zakresów aplikacji, rynków zbytu oraz realizacji nowych procesów rozwojowych [11-12].

4. Sieci powiązań technologii włókienniczych wyrobów balistycznych w danym obszarze technologii i w całym przemyśle włókienniczym (wzajemne zależności i wpływy technologii)

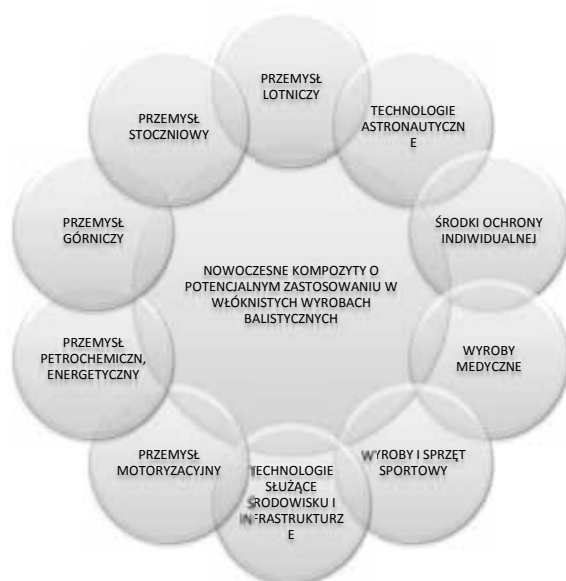
Na rysunku 1. przedstawiono wzajemne powiązania i wpływy w obszarze nowoczesnych włókien o potencjalnym zastosowaniu w włóknistych wyrobach balistycznych. Nowoczesne włókna o potencjalnym zastosowaniu w włóknistych wyrobach balistycznych posiadają lub mogą mieć także zastosowanie w:

- w projektowaniu środków ochrony osobistej (wysoko wytrzymałe materiały włókiennicze odporne na działanie czynników fizycznych, tj.: temperatura, wilgotność oraz na rozdzieranie, klucie czy przecięcie),
- w projektowaniu ubrań sportowych oraz sprzętu sportowego,
- w przemyśle lotniczym oraz astronautycznym, w zakresie wysoko wytrzymałych przewodów doprowadzających paliwo, wspomagające sterowanie, itp.,
- w przemyśle samochodowym do projektowania przewodów doprowadzających chłodziwa, paliwo, wspomagające system kierowania, chłodzenie systemu hamulcowego oraz wspomagające systemy klimatyzacyjne,
- w sektorach przemysłu wykorzystujących wysoko wytrzymałe kompozyty włókniste, np. kompozyty konstrukcyjne.

Na rysunku 2. przedstawiono wzajemne powiązania oraz wpływ w obszarze nowoczesnych kompozytów włóknistych o potencjalnym zastosowaniu



Rys. 1. Wzajemne powiązania i wzajemny wpływ w obszarze nowoczesnych włókien o potencjalnym zastosowaniu w włóknistych wyrobach balistycznych



Rys. 2. Wzajemne powiązania oraz wzajemny wpływ w obszarze nowoczesnych kompozytów o potencjalnym zastosowaniu w włóknistych wyrobach balistycznych. Nowoczesne kompozyty włókniste o potencjalnym zastosowaniu w włóknistych wyrobach balistycznych mogą mieć także zastosowanie w:

- w projektowaniu środków ochrony osobistej,
- w projektowaniu ubrań sportowych, szczególnie dla sportów wyczynowych oraz sprzętu sportowego,
- w przemyśle lotniczym jako części składowe samolotów, barierowe konstrukcje ochronne z możliwością integracji czujników oraz elementów tektonicznych,
- w przemyśle astronautycznym do budowy paneli energetycznych, części składowych rakiet nośnych, anten, w tym z możliwością integracji czujników oraz elementów tektonicznych,
- w przemyśle samochodowym do projektowania części lub całości nadwozi, podwozi, plandek transportowych, zbiorników paliwa z możliwością integracji czujników oraz elementów tektonicznych,
- w sektorach przemysłu wykorzystujących wysoko wytrzymałe kompozyty włókniste,
- w technologiach służących środowisku i infrastrukturze (ultral lekkie konstrukcje budowlane, konstrukcje drogowe, materiały izolacyjne, itp.), w tym z możliwością integracji czujników oraz elementów tektonicznych,
- w przemyśle petrochemicznym, energetycznym i przesyłowym (konstrukcja zbiorników, linii przesyłowych, linii technologicznych, panele energetyczne),
- przemysł wydobywczy (górnictwo, ropa naftowa, gaz ziemny) – do projektowania części lub całości

sprzętu wydobywczego, linii przesyłowych, zbiorników wysokociśnieniowych (transport samochodowy oraz kolejowy),

- przemysł stoczniowy – do projektowania części statków oraz wyposażenia pokładowego.

Bibliografia

- [1] Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard - 0101.06, <http://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/223054.pdf> [dostęp: 2010-06-04]
- [2] HOSDB Body Armour Standards for UK Police (2007) Part 1: General Requirements, http://www.bsst.de/content/PDF/39-07-A_-_HOSDB_Body_Armour1.pdf [dostęp: 2010-06-04]
- [3] Stab Resistance of Personal Body Armor NIJ Standard-0115.00, <http://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/183652.pdf> [dostęp: 2010-06-04]
- [4] HOSDB Body Armour Standards for UK Police (2007). Part 2: Ballistic Resistance, http://www.bsst.de/content/PDF/39-07-B_-_HOSDB_Body_Armour1.pdf [dostęp: 2010-06-04]
- [5] Ballistic Helmets, NIJ Standard – 0106.01, http://www.eeel.nist.gov/oles/Publications/NIJ%20Standard-0106.01_Ballistic_Helmets.pdf [dostęp: 2010-06-04]
- [6] HOSDB Body Armour Standards for UK Police (2007). Part 3: Knife and Spike Resistance, http://www.bsst.de/content/PDF/39-07-C_-_HOSDB_Body_Armour1.pdf [dostęp: 2010-06-04]
- [7] Ballistic Resistant Protective Materials, <http://www.eeel.nist.gov/oles/Publications/NIJ-0108.01.pdf> [dostęp: 2010-06-04]
- [8] A. Bhatnagar, Standards and Specifications for Lightweight Ballistic Materials, Lightweight Ballistic Composites – Military and Law-enforcement Applications, ed. A. Bhatnagar, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge England, 2006, 127 – 167
- [9] Ballistic Resistance of Personal Body Armor (NIJ Standard-0101.04, <http://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/183651.pdf> [dostęp: 2010-06-04]
- [10] Current and Future Research on Body Armor, <http://www.ojp.usdoj.gov/nij/topics/technology/body-armor/research.htm> [dostęp: 2010-06-04]
- [11] Report Global Homeland Security 2009-2019, 2009, www.visiongain.com
- [12] Report The Armoured Vehicles Market 2010-2020, 2009, www.visiongain.com
- [13] Ballistic Resistant Protective Materials NIJ Standard 0108.01, <https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/099859.pdf> [dostęp: 2010-06-04]

Kryteria oceny właściwości elektrostatycznych odzieży roboczej i ochronnej przeznaczonej do użytkowania w strefach zagrożenia wybuchem

M. Cichecka

Instytut Technologii Bezpieczeństwa "MORATEX"

WPROWADZENIE

Odzież robocza jak i ochronna musi być odporna na działanie czynników zewnętrznych pochodzących z otoczenia oraz powinna zapewnić dostateczną ochronę przed zagrożeniami występującymi w przewidywanych warunkach zastosowania tak, aby jej potencjalny użytkownik mógł swobodnie wykonywać wszystkie czynności zawodowe, korzystając równocześnie z odpowiedniej ochrony na możliwie najwyższym poziomie.

Miejsca, gdzie występuje atmosfera wybuchowa są wyjątkowo niebezpieczne dla osób w nich pracujących. W obiektach i strefach zagrożenia wybuchem elektryczność statyczna może stanowić źródło zapłonu. W związku z powyższym ubranie wykonane z materiałów elektryzujących się, powoduje jego łatwe naelektryzowanie a pojawiające się iskrowe wyładowanie elektryczne może stworzyć realne zagrożenie doprowadzające do wybuchu. Wymaga to, więc stosowania środków przeciwdziałających temu niebezpiecznemu zjawisku.

W tej sytuacji bardzo ważna jest właściwa ocena materiałów przeznaczonych na odzież roboczą i ochronną przeznaczonych do noszenia i stosowania w obiektach i strefach zagrożenia wybuchem [1, 2, 3, 4].

Jednakże z uwagi na niewystarczającą miarodajność i różnorodność metod oceny właściwości elektrostatycznych materiałów przeznaczonych na odzież roboczą czy ochronną zagadnienie to budzi wiele wątpliwości i uwag.

W chwili obecnej odzież robocza o właściwościach antyelektrostatycznych powinna spełniać wymagania określone w normie PN-P-84525:1998 „Odzież robocza - Ubrania robocze” [5]. Natomiast wymagania dla antyelektrostatycznej odzieży ochronnej zostały sformułowane w dokumencie PN-EN 1149-5:2009 „Odzież ochronna - Właściwości elektrostatyczne - Część 5: Wymagania” [6], które jednocześnie powiązane są z zasadniczymi wymaganiami dyrektywy 89/686/EWG dotyczącej środków ochrony indywidualnej przeznaczonych do stosowania w strefie za-

grożenia wybuchem [7]. Tekstylna przeznaczone na odzież chroniącą przed stężonymi i rozcieńczonymi kwasami i zasadami w zakresie właściwości elektrostatycznych powinny spełniać wymagania zawarte w PN-P-04987:1998 „Odzież ochronna - Tekstylna na odzież chroniącą przed kwasami i zasadami - Wymagania” [8].

Ponadto właściwości elektrostatyczne płaskich materiałów włókienniczych stosowanych w miejscach zagrożonych wybuchem mogą być oceniane wg normy PN-92/E-05203 „Ochrona przed elektrycznością statyczną - Materiały i wyroby stosowane w obiektach oraz strefach zagrożonych wybuchem - Metody badania oporu elektrycznego właściwego i oporu upływu” [9].

CEL PRACY

Celem podjętej pracy było przeanalizowanie aktualnie obowiązujących zasad i związanych z nimi metod badawczych służących ocenie właściwości elektrostatycznych odzieży roboczej i ochronnej przeznaczonej do użytkowania w strefach zagrożenia wybuchem.

Dodatkowo w celu zilustrowania dyskutowanych zagadnień zaprezentowano przykładowe wyniki badań typowych materiałów włókienniczych przeznaczonych na odzież roboczą i ochronną przeznaczonych do noszenia i stosowania w miejscach, gdzie istnieje zagrożenie wybuchem.

MATERIAŁ BADAWCZY

Materiał badawczy stanowiły typowe materiały włókiennicze stosowane do produkcji odzieży roboczej (ubranie typu drelch, koszula robocza) i odzieży ochronnej (tkanina typu NOMEX, fartuch przedni chroniący przed stężonymi kwasami i zasadami). O wyborze materiałów badawczych zdecydowała przede wszystkim ich dostępność oraz zgodność z przedmiotem badań opisanym w konkretnej normie. W Tabeli 1 zestawiono parametry podstawowe próbek badanych wyrobów.

Tabela 1. Charakterystyka próbek badanych wyrobów włókienniczych stosowanych w strefach zagrożenia wybuchem

L.p.	Parametr	Wyniki badań				Metodyka
		Ubranie typu drelach	Koszula robocza	Tkanina typu NOMEX	Fartuch przedni chroniący przed stężonymi kwasami i zasadami	
1	Skład surowcowy [%]	100% bawełna	100% bawełna	100% włókna aramidowe	18% włókna syntetyczne, 82% PCV	PN-72/P-04604
2	Masa powierzchniowa [g/m ²]	277	184	174	100	PN-ISO 3801:1993

METODYKI BADAWCZE I APARATURA

Wymagania oraz odpowiadające im metodyki badawcze służące do oceny właściwości elektrostatycznych odzieży roboczej i ochronnej oraz wyrobów włókienniczych stosowanych w obszarach zagrożenia wybuchem zestawiono w Tabeli 2. Ponadto na potrzeby niniejszej pracy posłużono się następującymi pojęciami:

strefa zagrożenia wybuchem – przestrzeń, w której może występować ciągle lub czasowo mieszanina wybuchowa substancji palnych z powietrzem lub innymi gazami utleniającymi, o stężeniu zawartym między dolną i górną granicą wybuchowości w takich ilościach, że wymaga to stosowania specjalnych środków zapobiegawczych [10];

odzież robocza – odzież zabezpieczająca lub zastępująca własną odzież pracownika w warunkach, w których nie występują czynniki szkodliwe dla zdrowia,

dostosowana do wykonywanych czynności i wymagań procesu technologicznego [5];

odzież ochronna – odzież wraz z ochraniaczami, która okrywa lub zastępuje odzież osobistą i jest przeznaczona do zapewnienia ochrony przed jednym lub wieloma zagrożeniami [11];

rezystancja powierzchniowa – stosunek wartości napięcia stałego doprowadzonego do próbki za pomocą elektrod do wartości natężenia prądu płynącego do powierzchni próbki wyrażony w omach oraz wyznaczana z użyciem określonych elektrod umieszczonych na powierzchni materiału [9, 12, 13];

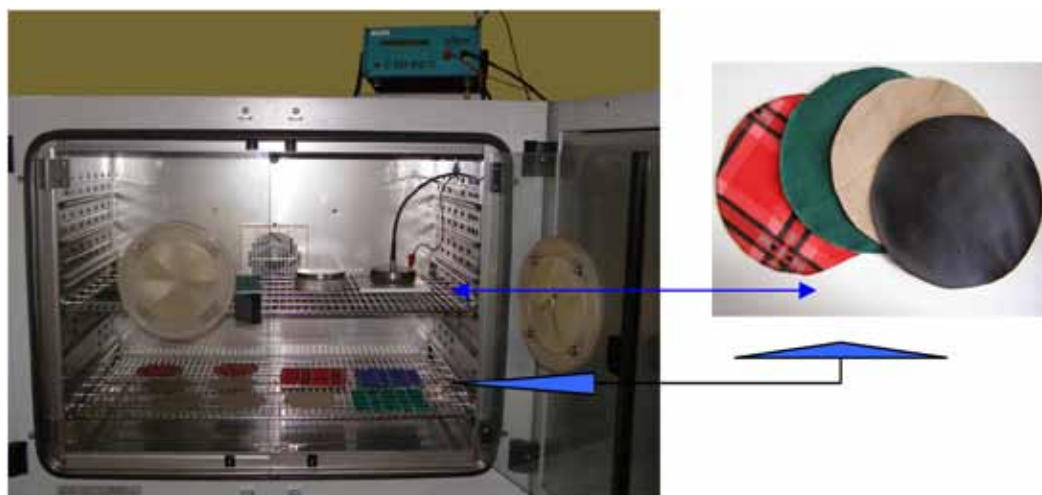
rezystywność powierzchniowa – stosunek wartości natężenia pola elektrycznego do wartości gęstości prądu płynącego po powierzchni próbki, wyrażony w omach [9, 12, 13];

czas połowicznego zaniku t_{50} – czas, w jakim mierzone pole maleje o połowę w stosunku do swojej początkowej wartości, wyrażony w sekundach [3, 6, 14];

współczynnik ekranowania S – miara skuteczności ekranowania [3, 6, 14].

Tabela 2. Wymagania stawiane materiałom i wyrobom stosowanym w obiektach oraz strefach zagrożenia wybuchem

Rodzaj wyrobu	Parametr	Poziom wymagań	Klimat do badań	Metodyka
Odzież robocza	Rezystywność powierzchniowa ρ_s [Ω]	$10^7 < \rho_s \leq 10^{10}$ wg PN-P-84525:1998	$T = 23 \pm 2^\circ\text{C}$ $RH = 50 \pm 5\%$	PN-92/E-05203
Odzież ochronna	Czas połowicznego zaniku t_{50} [s] lub Współczynnik ekranowania S	$< 4\text{s}$ $> 0,2$ wg PN-EN 1149-5:2009	$T = 23 \pm 1^\circ\text{C}$ $RH = 25 \pm 5\%$	PN-EN 1149-3:2007
	Rezystancja powierzchniowa R [Ω]	$\leq 2,5 \cdot 10^9$ wg PN-EN 1149-5:2009		PN-EN 1149-1:2008
Tekstylia przeznaczone do produkcji odzieży chroniącej przed kwasami i zasadami	Rezystywność powierzchniowa ρ_F [Ω]	$\leq 2 \cdot 10^{10}$ wg PN-P-04987:1998	$T = 23 \pm 1^\circ\text{C}$ $RH = 25 \pm 5\%$	PN-92/E-05203
Płaskie materiały włókiennicze	Opór powierzchniowy R_s [Ω]	$10^6 < R_s \leq 10^9$ wg PN-92/E-05203	$T = 23 \pm 2^\circ\text{C}$ $RH = 50 \pm 5\%$	PN-92/E-05203
	Opór skośny R_v [Ω]	$R_v \leq 10^6$ wg PN-92/E-05203		



Zdjęcie 1. Stanowisko badawcze wg PN-EN 1149-1:2008 i PN-92/E-05203 w akredytowanym Laboratorium Badań Metrologicznych ITB „MORATEX” Nr AB 154

Na Zdjęciu 1 przedstawiono przykładowy układ pomiarowy do wyznaczania rezystancji i rezystywności powierzchniowej wg PN-EN 1149-1:2008 oraz oporu powierzchniowego wg PN-92/E-05203 wraz z wykorzystanymi w pracy próbkami do badań.

WYNIKI BADAŃ

W Tabeli 3 przedstawiono wyniki badań właściwości elektrostatycznych dla wytypowanych próbek materiałów włókienniczych stosowanych do produkcji odzieży roboczej (ubranie typu drelch, koszula robocza) i ochronnej (tkanina typu NOMEX, fartuch przedni chroniący przed stężonymi kwasami i zasadami), dla których zgodnie z wytycznymi przedstawionymi w Tabeli nr 2 wyznaczono:

- współczynnik ekranowania i czas półzaniku
- rezystancję powierzchniową
- opór powierzchniowy, rezystywność powierzchniową i opór skośny.

DYSKUSJA WYNIKÓW

Ubranie typu drelch spełnia kryteria: $10^7 \Omega < \rho_s \leq 10^{10} \Omega$ wg PN-P-84525:1998 dla odzieży roboczej oraz

$10^6 \Omega < R_s \leq 10^9 \Omega$ wg PN-92/E-05203 dla materiałów włókienniczych.

Koszula robocza oraz tkanina typu NOMEX spełniają kryteria dla odzieży ochronnej $t_{50} < 4s$ i $S > 0,2$ wg PN-EN 1149-5:2009.

Żaden ze zbadanych w pracy wyrobów włókienniczych nie spełnia kryterium $R \leq 2,5 \cdot 10^9 \Omega$ wg PN-EN 1149-5:2009 dla odzieży ochronnej.

Żaden ze zbadanych w pracy wyrobów włókienniczych nie spełnia kryterium $R_v \leq 10^6 \Omega$ wg PN-92/E-05203 dla materiałów włókienniczych.

Wszystkie zbadane w pracy wyroby włókiennicze oprócz fartucha przedniego chroniącego przed stężonymi kwasami i zasadami mogą być dopuszczone do stosowania w strefach zagrożenia wybuchem.

WNIOSKI

Wątpliwości i zastrzeżenia budzi brak jednoznacznych i miarodajnych kryteriów stosowanych do oceny odzieży ochronnej i roboczej przeznaczonej do użytkowania w strefach zagrożenia wybuchem.

W związku z tym, że postanowienia omawianych norm są stosowane jako wytyczne do projektowania i oceny przydatności nowo opracowywanych teksty-

Tabela 3. Wyniki badań próbek wyrobów włókienniczych stosowanych w strefach zagrożenia wybuchem

Wskaźnik	Ubranie typu drelch	Koszula robocza	Tkanina typu NOMEX	Fartuch przedni chroniący przed stężonymi kwasami i zasadami	Metodyka
Współczynnik ekranowania S Czas półzaniku t_{50} [s]	0 11.80	0 3.31	0.86 <0.01	0 6.85	PN-EN 1149-3:2007
Rezystancja powierzchniowa R [Ω]	$1.5 \cdot 10^{10}$	$1.2 \cdot 10^{10}$	$2.6 \cdot 10^{10}$	$1.3 \cdot 10^{12}$	PN-EN 1149-1:2008
Opór powierzchniowy R_s [Ω]	$2.8 \cdot 10^8$	$1.6 \cdot 10^9$	$3.9 \cdot 10^{11}$	$1.3 \cdot 10^{12}$	PN- 92/E-05203
Rezystywność powierzchniowa ρ_s [Ω]	$6.1 \cdot 10^9$	$3.3 \cdot 10^{10}$	$7.8 \cdot 10^{12}$	$2.5 \cdot 10^{13}$	
Opór skośny R_v [Ω]	$1.7 \cdot 10^7$	$1.3 \cdot 10^8$	$1.3 \cdot 10^9$	$1.8 \cdot 10^{10}$	

liów przewidzianych do produkcji zarówno odzieży roboczej jak i odzieży ochronnej przeznaczonej do użytkowania w obiektach i strefach zagrożenia wybuchem, a także wykorzystywane są podczas procesu certyfikacji oraz do bieżącej kontroli parametrów techniczno-technologicznych obowiązujące dokumenty normatywne zawierające poziomy wymagań elektrostatycznych w aspekcie oceny właściwości elektrostatycznych wymagają gruntownego przeglądu i owelizacji.

LITERATURA

1. Kowalski J.M., Wróblewska M. „Przesłanki dla praktycznej oceny właściwości antyelektrostatycznych odzieży ochronnej”. *Materiały EL-TEX 2006*
2. Kowalski J.M., Wróblewska M. „Premises for practical evaluation of the anti-electrostatic properties of protective garments”. *Fibres Text East. Eur.* No 5(59) vol. 14, 2006, 23-28
3. Kurczewska A. „Ocena odzieży przeznaczonej do użytkowania w strefie zagrożenia wybuchem”. *Bezpieczeństwo Pracy* 2/2008, 14-16
4. Cichecka M., Nowak T. „Odzież robocza i ochronna w aspekcie oceny właściwości elektrostatycznych”. *Materiały EL-TEX 2010*
5. PN-P-8452S:1998 „Odzież robocza -- Ubrania robocze”
6. PN-EN 1149-5:2009 „Odzież ochronna -- Właściwości elektrostatyczne -- Część 5: Wymagania”
7. Dyrektywa 89/686/EWG w sprawie ujednolicenia przepisów prawnych państw członkowskich UE w zakresie środków ochrony indywidualnej
8. PN-P-04987:1998 „Odzież ochronna -- Tekstylia na odzież chroniącą przed kwasami i zasadami -- Wymagania”
9. PN-92/E-05203 „Ochrona przed elektrycznością statyczną -- Materiały i wyroby stosowane w obiektach oraz strefach zagrożonych wybuchem -- Metody badania oporu elektrycznego właściwego i oporu upływu”
10. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. Nr 109, poz. 719)
11. PN-EN 340:2006 „Odzież ochronna -- Wymagania ogólne”
12. PN EN 1149-1: 2008 „Odzież ochronna -- Właściwości elektrostatyczne -- Część 1: Metoda badania rezystywności powierzchniowej”
13. PN-91/P-04871 „Tekstylia -- Wyznaczanie rezystywności elektrycznej”
14. PN EN 1149-3:2007 „Odzież ochronna -- Właściwości elektrostatyczne -- Część 3: Metody badań do pomiaru zaniku ładunku”

Streszczenie

Analiza odtwarzalności wybranych metod pomiarowych na podstawie porównań międzylaboratoryjnych

I. Jasińska, Z. Mokwińska

Instytut Włókiennictwa

1. Wprowadzenie

Laboratorium Badań Surowców i Wyrobów Włókienniczych Instytutu Włókiennictwa w ramach pracy Sekcji Przemysłu Tekstylnego i Skórzanego Klubu POLLAB, w latach 2009-2010 zorganizowało cztery Porównania Międzylaboratoryjne (PM) dotyczące akredytowanych metod badawczych. W wyniku prze-

prowadzonych badań [1,2,3,4] wyznaczona została odtwarzalność dla następujących metod pomiarowych:

- PN-EN ISO 5077:2008 Tekstylia. Wyznaczanie zmiany wymiarów po praniu i suszeniu.
- PN-EN 31092:198+Ap1:2004 Tekstylia. Wyznaczanie właściwości fizjologicznych - Pomiar oporu cieplnego i oporu pary wodnej w warunkach sta-

nu ustalonego (metoda pocącej się zaizolowanej cieplnie płyty).

- PN-EN 12127:2000 Tekstyli. Płaskie wyroby włókiennicze. Wyznaczanie masy na jednostkę powierzchni z zastosowaniem małych próbek.
- PN-EN 24920:1997 Tekstyli. Wyznaczanie odporności wyrobów na zwilżanie powierzchniowe (spray test).

Głównym celem organizowanych Porównań Międzylaboratoryjnych było:

- potwierdzenie kompetencji technicznych laboratoriów badawczych w zakresie wyznaczonych metod badawczych,
- spełnienie wymagań stawianych akredytowanym laboratorium, zawartych w dokumencie PCA - DA-05 [5].
- ocena jakości metodyki badawczej zawartej w dokumentach znormalizowanych która podlega okresowym nowelizacjom, poprzez analizę wartości wskaźników powtarzalności i odtwarzalności [6].

Porównania Międzylaboratoryjne są skutecznym narzędziem oceny odtwarzalności pomiarów dokonywanych w laboratoriach. Występuje w nich grupa czynników, względem których możemy analizować odtwarzalność. Należą do nich między innymi: osoby wykonujące badania, rodzaj posiadanego przez laboratorium wyposażenia, czas badania.

Tabela1 Porównania Międzylaboratoryjne w latach 2009 – 2010

Lp	Porównania międzylaboratoryjne	Liczba uczestników
PM I	Wyznaczanie zmiany wymiarów po praniu i suszeniu wg PN-EN ISO 5077:2008	8
PM II	Wyznaczanie oporu cieplnego wyrobów włókienniczych wg PN-EN 31092:1998+Ap1:2004	7
PM III	Wyznaczanie masy powierzchniowej z zastosowaniem małych próbek wg PN-EN 12127:2000	9
PM IV	Wyznaczanie odporności wyrobów na zwilżanie powierzchniowe (spray test) wg PN-EN 24920:1997	6

2. Wykonanie badań

Każde z uczestniczących w PM laboratoriów otrzymało od organizatora jednorodny pod względem badanej cechy materiał badawczy. We wszystkich przeprowadzonych PM każdy z uczestników wykonał w warunkach powtarzalności 2 serie pomiarów wartości danego wskaźnika.

Po zebraniu wyników od wszystkich uczestników PM dokonano analizy statystycznej w oparciu o normę PN-91/P-04600 „Tekstyli. Wyznaczanie precyzji metod badań na podstawie badań międzylaboratoryjnych”. W celu eliminacji ewentualnych wyników silnie

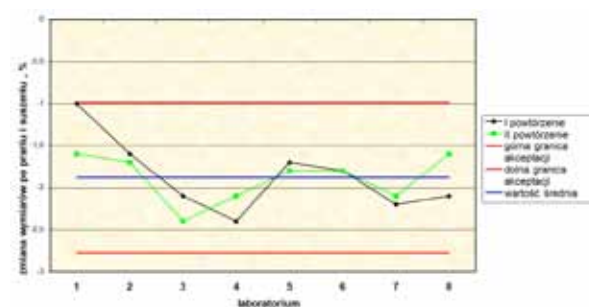
odbiegających od wartości średniej zastosowano test Dixona, dla przyjętych poziomów istotności 1% i 5%. Test ten należy do grupy testów istotności, pozwalających na podstawie matematycznych obliczeń wyeliminować błędy grube, czyli te z wyników pomiarów, które znacznie różnią się od pozostałych w populacji.

Ocena wyników pod względem precyzji została przeprowadzona przy wykorzystaniu testu Cochra. Test ten poddaje ocenie wariancję uzyskane z poszczególnych powtórzeń i pozwala na określenie ich jednorodności.

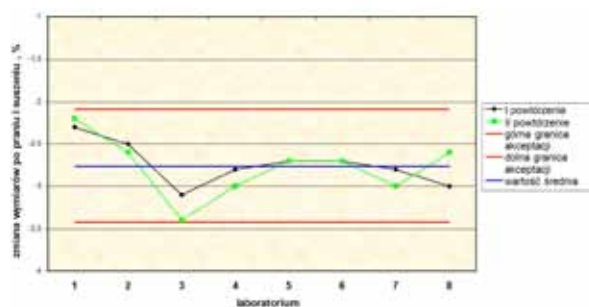
W każdym z omawianych Porównań Międzylaboratoryjnych do obliczeń statystyki osiągnięć przyjęto jedynie wyniki, dla których zarówno test Dixona jak i Cochra nie wykazał istotnej rozbieżności z pozostałymi wynikami w populacji.

3. Wskaźniki precyzji

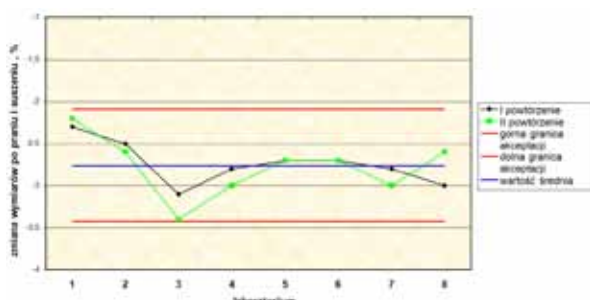
W opracowaniach PM obliczone zostały wskaźniki precyzji dla warunków powtarzalności – r i odtwarzalności – R oraz obliczono granice akceptacji wartości średniej ogólnej zgodnie z normą PN-91/P-04600 „Tekstyli. Wyznaczanie precyzji metod badań na podstawie badań międzylaboratoryjnych”. Wyniki uzyskane przez uczestników PM powinny znajdować się w granicach akceptacji wartości średniej. Rysunki 1-6 prezentują rozkład wyników w poszczególnych Porównaniach Międzylaboratoryjnych w kontekście obliczonych granic akceptacji.



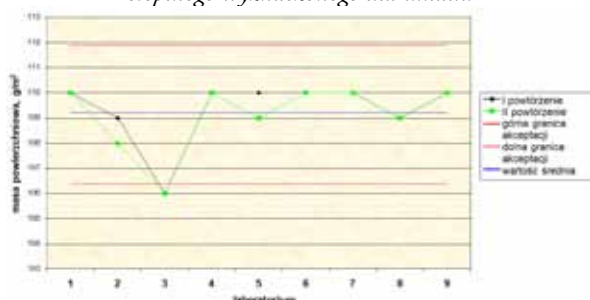
Rys. 1. PM I - Granice akceptacji wartości średniej zmiany wymiarów dla kierunku wzdłużnego tkaniny



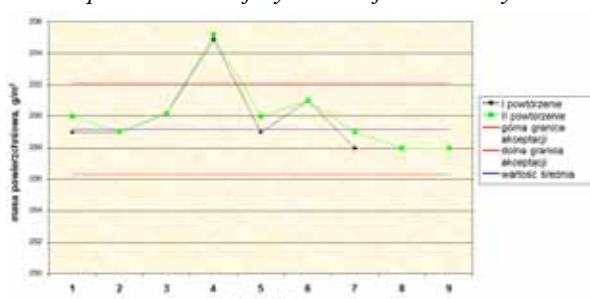
Rys. 2. PM I – Granice akceptacji wartości średniej zmiany wymiarów dla kierunku poprzecznego tkaniny



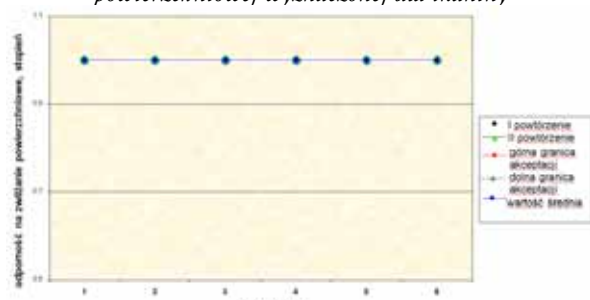
Rys. 3. PM II - Granice akceptacji średniej wartości oporu cieplnego wyznaczonego dla układu



Rys. 4. PM III - Granice akceptacji średniej wartości masy powierzchniowej wyznaczonej dla dzianiny



Rys. 5. PM III - Granice akceptacji średniej wartości masy powierzchniowej wyznaczonej dla tkaniny



Rys. 6. PM IV - Granice akceptacji średniej wartości odporności na zwilżanie powierzchniowe dla tkaniny

Omówienie wyników precyzji:

W PMI „Wyznaczanie zmiany wymiarów po praniu i suszeniu wg PN-EN ISO 5077:2008” i PM IV „Wyznaczanie odporności wyrobów na zwilżanie powierzchniowe (spray test) wg PN-EN 24920:1997”, wyniki wszystkich laboratoriów zostały uznane za prawidłowe, nieobarczone grubym błędem, o jednorodnych wariancjach w obydwu powtórzeniach.

W PM II „Wyznaczanie oporu cieplnego wyrobów włókienniczych wg PN-EN 31092:1998+Ap1:2004”, wyniki uzyskane w laboratorium o kodzie „4” nie mieszczą się w granicach akceptacji wartości średniej

i wartość wskaźnika z-score dla tego laboratorium jest wątpliwa.

W PM III Wyznaczanie masy powierzchniowej z zastosowaniem małych próbek wg PN-EN 12127:2000” wyniki uzyskane w laboratorium o kodzie „3” dla dzianiny nie mieszczą się w granicach akceptacji wartości średniej i wartość wskaźnika z-score dla tego laboratorium jest wątpliwa. Wyniki uzyskane w laboratorium o kodzie „4” dla tkaniny nie mieszczą się w granicach akceptacji wartości średniej i wartość wskaźnika z-score dla tego laboratorium jest niezadowolająca.

Wszystkie laboratoria, które uzyskały wartości wskaźnika z-score na zadowalającym poziomie wykazują prawidłowy poziom odtwarzalności wyników pomiarów. Świadczy o tym także relacja wyników względem obliczonych granic akceptacji wartości średniej.

3. Obliczanie statystyki osiągnięć.

Jako parametr charakteryzujący uzyskane wyniki badań i wskazujący oddalenie wyników uzyskanych w poszczególnych laboratoriach od wartości przypisanej przyjęto wskaźnik z-score oraz rozstęp $x-X$. Obliczenia statystyki osiągnięć wykonano na podstawie Przewodnika ISO/IEC 43-1:1997, Załącznik A [6]. Wskaźnik z-score ilustruje zależność (1).

$$z = \frac{x - X}{s} \quad (1)$$

gdzie:

x - wartości uzyskane od poszczególnych uczestników w danym powtórzeniu,

X - wartość przypisana dla danego powtórzenia,

s - odchylenie standardowe międzylaboratoryjne w każdym powtórzeniu.

Natomiast wartości rozstępu $x-X$ obliczane są jako różnice wartości przypisanej i wartości uzyskanych od poszczególnych uczestników w danym powtórzeniu.

Wybór wartości przypisanej uzależniony jest od specyfiki metody pomiarowej i charakteru rozrzutu wyników. W większości przypadków jako wartość przypisaną wybiera się średnią arytmetyczną. W przypadku wyznaczania odporności wyrobów na zwilżanie powierzchniowe (spray test) wg PN-EN 24920:1997, jako wartość przypisaną przyjęto dominantę.

Na podstawie kryteriów oceny zawartych w Przewodniku ISO/IEC 43-1:1997, Załącznik A [6] dokonywana jest ocena wiarygodności wyników uzyskiwanych w laboratoriach uczestniczących w Porównaniu Międzylaboratoryjnym.

Ocena laboratorium z uwagi na wartość bezwzględna wskaźnika z-score przedstawia się w następujący sposób:

- gdy $z \leq 2$ wynik zadowolający,
- gdy $2 < z < 3$ wynik wątpliwy,
- gdy $z \geq 3$ wynik niezadowolający

Dla wskaźnika x-X przyjęto natomiast następujące kryteria oceny wartości:

$(x - X) = 0$ - wynik zadowolający

$(x - X) \in \left(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$ - wynik wątpliwy

$(x - X) \in \left(-\infty, -\frac{1}{2}\right) \cup \left(\frac{1}{2}, \infty\right)$ - wynik niezadowolający

Dokument PCA - DA-05 [5] zaleca analizować wszystkie wyniki PM i potencjalne trendy układania się wyników, a szczególnej analizie poddawać wszystkie wątpliwe i niezadowolające wyniki i podejmować skuteczne działania zapobiegawcze i działania korygujące.

Laboratoria uczestniczące w PM uzyskały w większości przypadków wartości wskaźnika z-score i x-X na poziomie zadowolającym. Szczegółowe wyniki dla poszczególnych porównań prezentują tabele 2-5. W tabelach zaznaczono wątpliwe i niezadowolające wyniki wskaźnika z-score i x-X.

4. Wnioski

Przeprowadzone Porównania Międzylaboratoryjne wykazały odtwarzalność pomiarów dokonywanych w laboratoriach.

We wszystkich czterech omawianych Porównaniach Międzylaboratoryjnych wyniki wątpliwe nie przekroczyły dopuszczalnych 20%, więc zostało spełnione kryterium zawarte w pkt.5.2 dokumentu DA-05 [5].

Wyniki Porównań Międzylaboratoryjnych są dowodem kompetencji technicznych laboratoriów biorących udział w omawianych badaniach.

Porównania Międzylaboratoryjne są pomocne przy analizie własnych osiągnięć, którą powinni przeprowadzać sami uczestnicy PM.

Tabela 2. Wartości wskaźnika z-score

PM I - wyznaczanie zmiany wymiarów po praniu i suszeniu wg PN-EN ISO 5077:2008

Kod laboratorium	Tkanina			
	kierunek wzdłużny		kierunek poprzeczny	
	I powtórzenie	II powtórzenie	I powtórzenie	II powtórzenie
1	1,96	0,92	1,71	1,61
2	0,60	0,57	0,93	0,49
3	-0,54	-1,88	-1,41	-1,75
4	-1,22	-0,83	-0,24	-0,63
5	0,37	0,22	0,15	0,21
6	0,14	0,22	0,15	0,21
7	-0,76	-0,83	-0,24	-0,63
8	-0,54	0,92	-1,02	0,49

Tabela 3. Wartości wskaźnika z-score
PM II - wyznaczanie oporu cieplnego wg PN-EN 31092:198+Ap1:2004

Kod laboratorium	Układ tkanina-dzianina	
	I powtórzenie	II powtórzenie
1	-0,56	-0,56
2	-0,22	-0,13
3	-0,25	-0,09
4	2,24	2,10
5	-0,24	-0,27
6	-0,53	-0,51
7	-0,45	-0,43

Tabela 4. Wartości wskaźnika z-score
PM III - wyznaczanie masy na jednostkę powierzchni z zastosowaniem małych próbek wg PN-EN 12127:2000

Kod Laboratorium	Dzianina		Tkanina	
	I powtórzenie	I powtórzenie	II powtórzenie	II powtórzenie
1	0,59	0,59	-0,25	0,75
2	-0,17	-0,93	-0,25	-0,25
3	-2,46	-2,46	0,75	0,75
4	0,59	0,59	5,75	5,75
5	0,59	-0,17	-0,25	0,75
6	0,59	0,59	1,75	1,75
7	0,59	0,59	-1,25	-0,25
8	-0,17	-0,17	-0,25	-1,25
9	0,59	0,59	-1,25	-1,25

Tabela 5. Wartości wskaźnika x-X dla tkaniny
PM IV - wyznaczanie odporności na zwilżanie powierzchniowe wg PN-EN 24920:1997

Kod Laboratorium	Tkanina	
	I powtórzenie	I powtórzenie
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0

BIBLIOGRAFIA

1. Jasińska I., Sprawozdanie z porównań międzylaboratoryjnych - Wyznaczanie zmiany wymiarów po praniu i suszeniu wg PN-EN ISO 5077:2008.
2. Jasińska I., Sprawozdanie z porównań międzylaboratoryjnych - Wyznaczanie oporu cieplnego wyrobów włókienniczych wg PN-EN 31092:1998+Ap1:2004.
3. Jasińska I., Sprawozdanie z porównań międzylaboratoryjnych - Wyznaczanie masy powierzchniowej z zastosowaniem małych próbek wg PN-EN 12127:2000.
4. Jasińska I., Sprawozdanie z porównań międzylaboratoryjnych - Wyznaczanie odporności wyrobów na zwilżanie powierzchniowe (spray test) wg PN-EN 24920:1997
5. Dokument DA-05 Polskiego Centrum Akredytacji, wydanie 4 z dnia 07.02.2008
6. Przewodnik ISO/IEC 43:1997

Włókna w balistyce - dziś i jutro

M. Wesołowska, B. Delczyk-Olejniczak

Instytut Technologii Bezpieczeństwa "MORATEX"

Wstęp

Włókna o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie i wysokim module sprężystości zrewolucjonizowały projektowanie lekkich ochron balistycznych. Stały się one podstawowym wzmocnieniem kompozytów stosowanych między innymi w kulo- i odłamkoodpornych hełmach i kamizelkach oraz opancerzeniach pojazdów. Dostępność materiałów z nieźrównanie wytrzymałych włókien przekraczających możliwości dostępnych w danym czasie surowców konstrukcyjnych pobudzało wyobraźnię wielu konstruktorów. Zaprezentowano mnóstwo pomysłów nowych zastosowań oraz kreatywne rozwiązania istniejących problemów. Jednakże niewiele obszarów zastosowań zostało zrewolucjonizowanych w takim stopniu, jak środki ochrony osobistej, głównie lekkie kamizelki, które szybko zastąpiły stare ciężkie i sztywne konstrukcje stalowe. Większość zastosowań wysokowytrzymałych włókien to: ergonomiczne, dopasowujące się środki ochrony osobistej, opancerzenia pojazdów, helikopterów, łodzi patrolowych oraz przenośne schrony (budynki dowodzenia).

1. Włókna stosowane w balistyce

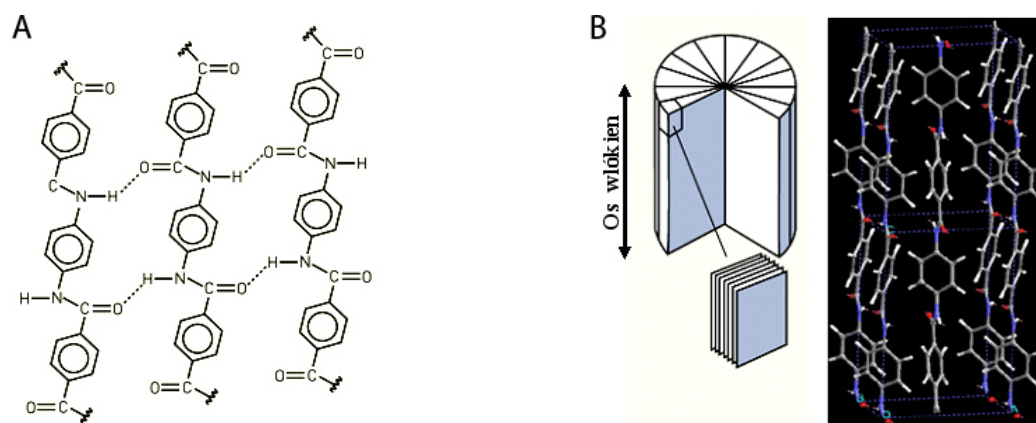
Dzisiejszy stan wiedzy na temat lekkich osłon balistycznych bazuje na wysokowytrzymałych materiałach organicznych oraz nieorganicznych. Włókna używane w balistyce charakteryzują się małą gęstością, wysoką wytrzymałością na rozciąganie i wysoką zdolnością absorpcji energii. Powszechnie stosuje się wysokowytrzymałe włókna para-aramidowe (Kevlar®, Twaron®), włókna polietylenowe (HPPE) (Dyneema®, Spectra®), włókna szklane (S-2 Glass®). Jako ostatnie na rynek wprowadzone zostały produkty balistyczne bazujące na włóknach PBO (Zylon®) [1].

1.1. Włókna para-aramidowe

Po raz pierwszy włókna aramidowe zostały otrzymane w 1965 roku przez naukowców z firmy DuPont. Surowcem tworzącym włókna jest długi łańcuch poliamidowy z co najmniej 85-procentowym udziałem grup amidowych (NHCO) połączonych bezpośrednio z dwoma pierścieniami benzenu. Stąd też nazwa

włókien aramidowych pochodzi od skrótu poliamidów aromatycznych. Między łańcuchami występują silne oddziaływania międzycząsteczkowe (wiązania wodorowe) utworzone między polarnymi grupami amidowymi (Rysunek 1 a). Włókna aramidowe są formowane ze stopu polimeru ciekłokrystalicznego, wykazują wysoki stopień uporządkowania cząsteczek. Były one pierwszymi włóknami organicznymi o tak wysokiej wytrzymałości na rozciąganie i module sprężystości. Pierwotnie miały zastąpić stal w oponach radialnych, jednak zastosowano je z dużym powodzeniem w kompozytach o specjalnych właściwościach. Obecną postać włókien aramidowych i ich wysokie właściwości wytrzymałościowe osiągnięto dzięki strukturze łańcucha głównego, grupy amidowe występują w pozycji 1,4 względem pierścienia benzenu (para), zaś pierścienie aromatyczne zapewniają stabilność termiczną. Grupy aromatyczne w strukturze polimeru mają ułożenie promieniowe (Rysunek 1 b), co zapewnia wysoki stopień symetrii i regularności względem wewnętrznej struktury włókien. Regularność (porównywalna do obserwowanej w kryształach) jest jednocześnie czynnikiem decydującym o wytrzymałości włókien para-aramidowych.

Najczęściej w osłonach balistycznych stosowane są włókna para-aramidowe Kevlar® produkowane przez DuPont oraz Twaron® produkcji Teijin. Włókna te otrzymywane są z roztworu fazy mezomorficznej polimeru w stężonym kwasie siarkowym. W Tabeli 1 przedstawiono analizę porównawczą wybranych właściwości włókien aramidowych. Włókna te mają pięć razy większą wytrzymałość na rozciąganie od stali – przy takiej samej masie, a różnica ta wzrasta sześciokrotnie w wodzie. Wynik ten jest spowodowany ich małą gęstością, która jest około połowę mniejsza od gęstości szkła. Moduł i wytrzymałość na rozciąganie są porównywalne do wysokowytrzymałych włókien szklanych S-2 Glass®. Ujemny współczynnik rozszerzalności cieplnej ($2 \div 5 \times 10^{-6}$ K⁻¹ [3,4]) sprawia, że włókna para-aramidowe są stabilne termicznie [5], nie topią się, a temperatura rozkładu w powietrzu wynosi ok. 450°C. Są odporne na działanie płomienia, po odstawieniu źródła ognia przestają się palić. Niskie temperatury (ok. -50°C) nie wpływają na właściwości wytrzymałościowe. Wykazują dobrą odporność na działanie większości środków chemicznych,



Rysunek 1. Struktura chemiczna włókien para-aramidowych (a); wewnętrzna orientacja łańcuchów polimeru wewnątrz włókna (b) [2]

poza silnymi kwasami (kwas mrówkowy, kwas solny) i zasadami (wodorotlenek sodu, podchloryn sodu). Włókna aramidowe o małym wydłużeniu przy zerwaniu oraz dużym module sprężystości wykorzystywane są szczególnie w obszarach wymagających dużej odporności na uderzenia (udarność) i ścieranie, takich jak: opancerzenia i środki ochrony osobistej, kable, liny, olinowanie łodzi, spadochrony.

Niestety większość włókien aramidowych jest wrażliwa na działanie promieniowania UV, które zmienia naturalny kolor i wytrzymałość włókien przy długotrwałej ekspozycji. Co więcej, charakteryzują się również dużą absorpcją wilgoci. Wysoce anizotropowa struktura włókien aramidowych odpowiada za ich słabe właściwości mechaniczne w innych kierunkach niż wzdłużny, co w konsekwencji objawia się m.in. słabą wytrzymałością na ściskanie. Tkaniny wykonane z włókien aramidowych są bardzo trudne do cięcia, a laminaty na bazie włókien aramidowych wymagają specjalnych maszyn tnących.

Wyjątkowe właściwości włókien aramidowych wyróżniają je spośród innych komercyjnych włókien syntetycznych, dzięki czemu znalazły zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu. Stosowane są m.in. do wytwarzania:

- Pancerzy i osłon balistycznych,

- Lin zabezpieczających poduszki powietrzne w urządzeniach niezbędnych do lądowania na Marsie,
- Lekkich lin o małej średnicy (wytrzymujących do 10 ton), pomagających cumować największe statki marynarki wojennej,
- Kuloodpornych osłon silników samolotów,
- Opon odpornych na przebicie,
- Rękawic chroniących dłonie i palce przed przecięciami, oparzeniami i innymi urazami,
- Kajaków, które zapewniają lepszą odporność na uderzenia przy niższej wadze,
- Mocnych, lekkich nart, kasków i rakiet.

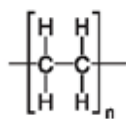
1.2. Włókna polietylenowe

Włókna Spectra® firmy Honeywell oraz Dyneema® firmy DSM są wykonywane z polietylenu o ultra-wysokiej masie cząsteczkowej (UHMWPE), zwanego także polietylenem o wysokim module (HMPE) lub polietylenem o wysokiej wydajności (HPPE). Składa się on z bardzo długich łańcuchów, jego masa molowa wynosi od 3 do 10 milionów g/mol. Budowę chemiczną polietylenu UHMWPE przedstawia rysunek 2. Gęstość polietylenu jest mniejsza niż 1 g/cm³. Długie, wysoce zorientowane łańcuchy polimeru skutecznie

Tabela 1. Właściwości włókien aramidowych [6]

Parametr	Gęstość	Moduł elastyczności	Wytrzymałość na rozciąganie	Wydłużenie przy zrywaniu
	g/cm ³	GPa	GPa	%
Technora	1,39	70	3,0	4,4
Twaron	1,45	121	3,1	2,0
Kevlar 29	1,44	70	3,0	4,2
Kevlar 129	1,44	96	3,4	3,5
Kevlar 49	1,44	113	3,0	2,6
Kevlar KM2	1,44	70	3,3	4,0

przenoszą obciążenia, tworząc lekki materiał o wysokiej wytrzymałości, odporny na uderzenia.



Rysunek 2. Budowa chemiczna włókien polietylenowych [7]

Włókna polietylenowe są 10 razy bardziej wytrzymałe niż stal, bardziej trwałe od poliestru i mają o 40 % wyższą wytrzymałość na rozciąganie niż włókna aramidowe. Włókna te mają niezwykle dużą udarność, a dzięki dużej zdolności pochłaniania energii są odpowiednie do zastosowań na ochrony balistyczne. Oznaczają się doskonałą elastycznością i odpornością na ścieranie. Hydrofobowy charakter czyni je nadzwyczaj odpornymi na wodę. Włókna te mają najwyższy współczynnik wytrzymałości do masy, co jest kluczowe przy produkcji lekkich osłon osobistych. Są one odporne na działanie środków chemicznych (poza kwasami utleniającymi) i promieniowania UV [8].

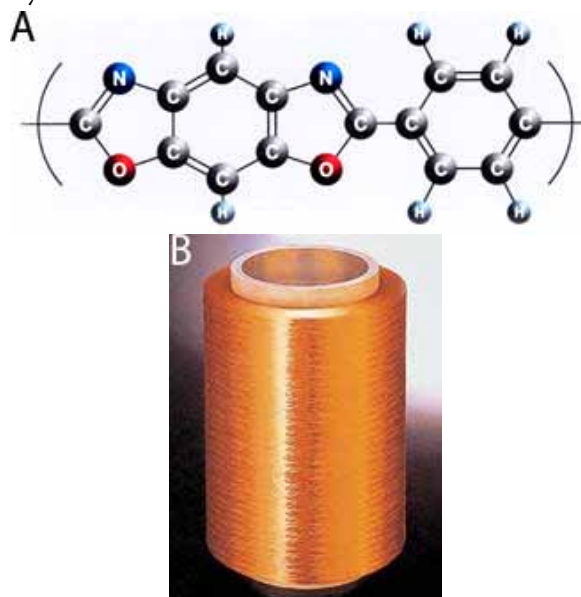
Słabe wiązania pomiędzy cząsteczkami olefin predestynują do lokalnych wzbudzeń termicznych zakłócających strukturę krystaliczną danego łańcucha, przez co odporność na wysoką temperaturę włókien polietylenowych jest znacznie mniejsza niż innych włókien o wysokiej wytrzymałości. Temperatura topnienia UHMWPE wynosi około 144÷152°C, co sprawia iż nie jest zalecane długotrwałe stosowanie włókien w temperaturze powyżej 80°C. W niskich temperaturach (poniżej -150°C) włókna stają się kruche. Kolejną cechą włókien polietylenowych jest zjawisko pełzania polimeru. Po przyłożeniu obciążenia, nawet w temperaturze pokojowej, HPPE ulega deformacji. Ze względu na słabe połączenie z większością powierzchni spowodowane przez niską energię powierzchniową i obojętność chemiczną, polietylen ma ograniczoną ilość zastosowań do laminatów.

Podstawowe właściwości włókien polietylenowych o ultra-wysokiej masie cząsteczkowej przedstawiono w tabeli 2.

Włókna z polietylenu o ultra-wysokiej masie cząsteczkowej wprowadzone na rynek w późnych latach 70-tych są szeroko stosowane w ochronach balistycznych, tj. kamizelkach kulo- i odłamkooodpornych, hełmach, opancerzeniach pojazdów i do produkcji lekkich ochron osobistych. Włókna HMPE są także wykorzystywane w produktach medycznych ze względu na ich biogodność, np. jako implanty stawów. Znajdują zastosowanie w przemyśle sportowym, tj. narciarstwo, snowboard, hokej, łyżwiarstwo, wspinaczka, spadochroniarstwo, wędkarstwo, żeglarstwo. Na dużą skalę stosuje się je do produkcji lin, wykorzystywanych na statkach i okrętach, sieci w rybołówstwie, rękawic ochronnych przeciw otarciom i skaleczeniom.

1.3. Pozostałe włókna balistyczne

W latach osiemdziesiątych dwudziestego wieku na Uniwersytecie Stanforda została opracowana technologia wytwarzania włókien z poli(p-fenyleno-2,6-benzobisoksazolu) (PBO) (Rysunek 3). Włókna zostały wprowadzone do produkcji przez japońską firmę Toyobo Corporation i nadano im nazwę handlową Zylon®.



Rysunek 3. Włókno balistyczne Zylon® (a) budowa chemiczna, (b) szpula z włóknem [11]

Tabela 2. Właściwości włókien polietylenowych Dyneema® [9] i Spectra® [10]

Parametr	Gęstość	Moduł elastyczności	Wytrzymałość na rozciąganie	Wydłużenie przy zrywaniu
	g/cm ³	GPa	GPa	%
Dyneema SK60	0,97	89	2,7	3,5
Dyneema SK65	0,97	95	3,0	3,6
Dyneema SK66	0,97	99	3,2	3,7
Spectra 900	0,97	73	2,4	2,8
Spectra 1000	0,97	103	2,8	2,8
Spectra 2000	0,97	124	3,3	3,0

Włókna Zylon® posiadają dwukrotnie większą wytrzymałość na rozciąganie niż Kevlar® oraz dwukrotnie większy moduł sprężystości przy rozciąganiu. Zylon® odznacza się bardzo wysoką odpornością na działanie ognia, pali się jedynie przy zawartości tlenu powyżej 68 % a taka ilość nie jest spotykana w naturalnych warunkach atmosfery ziemskiej [12]. Charakteryzuje się wysoką stabilnością termiczną, ulega rozkładowi w temperaturach powyżej 650°C. Włókna PBO wyróżniają się również doskonałą odpornością na ścinanie i ścieranie. Wykazują doskonałą odporność chemiczną i stabilność wymiarów w warunkach wilgotności, przy jednoczesnym niskim współczynniku pochłaniania wilgoci na poziomie ok. 0,6 % [11]. Charakteryzują się niestety ekstremalnie dużą wrażliwością na działanie światła w zakresie UV i światła widzialnego, wskutek czego produkowane włókna muszą być nawijane na bębny w ciemności. Wytrzymałość włókien maleje dwukrotnie już po 100 godzinach ekspozycji na światło UV. Z tego powodu stosowanie produktów z włóknami Zylon® wymaga bardzo dobrego zabezpieczenia materiałem pokryciowym.

Wyróżnia się dwa rodzaje włókien Zylon®, AS (ang. as spun - jak przędza) oraz HM (ang. high modulus - wysokomodulowe). Ich właściwości przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Właściwości włókien Zylon®

Właściwości		Zylon AS	Zylon HM
Tex włókna	dtex	1,7	1,7
Gęstość	g/cm ³	1,54	1,56
Absorpcja wilgoci (65%)	%	2,0	0,6
Wytrzymałość na rozciąganie	GPa	5,8	5,8
	(cN/dtex)	37	37
Moduł przy rozciąganiu	GPa	180	270
	(cN/dtex)	1150	1720
Wydłużenie przy zerwaniu	%	3,5	2,5
Temperatura rozkładu w powietrzu	°C	650	650
Współczynnik rozszerzalności cieplnej	°C ⁻¹	-	-6 * 10 ⁻⁶
Graniczny indeks tlenowy		68	68
Stała dielektryczna przy 100kHz			3,0
Współczynnik rozproszenia			0,001

Włókna Zylon® są wytwarzane w formie włókien ciągłych, ciętych lub staplowych, nitki wyczeskowej, tkaniny, dzianiny i pulpy. W tych formach wykorzystywane są jako półprodukty m.in. do produkcji artykułów sportowych (rakiety tenisowe, kije golfowe), lin wysokiego napięcia, kabli i mechanizmów wykorzystywanych w przestrzeni kosmicznej oraz produktów ochronnych, takich jak odzież ochronna, hełmy, rękawice odporne na przecięcia i kamizelki kuloodporne.

Mimo doskonałych właściwości włókien PBO, ich stosowanie w ochronach balistycznych budzi kontrowersje. Stwierdzono utratę zdolności ochronnych kamizelek kuloodpornych wykonanych z udziałem włókien Zylon® z upływem czasu. Jednak nie zniechęciło to niektórych producentów do stosowania ich w osłonach balistycznych (np. Armor Holdings (Safariland and American Body Armor), DHB (Point Blank), First Choice, Gator Hawk, PSP PT Armor) [12].

Kolejny rodzaj włókien stosowanych w balistyce to wysokowytrzymałe włókna szklane S-Glass. Są one włóknami wykonanymi z glinowokrzemowego szkła zawierającego znaczną ilość tlenku magnezu. Znajdują zastosowanie nie tylko w balistyce, pozwalając na obniżenie kosztów gotowego wyrobu.

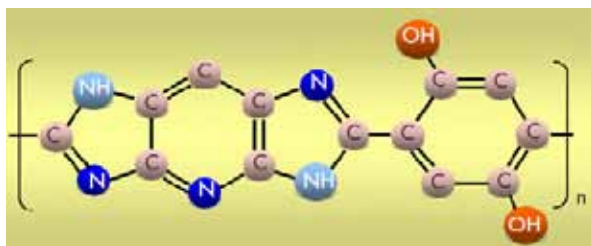
Włókna szklane S wyróżnia przede wszystkim wysoka wytrzymałość na rozciąganie i ściskanie przy zachowaniu wysokiej trwałości i niezawodności. Włókna te odznaczają się dużą stabilnością nawet w wysokich temperaturach. Są odporne na czynniki środowiskowe, środki chemiczne, ogień i dym [13]. Jednocześnie odznaczają się „przezroczystością” dla radarów, są lżejsze od tradycyjnych włókien szklanych i tańsze od włókien paraaramidowych, co jest dodatkowym atutem w zastosowaniach balistycznych [14].

W porównaniu do tradycyjnego szkła E, włókna szklane S charakteryzuje:

- 30÷40 % większa wytrzymałość na rozciąganie,
- 16÷20 % większy moduł sprężystości,
- 45 % wyższa energia odkształcenia,
- 30 % niższy współczynnik rozszerzalności liniowej,
- 100÷150 °C większa odporność na wysoką temperaturę,
- 10 razy większa odporność na zmęczenie,
- wyższa odporność na korozję [15],
- mniejsza masa przy tych samych właściwościach [16].

Włókna S-Glass wykorzystywane są do produkcji wysokowytrzymałych kompozytów, elementów konstrukcyjnych samolotów, helikopterów, samochodów, łodzi, zbiorników ciśnieniowych, zbiorników paliwa. Ze względu na wysoką odporność w szerokim zakresie temperatur, są używane jako izolacje kabli i elementy izolacyjne w piecach. Stosuje się je także w przemyśle sportowym: w żeglarskim, narciarskim, snowboardzie, surfingu, łucznictwie. Najczęściej stosowanymi w osłonach balistycznych włóknami szklanymi, są tzw. włókna S-2 Glass® produkowane przez firmę AGY [17]. Znajdują one zastosowanie głównie w opancerzeniach pojazdów i obiektów stałych.

Ostatnimi opisywanymi w tym artykule włóknami do zastosowań balistycznych są włókna M5[®] o ultra-wysokiej wytrzymałości na rozciąganie, otrzymane w laboratoriach Akzo Nobel i produkowane przez Magellan Systems International przy współpracy z DuPont. Włókna M5[®] tworzy sztywny łańcuch poli[2,6-[(4,5-b:4',5') diimidazolo]pirydynyleno-2,5-dihydroksy-1,4-fenylen]-u (PIPD) (Rysunek 4), a dodatkowo pomiędzy sąsiednimi łańcuchami występują silne wiązania wodorowe.



Rysunek 4. Budowa chemiczna włókien M5[®].

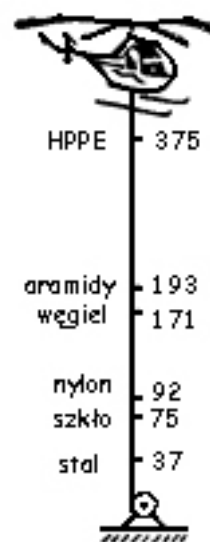
Włókna M5[®] to potencjalna alternatywa o ultra-wysokiej wytrzymałości, ultra-wysokiej odporności termicznej oraz odporności na płomień dla produktów z aktualnie dostępnych na rynku wysokowytrzymałych włókien. Włókna te nie palą się nawet w drastycznych warunkach, są odporne na pirolizę, wykazują wyższą odporność na płomień niż włókna aramidowe [18]. Włókna PIPD nie degradują pod wpływem wody, kwasów lub promieniowania ultrafioletowego. Ich powierzchnia jest łatwo zwilżalna przez żywice, co pozwala na ich stosowanie w kompozytach [19]. Są to jedne z najbardziej obiecujących materiałów do zastosowania w środkach ochrony osobistej, opancerzeniach pojazdów i ochronach ognioodpornych, jak również kompozytach strukturalnych. Technologia z zastosowaniem tych włókien może wprowadzić radykalną poprawę właściwości miękkich i twardych osłon balistycznych, takich jak kamizelki kulo- i odłamko odporne, hełmy, kompozyty do opancerzania pojazdów i statków powietrznych, ochrony przed ogniem i inne [20]. Z wstępnych badań wynika, iż odłamko odporny kompozyt na bazie włókien M5[®] zmniejszy masę powierzchniową docelowego elementu balistycznego o ok. 40÷60 % w stosunku do elementu na bazie włókien Kevlar[®], przy zachowaniu tego samego poziomu ochrony [21]. Obecnie włókna M5[®] wykazują uśredniony moduł sprężystości na poziomie 310 GPa, uśrednioną wytrzymałość na rozciąganie dochodzącą do 5,8 GPa, jednak wyższą niż włókna aramidowe (Kevlar[®], Twaron[®]), na poziomie włókien PBO (Zylon[®]). Wiele przedstawicieli wysokowytrzymałych włókien mogłoby obecnie konkurować z włóknami M5[®] pod względem pojedynczych właściwości, jednak żadne z nich nie łączy wszystkich cech włókien M5[®].

Jak do tej pory nie osiągnięto jeszcze zakładanych, teoretycznie wyliczonych wartości właściwości włókien M5[®], takich jak:

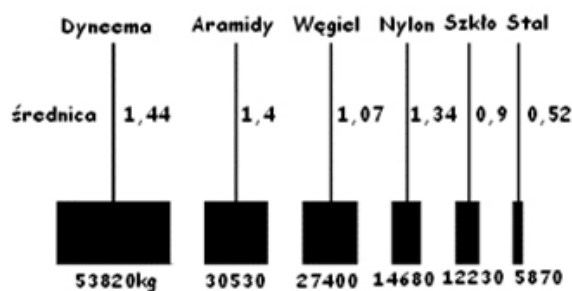
- moduł sprężystości przy rozciąganiu 450 GPa,
 - wytrzymałość na rozciąganie 9,5 GPa,
 - wydłużenie przy zerwaniu 2,0÷2,5 % [22],
- a technologia wytwarzania włókien jest stale dopracowywana. Dostępne wyniki badań wskazują, że może być to najlepsze włókno o przeznaczeniu balistycznym jakie pojawiło się kiedykolwiek na świecie.

Porównanie właściwości włókien

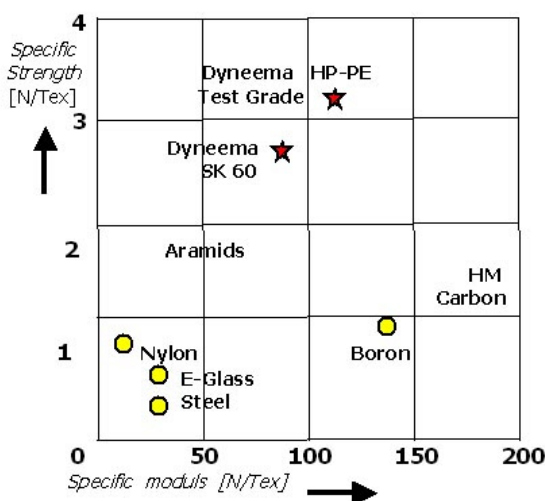
Wytrzymałość na rozciąganie różnego rodzaju włókien w sposób poglądowy ilustrują rysunki 5÷7. Na rysunku 5 podano długość w km, przy której lina z określonego materiału zrywa się pod własnym ciężarem, natomiast na rysunku 6 przedstawiono wytrzymałość i średnice lin z tych materiałów, mających jednakowy tex wynoszący 160 000 [23].



Rysunek 5. Długość w km, przy której lina z określonego materiału zrywa się pod własnym ciężarem [23]



Rysunek 6. Wytrzymałość i średnice lin z różnych materiałów mających jednakowy tex równy 160 000 [23]

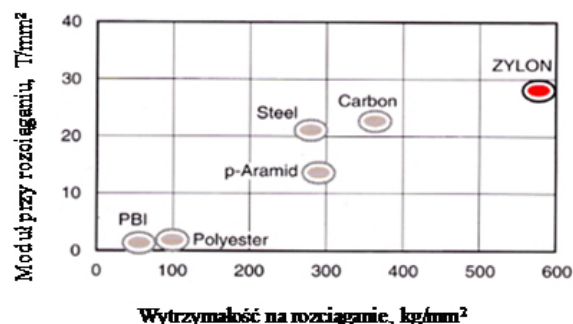


Rysunek 7. Wykres ilustrujący wytrzymałość właściwą i moduły sprężystości włókien z różnych materiałów [24]

Na podstawie przedstawionych danych można stwierdzić, że włókna Dyneema® wyróżniają się spośród innych wysokowytrzymałych włókien stosowanych w balistyce nie tylko swoją wyjątkowo małą gęstością ale również bardzo wysoką wytrzymałością właściwą i modułem przy rozciąganiu.

Na szczególną uwagę zasługują również włókna Zylon®, charakteryzujące się najwyższą spośród wszyst-

kich wysokowytrzymałych włókien wytrzymałością na rozciąganie i modułem przy rozciąganiu (Rysunek 8).



Rysunek 8. Porównanie wytrzymałości na rozciąganie i modułu przy rozciąganiu dla różnych włókien [25]

Włókna Zylon® posiadają również bardzo wysoki wskaźnik wytrzymałości do masy włókna - wynoszący 3,7, podczas gdy wskaźnik ten w innych włóknach wynosi odpowiednio: dla włókien Spectra® - 3,0; dla Dyneema® - 2,5; dla Kevlar® - 2,1; dla Twaron® - 2,5 oraz dla porównania dla stali - 0,1 [26].

Porównanie podstawowych właściwości włókien Zylon® z właściwościami innych wysokowytrzymałych włókien zawiera tabela 4.

Tabela 4. Porównanie właściwości fizyko-mechanicznych włókien Zylon® i innych włókien [27]

	Wytrzymałość na rozciąganie		Moduł przy rozciąganiu		Wydłużenie	Gęstość	Absorpcja wilgoci	Graniczny indeks tlenowy	Odporność cieplna*
	cN/tex	GPa	cN/tex	GPa	%	g/cm³	%		°C
Zylon AS	37	5,8	1150	180	3,5	1,54	2,0	68	650
Zylon HM	37	5,8	1720	270	2,5	1,56	0,6	68	650
p-Aramid (HM)	19	2,8	850	109	2,4	1,45	4,5	29	550
m-Aramid	4,5	0,65	140	17	22	1,38	4,5	29	400
Włókno stalowe	3,5	2,8	290	200	1,4	7,8	0		
HS-PE	35	3,5	1300	110	3,5	0,97	0	16,5	150
PBI	2,7	0,4	45	5,6	30	1,4	15	41	550
Poliester	8	1,1	125	15	25	1,38	0,4	17	260

* - temperatura topnienia lub rozkładu

Tabela 5. Porównanie opancerzenia na bazie włókien S-2 Glass® do opancerzeń z alternatywnych materiałów [28]

Opancerzenie na bazie włókien S-2 Glass® względem:		
materiału wzmocnionego włóknami aramidowymi	materiału wzmocnionego wł. polietylenowymi (UHMWPE)	stali lub aluminium
• jednakowa ochrona balistyczna przy zbliżonej wadze • niższe koszty gotowego wyrobu • cieńsze elementy • łatwiejsza produkcja i wykończenie • większa stabilność kształtu • zdolność zmniejszenia deformacji podłoża • większa odporność na degradację pod wpływem warunków atmosferycznych (UV, wilgotność)	• niższe koszty gotowego wyrobu • odporność na ogień • cieńsze elementy • łatwiejsza produkcja i wykończenie • znacząca poprawa stabilności kształtu • zdolność zmniejszenia deformacji podłoża • większa odporność na degradację pod wpływem warunków atmosferycznych	• mniejsza waga • wyższy poziom ochrony balistycznej • odporność na korozję • łatwiejsza produkcja • wzmocnienie elementów • niska stała dielektryczna • niższy współczynnik przewodnictwa cieplnego • niższe koszty gotowego wyrobu

Tabela 6. Porównanie włókien balistycznych z włóknem przyszłości M5[®] [6, 29]

Parametr	Gęstość	Moduł elastyczności	Wytrzymałość na rozciąganie	Wydłużenie przy zrywaniu
	g/cm ³	GPa	GPa	%
Twaron [®]	1.45	121	3.1	2.0
Dyneema [®]	0.97	87	2.6	3.5
Włókna węglowe T-300	1.76	231	3.8	1.8
S-Glass	2.48	90	4.4	5.7
Zylon [®] AS	1.54	180	5.8	3.5
M5 [®] (próbka 2001)	1.7	271	4.0	1.4
M5 [®] (docelowe)	-	450	9.5	2.5

Producent włókna S-2 Glass[®] stara się przekonać wytwórców elementów balistycznych do stosowania ich w różnych systemach ochron. Porównanie opancerzeń z włókien S-2 Glass[®] względem opancerzeń na bazie włókien aramidowych, włókien polietylenowych o wysokiej masie cząsteczkowej oraz opancerzeń ze stali lub aluminium zawiera tabela 5.

Włókna M5[®] charakteryzują się dużą wytrzymałością na rozciąganie oraz najwyższym modułem elastyczności w porównaniu z innymi rodzajami włókien przedstawionymi w tabeli 6.

3. Surowce balistyczne

Surowce balistyczne otrzymywane z włókien przedstawionych w tabeli 6 są dostępne na światowych rynkach między innymi w postaci:

- tkanin z włókien para-aramidowych typu Kevlar[®] lub Twaron[®] (Rysunek 9 a),
- jednostronnych lub dwustronnych preimpregnatów na bazie tkanin z włókien para-aramidowych i żywicy polimerowych lub mieszanek gumowych (zawartość spoiwa ~12÷18%) (Rysunek 9 b),
- powlekanych tkanin z tasiemek polietylenowych,
- tkanin z wysokowytrzymałych włókien szklanych S-2 Glass[®],
- tkanin z włókien Zylon[®] (Rysunek 9 c),
- nietkanych wyrobów z włókien polietylenowych, jednokierunkowych UD (Unidirectional), zbudowanych zbudowanych z czterech warstw o orientacji 0°/90°/0°/90° z równolegle ułożonych włókien Dyneema[®] lub Spectra[®], połączonych ze sobą termoplastyczną matrycą (Rysunek 9 d):
- nietkanych wyrobów z włókien para-aramidowych jednokierunkowych UD, zbudowanych z czterech warstw o orientacji 0°/90°/0°/90° z równolegle ułożonych włókien para-aramidowych, połączonych za pomocą termoplastycznej folii (np. Gold Flex[®] produkcji amerykańskiej firmy Honeywell International Inc. [30], rysunek 10).



Rysunek 9. Zdjęcia przykładowych surowców balistycznych (a) tkanina z włókien para-aramidowych Kevlar[®] lub Twaron[®], (b) preimpregnat na bazie tkaniny z włókien para-aramidowych i żywicy polimerowej, (c) tkanina z włókien Zylon[®], (d) nietkany wyrób na bazie włókien polietylenowych.



Rysunek 10. Budowa balistycznego materiału kompozytowego Gold Flex[®] [31]

Tkaniny z wysokowytrzymałych włókien szklanych są kompatybilne z żywicami epoksydowymi i estrami winylowymi. Wytwarzane są o splotach: płóciennym, skośnym oraz satynowym w grubości 0.08÷0.30 mm i zerość od 90 cm. Tkaniny z wysokowytrzymałych włókien szklanych są idealnym wzmocnieniem włóknistym dla przemysłu lotniczego, morskiego, zbrojeniowego [32].

4. Rozwiązania konstrukcyjne z udziałem materiałów na bazie scharakteryzowanych włókien

Wysiłki producentów ochron balistycznych wytwarzanych głównie z kompozytów włóknistych otrzymywanych na bazie włókien para-aramidowych i polietylenowych zmierzają w kierunku:

- zminimalizowania masy wyrobów,
- zwiększenia odporności na oddziaływanie warunków atmosferycznych,
- zmniejszenia zagrożenia odpryskami po ostrzale.

Materiały z włókien para-aramidowych lub polietylenowych (polietylen UHMW) w postaci wielowarstwowych, zszywanych pakietów tworzą tzw. miękkie osłony balistyczne (kamizelki kuloodporne, maty przeciwołamkowe) zaś w postaci sprasowanych kompozytów z matrycą polimerową tworzą sztywne osłony balistyczne (hełmy ochronne, tarcze, pancerze).

Surowcem do wykonywania kompozytowych, sztywnych osłon balistycznych są zazwyczaj gotowe preimpregnaty. Dla włókien para-aramidowych są to zwykle specjalne, warstwowe preimpregnaty z żywicą polimerową bądź mieszanką gumową (zawartość spoiwa tworzącego warstwę na powierzchni tkaniny wynosi około 15%); włókna polietylenowe są dostarczane jako preimpregnat PE/PE.

Poniżej przedstawione zostaną przykładowe rozwiązania konstrukcyjne oraz materiały stosowane do ich wykonania.

Kamizelki kulo- i odłamkoodporne najczęściej wykonane są z:

- nietkanego wyrobu polietylenowego,
- nietkanego wyrobu z włókien para-aramidowych,
- tkanin z włókien para-aramidowych,
- tkanin z włókien Zylon®.



Rysunek 11. Przykładowe kamizelki ochronne (a) lekka kamizelka wewnętrzna kulo-, nożo- i igłoodporna konstrukcji ITB „Moratex” [33], (b) policyjna kamizelka taktyczna DRAGON FIRE firmy Point Blank, (c) kamizelka kuloodporna SKORPION konstrukcji konsorcjum Lubawa SA & Janysport [34]

Twarde wkłady balistyczne, stosowane jako element dodatkowy kamizelek kulo- i odłamkoodpornych najczęściej wykonywane są z:

- nietkanego wyrobu polietylenowego (Rysunek 12 a),

- prepregu na bazie włókien para-aramidowych (Rysunek 12 b),
- kompozytu polietylenowego połączonego z ceramiką,
- ceramiki,
- stali balistycznej



Rysunek 12. Przykładowe wkłady balistyczne (a) wkład polietylenowy firmy Kata, (b) wkład para-aramidowy High-Temp TM [35], płyty ceramiczne typu SAPI [36]

Hełmy balistyczne wykonywane są głównie z:

- prepregu na bazie włókien para-aramidowych,
- prepregu na bazie włókien polietylenowych UHMW (Rysunek 13 c).



Rysunek 13. Przykładowe hełmy balistyczne (a) hełm DIAMOND lite TM PASGT firmy Point Blank [37], (b) hełm kulo- i odłamkoodporny HB ITB „Moratex” [35], hełm GTH-01 PASGT firmy Gotye [38]

Najpowszechniej stosowanym hełmem kompozytowym (z tkanin aramidowych) jest amerykański model o nazwie PASGT [39]. Dostępne są również chińskie odmiany modelu PASGT wykonywane z nietkanego wyrobu z włókien polietylenowych o wysokiej masie cząsteczkowej (UHMW).

Tarcze balistyczne wykonywane są z:

- nietkanego wyrobu polietylenowego,
- prepregu na bazie włókien para-aramidowych,
- stali balistycznej.



Rysunek 14. Przykładowe tarcze (a) tarcza kuloodporna z wizjerem TK/Ps 04 konstrukcji ITB „Moratex” [35], (b) amerykańska wojskowa tarcza do zadań taktycznych [40], (c) amerykańska tarcza balistyczna na kółkach do działań w trudnym terenie [41]

Opancerzenia środków transportu wykonuje się najczęściej z:

- nietkanego wyrobu polietylenowego,
- prepregu na bazie włókien para-aramidowych,
- tkanin szklanych,
- kompozytu polietylenowego połączonego z ceramiką (Rysunek 15 a),
- stali balistycznej.



Rysunek 15. Przykładowe opancerzenia środków transportu
(a) opancerzony transporter, (b) opancerzony śmigłowiec [42], (c) opancerzony pojazd dla VIP-ów [43]

Podsumowanie

W artykule zostały przedstawione najistotniejsze właściwości włókien o wysokiej wytrzymałości, stosowanych do celów balistycznych, włókien para-aramidowych Kevlar® i Twaron®, polietylenowych o ultra-wysokiej masie cząsteczkowej Dyneema® i Spectra®, włókien szklanych S-2 Glass® oraz włókien typu Zylon® i M5®. Włókna te charakteryzują się małą gęstością, wysoką wytrzymałością i wysoką zdolnością absorpcji energii.

Włókna para-aramidowe wyróżnia niepalność, stabilność termiczna i wysokie wskaźniki ochrony balistycznej. Zaletami włókien Dyneema® jest dobra odporność na promieniowanie UV i chemikalia, nieograniczona w czasie trwałość materiałów do przetwórstwa oraz mniejszy ciężar w stosunku do osłon para-aramidowych o tym samym stopniu ochrony balistycznej. Materiały te są niestety palne. Włókna Zylon® wyróżnia świetna odporność na ścinanie i ścieranie. Niestety są bardzo wrażliwe na światło widzialne i UV. Z kolei włókna szklane S-2 Glass® wyróżnia przede wszystkim wysoka wytrzymałość na rozciąganie i ściskanie przy zachowaniu wysokiej trwałości i niezawodności. Poza tym odznaczają się „przeźroczystością” dla radarów.

Przedstawione w artykule włókna posiadają zatem zarówno zalety jak i wady. Producent lub projektant konkretnego wyrobu balistycznego musi zdecydować, która z cech jest dla niego najistotniejsza w danym zastosowaniu. Nie zawsze będzie to najwyższa wytrzymałość czy moduł sprężystości, czasem przeważać może kwestia masy wyrobu czy też jednostkowa cena.

Przedstawione zostały przykładowe rozwiązania konstrukcyjne na bazie materiałów z omówionych wysokowytrzymałych włókien, m.in. kamizelki kuloodpornego, twarde wkłady balistyczne, helmy i tarcze balistyczne a także opancerzenia środków transportu.

Literatura

1. M. J. N. Jacobs, J. L. J. Van Dingenen "Ballistic protection mechanisms in personal armour", *Journal of Materials Science* 36 (2001) 3137 – 3142, DSM High Performance Fibers, Eisterweg 3, 6422 PN Heerlen, The Netherlands
2. Technical Guide - Kevlar aramid fiber, materiały informacyjne firmy DuPont, http://www2.dupont.com/Kevlar/en_US/
3. Materiały informacyjne firmy Teijin, <http://www.teijinaramid.com/>
4. http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=1992#_Key_Properties
5. W. Jabłoński, J. Wnuk "Włókna aramidowe bazą produktów innowacyjnych" Bielsko-Biała 2000
6. All about fibers, Peter J. Joyce, <http://www.thirdwave.de/3w/tech/armor/carbonfibre.pdf>
7. Lane R.A., „High performance fibers for personnel and vehicle armor systems”, *AMPTIAC* 9(2) 2005
8. <http://www.zimmer.com/>
9. LCF – June 2007, Performance Properties of the Most Frequently Utilized Fibers and Yarns, Bally Ribbon Mills 23 N 7th Street, Bally, PA 19512
10. Dyneema®, Broszura informacyjna firmy DSM
11. <http://www.S1.honeywell.com/sm/afc/products-details/fiber.html>
12. http://www.toyobo.co.jp/e/seihin/kc/pbo/menu/fra_menu_en.htm
13. Frequently asked questions about Zylon and body armour. Written and distributed by Toyobo Co. Ltd.; http://www.toyobo.co.jp/e/seihin/kc/pbo/pdf/ZYLON_Q_As.pdf
14. http://www.agy.com/technical_info/index.htm
15. Materiały informacyjne Core Composites, <http://www.corecomposites.com/>

16. HiPer-tex™ fibre for light weight, cost effective blast and ballistic protection solutions, www.3B-fibreglass.com
17. <http://www.lbie.com/n3111.htm>
18. <http://www.agy.com>
19. S. Bourbigot, X. Flambard, M. Ferreira, E. Devaux, F. Poutch "Characterisation and reaction to fire of "M5" rigid rod polymer fibres", *Journal of Materials Science* 38 (2003) 2187 – 2194,
20. M5 in Overdrive, by James A. Bacon
21. <http://www2.dupont.com/>
22. M5 Fiber, Magellan Systems International, <http://defense-update.com/products/m/m-5-fiber.htm>
23. Philip M. Cunniff, Margaret A. Auerbach "High performance "M5" fiber for ballistics/structural composites"; <http://web.mit.edu/course/3/3.91/www/slides/cunniff.pdf>
24. Materiały informacyjne firmy DSM
25. <http://www.bella.waw.pl/index.php?page=32>
26. Prospekt firmy Toyobo Co., Ltd, „PBO Fiber Zylon®” Zylon Departament, Japonia 1998
27. Her Majesty the Queen in Right of Canada, as represented by the Minister of National Defence, 2009 *The multifunctional materials needs of the future dismounted soldier*, Royale S. Underhill, PhD
28. Technical Information (Revised 2005.6), PBO fiber Zylon, Toyobo Co., Ltd.
29. Materiały informacyjne firmy Agi "S-2 Glass® Armor Systems, Personnel Protection, Vehicle Protection, Structural Protection", Printed in USA, March 2004, Pub. No. LIT-2004-011 (03/04)
30. <http://www.thirdwave.de/3w/tech/armor/carbon-fibre.pdf>
31. <http://www51.honeywell.com/honeywell/>
32. Materiały informacyjne firmy Honeywell, Honeywell International Inc 2007
33. <http://www.lbie.com/n3111.htm>
34. <http://www.moralex.eu/?dzial=wdrozenia&kat=1>
35. <http://www.lubawa.com.pl/www/?item=1047&sub=277&main=114&lang=1>
36. Lightweight Composite hard armour non apparel systems with T-963 3300 dtex Du Pont Kevlar 29 fibre. Prospekt firmy Du Pont.1993.
37. <http://www.safeguardclothing.com/38-ceramic-sapi-plate-ballistic-plates.html>
38. http://www.pointblanksolutionsinc.com/pointblankarmor_com/MILprod_helmets.html
39. <http://www.gotye.cn/encp3a.asp>
40. <http://www.engardebodyarmor.com/hardarmor.htm>
41. <http://www.rdconsulting.pl/node/864>
42. <http://www.rdconsulting.pl/node/868>
43. Materiały informacyjne firmy TenCate Advanced Armor USA
44. Materiały informacyjne firmy Seal



INNOWACYJNA
GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓŁNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



UMOWA NR UDA-POIG.01.01.01-00-005/09-00



NOWOCZESNE TECHNOLOGIE
DLA WŁÓKIENICTWA.
SZANSA DLA POLSKI.

INTERESUJĄ NAS SZCZEGÓLNIE

- > włókna naturalne i włókna chemiczne
- > włókna techniczne, m.in. dla rolnictwa, higieniczne i filtracyjne
- > dzianiny i tkaniny
- > specjalne wyroby techniczne
- > wyroby medyczne
- > środki ochrony indywidualnej

DLA KOGO WYNIKI PROJEKTU?

W wyniku badań powstaną scenariusze rozwoju i wdrożenia nowoczesnych technologii przemysłu włókienniczego, zapewniające w przyszłości konkurencyjność na rynku międzynarodowym i zarazem powodujące unowocześnienie rolnictwa, motoryzacji, budownictwa oraz medycyny. Grono podmiotów potencjalnie zainteresowanych rezultatami badań tworzą:

- > instytucje rządowe i samorządowe
- > Narodowe Centrum Badań i Rozwoju
- > firmy krajowe i zagraniczne z sektora włókienniczego, wyrobów medycznych, higienicznych i kosmetycznych oraz producentów środków ochrony indywidualnej
- > polskie izby branżowe
- > Polskie Zrzeszenie Producentów i Dystrybutorów Środków Ochrony Indywidualnej
- > Klaster Zaawansowanych Technologii Przemysłu Włókienniczo - Odzieżowego
- > polskie platformy technologiczne
- > centra zaawansowanych technologii
- > sieci naukowe krajowe i międzynarodowe
- > uczelnie wyższe
- > jednostki badawczo-rozwojowe z regionu łódzkiego, mazowieckiego, kujawsko-pomorskiego, śląskiego i wielkopolskiego

Sytuacja polskiego przemysłu włókienniczego, na skutek restrukturyzacji i unowocześnienia, powoli stabilizuje się. Jednak utrzymanie konkurencyjnej pozycji na światowym rynku wymaga ustawicznego wprowadzania nowych technologii, które pozwalają na wytwarzanie wyrobów o szerokim spektrum zastosowań, określanych często jako tekstylia o wysokiej wartości dodanej. Realizowany od stycznia 2010 r. projekt stwarza szansę wskazania nowoczesnych kierunków rozwoju technologii dla włókiennictwa.

DOKĄD ZMIERZAMY?

Bezpośrednim celem projektu *Nowoczesne technologie dla włókiennictwa. Szansa dla Polski* jest opracowanie wizji rozwoju nowoczesnych technologii w polskim przemyśle włókienniczym do 2030 roku, a także zwiększenie jego konkurencyjności i innowacyjności.

POZOSTAŁE CELE

- > weryfikacja i rozbudowa strategicznego programu badawczego dla rozwoju i wdrażania nowoczesnych technologii
- > przygotowanie rekomendacji w zakresie opracowania nowych standardów kwalifikacji oraz programów edukacyjnych dla kadry nowoczesnego przemysłu włókienniczego
- > opracowanie założeń dla polityki innowacyjnej w zakresie kierunków polityki wsparcia dla krajowego przemysłu włókienniczego, która gwarantowałaby rozwiązanie jego rzeczywistych problemów na poziomie koncepcji i wdrożenia

INWESTUJEMY W WASZĄ PRZYSZŁOŚĆ
DOTACJE NA INNOWACJE



www.ibwch.lodz.pl

Koordinator projektu
Instytut Bioteknologii i Włókien Chemicznych w Łodzi
90-570 Łódź, ul. M. Skłodowskiej-Curie 19/27
tel. +42 637 67 14, fax +42 637 62 14
e-mail: ibwch@ibwch.lodz.pl



www.p.lodz.pl

Politechnika Łódzka, Wydział Technologii
Materiałowych i Wzornictwa Tekstylnego
90-924 Łódź, ul. Zeromskiego 116
tel. +42 631 33 84, +42 631 33 08
e-mail: awianow@p.lodz.pl



www.ciop.lodz.pl

Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy
90-133 Łódź, ul. Wierzbowa 48
tel. +42 648 02 20
e-mail: kamaj@ciop.lodz.pl



www.moratex.eu

Instytut Technologii Bezpieczeństwa "MORATEX"
90-965 Łódź, ul. M. Skłodowskiej-Curie 3
tel. +42 637 37 10 w. 131
e-mail: pos@moratex.eu



www.itimp.ath.bielsko.pl

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
- Instytut Inżynierii Tekstyli i Materiałów Polimerowych
43-308 Bielsko-Biała, ul. Wilłowa 2
tel. +33 827 91 25
e-mail: mrom@ath.bielsko.pl



www.eedri.pl

Spółeczna Wyższa Szkoła Przedsiębiorczości i Zarządzania - Instytut
Badań nad Przedsiębiorczością i Rozwojem Ekonomicznym EEDRI
90-519 Łódź, ul. Ogórska 121
tel. +42 664 22 31 (42), fax +42 664 22 46
e-mail: zgosczyzna@eedri.pl



www.iw.lodz.pl

Instytut Włókiennictwa
92-103 Łódź, ul. Brzezińska 5/15
tel. +42 616 51 72
e-mail: malgorzata.matusiak@iw.lodz.pl



www.infmp.pl

Instytut Włókien Naturalnych i Rolin Zielarskich
60-630 Poznań, ul. Wojska Polskiego 71b
tel. +61 845 58 53
e-mail: grosiec@inf.poznan.pl

Działalność Zakładu Certyfikacji Wyrobów

Zakład Certyfikacji Wyrobów w ITB MORATEX jest wydzieloną komórką organizacyjną powołaną przez Dyrektora Instytutu do prowadzenia certyfikacji wyrobów. Działalność Zakładu Certyfikacji Wyrobów jest prowadzona w oparciu o wymagania normy PN-EN 45011, ustawy o systemie oceny zgodności oraz ustawy o systemie oceny zgodności wyrobów przeznaczonych na potrzeby bezpieczeństwa państwa. Bezstronność i niezależność w działaniu Zakładu Certyfikacji jest nadzorowana przez Radę Zarządzającą, wybraną spośród przedstawicieli producentów, konsumentów, organów administracji państwowej oraz przedstawicieli nauki.

Zakład Certyfikacji Wyrobów posiada akredytację Polskiego Centrum Akredytacji Nr AC 097 oraz Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji Nr CA-OiB-004.01/2008 do prowadzenia działalności certyfikacyjnej związanej z oceną zgodności wyrobów przeznaczonych na potrzeby bezpieczeństwa państwa. ITB „MORATEX” jest również jednostką notyfikowaną Nr 1475 w zakresie dyrektywy 89/686/EEC dotyczącej środków ochrony indywidualnej.

Akredytacja Polskiego Centrum Akredytacji Nr AC 097 obejmuje certyfikację zgodności z wymaganiami Polskich Norm, dla następujących grup wyrobów:

- przędze,
- liny i sznury,
- wyroby tekstylne, nakrycia głowy, galanteria włókiennicza, zapięcia,
- wyroby medyczne oraz materiały na wyroby medyczne,
- odzież ochronna oraz materiały przeznaczone na odzież ochronną,
- sprzęt ochraniający głowę,
- ochrona dłoni i ramion.

W ramach certyfikacji dobrowolnej nie objętej zakresem akredytacji ZCW dokonuje oceny:

- nieszkodliwości wyrobów dla zdrowia użytkownika w oparciu o przepisy prawne,
- ekologiczności procesów produkcyjnych i bezpieczeństwa dla zdrowia użytkownika w oparciu o kryteria oceny, uprawniające do oznaczania wyrobów zastrzeżonymi przez ITB „MORATEX”.



Znakami mogą być oznaczane wyroby, które nie stwarzają żadnego zagrożenia dla człowieka i środowiska lub stwarzają znikome, dające się pogodzić ze zwykłym użytkowaniem wyrobu zgodnie z jego przeznaczeniem.

Przy ocenie bezpieczeństwa i ekologii wyrobu uwzględnia się:

- zastosowane surowce,
- ekologiczność procesu wytwarzania,
- konstrukcję wyrobu,
- oddziaływanie na organizm dziecka,
- poziom zawartości substancji szkodliwych,
- komfort użytkowania,
- sposób oznakowania oraz informacje o konserwacji wyrobu,
- warunki techniczno-organizacyjne producenta, umożliwiające prowadzenie stabilnej i przyjaznej dla środowiska produkcji.

Oznaczenie jest potwierdzeniem, że:

- surowce użyte do produkcji nie stwarzają zagrożenia dla człowieka,
- do produkcji wyrobu dla dzieci użyto odpowiednich dla wieku dziecka surowców,
- proces wykończenia zapewnia minimalną zawartość szkodliwych substancji chemicznych,
- konstrukcja wyrobu gwarantuje komfort użytkowania i prawidłowy rozwój dziecka.

Kontakt

Kierownik Zakładu – mgr inż. Elżbieta Solińska
tel. 42 6338597
email: esolinska@moratex.eu

Specjaliści:
mgr inż. Jolanta Wawrzyniak
mgr inż. Danuta Lepla
mgr inż. Honorata Małolepszy
email: zcw@moratex.eu