

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

M. H. Struszczyk, M. Olejnik

Instytut Technologii Bezpieczeństwa "MORATEX"

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-



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

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 we wczesnym 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 wspomnianego wyżej uzależnienia od dostawców zagranicznych w zakresie materiałów podstawowych oraz technologii w powiązaniu z ograniczeniem innowacyjności wdrażanych w Polsce rozwiązań.

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

Fundamentalne znaczenie dla szybszego rozwoju technologii włóknistych materiałów balistycznych mają prace badawcze dotyczące zrozumienia zjawisk zachodzących w czasie interakcji pocisku z kompozytem balistycznym. Opisanie tych zjawisk oraz możliwość wdrożenia do praktyk badawczych zwalidowanych analiz komputerowego modelowania oraz tech-

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

Nowoczesne włókniste wyroby balistyczne wymagają nowych typów wysoko wytrzymałych i odpornych na działanie czynników środowiska włókien oraz półproduktów o odpowiednim składzie chemicznym matrycy kompozytowej. Docelowo pozwoli to na znaczące obniżenie masy gotowych wyrobów oraz umożliwi ewentualnie znalezienie nowych zastosowań, także w zakresie zastosowań cywilnych. Obniżenie masy osobistych ochron balistycznych pozwoli na zniesienie barier wynikających z ograniczeń związanych z brakiem lub znaczącym ograniczeniem komfortu użytkowania. Związane z tym są także negatywne aspekty fizjologiczne użytkowania osobistych ochron balistycznych wynikające z dużego wydatku energetycznego w czasie użytkowania, szybkiej utraty zdolności koncentracji, wprowadzenia dodatkowego elementu rozpraszającego, ryzyka szybkiego odwodnienia organizmu (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. Oczywiście jest, więc że obniżenie masy wyrobów balistycznych nie może odbywać się kosztem ich odporności balistycznej. Wręcz odwrotnie, w obecnie aktualizowanych wytycznych normatywnych zaleca się, aby odporność balistyczna była jak najwyższa. Dotyczy to także maksymalizacji powierzchni ochrony wyrobu balistycznego.

Biorąc pod uwagę doświadczenia z obecnie stosowanymi kompozytami balistycznymi oraz rosnące wymagania użytkowników końcowych należy założyć, że największy nacisk w przyszłych pracach badawczych powinien być położony na projektowanie coraz to trwalszych kompozytów włóknistych wraz ze ścisłym zdefiniowaniem ich potencjalnego zakresu stosowania. Ze względu na właściwości stosowanych obecnie 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 życia organów) oraz ergonomią.

Ze względu na konieczność obniżenia masy środków transportu dużą dynamikę wykazują obecnie prace 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 osłon 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) primpregnatów 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 tekstronicznych 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, exoszkieletu oraz cieczy magnetoreologicznych (wprowadzanych do bezpośrednio do wkładów balistycznych) opracowano także system zarządzania polem walki, poprzez wprowadzenie elementów tekstronicznych 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].

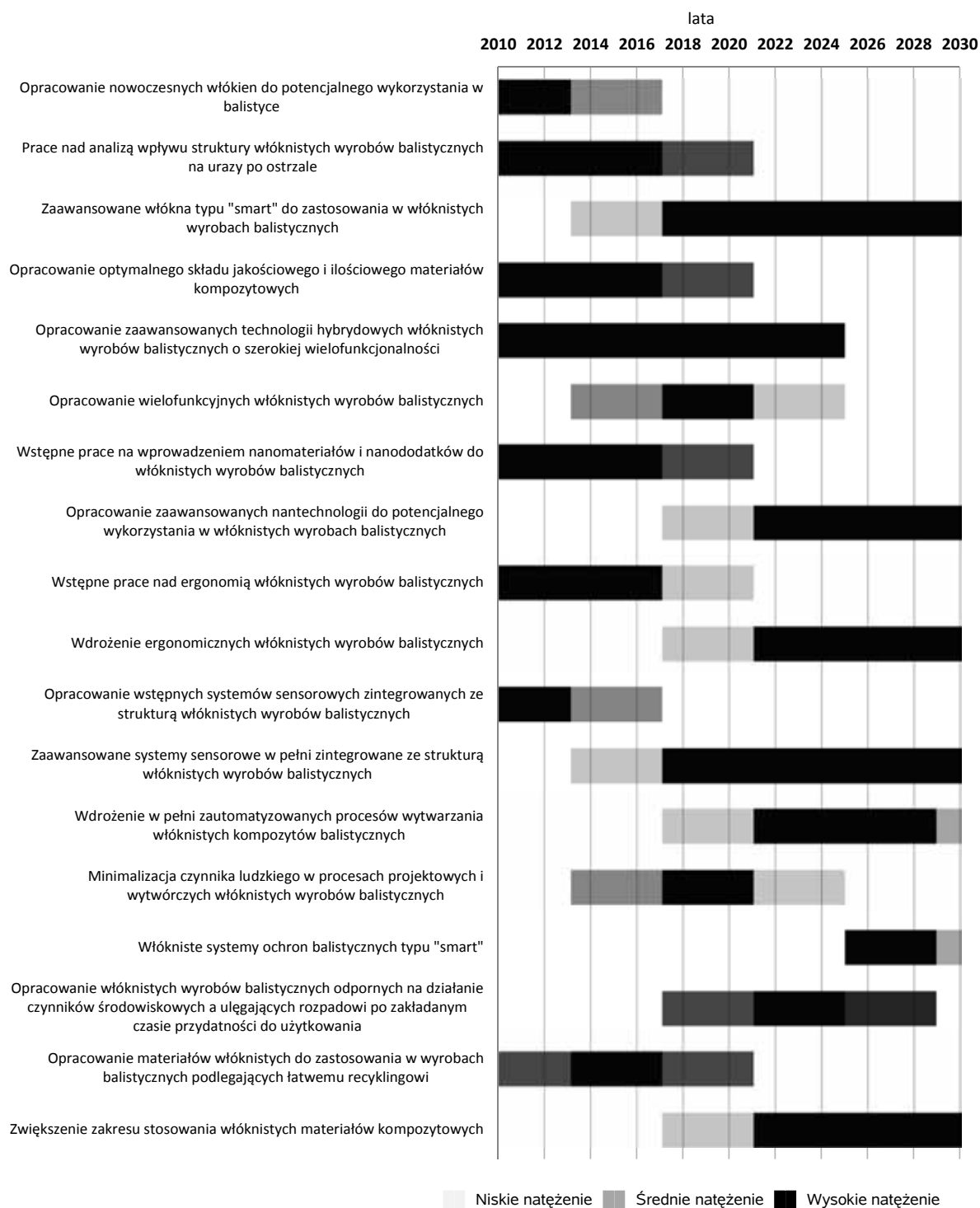
Ważnymi aspektami prac badawczych jest także ocena wpływu struktury, konstrukcji włóknistych wyrobów balistycznych na urazy po ich ostrzale. Powiązane jest to z optymalizacją konstrukcji zarówno hełmów balistycznych, jak i wkładów do kamizelek kuloodpornych, w zakresie uzyskania wysokich

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 wewnętrznych 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 zdyswersyfikowanym 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; obserwują efektywną reakcje – 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 OPRZYRĄDOWANIE
DO OBRÓBKI 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*