

TEKSTYLNE OSŁONY BALISTYCZNE ZE STRUKTURĄ HAFTOWANĄ

Maciej Gloger, Zbigniew Stempień, Justyna Pinkos

Instytut Architektury Tekstyliów

Politechnika Łódzka, Żeromskiego 116, 90-924 Łódź

DOI 10.34658/9788366741805.17

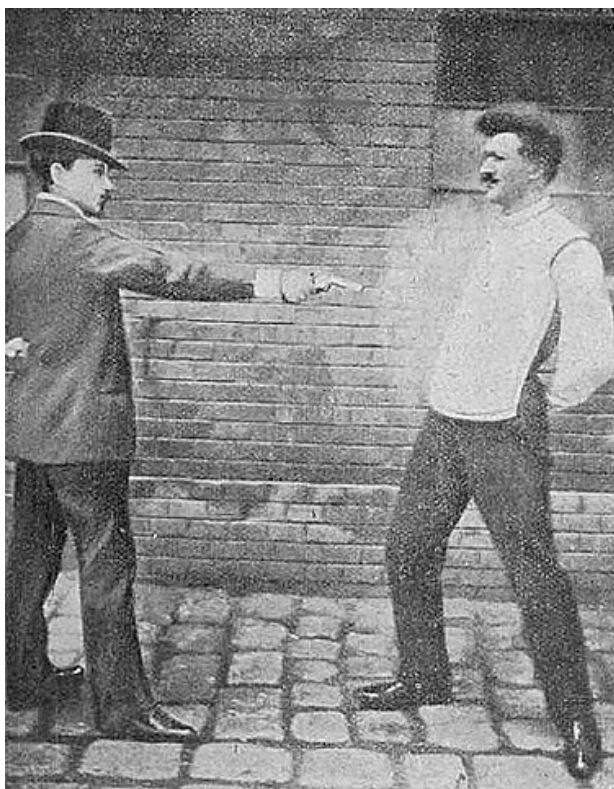
1. Wstęp

Ochrona ludzkiego ciała przed różnego rodzaju zagrożeniami, takimi jak ostre przedmioty i pocisk bojowy, sięga historii ludzkości. Ludzie nosili ubrania wykonane z różnego rodzaju prymitywnych i starszych materiałów, takich jak skóra zwierząt (skóra), drewno, kamienie, miedź, stal itp. aby chronić się przed różnego rodzaju zagrożeniami. Różne tkaniny i laminaty wykonane z tradycyjnych włókien, takich jak len, bawełna, jedwab i nylon, zostały również wykorzystane nie tylko do odzieży, ale również jako materiały chroniące przed różnymi zagrożeniami, w tym zastosowaniami balistycznymi [1-2]. Wynalzcami kamizelki kuloodpornej byli dwaj Polacy: Jan Szczepanik oraz Kazimierz Żegleń (Rys. 1). W kamizelkach obu wynalzców energia pocisku była pochłaniana w kolejnych warstwach tkaniny, z której uszyta była sama kamizelka.

Publicznie wykonywane testy wykazały, że tkanina Szczepanika jest odporna na kule zdolne przebić grube sosnowe deski i blachę żelazną, oraz na ostrze sztyletu. Okazało się, że rozpięta na parawanie tkanina, wzmocniona warstwą cienkiej blachy, zatrzymywała nie tylko kule z rewolweru kaliber 8 mm, ale nawet z karabinu Mannlicher, które przestrzeliwały na wylot stalową blachę o grubości 12 milimetrów z odległości 100 m [3]. Powstanie współczesnej generacji kamizelek balistycznych szacuje się na koniec lat 60. XX wieku po opracowaniu nowych syntetycznych materiałów włóknistych o właściwościach antybalistycznych.

Szybki rozwój tak wytrzymałych i wysokomodułowych włókien przyniósł także nową erę opartych na tkaninie systemów ochronnych o wyżej wymienionych właściwościach dla różnego rodzaju balistycznych nowości technologicznych.

Nieustannie prowadzono też szeroko zakrojone badania w celu poprawy nie tylko udatności balistycznej istniejącego materiału, ale także wynalezienia nowych materiałów balistycznych wraz z różnymi właściwościami mechanicznymi dla ogromnych rodzajów zastosowań technicznych, w tym systemów pancerzy osobistych.



Rys. 1. Kamizelka kuloodporna J. Szczepanika podczas testów (1901) [3].

Źródło: opracowanie własne.

Z tego powodu opracowano różne typy włókien o wysokiej wydajności o różnych właściwościach strukturalnych i odpowiedzialnych za szczególne reakcje na uderzenia balistyczne i parametry na etapie przędzy, tkaniny i jej laminatów kompozytowych, itp. Włókna para-aramidowe i polietylenowe o ultra wysokiej masie cząsteczkowej (UHMWPE) to dwa dobrze znane włókna o wysokiej wydajności do wytwarzania ochronnego materiału tekstylnego ze względu na ich wysoką odporność na uderzenia [4-5]. Twaron® (zastrzeżony znak towarowy Teijin), Kevlar® (zastrzeżony znak towarowy DuPont), Dyneema® (zastrzeżony znak towarowy DSM) należą do dobrze znanych włókien o wysokiej wydajności, które są szeroko stosowane w elastycznych pancerzach balistycznych ze względu na ich pożądane właściwości inżynierskie, takie jak wysoka wytrzymałość, wytrzymałość na rozciąganie, dobra odporność chemiczna i lekkie cechy [6].

Jednak oprócz wyjątkowych właściwości materiału (włókna) istnieją również różne mechanizmy, które należy wziąć pod uwagę w celu zwiększenia wydajności balistycznej danego materiału. Na przykład zwykłą metodą poprawy ochrony balistycznej przed uderzeniem między innymi pocisku obok wyboru odpowiednich właściwości materiałów jest dodanie większej liczby warstw w różnych ustawieniach

podczas produkcji paneli balistycznych [7-8]. Mimo, że zwiększenie liczby warstw tarczy balistycznej poprawia jej wydajność, wpływa to również na całkowitą wagę i elastyczność docelowej tarczy [9]. Poza tym istnieją również różne parametry, które mogą zwiększyć wydajność materiału balistycznego. W chwili obecnej jako warstwy pakietów balistycznych stosuje się tkaniny aramidowe o splocie płóciennym lub nietkane struktury na bazie włókien polietylenowych.

Duże nadzieje wiąże się również z rozwojem tkanin wieloosiowych jednak technologia wytwarzania tych tkanin nie jest jeszcze dopracowana. Innym kierunkiem rozwoju płaskich materiałów na osłony balistyczne są struktury układane z wyprostowanymi nitkami. Takie próby były realizowane poprzez klejenie pasm nitek. Badania wykazały, że struktury te cechuje mniejsza deformacja poprzeczna podczas uderzenia pocisku w stosunku do typowych tkanin.

Problemy związane z tymi strukturami dotyczą rozsuwania się nitek w punkcie uderzenia pocisku [10]. Obecnie tkaniny o wysokiej wytrzymałości z przędzy polimerowych są również szeroko stosowane ze względu na ich niską gęstość i wysoką wytrzymałość, a także dobrą odporność na obciążenia przy dużej prędkości, szczególnie na uderzenia balistyczne. Ze względu na takie właściwości, powyższe materiały balistyczne zostały zastosowane w wielu konfiguracjach w obszarach związanych z odzieżą ochronną dla personelu wojskowego i organów ścigania. Na rys. 2 przedstawiono widok typowej kamizelki kuloodpornej z pakietem tekstylnym wykonanym z włókien wysokowytrzymałych [11].



Rys.2. Widok typowej kamizelki kuloodpornej z pakietem tekstylnym [11]

Źródło: opracowanie własne.

2. Cel pracy

Celem pracy jest uzyskanie pakietu balistycznego metodą haftu oraz weryfikacja balistyczna pod względem energii resztkowej pocisku, maksymalnej deformacji oraz

wielkości uderzenia balistycznego. Zakres pracy dotyczy badania tekstyliów pod kątem zastosowania ich w wielowarstwowych strukturach pakietów balistycznych.

2. Metodyka badań

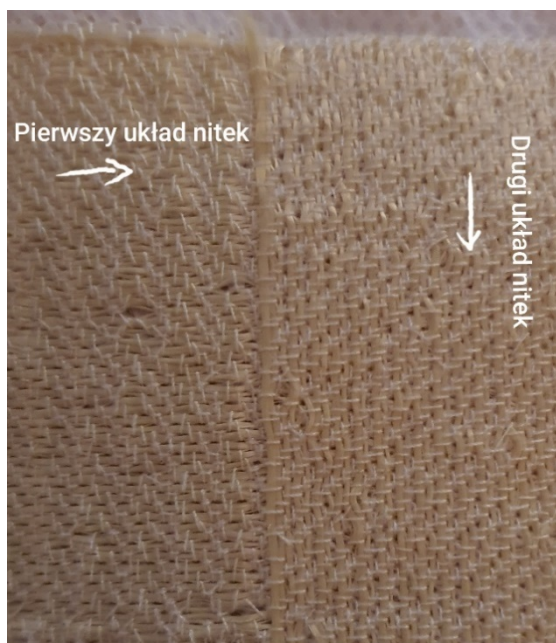
2.1. Wytwarzanie struktur haftowanych

W ramach realizacji badań związanych z opracowaniem struktur haftowanych z wykorzystaniem nitek aramidowych, użyto hafciarki JCZA 0109-550 firmy ZSK (Rys. 3). Dwa układy nitek aramidowych są układane pod kątem 90° . Pierwszy układ nitek jest przyczepiany haftem krzyżowym do włókninowego podkładu. Z kolei drugi układ nitek jest przyczepiany w podobny sposób na pierwszym układzie nitek pod kątem 90° (Rys. 4).



Rys. 3. Hafciarka firmy ZSK model JCZA 0109-550

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4. Widok wytworzonej struktury haftowanej z nitek aramidowych

Źródło: opracowanie własne.

2.2. Badania balistyczne pakietów ze strukturami haftowanymi

Wstępne badania balistyczne przeprowadzono z wykorzystaniem pocisku PARABELLUM 9×19 mm FMJ (Rys. 5). Tunel balistyczny, w którym są przeprowadzane eksperymenty uderzeniowe wyposażony był w działo balistyczne, które jest przystosowane do wystrzeliwania pocisków odpowiadających badaniu pakietów balistycznych w klasie kuloodporności I, II, IIIa (wg normy NIJ Standard). W tunelu balistycznym zainstalowano system bramek do pomiaru prędkości uderzenia i prędkości resztkowej pocisku, jak również system do rejestracji odkształcenia 3D pakietu balistycznego uderzonego przez pocisk w czasie rzeczywistym.



Rys. 5. Pocisk PARABELLUM 9 × 19 mm FMJ [11]

Źródło: opracowanie własne.

3. Obiekt badań

W badaniach przyjęto dwa obiekty badań: strukturę haftowaną z nitek paraaramidowych Twaron CT709 Microfilament 930 tex, których podstawowe parametry przedstawiono w tabeli 2 oraz pocisk Parabellum 9x19 mm FMJ.

Tabela 1. Podstawowe parametry przędzy Twaron CT Microfilament [12]

Parametr	Wartość
Masa liniowa, dtex	930
Liczba filamentów w przekroju poprzecznym	1000
Wytrzymałość właściwa, cN/tex	235
Moduł sprężystości, GPa	102
Wydłużenie przy zerwaniu, %	3,45
Gęstość, g/cm ³	1,44
Temperatura rozpadu, °C	500

Źródło: opracowanie własne.

Drugim obiektem badań jest pocisk Parabellum 9x19 mm FMJ. Pocisk ten jest obecnie najczęściej używanym pociskiem na świecie, szczególnie w większości typów pistoletów służb cywilnych i wojskowych. Został on uwzględniony w trzech klasach kuloodporności wg amerykańskiej normy NIJ Standard 2008 (Tabela 2).

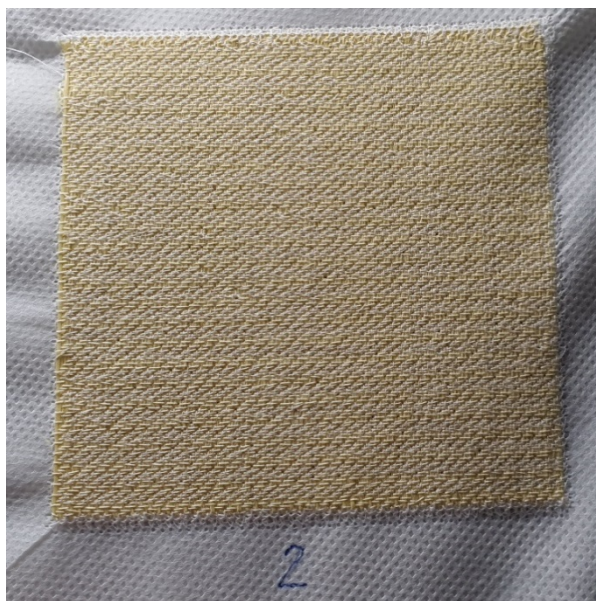
Tabela 2. Klasy kuloodporności dla kamizelek kuloodpornych wg normy NIJ Standard 2008 [12]

Klasa kulo- odporności	Szczegółowe wymagania testów						
	Liczba powtórzeń	Rodzaj amunicji testującej	Masa pocisku	Minimalna prędkość pocisku	Liczba strzałów pod kątem 0°	Maksy- malna wartość deformacji	Liczba strzałów pod kątem 30°
I	1	38 Special RN Lead	10,2 g 158 g	259 m/s	4	44 mm	2
	2	22 LRHV Lead	2,6 g	320 m/s	4	44 mm	2
II-A	1	357 Magnum JSP	10,2 g 158 g	381 m/s	4	44 mm	2
	2	9 mm FMJ	8,0 g	332 m/s	4	44 mm	2
II	1	357 Mangnum	10,2 g 158 g	425 m/s	4	44 mm	2
	2	9 mm FMJ	8,0 g	358 m/s	4	44 mm	2
III-A	1	44 Magnum Lead SWC	15,55 g	426 m/s	4	44 mm	2
	2	9 mm FMJ	8,0 g	426 m/s	4	44 mm	2
III	1	7,62 mm FMJ	9,7 g	838 m/s	6	44 mm	0
IV	1	30-6 AP	10,8 g	868 m/s	6	44 mm	0

Źródło: opracowanie własne.

4. Aktualny stan badań

Obecnie przeprowadzane są próby haftu w celu znalezienia optymalnej struktury osłony balistycznej. Przykładowe widoki uzyskanych struktur przedstawiono na rys. 6 i 7.

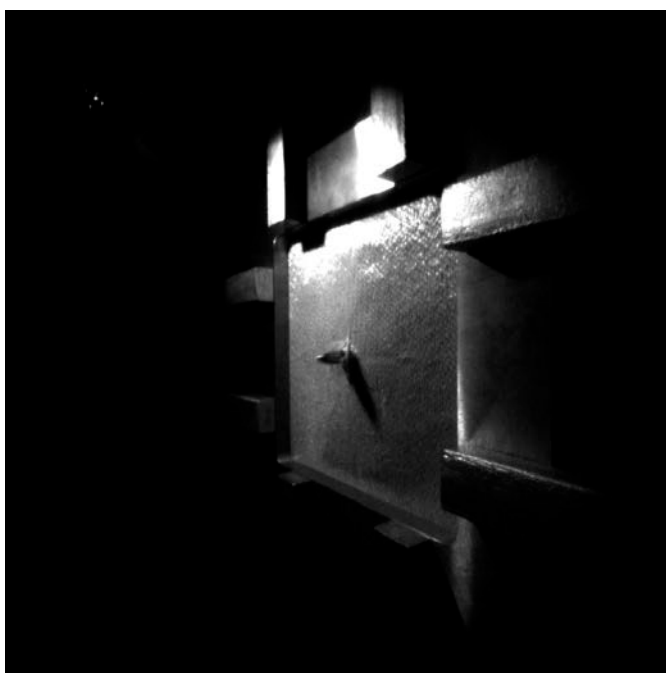


Rys. 6. Przykładowa próbka struktury haftowanej z poliestrową nitką haftującą
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 7. Przykładowa próbka struktury haftowanej z monofilamentową nitką haftującą
Źródło: opracowanie własne.

Uzyskane struktury haftowane z nitek aramidowych testowano w tunelu balistycznym w celu sprawdzenia ich właściwości balistycznych (Rys. 8 i 9).



Rys. 8. Pocisk przechodzący przez strukturę haftowaną – opracowanie własne

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 9. Przestrzelona struktura haftowana – opracowanie własne

Źródło: opracowanie własne.

Literatura

- [1] **Saxtorph M.**, *Warriors and Weapons of Early Times*, Macmillan Co. New York 1972.
- [2] **Sun D.**, *Ballistic performance evaluation of woven fabrics based on experimental and numerical approaches*. Elsevier Ltd, 2016.
- [3] Autor anonimowy, *Jan Szczepanik*, online, <https://web.archive.org/web/20120913004603/http://www.jan.private.pl/>, [dostęp: 23.11.2022]
- [4] **Yavaş O.M., Avci A., Şimşirb M., Akdemira A.**, *Ballistic performance of Kevlar49/ UHMW-PEHB26 Hybrid Layered- Composite*, Int. J.Eng. Res. Dev. 2015., vol. 7, no. 4, ss. 1–20.
- [5] **Zee H.R., Hsieh Y.C.**, *Energy absorption processes in fibrous composites*, Mater. Sci. Eng. A 1998, vol. 246, nr 1–2, ss. 161–168.
- [6] **Tan C.V., Tay T., Teo K.W.**, *Strengthening fabric armour with silica colloidal suspensions*, Int. J. Solids Struct. 2005, vol. 42, ss. 1561–1576,
- [7] **Öberg E., Dean J., Clyne W.T.**, *Effect of inter-layer toughness in ballistic protection systems on absorption of projectile energy*, Int. J. Impact Eng. 2015, vol. 76, ss. 75–82.
- [8] **Yang Y., Chen X.**, *Investigation of energy absorption mechanisms in a soft armor panel under ballistic impact*, Text. Res. J. 2017, vol. 87, nr 20, ss. 2475–2486.
- [9] **Learmont S. H.**, *Soft armor*, patent number US 7,251,835 B2, 2007.
- [10] **Duan Y., Keefe M., Bogetti T., Cheeseman B. A., Powers B.**, *A numerical investigation of the influence of friction on energy absorption by a high-strength fabric subjected to ballistic impact*, Int. J. Impact Eng. 2006, vol. 32, nr 8, ss. 1299–1312.
- [11] **Stempień Z.**, *Strukturalna barierowość balistyczna tekstyliów*, Zeszyt Naukowy 1049. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2009
- [12] **Dominiak J., Stempień Z.**, *Modelowanie numeryczne i analiza kuloodporności wielowarstwowych pakietów wykonanych z włókien paraaramidowych*, Problemy Mechatroniki, Uzbrojenie, Lotnictwo, Inżynieria Bezpieczeństwa 2016, vol. 7, nr 1 (23), ss. 43-60.