

prof. dr hab. inż. Mariusz Magier  
Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Politechnika Warszawska  
ul. Narbutta 85  
02-524 Warszawa

Warszawa, 16.04.2024r.

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Marka Walickiego  
**p.t. „Badania rozwojowe balistycznych wkładów kompozytowych do ochrony  
personalnej przed pociskami karabinowymi”**  
wykonanej w Wojskowej Akademii Technicznej  
pod kierownictwem dr. hab. inż. Jacka JANISZEWSKIEGO, prof. WAT

### 1. Wprowadzenie

Problematyka projektowania i badań materiałów i elementów osłon osobistych takich, jak hełmy czy kamizelki kuloodporne jest szczególnie ważna w aspekcie ich rozwoju i dostosowywania do wymagań współczesnego pola walki. Optymalny dobór masy i kształtu osłony balistycznej – wkładu kamizelki uzależniony jest przede wszystkim od przyjętej technologii jej wykonania, parametrów wytrzymałościowych materiałów konstrukcyjnych szczególnie w zakresie obciążeń dynamicznych, a przede wszystkim od poprawnie przeprowadzonych szerokich badań laboratoryjnych i balistycznych.

Omówione szczegółowo w niniejszej pracy badania doświadczalne balistycznych wkładów do ochrony personalnej dotyczą szerokiego spectrum materiałów włóknistych stosowanych na osłony balistyczne. Jednym z głównych parametrów determinujących jakość – zdolność ochrony wkładu balistycznego (co bezpośrednio związane z tematem badawczym podejmowanym w niniejszej rozprawie) jest osiągnięcie założonego przez konstruktora poziomu ochrony balistycznej. Mimo, że kompozytowy wkład balistyczny na pierwszy rzut oka nie charakteryzuje się szczególnie skomplikowaną budową (oczywiście w zależności od

przyjętej technologii wykonania), jego rola w procesie zatrzymania pocisku i zapewnienia odpowiedniej ochrony zdrowia i życia jest bardzo istotna, ponieważ jego głównym zadaniem jest zapewnienie skutecznego zatrzymania pocisku z wymaganą dopuszczalną wartością ugięcia wkładu, przy zachowaniu odpowiedniej trwałości i bezpieczeństwa użytkowania dla założonego czasu jego eksploatacji. Znamionym jest fakt, iż tematyka przedmiotowej rozprawy odpowiada wymaganiom sformułowanym w dokumencie „Priorytetowe Kierunki Badań Naukowych w Resorcie Obrony Narodowej w latach 2021–2035”, w obszarze technologicznym 8 Technologie materiałowe i wytwarzania, podobszarze 8.5. Technologie systemów ochrony pasywnej, technologii 8.5.2. Technologie materiałowe w zakresie osłon balistycznych (kompozytowych, włóknistych, polimerowych oraz powłok i metamateriałów). Stąd istotnymi celami poznawczymi rozprawy są: opracowanie i wytworzenie balistycznych wkładów do ochrony osobistej na poziomie odporności balistycznej NIJ 0101.06 klasy III lub PN-V-87000 klasy K3C oraz sprawdzenie czy istnieje zależność pomiędzy parametrami wytrzymałościowymi materiałów zastosowanych na osłony balistyczne a odpornością na ostrzał wykonanych na ich bazie wkładów balistycznych.

## **2. Omówienie treści rozprawy**

Praca składa się z 123 stron i z 7 zasadniczych rozdziałów oraz wykazu bibliografii zawierającej 84 pozycje w kolejności występowania odwołań w tekście rozprawy.

Przedstawiona rozprawa przedstawia oryginalne wyniki badań wraz z analizą ich warunków wykonywania umożliwiającą oszacowanie wpływu poszczególnych badanych czynników na wiarygodność uzyskiwanych wyników badań.

We wprowadzeniu autor dokonał identyfikacji celowości podjętych w dysertacji badań naukowych w postaci opracowania nowych wkładów balistycznych, zaproponowania technologii ich wykonania oraz przeprowadzenia badań strzelaniem weryfikujących ich odporność balistyczną na przyjęty poziom ochrony z wykorzystaniem analitycznych i doświadczalnych metod badawczych.

W rozdziale I autor zaprezentował analizę stanu techniki w dziedzinie rozwoju materiałów stosowanych na osłony osobiste. Objęła ona nie tylko szczegółowy opis wybranych materiałów balistycznych, ale także analizę istniejących technologii ich wykonania. Ponadto autor przedstawił obecne normy i wymagania dotyczące spełnienia poszczególnych poziomów odporności balistycznej, obowiązujące w kraju i na świecie wraz z przeglądem metod ich badań.



W rozdziale II autor przedstawił studium wykonalności nowych wkładów balistycznych na bazie porównań rozwiązań konkurencyjnych, analizy trendów i doboru istotnych parametrów determinujących najważniejsze walory osłon osobistych, a także zidentyfikował możliwości technologiczne firmy CFT Precyzja Sp. z o.o., będącej jednostką wdrażającą wyniki realizacji przedmiotowego doktoratu wdrożeniowego.

W rozdziale III autor omówił cel i zakres pracy stawiając dwie hipotezy badawcze. Pierwsza, wdrożeniowa, dotyczyła celu wdrożenia – opracowania nowych wkładów balistycznych do ochrony personalnej:

- o masie nieprzekraczającej 1,6 kg,
- powierzchni ochronnej  $0,068 \text{ m}^2 \pm 5\%$ ,
- poziomie ochrony balistycznej NIJ 0101.06 klasy III lub PN-V-87000 klasy K3C,
- gęstości powierzchniowej nieprzekraczającej  $27 \text{ kg/m}^2$ .

Druga hipoteza badawcza dotyczyła sprawdzenia zależności pomiędzy wynikami wytrzymałościowych badań quasi-statycznych tkanin bazowych a wynikami badań balistycznych gotowych wkładów z których zostały wykonane.

W rozdziale IV autor przedstawił charakterystyki i dobór materiałów bazowych przeznaczonych do wytwarzania wkładów balistycznych wraz z ich wytypowaniem jako możliwych do zastosowania wobec dostępnych w firmie CFT Precyzja Sp. z o.o. technologii. W dalszej części rozdziału autor opisał procedury przygotowania próbek badawczych dla wybranych siedmiu materiałów bazowych, przyjęte metody badań quasi-statycznych wraz z opisem: autorskiego uchwytu mocującego próbkę materiału włóknistego, metodyki badań odłamkoodporności oraz metodyki badań odporności balistycznej.

W rozdziale V przedstawił on wyniki badań quasi-statycznych i balistycznych materiałów wybranych tkanin oraz gotowych uproszczonych modeli wkładów balistycznych. Wyniki tych badań zostały poddane analizie, skutkującej określeniem konieczności modyfikacji przyjętych wcześniej rozwiązań i wykonaniem prototypów nowych wkładów balistycznych, które zostały poddane ponownym badaniom balistycznym. Dalsza weryfikacja wyników tych badań doprowadziła do eliminacji rozwiązań konstrukcyjnych niezapewniających spełnienia założonych wymagań w zakresie ochrony balistycznej. Kolejne badania dynamiczne strzelaniem prowadzone na prototypach przedprodukcyjnych doprowadziły do powstania ostatecznych wersji dwóch wybranych konfiguracji wkładów balistycznych, wśród których po badaniach weryfikacyjnych jedna spełniła założone wymagania ochronne.

W rozdziale VI autor opisał technologię produkcji przemysłowej wraz z planem jej wdrożenia oraz oczekiwanymi kierunkami dalszego rozwoju opracowanych systemów balistycznych celem osiągnięcia wyższych poziomów odporności balistycznej.

W rozdziale VII autor zawarł m.in. syntetyczne podsumowanie wyników zrealizowanych badań, dowodzące spełnienia celu wdrożeniowego dysertacji, którym było opracowanie i przebadanie wkładu kompozytowego do kamizelek kuloodpornych na poziomie ochrony balistycznej NIJ 0101.06 klasy III lub PN-V-87000 klasy K3C, z wykorzystaniem możliwości technologicznych firmy, co odpowiada formule doktoratu wdrożeniowego. Ponadto przeprowadzenie przez doktoranta szerokich badań i analiz, prac projektowych i technologicznych, pozwoliło na sprawdzenie poprawności hipotezy o korelacji pomiędzy właściwościami wytrzymałościowymi tkanin, a wynikami badań balistycznych gotowych wkładów wykonanych z tych tkanin. Hipoteza ta nie została udowodniona, ale w efekcie w/w działań doktorant stwierdził, że wpływ na poziom ochrony balistycznej wkładu wykonanego z konkretnych tkanin ma nie tylko rodzaj tkaniny (wraz z jego parametrami wytrzymałościowymi) ale także, co istotne, przyjęta technologia wykonania gotowego wkładu balistycznego.

Zakończenie pracy tworzą szerokie zestawienie literatury cytowanej w niniejszej rozprawie oraz załączniki zawierające m.in. szczegółowe raporty z zrealizowanych w ramach pracy badań.

### **3. Ocena merytoryczna rozprawy**

Do najważniejszych wyników analiz i badań zawartych w rozprawie doktorskiej Pana mgr. inż. Marka Walickiego należy zaliczyć:

- a. Zaprojektowanie wkładów balistycznych (konkurencyjnych do istniejących) na bazie nowoczesnych tkanin włóknistych,
- b. Opracowanie autorskiej metody badań tkanin włóknistych stosowanych jako zbrojenie kompozytów balistycznych do ochrony osobistej,
- c. Zaprojektowanie autorskiego stanowiska do badań tkanin w warunkach quasi-statycznych,
- d. Opracowanie technologii wytwarzania balistycznych wkładów kompozytowych
- e. Przeprowadzenie badań wytrzymałościowych i balistycznych tkanin włóknistych oraz gotowych wkładów balistycznych.



- f. Wdrożenie wyników prac badawczych w zakresie nowych kompozytowych struktur ochronnych w firmie CTF Precyzja Sp. z o.o.

Uważam, że zakres analiz teoretycznych i badań eksperymentalnych wykonanych przez Autora, jest znaczny i wystarczający dla uzasadnienia postawionych celów pracy. Przyjęto odpowiednie metody badawcze.

Temat pracy precyzyjnie odpowiada zawartej w niej treści.

Układ pracy, proporcje treści zawartej w poszczególnych rozdziałach, a także styl i układ graficzny stanowią logiczną całość.

W zakresie merytorycznej oceny rozprawy, można uznać, że założony zakres pracy został zrealizowany.

Uwagi szczegółowe:

- na stronie 48 w opisie „włókno węglowe” użyto określenia „Materiał ten jest lżejszy od stali, jest pięciokrotnie *mocniejszy...*” - słowo „*mocniejszy*” nie uszczegóławia o jaki parametr chodzi – zapewne intencją autora było stwierdzenie dotyczące jego wytrzymałości np. na rozciąganie lub ściskanie;
- na stronie 77 w opisie lufy balistycznej FSP kalibru 0.22 cala użyto pojęcia „*skoku śrubowym 12*” – adekwatnym pojęciem byłby „skok gwintu”;
- na stronie 78 pod tabelą jest użyte nieznane mi pojęcie „Delta ( $\Delta V$ ) – *rozstęp*”. Wielkość ( $\Delta V$ ) najczęściej nazywana jest rozrzutem prędkości, można ją też nazwać amplitudą prędkości.

#### **4. Podsumowanie**

Recenzowana dysertacja stanowi oryginalne dzieło naukowe, którego wyniki można wykorzystać w pracach naukowo-badawczych związanych z badaniami i projektowaniem kompozytowych wkładów balistycznych.

Uzyskanie wyniki pracy wykonanej przez Pana mgr. inż. Marka Walickiego potwierdzają założone cele pracy.

Aplikacyjny charakter uzyskanych wyników badań teoretycznych i eksperymentalnych zrealizowanych w przedmiotowym doktoracie pozwala na stwierdzenie, że mogą one znaleźć z powodzeniem praktyczne zastosowanie w procesie doskonalenia metod i metodyk badań kompozytowych materiałów balistycznych wykonywanych z struktur włóknistych, jej

procesów projektowania i wytwarzania oraz stanowić istotny element wsparcia dydaktycznego na kierunkach studiów kształcących przyszłych inżynierów o specjalności uzbrojenie.

Doktorant podczas realizacji pracy wykazał się bardzo dobrą znajomością podstaw teoretycznych dotyczących metod projektowania, badań oraz technologii produkcji wkładów balistycznych.

Uwzględniając podstawowe elementy recenzowanej rozprawy doktorskiej, takie jak:

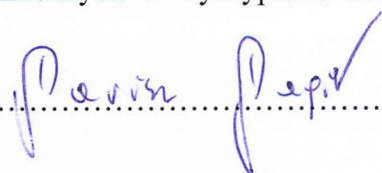
- oryginalne wyniki badań eksperymentalnych;
- interdyscyplinarność przedmiotowego problemu;
- zastosowanie opracowanej metodyki, wyników badań i analiz teoretycznych w rozwoju technik projektowych i badawczych kompozytowych wkładów balistycznych;

oceniam rozprawę doktorską Pana mgr. inż. Marka Walickiego pozytywnie.

Praca charakteryzuje się wysokimi walorami poznawczymi i użytkowymi (możliwość wdrożenia jej wyników w firmie CTF Precyzja Sp. z o.o) oraz świadczy o gruntownym przygotowania merytorycznym Autora, który wykazał się obszerną wiedzą ogólną z mechaniki oraz szczegółową dotyczącą metod badań balistycznych ochronnych materiałów kompozytowych, a także dowiódł swojej dojrzałości naukowej podczas formułowania zagadnień, realizacji rozwiązań i redagowania odpowiednich wniosków.

## 5. Ocena końcowa rozprawy

Podsumowując stwierdzam, że opiniowana praca doktorska Pana mgr. inż. Marka Walickiego pod tytułem „*Badania rozwojowe balistycznych wkładów kompozytowych do ochrony personalnej przed pociskami karabinowymi*” spełnia wymogi stawiane pracom na stopień doktora nauk inżynieryjno-technicznych, w rozumieniu art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Dz. U. nr 65, poz. 595 (z późniejszymi zmianami) oraz ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1668). Wnioskuje zatem do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Mechanicznej Wojskowej Akademii Technicznej o dopuszczenie Pana mgr inż. Marka Walickiego do publicznej obrony jak również procedowanie kolejnych etapów w zakresie ubiegania się przez Doktoranta o stopień naukowy doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

  
.....