

Gliwice, 16.05.2024 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr. inż. Marka Walickiego

pod tytułem:

**„Badania rozwojowe balistycznych wkładów kompozytowych do ochrony
personalnej przed pociskami karabinowymi”**

podstawa opracowania: Uchwała Rady Dyscypliny Naukowej nr 15/RDN
IM/2024 z dnia 20 marca 2024 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów
rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marka Walickiego podpisana przez
Przewodniczącą prof. dr hab. inż. Jerzego Małachowskiego.

Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Jacek Janiszewski, prof. uczelni.

1. Ocena aktualności wybranego tematu

Współczesne wymagania stawiane nowoczesnym materiałom balistycznym dążą do zapewnienia jak najmniejszej przebijalności przy jednoczesnej ich redukcji masy. Dzisiejsze pole walki wymaga dużej mobilności, zdolności do szybkiego przemieszczania się zarówno żołnierzy jak i sprzętu. Wynika to chociażby z zastosowania w konfliktach wojennych różnego rodzaju obiektów latających takich jak chociażby drony (co jest obserwowane w aktualnie trwającej agresji Rosji na Ukrainę), które to same są w stanie szybko się przemieszczać. Stąd dążenie do możliwie jak najlżejszego wyposażenia żołnierzy, w tym w środki ochrony osobistej.

Wśród proponowanych rozwiązań środków ochrony personalnej (kamizelek kuloodpornych) znajdują się także rozwiązania oparte na kompozytach wielowarstwowych. Pod kątem ekonomicznym, bardzo ważne jest podjęcie próby uniezależnienia się od konkurencyjnych firm poza granicami kraju, aby to Polska stała się kluczowym producentem tego typu rozwiązań.

W ciągu ostatnich lat kompozyty wielowarstwowe znajdują coraz szersze zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, w których były, bądź są, stosowane z powodzeniem inne materiały konstrukcyjne, takie jak np. metale czy też ich stopy. Obserwując rosnący popyt na elementy wykonane z materiałów kompozytowych, można spodziewać się, że zapotrzebowanie na produkty wykonane z tych materiałów będzie rosło, zwłaszcza, że dotychczas są one z powodzeniem stosowane do wytwarzania między innymi rur, zbiorników ciśnieniowych, karoserii samochodowych, łodzi, samolotów, elementów turbin wiatrowych czy też osłon energochłonnych. Materiały wielowarstwowe są coraz częściej stosowane do wytwarzania tego typu osłon ze względu na ich zalety, takie jak mała gęstość czy też wysoka wytrzymałość właściwa. W tych produktach materiały te są poddawane różnym typom obciążeń, w tym uderzeniowym, szczególnie istotnych w badaniach wytrzymałościowych w przypadku zastosowania tych materiałów jako osłon energochłonnych.

Jak stwierdza Autor dysertacji, obecnie stosowane materiały, bazujące na kompozytach wielowarstwowych, są nadal w fazie rozwoju i dalszego udoskonalania, co wiąże się z potencjałem rozwojowym i badawczym w sferze doskonalenia ochrony balistycznej. Zauważa, że materiały z grupy polietylenów stanowią potencjał projektowy do wytwarzania lekkich, bezpiecznych i konkurencyjnych balistycznych wkładów kompozytowych do ochrony personalnej. Największym wyzwaniem technicznym w konstrukcji kompozytowego systemu ochrony jest optymalizacja poszczególnych warstw w modułach w zależności od założonego zagrożenia i dopuszczalnej masy systemu jako całości. Z kolei wyzwaniem technologicznym jest odpowiednio wytrzymałe adhezyjne, odporne na oddziaływania środowiskowe łączenie poszczególnych warstw. Biorąc powyższe pod uwagę, wybrany temat pracy doktorskiej uważam za aktualny zarówno pod względem naukowym, jak również pod względem zastosowania wyników badań w praktyce. Tematyka pracy mieści się w zakresie dyscypliny naukowej „Inżynieria mechaniczna”.

Analizując zapotrzebowanie krajowego i zagranicznego rynku widać stały, bądź rosnący popyt na proponowane w dysertacji rozwiązania. Kształtują go czynniki takie jak zastosowanie najnowszych technologii materiałowych i najwyższa jakość rozwiązań technologicznych. W obliczu wzrastającej konkurencji najważniejszym wewnętrznym czynnikiem, który wpływa na utrzymanie popytu na co najmniej stałym poziomie, jest zaspokojenie potrzeb obecnych klientów i pozyskanie nowych. Recenzowana praca doktorska spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim o charakterze wdrożeniowym.

2. Przegląd treści pracy

Rozprawę doktorską podzielono na Wprowadzenie i siedem rozdziałów, uzupełnionych wykazem ważniejszych oznaczeń i skrótów, spisem tabel i rysunków, bibliografią oraz siedmioma załącznikami. W pracy nie zawarto streszczeń. Rozprawa została napisana na 123 stronach maszynopisu formatu A4. Na końcu pracy zamieszczono załączniki.

Pierwsze dwa rozdziały stanowią wprowadzenie do treści zasadniczych analizowanych w ramach recenzowanej dysertacji. Autor opisał w nich podstawowe wiadomości dotyczące wkładów balistycznych stosowanych w systemach ochrony personalnej, opisał metody badań systemów balistycznych, mechanizmy absorpcji energii kinetycznej pocisku. Ponadto dokonał porównania rozwiązań konstrukcyjnych wkładów balistycznych dostępnych na rynku oraz zdefiniował wymagania techniczne produktu na podstawie przeprowadzonej analizy trendu. Wnioskami z tych części pracy było dobranie materiałów do projektowania struktur balistycznych, określenie założeń technicznych dla rozwiązania konstrukcyjnego balistycznego wkładu kompozytowego oraz zaproponowanie programu badań do oceny osłon balistycznych prowadzonych na podstawie norm NIJ 0101.05 oraz PN-V-87000.

Rozdział trzeci zatytułowano „Cel i zakres pracy”. Cel naukowy pracy zdefiniowano jako „ocena wpływu właściwości fizyko-mechanicznych materiału bazowego i procesu technologicznego na właściwości balistyczne kompozytu balistycznego”, natomiast celem wdrożeniowym było „wytworzenie, na bazie przyjętych założeń konstrukcyjno-technicznych, kompozytowego wkładu balistycznego i zastosowanie go w pilotażowej partii prototypów wkładów”.

Rozdział czwarty dotyczy przedstawienia rodzajów i właściwości fizycznych materiałów stosowanych w produkcji osłon balistycznych z jednoczesną analizą możliwości ich zastosowania w produkcji wkładów balistycznych wytwarzanych przez firmę CFT Precyzja. Wytypowano dwa typy materiałów, które wykorzystano w dalszych pracach przy badaniu tych tkanin. W rozdziale tym przedstawiono opis dedykowanego stanowiska badawczego służącego wyznaczeniu charakterystyk siła nacisku versus ugięcie zamocowanej tkaniny w celu przeprowadzenia analizy porównawczej tkanin, które mają być zastosowane do budowy wkładów balistycznych. Ponadto opisano zaproponowane metody badawcze: badanie quasi – statyczne, badania odłamkowo - odporności oraz badania odporności balistycznej.

Rozdział piąty dotyczy przedstawienia wyników badań eksperymentalnych i ich analizę dla przypadków opisanych w rozdziale czwartym. Porównywano zmierzone parametry fizyczne i mechaniczne dla poszczególnych tkanin z wymaganiami założonymi dla konstrukcji panelu w celu eliminacji materiałów o najniższym współczynniku rogowania. Przeprowadzone badania pozwoliły na obalenie postawionej wcześniej tezy odnośnie możliwej korelacji pomiędzy cechami balistycznymi tkanin stosowanych do wytwarzania kompozytów balistycznych a charakterystykami wytrzymałościowymi określonymi w warunkach quasi – statycznego obciążenia tkaniny penetratorem. Przeprowadzone badania pozwoliły wyselekcjonować dwa materiały, z których wytworzono prototypy przedprodukcyjne wkładów balistycznych.

Rozdział szósty ośmiostronicowy zatytułowano „Opracowanie technologii produkcji przemysłowej”. W niniejszym rozdziale Autor przeprowadził założenia i analizę procesu wdrożenia wkładu balistycznego do produkcji w zależności od oczekiwanej wielkości zapotrzebowania. Rozdział zakończono przedstawieniem możliwości dalszego rozwoju konstrukcji opracowanego wkładu.

Rozprawa kończy się przedstawieniem podsumowania i wniosków końcowych oraz wskazaniem dalszych kierunków badań.

3. Ocena merytoryczna, wyniki pracy i ich ocena

Przedstawiona kompozycja pracy jest właściwa, poszczególne rozdziały tworzą logiczną i wspólną całość. Zaletą rozprawy jest przejrzysty układ treści co powoduje, że zagadnienia prezentowane w pracy przedstawione są w sposób przejrzysty i konsekwentny.

W recenzowanej pracy doktorskiej przedstawiono uszeregowane badania wpisujące się w metodykę opracowania wkładu balistycznego z zastosowaniem do kamizelki kuloodpornej. Opracowana metodyka zawiera kilka etapów poczynsz od wyboru tkaniny stanowiącej zbrojenie laminatu balistycznego, poprzez utworzenie uproszczonych modeli wkładów balistycznych, stopniowej ich modyfikacji aż do wyprodukowania pełnowymiarowych prototypów i reprezentatywnej partii produkcyjnej.

Autor poprzedził wybór odpowiedniej tkaniny stanowiącej zbrojenie laminatu balistycznego szeroką gamą badań eksperymentalnych, co pozwoliło Mu na zgromadzenie odpowiedniej wiedzy na temat zachowania się analizowanych materiałów w wyniku zarówno quasi-statycznego obciążania materiału przeprowadzonego w specjalnie zaprojektowanym przez siebie przyrządzie z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej oraz poddaniu ich ostrzałom małokalibrowym. Otrzymane relacje pomiędzy energią odkształcenia tkaniny, wyznaczoną z prowadzonej próby wytrzymałościowej, a wynikami parametru balistycznego V_{50} co prawda nie pozwoliły na potwierdzenie tezy odnośnie korelacji pomiędzy cechami balistycznymi a wytrzymałościowymi, a tym samym na możliwość prognozowania zdolności balistycznych tkaniny na podstawie przeprowadzanych jedynie badań wytrzymałościowych. Autor sugeruje, że być może

takie relacje będą prawdziwe w przypadku badań pojedynczego włókna. Prowadzone dalsze badania realizowane dla wkładów balistycznych zgodnie ze standardem przedstawionym w stosownych normach, pozwoliły na wyciągnięcie wniosku, że podejście do projektowania wkładów kamizelek kuloodpornych o określonej odporności balistycznej należy rozpatrywać ze względu na dwa aspekty; braku penetracji i ograniczeniu efektu traumy, poprzez zastosowanie materiałów posiadających zdolność absorpcji energii uderzenia.

Recenzowana praca wskazuje, że Doktorant wykazał się umiejętnością łączenia wiedzy teoretycznej i praktycznej. Przedstawiony w pracy problem badawczy jest interesujący poznawczo i ważny ze względu na zastosowanie praktyczne. Lektura dysertacji zapewnia mnie, że Autor posiada niezmiernie rozległą wiedzę merytoryczną związaną z technologią wytwarzania i prowadzenia badań wkładów balistycznych.

Lektura dysertacji nasuwa jednak pewne komentarze i uwagi krytyczne, częściowo dyskusyjne, do których zaliczyłbym:

- Autor kilkakrotnie w pracy używa terminu technologia odnośnie sposobu wytwarzania wkładu balistycznego. Np. na str. 93 zostało napisane „... wyraźnie podatny na zastosowane parametry ciśnienia i temperatury. Stąd, zastosowana technologia dla tego układu...”. Niestety w pracy nie została szczegółowo opisana technologia wytwarzania. Brak informacji odnośnie dokonywanych zmian w obszarze jednego materiału nie pozwala zorientować się na ile te zmiany parametrów procesu technologicznego wpływają na ostateczne wartości parametrów balistycznych. W tym świetle tym bardziej niezrozumiałe jest używanie w pracy (np. patrz str. 92) terminu optymalizacja układu. W pracy nie znajduję takich informacji jak np. jaką optymalizację Autor rozważał w pracy?, co było funkcją celu?, jaka metoda optymalizacji była zastosowana?, czy były brane pod uwagę ograniczenia? itd. Generalnie kwestie technologii wytwarzania można by rzec są wręcz pomijane. Na stronie 59 pracy Autor napisał „... stosując odpowiednie przekładki technologiczne... „ nie wyjaśniając czym są te owe przekładki.
- Kolejna uwaga odnosi się do zaprojektowanego stanowiska służącego wyznaczaniu charakterystyk mechanicznych dla tkanin balistycznych, siła nacisku penetratora versus jego wgłębienie. Jak sam Autor napisał (patrz str. 72) „system naciągu próbki spełnił oczekiwania, tj. naciąg próbki był silny, powtarzalny oraz równomierny na całej powierzchni roboczej próbki”. Autor nie opisał w jaki sposób był zapewniany naciąg wstępny tkaniny i jakimi metodami było jego sprawdzenie. Ponadto w pracy nie zostało wytłumaczone dlaczego zdecydowano się na zaproponowany kształt urządzenia tj. kwadrat a nie okrąg. W tej części pracy zapewne pomoce byłoby przeprowadzenie symulacji numerycznych zarówno samego naciągu tkaniny jak i badania penetratorem.
- Str. 62 niewłaściwie użyte określenie w zdaniu „... zmianę siły krzywych nacisku penetratora ...”.
- Rysunek 4.1 posiada opis w języku angielskim (powinien być w języku polskim, tak jak jest pisana praca), ponadto w pracy znalezione nieliczne błędy stylistyczne i językowe np. opis Tabeli 6.1. „... do planu drożenia w zależności ...”.

Przedstawione uwagi i komentarze zostaną zapewne wyjaśnione, bądź skomentowane w trakcie publicznej obrony.

Mimo wymienionych w recenzji uwag krytycznych realizację postawionego przed Doktorantem zadania należy ocenić pozytywnie ze względu na:

- prawidłowe zdefiniowanie przedmiotu badań,
- wykazane przez Autora dobre rozeznanie w wielu dziedzinach wiedzy, w tym umiejętności praktyczne związane z wytwarzaniem wkładów kompozytowych do kamizelek kuloodpornych,
- wymierne osiągnięcia teoretyczno-aplikacyjne, pozwalające na szereg ciekawych spostrzeżeń i wyciągnięcie na tej podstawie interesujących wniosków.

Na wyróżnienie zasługuje przeprowadzenie badań eksperymentalnych dotyczących szerokiej gamy rozpatrywanych materiałów oraz opracowanie autorskiego stanowiska badawczego.

4. Ocena końcowa

Przedstawione w recenzji uwagi krytyczne, mają charakter dyskusyjny, nie pomniejszają jednak osiągnięć Doktoranta w uzyskiwaniu wartościowych wyników naukowych i poznawczych. Mają zwrócić uwagę na dalszą pracę i uczulić na staranność w przygotowaniu samodzielnych opracowań naukowych, wnikliwą analizę oraz zgłębianie realizowanych przez Autora problemów badawczych.

Oceniając ogólnie przedstawioną rozprawę doktorską, należy podkreślić aktualność jej tematyki i potrzebę wynikającą ze zwiększającego się zainteresowania materiałami kompozytowymi szczególnie w strategicznych gałęziach przemysłu, m.in. w przemyśle zbrojeniowym.

Ze względu na charakter recenzowanej pracy - doktorat wdrożeniowy, cel określany jest jako rozwiązanie oryginalnego problemu naukowego oraz zagadnienia praktycznego, w taki sposób, aby powstałe rozwiązanie można było wdrożyć. Cel uważam za osiągnięty, gdyż opracowana podczas realizacji niniejszej dysertacji metodyka badania tkanin do wkładów balistycznych umożliwia otrzymanie powtarzalnych i miarodajnych wyników, co przekłada się na możliwość opracowania konkurencyjnych do innych producentów wkładów ochrony personalnej stosowanych w kamizelkach kuloodpornych.

Recenzowana praca spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r., poz. 227 z późn. zm.), a zatem Recenzent wnioskuje do Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Mechaniczna” Wojskowej Akademii Technicznej o dopuszczenie mgr inż. Marka Walickiego do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Stawomir Duda