



Bielsko-Biała, dnia 26 sierpnia 2023 r.

## RECENZJA

### ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Macieja Glogera

NUMERYCZNE I EKSPERYMENTALNE PODEJŚCIE DO PROBLEMU KONSTRUKCJI TEKSTYLNYCH  
OSŁON BALISTYCZNYCH ZE STRUKTURĄ HAFTOWANĄ

#### 1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzja została przygotowana w oparciu o Uchwałę Nr 57/7/IK/2023 Rady do spraw Stopni Naukowych Politechniki Łódzkiej w dyscyplinach inżynieria mechaniczna, inżynieria materiałowa z dnia 10 lipca 2023 roku w sprawie powołania Komisji Doktorskiej w postępowaniu o nadanie mgr inż. Maciejowi Glogerowi stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa, powołując mnie na recenzenta w przewodzie doktorskim Pana mgr inż. Macieja Glogera, o czym poinformowany zostałem przez Przewodniczącą Rady do Spraw Stopni Naukowych Politechniki Łódzkiej w dyscyplinach inżynieria mechaniczna, inżynieria materiałowa Panią Prof. dr hab. inż. Barbarę Błażejczyk-Okolewską pismem z dnia 11 lipca 2023r.

#### 2. Kryteria oceny rozprawy

Biorąc pod wymagania na podstawie art. 192 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2023 roku poz. 742), 4 ust. 2 Uchwały nr 21/2021 Senatu Politechniki Łódzkiej z dnia 26 maja 2021 r. z późn. zm. w sprawie określenia postępowania w sprawie nadania stopnia doktora oraz szczegółowego trybu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego, podczas oceny rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Macieja Glogera przyjąłem następujące kryteria: znaczenie, aktualność i oryginalność podjętej tematyki, stopień rozeznania Autora w przedmiotowym obszarze badań, poprawność

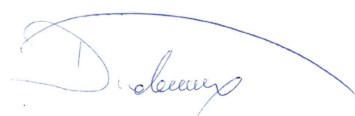
sformułowania celów i hipotez badawczych, zasadność zastosowania metodyki badań, spójność struktury rozprawy oraz jej stronę warsztatową.

### **3. Charakterystyka rozprawy doktorskiej**

Przewód doktorski mgr inż. Macieja Glogera jest prowadzony na Wydziale Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów w Instytucie Architektury Tekstyliów.

Rozprawa doktorska mgr inż. Macieja Glogera wykonana została w roku 2023 w ramach kształcenia w Interdyscyplinarnej Szkole Doktorskiej PŁ, w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa. Promotorem pracy jest Pan dr hab. inż. Zbigniew Stempień, prof. uczelni a promotorem pomocniczym Pani dr inż. Justyna Pinkos, oboje z Wydziału Technologii Materiałowych i Wzornictwa Tekstyliów, Instytut Architektury Tekstyliów Politechniki Łódzkiej.

Tematyka rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Macieja Glogera dotyczy tekstylnych osłon balistycznych, oceny skuteczności ochrony miękkich kamizelek kuloodpornych. W świetle literatury przedmiotu a także rozważań Autora rozprawy, skuteczność ochrony zależy od przyjętego materiału włókien, różnych parametrów strukturalnych pakietów balistycznych, takich jak: rodzaj konstrukcji warstwy tekstylnej (tkanina dwuosiowa i trójosiowa, włóknina, dzianina 2D/3D), masa liniowa i liczności nitek, masa powierzchniowa warstw, liczba warstw w pakiecie balistycznym, hybrydowa orientacja warstw w pakiecie balistycznym, napawanie warstw substancjami z udziałem mikro- i nanocząstek różnych materiałów, które stosowane w różnych kombinacjach prowadzą do uzyskania odpowiedzi strukturalnej, sprzyjającej zwiększonej efektywności balistycznej kamizelek kuloodpornych. Poruszana w dysertacji problematyka dotyczy istotnego i aktualnego problemu związanego z bezpieczeństwem i ochroną życia ludzkiego. Przedstawione w pracy zagadnienia są odpowiedzią na potrzeby ciągłego doskonalenia skuteczności ochronnej miękkich kamizelek kuloodpornych do zmian wymuszanych przez globalne otoczenie i zmieniających się wymagań oraz potrzeb przemysłu zbrojeniowego. Jednym z kierunków prac w tym zakresie jest stosowanie nowych struktur oraz materiałów. Odpowiedzią na zapotrzebowanie związane z poprawą efektywności ochronnej jest zastosowanie przy budowie miękkich kamizelek kuloodpornych hybrydowych pakietów balistycznych. W literaturze przedmiotu można odnotować, iż każdy rodzaj struktury tekstylnej stosowanej w warstwach pakietów balistycznych wykazuje się korzystnymi i niekorzystnymi właściwościami z punktu widzenia odpowiedzi balistycznej. W hybrydowych konstrukcjach pakietów można, poprzez odpowiednie uszeregowanie warstw, ograniczyć wpływ niekorzystnych właściwości struktur na odpowiedź balistyczną i tym samym zwiększyć efektywność balistyczną pakietu. Autor rozprawy proponuje nowe podejście do zwiększenia



efektywności balistycznej miękkich kamizelek kuloodpornych poprzez zastosowanie w pakietach struktur haftowanych, również w układach hybrydowych z tkaninami. Takie struktury nie były do tej pory rozważane jako warstwy pakietów balistycznych. Do wytworzenia tych struktur haftowanych wykorzystywana jest technologia Tailored Fibre Placement (TFP), która umożliwia tworzenie struktur dwu- i wielowymiarowych, poprzez układanie i przyhaftowywanie nicią mocującą do podłoża, przędzy o dowolnie zaprojektowanej orientacji. Zaproponowane przez Autora założenia prowadzą do potrzeby opracowania nowych metod i modeli symulacyjnych integrujących różne koncepcje i poziomy opisu rzeczywistości.

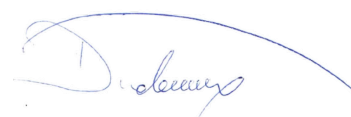
Uwzględniając powyższe uwagi wstępne podjętą przez Kandydata tematykę rozprawy uważam za istotną i oryginalną, zarówno ze względów poznawczych, jak i użytecznych. Pomimo dużej liczby publikacji dotyczących stosowania naukowych metod w doskonaleniu efektywności balistycznej miękkich kamizelek kuloodpornych można zaobserwować lukę teoretyczną, metodyczną i empiryczną w obszarze przedmiotowym badań. Dotyczy ona braku koncepcji, metodyk i modeli pozwalających ująć przedmiotową problematykę w sposób systemowy, uwzględniając przy tym wpływ czynników niepewnych. Moim zdaniem postawiony w pracy problem i sposób jego rozwiązania można postrzegać jako próbę wypełniania tych luk.

Reasumując, uważam, że postawiony przez Doktoranta problem badawczy ma charakter dysertabilny i w pełni nawiązuje do współczesnych osiągnięć oraz potrzeb nauki w obszarze modelowania i symulacji efektywności balistycznej miękkich kamizelek kuloodpornych mieszczących się w obszarze szeroko pojętej inżynierii materiałowej.

#### **4. Układ rozprawy**

Treść pracy została przedstawiona na 123 ponumerowanych stronach wydruku komputerowego formatu A4, a jej kompozycja zawiera: trzy części składające się z dziewięciu rozdziałów. Rozprawę wzbogaca materiał ilustracyjny i tabelaryczny, składający się ze 127 rysunków oraz 10 tabel, w pracy brakuje wykazu symboli i oznaczeń.

Przedstawione wyniki rozprawy są efektem badań i eksperymentów wspartych starannym rozpoznaniem literaturowym. Spis źródeł 110 pozycji. Nie brakuje tutaj aktualnych pozycji z obszaru przedmiotowego rozprawy, chociaż moim zdaniem bibliografia powinna być uzupełniona o ważne pozycje z prestiżowych czasopism i konferencji międzynarodowych. Praca ma właściwą strukturę, treść kolejnych rozdziałów jest uzasadniona, zachowane są odpowiednie proporcje między poszczególnymi częściami pracy. Praca spełnia wszystkie wymogi formalne. Autor rozprawy unika powtórzeń i zbędnego rozciągania tekstu, szczegółowo omawiając przedstawiane zagadnienia. Napisana jest poprawnym językiem naukowym,



w sposób interesujący dla czytelnika. Zawiera wszystkie potrzebne przypisy objaśniające i poprawne odsyłacze literaturowe, a cytaty są wyraźnie oddzielone od tekstu autorskiego. Poprawnie są też ponumerowane i przedstawione tabele i zestawienia. We wprowadzeniu uzasadniono potrzebę podjęcia badań struktur haftowanych z udziałem przędzy para-aramidowej i oceną efektywności balistycznej wielowarstwowych tekstylnych pakietów z udziałem tych struktur po ostrzale pociskiem Parabellum 9x19 FMJ. Część badawcza obejmowała przeprowadzenie badań numerycznych i eksperymentalnych ostrzału pakietów balistycznych o różnym układzie warstw tkanych i haftowanych, przeprowadzenie numerycznych i eksperymentalnych badań optymalizacyjnych w celu znalezienia najbardziej efektywnej struktury pakietu balistycznego z udziałem tkanin i struktur haftowanych.

## **5. Analiza zakresu, celu i charakterystyka treści pracy**

Dysertacja składa się z trzech części — w pierwszej Autor zaprezentował przesłanki wyboru tematu. W kolejnej części Doktorant przedstawił analizę aktualnej literatury przedmiotu w tym kierunku badań pakietów balistycznych, natomiast w ostatniej, trzeciej zamieścił wyniki badań własnych.

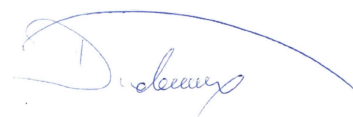
W konsekwencji swoich obserwacji, w rozdziale trzecim rozprawy Doktorant sformułował następujący cel rozprawy w treści:

„Celem pracy jest wytworzenie struktur haftowanych z udziałem przędzy para-aramidowej i ocena efektywności balistycznej wielowarstwowych tekstylnych pakietów z udziałem tych struktur po ostrzale pociskiem Parabellum 9x19 FMJ”.

W związku z postawionymi celem Autor sformułował także zakres zadań, których realizacja pozwoliła na osiągnięcie wyznaczonego celu. Do zadań tych należały m.in.:

- Wytworzenie struktur haftowanych z udziałem nitek para-aramidowych.
- Przeprowadzenie badań numerycznych i eksperymentalnych ostrzału pakietów balistycznych, o różnym układzie warstw tkanych i haftowanych, zamocowanych w stalowych ramach.
- Przeprowadzenie badań eksperymentalnych ostrzału pakietów balistycznych, o różnych układzie warstw tkanych i haftowanych, ułożonych na kalibrowanym podłożu plastelinowym.
- Przeprowadzenie numerycznych i eksperymentalnych badań optymalizacyjnych w celu znalezienia najbardziej efektywnej struktury pakietu balistycznego z udziałem tkanin i struktur haftowanych.

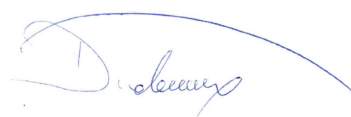
Realizacja tak sformułowanych celów rozprawy i zakresu związanych z nimi zadań została podporządkowana weryfikacji tezy rozprawy w brzmieniu:



„Istnieje możliwość zwiększenia efektywności balistycznej wielowarstwowych tekstylnych pakietów balistycznych poprzez zastosowanie w tych pakietach struktur haftowanych”.

Uważam, że cele pracy zostały sformułowane jasno, są ścisłe i konkretne oraz poddają się operacjonizacji. Wyrażam również pogląd, że hipoteza pracy w przytoczonym powyżej brzmieniu została określona prawidłowo. Analizując strukturę pracy doktorskiej można stwierdzić, że Doktorant ma opanowany warsztat badawczy i dobrze zaprezentował zarówno materię teoretyczną jak i empiryczną. Stąd też strukturę rozprawy doktorskiej uznaję za poprawną. Praca poświęcona jest zagadnieniu w pełni aktualnemu.

W trzeciej części rozprawy Autor rozprawy przedstawił wyniki badań własnych. W rozdziale 4. rozprawy (METODYKA BADAŃ NUMERYCZNYCH I EKSPERYMENTALNYCH) Doktorant omówił charakterystykę obiektu badań w tym założenia do badań symulacyjnych i eksperymentalnych. Autor realizował badania eksperymentalne w Laboratorium Badań Balistycznych na Politechnice Łódzkiej natomiast badania symulacyjne przeprowadził metodą elementów skończonych za pomocą oprogramowania LS-Dyna (Livermore Software Technology Corporation, USA). W ramach eksperymentu Doktorant opracował program badań obejmujący ocenę efektywności balistycznej pakietów mocowanych w stalowych ramach w zależności od wariantu ułożenia warstw. Kolejnym krokiem w prezentowanych badaniach było opracowanie modeli numerycznych oraz przeprowadzenie badań eksperymentalnych efektywności balistycznej pakietów wykonane w Wariantach od I do V osadzonych na podłożu plastelinowym i poddanych ostrzałowi pociskami Parabellum 9x19 FMJ. W wyniku przeprowadzonych badań ostrzału pakietów zamocowanych w ramach stalowych Autor stwierdził występowanie częściowego wysuwania się warstw pakietu z ram stalowych, w przeprowadzonej analizie numerycznej tego typu efekt nie został uwzględniony i istotnie wpływa na odpowiedź balistyczną pakietu. Z tego względu, wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych podczas badań pakietów zamocowanych w ramach stalowych Autor rozprawy porównywał w aspekcie efektywności balistycznej poszczególnych wariantów pakietów balistycznych. Jako wskaźniki efektywności brano pod uwagę maksymalną deformację poprzeczną pakietu, czas zatrzymania pocisku, równoznaczny z osiągnięciem zerowej energii kinetycznej pocisku, współczynnik perforacji oraz ekspansję pocisku. Biorąc pod uwagę te wskaźniki należy stwierdzić, że pomiędzy badaniami symulacyjnymi i eksperymentalnymi wystąpiła pełna zgodność. W obu tych badaniach największą efektywność balistyczną osiągnął pakiet wykonany w Wariacie IV składający się z hybrydowego połączenia 13 warstw tkanych z przodu i 13 warstw struktur haftowanych z tyłu. Z kolei najmniejszą



efektywność balistyczną wykazał pakiet wykonany w Wariancie III o odwrotnym połączeniu warstw w stosunku do Wariantu IV. W wyniku przeprowadzonego eksperymentu Autor dla Wariantu IV przeprowadza optymalizację w celu znalezienia optymalnej granicy faz tkanej i haftowanej. W pakiecie wykonanym według Wariantu IV, granica tych faz była w środku pomiędzy 13 i 14 warstwą. Badania na kalibrowanym podłożu plastelinowym wykazały największą efektywność dla pakietu zawierającego 9 warstw tkanych i 17 warstw haftowanych. Potwierdziły to zarówno badania symulacyjne jak i eksperymentalne w warunkach zamocowania pakietu w ramach stalowych oraz badania eksperymentalne w warunkach ułożenia pakietu na kalibrowanym podłożu plastelinowym.

Rozdział 6. (DYSKUSJA WYNIKÓW BADAŃ) stanowi podsumowanie dysertacji i zrealizowanych badań. W Rozdziale 7. Doktorant przedstawił wnioski końcowe.

## **6. Ocena merytoryczna**

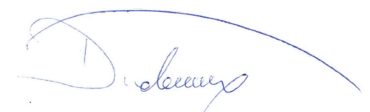
Dokonany przegląd treści rozdziałów pozwala mi stwierdzić, że Autor podjął się trudnego zadania badawczego i wykonał je w stopniu dobrym. Prezentacja wyników prac badawczych świadczy także o dobrej znajomości realiów praktycznych przez Autora rozprawy. Należy podkreślić, że Doktorant wykonał żmudną pracę gromadzenia i przygotowania danych.

Realizację sformułowanych celów pracy oraz weryfikację postawionej tezy Autor oparł na podejściu badawczym składającym się z faz:

- analitycznej — bazującej na metodzie analizy i studiowania literatury przedmiotu wykorzystanej dla potrzeb wyjaśnienia podstawowych pojęć związanych z tematyką rozprawy.
- diagnostyczno-projekcyjnej opartej na własnych badaniach empirycznych i podejściu indukcyjno-dedukcyjnym, która zaowocowała identyfikacją kluczowych parametrów zmiennych wejściowych, a przede wszystkim opracowaniem modeli symulacyjnych.

Autor rozprawy doktorskiej podjął temat istotny z punktu widzenia czysto poznawczego jak i użytecznego, podjęcie się tego zagadnienia jest ważne i celowe.

- Układ rozprawy jest prawidłowy.
- Praca mieści się w obszarze prowadzonych badań tekstylnych osłon balistycznych a także oceny skuteczności ochrony miękkich kamizelek kuloodpornych.
- Doktorant wykazał się dobrym rozeznanieniem w literaturze przedmiotu oraz wiedzy praktycznej.
- Autor bardzo dobrze orientuje się w poruszonym zagadnieniu i wyraża się językiem dojrzałego naukowca.



Oceniając podejście badawcze stwierdzam, że Doktorant posłużył się bardzo dobrze dobranymi i właściwymi do podjętej problematyki narzędziami badawczymi.

## 7. Spostrzeżenia i uwagi krytyczne

Uważam, że rozprawa została napisana klarownie i logicznie. Układ pracy jest prawidłowy, a kolejność rozdziałów nie budzi zastrzeżeń. Język użyty w pracy jest prawidłowy. Pod względem edycyjnym pracę oceniam bardzo dobrze, w tekście występują sporadycznie: błędy literowe, gramatyczne czy też skróty myślowe.

Pomimo wszystkich zalet i pozytywnej oceny rozprawy pod względem zawartości merytorycznej, podczas lektury pracy zauważyłem pewne jej niedostatki i usterki. Nasunęły się także pewne spostrzeżenia i pytania, na które chciałbym, aby Doktorant udzielił odpowiedzi podczas publicznej obrony.

1. W jaki sposób Autor rozprawy przeprowadził optymalizację pakietu balistycznego wykonanego w Wariancie IV.

Pod pojęciem optymalizacji należy rozumieć:

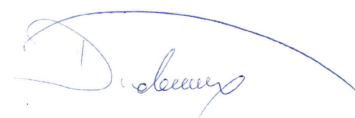
Optymalizacja= wybór najlepszego spośród dopuszczalnych rozwiązań (wariantów).

Rozwiązanie dopuszczalne = rozwiązanie spełniające przyjęte warunki – ograniczenia.

Rozwiązanie najlepsze = rozwiązanie, dla którego przyjęte kryterium wyboru – funkcja celu ma ekstremum.

Proszę przedstawić metodę postępowania optymalizacyjnego jaka została przeprowadzona w ramach rozprawy doktorskiej, ze względu na jakie kryteria i o jakim charakterze uwzględniono kryteria ich ważności.

2. Proces doboru danych wejściowych do modelu symulacyjnego stanowi w praktyce duże wyzwanie. Proszę o przedstawienie danych wejściowych i wyjściowych w zastosowanym modelu. Chciałbym też zapytać czy sprawdzano w jakiś formalny sposób jakość danych wejściowych, a jeżeli tak, to jak to zrealizowano.



## 8. Wniosek końcowy

Autor pracy wykazał się dobrym opanowaniem warsztatu naukowego.

- Praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

- Przyjęty cel rozprawy został zrealizowany.

Autor zidentyfikował lukę poznawczą, a na podstawie analizy literatury stwierdził brak wystarczającej liczby publikacji w tym obszarze.

Autor poprawnie zdefiniował przedmiot badań, prawidłowo przedstawił plan badań i wyniki swoich dociekań, we właściwy sposób zrealizował wszystkie etapy procesu badawczego, w tym wnioskowania, wykazał się bardzo dobrym rozeznaniem w dziedzinie wiedzy i dobrym przygotowaniem w oparciu analizę literatury przedmiotu.

Zrealizowane zadanie badawcze świadczy o tym, że Autor potrafi zdefiniować ciekawy problem badawczy, opracować plan eksperymentu, przeprowadzić badania oraz wyciągnąć wnioski.

Bardzo pozytywnie oceniam rozprawę doktorską w aspekcie metodologicznym i merytorycznym co stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Biorąc pod uwagę merytoryczne i formalne aspekty rozwiązania tematu podjętego w pracy stwierdzam jednoznacznie, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Macieja Glogera pt.: „NUMERYCZNE I EKSPERYMENTALNE PODEJŚCIE DO PROBLEMU KONSTRUKCJI TEKSTYLNYCH OSŁON BALISTYCZNYCH ZE STRUKTURĄ HAFTOWANA” spełnia wymagania art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce stawiane dysertacjom doktorskim.

Konkludując, stawiam wniosek o przyjęcie opracowania przedstawionego do recenzji - jako rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Glogera na stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

