

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

Warszawa, 02.06.2025r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Piotra BIENKA
**p.t. „ Analiza naprężeń i odkształceń w procesie modelowania płyty oporowej
moździerza”**
wykonanej w Politechnice Rzeszowskiej
pod kierownictwem dr. hab. inż. Mirosława TUPAJA, prof. PRz

1. Wprowadzenie

Problematyka projektowania i badań systemów uzbrojenia lufowego w zakresie m.in. parametrów balistyki wewnętrznej, zewnętrznej, wytrzymałości elementów składowych czy wpływu jej konstrukcji na charakterystyki taktyczno-techniczne jest szczególnie ważna w aspekcie optymalizacji procesów projektowania nowych wzorów uzbrojenia oraz modernizacji istniejących rozwiązań technicznych w tym zakresie. Optymalny dobór masy i kształtu elementów broni uzależniony jest przede wszystkim od przyjętej zasady jej działania, parametrów wytrzymałościowych materiałów konstrukcyjnych szczególnie w zakresie obciążeń zmęczeniowych, a przede wszystkim od poprawnie przyjętych modeli obliczeniowych konstrukcji (matematycznego i fizycznego) oraz przeprowadzeniu szerokich badań analitycznych, numerycznych i laboratoryjnych modeli i prototypów.

Omówione szczegółowo w niniejszej pracy badania teoretyczne i doświadczalne zjawiska odrzutu w 98 mm moździerz M-98, występującym na uzbrojeniu Wojska Polskiego, dotyczą szerokiego spectrum zjawisk dynamicznych dotyczących zarówno samego uzbrojenia jak i otoczenia- podłoża na którym pracuje płyta oporowa moździerza oraz wzajemnych relacji

moździerz-podłoże. Jednym z głównych elementów konstrukcyjnych tego typu broni artyleryjskiej jest wymieniona wcześniej płyta oporowa, którego działanie podczas zjawiska odrzutu broni związane z tematem badawczym podejmowanym w niniejszej rozprawie doktorskiej. Chociaż zespół ten nie charakteryzuje się na pierwszy rzut oka szczególnie skomplikowaną budową, jego rola w procesie działania moździerza jest niezwykle istotna, ponieważ jego głównym zadaniem jest zapewnienie niezawodnego działania broni podczas prowadzenia ognia z wymaganą celnością, przy zachowaniu odpowiedniej trwałości i bezpieczeństwa użytkowania broni przy założonym czasie jej eksploatacji. Znamiennym jest fakt, iż tematyka przedmiotowej rozprawy wpisuje się w wymagania sformułowane w dokumencie DIn. Wewn. 1/2023 „Priorytetowe Kierunki Badań Naukowych w Resorcie Obrony Narodowej w latach 2021–2035” Ministerstwa Obrony Narodowej, w obszarze technologicznym 8 Technologie materiałowe i wytwarzania, podobszarze 8.6. Powiązania i zależności z innymi technologiami i blokami technologii. Stąd istotnym celem poznawczym rozprawy jest opracowanie metodyki i przeprowadzenie badań eksperymentalnych płyty oporowej moździerza M-98 w warunkach poligonowych oraz przygotowanie i walidacja numerycznego modelu obliczeniowego wytrzymałości płyty oporowej z wykorzystaniem metody elementów skończonych, co umożliwi optymalizację procesu projektowania i konstruowania nowych wzorów uzbrojenia.

2. Omówienie treści rozprawy

Praca składa się z 186 stron i z 8 zasadniczych rozdziałów oraz podsumowania, wniosków końcowych, wykazu bibliografii zawierającej 167 pozycji 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 wstępie autor dokonał identyfikacji celu podjętych w dysertacji badań naukowych w postaci opracowania metodyki i przeprowadzenia badań poligonowych płyty oporowej moździerza M-98 oraz opracowanie numerycznego modelu obliczeniowego płyty oporowej umożliwiającego szacowanie naprężeń z wykorzystaniem metody elementów skończonych.

W rozdziale I autor zaprezentował analizę stanu techniki w dziedzinie moździerzy ze szczególnym uwzględnieniem konstrukcji płyt oporowych. Objęła ona nie tylko szczegółowy opis wybranych konstrukcji płyt oporowych zawierających analizę rozwiązań w zakresie

realizacji odrzutu lufy, ale także analizę istniejących publikacji i patentów dotyczących przedmiotowego problemu.

W rozdziale II autor tezę, cel oraz zakres pracy.

W rozdziale III autor omówił materiał konstrukcyjny zastosowany w płycie oporowej moździerza M-98. Zawarł w tym rozdziale także wyniki badań materiałowych dotyczących spektrometrii, pomiarów mikroskopowych, badań wytrzymałości i twardości oraz budowy modelu numerycznego płyty oporowej w oparciu o technikę skanowania 3D.

W rozdziale IV autor przedstawił wyniki eksperymentalne dotyczące określenia możliwości pomiaru odkształceń występujących w płycie oporowej podczas strzału z zastosowaniem tensometrii elektrooporowej. Badania te pozwoliły na weryfikację przyjętych wcześniej założeń dotyczących lokalizacji czujników pomiarowych, co w następstwie pozwoliło na opracowanie efektywnej metodyki pomiaru odkształceń w płycie oporowej podczas strzału.

W rozdziale V przedstawił on wyniki badań balistycznych płyty oporowej moździerza M-98. Autor opisał procesy przygotowania amunicji do badań, stanowisk ogniowych bazujących trzech typach podłoża, omówił wybrane do badań konfiguracje kąta podniesienia lufy moździerza oraz scharakteryzował uzyskane wyniki badań strzelaniem.

W rozdziale VI zostały przez autora przedstawione wyniki analiz numerycznych z wykorzystaniem metody elementów skończonych, dotyczące wyteżenia płyty oporowej moździerza podczas strzału, odwzorowujące wszystkie przyjęte podczas badań strzelaniem konfiguracje katów podniesienia lufy moździerza i zastosowanych rodzajów podłoża. Opisał on także metodologię zastosowanej iteracji w zakresie kolejnych obliczeń numerycznych przybliżających wyniki symulacji naprężeń w płycie oporowej do odpowiednich wartości rzeczywistych uzyskanych za pomocą pomiarów elektrooporowych.

W rozdziale VII autor zaprezentował analizę i interpretacje otrzymanych wyników badań balistycznych i symulacji numerycznych. Zidentyfikował on główne obszary występowania naprężeń w konstrukcji płyty oporowej. Wyniki porównania zostały także zobrazowane graficznie i w ujęciu statystycznym.

Rozdział VIII zawiera wyniki modelowania numerycznego koncepcji modyfikacji kształtu płyty oporowej z uwzględnieniem wniosków zawartych w poprzednim VII rozdziale. W wyniku modyfikacji konstrukcji płyty uzyskał on redukcję wartości naprężeń maksymalnych, a w efekcie końcowym istotne zmniejszenie masy płyty oporowej.

W części końcowej pracy autor zawarł m.in. syntetyczne podsumowanie wyników zrealizowanych badań oraz wnioski końcowe, dowodzące spełnienia celu naukowego

dysertacji, którym było opracowanie metodyki badań eksperymentalnych płyty oporowej mózdzierza w warunkach poligonowych i modelu numerycznego umożliwiającego szacowanie naprężeń w symulacji MES płyty oporowej mózdzierza oraz celu użytkowego, opracowanie bazy danych eksperymentalnych płyty oporowej mózdzierza na podstawie przeprowadzonych badań poligonowych strzelaniem, uzyskanie rozkładu naprężeń w opracowanym modelu numerycznym płyty oporowej i przeprowadzenie symulacji MES dla zmodyfikowanej konstrukcji płyty oporowej.

Zakończenie pracy tworzą szerokie zestawienie literatury cytowanej w niniejszej rozprawie oraz streszczenie pracy.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

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

- a. Opracowanie autorskiej metodyki badań eksperymentalnych płyty oporowej mózdzierza M98 w warunkach poligonowych,
- b. Zbudowanie oryginalnych stanowisk badawczych z wykorzystaniem trzech rodzajów podłoża oraz m.in. systemu pomiarów tensometrycznych elektrooporowych,
- c. Wykonanie kompleksowych badań eksperymentalnych parametrów wytrzymałościowych oraz przeprowadzeniu poligonowych badań wstępnych i eksperymentalnych płyty oporowej. Na podstawie wyników tych badań uzyskano dane pomiarowe z ostrzału płyty, które wraz z wynikami jej badań materiałowych posłużyły do opracowania bazy danych do symulacji numerycznych.
- d. Opracowanie modelu CAD i modelu numerycznego płyty oporowej, przeprowadzenie symulacji numerycznych MES oraz opracowanie zmodyfikowanej konstrukcji płyty oporowej,
- e. Zwaliowanie opracowanych i przyjętych modeli numerycznych płyty w formie porównania wyników badań numerycznych oraz wyników badań strzelaniem, podczas których dokonywano pomiarów tensometrycznych płyty oporowej, co potwierdziło słuszność przyjętych przez doktoranta założeń, dotyczących analizy stanu wyężenia konstrukcji płyty porowej mózdzierza M-98 w wybranych konfiguracjach kąta podniesienia lufy dla trzech rodzajów podłoża.

Uważam, że zakres analiz teoretycznych i badań eksperymentalnych wykonanych przez Autora, jest znaczny i wystarczający dla uzasadnienia postawionego celu 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:

- Doktorant w wielu miejscach pracy posługuje się pojęciem „ostrzał” w odniesieniu do mózdzierza lub amunicji. Słowo to jest nieco mylące w kontekście przedmiotowej rozprawy, gdyż oryginalnie odnosi się ono do zakresu balistyki końcowej, czyli oddziaływania pocisków na cel (np. skuteczny ostrzał zgrupowania wojsk przeciwnika, lub ostrzał miasta). Bardziej odpowiednim pojęciem byłoby badania lub badanie strzelaniem;
- na stronie 20 pod tabelą 1.1 autor sformułował tezę, że odrzut broni jest zjawiskiem niepożądanym. Nie zawsze, bo np. w broni automatycznej czy artyleryjskiej jego energia używana jest np. do automatyzacji procesu przeładowania broni;
- na stronie 47 w tabeli 3.6 autor podał wyniki pomiarów własności mechanicznych próbek pobranych z pyty oporowej mózdzierza wykonanej ze stali 30HGSA. Brak jest tutaj informacji dla jakiej ilości próbek obliczono rozrzut wartości podanych w tej tabeli. Warto też w tym miejscu zadać pytanie czy odpowiednim uzupełniającym badaniem byłby np. test Hopkinsona lub Taylora pozwalający uzyskać dane wytrzymałościowe w warunkach dynamicznych dla dużych szybkości odkształceń, bardziej zbliżonych do rzeczywistych warunków strzału.
- na stronie 56 autor stwierdził, że wykonanie modelu 3D płyty oporowej wykonano po zakończeniu badań poligonowych. Wobec uzyskano numeryczny obraz płyty oporowej po strzelaniach, kiedy mogła ona ulec pewnym mikroodkształceniom trwałym.
- Rysunki 4.6, 4.8, 5.13 przedstawiają schematy a nie metodyki jak sugerują podpisy pod tymi rysunkami.

- Na stronie 65 autor stwierdził, że „Poczyniony zabieg polegał na usunięciu najbardziej skrajnych punktów pomiarowych należących do otrzymanego wykresu prędkości w czasie” – jaką metodę zastosowano podczas eliminacji tych punktów?
- Na stronie 86 autor stwierdził „Wartości zmierzonej temperatury płyty oporowej podczas całości badań nie przekraczały 1°”. Jak to się ma do wskazanej na poprzedniej stronie temperatury powietrza podczas badań +16°C?
- Na stronie 159 autor zamieścił deformacje numerycznych modeli płyt oporowych (Rys. 8.12). Zawierają one obrazy deformacji „Total” czyli najprawdopodobniej zredukowanych nie przedstawiając deformacji w głównym kierunku(ach) przemieszczenia się materiału płyty, które lepiej zobrazowałyby stan deformacji płyty podczas strzelania.
- Na stronie 160 autor w tytule pkt. 8.3 użył słowa ekspertyza. Moim zdaniem bardziej odpowiednim byłoby słowo ocena.

W/w uwagi nie mają istotnego wpływu na ocenę dysertacji, wskazując tylko drobne błędy lub rozbieżności w opisie.

4. Podsumowanie

Recenzowana dysertacja stanowi oryginalne dzieło naukowe, którego wyniki można wykorzystać w pracach naukowo-badawczych związanych z badaniami i projektowaniem zasadniczych elementów moździerzy.

Uzyskanie wyniku pracy wykonanej przez Pana mgr.inż. Piotra Bieńka w sposób oczywisty potwierdzają założoną tezę i 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 broni, jej procesów projektowania 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 modelowania numerycznego, techniki pomiarowej oraz badań broni artyleryjskiej.

Uwzględniając podstawowe elementy recenzowanej rozprawy doktorskiej takiej jak:

- oryginalne wyniki badań eksperymentalnych;

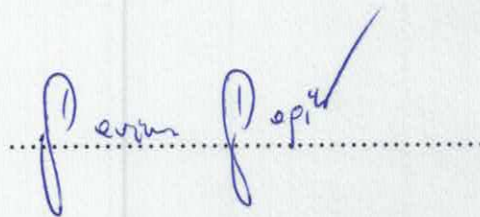
- interdyscyplinarność przedmiotowego problemu;
- zastosowanie opracowanej metodyki, wyników badań i analiz numerycznych w rozwoju technik projektowych i badawczych mózdzierzy;

oceniam rozprawę doktorską Pana mgr. inż. Piotra Bieńka pozytywnie.

5. Ocena końcowa rozprawy

Rozprawę doktorską Pana mgr. inż. Piotra Bieńka oceniam wysoko, ze względu na oryginalność własnego osiągnięcia naukowego. Praca charakteryzuje się wysokimi walorami poznawczymi i użytkowymi (możliwość wdrożenia jej wyników w projektowaniu mózdzierzy) oraz świadczy o bardzo dobrym przygotowaniu merytorycznym Autora, który wykazał się obszerną wiedzą ogólną z mechaniki, modelowania numerycznego, techniki pomiarowej oraz wiedzą szczegółową dotyczącą metod badań broni, a także dowiódł swojej dojrzałości naukowej podczas formułowania zagadnień, realizacji rozwiązań i redagowania odpowiednich wniosków. Świadczy to o bardzo dobrym przygotowaniu Pana mgr. inż. Piotra Bieńka do prowadzenia twórczych prac naukowo-badawczych.

Podsumowując stwierdzam, że opiniowana praca doktorska Pana mgr. inż. Piotra Bieńka pod tytułem „Analiza naprężeń i odkształceń w procesie modelowania płyty oporowej mózdzierza” 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 Politechniki Rzeszowskiej o dopuszczenie Pana mgr inż Piotra Bieńka 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.

.....