

Kielce, dnia 05.04.2024 r.

prof. dr hab. inż. Zbigniew Koruba
Politechnika Świętokrzyska
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Katedra Mechatroniki i Uzbrojenia

Recenzja

rozprawy doktorskiej **mgra inż. Damiana SZUPIEŃKI**
pt „**Teoretyczne i doświadczalne badania automatycznej broni palnej**
działającej na zasadzie odrzutu lufy”

Podstawa wykonania recenzji: pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Wojskowej Akademii Technicznej prof. dr hab. inż. Jerzego Małachowskiego z dnia 22 lutego 2024 roku z prośbą o opracowanie recenzji zgodnie z uchwałą nr 09/RDN IM/2024 Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Wojskowej Akademii Technicznej z dnia 22 lutego 2024 r.

1. Sylwetka Doktoranta

Mgr inż. Damian SZUPIEŃKO urodził się 05.12.1995 roku w Gołdapi. W latach 2011-2014 uczęszczał do liceum ogólnokształcącego im Jana Kochanowskiego w Olecku, w klasie o profilu matematyczno-informatyczno-fizycznym z rozszerzonym językiem angielskim.

Po ukończeniu liceum rozpoczął studia zarówno I, jak i II stopnia na Wydziale Mechatroniki, Uzbrojenia i lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej na kierunku „mechatronika”, specjalności „techniki komputerowe w mechatronice”. Dodatkowo podjął studia indywidualne z zakresu projektowania broni palnej, które realizował pod opieką naukową płk. dr. inż. Mirosława Zahora. Studia obydwu stopni ukończył z wynikiem bardzo dobrym, uzyskując ostatecznie tytuł zawodowy magistra inżyniera.

Podczas studiów był aktywnym członkiem Koła Naukowego Studentów Techniki Uzbrojenia, a wyniki swoich prac prezentował na seminariach wydziałowych i Konferencji Młodych Naukowców WIWAT 2017 zajmując II miejsce w kategorii studentów (za pracę pt. *Projekt koncepcyjny karabinu przeciwprętowego kalibru 12,7 mm*). :

Po zakończeniu studiów w 2019 r. podjął pracę w Zakładzie Broni i Amunicji Instytutu Techniki Uzbrojenia WML WAT na stanowisku inżyniera oraz rozpoczął kształcenie w Szkole Doktorskiej WAT w dyscyplinie naukowej „Inżynieria mechaniczna”. Częściowe wyniki

swoich badań w ramach wykonywania rozprawy doktorskiej pt. *Teoretyczne i doświadczalne badania automatycznej broni palnej działającej na zasadzie odrzutu lufy*, prezentował na VII Konferencji Młodych Naukowców WIWAT 2019 oraz 2-ch Międzynarodowych Konferencjach Uzbrojeniowych UZBROJENIE 2020 i 2022.

Brał również udział z referatami w Konferencji Defense Technology Forum 2021 w Shumen w Bułgarii (z pracą pt. *Comparative Analysis of Different Methods of Calculating Pressure Inside the Barrel in Post-Muzzle Period of a Shot*) oraz 33 Międzynarodowym Sympozjum Balistycznym w Brugii w Belgii w 2023 r. (z pracami pt. *Theoretical and Experimental Investigations of Weapons Operating on the Principle of Recoiling Barrel* oraz *Analysis of 0D Interior Ballistics Model with Experimental Form Function Applied*).

Należy podkreślić, że Doktorant jest współautorem 10 artykułów, w tym 6-ciu opublikowanych w czasopismach krajowych i zagranicznych z listy MEiN. Ponadto brał udział w realizacji 9 prac naukowo badawczych, w tym w 3-ch Uczelnianych Grantach Badawczych, w których był jednym z wiodących wykonawców. Był także współautorem ekspertyzy z dziedziny uzbrojenia. Ukończył ponadto szereg szkoleń specjalistycznych.

Doktorant przeprowadził ponad 400 godzin zajęć dydaktycznych na kierunkach „mechatronika”, „lotnictwo i kosmonautyka”, „inżynieria bezpieczeństwa” i „logistyka wojskowa” z przedmiotów: *Podstawy konstrukcji maszyn*, *Podstawy konstrukcji maszyn I*, *Podstawy konstrukcji maszyn II*, *Badania sprzętu wojskowego*, *Balistyka końcowa*, *Budowa i eksploatacja sprzętu wojskowego*, *Numeryczne metody obliczeniowe*, *Projektowanie systemów uzbrojenia I*, *Komputerowe systemy projektowe*. Był sekretarzem komisji na obronach prac dyplomowych 25 studentów stacjonarnych na kierunku „mechatronika”.

2. Krótka charakterystyka i rozważania dotyczące rozprawy

Rozprawa doktorska pt. *„Teoretyczne i doświadczalne badania automatycznej broni palnej działającej na zasadzie odrzutu lufy”* została napisana na 139 stronach wraz ze spisem 81 pozycji literatury, z czego 6 są współautorskimi pracami Doktoranta, uporządkowanych w kolejności odwołań; *Spisu treści*; *Wykazu oznaczeń i skrótów* (akronimów, symboli i notacji); *Wstępu*; 8 *Rozdziałów*, *Podsumowania*; *Literatury* i *Załącznika*. Brak jest streszczeń, wykazu rysunków i tabel.

Doktorant dokonał analizy stanu techniki w dziedzinie automatycznej broni palnej działającej na zasadzie odrzutu lufy, zarówno w obszarze modelowania działania takiej broni, jak i w obszarze rozwiązań konstrukcyjnych zastosowanych we współczesnej broni palnej z odrzutem lufy. Na podstawie ww. analizy sformułował dwa istotne wywody, mianowicie:

- a) główne badania koncentrują się na temacie broni działającej na zasadzie krótkiego odrzutu lufy wyposażonej w przyspieszacz odrzutu zamka, ale badania teoretyczne bazują z reguły na obliczeniach numerycznych przeprowadzonych z wykorzystaniem MUW lub MES. Odczuwalny jest brak modeli matematycznych działania broni z odrzutem lufy, przez co nie ma zwalidowanego doświadczalnie matematycznego opisu pracy układu automatyki z przyspieszaczem odrzutu zamka, będącego jednym z głównych mechanizmów wchodzących w skład układów automatyki broni. W pracach dotyczących broni działającej na zasadzie odrzutu lufy zwykle nie jest uwzględniany także model balistyki wewnętrznej analizowanych układów, a jako wymuszenie wykorzystywane jest ciśnienie określone eksperymentalnie poprzez badania balistyczne amunicji;
- b) najbardziej perspektywiczny jest układ automatyki broni z krótkim odrzutem lufy z przyspieszaczem o zmiennym przełożeniu (dźwigniowo-krzywkowym), podobnym do występującego w 12,7 mm WKM M2HB. Dlatego układ automatyki tej broni Doktorant wytypował, jako bazę swoich badań.

Doktorant zaprezentował model matematyczny pracy automatyki broni działającej na zasadzie krótkiego odrzutu lufy z przyspieszaczem dźwigniowo-krzywkowym, który opisuje model fizyczny zbudowany na bazie 12,7 mm wielkokalibrowego karabinu maszynowego M2HB, będącego konstrukcją wzorcową do dalszych analiz. Należy podkreślić, że model matematyczny uwzględnia działanie podstawowych mechanizmów układu automatyki tej broni, siły tarcia oraz siły oporu mechanizmu napinacza iglicy. Wykonane z użyciem tego modelu obliczenia pozwalają na wyznaczenie zależności prędkości ruchu elementów zespołu odrzucanego v od czasu t w trakcie cyklu pracy układu automatyki broni. Zawarł także termodynamiczny model balistyki wewnętrznej zgodny z porozumieniem STANAG 4367, służący do wyznaczenia podstawowych danych wejściowych do modelu matematycznego. W stosunku do STANAG 4367 wprowadzono kilka istotnych modyfikacji modelu. Najważniejszą z nich jest wykorzystanie fizycznego prawa spalania, z eksperymentalną funkcją kształtu. Odmienne od STANAG opisał także współpracę pocisku z lufą w trakcie rozcalania naboju i w trakcie ruchu w lufie oraz wymianę ciepła między mieszaniną gazowo-prochową a ścianką wewnętrzną lufy.

Przedstawił wyniki badań eksperymentalnych materiału miotającego, niezbędne do rozwiązania Problemu Głównego Balistyki Wewnętrznej badanego układu. W badaniach tych wykorzystał dwie partie amunicji wielkokalibrowej 12,7x99 mm z pociskiem M33 różniące

się rokiem produkcji, tj. z roku 2009 i 2021. Ponadto, wykonał dla obu partii amunicji pomiar siły potrzebnej do rozcalenia naboju oraz wyznaczył masy prochów i pocisków. Wyniki badań prochu, wykonanych w komorze manometrycznej i przeanalizowane z wykorzystaniem opracowanych metod w Instytucie Techniki Uzbrojenia WML WAT, pozwoliły na wyznaczenie parametrów takich, jak siła prochu f i kowolumen η , niezbędnych do rozwiązania Problemu Głównego Balistyki Wewnętrznej. Uzyskane wyniki i wykorzystane metody analizy wyników umożliwiły także na porównanie prochów pochodzących z różnych partii produkcyjnych pod kątem żywości dynamicznej i prędkości spalania. Zidentyfikowane różnice charakterystyk prochów pozwoliły wyjaśnić zaobserwowane różnice w przebiegu procesu strzału.

Przeprowadził badania ciśnienia generowanego przez spłonki amunicji 12,7x99 mm pod kątem określenia ciśnienia zapłonu, przyjmowanego w obliczeniach balistycznych. Badania wykonał za pomocą kamery do zdjęć szybkich oraz mikrokomory manometrycznej, która została zaprojektowana i wykonana specjalnie na potrzeby ocenianej pracy doktorskiej. Wyniki tych badań pozwoliły mu na szacunkowe wyznaczenie wartości ciśnienia zapłonu. Zjawiska zarejestrowane w trakcie wypływu z kanału ogniowego gazów powstałych w wyniku spalania materiału inicjującego spłonki okazały się zgodne z obserwacjami opisanymi w źródłach dotyczących badań spłonek amunicji strzeleckiej.

Scharakteryzował badania doświadczalne amunicji wykonane z wykorzystaniem stanowiska do badań balistycznych z lufami w standardzie CIP oraz EPVAT. Wykazał, że obie partie amunicji pomimo różnic w naważkach prochowych C , masach pocisku m_p i osiąganych maksymalnych wartościach ciśnienia gazów prochowych p cechowały się podobnymi wartościami prędkości pocisku v .

Wyznaczone przez Doktoranta na podstawie wyników badań doświadczalnych przebiegi prędkości ruchu elementów zespołu odrzucanego w czasie, wykazały, że model fizyczny działania układu automatyki z krótkim odrzutem lufy z przyspieszaczem został sformułowany poprawnie pod kątem wydzielenia poszczególnych okresów charakterystycznych w cyklu pracy układu. Ponadto, wyznaczone przebiegi prędkości ruchu pozwoliły mu stwierdzić, że badany układ pracuje powtarzalnie, oraz, że różnice między poszczególnymi partiami wykorzystanej amunicji zauważone na etapie badań pirostatycznych i badań balistycznych są widoczne także w przypadku badań układu automatyki – skutkują uzyskiwaniem różnych maksymalnych prędkości ruchu poszczególnych elementów, co z kolei skutkuje różnicami w czasie trwania pełnego cyklu wystrzału.

Doktorant dokonał walidacji modelu matematycznego z wykorzystaniem wyników badań doświadczalnych pracy układu. W pierwszym kroku przeprowadził walidację modelu

balistyki wewnętrznej. W tym celu oprócz danych prochu wyznaczonych w ramach badań pirostatycznych wykorzystał funkcję kształtu prochu wyznaczoną metodą identyfikacji eksperymentalnej funkcji kształtu. Wyznaczona w ten sposób funkcja pozwoliła mu na bardzo dobre odwzorowanie eksperymentalnych wartości prędkości wylotowej pocisku, przebiegów ciśnienia w przestrzeni zapociskowej oraz chwili wylotu pocisku z lufy. W następnym kroku przeprowadził obliczenia z wykorzystaniem modelu matematycznego zaimplementowanego do autorskiego programu obliczeniowego. Wyznaczone w ten sposób krzywe prędkości ruchu elementów broni w czasie porównał z przebiegami prędkości uzyskanymi na drodze eksperymentu. W wyniku obliczeń uzyskał krzywe zgodne jakościowo z eksperymentem, a uzyskanie zgodności ilościowej wymagało uwzględnienia w modelu współczynników tarcia między poszczególnymi elementami układu, w szczególności w mechanizmie przyspieszacza. Ostatecznie, w celu zweryfikowania poprawności działania opracowanego modelu matematycznego, wykonał symulację pracy układu z wykorzystaniem MUW. Przeprowadzone symulacje skutkowały uzyskaniem wyników zgodnych ilościowo i jakościowo z obliczeniami i eksperymentem.

Należy uznać, że zwalidowany model matematyczny działania automatycznej broni palnej działającej na zasadzie odrzutu lufy z przyspieszaczem ma charakter użyteczny i może być wykorzystywany w procesie projektowania i konstruowania nowych wzorów broni palnej działających na tej zasadzie, takich jak wielkokalibrowe karabiny maszynowe i wyborowe, czy też granatniki i armaty automatyczne.

Ostatecznie stwierdzam, że układ i struktura rozprawy są poprawne, a źródła literaturowe są dobrane właściwie i w wystarczającej liczbie. Dokonany jest przegląd literatury, przedstawione są cel i obiekt badań. Naświetlone zostało także uzasadnienie wyboru tematu i określenie jego szerokiej problematyki, obejmującego przeprowadzenie wielu badań i analiz. Należy podkreślić, że został opracowany zwalidowany model matematyczny działania automatycznej broni palnej działającej na zasadzie odrzutu lufy z przyspieszaczem. Przytoczone w przejrzysty sposób wyniki badań występują zarówno w wersji graficznej, jak i tabelarycznej. Na zakończenie rozprawy Doktorant dokonuje podsumowania i wyciąga trafne wnioski końcowe.

Wybór tematu rozprawy uważam za trafnie dobrany zarówno z teoretyczno-poznawczego, jak i przede wszystkim użytecznego punktu widzenia, jest ponadto aktualny i perspektywiczny.



Warto zaznaczyć, że zarówno opracowane metody jak i uzyskane wyniki cechują się oryginalnością. Ponadto, opiniowaną rozprawę doktorską można umieścić w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

3. Uwagi ogólne i szczegółowe dotyczące rozprawy

Uwagi natury ogólnej do rozprawy są następujące:

1. Pewnym mankamentem rozprawy jest, co prawda wystarczający przegląd literatury, ale ograniczający się w dużej mierze do publikacji pracowników Wojskowej Akademii Technicznej (np. Kijeswki J., Leśnik G., Pac M., Szmit Ł., Torecki S., Woźniak R., Zahor M. itd.). Natomiast w pracy odczuwa się znikomą liczbę odniesień do literatury zagranicznej poruszającej zagadnienia badań broni palnej działającej na zasadzie odrzutu lufy.
2. Wydaje się być właściwszym uprzednie dokonanie przeglądu literatury, po czym powinno nastąpić uzasadnienie wyboru tematu rozprawy oraz zostać przedstawione cel, (ewentualnie teza) i obiekt badań. Nie ma porównania wyników własnych badań z tymi, które już zostały otrzymane w tym zakresie, przez autorów zagranicznych. Wyniki, które są porównywane, głównie dotyczą autorów z którymi Doktorant współpracuje.
3. W tytule rozprawy wydaje się brakować słowa „symulacyjne”, bowiem Doktorant przeprowadzał badania symulacyjne w Matlabie, które miały duże znaczenie.
4. W rozprawie brak jest streszczenia rozprawy zarówno w języku polskim, jak i angielskim – ułatwiają one szybkie zapoznanie się i zainteresowanie szerokiego grona doktorantów oraz pracowników naukowych.
5. Ostatni rozdział *Podsumowanie* powinien być nazwany *Podsumowanie i wnioski końcowe*.
6. Streszczenia poszczególnych rozdziałów powinny znaleźć się we wstępnej części rozprawy, aby Czytelnik mógł szybciej zorientować się co zawiera dysertacja.

Dodatkowo, mam następujące 4 pytania natury ogólnej do rozprawy mgra inż. Damiana Szupieńki:

1. Czy Autor w swoim modelu matematycznym uwzględnił siły tarcia występujące w ruchu zespołu napędzanego broni (zespołu suwadła) i pocisku w lufie w zależności od wartości temperatury zewnętrznej?



2. Czy w modelu zbadany został wpływ nieliniowości charakterystyk sprężyn powrotnych?
3. Czy określone zostały warunki bezpieczeństwa (ograniczenia techniczne) dla parametrów poszczególnych mechanizmów broni?
4. Czy zbadane zostały warunki stabilności dynamiki broni, jeśli tak, to za pomocą jakiej metody?

Uwagi szczegółowe (usterki redakcyjne, nazewnictwo i stylistyczne):

- ✓ We wstępie oraz w Rozdziale I jednorazowo nastąpiło odwołanie do 38% wszystkich pozycji spisu literatury rozprawy (str. 11¹³, 15⁸) – czyż nie jest to zbyt formalne i ogólnikowe podejście do opisywanego zagadnienia, a przede wszystkim przytłoczenie Czytelnika?
- ✓ Na kilku wykresach opisy osi podawane są jako bezwymiarowe wielkości, a powinny być podane konkretne jednostki, np. na rys. 47–49 – $f_i[-]$ i $z[-]$?, rys. 58 $ip[-]$?
- ✓ Niewłaściwe użycie słów: „posiadać” – zamiast – „mieć” (str. 17₁₄, str. 34₁₅, str. 34₁₅, str. 105¹³, str. 125₁₅); „określić” – zamiast – „wyznaczyć” (np. str. 3¹⁷, str. 13¹⁰, str. 18¹⁴, str. 54¹, str. 68₁, str. 68₃, itd.); „moment” – zamiast – „chwila” (str. 80₅).
- ✓ Drobne potknięcia językowe: zamiast „to samo oznaczenie” – jest – „te same oznaczenie” (str. 61₉); „w stosunku do maksymalnej” – jest – „w stosunku to maksymalnej” (str. 109₅).

Wszystkie powyższe usterki odnotowane są bezpośrednio na stronach recenzowanego egzemplarza rozprawy. Zaznaczam jednak, że powyższe uwagi mają charakter dyskusyjny lub redakcyjny i w żadnej mierze nie wpływają na jakość ocenianej rozprawy.

4. Podsumowanie

Uważam, że cel naukowy dysertacji Doktorant osiągnął, bowiem opracował i zwalidował model matematyczny pracy automatyki broni działającej na zasadzie krótkiego odrzutu lufy z przyspieszaczem krzywkowo-dźwigniowym.

Za największe osiągnięcia otrzymane w rozprawie można zaliczyć następujące:

1. Potwierdzenie poprzez końcowe wyniki modelowania poprawność przyjętej w pracy doktorskiej metodyki budowy adekwatnego matematycznego modelu działania automatycznej broni palnej z odrzutem lufy.



2. Odwzorowanie uzyskanych eksperymentalnie przebiegów ciśnienia gazów prochowych w przestrzeni zapociskowej z dokładnością wystarczającą dla modelowania ruchu elementów układu automatyki broni.
3. Opracowanie modelu matematycznego działania automatycznej broni palnej działającej na zasadzie krótkiego odrzutu lufy z przyspieszaczem w połączeniu z przyjętym modelem balistyki wewnętrznej i metodą identyfikacji funkcji kształtu pozwalająca na bardzo dobre odwzorowanie jakościowe eksperymentalnych przebiegów prędkości ruchu elementów badanego układu automatyki.
4. Wykazanie, że układy automatyki broni palnej działającej na zasadzie odrzutu lufy są wrażliwe na różnice w wartościach impulsu ciśnienia generowanego w trakcie procesu strzału, co zauważono przy wykorzystaniu w badaniach doświadczalnych dwóch partii amunicji.

Podsumowując rozprawę mogę stwierdzić, że jej temat jest aktualny i rozwojowy, a postawiony cel został osiągnięty. Zagadnienie naukowe, którego rozwiązania podjął się Doktorant zostało zbadane dosyć wnikliwie i wszechstronnie. Analizy wyników teoretycznych, symulacyjnych i eksperymentalnych zostały przeprowadzone należycie i nie budzą zastrzeżeń, a ich interpretacja i sformułowane wnioski są prawidłowe.

Chciałbym ponadto podkreślić następujące aspekty rozprawy:

- ✓ Zagadnienie naukowe zostało jasno sformułowane i rozwiązane, a cel naukowy został osiągnięty.
- ✓ Rozprawa ma charakter zarówno projektowo-symulacyjny, jak i teoretyczno-doświadczalny.
- ✓ Rozprawę można jednoznacznie zaliczyć do dyscypliny „*inżynieria mechaniczna*”.
- ✓ Doktorant wykazał się wysokim poziomem wiedzy we wspomnianej dyscyplinie oraz wykazał umiejętność i cechy do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.
- ✓ Doktorant, poza drobną uwagą podaną w roz. 3, właściwie przeprowadził analizę piśmiennictwa i stan wiedzy zagadnienia naukowego.



5. Ocena końcowa rozprawy

Rozprawę doktorską mgr. inż. Damiana Szupieńki oceniam **bardzo wysoko**, gdyż przedstawia oryginalne własne osiągnięcie naukowe. Ma ona poważne walory poznawcze i użyteczne. Praca świadczy o bardzo dobrym przygotowaniu merytorycznym Autora. Doktorant bowiem wykazał się nie tylko obszerną wiedzą z mechaniki, modelowania, identyfikacji i termodynamiki oraz metod eksperymentalnych, ale również dużą dojrzałość naukową w formułowaniu zagadnień, realizacji rozwiązań i wyciągania właściwych wniosków. Stanowi to podstawę do stwierdzenia, że mgr inż. Damian Szupieńko ma bardzo dobre przygotowanie teoretyczne i warsztatowe do twórczej pracy naukowej.

W podsumowaniu stwierdzam, że niniejsza rozprawa **spełnia wszystkie wymagania** stawiane pracom doktorskim przez aktualnie obowiązującą Ustawę o tytule i stopniach naukowych. Wysoki poziom naukowy, redaktorski i stylistyczny rozprawy sprawia, że zasługuje ona na dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Biorąc pod uwagę wszystkie powyższe aspekty recenzowanej rozprawy oraz fakt, że mgr inż. Damian Szupieńko opracował zwalidowany model matematyczny działania automatycznej broni palnej działającej na zasadzie odrzutu lufy z przyspieszaczem, wnoszę aby Rada Naukowa Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Wojskowej Akademii Technicznej rozważyła możliwość **wyróżnienia** niniejszej dysertacji.



