

prof. dr hab. inż. Krzysztof Jamroziak
Katedra Mechaniki, Inżynierii Materiałowej
i Biomedycznej
Politechnika Wroclawska,
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

Wrocław 05.02.2026 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej kpt. mgr. inż. Mateusza MORAWSKIEGO

pod tytułem

Opracowanie i walidacja modelu działania układu automatyki broni z odrzutem zamka półswobodnego opóźnianego gazodynamicznie

Opis identyfikacyjny: praca papierowa w miękkiej oprawie, stron 184 i 141 pozycji literatury.

Promotor rozprawy doktorskiej: dr hab. inż. Ryszard Woźniak, prof. WAT.

Promotor pomocniczy: płk dr inż. Mirosław Zahor.

Zleceńodawca: Przewodniczący Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Mechaniczna” dr hab. inż. Stanisław Kachel, prof. WAT z Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie z dnia 25 listopada 2025 r.

INFORMACJE WSTĘPNE

Rozprawa zawiera spis treści, wstęp i podsumowanie oraz 7 numerowanych rozdziałów z podrozdziałami, bibliografię, wykaz oznaczeń zastosowanych w rozprawie i skrótów. Do rozprawy dołączono w osobnym pliku pdf streszczenie w j. polskim na 2. stronach oraz streszczenie w j. angielskim na 1. stronie. Przedstawione do oceny opracowanie naukowe stanowi pracę pisemną w j. polskim (zgodnie z art. 187.3. Ustawy). W ocenie recenzenta, ubiegający się o nadanie stopnia doktora przedstawił zgodnie z art. 186 ust. 1. pkt. 3 lit. a Ustawy co najmniej jeden artykuł naukowy oraz pracę pisemną, w której zaprezentował oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego opracowania i walidacji modelu działania układu automatyki broni z odrzutem zamka półswobodnego opóźnianego gazodynamicznie.

Należy podkreślić, że podstawą do opracowania niniejszej rozprawy doktorskiej była praca zbiorowa autorów: Dawida Goździka i Mateusza Morawskiego nt. „Badania teoretyczne i doświadczalne broni działającej na zasadzie odrzutu zamka”, wykonanej w Szkole Doktorskiej Wojskowej Akademii Technicznej (WAT). Zgodnie z Ustawą (art. 187, ust. 3) z pracy zbiorowej została wyodrębniona samodzielna praca pisemna, co zostało ujęte w protokole nr 06/2025 z posiedzenia Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Mechaniczna” WAT w dniu 18.06.2025 r.

OCENA WYBORU TEMATYKI I ZAKRESU PRACY

W dysertacji naukowej Doktorant postawił sobie za cel opracowanie modelu matematycznego pracy układu z odrzutem zamka półswobodnego opóźnianego gazodynamicznie oraz zwalidowanie go w oparciu o wyniki badań eksperymentalnych. Na podstawie analizy literatury przedmiotu stwierdził, że istnieje pewna luka i pejoratywny opis modeli matematycznych charakteryzujących zasadę działania automatyki broni palnej, szczególnie rozwiązania konstrukcyjnego z odrzutem zamka półswobodnego opóźnianego gazodynamicznie (OZPOG). Posiłkując się także zapleczem laboratoryjnym jednostki naukowej oraz pewnymi trendami przyszłych konstrukcji nowoprojektowanego uzbrojenia strzeleckiego została u Autora zainicjowana myśl zgłębienia zagadnienia dotyczącego niniejszej tematyki, która jest przedmiotem recenzowanej pracy doktorskiej.

Zagadnienie jest wielowątkowe, gdyż wymaga od Doktoranta doskonałej znajomości aparatu matematycznego i inwencji w zakresie planowania badań eksperymentalnych, które gwarantowałyby uzyskanie ściśle określonego celu naukowego. Jego realizacja była możliwa jedynie na drodze odpowiednio opracowanego modelu fizycznego, który odzwierciedla cztery etapy działania układu z OZPOG. Autor wyodrębnił w nim 6 etapów położenia kinematycznego sił działających na analizowany układ. Następnie na bazie modelu fizycznego wprowadził model matematyczny opisujący równaniami różniczkowymi położenie zespołów automatyki broni. W zakresie rozwiązania głównego problemu balistyki wewnętrznej przyjął określony model matematyczny, w którym założył wiele ograniczeń, co pozwoliło Doktorantowi na wyznaczenie zasadniczych parametrów niezbędnych do opisu matematycznego funkcjonowania automatyki broni. Fundamentalną metodę jaką uwzględnił do identyfikacji współczynników modelu matematycznego było wykorzystanie „planowanie eksperymentu” przy wsparciu symulacji numerycznych opartych na kodach Matlaba.

Doktorant podkreślił wagę weryfikacji modelu w oparciu o specjalistyczne stanowisko laboratoryjne, które było przedmiotem badań innej pracy naukowej, a które

zostało przetestowane z powodzeniem na potrzeby tej pracy.

Założenia i weryfikacja modelu działania układu automatyki broni z odrzutem zamka półswobodnego opóźnianego gazodynamicznie była możliwa jedynie w metodycznym podejściu do układu tekstu rozprawy doktorskiej składającego się z logicznie przyjętych rozdziałów, a mianowicie:

- Rozdział 1.* dotyczy analizy stanu techniki w dziedzinie automatycznej broni palnej działającej na zasadzie odrzutu zamka i jego odmian. Szczególnie podkreślone są zalety i ograniczenia ze względu na sposób realizowanego opóźnienia ruchu zamka z nakierowaniem do dalszych prac rozwojowych.
- Rozdział 2.* odnosi się do modelowania działania automatyki broni palnej z różnymi układami ze względu na zasadę działania. Autor położył nacisk na analizę modeli działania automatyki broni w zakresie działania OZPOG.
- Rozdział 3.* zawiera analizę w dziedzinie metodyki planowania eksperymentu. Zakres tej analizy jest kluczowy, gdyż Autor na jej podstawie implementuje elementy tej metodyki do identyfikacji modelu matematycznego pracy układu z OZPOG.
- Rozdział 4.* związany jest z założeniami do modelu fizycznego, na podstawie których opisany jest przyjęty model fizyczny układu automatyki broni palnej z OZPOG. Następstwem jest zaproponowany model matematyczny opisany przez 41 równań różniczkowych.
- Rozdział 5.* obejmuje badania pracy układu z OZPOG w oparciu o założenia metody planowania eksperymentu wspomagane odpowiednim autorskim oprogramowaniem opracowanym w środowisku Matlaba. Otrzymane wstępne wyniki stanowią obszerną bazę parametrów konstrukcyjnych projektowanego stanowiska laboratoryjnego do walidacji modelu matematycznego niniejszej pracy.
- Rozdział 6.* dotyczy badań empirycznych prochów pistoletowych niezbędnych do określenia charakterystyk energetyczno-balistycznych ładunku miotającego. Na podstawie badań ilościowych Autor dokonuje identyfikacji niezbędnych współczynników równań identyfikacyjnych modelu matematycznego opisującego pracę układu z OZPOG.
- Rozdział 7.* zawiera zasadnicze analizy walidacji modelu matematycznego. Po dokonaniu oceny na podstawie zarejestrowanych charakterystyk działania automatyki broni palnej z OZPOG na stanowisku laboratoryjnym Doktorant dokonuje weryfikacji odpowiedzi modelu matematycznego na zadane parametry. Wykorzystując funkcję kształtu wprowadza odpowiednie korekty i dokonuje ostatecznego

wyskalowania modelu w wyniku, których dąży do uzyskania adekwatności modelu co wieńczy sukcesem.

Podsumowanie. Autor przedstawił w sposób kluczowy rezultaty opracowania naukowego i konkluzje. Zaprezentował kierunki i potrzeby dalszych badań zaznaczając w sposób wyrazisty wagę kluczowych zagadnień, które należy rozważyć celem adaptacji tej konstrukcji do prowadzenia ognia z innych rodzajów amunicji, niż pistoletowa.

Wybór tej tematyki oceniam jako trafny i ważny naukowo, tym bardziej, że została ona wygenerowana przez Autora na potrzeby konstruowania nowoczesnych wzorów uzbrojenia indywidualnego żołnierza. Jej zakres wpisuje się w program Ministerstwa Obrony Narodowej zawartym w dokumencie pt. „Priorytetowe kierunki badań naukowych w resorcie obrony narodowej w latach 2021–2035” w obszar 8 (Technologie materiałowe i wytwarzania) w podrozdział 8.2.2 (Technologia produkcji broni strzeleckiej o dużej intensywności ognia). Jest ona obecnie jak najbardziej zasadna z różnych względów (sytuacja międzynarodowa), ale przede wszystkim stanowi rozwój krajowego zaplecza prowadzonych prac rozwojowych w zakresie wdrażania, trendów w modernizacji, unifikacji i niezawodności wyrobu z przeznaczeniem wojskowym.

UWAGI O ROZPRAWIE, PYTANIA MERYTORYCZNE I ZAGADNIENIA DYSKUSYJNE

Rozprawa jest napisana zrozumiałym językiem nie wykraczająca poza normy edytorskie. Nie dostrzeżono większych usterek, zaś niektóre z nich przedstawiono w dalszej części recenzji. Na szczególne podkreślenie zasługuje obszerna analiza matematyczna przyjętego modelu matematycznego. Cenną stroną rozprawy jest dokumentacja graficzna realizowana w ramach tzw. „Planowania eksperymentu”. Rysunki oraz tabele są wykonane starannie i odzwierciedlają szeroki program badań.

Zdaniem recenzenta, walorem tej rozprawy jest aplikacyjność zaproponowanego modelu matematycznego i pragmatyczne podejście Doktoranta do jego zwalidowania.

Lektura rozprawy doktorskiej nasuwa również szereg pytań i zagadnień o charakterze dyskusyjnym, które zaprezentowane są poniżej.

Uwagi krytyczne, polemiczne i komentarze:

1. Doktorant we wstępie (s. 19) stwierdza, że [...] ma na celu rozwijanie metod numerycznych oraz implementację narzędzi planowania eksperymentu do

procesów projektowania i badań uzbrojenia [...]. Co rozumie pod pojęciem rozwój metod numerycznych? W pracy jest brak ewidentnego odniesienia do takich metod, pojawia się jedynie zdawkowe stwierdzenie o zastosowaniu autorskiego oprogramowania opartego na środowisku Matlab.

2. Na s. 63. Autor użył stwierdzenia: siła od ciśnienia gazów prochowych F_{z0} działająca na dno przewodu lufy. Czy przewód lufy ma dno? Można to rozpatrywać w przypadku jej zaryglowania.
3. Autor na s. 63 siłę F_x oznaczył jako siłę oporu pocisku związaną ze współpracą pocisku z przewodem lufy i rozcalania pocisku z łuską. Rozcalanie pocisku z łuską towarzyszy w okresie pirostatycznym fazy strzału i dalej już nie ma wpływu. Może należało wprowadzić siłę F_{x0} jako siłę rozcalania pocisku z łuską. Co sądzi Autor?
4. Na s. 65. Doktorant równaniem (4.5) opisuje równanie trajektorii pocisku. Jak wiadomo jest to równanie ruchu postępowego. W rzeczywistych warunkach ruch ten jest charakterystyczny dla ruchu śrubowego. Więc jak się ma równanie (4.5) do trajektorii pocisku?
5. Na s. 65. we wzorach (4.6) i 4.7) Doktorant używa sformułowania dno lufy. Chyba chodzi na dno łuski znajdującej się w komorze naboju. Po części rozumiem użycie języka żargonowego.
6. Na s. 73. Autor odnosi się do poprawności działania opracowanego programu symulacyjnego. Jego funkcjonalność sprawdzano na odmiennym modelu matematycznym. Obecny model matematyczny jest rozbudowany o elementy zamka półswobodnego opóźnionego gazodynamicznie. Czy zatem nie należało dokonać oceny wrażliwości oprogramowania na deklarowanym modelu matematycznym?
7. Proszę wyjaśnić na czym miało polegać uszczegółowienie modelu matematycznego w stosunku do parametrów i charakterystyk ładunku prochowego amunicji docelowej, skoro Autor oznajmia *ad verbum* z dokumentem STANAG 4367 (podrozdział 7.2). Tutaj nasuwa się pytanie: Czy model spełnia swoje funkcje? Co w takim przypadku, gdy będzie testowana amunicja z gorszymi parametrami ładunku prochowego?
8. Autor na s. 126. użył sformułowania: *ciśnienie oporów wcinania pocisku (rozcalania naboju i wcinania pocisku w bruzdy przewodu lufy) jest zależne od geometrii pocisku i przewodu lufy*. Proszę doprecyzować na czym polega ta geometria pocisku? Czy na jego przekroju poprzecznym? Czy na powierzchni bocznej? Co ze współczynnikiem tarcia w przypadku rozcalania naboju?
9. W równaniu (7.7) s. 126 parametrem x_{pi} są opisane współrzędne wyznaczone na podstawie geometrii pocisku. Podano geometrię pocisku (Rys. 7.5) nieadekwatną do przedmiotowej analizy modelu matematycznego. Czy w tym przypadku jest bez

- znaczenia, jeżeli analizujemy 9 mm pocisk pistoletowy, a w kalkulacjach wykorzystujemy pocisk od amunicji pośredniej? Proszę o komentarz.
10. Doktorant pod równaniem (7.8) wprowadza parametr definiowany jako wyrażenie określone zależnością (7.9). Proszę doprecyzować znaczenie tego wyrażenia.
 11. W tabeli 7.6 Autor zawarł wartości parametrów materiałowych modelu matematycznego do symulacji numerycznych. Ich wartości oparł na opracowaniu [139]. W tej pracy jest analizowany nieco odmienny układ i inna amunicja. W takim razie na ile te wartości nie powodują zaburzenia w autorskich symulacjach? Przykładem może być np. współczynnik oporu tarcia f_R przyjęty na poziomie 0,0691.
 12. Na rysunku 7.15 zestawiono przebiegi maksymalnej prędkości zespołu odrzucanego w funkcji wartości parametrów wejściowych X_k . Jak można zauważyć modyfikacja nr 3 pogarsza te warunki w stosunku do modyfikacji nr 2. Natomiast na s. 148. Autor pobieżnie dokonuje ogólnej oceny tych modyfikacji koncentrując się jedynie na granicach błędu, które są spełnione dla wszystkich przypadków. Natomiast na rysunku 7.16 jest tylko modyfikacja nr 3, która spełnia założenia Autora. Pozostałe wykraczają znacznie poza granice błędów. W podsumowaniu s. 151 Autor deklaruje modyfikacje nr 1 i 3. Proszę o komentarz.
 13. Rysunek 7.19 jest tutaj zbędny, gdyż jest on już prezentowany wcześniej (s. 127).
 14. Na s. 159. Autor podaje zależność (7.41) na energię kinetyczną ruchu obrotowego. Brak jest wyjaśnienia wiązania prędkości postępowej z prędkością obrotową pocisku. Proszę o zajęcie stanowiska.
 15. W podrozdziale 7.6 Doktorant 20% różnicę szacuje w przewidywaniu wartości prędkości zespołu odrzucanego. Według niego jest to wynik zadawalający czy wymagający dalszych korekt?

Drobne uwagi o charakterze redakcyjnym:

1. Należy pamiętać o stosowaniu jednostek SI (np. Tabela 6.3).
2. Należy pamiętać o notacji matematycznej w przypadku opisu stałych w równaniach matematycznych (liczby zapisywane są zwykłą czcionką, np. p_0).

Pozostałe drobne uwagi redakcyjne zostały zaznaczone w tekście i przekazane Autorowi.

Recenzent podkreśla, że wyżej wymienione uwagi traktowane są jako wskazówki i nie umniejszają charakteru twórczego uzyskanych wyników pracy oraz osiągniętego celu przez Doktoranta. Są one w zgodzie z sentencją *nemo sine vitiiis est*.

PODSUMOWANIE

Twórczy wkład kpt. mgr. inż. Mateusza Morawskiego w zakresie wzbogacenia dyscypliny naukowej dotyczy niezmiernie części związanej z modelowaniem matematycznym i „bogatej” analizy statystycznej wraz z identyfikacją kluczowych współczynników równań identyfikacyjnych opisujących główny problem balistyki wewnętrznej. Dzięki tej analizie pozwoli w przyszłości na skrócenie całkowitego czasu projektowania z uwagi na możliwość badania wpływu zmian parametrów konstrukcyjnych broni na jej działanie, bez potrzeby wykonywania zbędnych modeli badawczych.

Na podstawie tego opracowania można sformułować następujące wnioski i osiągnięcia:

1. Kluczowy dobór tematu i kierunek badań, którego potrzeba została wygenerowana przez czynniki zewnętrzne wpływające na zainteresowania Autora.
2. Opracowanie planu eksperymentu i jego składowych w celu estymacji wyników przyjętego modelu matematycznego opisującego zasadę działania układu automatyki broni z odrzutem zamka półswobodnego opóźnianego gazodynamicznie.
3. Rzeczowa i merytoryczna identyfikacja parametryczna istotnych zespołów broni na określone charakterystyki kinematyczne celem oceny niezaburzonego procesu automatyki broni oraz parametrów modelu balistyki wewnętrznej ze szczególnym uwzględnieniem identyfikacji eksperymentalnej funkcji kształtu prochu.
4. Obszerna analiza wpływu parametrów wejściowych na kluczową wielkość wyjściową w celu identyfikacji i weryfikacji kluczowych parametrów wpływających na końcową postać wynikową odpowiedzi modelu matematycznego.
5. Umiejętne posługiwanie się przez Doktoranta metodami i narzędziami statystyki matematycznej pozwalającej w znacznym stopniu na ograniczeniu czasochłonności i kosztochłonności prowadzenia badań przy zachowaniu pożądanej jakości uzyskanych wyników badań.
6. Kompleksowe podejście Autora do innowacyjnych narzędzi bazujących na kodach oprogramowania Matlab w celu prowadzenia symulacji numerycznych w zagadnieniach identyfikacji równań matematycznych przyjętego modelu matematycznego.

7. Walidacja wyników analitycznych z wynikami uzyskanymi eksperymentalnie celem oceny opracowanego modelu matematycznego działania automatycznej broni palnej z układem OZPOG w ujęciu jakościowym i ilościowym.
8. Analityczne i obiektywne wnioskowanie obszernego materiału badawczego w ujęciu trafnie obranej metodologii badań.
9. Bogaty dobór rysunków i zestawień uzyskanych wyników w postaci odpowiednich wykresów i tabel.
10. Aplikacyjność uzyskanych wyników pracy w odniesieniu do potrzeby opracowania nowych wzorów uzbrojenia z obszaru broni strzeleckiej.

W oparciu o ocenę rozprawy doktorskiej recenzent stwierdza, że Doktorant wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia prac naukowych, doboru metod badawczych, umiejętnością krytycznej analizy i dyskusji uzyskanych wyników, formułowania wniosków oraz doboru piśmiennictwa do tematu badawczego. Spostrzeżenia zawarte w pracy doktorskiej powinny stanowić wskazówki dla kadry inżynierskiej zajmującej się projektowaniem nowych wzorów uzbrojenia w zakresie badań teoretycznych i doświadczalnych broni działającej na zasadzie odrzutu zamka półswobodnego opóźnianego gazodynamicznie.

Zgodnie z zasadami wyróżniania rozpraw doktorskich przez Radę Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Mechaniczna” Wojskowej Akademii Technicznej wnioskuję o jej wyróżnienie. Zasadniczym argumentem są zawarte wyniki badań w rozdziałach 4-7. Uzasadnieniem mojego postulatu jest przede wszystkim istotny wkład Doktoranta w opracowanie matematycznego modelu działania układu automatyki broni z odrzutem zamka półswobodnego opóźnianego gazodynamicznie i jego weryfikacja na stanowisku badawczym będącym rozwiązaniem technologicznym chronionym patentem PL 247883 z dnia 20.06.2025 r.

Przy realizacji założonych celów naukowych Doktorant zaprezentował wysokie umiejętności w zakresie wykorzystania statystyki matematycznej. Tego typu metoda przyniosła oczekiwane rezultaty w zakresie szacowania wielkości rozrzutu losowego danych doświadczalnych, analizy istotności wpływu wielkości wejściowych, konstrukcji funkcji aproksymującej funkcję obiektu, oceny adekwatności tej funkcji i oceny istotności jej współczynników.

Podkreślam, że kpt. mgr inż. Mateusz Morawski dowiódł na podstawie badań ilościowych i jakościowych o słuszności przyjętych założeń w dysertacji osiągając założony cel wzorowo a ponadto uzyskane wyniki są cenne w zakresie inżynierii mechanicznej w obszarze konstrukcji wojskowych.

Oceniając sylwetkę Doktoranta podkreślam, że jest on osobą aktywną. Podczas

swych studiów w szkole doktorskiej był współautorem 2. artykułów naukowych i 11. referatów konferencyjnych, z czego 1 artykuł jest rejestrowany w bazie JCR oraz współtwórcą wynalazku nt. „Stanowisko do badań odrzutu zamka” PL247883. Autor dysertacji wykazał się również dużą aktywnością w realizacji prac naukowo-badawczych uczestnicząc w 15. tego typu przedsięwzięciach. Był też beneficjentem 4. Uczelnianych Grantów Badawczych WAT jako jeden z głównych wykonawców co przyczyniło się do przygotowania rękopisu pracy doktorskiej. Za aktywność naukową został wyróżniony dwukrotnie przez Dyrektora Szkoły Doktorskiej WAT oraz nagrodą Dziekana.

WNIOSEK
o dopuszczenie do publicznej obrony

Biorąc powyższe pod uwagę, recenzent stwierdza, że rozprawa doktorska Pana kpt. mgr. inż. Mateusza Morawskiego spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2024 poz. 1571 t.j.) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Mechaniczna” Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

.....