

dr hab. inż. Mariusz Giergiel, prof. AGH
Akademia Górniczo – Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Katedra Robotyki i Mechatroniki
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Kraków, 18.09.2023

R e c e n z j a

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Nyckowskiego

pt. **„Modelowanie i badanie dynamicznych właściwości wyrzutni z niesterowanymi pociskami raketowymi na przykładzie modułu uzbrojenia ZSMU-70”**

dyscyplina naukowa: inżynieria mechaniczna

1. Podstawa opracowania

Podstawą opracowania recenzji była Uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej z dnia 22 czerwca 2023 roku, o czym poinformował Dyrektor Naukowy Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej dr hab. inż. Sławomir Błasiak, prof. PŚk w piśmie MAA-510/96/2023 z dnia 14 lipca 2023. Do pisma dołączono wydrukowany egzemplarz rozprawy mgr inż. Macieja Nyckowskiego pt. „Modelowanie i badanie dynamicznych właściwości wyrzutni z niesterowanymi pociskami raketowymi na przykładzie modułu uzbrojenia ZSMU-70”. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Zbigniew Dziopa, prof. PŚk.

2. Wybór tematu, cel i zakres pracy

Wojny i konflikty stanowią niewątpliwie największe zagrożenie dla człowieka XXI stulecia. Każdego roku w wyniku starć zbrojnych ginie wielu ludzi, w tym głównie niestety ludność

cywilna. Mimo wielu apelów pokojowych z licznych stron, sytuacja na świecie nie ulega poprawie. Nawet przeciwnie, pojawiają się nowe ogniska konfliktów lub też wojny wybuchają ponownie w miejscach dawniejszych starć. Dla zapewnienia bezpieczeństwa państwa i obywateli niezbędne jest posiadanie sprawnych i skutecznych sił zbrojnych, które służą ochronie niepodległości państwa i niepodzielności jego terytorium, zapewniają bezpieczeństwo i nienaruszalność jego granic. Jak pokazują współczesne konflikty wchodząca w skład sił zbrojnych artyleria, a szczególnie artyleria raketowa stanowi istotny czynnik na współczesnym polu walki. Nowoczesna artyleria raketowa została po raz pierwszy zastosowana podczas II wojny światowej i do dziś intensywnie się rozwija. Szczególnie mobilne wyrzutnie pocisków raketowych stały się bronią z jednej strony niezwykle skuteczną, a z drugiej wymagającą dalszego udoskonalania. Obiektem badań podjętych w rozprawie jest Zdalnie Sterowany Moduł Uzbrojenia ZSMU-70. Jak podaje producent – Polski Holding Obronny Tarnów – moduł ten przeznaczony jest do zwalczania (unieruchomienia bądź znacznego uszkodzenia) naziemnych celów punktowych o zróżnicowanych charakterystykach odpornościowych, na przykład lekko opancerzonych pojazdów, obiektów infrastruktury itp. Dotychczasowe badania wykazują jednak niską skuteczność tego modułu uzbrojenia. Rozrzut startujących po sobie pocisków raketowych okazuje się na tyle duży, że zadanie postawione przed zestawem niejednokrotnie nie może być skutecznie zrealizowane. Warunki startu wypracowane na wyrzutni mobilnego zestawu są, w przypadku zastosowanych pocisków raketowych NLPR-70, niezwykle istotne. Pociski tej klasy są niesterowane, więc w trakcie lotu nie mogą zweryfikować swojej trajektorii lotu. Konieczne okazuje się przeprowadzenie analizy, weryfikacji i udoskonaleń konstrukcji. Dlatego uważam, że podjęty problem jest istotny i wysoce aktualny, a podjęcie tej tematyki przez doktoranta jest uzasadnione i na czasie.

W pracy postawiono jako **cel** opracowanie wytycznych zmierzających do takiego kształtowania właściwości dynamicznych wyrzutni, aby moduł uzbrojenia ZSMU-70 skutecznie realizował swoje zadania. Aby ten cel zrealizować należało przeprowadzić analizę danych zarejestrowanych podczas wystrzeliwania niesterowanych pocisków raketowych NLPR-70 oraz sformułować i zweryfikować model fizyczny i matematyczny ruchu modułu uzbrojenia ZSMU-70, który w warunkach przestrzeni wirtualnej zachowa się jak obiekt rzeczywisty. Ten

właśnie aspekt można spostrzegać jako cel naukowy. Nie sformułowano **tezy**, chociaż tezę można by postawić biorąc pod uwagę zasadnicze sformułowanie celu.

Recenzowana praca doktorska jest stosunkowo obszerna i liczy 201 stron. Składa się z dziewięciu ponumerowanych rozdziałów. Zamieszczony na początku pracy spis ważniejszych oznaczeń i skrótów niewątpliwie ułatwia studiowanie rozprawy.

Rozdział pierwszy stanowi wstęp, w którym zaprezentowano zasadnicze zagadnienia stanowiące tło dla późniejszych rozważań oraz bardzo obszerny zarys historyczny modułów uzbrojenia z niesterowanymi pociskami raketowymi, w rozdziale tym przedstawiono także zasadniczy cel pracy. W rozdziale drugim zawarto analizę literatury związanej z podjętą problematyką. Rozdział trzeci przedstawia badania doświadczalne modułu uzbrojenia ZSMU-70. Rozdział czwarty opisuje opracowane modele fizyczne modułu uzbrojenia ZSMU-70, w tym modele o dwóch, czterech i sześciu stopniach swobody. W rozdziale piątym przedstawiono kompleksowy model wyrzutni WW-4 z pociskami raketowymi NLPR-70 oraz zagadnienia pasywnej i aktywnej wibroizolacji wyrzutni, a także kwestię samego lotu pocisku raketowego po opuszczeniu wyrzutni. Rozdział szósty zawiera podsumowanie i ogólne wnioski. W rozdziale siódmym zaprezentowano spis literatury, który liczy 134 pozycje i należy zaznaczyć, że zawiera w dużej mierze pozycje nowe, opublikowane w ostatnich latach. Na liczbę tę składają się 92 wydawnictwa klasyczne oraz 41 odniesień do stron internetowych wraz ze wskazaniem daty dostępu.

Praca napisana jest kompetentnie i rzeczowo, problem jest najpierw sformułowany, następnie poddany dyskusji i wreszcie podsumowany wraz z prezentacją jasno podanych wniosków tam, gdzie to niezbędne. Nie budzi przy tym wątpliwości kolejność prezentacji poszczególnych zagadnień, zarówno tytuł jak i podział na rozdziały dobrane zostały właściwie. Tekst jest poprawny pod względem językowym, materiał ilustracyjny adekwatny, stosowana w pracy terminologia jest prawidłowa. Warto zaznaczyć potencjał aplikacyjny wynikający z uzyskanych efektów rozprawy.

Nowatorstwa i oryginalności pracy można upatrywać w:

- Przeprowadzeniu analizy obrazów zarejestrowanych szybką kamerą cyfrową i wyznaczeniu przebiegów zmienności w czasie parametrów kinematycznych

charakteryzujących ruch wyrzutni w trakcie wystrzeliwania pocisków raketowych NLPR-70.

- Określeniu wpływu procesów i zjawisk wynikających ze startu pocisku raketowego z wyrzutni na poziom powstających w układzie zaburzeń.
- Przeprowadzeniu oceny wpływu gazów emitowanych przez silnik raketowy na poziom ruchu wyrzutni i wartości początkowych kinematycznych parametrów lotu pocisku raketowego.
- Opracowaniu modelu matematycznego lotu pocisku raketowego i jego walidację na podstawie wyznaczonej na poligonie trajektorii pierwszej fazy lotu oraz charakterystyk kinematycznych pomierzonych i opracowanych przez ITWL.
- Sformułowaniu modeli fizycznych i matematycznych ruchu modułu uzbrojenia ZSMU-70 wyposażonego w pociski raketowe NLPR-70 i posadowionego na pojeździe samochodowym oraz identyfikacji parametrów i walidacji opracowanych modeli.
- Przeprowadzeniu analizy dynamiki i wyznaczenie macierzy modalnej rozpatrywanego układu, estymacji rozrzutu wystrzeliwanych pocisków raketowych, zaproponowaniu metody aktywnej wibroizolacji modułu uzbrojenia.
- Zaproponowaniu zmian w parametrach fizycznych posadowienia wyrzutni na pojeździe mających na celu redukcję drgań modułu uzbrojenia ZSMU-70.

3. Poprawność metodyki badań i analiza wyników

W pracy przedstawiono wyniki zarówno badań analitycznych, symulacyjnych jak i eksperymentalnych. Udowodniono słuszność zaproponowanego podejścia oraz co ważne jego praktyczną użyteczność. Zastosowana metodyka badań jest prawidłowa, analiza wyników badań przeprowadzona została w sposób właściwy co świadczy o wysokim zasobie wiedzy, inwencji, pracowitości i rzetelności naukowej autora.

Należy szczególnie podkreślić widoczny duży nakład pracy autora przy wykonywaniu rozprawy i dobre ujęcie problematyki zawierającej badania teoretyczne, symulacyjne oraz badania doświadczalne. Takie kompleksowe rozwiązanie jest niewątpliwie dużym osiągnięciem i zasługuje na uznanie.

4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Uwagi jakie nasuwają się po lekturze pracy są dwojakiego rodzaju. Po pierwsze są to **uwagi ogólne i redakcyjne**:

- Pomimo, że rozprawa jest dość starannie przygotowana to zawiera jednak nieco usterek redakcyjnych i edytorskich, których wymienienie w tym miejscu nie wydaje się celowe, zwłaszcza że na ogół nie utrudniają one lektury i nie umniejszają merytorycznej wartości pracy.
- W wielu miejscach, na przykład na stronach 93, 94, 95, 96, 103, 104, 104, 107 itd. Autor myli pojęcia częstości, której jednostką jest [rad/s] i częstotliwości drgań, której jednostką jest [Hz].

W sensie merytorycznym natomiast pojawiają się raczej **uwagi dyskusyjne** niż krytyczne:

- Przedstawiony w rozdziale pierwszym rys historyczny modułów uzbrojenia z niesterowanymi pociskami raketowymi liczący szesnaście stron, aczkolwiek ciekawy nie wnosi niczego istotnego do rozprawy i mógłby zostać pominięty. Także następujący w dalszej kolejności szczegółowy opis obiektu badań wydaje się nazbyt rozbudowany.
- Prezentowany w rozdziale trzecim opis systemu wizyjnej akwizycji danych jest bez potrzeby bardzo rozbudowany i zawiera nieistotne w kontekście rozprawy informacje o charakterze nawet marketingowym pochodzące wprost z materiałów producenta, nie zawiera natomiast niektórych danych mogących mieć istotne znaczenie dla analizy późniejszych treści. Nie ma tutaj na przykład informacji o zakresie czasów ekspozycji możliwych do wykorzystania przez zastosowaną kamerę.

- Z kolei przedstawiony w rozdziale drugim przegląd literatury jest bardzo lakoniczny, a z drugiej strony zawiera informacje, które można uznać za zbędne, na przykład dotyczące języka programowania wykorzystywanego przy analizie wyników.
- W rozdziale 3.2.7 pada stwierdzenie, że z dwudziestu zarejestrowanych filmów wybrano jeden reprezentatywny. Według jakich kryteriów dokonano wyboru i jak można uzasadnić, że wybrany film jest w istocie reprezentatywny?
- Z czego wynika wybrana dla powyższych filmów ilość klatek na sekundę (fps) i czy wiadomo jaki stosowano czas ekspozycji oraz czy czas ten był jednakowy dla każdej klatki?
- Dlaczego w rozdziale czwartym zdecydowano się właśnie na budowę modeli o dwóch, czterech i sześciu stopniach swobody?
- Czy wobec różnorodnych niepewności mogących wpływać na uzyskane wyniki jest uzasadnione podawanie, na przykład na stronach 120, 121 częstości drgań własnych z dokładnością do szóstego, a nawet siódmego miejsca po przecinku?
- Szkoda, że na zakończenie nie wskazano, jak Autor widzi możliwości prowadzenia dalszych prac.

5. Podsumowanie

Omawiana rozprawa zawiera wartościowe wyniki badań i świadczy ona o tym, że Autor potrafi postawić zagadnienie i rozwiązać je na drodze teoretycznej oraz zweryfikować doświadczalnie, a wyniki badań przeanalizować i wyciągnąć poprawne wnioski. Jego wywody są jasne a wyniki rozprawy mogą być użyteczne zarówno z praktycznego, jak i naukowego, technicznego punktu widzenia.

Opiniowana rozprawa doktorska jest udaną próbą połączenia badań analitycznych oraz symulacyjnych i eksperymentalnych, cel pracy został osiągnięty czego dowodem są wyniki przeprowadzonych badań i wyciągnięte wnioski.

Przedstawione w pracy wyniki doboru technologii, wyniki symulacji numerycznych oraz ich weryfikacja metodami badań eksperymentalnych wykonanych na obiekcie rzeczywistym

dowodzą, że postawione zadanie zostało w pełni zrealizowane. W trakcie realizacji pracy Doktorant wykazał się umiejętnością rozwiązywania problemów naukowych, planowania eksperymentu i jego przeprowadzenia a także, co jest bardzo istotne, zdolnością wnikliwej analizy otrzymanych wyników

Reasumując, Pan mgr inż. Maciej Nyckowski zrealizował sformułowany cel rozprawy. Wykazał się wiedzą i umiejętnością samodzielnego rozwiązywania nowych, trudnych problemów technicznych wnosząc tym samym istotny wkład w rozwój nauki i reprezentowanej dyscypliny inżynieria mechaniczna. Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona do recenzji dysertacja doktorska pt. „Modelowanie i badanie dynamicznych właściwości wyrzutni z niesterowanymi pociskami raketowymi na przykładzie modułu uzbrojenia ZSMU-70” spełnia wymagania ustawowe, określone w ustawie z dnia 3 lipca 2018 r. – Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce, (Dz. U. 30.08.2018 r. poz. 1669 z późn. zm.) oraz wnioskuję o jej przyjęcie, a także dopuszczenie do publicznej obrony.

