

Gliwice, 05.06.2023r

dr hab. inż. Sławomir Kciuk, prof. PŚ.  
Katedra Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej  
Politechnika Śląska

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**  
**mgr. inż. Andrzeja Wiśniewskiego**

pod tytułem:

*„Badanie obciążeń dynamicznych kadłuba kołowego transportera opancerzonego generowanych oddziaływaniem systemów uzbrojenia”*

Podstawa opracowania: Uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie.

## **1. Ocena aktualności podjętej tematyki i założonego celu rozprawy**

Zmiana warunków użycia współczesnego sprzętu wojskowego stawia przed konstruktorami pojazdów wojskowych zupełnie nowe zadania, zarówno w zakresie stosowania nowoczesnych technologii, jak również nowego systemowego podejścia do zagadnień projektowania i wytwarzania, ze znacznym udziałem technik komputerowych. Złożoność układu, którym jest pojazd specjalny, występowanie wielu systemów mechatronicznych, a także wysokie koszty prowadzenia prac badawczo-rozwojowych i wdrożeniowych wymagają użycia najnowocześniejszych metod projektowania mechatronicznego i systemów zarządzania projektami.

Podstawowym kierunkiem prac badawczo-rozwojowych dotyczących współczesnych pojazdów wojskowych jest ograniczenie masy pojazdów przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiego poziomu ochrony załogi i wysokich parametrów eksploatacyjnych. Wymagania te podyktowane są przez charakter współczesnych działań bojowych związanych z udziałem mobilnych oddziałów w misjach stabilizacyjnych, bądź działaniach zbrojnych w różnych częściach świata. Analizując technologie dotyczące rozwoju przyszłych pojazdów opancerzonych eksperci EDA jako priorytetowe kierunki rozwoju wskazują m. in. następujące technologie: napędy hybrydowe, aktywne zawieszenia pojazdów, aktywna ochrona, lekkie pancerze, elektronizacja pojazdu, modułowa budowa pojazdów i integracja systemów o różnej naturze fizycznej.

Minimalizowanie skutków oddziaływań dynamicznych na pojazd jest zagadnieniem wyjątkowo złożonym i trudnym, ponieważ składa się na nie wiele czynników, w tym modyfikacje konstrukcji pojazdu czy innowacyjne materiały pochłaniające energię wybuchu.

Konieczność integracji w pojeździe wielu systemów technicznych powoduje, że obecnie w trakcie procesu konstruowania nie wystarcza już przeprowadzenie obliczeń statycznych i sporządzenie zapisu postaci konstrukcyjnej układu, a następnie weryfikacja dokumentacji na podstawie badań doświadczalnych prototypu. Niezbędne jest zastosowanie metod komputerowego wspomagania projektowania i modelowania wirtualnego, symulacji numerycznych, czy też metod szybkiego prototypowania. Dokumentacja pojazdu powstaje już nie tylko w biurze konstrukcyjnym, lecz także w laboratorium mikroprocesorowym i laboratorium oprogramowania. Coraz ważniejsze stają się wzajemne porozumiewanie konstruktorów mechaników z elektronikami i informatykami.

Ważnym aspektem projektowania mechatronicznego jest wykorzystanie efektu synergii metod badawczych w celu uzyskania optymalnych cech geometrycznych i zapewnienia zadanych parametrów eksploatacyjnych. Przykładem takiego podejścia jest wspomaganie procesu projektowo-konstrukcyjnego wynikami obliczeń numerycznych w zakresie modelowania, analizy wrażliwości i optymalizacji cech dynamicznych układu. Wielu możliwości w tym zakresie dostarcza komercyjne inżynierskie oprogramowanie. Jednak specyfika sposobu obciążania struktury pojazdu (np. penetracja pancerza rdzeniem pocisku, analiza oddziaływania na kadłub fali uderzeniowej od wybuchu miny itp.) powoduje, że klasyczne obliczenia stereomechaniczne w zakresie statyki nie są wystarczające. Obliczenia takie muszą uwzględniać duże odkształcenia, impulsowe obciążenia i procesy szybkozmienne w czasie. Możliwości takie posiada specjalizowane oprogramowanie wykorzystujące MES np. LS-Dyna czy MSC Marc.

Recenzowana dysertacja jest źródłem cennych treści, które mogą z powodzeniem być wykorzystywane zarówno do projektowania i optymalizacji konstrukcji wybranej klasy KTO jak również mogą ubogacić analizy wpływu oddziaływań dynamicznych (często udarowych) na żołnierzy w aspekcie minimalizacji przeciążenia oddziałującego na załogę pojazdów specjalnych.

Biorąc powyższe pod uwagę, wybrany temat pracy doktorskiej uważam za aktualny zarówno pod względem naukowym, utylitarnym jak również pod względem zastosowania wyników badań w praktyce.

Tematyka pracy mieści się w zakresie dyscypliny inżynieria mechaniczna.

## **2. Przegląd treści pracy**

Recenzowana praca została napisana na 152 stronach formatu A4; składa się z 11 rozdziałów oraz bibliografii, w skład której wchodzi 105 pozycji literaturowych.

W rozdziale pierwszym, Autor wprowadza czytelnika w zagadnienia, które będą poruszane w dysertacji, pokrótce charakteryzując obecny model pola walki, wymagania w projektowaniu kołowych transporterów opancerzonych poprzez pryzmat ich zalet oraz ze względu na wybraną klasę transportera.

W drugim rozdziale, Autor dokonał ogólnej analizy stanu zagadnienia obejmującej: charakterystykę współczesnych kołowych transporterów opancerzonych 8x8 i ich tendencje rozwojowe, opis metod numerycznych w badaniach pojazdów specjalnych oraz opis typów badań obciążeń dynamicznych pojazdów generowanych oddziaływaniem uzbrojenia. Na koniec drugiego rozdziału, Autor we wnioskach wskazuje na potrzebę i konieczność prowadzenia prac naukowych w zakresie:

- badań obciążenia konstrukcji kołowego transportera opancerzonego podczas strzelania z różnych systemów uzbrojenia,
- modelowania numerycznego kołowego transportera opancerzonego i walidacji modeli,
- modelowania numerycznego KTO z płytą podwieżową, łożyskiem i wieżą,
- oddziaływania pomiędzy komponentami systemu armata-wieża-kadłub transportera opancerzonego.

W rozdziale trzecim opisano genezę problemu badawczego oraz cel i zakres pracy. Zdefiniowany cel, postawiony problem badawczy oraz zakres pracy są spójne i czytelne.

Ze względu na podejmowaną w dysertacji tematykę, w czwartym rozdziale zawarto opis balistyki wewnętrznej. Opisano oddziaływania układu pocisk-armata-gazy wylotowe - siły, czas działania na konstrukcję nośną pojazdu. Zapisany model matematyczny oddziaływania dynamicznego, o charakterze udarowym, działającego na transporter uwzględnia: masę zespołu odrzutowego, masę pocisku, masę i rodzaj ładunku miotającego, prędkość początkową pocisku, maksymalną prędkość odrzutu, drogę swobodnego odrzutu w końcu pierwszego okresu, czas trwania powylotowego działania gazów prochowych. Strzał podzielono na trzy okresy, które omówiono w kolejnych podrozdziałach.

Rozdział piąty dysertacji zawiera opis obiektu badań, którym jest kołowy transporter opancerzony 8x8 z uzbrojeniem głównym - armatą kalibru 30 [mm] zainstalowaną w obrotowej wieży. Samonośny kadłub transportera spawany jest ze stalowych blach pancernych.

Podział funkcjonalny obiektu badań obejmuje trzy przedziały: przedział kierowcy, przedział dowódcy i kierowania ogniem, przedział desantu. W rozdziale piątym opisano również założenia brzegowo-początkowe, przyjęte modele materiałowe w modelach numerycznym KTO. Przedstawiono koncepcje oraz „wykonanie w metalu” stanowiska badawczego do walidacji modeli numerycznych. Przedstawiono wyniki wstępnych badań doświadczalnych określających potencjalne siły oddziaływania, możliwe do uzyskania na stanowisku badawczym.

Rozdział szósty poświęcony jest opisowi modelowania numerycznego zjawisk dynamicznych w środowisku LS-Dyna.

W rozdziale siódmym, Autor opisał eksperymentalną i teoretyczną analizę modalną górnej płyty kadłuba KTO. W pierwszym podrozdziale znalazły się: plan eksperymentu identyfikacyjnego, schemat toru pomiarowego oraz wyniki badań w postaci częściowych wartości własnych (częstotliwości drgań własnych) oraz wektorów własnych (postaci drgań).

W drugim podrozdziale znalazły się wyniki teoretycznej analizy modalnej obejmujące częstotliwości drgań własnych i odpowiadające im postaci drgań.

Rozdział ósmy poświęcony jest badaniom doświadczalnym i numerycznym obciążeniom udarowym odpowiadającym strzelaniu pojedynczym pociskiem z armaty kalibru 30 [mm] ustawionej na wprost. Pierwszy podrozdział zawiera opis badań eksperymentalnych – badań z użyciem tensometrów: plan eksperymentu identyfikacyjnego, schemat toru pomiarowego oraz wyniki badań w postaci sił przenoszonych przez wspornik płyty podwieżowej oraz odkształcenia konstrukcji. W drugim podrozdziale znalazły się wyniki badań numerycznych.

Rozdział 9. zawiera porównanie metodą MAC wyników z doświadczalnej i teoretycznej analizy modalnej ujęte w postaci barwnych map względnych różnic porównawczych zidentyfikowanych postaci drgań oraz porównanie wyników badań przy obciążeniu udarowym. Przedstawione wyniki cechują się bardzo dużą zgodnością.

Rozdział dziesiąty (najobszerniejszy) zawiera opis badań numerycznych obciążenia kadłuba KTO podczas strzelania. Analizowano sześć przypadków ze względu na: kaliber armaty, kąt elewacji oraz kąt azymutu. Określono warunki brzegowo – początkowe symulacji oraz metodykę badań. Otrzymane wyniki prezentowano w postaci barwnych map naprężeń zredukowanych wg. hipotezy Hubera-Misesa oraz przebiegów przemieszczeń i odkształceń w funkcji czasu wybranych elementów konstrukcji kadłuba KTO.

W ostatnim rozdziale zawarto podsumowanie i wnioski końcowe. Spis literatury uwzględnia szereg aktualnych prac z zakresu omawianej tematyki badawczej, w tym prace o podstawowym znaczeniu dla rozważanego problemu, zawiera również cztery współautorskie publikacje Autora.

### **3. Ocena merytoryczna, wyniki pracy i ich ocena**

Podjęte przez Autora wyzwanie opracowania skutecznej, ilościowo i jakościowo, metody identyfikacji doświadczalnej i numerycznej obciążeń dynamicznych kadłuba KTO generowanych oddziaływaniem systemów uzbrojenia wymaga nowoczesnego podejścia do zagadnienia.

Analizy teoretyczne oraz zaproponowane metodyki identyfikacji doświadczalnej istotnych wielkości oddziaływań dynamicznych na kadłub KTO oraz wyniki badań doświadczalnych i symulacji numerycznych są niewątpliwym znaczącym osiągnięciem naukowym Autora. Tematyka recenzowanej monografii mieści się w nurcie prac o znaczeniu zarówno teoretycznym, jak i praktycznym, dotyczy bowiem istotnych zagadnień z punktu widzenia optymalizacji konstrukcji oraz eksploatacji wybranej klasy kołowych transporterów opancerzonych.

k

Przedstawiona kompozycja pracy jest poprawna. Treść rozdziałów jest spójna a ich kolejność logiczna. Cytowana i omawiana bibliografia przekonuje mnie, iż Autor prawidłowo i z pełnym zrozumieniem porusza się po prezentowanym w rozprawie zagadnieniu. Dobór rysunków i wykresów uważam za właściwy.

Autor wykazał się szeroką wiedzą w poruszanych zagadnieniach naukowych.

Zrealizowane badania doświadczalne oraz opracowane metodyki badawcze wskazują na dojrzałość badawczą, sprawność w organizacji warsztatu badawczego oraz umiejętność syntetycznego opisywania problemu badawczego, analizy i wnioskowania. Warto tu zwrócić uwagę na wielorakość stosowanych narzędzi i metod badawczych, których właściwe używanie wymaga solidnej podbudowy teoretycznej i dużego doświadczenia.

W szczególności, do oryginalnych osiągnięć Autora należy zaliczyć:

- opracowanie modelu numerycznego wieży KTO z armatą, nieliniowego modelu łożyska wieży i modyfikacja modelu płyty podwieżowej,
- opracowanie modelu modalnego w doświadczalnej i teoretycznej analizie modalnej górnej płyty nad przedziałem bojowym i desantowym kadłuba KTO,
- walidacja modeli MES,
- badania numeryczne wpływu obciążeń podczas strzelań z armaty kalibru: 30, 35, 105, 120 [mm] na wytrzymałość kadłuba KTO,
- analiza wyników badań doświadczalnych i wyników symulacji numerycznych.

Przedstawiony w pracy problem badawczy jest interesujący poznawczo i ważny ze względu na zastosowanie praktyczne. Wszystkie wymienione powyżej zagadnienia i związane z nimi elementy pracy stanowią o jej dużej wartości merytorycznej i praktycznej.

Lektura dysertacji nasuwa jednak pewne komentarze i uwagi krytyczne, częściowo dyskusyjne:

1. Niedoskonałością pracy jest brak jednostek miar wielkości opisanych zależnościami matematycznymi.
2. W pracy nie przedstawiono zbyt dokładnie modeli numerycznych KTO, parametrów modeli oraz szczegółowych warunków brzegowo-początkowych w procesie symulacji. Autor wprawdzie wspomina, np. o modelach materiałowych, o nieliniowych charakterystykach sprężysto-tłumiących, o zjawiskach kontaktu, które uwzględnił w opracowanych modelach, lecz mało jest szczegółów. Brak jest też krytycznego odniesienia Autora do wybranych metod opisu powyższych zjawisk.
3. W pracy nie wspomniano o współczynnikach tłumienia modalnego, które jako jeden z elementów „triady analizy modalnej” powinny być wyznaczone, i mogłyby posłużyć do dostrojenia modelu numerycznego.
4. Proszę Autora aby na podstawie wyników swoich badań określił kierunek i zakres dalszych w poruszonym, w dysertacji obszarze.

Podczas lektury dysertacji, zauważono błędy redakcyjne, które zostaną przekazane bezpośrednio Autorowi.

Przedstawione uwagi i komentarze zostaną zapewne wyjaśnione, bądź skomentowane w trakcie publicznej obrony.

Mimo przedstawionych uwag krytycznych, realizację postawionego zadania należy ocenić pozytywnie ze względu na:

- wyniki badań numerycznych i doświadczalnych oraz ich analiza, które mogą być przydatne:
  - jednostkom organizacyjnym Ministerstwa Obrony Narodowej (MON), gestorom sprzętu,
  - firmom zbrojeniowym oferującym wyroby do SZRP ,
  - Wojskowemu Centrum Normalizacji, Jakości i Kodyfikacji,
- wymierne osiągnięcia teoretyczno-aplikacyjne, pozwalające na szereg spostrzeżeń i wyciągnięcie interesujących wniosków na przyszłość,
- przejrzysty sposób prezentacji wyników,
- wykazane przez Autora dobre rozeznanie w numerycznych środowiskach do wspomaganie projektowania, w tym umiejętności praktyczne w organizacji badań doświadczalnych.

#### 4. Ocena końcowa

Treść niniejszej dysertacji wpisuje się w nurt badań naukowych zarówno w zakresie ochrony przeciwminowej załóg wojskowych pojazdów kołowych jak również badań naukowych w zakresie minimalizacji uszkodzeń konstrukcji KTO. Ukierunkowana jest na identyfikację i analizę wpływu oddziaływania dynamicznego (często udarowego) na konstrukcję kadłuba KTO. Unikatową jej częścią są wyniki badań eksperymentalnych na obiekcie rzeczywistym, pozwalające na weryfikację nowych rozwiązań konstrukcyjnych oraz modyfikację już istniejących. Opracowane i przedstawione w dysertacji metodyki badawcze, zarówno badań numerycznych jak i badań doświadczalnych stanowią uzupełnienie obecnie prowadzonych w różnych ośrodkach prac badawczych, a opracowane stanowiska badawcze wraz z aparaturą pomiarową mogą przyczynić się do obniżenia kosztów badań poligonowych.

Oceniając przedstawioną rozprawę doktorską należy podkreślić aktualność jej tematyki z punktu widzenia projektowania wybranej klasy KTO ale również z punktu widzenia ochrony załogi przed skutkami oddziaływań dynamicznych. Recenzowana rozprawa zawiera elementy: identyfikację doświadczalną, teoretyczną i numeryczną wybranych wielkości (siły, częstotliwości drgań własnych, postaci drgań, przemieszczenia, naprężenia) i ocena ich wpływu na konstrukcję kadłuba wybranej klasy KTO, które można uznać za oryginalny wkład Autora w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna.

Uważam, że opiniowaną pracę Pana mgr. inż. Andrzeja Wiśniewskiego cechuje interdyscyplinarne podejście do zagadnień identyfikacji, analizy zjawisk zachodzących podczas oddziaływań dynamicznych wybranej klasy KTO, co stanowi stosowny wkład w zakresie analizy i kształtowania cech konstrukcyjnych, eksploatacyjnych i jakościowych wybranej klasy obiektów technicznych – KTO. Opracowane metodyki- badawcze jak również sposób realizacji

badań opisanych w niniejszej dysertacji i analiza wyników badań świadczą o odpowiednim przygotowaniu Doktoranta do prowadzenia samodzielnej działalności naukowo-badawczej.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest wartościowym pod względem merytorycznym opracowaniem naukowym wykazującym znaczący wkład Autora w rozwiązanie rozważanych w niej zagadnień. Wymienione w niniejszej recenzji uwagi oraz zauważone usterki nie zmieniają mojej bardzo pozytywnej opinii o pracy.

Recenzowana dysertacja spełnia wymogi odnośnie przewodu doktorskiego, określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku, z późniejszymi zmianami, o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Biorąc powyższe pod uwagę, wnioskuję o dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Kulski', written in a cursive style.