

Bydgoszcz, 16.09.2024

Prof. dr hab. inż. Marek Macko
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
Wydział Mechatroniki

dr hab. inż. Marcin Adamiak, prof. PŚ
Dziekan Wydziału Mechanicznego
Technologicznego
Politechnika Śląska

Szanowny Panie Dziekanie,

przesyłam w załączeniu recenzję pracy doktorskiej mgr. inż. Andrzeja Jałowieckiego pt. „Optymalizacja parametrów konstrukcyjno-funkcjonalnych mobilnej platformy eksploracyjnej” wykonana na zlecenie Pani Prof. dr. hab. inż. Ewy Majchrzak – Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna – Wydziału Mechanicznego Technologicznego, Politechniki Śląskiej na podstawie decyzji RDIME/130/51/2024.

Z poważaniem

Marek Macko

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 19.09.2024
RD JMe/151/51/2024
nr zał.

Bydgoszcz, 15.09.2024

Prof. dr hab. inż. Marek Macko
Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
Wydział Mechatroniki
85-074 Bydgoszcz
ul. Kopernika 1
tel. 52 3419144

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Andrzeja Jałowieckiego pt. „Optymalizacja parametrów konstrukcyjno-funkcjonalnych mobilnej platformy eksploracyjnej” wykonana na zlecenie Pani Prof. dr. hab. inż. Ewy Majchrzak – Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna – Wydziału Mechanicznego Technologicznego, Politechniki Śląskiej na podstawie decyzji RDIMe/130/51/2024.

1. Uwagi ogólne

Przedstawiona do oceny rozprawa dotyczy procesu optymalizacji parametrów konstrukcyjno-funkcjonalnych mobilnej platformy eksploracyjnej. Celem tych zmian jest obniżenie masy całkowitej układu jezdnego pojazdu. Osiągnięcie tego parametru wpływa na główną funkcjonalność platformy jaką jest zdolność do przemieszczania się w trudnych warunkach terenowych. Projekt i budowa platformy o nazwie Phoenix III jest efektem pracy projektowo-konstrukcyjnej Międzywydziałowego Studenckiego Koła Naukowego Zastosowania Metod Sztucznej Inteligencji AI-METH, którego Doktorant jest jednym z opiekunów. Redukcja masy obiektu jest istotna z punktu widzenia konkurencyjności w zawodach klasy Rover Challenge. Zawody o zasięgu światowym mają na celu sprawdzenie wiedzy i umiejętności zespołów w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji mobilnych platform jezdnych przystosowanych do poruszania się w trudnych warunkach terenowych. W zawodach tych duży nacisk kładzie się na szerzenie wiedzy powiązanej z przemysłem kosmicznym i technologiami z nim związanych. Poza aspektami związanymi z redukcją masy pojazdu Autor opracował strategię optymalizacji postaci konstrukcyjnej mobilnej kołowej platformy jezdnej jak również zbiór kryteriów oceny dla poszczególnych podukładów. Dodatkowym celem jaki postawił sobie Autor było zaprojektowanie zupełnie nowej – oryginalnej obudowy łazika. Modyfikacje układu konstrukcyjnego przewidziane są w kontekście wdrożenia ich w nowych modelach tychże platform mobilnych i dalszy udział w prestiżowych zawodach, gdzie wyżej wspomniane parametry są kluczowe ze względu na współzawodnictwo na poziomie światowym.

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 19.09.2024
RDIMe/130/51/2024
nr zat.

2. Ocena ogólna pracy

Praca składa się z 6 rozdziałów, bibliografii, spisu rysunków, tabel, streszczenia. Zawiera 141 stron, 112 rysunków, 102 pozycje bibliograficzne zgodne z tematyką opracowania, w tym 6, w których przygotowaniu Autor brał czynny udział.

W pierwszym rozdziale poza krótką charakterystyką zawodów klasy Rover Challenge zaprezentowano ogólny opis mobilnej platformy eksploracyjnej, przedstawiono problem badawczy, cel pracy i zakres pracy. Rozdział drugi zawiera przegląd aktualnego stanu wiedzy z zakresu mobilnych platform eksploracyjnych projektowanych i budowanych przez studentów na potrzeby startu w zawodach serii Rover Challenge. Eksploracja przestrzeni kosmicznej od zawsze wymagała innowacyjnych rozwiązań technologicznych. Jednym z najważniejszych narzędzi umożliwiających badanie obcych planet, księżyców i innych ciał niebieskich są mobilne platformy robotyczne. Te zaawansowane systemy pozwalają na przeprowadzanie misji badawczych w trudnych i często nieprzyjaznych warunkach, w których niemożliwa byłaby bezpośrednia obecność człowieka. Rozwój konstrukcji tych systemów obserwowany jest w wielu ośrodkach naukowych, a przestrzenią do weryfikacji nowoczesnych konstrukcji są zawody mające na celu upowszechnianie wiedzy i poszukiwanie najlepszych rozwiązań konstrukcyjnych tych pojazdów, między innymi podczas zawodów klasy Rover Challenge.

Mobilne platformy kosmiczne są projektowane z myślą o autonomicznym poruszaniu się w nieznanym i zróżnicowanym terenie. Ich podstawowe zadania obejmują szereg czynności, takich jak zbieranie danych z wielu czujników, kamer, spektrometrów i innych narzędzi, mapowanie terenu za pomocą radarów, systemów laserowych oraz kamer 3D oraz pobieranie próbek dzięki zainstalowanym narzędziom do wiercenia i pobierania próbek skał oraz gleby, które są analizowane na miejscu lub przygotowywane do transportu na Ziemię w przyszłych misjach. W najbliższych latach przewiduje się dalszy, intensywny rozwój konstrukcji platform mobilnych. W innowacyjnych rozwiązaniach szczególną rolę poświęca się aspektom autonomii pojazdów, zastosowaniu zaawansowanych systemów napędowych, opracowaniu nowych koncepcji zasilania oraz zwiększonej mobilności. Mimo osiągnięcia wysokiego poziomu rozwoju, konstrukcja i eksploatacja platform mobilnych napotyka na liczne wyzwania. Są one związane z komunikacją, zabezpieczeniem w energię zasilania oraz z odpornością środowiskową. Mobilne platformy kosmiczne mają zatem kluczowe znaczenie dla przyszłości eksploracji przestrzeni kosmicznej. Dzięki postępowi w technologii, naukowcy i inżynierowie są coraz bliżej odkrycia tajemnic Wszechświata, które do tej pory były poza naszym zasięgiem. Tak więc rozwój układów mobilnych w platformach eksploracyjnych jest ważnym zagadnieniem dla kolejnych misji badawczych. Od układów kołowych i gąsienicowych, przez kroczące i latające roboty, po hybrydy łączące różne technologie – każda z tych platform ma swoje zalety i ograniczenia. Ich rola w badaniach kosmicznych stale rośnie, a przyszłość eksploracji kosmosu zależy niewątpliwie od dalszych innowacji w tej dziedzinie. Zatem zainteresowania Autora oraz wkład w rozwój wiedzy z tego zakresu należy uznać za wartościowe. W swojej pracy w sposób syntetyczny dokonał aktualnego stanu wiedzy zarówno z tematyki metod optymalizacji konstrukcji,

jak również z obszaru układów mobilnych platform eksploracyjnych co świadczy o dobrym przygotowaniu Doktoranta.

Rozdział trzeci i kolejne stanowią o wartości badawczej pracy, w ramach której każdy z czterech podsystemów poddany został analizie konstrukcyjno-projektowej. I tak po zdefiniowaniu kryteriów, które musi spełniać korpus, takich jak masa, możliwość montażu ramienia robotycznego, ramion zawieszenia, zapewnienie montażu anten systemu komunikacji oraz estetyczny i nowoczesny wygląd, Autor dokonał konceptualizacji obiektu. Wykorzystał do tego celu dwie metody: tablicę morfologiczną oraz metodę 40 zasad stosowaną w technice TRIZ. W tablicy morfologicznej uwzględnił kryteria tworzywa, postaci konstrukcyjnej i designu. Na tej podstawie wyodrębnił 6 wariantów, przewidzianych do dalszych rozważań. Niedosyt pozostawia bardzo lakoniczny opis wyłonienia tych wariantów spośród 16 możliwych. Czy przeprowadzono w tym miejscu bardziej pogłębioną analizę? Niewątpliwie niektóre z rozwiązań można intuicyjnie uznać za mało atrakcyjne, jednak niektóre z nich należałoby nieco bardziej uzasadnić. Podobnie jest w przypadku przypisania wartości poszczególnych kryteriów oraz wag jakie przyznano kryteriom (s. 45). Wybór wariantu jaki przedstawiono w tabeli 3.4 należy niewątpliwie do interesujących przy uwzględnieniu ograniczeń jakie zostały przedstawione wcześniej, niemniej jednak sposób wyłonienia powinien być przybliżony bardziej dokładnie. W przypadku metody TRIZ mamy również bardzo ogólne przedstawienie scenariusza wyboru materiału, jako potwierdzenie tej decyzji z tablicy morfologicznej.

Proces opracowania ostatecznej postaci geometrycznej korpusu został zaprezentowany bardziej szczegółowo, a Autor na etapie projektu wstępnego uwzględnił szereg aspektów, związanych nie tylko z wyglądem, ale również z łatwością wytworzenia poszczególnych komponentów korpusu, biorąc pod uwagę również metody addytywne dla niektórych z komponentów. Daje się zauważyć duże doświadczenie Autora w zakresie modelowania 3D CAD, symulacji jak również praktycznych rozwiązań projektowo-konstrukcyjnych, w ramach których sposób i łatwość montażu elementów pomocniczych odgrywa istotną rolę w tego typu pojazdach. Efektem wprowadzonych przez Autora modyfikacji poza wypracowaniem interesującego i funkcjonalnego kształtu jest znaczna redukcja masy korpusu o 23%.

Kolejnym podukładem poddanym optymalizacji było ramię zawieszenia. Kryteria, jakie Autor zdefiniował na tym etapie dotyczyły masy, funkcji wytrzymałościowych ramienia oraz możliwości montażowych pozostałych komponentów. Zostały przedstawione tutaj analizy wytrzymałościowe zarówno podczas obciążeń statycznych jak również dynamicznych. Na tym etapie uwzględnił łatwość technologicznego wykonania obu części ramienia zawieszenia. Modyfikacje poczynione przez Autora przyniosły znaczne korzyści w zakresie radykalnego ograniczenia masy przekraczającego 60 %. W kolejnym podrozdziale Autor przeprowadził proces optymalizacji układu skręcania. W tym ujęciu uwzględniono takie kryteria jak masa pojedynczego mechanizmu, zapewnienie odpowiedniego momentu obrotowego, możliwość montażu zespołu osi w główce ramienia, zapewnienie informacji o aktualnym położeniu kątowym koła oraz możliwość kontrolowania osi za pośrednictwem standardowych układów jednopłytkowych. Na etapie konceptowania Autor zaproponował cztery rozwiązania silników, trzy rodzaje przekładni, dwa rodzaje sterowania i dwa sposoby

kontrolowania pozycji położenia. Na tej podstawie zostały wyłonione trzy rozwiązania, które poddane zostały dalszej analizie. Podobnie jak w przypadku doboru cech konstrukcyjnych korpusu zabrakło w pracy pełniejszego opisu sposobu wyboru tych właśnie rozwiązań (s.72). Można domniemać, że doświadczenie Autora było głównym doradcą w tym zakresie, niemniej jednak należałoby doprecyzować dlaczego właśnie te warianty spełniają zamierzone oczekiwania. Podobnie jak w przypadku zestawienia poszczególnych kryteriów nie wyjaśniono metody unitaryzacji ich wartości (tabela 3.12). W podrozdziale 3.5 Autor dokonał optymalizacji układu przeniesienia napędu. Wyróżnił w tym względzie 4 kryteria: masę, możliwość podjazdu na wzniesienie, niezależny napęd na każde koło oraz wytrzymałość elementu łączącego koło z osią skrętną. Znajomość nowoczesnych technik projektowania i wytwarzania addytywnego zapewne ułatwiła Autorowi zaprojektowanie modelu koła z uwzględnieniem piasty, obręczy, szprych i nakładki bieżnika jako odrębnych elementów, co jest niezwykle istotne podczas wytwarzania ich metodą druku 3D. Podobnie, w przypadku opracowania modelu łącznika daje się zauważyć umiejętności Autora w zakresie kształtowania ostatecznej postaci geometrycznej, z uwzględnieniem wymagań wytrzymałościowych. Efektem wprowadzonych przez Autora modyfikacji jest znaczna, bo ponad 60% redukcja masy układu przeniesienia napędu.

W rozdziale czwartym Autor dokonał analizy porównawczej obu wariantów konstrukcyjnych platformy Phoenix III. Niewątpliwym atutem podjętych prac jest zastosowanie nowoczesnych materiałów na projektowane komponenty oraz metod wytwarzania gwarantujących nieograniczone możliwości kształtowania ostatecznej postaci geometrycznej. Efektem tych implementacji jest osiągnięty efekt znacznej redukcji masy o ponad 60% co niewątpliwie wpłynie na uzyskanie lepszych parametrów eksploatacyjnych podczas zawodów platform mobilnych. Autor dokonał porównania cech funkcjonalnych i użytkowych takich jak stabilność, poziom drgań i właściwości eksploatacyjne wskazując w tabeli 5.1 zestawienie wyników analizy stabilności dla obu modeli platformy. Praktycznie wszystkie parametry w modelu zoptymalizowanym zostały znacznie polepszone. Przy podaniu wartości nacisku powierzchniowego należałoby raczej podać jednostkę obowiązującą w układzie SI - MPa zamiast kg/m^2 . W zakresie analizy drgań niedosyt pozostawia bardzo ogólny opis zastosowanego środowiska symulacyjnego CoppeliaSim, brak opisu jądra obliczeń i brak szczegółowych parametrów jakie uwzględniono podczas badań. Niejasne jest również czy w modelu wirtualnym uwzględniono współczynniki tłumienia i sprężystości poszczególnych komponentów, z których zbudowana jest platforma. Na rysunkach 5.12 – 5.17 zabrakło pełnej legendy na pionowych osiach wykresów, a niejednolita skala przyjęta na osi pionowej (20 lub 50) może wprowadzić w błąd przy pobieżnej analizie wyników. Na wykresie 5.16 widnieją znaczne wartości amplitudy w porównaniu do poprzednich wykresów. Głębsza analiza takiego stanu i jej opis niewątpliwie wpłynęłyby korzystnie na wartość merytoryczną pracy. Właściwości eksploatacyjne oceniane w kontekście łatwości i szybkości montażu/demontażu są znacznym osiągnięciem zrealizowanej pracy, co stanowić będzie wartość dodaną na etapie przygotowań do zawodów. Szkoda, że Autor bardzo skromnie pochwalił się swoimi osiągnięciami w punkcie 6.1 przedstawiając wnioski i osiągnięte rezultaty w sposób mało rozbudowany, które w moim przekonaniu wnoszą nowe wartości do stanu wiedzy na temat projektowania platform mobilnych.

3. Ocena strony edytorskiej pracy

W recenzji wskazałem wybrane nieścisłości edytorskie, inne drobne literówki i błędy w stosowaniu znaków interpunkcyjnych naniósłem bezpośrednio w przekazanym mi egzemplarzu pracy.

- I tak na s. 13, 7-g: jest „... są między innymi ...”, powinno być „...są między innymi...”
- s. 13, 9-d: jest „...poszczególnych modłów tworzących...”, powinno być „...poszczególnych modułów tworzących...”
- s. 13, 7-d: jest „...główną część opisu...”, powinno być „...główną część opisu...”
- s. 14, 1-g: jest „...podsumowanie nieśniejszej pracy...”, powinno być „...podsumowanie niniejszej pracy...”
- s. 25, 5-d: jest „...gdy poruszania się po innych...”, powinno być „... gdy poruszanie odbywa się po innych ...”
- s. 33, 7-g: jest „... związanymi z układem elektrycznymi ...”, powinno być „... związanymi z układami elektrycznymi ...”
- s. 61, 1-g: jest „...zachowanie rozstaw osi...”, powinno być „...zachowanie rozstawu osi...”
- s. 64, 6-d: jest „... podjęto kolejna próbę...”, powinno być „podjęto kolejną próbę ...”
- s. 67, 4-d: jest „...pomiędzy masę elementu...”, powinno być „...pomiędzy masą elementu...”
- s. 71, 10-d: jest „... zaprezentowano aktualna postać układu...”, powinno być „... zaprezentowano aktualną postać układu...”
- s. 87, 10-g: jest „...być w stanie przeniesić obciążenie...”, powinno być „...być w stanie przeniesić obciążenie...”
- s. 91, 5-d: jest „...masa korpusu miałaby wynosić...”, powinno być „masa korpusu miałaby wynosić...”
- s. 103, 11-d: jest „...ze środowiska CAD odczytano położenie...”, powinno być „...ze środowiska CAD odczytano położenie...”
- s. 126, 19-d: jest „Tomasz Szczesny...”, powinno być „Tomasz Szczęsny...”

4. Konkluzja

Wymienione powyżej korekty, sugestie i wcześniejsze uwagi w niczym nie umniejszają wartości merytorycznej pracy, którą uważam za bardzo interesującą, poprawną metodycznie i perspektywiczną z punktu widzenia poznawczego oraz przydatną do celów praktycznych, co niewątpliwie jest istotne w obszarze rozwoju konstrukcji. Autor w sposób merytorycznie przejrzysty zaprezentował dokonania projektowe i konstrukcyjne wdrożone pomyślnie w ramach realizowanego wspólnie z kołem naukowym projektu, w sposób logiczny i uporządkowany zaprezentował swoje osiągnięcia. Projekt należy uznać za niezwykle wartościowy również z punktu widzenia wspólnych, ze studentami, prac wdrożeniowych i daje poczucie dojrzałości naukowo-dydaktycznej Doktoranta.

Biorąc zatem pod uwagę dotychczasowe dokonania naukowo-badawcze i popularyzatorskie, dorobek publikacyjny mgr. inż. Andrzeja Jałowieckiego oraz przedstawioną do recenzji pracę doktorską pt. „Optymalizacja parametrów

konstrukcyjno-funkcjonalnych mobilnej platformy eksploracyjnej”, uważam, że spełnia ona wymagania stawiane pracom promocyjnym na stopień doktora nauk technicznych w obowiązującej Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki i wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr. inż. Andrzeja Jałowickiego do jej publicznej obrony. Praca doktorska reprezentuje dyscyplinę - inżynieria mechaniczna (budowa i eksploatacja maszyn).

Marcel Mucio