

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Tomasza Jacka Krakówki

zatytułowanej:

*Dobór parametrów manipulatorów robotów przenośnych
na podstawie technik projektowania topologicznego*

1. Wstęp

Niniejsza recenzja rozprawy doktorskiej została wykonana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Mechaniczna” Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego, na podstawie Uchwały nr 51/RDN IM/2025 z dnia 21 maja 2025 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Jacka Krakówki.

Rozprawa powstała w ramach doktoratu wdrożeniowego i jej celem było wdrożenie rozwiązania w robotach do zastosowań specjalnych projektowanych w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów PIAP, wchodzącym w skład Sieci Badawczej ŁUKASIEWICZ.

2. Problem badawczy i jego znaczenie

W rozprawie doktorskiej Pana mgr. inż. Tomasza Jacka Krakówki rozważany jest problem doboru parametrów w procesie projektowania manipulatorów dla przenośnych robotów mobilnych do zastosowań wojskowych i antyterrorystycznych. Problem ten jest ważny i aktualny oraz wpisuje się w zidentyfikowaną przez Autora rozprawy lukę w stanie wiedzy. Istotą pracy jest propozycja autorskiej metody projektowania manipulatorów dla przedmiotowego zastosowania. Metoda ta obejmuje dobór napędów i parametrów geometrycznych manipulatora, szczegółową analizę obciążeń i optymalizację topologiczną komponentów. Z założenia metoda pozwala na opracowanie lekkich manipulatorów dla robotów do zastosowań specjalnych.

Autor rozprawy dokonał szczegółowej analizy zagadnienia projektowania manipulatorów robotów przenośnych, opisując bieżący stan wiedzy w zakresie metod projektowania i optymalizacji konstrukcji, ze szczególnym uwzględnieniem manipulatorów. Na tej podstawie Autor sformułował także wnioski wynikające z przeprowadzonej analizy, w szczególności z perspektywy manipulatorów robotów przenośnych.

Na podstawie zidentyfikowanych luk w stanie wiedzy Autor rozprawy zdefiniował jej cel i zakres, a także określił kluczowe parametry manipulatorów robotów przenośnych, które są istotne z punktu widzenia osiągnięcia wymaganych zdolności roboczych.

W ramach rozprawy Autor opracował metodę projektowania manipulatorów dla przenośnych robotów mobilnych, która stanowi nowoczesne podejście do rozwiązania problemu projektowania. W celu rozwiązania problemu doboru parametrów manipulatorów Autor analizował zagadnienia obejmujące badania identyfikacyjne obciążeń podczas pracy manipulatorów robotów przenośnych, dobór parametrów manipulatorów, a także implementację oraz weryfikację opracowanej metody. Autor łączy więc klasyczne techniki projektowania topologicznego, pozwalające na efektywną optymalizację kształtu oraz struktury manipulatora, z metodami optymalizacji wielokryterialnej, umożliwiającymi jednocześnie uwzględnienie wielu istotnych parametrów konstrukcyjnych oraz eksploatacyjnych. Jednocześnie wykorzystuje nowoczesne narzędzia projektowania, w tym symulacje numeryczne. Takie połączenie sprawia, że proponowane podejście można określić jako kompleksowe i komplementarne, integrujące fundamenty klasycznej inżynierii mechanicznej ze współczesnymi metodami komputerowego wspomagania projektowania oraz badaniami doświadczalnymi. Tak szeroki zakres prac potwierdza zarówno naukowy, jak i praktyczny charakter rozwiązania.

Autor rozprawy dokonał weryfikacji opracowanej metody projektowania i optymalizacji manipulatorów, implementując ją na przykładzie projektu średniego robota gaśnicowego do zastosowań specjalnych PIAP Patrol. Robot ten został wdrożony do sprzedaży i znajduje się w ofercie robotów do zastosowań specjalnych Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów PIAP wchodzącego w skład Sieci Badawczej ŁUKASIEWICZ. Zatem przedmiotowa rozprawa doktorska ma niewątpliwie znaczenie praktyczne i bardzo dobrze wpisuje się w koncepcję doktoratu wdrożeniowego. Opracowana przez Autora metodyka projektowania i optymalizacji manipulatorów stanowi solidną podstawę do dalszych prac, mających na celu opracowywanie i wdrażanie podobnych rozwiązań.

3. Zawartość pracy

Rozprawa doktorska składa się z dziewięciu rozdziałów, a także zawiera streszczenie w języku polskim i języku angielskim, szczegółowy spis treści, wykaz skrótów i symboli, bibliografię oraz spis rysunków i tabel.

Pierwszy rozdział stanowi wstęp do rozprawy, obejmuje charakterystykę manipulatorów i robotów mobilnych do zastosowań specjalnych, a także omawia dostępne w literaturze metody projektowania manipulatorów, wskazując na lukę w zakresie metod projektowania robotów przenośnych.

Drugi rozdział koncentruje się na określeniu istotnych parametrów manipulatorów robotów przenośnych. Zawiera analizę parametrów wybranych robotów mobilnych o masie do 103 kg, wyposażonych w manipulatory. Autor sformułował w tym rozdziale także propozycje wskaźników wydajności manipulatorów w odniesieniu do masy robota.

Trzeci rozdział dotyczy analizy zagadnienia doboru parametrów manipulatorów robotów przenośnych. Obejmuje omówienie budowy manipulatorów przenośnych robotów mobilnych do zadań specjalnych, stosowanych metod projektowania, ze szczególnym uwzględnieniem projektowania

systemowego i tzw. „modelu V”, a także metod optymalizacyjnych używanych w projektowaniu robotów, metod optymalizacji strukturalnej i topologicznej. Rozdział zakończony jest sformułowaniem wniosków wynikających z przeprowadzonej analizy zagadnienia.

Czwarty rozdział służy sformułowaniu celu i zakresu pracy. Przedstawia on również zagadnienia analizowane w rozprawie.

Rozdział piąty dotyczy określenia kluczowych parametrów manipulatorów robotów przenośnych, istotnych dla osiągnięcia wymaganych zdolności roboczych. Analizowane są w nim m.in. wybrane konfiguracje manipulatora podczas realizacji zadań przez roboty do zastosowań specjalnych.

Szósty rozdział obejmuje badania identyfikacyjne obciążeń w trakcie realizacji zadań przy użyciu manipulatora robota przenośnego. Zawiera sformułowanie metody badawczej, wyznaczenie obciążeń występujących podczas pracy manipulatora dla wybranych zadań i wnioski wynikające z wykonanych badań identyfikacyjnych.

Siódmy rozdział jest najbardziej obszernym i najważniejszym rozdziałem pracy, który koncentruje się na określeniu autorskiej metody doboru parametrów manipulatorów w aspekcie zwiększenia ich zdolności roboczych. Obejmuje sformułowanie wymagań dla manipulatorów przenośnych robotów do zadań specjalnych, propozycję parametryzacji zdolności roboczych robota, przedstawienie koncepcji biblioteki rozwiązań konstrukcyjnych, określenie projektu koncepcyjnego manipulatora oraz sformalizowanie doboru jego podstawowych, metodę wyznaczenia krytycznych zestawów obciążeń manipulatora i weryfikacji wybranych jego komponentów dla wyznaczonych przypadków obciążeń, a także opis metody optymalizacji topologicznej komponentów manipulatora, koncepcji projektowania ukierunkowanego na wytwarzanie, dostosowania rezultatów optymalizacji topologicznej do implementacji i w zakresie badania wpływu liczby analizowanych przypadków obciążeń na wynik optymalizacji topologicznej.

Ósmy rozdział dotyczy implementacji opracowanej metody projektowania i optymalizacji manipulatorów na przykładzie robota do zastosowań specjalnych PIAP Patrol. Zawiera sformułowanie wymagań dla robota, opis biblioteki rozwiązań konstrukcyjnych oraz projektu koncepcyjnego manipulatora, proces doboru podstawowych parametrów manipulatora, wyznaczenie przypadków obciążeń, a także wyniki w zakresie weryfikacji wytrzymałościowej wybranego komponentu manipulatora, minimalizacji masy struktury i finalnej optymalizacji wybranych komponentów manipulatora. Rozdział kończą wnioski z implementacji proponowanej metody.

Ostatni, dziewiąty rozdział stanowi podsumowanie pracy, a także zawiera wnioski końcowe, sformułowanie najważniejszych i oryginalnych osiągnięć rozprawy.

4. Ocena strony redakcyjnej pracy

Rozprawa doktorska jest dość obszerna, została ogólnie starannie zredagowana, jest klarowna i poprawna pod względem językowym, jednak można mieć do niej kilka uwag redakcyjnych.

W szczególności w tekście pracy występują błędy w odmianie wyrazów, w tym w streszczeniu, nazwach rozdziałów, brakuje polskich znaków diakrytycznych w niektórych wyrazach, a także występują literówki, określenia żargonowe i pojedyncze błędy ortograficzne.

Ponadto w niektórych miejscach pojawiają się bezpośrednie wtrącenia w języku angielskim, np. w streszczeniu autor używa określenia „zadaniach Explosive Ordnance Disposal (EOD)”. W polskojęzycznej wersji rozprawy należałoby zastosować formę polską, np. „zadaniach związanych z neutralizacją materiałów wybuchowych (ang. *Explosive Ordnance Disposal, EOD*)”. Taki zapis zwiększyłby spójność językową pracy, przy jednoczesnym zachowaniu międzynarodowej terminologii w nawiasie. Podobną zasadę należałoby zastosować w spisie stosowanych w pracy skrótów, a właściwie akronimów.

W zakresie zapisu wielkości fizycznych, zalecałbym podawanie ich jednostek oraz stosowanie pogrubienia czcionki dla wektorów i macierzy, co zwiększa czytelność zapisu. Unikałbym także stosowania w zależnościach nieformalnych symboli, jak „*” w przypadku mnożenia. Zwracałbym także większą uwagę na czytelność opisu osi na wykresach i każdorazowo podawałbym jednostki dla przedstawianych na wykresach wielkości fizycznych.

Jeśli chodzi o wykaz ważniejszych oznaczeń, to występuje kolizja w zakresie symbolu m_x , nie wszystkie przyjęte oznaczenia są precyzyjnie opisane (np. Wskaźnik 1, współczynnik tarcia). Ponadto można by było pogrupować oznaczenia wg kategorii.

Wskazane uchybienia redakcyjne nie umniejszają jednak pozytywnej oceny pracy.

5. Merytoryczna ocena rozprawy

Przedmiotowa rozprawa jest ogólnie poprawna merytorycznie. Autor w kompleksowy sposób rozwiązał postawiony cel rozprawy, jakim był dobór parametrów manipulatorów robotów przenośnych.

Jeśli jednak chodzi o użyte w pracy określenie „manipulatory robotów przenośnych”, to moim zdaniem bardziej precyzyjne byłoby stosowanie sformułowania „manipulatory przenośnych robotów mobilnych”, gdyż przedmiotem rozważań w pracy są roboty mobilne.

Rozprawa doktorska została zrealizowana w ramach doktoratu wdrożeniowego, dlatego oceniając ją pod względem merytorycznym należy uwzględnić zarówno aspekty naukowe, jak i wdrożeniowe.

5.1. Ocena części naukowej rozprawy

Jeśli chodzi o ocenę części naukowej, to w ramach przeglądu stanu wiedzy Autor omówił m.in. zadania realizowane przez manipulatory przenośnych robotów do zadań specjalnych, ich budowę oraz metodykę projektowania, opartą na tzw. „modelu V”. Przedstawił stosowane metody optymalizacyjne

w projektowaniu robotów, omówił zasady optymalizacji strukturalnej i topologicznej oraz metody projektowania i optymalizacji manipulatorów. Część przeglądowa jest zakończona wnioskami z przeprowadzonej analizy stanu wiedzy. W ramach przeglądu stanu wiedzy Autor zidentyfikował lukę polegającą na braku opracowań poświęconych robotom przenośnym do zastosowań specjalnych. Cała rozprawa zawiera odniesienia do 142 pozycji bibliografii.

Przedstawiony przegląd stanu wiedzy jest dość kompleksowy, jednak w zakresie doboru literatury, to zabrakło mi wymienienia np. takich klasycznych pozycji, jak Spong Mark W., Vidyasagar M. „Dynamika i sterowanie robotów” (książka ta była zresztą tłumaczona na język polski przez pracowników Instytutu PIAP), Craig J.J. „Wprowadzenie do robotyki. Mechanika i sterowanie” oraz pracy zbiorowej pod redakcją Morecki A., Knapczyk J. „Podstawy robotyki teoria i elementy manipulatorów i robotów”.

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu stanu wiedzy Autor zdefiniował cel rozprawy, którym było opracowanie metody doboru parametrów projektowych, która pozwoli na projektowanie lekkich manipulatorów robotów do zadań specjalnych o wymaganych zdolnościach roboczych. Realizacji tego celu poświęcone są kluczowe rozdziały rozprawy.

Można zauważyć, że praca nie zawiera formalnej tezy lub pytań badawczych. Moim zdaniem, ponieważ rozprawa obejmowała rozwiązanie kilku problemów badawczych, Autor oprócz określenia celu pracy mógł pokusić się o sformułowanie kilku pytań badawczych, aby później odnieść się do nich w podsumowaniu, co podniosłoby walory naukowe pracy.

Autor rozprawy w poprawny sposób określił kluczowe parametry manipulatorów robotów przenośnych, istotne dla osiągnięcia wymaganych zdolności roboczych. Rozważania w tym zakresie zaczął od omówienia najbardziej typowych zadań realizowanych przez roboty do zastosowań specjalnych i oprócz zdefiniowania kluczowych parametrów, wyodrębnił także charakterystyczne konfiguracje manipulatora podczas realizacji tych zadań.

W celu identyfikacji obciążeń podczas wykonywania zadań manipulatorem Autor przeprowadził badania symulacyjne i doświadczalne, które zakończył wnioskami. Badania symulacyjne były oparte na oprogramowaniu PTC Creo, w którym przygotowano model robota wyposażonego w analizowany manipulator. W badaniach doświadczalnych został użyty robot mobilny PIAP Patrol.

W rozprawie została przedstawiona metodyka badawcza mająca na celu identyfikację obciążeń manipulatora oraz podano zakres obciążeń w wybranych parach kinematycznych podczas pracy manipulatora, realizującego wybrane zadania.

Przeprowadzone badania identyfikacyjne obciążeń zostały wykonane poprawnie, jednak moim zdaniem warto by było poprzedzić te badania wyprowadzeniem oraz analizą macierzy Jakobiego. Pozwoliłoby to na analizę osobliwości i identyfikację krytycznych konfiguracji manipulatora, w których obciążenia są trudne do przeniesienia. Dysponując macierzą Jakobiego można by było od razu oszacować rozkład obciążeń w przegubach manipulatora dla poszczególnych konfiguracji i obciążeń końcówki roboczej. Dzięki temu badania identyfikacyjne obciążeń mogłyby być realizowane w bardziej

świadomy sposób. Ponadto macierz Jakobiego można by było wykorzystać w procesie optymalizacji manipulatora.

Moim zdaniem warto by było także przedstawić dla analizowanego manipulatora rozwiązanie zadania prostego i odwrotnego kinematyki, a także zilustrować przestrzeń roboczą manipulatora, gdyż są to typowe elementy analizy manipulatorów.

W zakresie prezentacji danych manipulatora, będącego przedmiotem badań, to moim zdaniem wśród parametrów powinny być wymienione współrzędne środka masy poszczególnych członów, które w tym przypadku mają istotne znaczenie. Z kolei w zakresie prezentacji wyników na wykresie przebiegu momentów na Rys. 6.4 wkraśl się błąd w zakresie rzędu wielkości.

Kluczowa część rozprawy jest poświęcona opracowaniu metody doboru parametrów manipulatorów w aspekcie zwiększenia ich zdolności roboczych. W ramach niej Autor opracował schemat logiczny algorytmu optymalizacji struktur mechanicznych manipulatorów lekkich robotów do zadań specjalnych.

Autor określił wymagania dla manipulatorów przenośnych robotów do zadań specjalnych, w tym przyjął oznaczenia dla kluczowych wielkości, przede wszystkim geometrycznych. W tym przypadku zabrakło mi zdefiniowania oznaczeń oraz zilustrowania na rysunku współrzędnych środków mas poszczególnych członów manipulatora, które są istotne dla dalszych analiz.

Autor zwrócił uwagę na kwestię parametryzacji zdolności roboczych robota, definiując takie parametry, jak maksymalna masa, którą robot może podnieść manipulatorem, maksymalna masa, którą robot może podnieść na pełnym wysięgu manipulatora, a także wysięg manipulatora. Moim zdaniem Autor mógł wyeksponować kwestię znaczenia współrzędnych środka masy robota i jego rzutu na płaszczyznę podparcia, które mają kluczowe znaczenie dla stabilności postury robota. Odpowiednie zależności mogłyby zostać wyprowadzone wprost z parametrów geometrycznych oraz współrzędnych środków masy poszczególnych członów robota.

W przedstawionych w pracy zależnościach wychodzących z warunków równowagi momentów sił pojawiły się nieścisłości. Mianowicie w zależnościach (7.1)-(7.10) występują siły ciężkości oznaczone literą „m” z odpowiednimi indeksami, co jest bardziej typowe dla masy. Ponadto w opisie wzoru (7.1) jest mowa o masie zamiast o sile ciężkości, co prowadziłoby do niezgodności w zakresie jednostek wielkości fizycznych występujących w tej zależności. Podobne nieścisłości występują także w dalszej części pracy, tj. dla wzorów (7.18), (7.21) i (7.22). Myślę, że dobrą praktyką powinno być podawanie jednostek dla analizowanych wielkości fizycznych, parametrów itd. Umożliwia to zarówno autorowi pracy, jak i czytelnikowi, sprawdzanie zgodności jednostek we wzorach oraz pozwala uniknąć błędów lub nieścisłości.

W ramach metody doboru podstawowych parametrów manipulatora Autor zaproponował 3 funkcje dopasowania obejmujące maksymalizację udźwigu i wysięgu manipulatora. Wprowadził także więcej procesu optymalizacji w postaci kilku zależności, obejmujących m.in. warunek ograniczenia masy oraz w zakresie minimalnego momentu napędowego. Na tej podstawie przedstawił wybrane wyniki

obejmujące siły podnoszenia dla manipulatora przy maksymalnym wysięgu dla dwóch jego konfiguracji. Podał zależności pozwalające na wyznaczenie krytycznych zestawów obciążeń manipulatora i wspominał także na temat możliwości wykorzystania do tego celu macierzy Jakobiego (zwanej potocznie Jakobianem), jednak nie skorzystał z tej opcji. Następnie założył weryfikację wybranych komponentów manipulatora dla rozpatrywanych przypadków obciążeń w postaci analizy wytrzymałościowej MES.

Jeśli chodzi o aspekty naukowe proponowanej metody projektowej, to występują one także podczas badania wpływu liczby analizowanych przypadków obciążeń na wynik optymalizacji topologicznej. Autor zakłada tutaj agregację wielu przypadków obciążeń do wspólnej funkcji celu, biorąc pod uwagę podczas optymalizacji topologicznej zarówno metodę gęstościową SIMP (ang. *Solid Isotropic Material with Penalization*) i metodę poziomnicową (ang. *Level Set Method*). Autor podkreślił fakt, że w ramach optymalizacji algorytm MES musi uwzględniać wiele macierzy sztywności dla analizowanych przypadków obciążeń oraz pozwalać na minimalizację sumarycznej podatności przy jednoczesnym ograniczeniu całkowitej objętości użytego materiału. W pracy przedstawione są wyniki takiej optymalizacji na przykładzie wybranego elementu konstrukcyjnego manipulatora.

Na etapie implementacji opracowanej metody projektowania i optymalizacji manipulatorów Autor analizował m.in. zależność między przenoszonym momentem a masą modułu napędowego. Przedstawił także m.in. wyniki w zakresie trzech funkcji przystosowania dla ostatniej generacji parametrów manipulatora oraz wyniki dotyczące maksymalnych momentów promieniowych w wybranym przegubie w zależności od kąta pomiaru. Zaprezentował również konfiguracje manipulatora, dla których momenty promieniowe działające w wybranych kierunkach są największe.

W ramach podsumowania rozprawy Autor sformułował najważniejsze wnioski oraz omówił kluczowe i oryginalne osiągnięcia pracy. W tej części rozprawy zabrakło jednak moim zdaniem wyraźnego określenia potencjalnych kierunków dalszych badań.

Reasumując część oceny dotyczącej aspektów naukowych rozprawy należy stwierdzić, iż Autor stosuje poprawne formalizmy matematyczne, we właściwy sposób ilustruje opracowane rozwiązania, wyczerpująco omawia analizowane zagadnienia, a także w poprawny sposób przedstawia szczegółowe wyniki badań i formułuje logiczne wnioski. Autor stosuje kompleksowe podejście do rozwiązania problemu, które zawiera analizy teoretyczne, badania symulacyjne, a także badania doświadczalne. Wskazane wcześniej uwagi nie umniejszają pozytywnej oceny rozprawy pod względem naukowym i Autor może je uwzględnić w ramach swojej dalszej działalności naukowej.

5.2. Ocena części wdrożeniowej rozprawy

Niektóre aspekty dotyczące oceny części wdrożeniowej poruszono już wcześniej. Na podkreślenie zasługuje kompleksowość podejścia zastosowanego w metodzie projektowej, łączącego tradycyjne metody projektowania z użyciem nowoczesnych metod i narzędzi projektowania.

Ponadto w proponowanym podejściu zestawiono zalety metodyki projektowania od ogółu do szczegółu (ang. *top-down*) z elementami metodyki budowania rozwiązania poprzez stopniowe scalanie komponentów (ang. *bottom-up*). Wykorzystano także koncepcję tzw. rodziny produktów, która pozwala skrócić czas potrzebny na opracowanie nowych rozwiązań.

Moim zdaniem Autor mógł jednak w swojej metodzie wyeksponować przed etapem optymalizacji kwestię przeglądu i wyboru opcji rozwiązania w oparciu o wybrane, obiektywne kryteria, gdyż w ogólnym przypadku nie istnieje jedno, jedynie słuszne rozwiązanie konstrukcyjne, spełniające postawione wymagania projektowe oraz nie każde z rozwiązań jest opłacalne i łatwe w implementacji z technologicznego punktu widzenia.

W ramach opracowanej przez siebie metody Autor założył wykorzystanie biblioteki rozwiązań konstrukcyjnych, w szczególności opartej na rodzinie przegubów manipulatora o różnej nośności i masie. Następnie przedstawił analizę struktur kinematycznych manipulatorów robotów do zadań specjalnych i omówił projekt koncepcyjny manipulatora.

Część stricte projektowa autorskiej metody obejmuje również optymalizację topologiczną komponentów manipulatora, która jest przewidziana na etapie przygotowania i analizy wyników. Zakłada ona utworzenie w analizowanym komponencie obszaru projektowego przeznaczonego do optymalizacji, zdefiniowanie obszaru pasywnego nie podlegającego optymalizacji, a także określenie warunków brzegowych, tj. uwzględnienie zamocowania lub podparcia struktury oraz wszystkich sił i momentów sił. Optymalizacja topologiczna bierze także pod uwagę warunki środowiskowe, w jakim pracuje dany element, w tym konieczność zapewnienia właściwej szczelności obudów.

Autor stosuje w swojej metodzie koncepcję projektowania ukierunkowanego na wytwarzanie, która łączy techniki optymalizacji strukturalnej z ograniczeniami i możliwościami technologicznymi procesu wytwarzania. Takie zaawansowane podejście do projektowania pozwala uzyskać struktury, które spełniają kryteria wytrzymałościowe oraz funkcjonalne, a także są zoptymalizowane pod kątem efektywnego i ekonomicznego wytwarzania. Proponowane podejście bierze również pod uwagę zastosowanie zarówno obróbki ubytkowej, jak i przyrostowych metod wytwarzania.

Kończącym elementem proponowanej przez Autora metody projektowej jest dostosowanie rezultatów optymalizacji topologicznej do implementacji, czyli przygotowanie modelu uzyskanego po optymalizacji topologicznej do dalszej obróbki.

W ramach implementacji opracowanej metody Autor korzysta z biblioteki rozwiązań, wykonuje obliczenia inżynierskie, a także przeprowadza weryfikację wytrzymałości wybranego komponentu poprzez analizę MES i proces minimalizacji masy struktury komponentu manipulatora. Następnie przedstawia wybrany, wykonany element przegubu manipulatora oraz cały robot PIAP Patrol ze zintegrowanym elementem wykonanym według opracowanej metody. Ostatecznie Autor formułuje wnioski wynikające z implementacji proponowanej metody projektowania oraz optymalizacji manipulatorów.

Reasumując ocenę części wdrożeniowej rozprawy należy podkreślić, iż zgodnie z założeniami doktoratu wdrożeniowego opracowana metoda projektowania i optymalizacji ma wyraźnie potencjał aplikacyjny i jest szczególnie dedykowana do zastosowania w manipulatorach przenośnych robotów mobilnych do zastosowań specjalnych. Jak wcześniej wspomniano, proponowana metoda projektowania i optymalizacji manipulatorów została wdrożona w projekcie średniego robota gąsienicowego do zastosowań specjalnych PIAP Patrol.

6. Wkład autora

Przyjęte w rozprawie doktorskiej podejście do rozwiązania problemu doboru parametrów w procesie projektowania manipulatorów dla przenośnych robotów mobilnych do zastosowań specjalnych jest oryginalne. Autor pracy w celu rozwiązania tego problemu wykorzystuje opracowaną przez siebie metodę na przykładzie projektu robota PIAP Patrol. Praca stanowi zarówno dobre uzupełnienie stanu wiedzy w obszarze robotyki, jak i cenne źródło wytycznych projektowych dla konstruktorów mechaników. Na podkreślenie zasługuje kompleksowość proponowanego w metodzie podejścia i jakość uzyskanych wyników.

Oryginalność rozwiązania postawionego problemu oraz wkład Autora w dyscyplinę Inżynieria Mechaniczna obejmuje:

- analizę zadań realizowanych przez manipulatory robotów do zastosowań specjalnych oraz badania identyfikujące obciążenia wynikające z wykonywania tych zadań,
- opracowanie szeregu metod projektowych, w tym dotyczących formułowania funkcji celu i ograniczeń optymalizacji na podstawie wymaganych zdolności manipulatora, szacowania obciążeń w konstrukcji, konstruowania przypadków obciążeń oraz przygotowania przestrzeni pasywnej procesu optymalizacji topologicznej.

Główny i oryginalny wkład Autora rozprawy w zakresie dyscypliny Inżynieria Mechaniczna stanowią: rozdział 5. obejmujący określenie kluczowych parametrów manipulatorów robotów przenośnych, rozdział 6. dotyczący badań identyfikacyjnych obciążeń manipulatora oraz przede wszystkim rozdział 6., który przedstawia metodę doboru parametrów manipulatorów. Cenne są także wyniki zaprezentowane w rozdziale 8. dotyczącym implementacji opracowanej metody projektowania oraz optymalizacji manipulatorów.

7. Wiedza i dorobek kandydata

Autor rozprawy, Pan mgr inż. Tomasz Jacek Krakówka ukończył w 1999 r. studia na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej, na kierunku Automatyka i Robotyka. Jest wieloletnim, zasłużonym pracownikiem Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów PIAP, wchodzącego w skład Sieci Badawczej ŁUKASIEWICZ.

Obecnie Kandydat jest zatrudniony na stanowisku głównego specjalisty w pionie badawczym. Pracuje w Sekcji Innowacyjnych Urządzeń Mobilnych w Dziale Systemów Mobilnych. Pan mgr inż. Tomasz Jacek Krakówka jest przede wszystkim konstruktorem innowacyjnych rozwiązań w obszarze robotów mobilnych do zastosowań specjalnych, a w dalszej kolejności naukowcem, biorącym udział w pracach badawczo-rozwojowych.

W zakresie działalności publikacyjnej, według bazy Google Scholar Kandydat jest autorem 5 publikacji naukowych, w tym 2 w języku polskim oraz 3 w języku angielskim, opublikowanych w recenzowanych czasopismach lub materiałach konferencyjnych. Kandydat brał także udział w 7 konferencjach naukowych, w tym o zasięgu międzynarodowym.

O szerokiej wiedzy i doświadczeniu Kandydata w obszarze projektowania robotów mobilnych do zastosowań specjalnych świadczy duża liczba zgłoszonych i uzyskanych patentów dotyczących rozwiązań w tym obszarze (ogółem 16 zgłoszeń patentowych dotyczących wynalazków). Za swoje osiągnięcia w zakresie projektowania robotów mobilnych, które były przedmiotem wdrożenia, Kandydat otrzymał liczne nagrody oraz wyróżnia.

Na podkreślenie zasługuje duża aktywność kandydata w zakresie realizacji projektów badawczo-rozwojowych. W trakcie swojego zatrudnienia w Instytucie PIAP, Pan mgr inż. Tomasz Jacek Krakówka brał udział aż w 14 projektach, w tym finansowanych ze źródeł zewnętrznych. Brał także udział w realizacji szeregu zamówień na roboty mobilne do zastosowań specjalnych dla wojska, policji oraz innych służb, co nierzadko wymagało dostosowania dostępnych konstrukcji do wymagań przetargowych.

8. Pytania dotyczące rozprawy

Na podstawie analizy rozprawy doktorskiej zrodziły mi się następujące pytania w obszarze naukowym i wdrożeniowym, na które chciałbym uzyskać odpowiedzi od Autora rozprawy:

1. Jakiego Autor mógłby sformułować pytania badawcze, na które odpowiada rozprawa doktorska?
Jakiego Autor uzyskał odpowiedzi na te pytania w wyniku przeprowadzonych badań?
2. Autor koncentrował się w rozprawie na doborze parametrów manipulatorów dla robotów mobilnych do zastosowań specjalnych. Na ile ogólna jest proponowana przez Autora metoda?
Czy są jakieś ograniczenia co do jej zastosowania ze względu na przeznaczenie manipulatorów, ich parametry itd.?

9. Podsumowanie i wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach stwierdzam, że:

- rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i jednocześnie oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej,

- opracowane w ramach doktoratu wdrożeniowego rozwiązanie nadaje się do praktycznego zastosowania i było przedmiotem wdrożenia w robocie mobilnym do zastosowań specjalnych,
- rozprawa potwierdza, że Kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Zatem recenzowana rozprawa spełnia warunki dla rozpraw doktorskich określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 poz. 1571).

Przedmiotowa rozprawa doktorska spełnia także zasady wyróżniania rozpraw doktorskich sformułowane przez Radę Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Mechaniczna” Wojskowej Akademii Technicznej w zakresie wyników pracy naukowej Kandydata, gdyż osiągnięcia Autora obejmują zarówno artykuły opublikowane w recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, jak i uzyskane patenty na wynalazki.

W związku z tym, biorąc pod uwagę poziom rozprawy, jej wdrożeniowy charakter i bardzo bogaty dorobek Kandydata rekomenduję wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

Maciej Trojedy