

Poznań, dnia 1 grudnia 2024 r.

Dr hab. inż. Olaf CISZAK, prof. PP  
Politechnika Poznańska  
Wydział Inżynierii Mechanicznej  
Instytut Technologii Mechanicznej  
ul. Piotrowo 3; 60-965 POZNAŃ

## **RECENZJA**

**rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jakuba Grabca  
pt.: *Badania konstrukcji układu posadowienia robota  
przemysłowego w celu optymalizacji własności  
dynamicznych systemu podstawa mocująca-robot-obiekt  
manipulowany***

***Promotor: Prof. dr hab. inż. Mirosław Pajor  
Promotor pomocniczy: dr inż. Paweł Wojciech Herbin***

Podstawa opracowania: pismo L. dz. WIMiM/285/2024 z dnia 01.10.2024 Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna dr. hab. inż. Krzysztofa Danileckiego nr oraz umowa o dzieło zawarta pomiędzy Zachodniopomorskim Uniwersytetem Technologicznym w Szczecinie reprezentowanym przez Prorektora ds. Nauki i Współpracy z gospodarką prof. dr. hab. inż. Karolem Fijałkowskim a dr. hab. inż. Olafem Ciszakiem, prof. Politechniki Poznańskiej – recenzentem.

### **1. UWAGI OGÓLNE I TREŚĆ ROZPRAWY**

Rozprawa doktorska o wymienionym wyżej tytule stanowi dwustronnie zapisany maszynopis A4, opatrzony klauzulą poufności, liczący łącznie 150 stron (także w wersji cyfrowej CD, wewnętrzna strona tylnej okładki). Zasadnicza treść pracy podzielona jest na rozdziały (rozdz. 1-8, s. 13-132), uzupełniona jest stroną tytułową (s. 1), dedykacją pracy wraz z podziękowaniami za pomoc w jej realizacji (s. 3), streszczeniami w j. polskim (s. 5) i j. angielskim (s. 6), wykazem skrótów i oznaczeń (s. 9), spisem treści (s. 11-12), wnioskami końcowymi (s. 133), wykazem literatury - bibliografią (s. 140-145), spisem rysunków (w sumie 78, s. 146-149) i tabel (w sumie 4, s. 150).

Treść pracy ujęto w 8. przedstawionych poniżej rozdziałach:

- *Wprowadzenie*, rozdz. 1 (s. 13-15), które stanowi wprowadzenie czytelnika w zagadnienia związane z tematyką pracy tj. roli robotyzacji na tle gospodarczej międzynarodowej konkurencyjności w aspekcie postępu technicznego w obecnym zglobalizowanym świecie wytwórczym. Autor potwierdza to statystykami World Robotics 2022 - Międzynarodowej Organizacji ds. Robotyki (International Federation of Robotics, www, ifr.org) wskazując na dominującą rolę robotyzacji w szeroko rozumianej automatyzacji produkcji, także w odniesieniu do trendów i przyszłych prognoz w tym obszarze. Doktorant podaje także, co jest obszarem zainteresowania i inspiracją podjęcia badań. W końcowej części, został sformułowany praktyczny aspekt podjętych badań: *„Robot przemysłowy posadowiony na specjalnie projektowanej podstawie wraz z przenoszonym ładunkiem tworzy system PRO (podstawa-robot-obiekt) o określonych charakterystykach dynamicznych. Konstrukcja podstawy zwykle pozostaje w gestii samego użytkownika końcowego robota. Właściwości dynamiczne podstawy w dużym stopniu determinują dynamikę całego systemu PRO.”* [s. 15]; W dalszej części rozdziału 1., jako podrozdziały, Doktorant przedstawia: *Klasyfikację robotów* (rozdz. 1.1, s. 16), *Roboty Delta* (rozdz. 1.2, s. 19), *Roboty Przemysłowe w Polsce i na Świecie* (rozdz. 1.3, s. 23) oraz przechodzi (w tym samym rozdziale) do analizy stanu wiedzy omawiając w poszczególnych rozdziałach: *Przegląd Stanu Zagadnienia* (rozdz. 1.4, s. 27) z podziałem na *Kształtowanie Profili Przyspieszeń* (rozdz. 1.4.1, s. 28), *Planowanie Trajektorii Ruchu* (rozdz. 1.4.2, s. 37), *Kształtowanie Własności Dynamicznych Konstrukcji* (rozdz. 1.4.3, s. 46) oraz *Aktywne i Pasywne Techniki Eliminacji Drgań* (rozdz. 1.4.4, s. 50). W końcowej części, na podstawie przeprowadzonej analizy literatury Autor wskazuje uzasadnienie podjętej tematyki w dysertacji: *„Na podstawie przeprowadzonej analizy literatury można stwierdzić, że nadal istnieje potrzeba badania zagadnień tłumienia drgań w zaawansowanych systemach robotycznych o dużej dynamice pracy. Dotychczasowe badania głównie koncentrują się na planowaniu trajektorii ruchu i wprowadzaniu zmian w parametrach generatorów trajektorii. Prace te choć niezmiernie interesujące mają mały praktyczny charakter wdrożeniowy z uwagi na zamkniętą strukturę systemów sterowania robotami przemysłowymi. Wiele prac koncentruje się na wprowadzaniu zmian konstrukcyjnych w samym robocie. Działania te również mają ograniczone możliwości wdrożeniowe dla potencjalnych instalatorów systemów robotycznych. Dostawcy robotów, pod rygorem utraty gwarancji, zabraniają wprowadzania zmian konstrukcyjnych w strukturze robota.*



*Jak wspomiano we wstępie ważnym elementem systemu robotycznego jest rama, na której montowane są roboty przemysłowe. Rama nośna jest elementem, który może być zmieniany przez integratorów systemów robotycznych i ma istotny wpływ na dynamikę robota. W literaturze tematu pojawiają się również prace w zakresie tłumienia drgań innych konstrukcji mechanicznych. Wielce interesujące wydaje się zatem podjęcie próby implementacji wybranych technik aktywnego i pasywnego tłumienia drgań w odniesieniu do podstawy nośnej robotów, w celu poprawy własności dynamicznych i minimalizacji drgań pracującego robota. [s.53-54];*

- *Cel pracy i Teza Pracy, rozdz. 2. (s. 55-58); Na podstawie przeprowadzonej analizy stanu wiedzy w przeglądzie literatury (rozdz. 1), Doktorant omawia motywację podjęcia analiz i badań „Główną motywacją dla powstania tej pracy było więc opracowanie takiego rozwiązania konstrukcyjnego podstawy dla robotów serii Delta, które wyeliminuje przedstawione wyżej problemy z drganiami.” [s. 56] oraz wymagania dla projektowanej podstawy dla zamocowania robota typu Delta. W dalszej części Autor sformułował podstawowy cel pracy tj.: „... zbadanie własności dynamicznych podstaw mocujących dla wybranych robotów przemysłowych, analiza ich wpływu na jakość pracy robotów oraz opracowanie skutecznej metody minimalizacji drgań systemu (PRO).” [s. 57] oraz przyjął hipotezę badawczą: „możliwa jest efektywna minimalizacja drgań systemu PRO (podstawa-robot-obiekt) poprzez zastosowanie podstawy mocującej robota o odpowiednio dobranych własnościach dynamicznych.” [s. 57] wraz z planem prac projektowo-badawczych (8. zadań) dla realizacji określonego wcześniej celu pracy, który: „umożliwi wskazanie rozwiązania układu tłumienia drgań podstawy robota, który będzie odpowiedni do zastosowań przemysłowych.” [s. 57-58];*
- *Projekt Podstawy Robota Delta (rozdz. 3., s. 59) w tym Projekt Konstrukcyjny (rozdz. 3.1, s. 59) oraz Budowę Modelu MES (rozdz. 3.2, s. 65) w rozdziałach tych Autor przedstawia charakterystykę techniczną (w tym budowę poszczególne części składowe, zastosowany materiał konstrukcyjny, jego postać itd.) zaprojektowanej ramy dla zamocowania robota równoległego (typu Delta) firmy Fanuc M3iA/6A. W drugiej części został zaprezentowany pierwszy etap badań modelowych polegający na zastosowaniu Metody Elementów Skończonych (MES), gdzie wykonano dyskretyzację modelu geometrycznego ramy z użyciem elementów skończonych typu CHEXA/CPENTA (sześciennie 8. węzłowe) oraz dla ramion robota CBAR (jednowymiarowe, 2. węzłowe) wraz z podaniem właściwości materiałów wchodzących w skład analizowanej struktury PRO, dalej*

dzięki zastosowanej redukcji metodą Guyana, autor uzyskał wyniki obliczeń za pomocą programu Nastran Solver (SOL108) w formie wykresów (porównanie wybranych recepcji dla ramy i ramy z zamocowanym robotem w kierunkach X, Y i Z) oraz grafik prezentujących postać drgań ramy robota (bez i z zainstalowanym robotem) dla wybranych częstotliwości; *Badania Doświadczalne Podstawy Robota Delta* (rozdz. 4, s. 76), które obejmowały testy eksperymentalne dynamiki konstrukcji ramy nośnej z robotem (*Badania Modalne Konstrukcji*, rozdz. 4.1, s. 76) w formie testu impulsowego za pomocą młota modalnego Kistler (1,5 kg) w 3. prostopadłych kierunkach przeprowadzone w celu weryfikacji wcześniej opracowanych modeli elementów skończonych. Walidacja MES (rozdz. 4.2, s. 82), gdzie częstości drgań własnych wyznaczonych w analizie modelu elementów skończonych zostały porównane z wynikami badań eksperymentalnych (rozdz. 4.1), a jako parametr określający zgodność częstotliwości drgań własnych został zdefiniowany jako błąd względny  $\delta$ .

- *Badania Możliwości Wykorzystania Aktywnych Metod Tłumienia Drgań Podstawy Robota Delta* (rozdz. 5. (s. 85-95), w poszczególnych podrozdziałach omówiono *Budowę stanowiska badawczego* (rozdz. 5.1, s. 85) z aktywnym eliminatorem drgań (bezwładnościowy, połączony z konstrukcją ramy za pomocą siłownika elektromagnetycznego). Badania zostały zrealizowane w środowisku szybkiego prototypowania systemów sterowania Matlab-Simulink/dSPACE w technologii Hardware-in-the-Loop. W drugiej części badań przedstawiono *Zastosowanie Konwencjonalnego Regulatora PID Do Aktywnego Tłumienia Drgań Ramy* (rozdz. 5.2, s. 88), gdzie podjęto próbę zastosowania tradycyjnego regulatora PID do sterowania aktywnym eliminatorem w formie wzbudnika elektromagnetycznego a badania przeprowadzono z ponownie zastosowaniem technologii Hardware-in-the-Loop. Ze względu na problemy z dostrojeniem regulatora PID (rozdz. 5.2), Autor zaproponował zastosowanie do sterowania aktywnym eliminatorem drgań regulator LQG (Linear Quadratic Gaussian) (*Zastosowanie Regulatora LQG Do Aktywnego Tłumienia Drgań Ramy*, rozdz. 5.3, s. 91); *Badania Możliwości Wykorzystania Pasywnych Metod Tłumienia Drgań Podstawy Robota Delta*, rozdz. 6. (s. 96-112); przedstawione zostały wyniki badań i testów z zastosowaniem pasywnych eliminatorów drgań, w pracy, z wypełnieniem polimerobetonem M05. W rozdziale zawarto: *Badania Materiału Polimerobetonowego Do Pasywnego Tłumienia Ramy* (rozdz. 6.1, s. 96), badań symulacyjnych skuteczności pasywnego eliminatora drgań z zastosowaniem modeli MES opisane w kolejnych rozdziałach: *Budowa Modelu MES z*



*Pasywnym Tłumieniem Drgań* (rozdz. 6.2, s. 100), *Badania Modalne Konstrukcji z Pasywnym Tłumieniem Drgań* (rozdz. 6.3, s. 105) i *Walidacja MES z pasywnym tłumieniem drgań* (rozdz. 6.4, s. 109) prowadzone według schematu postępowania z zastosowaniem metod i narzędzi jak w rozdziałach wcześniejszych.

- *Doświadczalna Weryfikacja* (rozdz. 7, s. 113), gdzie omówiona została *Problematyka Pomiaru Drgań Układu Wykonującego Duże Ruchy Kinematyczne* (rozdz. 7.1, s. 113) w oparciu o zastosowanie w badaniach drgań konstrukcji opracowanej ramy aparatury pomiarowej takiej jak: interferometr laserowy, Lasertracker, szybka kama wizyjna, wibrometr laserowy oraz zestaw czujników akcelerometrycznych. *Badania Pracą Skuteczności Działania Pasywnego Eliminatora Drgań* (rozdz. 7.2, s. 117) zostały zrealizowane w dziedzinie częstotliwości dla dwóch różnych trajektorii ruchu chwytaka robota z maksymalnymi dopuszczalnymi prędkościami ruchu i przyspieszenia.
- *Analiza Porównawcza Metod Aktywnych i Pasywnych Tłumienia Drgań Podstawy Robota Delta* (rozdz. 8, s. 128), którą przeprowadzono za pomocą określenia błędu względnego maksymalnej amplitudy drgań ramy bez i z eliminatorem (zależność 8.1, s. 131).
- *Wnioski Końcowe* (rozdz. 9, s. 133) bez podziału na część ogólną oraz wnioski poznawcze, rezultaty praktyczne i kierunki dalszych badań oraz *Doktorat Wdrożeniowy* (rozdz. 9.1, s. 137) przedstawiający współpracę z firmą Fanuc Polska Sp. z o.o. w zakresie realizacji tematu pracy doktorskiej oraz o efekcie wdrożeniowym, jakim jest **wprowadzenie do jej oferty handlowej firmy Fanuc Polska Sp. z o.o. nowej rodziny ram o budowie modułowej z regulowaną wysokością pierścienia do zamocowania robota typu Delta.**
- *Bibliografia*, s. 140-145, obejmuje 65 pozycji uszeregowanych zgodnie z kolejnością odwołań w tekście pracy, bez podziału na pozycje książkowe, publikacje naukowe, materiały informacyjne, katalogi, materiały internetowe itp.;

**Doktorant nie jest autorem lub współautorem w żadnej z publikacji wymienionej w bibliografii.**

- *Spis rysunków* (s. 146-149) – 78 pozycji;
- *Spis tabel* (s. 206-210) – 4 pozycje.

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską, stwierdzam, że układ pracy i podział treści jest w ogólności prawidłowy. Niemniej zwracam uwagę, że brak jest wyróżnienia zasadniczego (głównego) rozdziału dotyczącego analizy literatury, prowadzącego Autora do określenia tzw. „luki badawczej”, która powinna stanowić o obszarze badawczym podejmowanym w dysertacji.





Aktualnie rolę tę pełni rozdział (w zasadzie podrozdział) 1.4, który wchodzi w skład rozdziału 1 (*Wprowadzenie*), z mojego punktu widzenia jest to nietypowe podejście.

## **2. OCENA PODJĘTEGO PROBLEMU BADAWCZEGO, CELU I ZAKRESU ROZPRAWY**

Problematyka rozprawy związana jest z tematyką zamocowania (posadowienia) robotów przemysłowych typu Delta o zamkniętej równoległej strukturze kinematycznej. Jest to zagadnienie niezwykle istotne z punktu widzenia eksploatacyjnego pracy zrobotyzowanego stanowiska, tj. zapewnienia precyzji (dokładności i powtarzalności) pozycjonowania zainstalowanego w interfejsie mechanicznym robota przemysłowego efektora (TCP) na wykonywane zadania manipulacyjne lub technologiczne na stanowisku produkcyjnym.

Współczesne, nowoczesne, zrobotyzowane systemy produkcyjne zapewniają krótkie czasy obsługi czynności operacyjnych, wysoką precyzję i niezawodność oraz dokładność działania. Istotną rolę w budowie zrobotyzowanych stanowisk produkcyjnych, głównie w operacjach Pick&Place, odgrywają roboty o przestrzennej zamkniętej strukturze równoległej. Manipulatory równoległe charakteryzują się m.in. znacznie większym udźwigniem jednostkowym, określanym jako stosunek dopuszczalnej wielkości masy przedmiotu manipulowanego do masy części manipulatora biorącej udział w ruchu oraz większymi: przyspieszeniami, prędkościami a także dokładnością pozycjonowania i orientacji, niż rozwiązania z otwartymi łańcuchami kinematycznymi. Powoduje to zwiększenie sztywności manipulatora, często przy jednoczesnym zmniejszeniu masy jego części ruchomych. Roboty typu Delta w podstawowej strukturze posiadają układ który jest równoległowodem przestrzennym o trzech stopniach swobody, co oznacza to, że dowolny ruch platformy ruchomej jest translacją (platforma ruchoma w swoim ruchu przestrzennym nie zmienia orientacji katowej względem bezwzględnego układu odniesienia  $x, y, z$ , inaczej: pozostaje pozioma i jednocześnie nie ma możliwości obrotu względem osi pionowej). Roboty pracujące w zakresie górnych granic przyspieszeń (ok.  $100 \text{ mm/s}^2$  lub wyższe), niestety generują drgania (start, stop, nawroty), które mają wpływ na dokładność pozycjonowania oraz są przenoszone na inne powiązane elementy konstrukcyjne stanowiska, co niekorzystnie wpływa na eksploatację oraz parametry dokładnościowe pozycjonowania (w tym czas pozycjonowania) i w konsekwencji poprawności realizacji zadań operacyjnych. Stąd też bardzo ważne i istotne jest zapewnienie odpowiedniego (ograniczającego powstanie i przenoszenie drgań) zamocowania robota przemysłowego do miejsca jego posadowienia, bezpośrednio lub za pomocą specjalnej ramy (czasami kolumny, wysięgnika).



W tym kontekście podjęcie przez Doktoranta tematyki dysertacji uważam za uzasadnione i celowe.

### **OCENA TYTUŁU I CELU PRACY**

**Tytuł** pracy ***Badania konstrukcji układu posadowienia robota przemysłowego w celu optymalizacji własności dynamicznych systemu podstawa mocująca-robot-obiekt manipulowany*** sugeruje czytelnikowi analizę wybranej konstrukcji ramy pośredniej służącej zamocowaniu robota przemysłowego w celu przeprowadzenia badań własności dynamicznych układu rama-robot-obiekt manipulowany.

Po zapoznaniu się z tekstem pracy, uważam, że podjęcie tematyki niniejszej pracy jest w pełni uzasadnione, potrzebne i może się przyczynić do praktycznego rozwoju w obszarze konstrukcji ram służących do zamocowania robotów przemysłowych (tutaj dla robotów typu Delta), szczególnie w obszarze aplikacyjnym. W tym aspekcie jednoznacznie pozytywnie oceniam temat rozprawy.

**Cel pracy** tj.: „... zbadanie własności dynamicznych podstaw mocujących dla wybranych robotów przemysłowych, analiza ich wpływu na jakość pracy robotów oraz opracowanie skutecznej metody minimalizacji drgań systemu (PRO).” [s. 57] oraz hipotezę badawczą: „możliwa jest efektywna minimalizacja drgań systemu PRO (podstawa-robot-obiekt) poprzez zastosowanie podstawy mocującej robota o odpowiednio dobranych własnościach dynamicznych.” [s. 57] , uznaję za ambitny i oceniam pozytywnie.

Do osiągnięcia wymienionego celu Autor zaproponował plan prac projektowo-badawczych, który: „umożliwi wskazanie rozwiązania układu tłumienia drgań podstawy robota, który będzie odpowiedni do zastosowań przemysłowych.” [s. 57-58], który jako logiczny i zasadny, oceniam pozytywnie.

### **3. MERYTORYCZNA I REDAKCYJNA OCENA ROZPRAWY**

#### **Ocena merytoryczna**

Uwzględniając charakterystykę pracy (rodz. 1) oraz jej merytoryczną zawartość stwierdzam, że przedstawione w rozprawie studia literaturowe oraz przeprowadzone badania eksperymentalne pozwoliły Autorowi osiągnąć założony cel pracy. Pragnę, w tym miejscu podkreślić nie tylko teoretyczny i eksperymentalny aspekt pracy doktorskiej ale również jej potencjał aplikacyjny oraz zapewne znaczny nakład czasu pracy Doktoranta.

Do oryginalnych osiągnięć Doktoranta zaliczam (opracowanie, wykonanie i przedstawienie):

- Modułowej konstrukcji ramy do zamocowania robotów typu Delta;

- Modeli dyskretnych układu Rama-Robot-Obiekt manipulowany oraz ich badania i eksperymenty symulacyjne za pomocą MES;
- Zastosowanie materiału plimerobetonowego do pasywnego tłumienia drgań ramy mocującej robota typu Delta;
- Doświadczalną weryfikację (badania modalne, budowę stanowisk badawczych) dla opracowanej konstrukcji ramy nośnej z aktywnym i pasywnym tłumieniem drgań, w tym końcowe *Badania Pracą Skuteczności Działania Pasywnego Eliminatora Drgań* [rozd. 7.2, s. 117] (w zasadzie najistotniejsze dla dysertacji, gdzie testom podlega realizowany ruch robota i jego wpływ na drgania układu PRO);

Do zauważonych niedociągnięć, wątpliwości i uwag o charakterze dyskusyjnym, jest ich niewiele, zaliczam:

- Przyjęcie *a priori* określonej konstrukcji ramy pośredniej do zamocowania robota typu Delta – niestety nie zostało to poprzedzone przeglądem i analizą dostępnych i stosowanych w praktyce rozwiązań konstrukcyjnych tego typu ram wraz z ich oceną z punktu widzenia tematyki pracy i ustaleniem wytycznych dla autorskiego rozwiązania (Doktorant pisze o pracach poczynionych dla potrzeb realizacji pracy doktorskiej pracach projektowo-konstrukcyjnych [s. 59]).
- W połączeniach elementów konstrukcyjnych ramy nośnej zastosowano połączenia śrubowe, zatem: czy są to połączenia pasowane czy tzw. „luźne” z lub bez elementu ustalającego i czy np. zastosowano jednakowy moment dokręcenia?
- Jak wiadomo, stacjonarne roboty przemysłowe posiadają w swoim łańcuchu kinematycznym ogniwo nieruchome (tzw. ostoja) definiowane/nazywane podstawą - służące do jego zamocowania, zatem czy prawidłowe jest nazywanie opracowanej konstrukcji ramy (służącej do jego zamocowania) podstawą (tytuł rozdziału 3. Projekt podstawy robota Delta, s. 59)?
- Czy przeprowadzono próby i ewentualne badania ograniczenia wpływu przyspieszenia i opóźnienia w trakcie realizacji ruchu (instrukcji pozycjonowania) w sterowaniu Fanuc za pomocą dostępnego parametru ACC, co odpowiadałoby podejściu redukcji/eliminacji drgań przedstawionej w rozdziałach: 1.4.1 *Kształtowanie Profili Przyspieszeń* i 1.4.2. *Planowanie Trajektorii Ruchu* [s. 39]?
- Czy w rozdz. 7.2 *Badania Pracą Skuteczności Działania Pasywnego Eliminatora Drgań* w trakcie badań doświadczalnych zastosowano obciążenie robota? Jeżeli tak, to jakiej wartości? a jeżeli nie to dlaczego?

Pomimo zauważonych niedociągnięć, stwierdzam, że przeprowadzone studia literaturowe oraz badania eksperymentalne pozwoliły Autorowi osiągnąć założony cel, czyli opracowanie konstrukcji ramy nośnej z pasywną



eliminacją drgań dla zamocowania robota przemysłowego typu Delta, co zostało potwierdzone w badaniach doświadczalnych uzyskując zmniejszenie maksymalnej amplitudy drgań ramy o ponad 65% - zatem, ocena rozprawy jest pozytywna, przy czym dalsze badania należy zaplanować i przeprowadzić bardzo skrupulatnie.

### **Ocena redakcyjna**

Ogólną strukturę podziału treści, omówiono w pkt. 1. Stwierdzam, że jest ona, w ogólności, prawidłowa. Niemniej, uważam, że powinien zostać wyodrębniony rozdział (jako główny) dotyczący przeglądu i analizy literatury (w dysertacji jest to rozdz. 1.4 *Przegląd Stanu Zagadnienia* do poziomu rozdziału np. np. 2.) oraz zmiana kolejności dla rozdziału 1.3 *Roboty przemysłowe w Polsce i na świecie*, który to, moim zdaniem, powinien znaleźć się w rozdziale 1. *Wprowadzenie* przed podrozdziałem 1.1 *Klasyfikacja Robotów*.

W recenzowanym tekście pracy zauważyłem błędy formalne związane ze składem i formatowaniem tekstu, odbiegające od przyjętych standardów i zaleceń. Do najważniejszych zaliczam:

- Nagminne stosowanie „czy” jako łącznika w zdaniu, gdy nie występuje zdanie podrzędne o charakterze pytajnym;
- Terminologia, np.: w jakim znaczeniu zostało użyte słowo „waga”, gdy Doktorant pisze: „...oraz z ich lekkiej wagi w porównaniu do masy całego robota (szczególnie podstawy górnej)” [s. 19] oraz inne terminy jak robot, manipulator, ilość, liczba lub np. stwierdzenie: „poważniejszego przeglądu” [20] a także „... złapaniem elementu” [s. 56] i inne?
- Brak jednoznaczności w zapisie liczb (w odniesieniu do tysięcy) i ich wartości dziesiętnych (Autor stosuje: i kropkę, i przecinek) i to czasami w jednej tabeli, np. Tabela 3.3.1 [s. 66].
- zapisy np: „Na rys. 7.2 .....” na początku zdania, zamiast: „Na rysunku 7.2 ...”, ewentualnie skrót *rys.* w dalszej części zadania;
- Nietypowy schemat formatowania tekstu pracy w odniesieniu do numerowanych rozdziałów, podrozdziałów, rysunków i tabel:
  - w rozdziałach (głównych) po numerze występuje „kropka” w podrozdziałach już nie,
  - opis rysunków – bez interpunkcji „kropki” po numerze, a opis rozpoczyna się z dużej litery lub „kropki” na końcu opisu,
  - opisu tabel (opis pod tabelą) i interpunkcja jak w odniesieniu do opisów rysunków;
- Słaba jakość niektórych rysunków lub ich fragmentów (czytelność), np. 1.1.2, 1.1.3;



- Bardzo rzadko zdarzają się w tekście błędy związane z: interpunkcją, literówkami, spacjami (np. zapis liczb z jednostkami), styl, powtórzenia wyrazów w jednym zdaniu;

Z wymienionych przeze mnie niedociągnięć i błędów wynika, że staranność opracowania rozprawy pod względem merytorycznym i redakcyjno-edytorskim można ocenić jako dobrą. Zauważone niedociągnięcia, wynikają jak sądzę, z pośpiechu lub zmęczenia przy redagowaniu pracy i stosowaniu odmiennych wzorców formatowania tekstu niż te powszechnie przyjęte dla prac w obszarze techniki.

#### **4. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY**

W wyniku dokonanej recenzji, pozytywnie oceniam rozprawę doktorską Pana mgr. inż. Jakuba Grabca. Stwierdzam, że uwagi merytoryczne, niektóre być może dyskusyjne, a także dostrzeżone przeze mnie niedociągnięcia redakcyjne przyczynią się do podniesienia wartości poznawczej i użytecznej przeszłej działalności publikacyjnej.

Opiniowana dysertacja jest istotnym studium, które wnosi znaczący wkład w dziedzinę inżynierii mechanicznej – budowy zrobotyzowanych stanowisk wyposażonych w roboty typu Delta. Testy, badania i analizy przeprowadzone przez Autora świadczą o wysokim, dobrym poziomie merytorycznym pracy i noszą, co podkreślam, aspekty aplikacyjne w zastosowaniach przemysłowych i pozaprzemysłowych.

Biorąc pod uwagę wszystkie przedstawione argumenty oraz dokonane przez Autora opracowanie tematu, z pełnym przekonaniem stwierdzam, że rozprawa doktorska p. mgr. inż. Jakuba Grabca pt.: *Badania konstrukcji układu posadowienia robota przemysłowego w celu optymalizacji własności dynamicznych systemu podstawa mocująca-robot-obiekt manipulowany* spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez Ustawę *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dn. 20 lipca 2018 r. (z późn. zmianami, Dz. U. 2024 poz. 1571) i może być dopuszczona do publicznej obrony.

