Prof. dr hab. inż. Leszek Podsędkowski

Politechnika Łódzka

Wydział Mechaniczny

Łódź, 05.09.2026 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Pauliny Pietruś

zatytułowanej

„Badanie wpływu konfiguracji robota przemysłowego na drgania rezonansowe”

Recenzja została opracowana na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej, prof. dr hab. inż. Andrzeja Burghardta, przekazanego zgodnie z uchwałą tej Rady z dnia 17 czerwca 2026 r.

Recenzję wykonano zgodnie z wymogami ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

1. Ocena układu rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgr inż. Pauliny Pietruś pod tytułem „Badanie wpływu konfiguracji robota przemysłowego na drgania rezonansowe” została opracowana na Politechnice Rzeszowskiej w 2026 roku. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Piotr Gierlak, prof. Politechniki Rzeszowskiej, natomiast promotorem pomocniczym dr hab. inż. Dariusz Szybicki, prof. Politechniki Rzeszowskiej. Praca liczy 151 stron, w tym 109 stron głównego tekstu rozprawy. Za głównym tekstem znajdują się: bibliografia licząca 142 pozycje, cztery dodatki oraz spisy ilustracji i tabel. Objętość rozprawy jest standardowa dla tego typu opracowań w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych.

W rozdziale pierwszym autorka przedstawiła ogólne wprowadzenie do problematyki wykorzystania robotów przemysłowych w procesach technologicznych, ze szczególnym uwzględnieniem ich zastosowania w operacjach obróbczych. Wskazała na różnice pomiędzy robotami przemysłowymi a klasycznymi obrabiarkami CNC, zwłaszcza w zakresie sztywności konstrukcji i podatności na występowanie zjawisk drganiowych. Uzasadniła również wybór analitycznego podejścia do modelowania dynamiki manipulatora.

W rozdziale drugim autorka przedstawiła analizę istniejących rozwiązań. Omówiła metody budowy modeli dynamicznych manipulatorów, rodzaje drgań występujących w robotach przemysłowych, metody identyfikacji modalnej oraz sposoby pomiaru drgań. W końcowej części rozdziału wskazała lukę badawczą dotyczącą kompleksowego uwzględnienia podatności przegubów, elementów mocujących oraz osprzętu pomiarowego w analizie właściwości drganiowych manipulatora.

Rozdział trzeci zawiera motywację podjęcia badań, określenie celu i zakresu pracy oraz zestawienie jej oryginalnych elementów. Autorka sformułowała główny cel pracy oraz cztery szczegółowe cele badawcze związane z opracowaniem modelu analitycznego, analizą właściwości dynamicznych robota, oceną jakości uproszczonego modelu matematycznego oraz eksperymentalną walidacją uzyskanych wyników.

W rozdziale czwartym autorka przedstawiła model manipulatora przemysłowego ABB IRB 1600. Przyjęła płaski model trójczłonowego ramienia, rozbudowany o system mocowania czujnika, czujnik siły i momentu oraz narzędzie. W modelu uwzględniła podatność trzech przegubów robota, systemu mocowania czujnika oraz samego czujnika. Opis kinematyki został sformułowany z wykorzystaniem notacji Denavita-Hartenberga, natomiast dynamiczne równania ruchu wyprowadzono metodą Eulera-Lagrange'a. W dalszej części rozdziału przedstawiono sposób wyznaczenia parametrów fizycznych modelu z zastosowaniem metod eksperymentalnych i numerycznych.

Rozdział piąty poświęcony jest rozwiązaniu analitycznemu opracowanego modelu. Autorka dokonała linearyzacji równań ruchu, a następnie wyznaczyła pięć częstotliwości drgań własnych oraz odpowiadające im postacie drgań. Przeanalizowała zależność częstotliwości własnych od konfiguracji manipulatora określonej przez wartości dwóch współrzędnych kątowych.

W rozdziale szóstym przedstawiono analizę numeryczną bazującą na nieliniowej postaci równań ruchu. Na podstawie wyników symulacji i ich analizy częstotliwościowej autorka wyznaczyła widma drgań poszczególnych członów manipulatora oraz określiła wpływ konfiguracji ramienia robota na położenie i intensywność pasm rezonansowych.

Rozdział siódmy zawiera opis stanowiska badawczego oraz przeprowadzonych badań eksperymentalnych. Badania wykonano z wykorzystaniem robota ABB IRB 1600/1.45, akcelerometru piezoelektrycznego, młotka modalnego oraz systemu wizyjnego z oprogramowaniem do amplifikacji ruchu. Autorka przeprowadziła pomiary dla różnych konfiguracji manipulatora, analizując widma przyspieszeń i przemieszczeń drgań. Zastosowanie dwóch niezależnych metod pomiarowych umożliwiło również porównanie uzyskanych rezultatów.

W rozdziale ósmym autorka porównała częstotliwości drgań wyznaczone na podstawie modelu analitycznego i numerycznego z wynikami badań eksperymentalnych. Oceny zgodności dokonała na podstawie błędów względnych. W dalszej części rozdziału zestawiła postacie drgań otrzymane na podstawie modelu z wynikami pomiarów wykonanych przy użyciu systemu wizyjnego.

Ostatni rozdział zawiera podsumowanie pracy, wnioski końcowe oraz propozycje dalszych kierunków badań. Autorka wskazała między innymi na potrzebę rozszerzenia modelu o zjawiska tłumienia, interakcję manipulatora z otoczeniem, wpływ parametrów procesu obróbki oraz możliwość optymalizacji trajektorii ze względu na unikanie rezonansów.

Układ rozprawy jest logiczny i odpowiada typowej strukturze prac doktorskich w dyscyplinie inżynierii mechanicznej. Narracja prowadzona jest od przeglądu stanu wiedzy, poprzez sformułowanie i rozwiązanie modelu analitycznego, jego badania numeryczne, aż do weryfikacji eksperymentalnej.

2. Ocena zastosowanego piśmiennictwa

Piśmiennictwo dobrze pokrywa zakres tematyczny rozprawy doktorskiej, a znaczna liczba prac opublikowanych w ostatnich latach wskazuje na aktualność analizowanego zagadnienia. Za

wartościowe należy uznać uwzględnienie publikacji dotyczących zależności parametrów modalnych od konfiguracji robota oraz stateczności zrobotyzowanych procesów obróbczych. Dobór literatury pozwolił autorce właściwie osadzić prowadzone badania w aktualnym stanie wiedzy oraz wskazać praktyczne znaczenie analizowanego problemu. Przegląd literatury obejmuje 142 pozycje, z czego ponad 40%, opublikowano w latach 2020-2026.

Pewne zastrzeżenia budzi sposób sformułowania luki badawczej. Autorka wskazuje na brak kompleksowych badań uwzględniających jednocześnie podatność przegubów, elementów mocujących i osprzętu pomiarowego. Jednocześnie z przytoczonego piśmiennictwa wynika, że modelowanie robotów z podatnymi złączami oraz analiza zależności ich właściwości dynamicznych od konfiguracji są zagadnieniami szeroko opisanymi. Wskazana luka badawcza powinna być zatem sformułowana bardziej precyzyjnie, zwłaszcza w odniesieniu do konkretnej struktury modelu, badanego robota oraz przyjętego sposobu walidacji. Przykładowo, praca [124] Bottin M., Cocuzza S., Comand N., Doria A., „Modeling and Identification of an Industrial Robot with a Selective Modal Approach", Applied Sciences, 2020, 10(13), 4619 zawiera metodykę postępowania i sposób analizy bardzo zbliżone do rozwiązania przedstawionego przez doktorantkę jako trzeci oryginalny element pracy. W publikacji tej zastosowano przy tym model przestrzenny robota z podatnymi przegubami, uwzględniający również tłumienie, i wykorzystano go do przewidywania zmian częstotliwości własnych w przestrzeni roboczej. Proszę doktorantkę o doprecyzowanie podczas obrony obszarów innowacji swojej pracy.

3. Ocena celu i tezy pracy

W trzecim rozdziale doktorantka opisała motywację, cel i zakres pracy. Są one wzajemnie spójne i wynikają z przedstawionej motywacji podjęcia badań. Z treści pracy wynika, że prowadzona analiza jest fragmentem większych badań dotyczących możliwości i ograniczeń prowadzenia prac obróbki skrawaniem za pomocą robota. Z tego wynikała potrzeba opracowania modelu konkretnego robota zamiast odkrywania zjawisk i metod o bardziej fundamentalnej naturze. Zawartość pracy i jej elementy oryginalne są więc podporządkowane wynikającemu z tych badań celowi.

Opisane w rozdziale 3.4 elementy innowacyjne pracy są jednak, zwłaszcza w kontekście cytowanej literatury (o czym pisałem wcześniej), sformułowane zbyt szeroko, np. sformułowanie „w całym zakresie zmian współrzędnych złączowych" jest zdecydowanie zbyt optymistyczne, skoro zmieniano tylko dwie zmienne: β_2 i β_3.

Istotnym mankamentem przejrzystości koncepcji badawczej jest brak wyraźnie sformułowanej tezy pracy. Co prawda, ustawa „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce" nie wymaga formalnie formułowania tezy, ale tradycyjne podejście traktuje tezę pracy jako jej istotny element. W związku z tym prosiłbym doktorantkę o próbę sformułowania tezy w trakcie obrony.

4. Ocena metod badawczych i wyników badań

Zdecydowaną zaletą pracy jest wykorzystanie szerokiego zakresu metod badawczych. Doktorantka zamodelowała strukturę mechaniczną robota z uwzględnieniem podatności przegubów, przeprowadziła linearyzację równań ruchu, a następnie rozwiązała wynikające z nich zagadnienie własne, wyznaczając częstotliwości i postacie drgań własnych. Niezbędne parametry modelu poprawnie zidentyfikowała, stosując zarówno metody doświadczalne (do określenia sztywności), jak i modelowanie CAD (do określenia mas i momentów bezwładności).

W kolejnym rozdziale pokazała umiejętność modelowania numerycznego drgań z wykorzystaniem modelu nieliniowego – przed wprowadzeniem uproszczeń pozwalających na linearyzację. W części doświadczalnej zbudowała stanowisko laboratoryjne i zaprezentowała kompetencje w zakresie stosowania zaawansowanych metod pomiarowych z wykorzystaniem akcelerometru piezoelektrycznego, młotka modalnego i kamery do wyznaczania mikroprzemieszczeń.

Przyjęty model jest spójny matematycznie i umożliwia analizę wpływu wybranych współrzędnych konfiguracyjnych na częstotliwości własne układu. Jego zakres jest jednak węższy niż zakres sugerowany przez deklarowane zastosowania wyników. Model opisuje drgania w jednej płaszczyźnie, pomija tłumienie, odkształcenia członów, część podatności przegubowych oraz oddziaływanie układu sterowania. Nie obejmuje również sił występujących podczas procesu technologicznego. Uzyskane wyniki należy zatem odnosić przede wszystkim do wybranych postaci drgań badanego układu robotycznego, a nie do pełnej przestrzennej dynamiki robota podczas obróbki.

W pracy brakuje mi dokładniejszego uzasadnienia przyjęcia modelu płaskiego w kontekście przyszłego zastosowania wyników. Czy wynika to z faktu, że w późniejszej obróbce z wykorzystaniem robota główne wymuszenia będą właśnie w tej płaszczyźnie albo we wcześniejszych badaniach stwierdzono znacznie większą sztywność przegubu 1 i drgania wokół tego przegubu uznano za nieistotne?

Na pozytywną ocenę zasługuje wykorzystanie kilku niezależnych sposobów określania parametrów modelu. Masy i momenty bezwładności wyznaczono na podstawie modeli CAD, natomiast sztywności określano metodami eksperymentalnymi i numerycznymi. W pracy nie przeprowadzono jednak pełnej oceny wiarygodności tych parametrów ani ich wpływu na wyniki końcowe. Jest to szczególnie istotne w odniesieniu do sztywności zastępczych przegubów, które mogą zależeć od konfiguracji, kierunku obciążenia, luzów przekładniowych i stanu układu napędowego. Przyjęcie stałych wartości sztywności w całym analizowanym zakresie konfiguracji wymagałoby szerszego uzasadnienia.

Uzyskane wyniki potwierdziły, że opracowany uproszczony model liniowy jest wystarczająco dokładny do wyznaczania częstotliwości drgań własnych i uzyskane tą metodą częstotliwości wystarczająco dokładnie odpowiadają częstotliwościom własnym zidentyfikowanym eksperymentalnie po wzbudzeniu impulsowym. Uzyskany rezultat należy określić jako istotny z naukowego i potencjalnie również z utylitarnego punktu widzenia, gdyż opracowany model może stanowić podstawę do rozbudowy oprogramowania planującego trajektorie robota w sposób ograniczający możliwość zbliżania się częstotliwości wymuszeń do częstotliwości własnych układu.

W tym miejscu należy jednak zaznaczyć pewną nieścisłość w nomenklaturze stosowanej przez doktorantkę. O ile w rozdziale 5 poprawnie opisuje uzyskane rozwiązania jako częstotliwości drgań własnych, to w rozdziale 6 i 7 posługuje się terminem „częstotliwości rezonansowe”, chociaż analizowane zjawisko to drgania swobodne i analizowano odpowiedź swobodną układu, wywołaną zadanymi warunkami początkowymi, a w części eksperymentalnej odpowiedź po krótkotrwałym wzbudzeniu impulsowym. Ta różnica w nomenklaturze powinna być dokładniej wyjaśniona, a posługiwanie się terminem „częstotliwości rezonansowe” uzasadnione.

Do mankamentów pracy należy zaliczyć brak analizy niepewności pomiarowej oraz miejscami zbyt daleko posunięte i nieuzasadnione wnioski z analizowanych zjawisk. Przykładowo na stronie 64 doktorantka napisała na podstawie analizy numerycznej drgań swobodnych „można więc stwierdzić, że zmiana wartości β_2 wpływa nie tylko na położenie pasm rezonansowych ale także

na ich intensywność". Doktorantka pominęła w tym momencie możliwość innej przyczyny zmiany amplitudy drgań swobodnych jaką może być np. zmiana, wraz ze zmianą kąta β_2, dopasowania wymuszenia warunkami początkowymi do konkretnej postaci drgań. Interpretując brak albo niewielką amplitudę określonych składowych widma, należy uwzględnić przestrzenne rozmieszczenie wymuszenia i punktów pomiarowych. Postać drgań może nie zostać skutecznie wzbudzona, jeżeli siła działa w pobliżu jej węzła albo w kierunku słabo z nią związanym. Podobnie czujnik może nie rejestrować określonego modu, jeżeli jest umieszczony w punkcie o niewielkiej amplitudzie tej postaci. Brak wyraźnego piku nie jest więc równoznaczny z brakiem odpowiadającej mu częstotliwości własnej.

W pracy niewystarczająco omówiono możliwy wpływ układu sterowania robota na zidentyfikowane właściwości dynamiczne. W zależności od stanu napędów, działania hamulców i nastaw regulatorów, efektywna sztywność oraz tłumienie mogą różnić się od właściwości samego układu mechanicznego. Informacje o trybie pracy robota podczas badań i jego wpływie na odpowiedź modalną powinny zostać przedstawione jako część warunków eksperymentu.

W pracy należy pochwalić rzetelność i kompleksowość oceny uzyskanych wyników. Na szczególną uwagę zasługuje np. fakt wykrycia w badaniach doświadczalnych dodatkowej składowej częstotliwościowej około 28 Hz w eksperymentalnej odpowiedzi układu. Po jej wykryciu doktorantka podjęła próbę wskazania założeń i uproszczeń przyjętego modelu, które mogły być odpowiedzialne za niewystępowanie tej częstotliwości w wynikach analiz analitycznych i numerycznych.

Zastosowanie systemu wizyjnego do obserwacji niewielkich przemieszczeń stanowi wartościowe uzupełnienie pomiarów akcelerometrycznych, zwłaszcza podczas jakościowej identyfikacji postaci drgań. W pracy należałoby jednak szerzej omówić ograniczenia tej metody, w tym rozdzielczość przestrzenną i czasową, sposób kalibracji, wpływ amplifikacji ruchu oraz czułość na przemieszczenia prostopadłe do płaszczyzny obrazu. Uzyskane obrazy stanowią przekonującą ilustrację postaci drgań, lecz bez pełnej oceny metrologicznej nie powinny być traktowane jako równoważne z przestrzennym pomiarem przemieszczeń.

5. Możliwości praktycznego zastosowania wyników badań

Uzyskane wyniki mają istotny potencjał praktycznego zastosowania w planowaniu trajektorii robotów przemysłowych realizujących procesy technologiczne, w szczególności operacje obróbki skrawaniem. Opracowany model umożliwia wyznaczanie częstotliwości drgań własnych robota w zależności od jego konfiguracji, a tym samym pozwala identyfikować położenia manipulatora, w których częstotliwości wymuszeń procesowych mogą zbliżać się do częstotliwości własnych układu. Po zintegrowaniu modelu z oprogramowaniem służącym do planowania ruchu możliwe byłoby uwzględnienie właściwości dynamicznych robota jako dodatkowego kryterium wyboru trajektorii, obok czasu realizacji zadania, dostępności przestrzeni roboczej, ograniczeń kinematycznych i unikania kolizji. Wyniki pracy mogą być również przydatne podczas wyboru położenia przedmiotu obrabianego względem robota, doboru konfiguracji manipulatora dla określonych fragmentów ścieżki oraz oceny wpływu narzędzia, czujnika i ich mocowania na właściwości dynamiczne całego zespołu. Dalsze uzupełnienie modelu o charakterystykę wymuszeń procesowych, tłumienie i funkcje odpowiedzi częstotliwościowej stworzyłoby również

możliwość wykorzystania go do wspomagania doboru parametrów obróbki oraz oceny stateczności procesu.

Szczególnie wartościową z praktycznego punktu widzenia cechą opracowanego rozwiązania jest możliwość sprawnego wyznaczania częstotliwości własnych dla różnych konfiguracji robota bez konieczności każdorazowego budowania złożonego modelu numerycznego. Model liniowy ma stosunkowo niewielką liczbę stopni swobody, a uzyskane za jego pomocą wyniki wykazują zadowalającą zgodność z rezultatami badań eksperymentalnych, co stanowi dobrą podstawę do jego przyszłej implementacji w systemach wspomagających planowanie trajektorii. W pracy nie przedstawiono jednak czasów obliczeń ani bezpośredniego porównania kosztu obliczeniowego modelu liniowego z modelem nieliniowym lub modelem MES. Uzupełnienie rozprawy o takie zestawienie pozwoliłoby ilościowo potwierdzić deklarowaną szybkość modelu i jeszcze wyraźniej wykazać jego przewagę użytkową. Celowe byłoby w szczególności podanie czasu analizy pojedynczej konfiguracji oraz czasu utworzenia mapy częstotliwości dla całego badanego zakresu współrzędnych. Pomimo przyjęcia modelu płaskiego oraz ograniczonego zakresu walidacji opracowane rozwiązanie należy uznać za wartościową podstawę systemu wspomagającego planowanie ruchu robota ze względu na ograniczanie ryzyka wzbudzania drgań. Rozszerzenie modelu na przypadek przestrzenny oraz jego walidacja dla różnych narzędzi, konfiguracji osprzętu i rzeczywistych warunków procesu technologicznego mogą istotnie zwiększyć zakres jego przyszłych zastosowań przemysłowych.

6. Ocena edycyjnej i formalnej strony rozprawy

Rozprawa została przygotowana starannie, z zachowaniem właściwej struktury i zasad redagowania prac naukowych. Układ rozdziałów jest logiczny, a zamieszczone rysunki, wykresy, tabele i zależności matematyczne są czytelne oraz odpowiednio powiązane z treścią pracy. Zastosowane oznaczenia są zasadniczo konsekwentne, a język rozprawy poprawny i właściwy dla opracowania naukowego. Praktycznie jedynym znalezionym przeze mnie uchybieniem formalnym jest dwukrotne zastosowanie tej samej zmiennej α_i na określenie dwóch różnych parametrów: raz jako kąt skręcenia osi w notacji Denavita-Hartenberga, a raz jako kąt oscylacji zmiennej przegubowej q_i wokół położenia równowagi β_i. Nieliczne uchybienia terminologiczne i redakcyjne nie obniżają jej wysokiej oceny formalnej i edycyjnej.

7. Uwagi krytyczne i kwestie dyskusyjne

W trakcie lektury pracy zauważono pewną liczbę kwestii dyskusyjnych, przedstawionych poniżej. Nie mają one jednak wpływu na pozytywną ocenę pracy.

Str. 27. Dlaczego uwzględniono podatność przegubów, a pominięto podatność członów? Czy wykonano chociaż przybliżone obliczenia sztywności członów (np. za pomocą MES), aby wykazać, że ich sztywności są znacznie wyższe niż sztywności zidentyfikowane doświadczalnie na podstawie ugięcia ?

Str. 29. Powinno być: Oś z_i jest zgodna z osią obrotu i-tego przegubu.

Str. 29- 32. W rozdziale 4.2 zapowiedziano opis kinematyki całego robota IRB 1600 metodą Denavita – Hartenberga, natomiast przedstawiony jest opis modelu uproszczonego wykorzystywanego do badań analitycznych. Dodatkowo opisany model zawiera 6 zmiennych

przegubowych $q_1 - q_6$, chociaż wcześniej deklarowano zmienne $q_1 - q_5$. Różnice te należy doprecyzować i wyjaśnić.

Str. 31. Tabela 4.1 i dalej: zmieniono sposób oznaczania długości członu z a_i na l_i.

Str. 34. W równaniu (4.23) zastosowano $\dot{\alpha}$ zamiast $\dot{q}$, co uzasadniono dopiero 3 strony dalej w równaniu (4.47).

Str. 35. Odwołanie do równania (4.20), które w tym modelu nie jest wykorzystywane.

Str. 57. Stwierdzenia „im wyższy numer członu, tym jego amplitudy drgań względem amplitud drgań członu pierwszego są większe" oraz „Analiza wykazała również tendencję do tworzenia się grup członów o podobnym zachowaniu dynamicznym" wydają się nie zawsze prawdziwe a przynajmniej niewystarczająco uzasadnione.

Str. 58-60, rys. 5.12-5.16. Opis w tekście rozdziału sugeruje pokazanie odchyleń członów w stosunku do odchylenia członu 1 o 25°, natomiast na rysunkach pominięto zupełnie proporcje amplitud A_i/A_1.

Str. 63. W analizie numerycznej rozwiązywano model dynamiki „przy założonych niezerowych warunkach początkowych". Jak dobrano te warunki początkowe? Jakie one miały wartości? Ile wersji analizowano? Czy weryfikowano, czy warunki początkowe nie wykluczają pobudzania niektórych modów drgań?

Str. 66. Doktorantka napisała „widoczne są liczne, wyraźnie rozdzielone piki rezonansowe", podczas gdy na rys. 6.4 są dla każdej wartości β_2 widoczne tylko dwa piki.

Str. 68. Wnioski sformułowane odnośnie amplitud są ze sobą wzajemnie sprzeczne. Są dodatkowo obarczone potencjalnymi błędami wynikającymi z braku analizy wpływu wymuszenia początkowego.

Str. 75, 89. Brakuje pełnego opisu parametrów metrologicznych systemu wizyjnego, w szczególności skali obrazu wyrażonej w mm/piksel, rozdzielczości estymacji przemieszczenia oraz niepewności pomiarowej. Z przedstawionych danych można wnioskować, że amplitudy przemieszczeń odpowiadają na obrazie wartościom mniejszym niż jeden piksel, dlatego rozdzielczość i dokładność estymacji subpikselowej mają istotny wpływ na uzyskane wyniki.

Str. 78. W odniesieniu do określenia „średnie wartości amplitudy" należy zauważyć, że analizowane drgania są zanikające. Z jakiego przedziału czasowego analizowano drgania? Jak uniezależniono wynik od siły uderzenia młotkiem modalnym, która dla każdej orientacji β_2 może być inna?

Str. 91. Jakie było wymuszenie przy badaniach układem wizyjnym? Czy przy analizie drgań przez 5 s była widoczna różnica w tłumieniu drgań dla poszczególnych częstotliwości?

Str. 105. Przyjęcie zależności z wersu 5 na tej stronie do wyznaczenia kąta α_2 jest zbyt dużym uproszczeniem. Tak wyznaczony kąt obrotu będzie kątem obrotu względem nieruchomego układu współrzędnych a nie względem członu 1.

Str. 107. Wniosek dotyczący pochodzenia dodatkowej składowej drgań jest odmienny od tego, zamieszczonego w rozdz. 7.2 str. 88.

8. Podsumowanie

Podsumowując powyższą recenzję, z uwagi na fakt, że:

1. rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, jakim jest opracowanie i częściowa walidacja zredukowanego, pięciostopniowego modelu dynamicznego konkretnego układu robotycznego ABB IRB 1600, w którym obok podatności trzech przegubów robota uwzględniono dwie dodatkowe podatności znajdujące się w torze końcowym, tj. podatność mocowania czujnika oraz podatność czujnika siły i momentu wraz z narzędziem, a następnie określono udział tych elementów w częstotliwościach i postaciach drgań zależnych od konfiguracji robota,
2. doktorantka spełniła wymagania dotyczące dorobku publikacyjnego, posiadając w dorobku artykuł naukowy opublikowany w recenzowanym czasopiśmie naukowym,
3. doktorantka wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie inżynieria mechaniczna oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej,

stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska mgr inż. Pauliny Pietruś pod tytułem „Badanie wpływu konfiguracji robota przemysłowego na drgania rezonansowe" spełnia wymagania ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce – stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Signed by /
Podpisano przez:



Leszek Podsędkowski
Politechnika Łódzka

Date / Data: 2026-09-14 23:12

Leszek Podsędkowski