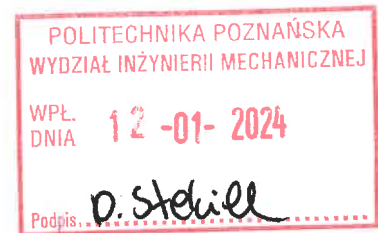


Warszawa, 05.01.2024 r.

prof. dr hab. inż. Robert Zalewski
Instytut Podstaw Budowy Maszyn
Politechniki Warszawskiej
ul. Narbutta 84
02-524 Warszawa



OPINIA

**o rozprawie doktorskiej mgr. inż. Marcina Białka
pt.
„Zastosowanie elastycznych poduszek z cieczą
magnetoreologiczną w konstrukcji chwytaka szczękowego robota”**

**Promotor pracy: prof. dr hab. inż. Andrzej Milecki
Promotor pomocniczy: dr inż. Dominik Rybarczyk**

Podstawa formalna wykonania opinii:

- pismo Pana dr. hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. PP Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, z dnia 20.11.2023 r., znak DIM.075.500.2023,
- umowa o dzieło nr 0600/2023/251 polegająca na opracowaniu opinii rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marcina Białka pt. „Zastosowanie elastycznych poduszek z cieczą magnetoreologiczną w konstrukcji chwytaka szczękowego robota”

1. CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Przedstawiona do opinii rozprawa doktorska mgr. inż. Marcina Białka została udokumentowana na 118 stronach. Rozprawa została podzielona na 8 rozdziałów poprzedzonych:

- podziękowaniami,
- streszczeniem,
- streszczeniem w jęz. angielskim (Abstract),
- spisem treści,
- wykazem ważniejszych oznaczeń i skrótów.

Ponadto po ostatnim, ósmym rozdziale w rozprawie zamieszczono bibliografię liczącą 113 pozycji.

A handwritten signature in blue ink, located in the bottom right corner of the page.

2. OCENA ROZPRAWY

Rozważane w opiniowanej rozprawie problemy naukowe to kompleksowe badania prowadzące do opracowania koncepcji, wytworzenia i badań empirycznych oryginalnego i nowatorskiego chwytaka szczękowego manipulatora, pracującego na bazie cieczy magnetoreologicznej. Problemy te są w sposób prawidłowy i jednoznaczny ujęte, a sama rozprawa stanowi oryginalne ich rozwiązanie. Doktorant realizując kolejne etapy precyzyjnie skonstruowanego i ambitnego programu badań konsekwentnie zmierzał do postawionego celu. Prawidłowo zdefiniował poligon badawczy, dokonał właściwej syntezy funkcjonujących w literaturze metod rozwiązywania problemów związanych z konstrukcją i zastosowaniem chwytaków robotów. Realizacja tych prac świadczy o wysokim poziomie wiedzy Doktoranta, dobrej znajomości problematyki, umiejętnościach organizacyjnych, co wymaga specjalnego podkreślenia przy realizacji oryginalnego programu badań. W opiniowanej pracy doktorskiej Doktorant przeprowadził szereg prac koncepcyjnych, symulacyjnych z wykorzystaniem MES. Zrealizował ambitny plan badawczy oraz zaproponował szereg innowacyjnych konstrukcji. Zaproponował m.in. implementację zróżnicowanych źródeł pola magnetycznego (elektromagnesy, magnesy trwałe), opracował model symulacyjny rozkładu pola magnetycznego, koncepcje szczęk chwytaka z magnesami trwałymi, sprężyną (zestawem sprężyn) i zmiennymi geometriami drukowanych poduszek. Dodatkowo autor rozprawy doktorskiej przeprowadził szereg badań eksperymentalnych poduszek chwytaka, zarówno napełnionych cieczą MR jak i bezpośrednio po wydruku. Wykonał badania eksperymentalne ukierunkowane na pomiar wartości sił niezbędnych do wyciągania przykładowych elementów ze szczęk magnetoreologicznych oraz tych potrzebnych do odkształcenia wydruków poduszek. W celu weryfikacji aplikacyjności inżynierskiej uzyskanych wyników zaprojektował oryginalną konstrukcję urządzenia i sprawdził jego działanie na rzeczywistym manipulatorze. W podejmowanej w dysertacji tematyce Doktorant wykazał się trafnością postępowania badawczego i poprawnością wnioskowania, co świadczy o wiedzy i umiejętności samodzielnie prowadzenia prac naukowych.

3. ANALIZA ROZPRAWY

Głównym problemem badawczym opiniowanej rozprawy doktorskiej było opracowanie lekkiej konstrukcji szczęk z poduszkami wypełnionymi cieczą MR, która mogłaby być łatwo integrowana z dostępnymi na rynku chwytakami, co jest szczególnie cenne w przypadku robotów o ograniczonej nośności.

W rozdziale pierwszym, będącym Wstępem rozprawy doktorskiej, przedstawiono wprowadzenie do tematyki badawczej, zarysowując historię, zakres

analizy oraz potencjalne zastosowania rozważanego chwytaka magnetoreologicznego.

Kolejny rozdział poświęcono przeglądowi aktualnego stanu wiedzy z obszaru szeroko rozumianych płynów MR, prezentując ich kluczowe właściwości, parametry, modele matematyczne oraz różnorodne zastosowania praktyczne. Zawarto w nim również przykłady konstrukcji chwytaków wykorzystujących omawianą ciecz. Zwrócono także uwagę na pewne nisze badawcze, z których w tym miejscu warto wspomnieć braki: prowadzenia złożonych analiz rozkładu pola magnetycznego i sił kontaktowych w chwytakach wypełnionych cieczą magnetoreologiczną oraz propozycji konstrukcji chwytaka hybrydowego, przeznaczonego dla robotów o małym udźwigu, nie wymagającego złożonego układu zewnętrznego, służącego do jego zasilania i sterowania.

W rozdziale trzecim precyzyjnie zdefiniowano główne cele, zakres oraz hipotezy badawcze recenzowanej dysertacji. Zasadniczy cel rozprawy polegał na potwierdzeniu możliwości zastosowania płynu magnetoreologicznego w konstrukcji oryginalnego, miętko-sztywnego chwytaka, przy założeniu możliwości sterowania lepkością cieczy MR, za pomocą magnesu trwałego i zestawu sprężyn, poprawiającego użyteczne właściwości (udźwig) rozpatrywanego urządzenia.

W rozdziale czwartym omówiono szczegółowo właściwości wybranych cieczy MR. Dokonano również analizy możliwości ich zastosowania w chwytaku robota. Zaproponowano koncepcję budowy prototypowej szczęki wykorzystującej oryginalny mechanizm sprężyna - magnes trwały oraz wydrukowaną poduszkę. W dalszej kolejności przedstawiono propozycję konstrukcji obwodu magnetycznego a także przeprowadzono badania symulacyjne rozkładu pola magnetycznego w poduszce.

W piątym rozdziale skupiono się na szczegółowej analizie zaproponowanych konstrukcji dwóch poduszek z cieczą MR, przedstawiając ich specyfikację i potencjalne zalety. Zaproponowano model teoretyczny i symulacyjny rozpatrywanych poduszek, a także skupiono się na przedstawieniu procesu doboru ich materiału oraz technologii druku 3D. W dalszej części rozdziału szczegółowo opisano prowadzone badania laboratoryjne, weryfikujące wcześniej otrzymane wyniki teoretyczne. Zbudowano w tym celu specjalistyczne stanowisko badawcze, umożliwiające prowadzenie eksperymentów wciskania trzpienia w głąb poduszki wypełnionej cieczą MR.

W rozdziale szóstym przedstawiono budowę chwytaka z poduszkami magnetoreologicznymi. Szczegółowo opisano wykorzystywane na tym etapie badań stanowisko badawcze. Zaprezentowano także rezultaty badań pomiarów wartości sił wyciągania trzech obiektów o zróżnicowanym kształcie, ze szczęk proponowanego w dysertacji chwytaka MR.

W rozdziale siódmym Doktorant skupił się na szczegółowym omówieniu zgromadzonych wyników doświadczalnych z zastosowania proponowanej konstrukcji chwytaka MR na robocie kartezyjańskim typu UR3e podkreślając, że proponowany

chwytak z poduszkami MR cechował się dużą niezawodnością przenoszenia rozpatrywanych obiektów i dużą powtarzalnością.

Rozdział ósmy zawiera podsumowanie rozprawy, a także opis zrealizowanych celów badawczych postawionych we wstępnej części pracy.

4. UWAGI, SUGESTIE I SPOSTRZEŻENIA

Autorowi nie udało się niestety uniknąć drobnych niedociągnięć i błędów edycyjnych w tekście dysertacji. W pracy wystąpiły także nieliczne błędy językowe, m.in. błędy interpunkcyjne i kolokwializmy. Nie uważam za konieczne wyszczególnianie wspomnianych błędów w niniejszej recenzji rozprawy doktorskiej.

Uwagi, sugestie, spostrzeżenia i pytania, które nasuwają się podczas czytania rozprawy mają raczej charakter polemiczny. Najważniejsze z nich to:

1. Od ponad dekady znane są prace badawcze prof. Browna z Cornell University nad elastycznymi „inteligentnymi” poduszkami gumowymi wypełnionymi pakowanymi próżniowo granulatami (vacuum packed particles). Jaka jest przewaga proponowanej przez autora konstrukcji chwytaka MR nad wspomnianym rozwiązaniem wykorzystującym tzw. „jamming mechanism”? (pozycja [46] w dysertacji).
2. Czy Doktorant podjął próbę poszukiwania modelu matematycznego kompozytu gradientowego poduszka-ciecz MR. Propozycja takiego modelu w zależności od zadawanego pola magnetycznego znacznie by uprościła prowadzenie badań symulacyjnych nad kompleksowym procesem uchwytu i przenoszenia rozpatrywanych obiektów.
3. Jaka jest przewaga zaproponowanej technologii drukowania poduszek chwytaka nad wykorzystaniem standardowego cienkościennego balonu gumowego?
4. Czy Autor pokusił się o przeprowadzenie optymalizacji topologicznej geometrii drukowanej poduszki?
5. Ciecze MR są podatne na zmianę temperatury. Czy autor podejmował próby oszacowania wpływu temperatury na zmianę właściwości utylitarnych proponowanej w rozprawie doktorskiej konstrukcji?
6. Odpowiedź cieczy MR jest uzależniona od zadawanej prędkości odkształcenia. Czy Autor brał pod uwagę ten efekt w dotychczasowych rozważaniach?
7. W jaki sposób dokonano identyfikacji parametrycznej modelu konstytutywnego Mooney-Rivlin’a zastosowanego w symulacjach MES?

8. Czy losowość „karbów technologicznych”, wynikająca z technologii druku poduszek chwytaka, nie ma zasadniczego wpływu na powtarzalność globalnych parametrów wytrzymałościowych tak tworzonych elementów?
9. Czy testowano wydruki pod kątem ich cyklicznego obciążania (czy prowadzono badania zmęczeniowe poduszek)?
10. Czy zastosowanie proponowanego rozwiązania nie jest ograniczone do materiałów odpornych na działanie pola magnetycznego? Czy przewidziano mechanizm „wypuszczania” elementów ferromagnetycznych, silnie oddziaływujących z polem magnetycznym magnesów neodymowych?
11. Jakie Doktorant widzi przyszłościowe kierunki rozwoju rozpoczętych podczas studiów doktoranckich badań?

5. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Za najważniejsze osiągnięcie rozprawy doktorskiej uważam (chronologicznie):

- 1) Przeprowadzenie kompleksowych badań symulacyjnych źródła pola magnetycznego i rozkładu tego pola w poduszce chwytaka.
- 2) Opracowanie koncepcji poduszek z cieczą magnetoreologiczną wraz z analizą różnicowania ich geometrii.
- 3) Zbudowanie specjalistycznych stanowisk badawczych oraz przeprowadzenie badań empirycznych ukierunkowanych na: a) pomiar sił niezbędnych do odkształcenia poduszek (z cieczą MR i bez niej); b) badanie „sił wyciągania” obiektów ze szczęk magnetoreologicznych.
- 4) Koncepcję, projekt i wykonanie oryginalnej konstrukcji szczęk chwytaka z poduszkami wypełnionymi cieczą MR (wykorzystujących mechanizm sprężyna-magnes trwały).
- 5) Przeprowadzenie badań skuteczności przenoszenia wybranej grupy obiektów przez robota UR3e z zaimplementowanymi prototypowymi chwytakami magnetoreologicznymi.

Autor w ramach rozprawy podjął się wielowątkowego i dość ambitnego zadania badawczego. Przegląd literaturowy świadczy o dobrym rozeznaniu tematyki w podejmowanych obszarach. Stanowił on punkt wyjścia do formułowania celów pracy dotyczących szeroko rozumianych badań koncepcyjnych, teoretycznych, projektowych, numerycznych i aplikacyjnych chwytaków szczękowych wyposażonych w poduszki magnetoreologiczne. Praca jest dość dobrze umocowana teoretycznie. Autor swobodnie i umiejętnie przeplata własne przemyślenia z doniesieniami

literaturowymi. Materiał ilustracyjny jest na ogół dobrze dobrany. Autor przygotował wielowariantowy, szczegółowy i obszerny plan badań, który konsekwentnie realizował. Reprezentatywne wyniki badań zostały zamieszczone w 4 artykułach opublikowanych w recenzowanych czasopismach naukowych (uzyskano także patent). W sposób syntetyczny została zaprezentowana metodyka badań empirycznych. Przyjęte metody badań świadczą o dobrym opanowaniu przez Doktoranta warsztatu badawczego. Rozprawa jest wartościowym opracowaniem zawierającym oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego o dużych walorach poznawczych.

Całość pracy oceniam pozytywnie, a sama rozprawa stanowi wartościowe dzieło. Przedstawione w powyższych punktach pytania mają charakter stricte dyskusyjny i nie wpływają na ogólną, pozytywną ocenę rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marcina Białka. Mogą być tym niemniej uwzględnione przez Niego przy przygotowywaniu kolejnych publikacji z zakresu objętego rozprawą. Podejmowane problemy naukowe Doktorant rozwiązał w sposób oryginalny.

Zatem stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Marcina Białka pt. „Zastosowanie elastycznych poduszek z cieczą magnetoreologiczną w konstrukcji chwytaka szczękowego robota” spełnia wymagania art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2022 r., poz. 574 ze zm.).

Podsumowując niniejszą recenzję wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie Pana mgr. inż. Marcina Białka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Robert Zdzewski