

Szczecin 22.04.2024

Prof. dr hab. inż. Mirosław Pajor
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Al. Piastów 19, 70-310 Szczecin

**Recenzja pracy doktorskiej pt. ” Zastosowanie elastycznych poduszek z ciecżą magnetoreologiczną w konstrukcji chwytaka szczękowego robota”
autorstwa mgr inż. Marcina Białka.**

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia Pana Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej dr hab. inż. Olafa Ciszaka prof. PP z dnia 20.11.2023.

1. Przedstawienie treści pracy

W przemyśle można zaobserwować wyraźny trend w rozwoju szeroko pojętej robotyki. Trend ten jest zgodny z założeniami czwartej rewolucji przemysłowej. W konstrukcjach robotycznych kładzie się duży nacisk na współpracę człowieka z robotem. Pojawiły się nowej generacji roboty współpracujące tzw. coboty, które mogą pracować ramię w ramię z człowiekiem na linii produkcyjnej. Takie podejście stymuluje szereg nowych ścieżek rozwoju robotyzacji, poczynając od interfejsów komunikacyjnych, systemów sensorycznych czy technologii manipulacji różnymi elementami o dużej elastyczności czy kruchości. Szczególne duże znaczenie ma to w zastosowaniach medycznych robotów, gdzie robot manipulacyjny musi precyzyjnie i pewnie chwycić elementy o różnych kształtach i znacznej podatności. W przemyśle maszynowym standardowo stosuje się chwytaki sztywne o określonych kształtach elementów chwytowych dostosowanym do manipulowanych elementów. Pojawiła się jednak potrzeba stosowania bardziej uniwersalnych końcówek chwytających dla robotów, samoistnie dopasowujących się do różnych kształtów chwytanych elementów. Prowadzi się badania nad nową grupą narzędzi chwytających nazywana chwytakami miękkimi. W ośrodkach naukowych zaczęto intensywnie rozwijać szereg konstrukcji tego typu chwytaków, w których końcówki chwytne zmieniają kształt dopasowując się do

pobieranych elementów, przyczepiają się do nich adhezyjnie czy zawierają przyssawki zapewniające lepszy uchwyt. W konstrukcji tego typu chwytaków chętnie stosuje się najnowsze odkrycia z dziedziny inżynierii materiałowej, materiałów inteligentnych z pamięcią kształtu, cieczy elektro i magnetoreologicznych itp. Pan mgr inż. Marcin Białek w tym obszarze podejmuje się realizować badania w ramach recenzowanej rozprawy doktorskiej. W pracy Autor zaproponował konstrukcję nowej klasy chwytaków miękkich zawierających poduszki z cieczą magnetoreologiczną MR, ułatwiające dopasowanie kształtu poduszki do pobieranego elementu a następnie jej usztywnienie poprzez usieciwienie cieczy MR z zastosowaniem pola magnetycznego.

Opiniowana praca doktorska liczy 118 strony i składa się z ośmiu rozdziałów, streszczenia w języku polskim i angielskim oraz spisu symboli i skrótów. Na końcu zamieszczono spis literatury zawierający zestaw 113 cytowanych pozycji literaturowych. Dobór źródeł literaturowych jest prawidłowy i nie budzi zastrzeżeń. Autor dogłębnie przeanalizował dostępne źródła i wyciągnął poprawne wnioski podsumowujące stan wiedzy. Poszczególne rozdziały rozprawy doktorskiej obejmują: wstęp, przegląd literatury i sformułowanie problemu badawczego oraz celu i tezy pracy oraz czterech rozdziałów merytorycznych zakończonych rozdziałem z wnioskami końcowymi i omówieniem perspektyw dalszych badań.

Po opisie wstępnym w drugim rozdziale rozprawy Autor definiuje problem i syntetycznie opisuje problematykę badań. Następnie po wnikliwej analizie stanu zagadnienia wykazuje potrzebę podjęcia dalszych badań nad rozwojem chwytaków miękkich z zastosowaniem cieczy magnetoreologicznych MR.

W rozdziale trzecim Autor przedstawia cel i zakres pracy oraz hipotezę pracy badawczej. W rozprawie przyjęto następującą tezę: *Sterowanie za pomocą pola magnetycznego właściwościami cieczy magnetoreologicznej znajdującej się w poduszkach wykonanych z termoplastycznego poliuretanu, umiejscowionych na szczękach chwytaka, za pomocą mechanizmu składającego się z magnezu trwałego oraz sprężyn, zwiększy siłę wyciągania chwyconego obiektu, a tym samym poprawi udźwig chwytaka.* Przyjęty cel i zakres pracy oraz jej teza nie budzą zastrzeżeń i są adekwatne do rozwiązywanych problemów naukowych.

W rozdziale czwartym Autor omówił właściwości cieczy magnetoreologicznych. Przeprowadzono analizę możliwości zastosowania wytypowanych cieczy w konstrukcji chwytaka. W rozdziale tym zaprezentowana została koncepcja konstrukcji chwytaka oraz

rozwiązanie konstrukcyjne obwodu magnetycznego. Ponadto Autor zaprezentował wyniki analizy symulacyjnej rozkładu pola magnetycznego w poduszce chwytaka.

W rozdziale piątym Autor omówił szczegółowo konstrukcję poduszek z cieczą magnetoreologiczną. Zaprezentowane zostały wyniki obliczeń teoretycznych oraz technologia wykonania w konwencji druku 3D. Dyskusji poddano materiały zastosowane do druku poduszek. Ponadto Autor zaprezentował wyniki badań doświadczalnych prototypów poduszek chwytaka.

W kolejnym, szóstym rozdziale opisane zostały wyniki badań sił wyciągania obiektów z chwytaka z zamontowanymi poduszkami. Badania zrealizowano dla różnych obiektów o kształcie płaskim, owalnym i wielokątnym. Zaprezentowano stanowisko badawcze, na którym realizowano eksperymenty. Wyniki badań porównano z danymi literaturowymi.

Rozdział siódmy zawiera opis badań eksperymentalnych funkcjonalności chwytaka z poduszkami MR na robocie kartezjańskim UR3e. Dokonano pomiaru sił zacisku przy przenoszeniu obiektów.

W ostatnim rozdziale ósmym przedstawiono dyskusję otrzymanych wyników badań, w której Autor wyciągnął wnioski z przeprowadzonych eksperymentów i ocenił poziom weryfikacji postawionej w pracy hipotezy.

Podsumowując należy stwierdzić, że na podstawie zaprezentowanej analizy wyników badań numerycznych i eksperymentalnych Autor rozwiązał postawiony problem naukowy i udowodnił hipotezę pracy.

2. Oryginalne osiągnięcia pracy

Pracę doktorską Pana Marcina Białka cechuje innowacyjny charakter proponowanych rozwiązań. Autor posiada dużą biegłość w posługiwaniu się nowoczesnymi narzędziami w zakresie komputerowego modelowania i symulacji cyfrowych, złożonych problemów technicznych. Autor posiada również rozległą wiedzę z zakresu nowoczesnych materiałów inteligentnych, do których zaliczają się ciecze MR oraz technologii druku 3D. Recenzowana praca doktorska ma silny pierwiastek aplikacyjny. Ponadto Autor ma duże umiejętności w planowaniu badań eksperymentalnych. Badania eksperymentalne funkcjonalności zaproponowanych rozwiązań chwytaka stanowią duży walor poznawczy pracy. Wyniki pracy badawczej Pana Marcina Białka dostarczają interesujących danych

eksperymentalnych i symulacyjnych na temat działania elastycznych chwytaków oraz zakresu stosowania różnych rozwiązań konstrukcyjnych i materiałów. Zrealizowane eksperymenty doświadczalne potwierdził funkcjonalność opracowanego rozwiązania chwytaka podatnego z cieczą MR. Zaplanowane zadania Autor zrealizował konsekwentnie, a uzyskane rezultaty poddał stosownej analizie.

Do największych oryginalnych osiągnięć tej pracy zaliczyć można:

1. Opracowana konstrukcja chwytaka podatnego z zastosowaniem cieczy magnetoreologicznej. W konstrukcji zastosowano unikalne rozwiązanie z magnesem trwałym z regulacją szczeliny pomiędzy magnesem a poduszką MR za pomocą sprężyn. Takie rozwiązanie nie wymaga zastosowanie układów automatycznej regulacji i zewnętrznego zasilania.
2. Wyniki badań symulacyjnych określonych charakterystyk pracy projektowanego chwytaka podatnego z cieczą MR będące swego rodzaju poradnikiem projektowania tego typu rozwiązań.
3. Wyniki badań eksperymentalnych sił występujących w procesie chwytania elementów o różnym kształcie i w różnych warunkach. Dane te stanowią unikalną bazę wiedzy porównawczej do dalszych badań nad rozwojem konstrukcji tego typu chwytaków.

Wysoko oceniam oryginalność, innowacyjność i poziom naukowy wymienionych osiągnięć.

3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Do uwag dyskusyjnych i krytycznych zaliczyłbym:

1. Z wyników pomiarów indukcji pola magnetycznego przedstawionych na rys.14 str. 33 wyraźnie widać, że elektromagnes dają kilkakrotnie słabsze pole magnetyczne. Z czego to wynika, czy to jest naturalna cecha elektromagnesów ?
2. Na str.46 rys.28 zaprezentowano wyniki symulacji naprężeń ścinających w cieczy magnetoreologicznej zależne od grubości magnesu. Grubszy magnes to silniejsze pole magnetyczne, a co za tym idzie wzrastają naprężenia ścinające. Czy grubość magnesu, poza wzmocnieniem pola magnetycznego, ma jeszcze jakieś znaczenie ?
3. Na str. 48 do 50 zaprezentowano rys. 29 do 31. Przyjęcie takiej formy prezentacji wyników jest niewłaściwe. Rysunki na poszczególnych stronach subtelnie się różnią,

poszczególne linie się zlewają i praktycznie są mało czytelne. Trudno jest wyciągać na ich podstawie jakieś wnioski.

4. Na str.51 Autor pisze o najważniejszym celu symulacji jest „uzyskanie największych wartości naprężeń ścinających przy oddalaniu źródła pola magnetycznego”, zaraz potem pisze, że „... ze względu na zasadę działania chwytaka, korzystne jest uzyskanie dużych wartości naprężeń ścinających w bliskiej odległości źródła pola magnetycznego i małych wartości przy oddalaniu go”. Te dwa stwierdzenia sobie przeczą. Po analizie wykresów prezentujących wyniki symulacji nasuwa się pytanie, czy te wszystkie detale konstrukcyjne magnesu rozważane w symulacjach (w_r , w_j , g_m d_{pm} i wszystkie współczynniki np. k_j , jako z nimi powiązane) mają aż tak istotny wpływ na naprężenia ścinające w porównaniu z siłą magnesu? Jeżeli ich wpływ jest istotny, to czy nie było celowe sformułowanie jakiegoś kryterium i przeprowadzenie optymalizacji parametrów konstrukcyjnych magnesu? Poszukiwanie najlepszej kombinacji parametrów geometrycznych magnesu i jego oprawy na podstawie tylu podobnych wykresów jest dużym wyzwaniem. Autor na str. 55 w ostatnim akapicie podaje, że w rozdziale 4.4 dokonano optymalizacji geometrii zastosowanego źródła pola magnetycznego, tym czasem zaprezentowana procedura pozwoliła znaleźć rozwiązanie akceptowalne, nie koniecznie optymalne.
5. Na stronie 54, rys. 34 jest mało czytelny i trudno coś z niego wywnioskować. Rysunki są małe a rozkłady kolorów bardzo zbliżone. Komentarz do rys. 34 zamieszczony w drugim akapicie stwierdza, że z rysunków widać, iż wybór odpowiedniej średnicy magnesu oraz szerokości jarzma i szczeliny pozwala na kształtowanie rozkładu naprężeń wewnątrz poduszki jest moim zdaniem troszkę na wyrost. Powiedziałbym raczej, że te czynniki w pewnym zakresie jedynie modyfikują ten rozkład.
6. Na str. 59 prezentowane są wyniki symulacji odkształceń poduszki wypełnionej powietrzem przy zagłębionym trzpieniu deformującym poduszkę. Dlaczego prowadzono analizę dla pustej poduszki a nie poduszki z cieczą? Ciecz jest przecież nieściśliwa i deformacje poduszki będą inne dla cieczy a inne dla powietrza.
7. Na str. 68 w ostatnim akapicie Autor stwierdza, że poduszki drukowane mają wystarczającą wytrzymałość mechaniczną. Czy analizowano wytrzymałość zmęczeniową, ile cykli obciążenia może przenieść drukowana poduszka bez rozszczelnienia?

8. Na str. 92 wzór 6.1 występuje parametr s_{li} to odległość przemieszczenia obiektu. Czy przemieszczenie to jest mierzone przyrostowo, czy od początku fazy ruchu (bezwzględnie)?
9. Na stronie 106 Autor stwierdza, że można chwycić zaprojektowanymi szczękami obiekty kruche. Stwierdzenie to nie zostało poparte żadnymi wynikami badań a jest jedynie subiektywną opinią Autora.

Tekst pracy został napisany bardzo starannie, część edytorska pracy jest na najwyższym poziomie i zasługuje na bardzo wysoką ocenę. W trakcie czytania pracy nie zauważyłem błędów redakcyjnych.

4. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę powyższą ocenę treści rozprawy stwierdzam, że spełnia ona wymagania stawiane pracom doktorskim zgodnie z wymogami ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Zrealizowana przez mgr. inż. Marcina Białka praca charakteryzuje się wysokim poziomem innowacyjności. Praca ta stanowi oryginalne rozwiązanie sformułowanego problemu naukowego oraz wskazuje na duży poziom wiedzy teoretycznej i praktycznej jej Autora. Wyniki pracy wnoszą istotny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna. **Reasumując stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska może być dopuszczona do publicznej obrony.**

