

## PROTOKÓŁ

### z obrony rozprawy doktorskiej mgra inż. Marcina Białka pod tytułem: Zastosowanie elastycznych poduszek z cieczą magneto-reologiczną w konstrukcji chwytaka szczękowego robota

W dniu 07.06.2024 o godz. 11.00 odbyła się publiczna obrona pracy doktorskiej mgra inż. Marcina Białka pod tytułem: „Zastosowanie elastycznych poduszek z cieczą magneto-reologiczną w konstrukcji chwytaka szczękowego robota”

W skład komisji weszli:

Przewodniczący Komisji: dr hab. inż. Szymon Wojciechowski prof. Politechniki  
Poznańskiej  
Promotor: prof. dr hab. inż. Andrzej Milecki  
Recenzenci: prof. dr hab. inż. Robert Zalewski (Politechnika Warszawska)  
prof. dr hab. inż. Mirosław Pajor (Zachodniopomorski  
Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie)  
dr hab. inż. Ryszard Jasiński prof. Politechniki Gdańskiej

Członkowie Komisji:

prof. dr hab. Ewa Stachowska - nieobecna  
dr hab. inż. Bartosz Gapiński prof. Politechniki Poznańskiej  
dr hab. inż. Piotr Paczos prof. Politechniki Poznańskiej  
dr hab. inż. Roman Barczewski  
dr hab. inż. Rafał Talar  
dr hab. inż. Piotr Siwak  
dr hab. inż. Maciej Tabaszewski

Promotor pomocniczy:

dr inż. Dominik Rybarczyk

Sekretarz:

mgr inż. Patryk Nowak

### Przebieg publicznej dyskusji nad rozprawą doktorską

Posiedzenie otworzył Przewodniczący Komisji dr hab. inż. **Szymon Wojciechowski** prof. Politechniki Poznańskiej, który przedstawił się i powitał osoby obecne na sali. Przewodniczący Komisji przywitał Recenzentów: prof. dr hab. inż. Mirosław Pajor z Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, dr hab. inż. **Ryszarda Jasińskiego** prof. Politechniki Gdańskiej i zaznaczył usprawiedliwioną nieobecność prof. dr hab. inż. Robert Zalewski z Politechniki Warszawskiej, wynikającą z obowiązków służbowych, Promotora: prof. dr hab. inż. **Andrzeja Mileckiego**, Promotora pomocniczego: dr inż. **Dominika Rybarczyka**, członków Komisji Doktorskiej: zaznaczył usprawiedliwioną nieobecność prof. dr hab. Ewy Stachowskiej, następnie

Dominikiem Rybarczykiem. Zaznaczono, że głównym celem naukowym pracy doktorskiej mgr inż. Marcina Białka było badanie możliwości zastosowania cieczy magnetoreologicznej w konstrukcji nowego typu hybrydowego miętko-sztywnego chwytaka. Opracowana przez niego rozprawa spełnia warunki stawiane pracą doktorskim ponieważ:

- zawiera wyczerpujący przegląd literatury, dotyczący przedstawionego problemu,
- jest samodzielnym rozwiązaniem problemu naukowego, jakim było opracowanie, zbudowanie i wykonanie badań symulacyjnych oraz doświadczalnych chwytaka wykorzystującego ciecz magnetoreologiczną,
- doktorant zrealizował wszystkie cele pośrednie pracy, które zostały przedstawione w trakcie prezentacji, potwierdzające tezę zakładającą, że sterowanie za pomocą pola magnetycznego właściwościami cieczy magnetoreologicznej zastosowanej w poduszkach znajdujących się w szczękach chwytaka, zwiększy siłę wyciągania chwyczonego obiektu, a tym samym poprawi udźwig chwytaka.

W związku z tym promotor i promotor pomocniczy stwierdzają, że praca doktorska mgr inż. Marcina Białka, pod tytułem: „Zastosowanie elastycznych poduszek z cieczą magnetoreologiczną w konstrukcji chwytaka szczękowego robota” może być dopuszczona do publicznej obrony.

Po zakończeniu wypowiedzi promotora, Przewodniczący Komisji dr hab. inż. **Szymon Wojciechowski** prof. Politechniki Poznańskiej podziękował promotorowi prof. dr hab. inż. Andrzejowi Mileckiemu za przedstawienie opinii. W dalszej części zapowiedział zapoznanie się z recenzjami pracy doktorskiej mgr inż. Marcina Białka. Przewodniczący Komisji dodał, że osoby znajdujące się na sali mogą formułować pytania do doktoranta na specjalnie do tego przygotowanych kartkach, które zostaną przedstawione po przedstawieniu recenzji. Następnie o przedstawienie swojej recenzji pracy doktorskiej został poproszony prof. dr hab. inż. **Mirosław Pajor**.

Recenzent prof. dr hab. inż. **Mirosław Pajor** rozpoczął swoje przemówienie od nakreślenia kontekstu pracy. Zazaczył, że robotyzacja stanowi silny trend w produkcji i przemyśle, a obecną tendencją rozwojową jest zwiększona kooperacja robota z człowiekiem. Stwierdził, że jedną ścieżką są rozwiązania typu cobot, a druga stanowią chwytaki zdolne do manipulowania obiektami o różnych kształtach oraz właściwościach, cechujące się występowaniem elementów miękkich. Prof. dr hab. inż. **Mirosław Pajor** wskazał, że ten obszar stanowi tematykę pracy doktoranta. Następnie przedstawił skrót recenzji. W pracy autor zaproponował konstrukcję nowej klasy chwytaków miękkich zawierających poduszkę z cieczą magnetoreologiczną MR, ułatwiającą dopasowanie kształtu poduszki do pobieranych elementów, a następnie jej usztywnienie poprzez usieciwienie cieczy MR z zastosowaniem pola magnetycznego. Recenzent zwrócił uwagę, że zacytowano 113 pozycji literaturowych, dobór których nie budzi żadnych zastrzeżeń. Ich przegląd został poprawnie wykonany i opracowany, a autor wyciągnął prawidłowe wnioski i wskazał cele do realizacji. Postawiono tezę oraz cele pracy, które również nie budzą zastrzeżeń i są adekwatne do rozwiązywanego problemu naukowego. Podsumowując należy stwierdzić, że na podstawie zaprezentowanych wyników badań numerycznych i eksperymentalnych, autor rozwiązał postawione problemy naukowe i udowodnił hipotezę postawioną w pracy. Praca doktorska mgr inż. 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 cieczy magnetoreologiczne oraz technologie 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.

ciecz magnetoreologiczną, gdyż to rozwiązanie znakomicie wpisuje się w potrzeby rozwijającego się rynku nowych technologii. Podjęty przez doktoranta problem badawczy jest uzasadniony. Zawarte w pracy rysunki i schematy w większości przypadków są dobrej jakości i posiadają wyczerpujący opis. Literatura jest aktualna i dobrana zgodnie z tematem pracy. Układ rozprawy i poziom treści między poszczególnymi rozdziałami jest logiczny. Dokonując oceny rozprawy należy podkreślić, że jej ogólna forma i zakres podyktowane zostały realizacją celów rozprawy, które pokazano podczas prezentacji. Za główne osiągnięcia mgr inż. Marcina Białka Recenzent uważa:

- opracowanie elastycznej poduszki z cieczą magnetoreologiczną,
- przeanalizowanie wariantów geometrii poduszki pod kątem zastosowania druku 3D i materiałów elastycznych,
- przeprowadzenie badań symulacyjnych rozkładu pola magnetycznego w poduszce chwytaka w stanie odkształcenia i braku odkształcenia poduszki,
- zaprojektowanie i wykonanie szczęk chwytaka z poduszkami z cieczą magnetoreologiczną, które nie wymagają dodatkowego sterowania ani źródła zasilania,
- zbudowanie kilku stanowisk badawczych.

Na podstawie badań chwytaka z elastycznymi poduszkami z cieczą magnetoreologiczną określono ich skuteczność chwytania i przenoszenia obiektów. Zmierzono siłę potrzebną do wyciągnięcia obiektów z ucisku szczęk. Stwierdzono, że wartości siły wyciągania obiektów ze szczęk wykorzystujących ciecz magnetoreologiczną i po wprowadzeniu pola magnetycznego są porównywalne z siłami występującymi przy zastosowaniu szczęk sztywnych. Podsumowując Recenzent uważa, że omówiona konstrukcja rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Białka, sposób opracowania materiału badawczego, a także forma przeprowadzonej analizy oraz przyjęta metodyka badań są właściwe dla tego rodzaju prac. Doktorant wykazał się dużą wiedzą ogólną, dobrą znajomością przedmiotu badań oraz opanowaniem metod analitycznych i numerycznych, stosowanych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Recenzent stwierdza, że sformułowano 6 pytań szczegółowych, prosząc doktoranta o odniesienie się do 3 z nich (przedstawione w dalszej części protokołu). Na koniec wypowiedzi przedstawiono wniosek końcowy oceny rozprawy. Na podstawie analizy dokumentów przedstawionych do oceny rozprawy doktorskiej, Recenzent stwierdza że doktorant dokonał trafnego wyboru tematyki pracy oraz poprawnie określił jej zakres. Cele pracy zostały osiągnięte w zakresie przyjętym przez autora. Prezentowane wyniki badań są uzyskane w poprawnie przeprowadzonych symulacjach, eksperymentach i mogą służyć do dalszych prac badawczych. Doktorant wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Rozprawa zredagowana jest poprawnie. Praca nawiązuje do aktualnej wiedzy, a wiele elementów wnosi do niej nowe treści. Powyższe argumenty świadczą o umiejętnościach doktoranta w zakresie samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na jego dużą wiedzę w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Recenzent stwierdza, że praca mgr inż. Marcina Białka pod tytułem: *Zastosowanie elastycznych poduszek z cieczą magnetoreologiczną w konstrukcji chwytaka szczękowego robota*, spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w rozumieniu ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. w związku z tym wnioskuje o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Białka i dopuszczenie jej do publicznej obrony. Recenzent podziękował za uwagę.

Przewodniczący Komisji dr hab. inż. **Szymon Wojciechowski** prof. Politechniki Poznańskiej podziękował Recenzentowi dr hab. inż. Ryszardowi Jasińskiemu prof. Politechniki Gdańskiej za przedstawienie swojej opinii. Następnie zaznaczył usprawiedliwioną nieobecność trzeciego Recenzenta, prof. dr hab. inż. Roberta Zalewskiego z Politechniki Warszawskiej i z tego względu poprosił o odczytanie recenzji, w skróconej wersji, Sekretarza mgr inż. **Patryka Nowaka**.

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.

Przewodniczący Komisji dr hab. inż. **Szymon Wojciechowski** prof. Politechniki Poznańskiej podziękował Sekretarzowi za odczytanie recenzji prof. dr hab. inż. Roberta Zalewskiego. Następnie oznajmił, że w tym momencie doktorant mgr inż. **Marcin Bialek** udzielił odpowiedzi na zadane pytania przez recenzentów, zaznaczając aby rozpoczął od pytań zadanych przez prof. dr hab. inż. Mirosława Pajora.

W trakcie publicznej dyskusji Doktorant odpowiedział na następujące pytania recenzentów:

1. prof. dr hab. inż. Mirosław Pajor

Pytanie: 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 (wr, wj, gm dpm i wszystkie współczynniki np. kj, 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

Gdańskiej, który poprosił o określenie czasu pracy chwytaka z poduszkami MR podczas badań. Doktorant mgr inż. **Marcin Bialek** wskazał, że cykl pojedynczego przenoszenia trwał około 5 sekund, a pomiary wykonywano w pętli po 16 przemieszczeń. Recenzent dr hab. inż. **Ryszard Jasiński** prof. Politechniki Gdańskiej podsumował ten fakt, stwierdzając że chwytak ciągiem pracował około 1 minuty i interesowało go, czy pracował ciągiem np. 10 lub 15 minut. Doktorant mgr inż. **Marcin Bialek** zaznaczył, że nie przeprowadził takich badań ze względu na czas konieczny każdorazowo do przygotowania chwytaka i stanowiska badawczego do pomiarów.

2. dr hab. inż. Ryszard Jasiński prof. Politechniki Gdańskiej

Pytanie: Jak zmienia się temperatura elastycznych poduszek wypełnionych cieczą MR przy cyklicznej pracy chwytaka? Czy może mieć to wpływ na trwałość poduszki wykonanej w technologii druku 3D?

Odpowiedź: Doktorant mgr inż. **Marcin Bialek** zaznaczył, że poduszka z termoplastycznego poliuretanu formowana jest w temperaturze 220-240 st. C. Jest to temperatura uplastycznienia tego materiału. Z kolei w cieczy MR znajduje się olej, znamieny swoimi właściwościami. Doktorant stwierdził, że materiał poduszki oraz ciecz wewnątrz stanowią główne ograniczenia temperaturowe. Nie przeprowadzono badań ze zmianą temperatury obiektu chwytanego. Recenzent dr hab. inż. **Ryszard Jasiński** prof. Politechniki Gdańskiej zadał uzupełniające pytanie, czy temperatura w chwytaku będzie rosła przy cyklicznym przenoszeniu obiektów. Doktorant mgr inż. **Marcin Bialek** zaznaczył, że głównymi czynnikami byłyby warunki otoczenia pracy chwytaka oraz częstotliwość cykli samego chwytania, a nie przenoszenia. Głos w dyskusji zabrał Promotor prof. dr hab. inż. **Andrzej Milecki**, który zaznaczył, że ciecz MR nie wykonuje żadnej pracy. Doktorant mgr inż. **Marcin Bialek** dodał, że zastosowanie magnesów trwałych również ogranicza wpływ temperatury, w porównaniu do nagrzewających się elektromagnesów. Zdanie to zostało potwierdzone przez Promotora prof. dr hab. inż. **Andrzeja Mileckiego** oraz Promotora pomocniczego dr inż. **Dominika Rybarczyka**, którzy dodali ewentualny aspekt występowania tarcia pomiędzy elementami mechanicznymi.

Pytanie: Proszę ocenić, czy czas uchwycenia i przeniesienia obiektów (czas całego cyklu operacji robota), przy użyciu chwytaka z elastycznymi poduszkami wypełnionymi cieczą MR, jest krótszy niż przy zastosowaniu innych chwytaków.

Odpowiedź: Doktorant mgr inż. **Marcin Bialek** zaznaczył, że przeprowadził dodatkowe eksperymenty celem udzielenia odpowiedzi na to pytanie. Pokazano również slajd z wizualizacją tych badań. Ze względu na kinematykę chwytaka z poduszkami MR, należy brać pod uwagę czas potrzebny na odkształcenie poduszki oraz ugięcie sprężyn. Faza chwytania dla szczęk sztywnych wyniosła około 0,1 s, dla szczęk z poduszkami około 0,4 s. Sumarycznie przy chwytaniu i puszczeniu różnica wyniosła zatem około 0,6 s. Recenzent dr hab. inż. **Ryszard Jasiński** prof. Politechniki Gdańskiej dopytał, czy rozważane jest zmniejszenie tej różnicy. Doktorant mgr inż. **Marcin Bialek** zaznaczył, że w przypadku tego rozwiązania może to nie być możliwe, ponieważ wymagane jest szczególnie zapewnienie fazy odkształcenia poduszki i następnie ugięcie sprężyn.

Po odpowiedzi na pytania recenzentów Przewodniczący Komisji dr hab. inż. **Szymon Wojciechowski** prof. Politechniki Poznańskiej otworzył publiczną dyskusję. Doktorant odpowiadał na pytania od publiczności zapisane na zebranych z sali kartkach oraz pytaniach zadanych ustnie:

1. dr hab. inż. Roman Barczewski

prof. dr hab. inż. **Andrzej Milecki**

prof. dr hab. inż. **Mirosław Pajor** (Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie)

dr hab. inż. **Ryszard Jasiński** prof. Politechniki Gdańskiej

dr hab. inż. **Bartosz Gapiński** prof. Politechniki Poznańskiej

dr hab. inż. **Piotr Paczos** prof. Politechniki Poznańskiej

dr hab. inż. **Roman Barczewski**

dr hab. inż. **Rafał Talar**

dr hab. inż. **Piotr Siwak**

dr hab. inż. **Maciej Tabaszewski**

dr inż. **Dominik Rybarczyk** (bez prawa głosu)

Część niejawną otworzył Przewodniczący Komisji dr hab. inż. **Szymon Wojciechowski** prof. Politechniki Poznańskiej. W kolejności wypowiedziały się następujące osoby:

1. dr hab. inż. **Ryszard Jasiński** prof. Politechniki Gdańskiej: Stwierdził, że bardzo dobrze czytało mu się pracę ze względu na brak błędów. Wykonano bardzo dużo badań, które wymagały dużego nakładu pracy związanego z przygotowaniem stanowisk badawczych i obrobienia wyników. Zwrócił uwagę, że brakowało pojedynczego badania cyklu pracy ciągłej chwytaka przez dłuższy czas, ale jest to temat rozwojowy i przyszłościowy. Stwierdził, że jest zachwycony pracą i tematem.

2. prof. dr hab. inż. **Mirosław Pajor**: stwierdził, że postawa Doktoranta w czasie obrony bardzo mu się podobała. Doktorant zachował spokój, który utożsamiany jest z wiedzą i swobodnie odpowiadał na zadane pytania. Zauważył, że u Doktoranta widać pasję w jego działalności i bardzo pozytywnie go ocenia.

3. dr hab. inż. **Bartosz Gapiński** prof. Politechniki Poznańskiej: Zwrócił uwagę na tło sportowe Doktoranta wskazujące na jego dyscyplinę w realizowanych przedsięwzięciach oraz na działalność i zaangażowanie jeszcze w czasach studenckich. Doktorant cechuje się terminowością wykonywanych zadań i bardzo dobrze zarządza swoim czasem. Pozytywnie ocenia zatem obronę jak i zrealizowaną pracę.

4. dr hab. inż. **Piotr Paczos** prof. Politechniki Poznańskiej: Stwierdził, że praca jest bardzo ciekawa, a Doktorant jest bardzo dobrym naukowcem, nieustannie poszukującym nowych rozwiązań.

5. dr hab. inż. **Roman Barczewski**: Zaznaczył, że Doktoranta zna od czasów studenckich, a do pracy podszedł z pasją. Stwierdził, że jako przyszły doktor bardzo dobrze rokuje, a praca była ciekawa. Zaznaczył przy tym, odnosząc się do własnego pytania zadanego w trakcie publicznej dyskusji, że zakres opracowanego materiału był bardzo szeroki i w pełni omówiony. Dodatkowe badania np. wpływu temperatury mogą stanowić pole do dalszych badań.

6. dr hab. inż. **Piotr Siwak**: Zaznaczył duży potencjał aplikacyjny oraz badawczy pracy, która bardzo mu się podobała i którą ocenia bardzo wysoko.

7. dr hab. inż. **Rafał Talar**: Zaznaczył, że podziela wcześniejsze opinie. Uważa, że doktorant ma odpowiedni zasób wiedzy. Doktoranta zna między innymi ze współpracy w ramach projektów i stwierdza, że bardzo dobrze się w nich udziela i potrafi implementować różne rozwiązania w praktyce.

8. dr hab. inż. **Maciej Tabaszewski**: temat bardzo ciekawy i bardzo dobrze zrealizowany. Podziwia pracę eksperymentalną, która została wykonana. Bardzo pozytywnie również ocenia sam przebieg obrony i wypowiedzi Doktoranta.

9. dr inż. **Dominik Rybarczyk**: Doktorant zajmuje się chwytakami od momentu realizacji pracy inżynierskiej, za którą otrzymał nagrody i wyróżnienia. Zrealizowany temat ocenia jako bardzo ciekawy i rozwojowy. Doktoranta ocenia bardzo dobrze, szczególnie zwracając uwagę na aspekty organizacyjne realizowanych prac.