



Kleosin, 14 października 2024 r.

prof. n. ekon. i n. techn. dr hab. inż. Joanicjusz Nazarko

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Charubina pt.

*Zjawisko Matteucciego w niejednorodnym polu magnetycznym i jego zastosowanie
w budowie sensorów magnetycznych*

1. Podstawa opracowania recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Charubina zatytułowana *Zjawisko Matteucciego w niejednorodnym polu magnetycznym i jego zastosowanie w budowie sensorów magnetycznych*. Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Roman Szewczyk, a promotorem pomocniczym dr inż. Michał Nowicki. Recenzja opracowana została na zlecenie Dziekana Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej, prof. dr hab. inż. Roberta Sitnika z dnia 17 września 2024 r. zgodnie z uchwałą Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej z dnia 9 września 2024 r. Recenzja ma być wykorzystana w postępowaniu o nadanie mgr. inż. Tomaszowi Charubinowi stopnia naukowego doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna przed Radą Naukową Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej.

2. Charakterystyka ogólna rozprawy

Tematyka rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Tomasza Charubina dotyczy opracowania nowego typu sensorów do pomiaru niejednorodnego pola magnetycznego, wykorzystujących druty amorficzne z wprowadzoną poprzez naprężenia mechaniczne anizotropią helikalną. Przedmiot rozprawy doktorskiej wpisuje się w dyscyplinę naukową inżynieria mechaniczna, w zakres której, zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* włączone zostały zagadnienia z obszaru budowy i eksploatacji maszyn.

W swojej pracy Doktorant podjął badania naukowe o charakterze eksperymentalnym zmierzające do opracowania nowego typu czujników do pomiaru pola magnetycznego, w szczególności natężenia pola o niejednorodnym charakterze. Należy podkreślić, że zaproponowana koncepcja wykorzystania do budowy czujnika efektu Matteucciego w cienkich magnetycznych drutach amorficznych jest nowatorska i nie była do tej pory prezentowana w literaturze. Równocześnie potrzeba pomiarów natężenia pola magnetycznego występuje szeroko w obszarze automatyki przemysłowej, badań nieniszczących oraz inżynierii biomedycznej. Prowadzi to do oceny, że podjęty temat jest badawczo aktualny i odpowiada na potrzeby aplikacyjne. Aktualność tematu rozprawy doktorskiej potwierdzają zarówno trwające prace związane z opracowaniem nowego typu czujników pola magnetycznego (w tym opracowania firmy Infineon), jak i bieżące badania w zakresie magneto-mechanicznych aspektów efektu Matteucciego realizowane w wiodących ośrodkach na świecie, co potwierdza np. publikacją naukowców z Cardiff University: S. Alimohammadi, P.I. Williams, T.A. Meydan, *Curvature Sensor Utilizing the Matteucci Effect in Amorphous Wire „Sensors”* 2023, 23(3), 1243, <https://doi.org/10.3390/s23031243>.

Wobec powyższego tematykę podjętą w rozprawie doktorskiej uznaję za aktualną i ważną zarówno z punktu widzenia badań podstawowych jak i stosowanych.

3. Merytoryczna ocena pracy

Recenzowana rozprawa liczy 116 stron, składa się na nią dwanaście oznaczonych numerami części (w tym wstęp i bibliografia), streszczenia w języku polskim i angielskim oraz wykaz najważniejszych oznaczeń.

We wstępie autor ogólnie scharakteryzował przedmiot rozprawy i zdefiniował lukę badawczą jako ograniczony opis procesów fizycznych związanych z efektem Matteucciego, a w szczególności brak w literaturze wyjaśnienia zachowania czujnika wykorzystującego efekt Matteucciego w polu magnetycznym o zmiennym rozkładzie przestrzennym. W mojej ocenie jest to diagnoza trafna.

Rozdział drugi poświęcono określeniu celu i zakresu pracy oraz sformułowaniu tezy rozprawy. Jako cel pracy przyjęto „zbadać zjawiska Matteucciego w niejednorodnym polu magnetycznym oraz weryfikację możliwości jego wykorzystania w budowie nowego typu sensorów z uwzględnieniem niejednorodności pola magnetycznego wzdłuż osi próbki”. Jest to cel ambitny badawczo i nowatorski.

Doktorant postawił tezę, że „Możliwe jest zbudowanie sensora pola magnetycznego do pomiaru pól niejednorodnych, który będzie wykorzystywał Efekt Matteuciego w drutach ze stopów amorficznych”. Moim zdaniem na początku badań, jeśli nie jesteśmy pewni co do ich wyniku, należy posługiwać się hipotezą badawczą, nie zaś tezą. Osobiście uważam za niezbyt prawidłową konstrukcję tezy/hipotezy jako „możliwe jest”. Czy jeśli badaczowi nie udałooby się dowieść „możliwości”, to czy jest to dowodem na „niemożliwość”? Pomijając poruszone przeze mnie kwestie terminologiczne stwierdzam, że założenie badawcze Doktoranta znajduje swoje odzwierciedlenie w zakresie rozprawy.

W rozdziale trzecim Doktorant dokonał przeglądu stanu wiedzy w zakresie czujników pola magnetycznego. Przegląd jest możliwie pełny, należy jednak zwrócić uwagę, że koncentruje się on na ujęciu opisu aplikacyjnego czujników, w ograniczonym zakresie prezentując aspekty naukowe badań w tym zakresie. Także przegląd stanu wiedzy w zakresie zjawisk magnetomechanicznych i efektu Matteucciego koncentruje się na fizycznych podstawach zjawiska. Jest to podejście poprawne pod względem toku rozumowania rozprawy doktorskiej. Warto byłoby jednak uzupełnić przegląd stanu wiedzy o najnowsze publikacje związane wynikami badań efektu Matteucciego w drutach amorficznych realizowane w wiodących ośrodkach na świecie. Proszę o takie uzupełnienie w trakcie obrony rozprawy doktorskiej.

W rozdziale czwartym Doktorant scharakteryzował przedmiot badań. Obejmuje on druty amorficzne wykonane ze stopów żelaza i kobaltu, oferowane komercyjnie między innymi przez firmy Tamag Iberica z Hiszpanii oraz AICHI Steel (dawniej UNITIKA) z Japonii. Opis przedmiotu badań jest jednoznaczny i nie budzi zastrzeżeń.

W rozdziale piątym opisano metodę pomiarową zastosowaną w pracy doktorskiej. Należy podkreślić, że Doktorant w ramach pracy opracował sześć stanowisk eksperymentalnych niezbędnych do realizacji kolejnych etapów przygotowania próbek i ich badania. Wskazuje to na szeroki zakres podjętej pracy eksperymentalnej oraz potwierdza kompetencje badawcze Doktoranta. Jednak zamieszczony w rozdziale opis badań rozkładu pola w cewkach Helmholtza wydaje się być zbędny. Cewki Helmholtza są uznawane za podstawowy wzorzec pola magnetycznego, umożliwiając powiązanie prądu płynącego przez cewkę i jej geometrii, z natężeniem pola magnetycznego. Ponadto w wielu miejscach rozdziału parametry użytkowe stanowisk opisano w sposób jakościowy (np. „Stanowisko pozwoliło na zbadanie w powiększeniu wyglądu pojedynczych impulsów

Matteucciego w dobrej rozdzielczości z wykluczeniem szumów”). W trakcie obrony Doktorant powinien, tam gdzie występują w tym zakresie braki, w miarę możliwości uzupełnić informację o ilościowym oszacowaniu parametrów opisujących dokładność pomiarów na opracowanych stanowiskach.

W rozdziale szóstym i siódmym rozprawy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych w zakresie zjawiska Matteucciego zarówno w jednorodnym, jak i niejednorodnym polu magnetycznym. Na podkreślenie zasługuje szeroki program badań, potwierdzający ambitne podejście Doktoranta do realizowanej pracy. Doktorant przedstawił wyniki umożliwiające powiązanie parametrów ilościowych opisujących efekt Matteucciego z parametrami mechanicznego przygotowania próbek, w szczególności z procesem wprowadzania anizotropii helikalnej do drutu z magnetyka amorficznego w procesie jego wyżarzania. Należy także podkreślić, że wyniki badań efektu Matteucciego w polu niejednorodnym mają oryginalny charakter związany z podjętą tematyką rozprawy doktorskiej. Wyniki takie nie były do tej pory prezentowane w literaturze, co potwierdza fakt oryginalnego rozwiązania problemu naukowego podjętego w rozprawie.

W rozdziale ósmym Doktorant przedstawił model ilościowy opisujący zjawisko Matteucciego w niejednorodnym polu magnetycznym. Model ten wykorzystuje wprost opis zjawisk domenowych w przemagnesowywanym drucie, co zapewnia jego prawidłowe umocowanie w opisie zjawisk fizycznych. Warto jednak zauważyć, że wynik przedstawionego modelowego opisu zjawiska jest niejednoznaczny, to znaczy w wyniku modelu otrzymujemy dwa rozwiązania opisujące mierzoną różnicę czasu impulsu związanego ze zjawiskiem Matteucciego, przesunięte o π . Proszę, aby w trakcie obrony Doktorant wskazał, które rozwiązanie opisuje zjawisko z fizycznego punktu widzenia. Zaproponowana przez Doktoranta wielomianowa aproksymacja wyniku modelowania jest dużym uproszczeniem, jednak jest ona uzasadniona praktycznym, inżynierskim podejściem do opisu opracowywanego czujnika.

W rozdziale dziewiątym przedstawiono oryginalną konstrukcję czujnika pola magnetycznego wykorzystującego efekt Matteucciego. W rozdziale tym przedstawiono także charakterystykę pomiarową czujnika podkreślając poprawność wielomianowego opisu charakterystyki czujnika. Przedstawiona charakterystyka potwierdza pozytywną weryfikację założenia badawczego przyjętego przez Doktoranta w rozprawie doktorskiej.

Należy podkreślić, że przedstawione w recenzji uwagi mają charakter porządkująco-uzupełniający. Nie zmieniają one mojej wysokiej oceny wartości merytorycznej przedstawionej mi do oceny rozprawy doktorskiej i osiągniętych w wyniku jej realizacji wyników.

4. Ocena redakcyjnej strony rozprawy

Strona redakcyjna i językowa pracy jest na ogół poprawna i odpowiada standardom rozprawy doktorskiej. Co prawda Autor nie ustrzegł się wielu drobnych błędów językowych (np. „opartych o efekt”, „przy pomocy systemu”, „Efekt” Matteucciego) oraz dosyć licznych błędów interpunkcyjnych, ale nie są one rażące. Zwykle też wstęp i spis literatury nie są numerowane jako rozdziały.

Uważam również, że w wypadku rysunków/fotografii źródło ich pochodzenia powinno być dokładniej opisane (np. „zaczepnięto z...”, „opracowano na podstawie...”, „fotografia własna”). Za dobrą praktykę uważam też podawanie nazw oprogramowania, za pomocą którego uzyskano prezentowane wykresy.

Zwraca również uwagę niestandardowy (moim zdaniem mało przejrzysty), a przy tym niekonsekwentnie stosowany, opis bibliograficzny źródeł.

5. Wniosek końcowy

Podsumowując swoją opinię dotyczącą rozprawy doktorskiej autorstwa mgr. inż. Tomasza Charubina pt. *Zjawisko Matteucciego w niejednorodnym polu magnetycznym i jego zastosowanie w budowie sensorów magnetycznych* stwierdzam, że:

- zagadnienie naukowe podjęte przez Doktoranta zostało sformułowane w sposób jasny i jednoznaczny oraz jest istotne i aktualne;
- cel pracy został osiągnięty, a założenie badawcze potwierdzone;
- wyniki badań są rzetelne i jednoznaczne, a ich interpretacja spójna i prawidłowa;
- osiągnięte rezultaty są nowatorskie w skali międzynarodowej i stanowią oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w zakresie dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna;
- badania zostały przeprowadzone z wykorzystaniem oryginalnych, opracowanych przez Doktoranta stanowisk badawczych;
- Doktorant wykazał się zaawansowaną wiedzą o charakterze specjalistycznym.

Dodatkowo należy podkreślić, że wyniki będące rezultatem badań przedstawionych w rozprawie doktorskiej zastały opublikowane w pięciu recenzowanych publikacjach, w tym we współautorskim, z promotorem i promotorem pomocniczym, artykule w czasopiśmie „Materials” (IF=3,06), co w sposób pośredni potwierdza wysoką jakość naukową rozprawy doktorskiej.

W związku z powyższym stwierdzam, że praca doktorska mgr. inż. Tomasza Charubina spełnia wszelkie wymagania określone przez Ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003, nr 65, poz. 595 z późn. zm.). Wnoszę o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie mgr. inż. Tomasza Charubina do jej publicznej obrony.

Joanigun Nazarko