

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Charubina
pt. „Zjawisko Matteucciego w niejednorodnym polu magnetycznym i jego
zastosowanie w budowie sensorów magnetycznych”**

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie prof. dr hab. inż. Roberta Sitnika, Dziekana Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej z dnia 17 września 2024 r.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Roman Szewczyk, a promotorem pomocniczym jest dr inż. Michał Nowicki.

2. Ocena wyboru tematu i celu pracy

Współczesne systemy pomiarowe, sterowania i monitoringu, stosowane we wszystkich dziedzinach techniki, nauki oraz w życiu codziennym, wykorzystują różnego rodzaju czujniki, w tym służące do pomiaru pól magnetycznych. W chwili obecnej dostępnych jest wiele typów czujników magnetycznych, które umożliwiają pomiary w szerokim zakresie wartości pola magnetycznego. Specyficzną grupę stanowią czujniki, w których elementem detekcyjnym jest ferromagnetyczny materiał amorficzny w postaci taśmy lub drutu, a ich działanie oparte jest na zjawisku gigantycznej magnetorezystancji (GMR) i gigantycznej magnetoimpedancji (GMI) oraz magnetomechanicznym efekcie Matteucciego (ME). Efekt Matteucciego polega na indukowaniu napięcia na końcach próbki będącej pod wpływem skrętnych naprężeń mechanicznych i umieszczonej w osiowym polu magnetycznym. Analiza efektu Matteucciego i możliwości jego wykorzystania w czujnikach jest obszarem intensywnych badań naukowych oraz prac inżynierskich, przy czym zastosowanie czujników ME w pomiarach niejednorodnych pól magnetycznych jest tematyką stosunkowo mało rozpoznaną.

Doktorant w ramach realizowanej rozprawy doktorskiej zaplanował zbadanie zjawiska Matteucciego w niejednorodnych polach magnetycznych oraz zaprojektowanie i budowę sensora pola magnetycznego do pomiaru pól niejednorodnych wykorzystującego zjawisko Matteucciego w drutach amorficznych.

Doktorant sformułował cel rozprawy jako:

„Zbadanie zjawiska Matteuciego w niejednorodnym polu magnetycznym i weryfikacja jego wykorzystania w budowie nowego typu sensorów z uwzględnieniem niejednorodności pola magnetycznego wzdłuż osi próbki”

oraz postawił następującą tezę:

„Możliwe jest zbudowanie sensora pola magnetycznego do pomiaru pól niejednorodnych, który będzie wykorzystywał Efekt Matteuciego w drutach ze stopów amorficznych”.

Uważam, że podjęta przez Doktoranta tematyka badawcza jest aktualna i wpisuje się w realizowane na świecie badania, a jej wybór jest istotny zarówno w kontekście rozważań naukowych, jak również prac inżynierskich. Cel i teza pracy zostały poprawnie sformułowane oraz są zbieżne z tematyką i zakresem rozprawy doktorskiej.

3. Redakcja i zakres pracy

Rozprawa doktorska została wydana w postaci monografii, która liczy 116 stron i zawiera: podziękowania, streszczenie w języku polskim i angielskim, wykaz najważniejszych oznaczeń, 12 rozdziałów, w tym: wstęp, cel i zakres pracy, 7 rozdziałów właściwych, podsumowanie i wnioski końcowe, kierunki dalszych prac oraz bibliografię. Spis literatury zawiera 169 pozycji, w tym 15 prac współautorskich Doktoranta, w których w 11 pracach Doktorant jest pierwszym autorem.

W rozdziale 1, stanowiącym wprowadzenie do pracy, Doktorant wymienił rodzaje czujników pola magnetycznego i obszary ich zastosowań, ze szczególnym uwzględnieniem czujników wykorzystujących efekt Matteuciego (ME). Wskazał również na brak w literaturze naukowej informacji w zakresie zachowania czujników ME w polu magnetycznym o zmiennym rozkładzie przestrzennym, co stanowiło bezpośrednią przyczynę podjęcia przez niego tematyki badawczej będącej przedmiotem rozprawy doktorskiej.

W rozdziale 2 Doktorant przedstawił cel pracy doktorskiej, zakres zrealizowanych badań oraz sformułował tezę rozprawy doktorskiej.

Rozdział 3 został poświęcony omówieniu stanu wiedzy w obszarze związanym z tematyką rozprawy doktorskiej, w tym: metodom pomiaru pola magnetycznego, właściwościom materiałów magnetycznie miękkich oraz zjawiskom magnetomechanicznym występującym w tych materiałach. W zakresie pomiarów pól magnetycznych Doktorant scharakteryzował czujniki indukcyjne, czujniki transduktorowe, czujniki magnetorezystywne, czujniki SQUID, czujniki do pomiaru pola magnetycznego Ziemi oraz inne magnetometry. W odniesieniu do materiałów magnetycznych Doktorant skoncentrował się na drutach amorficznych, które były obiektem w realizowanych badaniach, oraz wpływie relaksacji termicznej na ich strukturę domenową i właściwości. W dalszej części rozdziału Doktorant scharakteryzował zjawiska magnetomechaniczne obserwowane w materiałach, tj. magnetostrykcję, efekt Villariego, efekt Wiedemanna, efekt Matteuciego oraz relacje zachodzące pomiędzy nimi. Rozdział 3 jest zasadniczo prawidłowo opracowany, przy czym podrozdziały 3.1.7 i 3.1.8 powinny zostać włączone do podrozdziału 3.1.6, gdyż opisują magnetometry stosowane do pomiarów pola

magnetycznego Ziemi. Ciekawym podsumowaniem całego podrozdziału 3.1 byłaby tabela prezentująca opisane czujniki wraz z podaniem zakresu mierzonych pól magnetycznych oraz dokładności pomiarowej.

W rozdziale 4 Doktorant opisał przedmiot badań, tj. cienkie druty amorficzne na bazie żelaza ($\text{Fe}_{77,5}\text{Si}_{7,5}\text{B}_{15}$) oraz na bazie żelaza i kobaltu (CoFeSiB) oraz przedstawił ich podstawowe parametry magnetyczne i mechaniczne.

W rozdziale 5 scharakteryzowano stanowiska pomiarowe i technologiczne, które zostały opracowane i zastosowane w badaniach, wraz z ich schematami blokowymi, zdjęciami oraz przykładowymi wynikami pomiarowymi:

- stanowisko do wyżarzania drutów amorficznych z możliwością wytwarzania anizotropii helikalnej w procesie wyżarzania,
- stanowisko do zadawania zmiennego oraz stałego pola magnetycznego – w celu symulacji cewki przemagnesowującej rdzeń oraz mierzonego stałego pola,
- stanowisko do pomiaru napięcia z rdzenia magnetycznego (Matteucciego) w domenie czasowej z użyciem oscyloskopu,
- stanowisko do pomiaru napięcia Matteucciego z kondycjonowaniem sygnału w domenie czasowej z użyciem oscyloskopu oraz w domenie częstotliwościowej z użyciem analizatora częstotliwości,
- stanowisko do pomiaru napięcia Matteucciego w domenie czasowej przy zmiennej temperaturze,
- stanowisko do pomiaru napięcia Matteucciego przy zmiennym naprężeniu mechanicznym rdzenia,
- stanowisko do pomiaru parametrów magnetycznych rdzeni magnetycznie miękkich – histerezograf $B(H)$.

W rozdziale 6 Doktorant przedstawił wyniki badań eksperymentalnych wykonanych w jednorodnym polu magnetycznym dla:

- a) próbki w postaci drutu amorficznego na bazie żelaza w zakresie pomiarów napięcia Matteucciego w domenie czasowej oraz wpływu temperatury na efekt Matteucciego (ze względu na duży poziom „zaszumienia” uzyskiwanych sygnałów, jak również konieczność kondycjonowania próbki, Doktorant zrezygnował z dalszych badań),
- b) próbki w postaci drutu amorficznego na bazie żelaza i kobaltu w zakresie pomiarów sygnałów Matteucciego w domenie czasowej i częstotliwościowej; wpływu skręcenia rdzenia na poziom sygnału Matteucciego (wartość pola magnetycznego wyzwalającego impulsy, amplituda impulsów) oraz na szerokość generowanych impulsów.

W rozdziale Doktorant zawarł również analizę i dyskusję uzyskanych wyników pomiarowych, wskazując na istotny wpływ odkształceń mechanicznych (naprężeń skrętnych) na propagację ścian domenowych w drucie amorficznym, co przekłada się na parametry generowanego sygnału (napięcia) Matteucciego.

Rozdział 7 zawiera wyniki badań dotyczące wpływu niejednorodnego oraz gradientowego pola magnetycznego na efekt Matteucciego. Doktorant opisał w rozdziale sposób generowania niejednorodnego i gradientowego pola magnetycznego, przedstawił rozkłady pól w rdzeniu oraz przeanalizował wpływ pola niejednorodnego i gradientowego na kształt wytwarzanych

impulsów Matteucciego. W przypadku gradientowych pól magnetycznych przedstawiono charakterystyki pola magnetycznego inicjującego impuls Matteucciego w funkcji gradientu pola przy różnych poziomach skręcenia drutu sensorowego, dla których wyznaczono wartości współczynników ich nachylenia. Doktorant wskazał w podsumowaniu rozdziału, że możliwy jest pomiar niejednorodnych pól magnetycznych poprzez pomiar opóźnień pomiędzy dodatnimi i ujemnymi impulsami Matteucciego.

W rozdziale 8 Doktorant zaproponował model ilościowy opisujący zjawisko Matteucciego w niejednorodnym polu magnetycznym. Rozdział ten jest stosunkowo krótki i mógłby zostać rozbudowany o weryfikację eksperymentalną zaproponowanego modelu ilościowego.

Rozdział 9 został poświęcony opisowi prac w zakresie projektu, zasady działania i budowy miernika pola magnetycznego wykorzystującego efekt Matteucciego w drucie amorficznym na bazie żelaza i kobaltu. Doktorant przedstawił również wybrane właściwości użytkowe miernika (m.in. maksymalny zakres pomiarowy, rozdzielczość pomiaru cyfrowego, niepewność pomiarową typu A), jak też charakterystykę wykonanego miernika oraz zależność opóźnienia impulsów w niejednorodnym polu magnetycznym od natężenia pola magnetycznego ΔH na końcu drutu. Na zakończenie rozdziału Doktorant zawarł stwierdzenie, że „możliwe jest zbudowanie sensora pola magnetycznego do pomiaru pól niejednorodnych, który będzie wykorzystywał Efekt Matteucciego w drutach ze stopów amorficznych”, potwierdzające tezę pracy doktorskiej.

Rozdział 10 stanowi podsumowanie rozprawy doktorskiej. Przedstawiono w nim wnioski wynikające z przeprowadzonych badań oraz wykaz najważniejszych osiągnięć Doktoranta. Natomiast w rozdziale 11 Doktorant wskazał obszary przyszłych prac naukowo-badawczych, m.in. opracowanie modelu opisującego „rozdwojenie” impulsów Matteucciego w zależności od rozkładu pola w obszarze rdzenia, wykorzystanie zjawiska Matteucciego do budowy czujników obrotu i prądu krytycznego oraz skanerów i mikrosensorów magnetowizyjnych.

Reasumując, uważam że treść oraz zakres rozprawy są zgodne z jej tytułem. Układ rozprawy jest czytelny, a kolejne rozdziały tworzą logiczną i spójną całość. Rozprawa została napisana w sposób zrozumiały, z użyciem poprawnego języka technicznego, a jej redakcja jest na dobrym poziomie. Dobór źródeł literaturowych oraz sposób ich cytowania w tekście rozprawy jest prawidłowy i świadczy o dobrym rozeznaniu Doktoranta w obszarze badań prezentowanych w rozprawie.

4. Ocena wartości naukowej

Do najważniejszych osiągnięć naukowych Doktoranta należy zaliczyć:

- a) opracowanie stanowisk badawczych do przygotowania próbek (drutów amorficznych) oraz generowania jednorodnych, niejednorodnych i gradientowych pól magnetycznych,
- b) opracowanie stanowisk badawczych do pomiarów sygnału Matteucciego w drutach amorficznych
- c) wykonanie pomiarów i analiza wpływu temperatury, naprężeń skrętnych oraz pól magnetycznych niejednorodnych i gradientowych na parametry sygnału Matteucciego,

- m.in. wartość pola magnetycznego wyzwalającego impulsy, amplitudę i szerokość generowanych impulsów,
- d) wskazanie na występowanie dodatkowej domeny na końcu drutu amorficznego jako źródła dodatkowego piku w sygnale Matteucciego w przypadku niejednorodnych pól magnetycznych oraz sformułowanie na tej podstawie modelu ilościowego opisującego efekt Matteucciego w tych polach,
- e) zaprojektowanie i wykonanie miernika pola magnetycznego wykorzystującego efekt Matteucciego w drucie amorficznym na bazie żelaza i kobaltu oraz wykazanie możliwości jego zastosowania do pomiaru niejednorodnych pól magnetycznych.

Uważam, że zaproponowana w pracy metodyka badań oraz przeprowadzona analiza zjawiska Matteucciego potwierdziły możliwość budowy sensora pola magnetycznego wykorzystujący zjawisko Matteucciego w drutach amorficznych do pomiaru niejednorodnych pól magnetycznych, a tym samym mgr inż. Tomasz Charubin osiągnął zaplanowany cel oraz udowodnił słuszność sformułowanej w rozprawie tezy.

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny Inżynieria Mechaniczna, a w szczególności w obszar związany wykorzystaniem zjawisk magnetomechanicznych do budowy sensorów.

5. Uwagi krytyczne i kwestie dyskusyjne

5.1. Uwagi merytoryczne i kwestie dyskusyjne

1. w podrozdziale 3.1.3 „Czujniki magnetorezystancyjne i magnetoimpedancyjne” opisano wyłącznie czujniki magnetorezystancyjne, pomijając drugi typ czujników,
2. brak konsekwencji zapisu równań (3.6) do (3.8): jeżeli prędkość nośnika ładunku oraz natężenie pola magnetycznego zapisano jako wektory, to również siła oddziałująca na ładunek oraz natężenie pola elektrycznego powinny być zapisane w tych równaniach jako wektory,
3. w rozdziale 3.2 na stronie 27 znajduje się zdanie „*Kiedy ściany domenowe powiększą się dostatecznie proces dochodzi do punktu, w którym wszystkie ściany muszą się obrócić zgodnie z kierunkiem pola magnesującego (pkt. b)*”. Czy ściany domenowe obracają się zgodnie z kierunkiem pola magnesującego, czy stwierdzenie to powinno odnosić się do wektorów magnetyzacji?
4. w opisie rysunku 3.12 (strona 34) znajduje się zapis „ $\theta_0 = \alpha + \theta$ kąt pomiędzy osią elementu a kierunkiem anizotropii po przyłożeniu naprężeń stycznych”, natomiast zgodnie z przedstawionym rysunkiem „ $\theta_0 = \alpha + \theta$ ”,
5. na stronie 36 Doktorant wprowadza pojęcie bistabilnych drutów amorficznych, przy czym w pracy nie zostało wyjaśnione na czym polega wspomniana „bistabilność”,
6. w opisie badanych drutów amorficznych (strona 39), dla drutu na bazie żelaza podano szczegółowy skład chemiczny $Fe_{77,5}Si_{7,5}B_{15}$, natomiast dla drutu na bazie żelaza i kobaltu jedynie ogólny skład chemiczny CoFeSiB. Dlaczego Doktorant nie podał szczegółowego składu chemicznego drutu na bazie żelaza i kobaltu?

7. na stronie 37 znajduje się zdanie „Przekształcając równanie (3.1.2), zmiana magnetyzacji obwodowej rdzenia może być przedstawiona jako”, w którym Doktorant niewłaściwie wskazał numer równania. Prawidłowy numer równania, które było przekształcane, to (3.15),
8. zdanie na stronie 39 „Druty bistabilne magnetycznie różnią się od typowych materiałów magnetycznie miękkich, w których, na skutek namagnesowania częściowego, występuje krzywa magniesowania” jest niejasne. Proszę o jego wyjaśnienie w zakresie „na skutek namagnesowania częściowego, występuje krzywa magniesowania”,
9. w tabeli 4.1 (strona 39) podano, że drut na bazie żelaza (o wysokiej przenikalności) ma pole koercji $H_c = 25$ A/m, natomiast z rysunku 4.2 wynika, że pole koercji jest znacznie niższe i wynosi ok. 1-2 A/m. Proszę o komentarz,
10. w rozdziałach 5.1 (i kolejnych) wskazano, że dane z multimetrów były wizualizowane i archiwizowane z wykorzystaniem programu opracowanego w środowisku LabView. Proszę o informację kto opracował ten program,
11. na rysunku 5.6 przedstawiono wykres rozkładu pola gradientowego, przy czym podano wartości względne pola. Proszę o wyjaśnienie w jaki sposób wyznaczano te wartości, tj. do jakiej wartości „bazowej” były odnoszone wartości pomiarowe,
12. nie zdefiniowano symboli występujących we wzorze (5.1),
13. w rozdziale 5.6 opisano opracowany histerezograf magnetyczny. Proszę o wyjaśnienia w zakresie:
 - w jaki sposób w układzie kontrolowany jest kształt przebiegu indukcji magnetycznej (strumienia magnetycznego) w próbce,
 - w jaki sposób zmierzono właściwości magnetyczne drutów amorficznych (sposób wykonania uzwojeń magnesującego i pomiarowego, kształt jarzma pomiarowego, uwzględnienie zjawiska odmagnesowania na końcach próbki itd.),
 - na jakiej podstawie stwierdzono w pracy, że „parametry użytkowe i metrologiczne zbudowanego histerezografu dorównują deklarowanym przez najważniejszych producentów, tj. Dr Steingroever GmbH z Niemiec oraz Laboratorio Elettrofisico z Włoch”? Czy wykonywane były pomiary na próbkach wzorcowych?
 - jaki był udział Doktoranta w budowie histerezografu magnetycznego?
14. co oznacza symbol „ V_{pp} ” na rysunku 6.3?
15. w przypadku badania sygnału Matteuciego w domenie czasowej, dla próbki na bazie żelaza pole magnesujące miało przebieg trójkątny (rysunek 6.1), natomiast dla próbki na bazie żelaza i kobaltu – przebieg sinusoidalny (rysunek 6.5). Dlaczego w badaniach tego samego zjawiska zastosowane odmienne przebiegi pola magnesującego?
16. na stronie 65 w ostatnim akapicie opisującym wpływ stałego pola magnesującego błędnie podano takie same poziomy składowej stałej pola (30 A/m) dla czerwonego i niebieskiego przebiegów przedstawionych na rysunku 6.6,
17. na rysunku 6.15 przedstawiono charakterystyki wpływu skręcenia próbki na amplitudę impulsów Matteuciego, przy czym punkty dla impulsów dodatnich są bardziej „rozrzucone” i obciążone większymi błędami, niż dla impulsów ujemnych. Proszę o komentarz w tej kwestii,
18. w tekście pracy nie odwołano się do rysunku 7.4 na stronie 80,

19. na rysunkach 7.7 do 7.11, prezentujących zależności natężenia pola magnetycznego wymuszającego impuls Matteucciego od zadawanego gradientu pola przy różnych skręcenjach drutu sensorowego, Doktorant umieścił charakterystyki w 4 kolorach dla różnych wariantów impulsów ujemnych i dodatnich, dla których następnie wykonał dopasowanie liniowe w celu określenia współczynników ich nachylenia (zestawionych w tabeli 7.1). Charakterystyki w kolorze zielonym i magneta są monotoniczne w całym zakresie zmian gradientu pola, natomiast w przypadku charakterystyk w kolorze czerwonym i niebieskim występują zakresy o różnym współczynniku nachylenia. W przypadku charakterystyk w kolorze zielonym i magneta Doktorant wykonał dopasowanie liniowe w całym zakresie zmian gradientu pola, natomiast dla pozostałych charakterystyk – tylko w wybranym zakresie. W jaki sposób Doktorant wybrał zakresy charakterystyk w kolorze czerwonym i niebieskim w celu dopasowania liniowego i jak to mogło wpłynąć na wartości uzyskanych współczynników nachylenia?
20. jaka była wartość skręcenia drutu amorficznego w zaprojektowanym i wykonanym sensorze pola magnetycznego?
21. Doktorant w rozdziale 11 wskazał na możliwość wykorzystania zjawiska Matteucciego do budowy czujników obrotu i prądu krytycznego oraz skanerów i mikrosensorów magnetowizyjnych. Czy w opinii Doktoranta możliwe jest wykorzystanie zjawiska Matteucciego do budowy czujników poziomego naprężeń skrętnych, np. występujących w konstrukcjach mechanicznych, na wałach silników i innych?

5.2. Uwagi redakcyjne

Rozprawa doktorska została zredagowana poprawnie, z właściwym użyciem języka technicznego, aczkolwiek zawiera pewne uchybienia redakcyjne, które wymieniono poniżej:

1. uchybienia w użyciu znaków interpunkcyjnych, w tym:
 - podwójne kropki, przykładowo „of 50 A/m.” (strona 6),
 - brak przecinków przed spójnikami „jak i”, „jak również”, przykładowo: „*automatyki przemysłowej [1] jak i w badaniach naukowych*” (strona 11); „*procesów magnesowania materiałów [5] jak również w badaniach magnetosfery*” (strona 11) i kolejne,
 - niepotrzebne przecinki, przykładowo „*branży medycznej, oraz w automatyce*” (strona 11) i kolejne,
2. niewłaściwe umieszczanie odnośników do cytowanych pozycji literaturowych, tj. umieszczanie ich po kropce kończącej zdanie, przykładowo „(...) *magnetyzacja różni się lokalnie w dowolnym obszarze materiału. [106]*” (strona 26), „(...) *przez niemieckiego fizyka Heinricha Barkhausena. [111, 112] Zauważył on (...)*” (strona 28) i kolejne. Cytowanie pozycji literaturowych stanowi integralną część zdania, a więc powinno znajdować się przed kropką, jak zostało to poprawnie sformatowane w niektórych fragmentach pracy, przykładowo w podrozdziale 3.1,
3. zapis oznaczeń użytych w tekście i równaniach: w przypadku oznaczeń indeksy zapisuje się tekstem prostym a nie kursywą, gdyż nie oznaczają nie zmiennych, przykładowo: μ_0 a nie μ_0 ,

4. równania stanowią część zdania, należy więc po nich umieszczać znaki interpunkcyjne typu kropka lub przecinek, jeżeli po równaniu występuje dalsza część zdania, na przykład wyjaśnienia użytych symboli,
5. uchybienia stylistyczne oraz nieprecyzyjne/niefortunne sformułowania, przykładowo:
 - „wpływu różnych zadawanych warunków na rdzenie czujników” (strona 5); lepiej brzmi „wpływu różnych warunków oddziałujących na rdzenie czujników”,
 - „Model jest nowym uzupełnieniem” (strona 5); każde uzupełnienie z zasady jest elementem nowości,
 - „praktyczność proponowanego czujnika” (strona 5); lepiej brzmi „możliwość praktycznego zastosowania czujnika”,
 - „could serve as an alternative” (strona 6); „serve” odnosi się raczej do obsługiwania, usługiwania lub serwowania, a tym przypadku lepiej brzmi „the sensor can be an alternative” lub „the sensor can be used as an alternative solution”,
 - „stosowane w zastosowaniach”; lepiej brzmi „stosowane w rozwiązaniach”,
 - „Kąt przesunięcia fazowego elektronów θ zależy od strumienia magnetycznego dany jest zależnością” (strona 22),
 - „Podczas magnesowania domeny te powiększają się, aż do ich zaniku.” (strona 30); to znaczy domeny się powiększają czy zanikają?,
 - „Układ pomiarowy składał się z pary cewek w układzie Helmholtza zasilany prądem” (strona 51),
 - „na dynamikę zdarzenia przemagnesowania” (strona 77); lepiej brzmi „na dynamikę procesu magnesowania”,
6. „sklejenie” spójników i następujących po nich wyrazów (wąskie spacje w porównaniu do pozostałych spacji), przykładowo „na skutek” (strona 12), „z cienkimi” (strona 18) i kolejne,
7. zastosowanie symbolu „*” jako oznaczenia operacji mnożenia w równaniu (3.1), w tekście na stronie 20 „ $4 \cdot 10^6$ A/m”, w równaniu (5.2) i opisie tabeli 7.1,
8. drobne literówki, przykładowo: „w Belsku” (strona 23),
9. w zdaniu „Pozycja wypadkowego wektora magnetyzacji M_s wynika z minimalizacji energii, która opisuje się równaniem [21] (3.14)” (strona 35) nie potrzebnie wskazano numer równania,
10. w opisie składu chemicznego drutów amorficznych na bazie żelaza ($Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$) jako separatora dziesiątego niewłaściwie użyto kropki zamiast przecinka (strona 39),
11. opisy na rysunku 6.14 są nieujednoliczone, ponieważ dla punktów czerwonych opis to „Pole wyzwiania (...) impulsu”, a dla punktów niebieskich „Wartość bezwzględna pola wyzwiania impulsu (...)”,
12. niespójny językowo zapis pozycji literaturowych w zakresie danych bibliograficznych: dla wszystkich prac zastosowano zapis „T. xx, Issue xx, s. xx–xx”, w którym „T.” oznacza tom, „Issue” oznacza numer a „s.” oznacza numery stron. Powinien być zastosowany zapis jednolity językowo, tj. „T. xx, Numer xx, s. xx–xx” lub „Vol. xx, Issue xx, pp. xx–xx”.

Należy podkreślić, że wskazane uchybienia redakcyjne nie wpływają w istotny sposób na ocenę merytoryczną rozprawy.

6. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, który dotyczy analizy magnetomechanicznego zjawiska Matteucciego, tj. wpływu naprężeń stycznych na generowanie w materiale pola elektrycznego w obecności zewnętrznego pola magnetycznego jednorodnego i niejednorodnego. Tym samym, tematyka pracy wpisuje się w zakres dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna. Recenzowana rozprawa doktorska potwierdza umiejętności i predyspozycje Doktoranta do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Zawarte w punkcie 5 uwagi krytyczne i kwestie dyskusyjne nie wpływają w znaczący sposób na ocenę merytoryczną recenzowanej rozprawy.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Tomasza Charubina pt. „*Zjawisko Matteucciego w niejednorodnym polu magnetycznym i jego zastosowanie w budowie sensorów magnetycznych*” **spełnia wymagania** stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14.03.2003 r. – Dz. U. z 2003 r. nr 65, poz. 595 ze zmianami wprowadzonymi Ustawą z dnia 18.03.2011 r. i późniejszymi zmianami.

Niniejszym wnioskuję o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Charubina pt. „*Zjawisko Matteucciego w niejednorodnym polu magnetycznym i jego zastosowanie w budowie sensorów magnetycznych*” do publicznej obrony.



.....
/dr hab. inż. Mariusz Najgebauer, prof. PCz/