

Opole, dn. 10.05.2023

Dr hab. inż. Andrzej Waindok, prof. Uczelni
Katedra Elektrotechniki i Mechatroniki
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Politechnika Opolska
ul. Prószkowska 76, 45-758 Opole
tel. (77) 449 8027
E-mail: a.waidnok@po.edu.pl

S E K R E T A R I A T
Rady Dyscypliny AEEITK

Wpłynęło dnia 12.05.2023

Zarejestrowano pod nr

Podpis 

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Mgr inż. Bartłomiej Sikora

pt. Axial active magnetic suspension systems
(Osiowe aktywne systemy zawieszenia magnetycznego)
wykonanej po kierunku dr hab. inż. Adama Piłata z AGH w Krakowie

Niniejszą recenzję opracowano na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne dr hab. inż. Ryszarda Sroka – pismo z dnia 03.03.2023.

1. Ocena wyboru tematu i tezy naukowej rozprawy

Łożyska magnetyczne są znane i badane od szeregu dziesięcioleci. Ich istotny rozwój nastąpił w latach 90-tych i na początku XXI wieku wraz z pojawieniem się mikrokontrolerów o dużej mocy obliczeniowej. Pomimo, że są one stosowane głównie w urządzeniach specjalnych (np. żyroskopy, bezwładnościowe magazyny energii, turbokompresory itp.), to wciąż są intensywnie badane, szczególnie w zakresie minimalizacji zużycia energii, stabilności pracy, zwiększenia gęstości mocy oraz sterowania. Obecnie rozwój łożysk magnetycznych jest związany z doskonaleniem metod symulacji komputerowej ich stanów pracy już na etapie projektowania. Wymaga to tworzenia modeli numerycznych oraz analitycznych uwzględniających zjawiska zachodzące w tych urządzeniach. Standardem staje się określanie parametrów i charakterystyk łożysk magnetycznych na podstawie analizy pól sprzężonych (np. pole elektromagnetyczne + termiczne).

W opiniowanej pracy przedstawiono badania autorskiego siłownika z sześcioma nabiegunnikami (6pAAMB) w zastosowaniu do osiowego aktywnego układu zawieszenia magnetycznego. Badania obejmowały wykonanie modeli numerycznych w oparciu o metodę elementów skończonych (MES), analizę ich dynamiki z uwzględnieniem sterowania, jak również wykonanie trudnych badań eksperymentalnych. **Opiniowana praca mieści się w dyscyplinie naukowej "Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne", a temat rozprawy uważam za ważny zarówno pod względem naukowym, jak również poznawczym i konstrukcyjnym.**

Tezę pracy sformułowano następująco: „Osiowe aktywne łożyska magnetyczne z kilkoma biegunami pozwalają na ustawienie przestrzennej orientacji lewitującego obiektu”. Biorąc pod uwagę zawartość pracy teza jest sformułowana poprawnie. Ustawienie przestrzennej orientacji lewitującego obiektu z uwzględnieniem nie tylko jego położenia osiowego, ale także nachylenia wału z wykorzystaniem pojedynczego układu elektromagnesów, jest zadaniem trudnym i jednocześnie istotnym z punktu widzenia stabilności pracy łożyska magnetycznego. Interdyscyplinarny charakter pracy jest wartością dodaną i pozytywnie wpływa na ocenę wiedzy doktoranta.

2. Charakterystyka rozprawy

Recenzowana rozprawa liczy 175 stron i jest napisana w języku angielskim. Rozprawę podzielono na 14 rozdziałów, nie wliczając wykazu literatury, który został zamieszczony na końcu rozprawy. Na początku rozprawy zamieszczono wykaz stosowanych skrótów i oznaczeń. Rozprawa nie zawiera załączników ani dokumentacji technicznej prezentowanych rozwiązań. Stronę tytułową oraz streszczenie zamieszczono w języku polskim i angielskim. Bibliografia zawiera 153 pozycje, w tym 6 pozycji współautorskich oraz 2 pozycje autorskie Doktoranta. Literatura jest poprawnie dobrana i cytowana oraz zawiera w większości aktualne pozycje z zakresu badań łożysk magnetycznych.

We wstępie przedstawiono umotywowanie badań, najnowsze technologie lewitacji magnetycznej oraz cel i zakres pracy. Tezę pracy sformułowano następująco: „Osiowe aktywne łożyska magnetyczne z kilkoma biegunami pozwalają na ustawienie przestrzennej orientacji lewitującego obiektu”.

Rozdziały 2-5 zawierają wstępne badania doktoranta, mające na celu wprowadzenie do dalszych zagadnień poruszanych w pracy. W rozdziale 2 opisano jednoosiowy układ lewitacji magnetycznej z dwoma elektromagnesami wykonanymi na bazie kształtek typu E. Jako obiekt lewitacji wykorzystano sfery wykonane ze stali. Zbadano wpływ ustawień regulatora PD na ruch sfer oraz przeprowadzono symulacje numeryczne układu lewitującego. W rozdziale 3 zawarto badania dotyczące wpływu temperatury na zachowanie układu lewitującego z elektromagnesem kubkowym. Efektem tych prac było opracowanie nieliniowego modelu lewitacji uwzględniającego wpływ temperatury na położenie elementu lewitującego. Rozdział 4 zawiera opis koncepcji elektromagnesu z porowatym rdzeniem. W rozdziale tym zawarto zarówno symulacje, jak i pomiary elektromagnesu wykonanego z materiału o strukturze porowatej (wykonanego na drukarce 3D). Rozdział 5 zawiera koncepcję, projekt oraz opis wykonanego prototypu hybrydowego osiowego łożyska magnetycznego. Model numeryczny został wykonany z użyciem programu COMSOL Multiphysics.

Rozdziały 6-12 zawierają wyniki szeregu badań 6-biegunowego aktywnego osiowego łożyska magnetycznego (6pAAMB). Po przedstawieniu konstrukcji łożyska w rozdziale 6, Autor opisuje opracowany przez siebie model numeryczny, wykorzystany w obliczeniach wariantowych (rozdział 7). Zakres badań obejmuje określenie wpływu natężenia prądu elektrycznego oraz pozycji wirnika na charakterystykę siły. W rozdziale 7 opisany jest także wirtualny prototyp pozwalający na wieloparametrową optymalizację układu ze względu na koszty, osiągi, działanie oraz produkcję.

W rozdziale 8 przedstawiona jest autorska metoda diagnostyki elektromagnetycznych siłowników tarczowych, pozwalająca na określenie jakości powierzchni aktywnej. Rozdział ten jest ciekawym rozwinięciem problemu identyfikacji AAMB. Algorytm wykorzystany do diagnostyki pozwala na określenie różnic między wysokościami poszczególnych nabiegunników z dokładnością 50 μm . Przedstawione wyniki zostały zweryfikowane eksperymentalnie z wykorzystaniem współrzędnościowej maszyny pomiarowej oraz lasera.

Rozdział 9 zawiera opis kilku wariantów stanowiska pomiarowego, które może zawierać dwa aktywne łożyska magnetyczne, pojedyncze aktywne łożysko osiowe lub jego kombinację z pasywnym magnetycznym łożyskiem radialnym. Bazując na opracowanych stanowiskach pomiarowych, przeprowadzono testy 6pAAMB celem jego adaptacji do konfiguracji z pionowym układem wirnik-wał. Testy były wsparte symulacjami MES, które pozwoliły na przeprowadzenie analizy modalnej wału oraz odchylenia wirnika.

Ciekawym i wartościowym z punktu widzenia naukowego jest rozdział 10, w którym opisano model analityczny 6pAAMB, pozwalający na wyznaczenie 3-wymiarowego rozkładu indukcji magnetycznej.

Model wykorzystuje wektorowy potencjał magnetyczny oraz mapowanie Schwarza-Christoffela. Pomimo, że zaprezentowane podejście jest znane, to nie było ono dotychczas stosowane do prezentowanego w pracy aktywnego osiowego łożyska magnetycznego. Na uznanie zasługuje podjęcie się przez Autora rozprawy tego trudnego zadania, wymagającego także uwzględnienia efektów krańcowych oraz funkcji zespolonych permeancji sprzężonych. Wyprowadzone zależności zostały zweryfikowane pomyślnie za pomocą modeli numerycznych MES opracowanych w środowisku COMSOL Multiphysics. Niewątpliwą zaletą modeli analitycznych jest ich znacznie krótszy czas obliczeń w porównaniu z modelami numerycznymi, co jest bardzo przydatne przy badaniach algorytmów sterowania.

W rozdziale 11 zamieszczono wyniki badania układu składającego się z pasywnego łożyska magnetycznego promieniowego, które wspomaga 6pAAMB. Przedstawiono wyniki dla szeregu eksperymentów, w tym dla przypadku rozpędzenia łożyska do prędkości obrotowej 4000 obr/min.

Rozdział 12 zawiera opis interdyscyplinarnego podejścia do identyfikacji parametrów autorskiego sześciobiegunowego osiowego aktywnego łożyska magnetycznego. Ponieważ opracowany siłownik ma służyć do kompensacji nachyleń wału poprzez tłumienie wibracji bocznych z wykorzystaniem sterowania trzech wektorów siły, to konieczne było przeprowadzenie interdyscyplinarnej identyfikacji za pomocą kilku metod pomiarowych. Pomiary obejmowały: badanie wpływu na parametry niedokładności wykonania siłowników, obserwację chaotycznych ruchów w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku lewitacji, określenie parametrów cewek, wyznaczenie parametrów modelu termicznego, określenie zależności na siłę elektromagnetyczną. W rozdziale tym przedstawiono także linearyzację modelu. Zwieńczeniem badań opisanych w rozdziale 12 są pomiary z wykorzystaniem wstrząsarki (wymuszone wibracje).

W przedostatnim rozdziale pracy zaprezentowano wyniki badań możliwości stabilizacji położenia dysku w wybranym punkcie aktywnego obszaru pracy z wykorzystaniem opracowanego 6pAAMB. Wyniki pomiarów wykorzystano w obliczeniach numerycznych w celu uzyskania równań modelu możliwie dobrze opisujących dysk w stanie ustalonym. Wykorzystując model numeryczny przeprowadzono analizę zarówno składowych siły, jak i momentu generowanych podczas pracy badanego łożyska magnetycznego. Ważną część stanowi podrozdział 13.3, w którym zawarto wyniki badań sterowania pochylem wału oraz położeniem dysku.

Ostatni rozdział zawiera podsumowanie badań przeprowadzonych w rozprawie.

Praca jest dobrze i starannie zredagowana. Język angielski jest na dobrym poziomie. Kolejne rozdziały prezentują wyniki pracy jako logiczny i spójny ciąg, ukierunkowany na realizację celu pracy i potwierdzenie założonej tezy. Wprawdzie w niektórych miejscach występują powtórzenia myśli z wcześniejszych fragmentów, niemniej jednak nie utrudniają one jej lektury. Pewną uwagę można mieć do zbyt małych rozmiarów czcionki na niektórych rysunkach (np. rys. 3.1c, 3.1e, 5.5b, 9.4b itd.), co utrudnia ich analizę. Ciekawym pomysłem jest natomiast wykorzystanie ramek wprowadzających do rozdziału oraz podsumowujących jego treść.

3. Ocena wartości naukowej rozprawy

3.1. Podstawowe założenia i wybór metod badań AAMB

Badania aktywnych łożysk magnetycznych muszą obejmować analizę dynamiki z uwzględnieniem układu zasilania i sterowania, a także analizę zjawisk termicznych oraz mechanicznych. Tak szerokie, interdyscyplinarne podejście wymaga zastosowania metod polowych obliczeń oraz złożonych badań eksperymentalnych. Dla celów analizy polowej

(elektromagnetycznej, termicznej i mechanicznej) Autor wybrał metodę elementów skończonych (MES) oraz metody analityczne. W przypadku analizy dynamiki łożyska, Autor oparł się na modelach liniowych oraz przeprowadził eksperymentalną identyfikację ich parametrów. Dobór nastaw regulatorów dla różnych stanów pracy łożyska został przeprowadzony eksperymentalnie. Przyjęte przez Autora metody badawcze są dobrane i wykorzystane poprawnie. Pewien niedosyt pozostawia brak uwzględnienia parametrów obliczonych z metod polowych w modelach dynamicznych AAMB.

3.2. Ocena sposobu rozwiązania zagadnienia

Opracowane i wykorzystane przez Autora modele numeryczne, analityczne oraz przeprowadzone eksperymenty pozwoliły na przeprowadzenie szerokich badań osiowych aktywnych systemów zawieszenia magnetycznego (AAMB). W celu określenia niezbędnych parametrów elektromagnetycznych, Autor rozprawy przeprowadził 3-wymiarową analizę pola AAMB z uwzględnieniem nieliniowych charakterystyk rdzeni ferromagnetycznych – w tym celu wykorzystał metodę elementów skończonych zaimplementowaną w programie COMSOL Multiphysics software. W oparciu o zasadę Hamiltona wyprowadził model dynamiki układu wirnik-wał wraz z układem łożysk magnetycznych i układem sterowania, który zaimplementował w programie Matlab/Simulink. Opracowane modele zostały z powodzeniem zweryfikowane pomiarowo na autorskich stanowiskach pomiarowych. Podjęte badania stanowią oryginalny wkład Autora w tematykę analizy osiowych aktywnych systemów zawieszenia magnetycznego.

3.3. Osiągnięcia Autora i ocena wyników rozprawy

Autor podjął się trudnego zadania interdyscyplinarnej analizy autorskiego rozwiązania AAMB. Rozwiązanie napotkanych problemów wymagało dużego nakładu pracy zarówno od strony obliczeniowej, jak i doświadczalnej. Do wartościowych cech pracy doktorskiej zaliczam:

- 1) Przedstawienie oryginalnego i nowatorskiego rozwiązania aktywnego osiowego łożyska magnetycznego, pozwalającego nie tylko na stabilizację osiową wirnika, ale także na kontrolę jego nachylenia.
- 2) Analizę sił bocznych występujących w układzie lewitacji magnetycznej (rozdz. 2.3) oraz w opracowanym AAMB (rozdz. 13.2.2).
- 3) Określenie wpływu temperatury na wartość indukcyjności cewki oraz na charakterystyki dynamiczne łożyska (rozdz. 3.2.2).
- 4) Określenie charakterystyki magnesowania dla stali S355J2 i jej implementację w modelu numerycznym FEM.
- 5) Analizę jakości wykonania AAMB przedstawioną w rozdziale 8, która jest niewątpliwie oryginalnym i wartościowym osiągnięciem Autora rozprawy. Rzadko spotyka się tak precyzyjną analizę rzeczywistej geometrii urządzeń elektromagnetycznych oraz wpływu niedoskonałości wykonania modelu fizycznego na jego parametry.
- 6) Dobre przygotowanie eksperymentów. Widoczny jest duży nakład pracy związany z opracowaniem i wykonaniem poszczególnych stanowisk pomiarowych. Przykładem może być tutaj pomiar indukcji magnetycznej w szczelinie po obwodzie łożyska zamieszczony w rozdz. 10.4.
- 7) Porównanie różnych metod uwzględniania efektów krańcowych zawarte w rozdziale 10, które jest zarówno wartościowe naukowo, jak i ciekawe. W szczególności zastosowanie

metody SC (*conformal mapping*) jest ważnym osiągnięciem i świadczy o dobrym przygotowaniu matematycznym Autora rozprawy.

- 8) Wykorzystane w pomiarach sprzęgło magnetyczne, które jest oryginalnym osiągnięciem Autora.
- 9) Zaprojektowanie, wykonanie i przetestowanie autorskiego pasywnego promieniowego łożyska magnetycznego (rozd. 11).
- 10) Przedstawienie w rozdziale 12.7 bardzo ciekawych badań wpływu ustawień regulatora PD na jakość regulacji (przeregulowanie, czas ustalania, czas narastania).
- 11) Przeprowadzenie badań numerycznych oraz eksperymentalnych badanego łożyska magnetycznego, a w szczególności obliczeń rozkładu sił bocznych i momentów elektromagnetycznych działających na dysk, pomiarów sterowania pozycją i nachyleniem dysku.

Podsumowując, przedstawione wyniki badań upoważniają do stwierdzenia, że **teza rozprawy została udowodniona oraz osiągnięto założone cele pracy**. Opracowane stanowiska pomiarowe, metody identyfikacji, układy sterowania oraz modele obliczeniowe, zarówno numeryczne, jak i analityczne, wnoszą istotny wkład w badania nad aktywnymi osiowymi łożyskami magnetycznymi.

4. Uwagi szczegółowe i dyskusyjne

Nie mam większych zastrzeżeń do strony redakcyjnej. Ilość błędów stylistycznych jest znikoma i nie wpływa w żadnym stopniu na jakość pracy. Niemniej jednak, podczas lektury zauważyłem braki edytorskie oraz nasunęły mi się pewne uwagi szczegółowe (na które nie wymagam odpowiedzi od Autora):

- 1) Zmienne m_s , T_3 , T_4 , u_{c3} i u_{c4} nie są wyjaśnione pod wzorem (2.1).
- 2) Na rysunku 2.1 powinno być zaznaczonych nieco więcej zmiennych.
- 3) Na rys. 2.5 lepiej byłoby użyć [mm] jako jednostki położenia.
- 4) Do tabeli 5.1 przydałoby się dodać rysunek z oznaczeniami.
- 5) W rozdziale 5.2 zabrakło rysunku modelu numerycznego z warunkami brzegowymi.
- 6) Rys. 5.2b jest mało czytelny (brak oznaczeń osi). Brakuje komentarza do rozkładów pola przedstawionych na rysunku 5.2.
- 7) Na rys. 5.4 wskazane byłoby nałożenia na siebie pomiarów i obliczeń (pozwala to na łatwiejsze ocenienie dokładności modeli obliczeniowych).
- 8) W komentarzu do wyników przedstawionych na rys. 5.6 brakuje informacji o tym, czy dysk wiruje, czy nie. Jest to istotna informacja, gdyż w przypadku ruchu obrotowego generują się prądy wirowe, które wpływają na szybkość opadania dysku po wyłączeniu zasilania.
- 9) Str. 47, stopka, pkt. 2 – pierwsza wartość indukcyjności powinna wynosić prawdopodobnie 165,0 mH, a nie 16,5 H.
- 10) Str. 49, trzecia linijka od dołu – brakuje numeru rysunku.
- 11) Brakuje powołania na tabelę 7.2.
- 12) Rys. 7.6b – brakuje legendy.
- 13) W rozdziale 7.2.2 przydałoby się dołożyć więcej komentarza.
- 14) Brakuje komentarza do rys. 7.12d.
- 15) Str. 62 – pod rys. 8.1 powinna być też podana rozdzielczość czujnika, a nie tylko jego zakres pomiarowy.

- 16) Tabela 8.5 – różnice lepiej przedstawiać jako wartości względne.
- 17) Rys. 9.4 – do wymiarów wskazane byłoby dodać średnice.
- 18) Poniżej wzoru (10.1) są opisane zmienne, których nie ma w tym wzorze.
- 19) Str. 94 - we wzorze (10.12) obok indukcji magnetycznej (z ang. "magnetic flux density") występuje także natężenie pola magnetycznego (z ang. „magnetic flux intensity”). Tymczasem w zdaniu powyżej jest mowa tylko o „flux density”.
- 20) Wzór (10.14) – powinno być tu powołanie na rys. 10.2.
- 21) Str. 108 – w pierwszym akapicie pojawia się oznaczenie h , które nie jest wyjaśnione. Dodatkowo w tabeli 11.2 zawarto wartości h , dla których nie przedstawiono wyników pomiarów (9,75 mm oraz 10,00 mm).
- 22) Tabela 11.3 – nie do końca wiadomo, co kryje się pod oznaczeniami „1-x”, „1-y” itd.
- 23) Str. 110 - w tekście pod wzorem (11.3) pojawia się stwierdzenie, że tłumienie rośnie ze wzrostem h . Z danych zawartych w tabeli (11.3) jednak to nie wynika.
- 24) Tabela 11.5 – wartość ω_2 powinna być 10 razy większa (prawdopodobnie jest tam przesunięty przecinek).
- 25) Rozdz. 12.2 – dobrze byłoby dodać tu parametry czujników.
- 26) Str. 120, akapit pod rys. 12.3 – ma być „difference”, a nie „error”.
- 27) Str. 125 – współczynnik temperaturowy rezystancji miedzi wynosi 0,0039 1/K.
- 28) Str. 126, wzór (12.7) – brakuje znaku minus.
- 29) Wzór (12.8) – nie jest opisany.
- 30) Rys. 12.11 – nie podano jaki jest błąd między pomiarem i obliczeniami.
- 31) Podpis pod wzorem (12.9) – zamiast „axial” powinno być użyte „normal”.
- 32) Wzór (13.2) – brak komentarza do wzoru.
- 33) Str. 152 – przedstawiona hipoteza jest raczej oczywista.


Po lekturze rozprawy nasunęły mi się także pewne **uwagi dyskusyjne**. Uwagi te nie wpływają na moją ocenę końcową, jednak prosiłbym Pana mgr inż. Bartłomieja Sikora o ich wyjaśnienie:

- 1) Dlaczego w rozdziale 2 wartość indukcyjności $L(x_1)$ nie została określona z wykorzystaniem modelu numerycznego wykonanego w programie COMSOL Multiphysics?
- 2) Dlaczego na rys. 2.3b występują tak znaczące różnice między pomiarami i obliczeniami?
- 3) W podrozdziale 2.3.1 nie podano informacji o wykorzystanym regulatorze (PI czy PID), ani o jego parametrach. Prosiłbym o podanie informacji na ten temat.
- 4) Dlaczego we wzorach (3.1) uwzględniono wpływ temperatury tylko na rezystancję uzwojeń, a nie na wartość dL/dz (co jest analizowane w rozdz. 3.2.2)?
- 5) Na rys. 7.1 i 7.7 przedstawiono zależność składowych F_x i F_y siły od kątów opisujących odchylenie dysku. Prosiłbym o wyjaśnienie, dlaczego występują tam tak duże pulsacje siły?
- 6) W rozdziale 7.3 zamieszczono wyniki obliczeń otrzymanych z opracowanego przez Doktoranta modelu numerycznego. Prosiłbym o krótkie przedstawienie modelu FEM w COMSOL-u. Jakie warunki brzegowe zastosowano? Jakie równania były rozwiązywane?
- 7) Prosiłbym o komentarz do wzorów (7.5) i (7.6) oraz do rysunków 7.8 (brakuje go w tekście pracy).
- 8) Opis rysunków 7.12 zawiera znane fakty. Prosiłbym o wyjaśnienie, jak przedstawione tam obliczenia zostały wykorzystane w pracy? Czy Doktorant próbował określić straty od prądów wirowych w dysku? Dlaczego wykonano obliczenia dla częstotliwości 10 Hz, 100 Hz i 1000 Hz?

- 9) W przeciwieństwie do łożysk osiowych homopolarnych, opracowana przez Autora konstrukcja zachowuje się jak hamulec wiropędowy. Wraz ze wzrostem prędkości wirowania dysku, rośnie również moment hamujący oraz straty wiropędowe w samym dysku. Ogranicza to możliwe zastosowanie przedstawionej konstrukcji do układów wolnoobrotowych. W związku z tym pojawia się kilka pytań: W jakich zastosowaniach prezentowane w pracy AAMB ma przewagę nad homopolarnym AAMB? Czy rozważano zastosowanie materiałów proszkowych do budowy prezentowanego łożyska (np. Somaloy) celem obniżenia strat w nim występujących?
- 10) Na stronie 75, w punkcie C dotyczącym modelowania w czasie opisano głównie modele FEM. Czy Doktorant rozważał wykorzystanie modeli połowo-obwodowych zaprezentowanych np. w pracach dr inż. Dawida Wajnerta?
- 11) Czy wykonano pomiary indukcyjności wzajemnej M pomiędzy parami biegunów? Jaki jest stosunek wartości indukcyjności własnej do wzajemnej?
- 12) Prosiłbym o wyjaśnienie zależności (10.22) i (10.23). Brakuje go w tekście rozprawy.
- 13) Jaki jest czas obliczeń (szacunkowo) modelu numerycznego oraz modelu analitycznego przedstawionych w rozdz. 12.6 (str. 130)? O ile krócej liczy się model analityczny?
- 14) Dlaczego parametry regulatora są w każdym eksperymencie inne, pomimo, że badane jest to samo łożysko? (np. str. 143 oraz str. 138).
- 15) Poprosiłbym o kilka zdań komentarza do rys. 13.14 (brakuje go w tekście).

5. Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę zakres i poziom recenzowanej pracy doktorskiej, przedstawione wyniki, badania eksperymentalne, jej bezpośredni związek z praktyką inżynierską oraz brak poważnych uwag merytorycznych stwierdzam, że **spełnia ona wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jednolity: Dz. U. z 2020r. poz. 85 z późn. zm.)**. **Wnioskuje zatem o dopuszczenie mgr inż. Bartłomieja Sikora do publicznej obrony Jego rozprawy.**


Dr hab. inż. Andrzej Waindok