



**Wojskowa
Akademia
Techniczna**



dr hab. inż. Krzysztof Falkowski
Zakład Awioniki, Instytut Techniki Lotniczej
Wydział Mechatroniki, Uzbrojenia i Lotnictwa
Wojskowa Akademia Techniczna

Warszawa, dn. 31.01.2023 r.

Recenzja

**dorobku naukowego, monografii oraz cyklu publikacji zatytułowanych
„Modelowanie i weryfikacja pomiarowa charakterystyk łożysk magnetycznych”
dra inż. Dawida WAJNERTA w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego**

1. Podstawa opracowania

- a) Pismo Rektora Politechnik Opolskiej Pana dr hab. inż. Marcina LORENCA nr RR/1502/2022 z dnia 24.11.2022r.
- b) Uchwała Senatu Politechniki Opolskiej nr 218 z dnia 23.11.2022r.
- c) Wniosek do Rady Doskonałości Naukowej z dnia 27.07.2022r. Pana dr inż. Dawida WAJNERTA o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika.
- d) Zbiór materiałów i dokumentów potwierdzających dorobek i oryginalne osiągnięcie naukowe Pana dr inż. Dawida WAJNERTA:
 - i) Monografia pt. “Mathematical modelling of hybrid magnetic bearing”;
 - ii) Autoreferat;

Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2,
00-908 Warszawa

NIP: 527-020-63-00, REGON: 012122900, www.wat.edu.pl

- iii) Wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny
- iv) Kopie artykułów, patentów i innych dokumentów potwierdzających osiągnięcia naukowe;
- v) Oświadczenia współautorów publikacji wchodzących w skład oryginalnego osiągnięcia naukowego.

2. Charakterystyka Kandydata

Dr inż. Dawid Wajnert jest absolwentem wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Opolskiej, którą ukończył w 2008 r. i uzyskał tytuł magistra inżyniera po obronie pracy pt. „Projekt i wykonanie układu sterowania aktywnym łożyskiem magnetycznym”. Natomiast w 2012r. uzyskał stopień naukowy doktora nauk technicznych po obronie rozprawy doktorskiej pt. „Charakterystyka pracy łożyska magnetycznego z uwzględnieniem jego układu sterowania”. Pan Dawid Wajnert rozprawę doktorską zrealizował pod opieką Pana prof. dr hab. inż. Bronisława Tomczuka.

01.05.2012r. podjął pracę w Katedrze Elektrotechniki Przemysłowej Politechniki Opolskiej na stanowisku asystenta, natomiast od 01.10.2013r. jest zatrudniony na stanowisku adiunkta w Katedrze Elektrotechniki i Mechatroniki Politechniki Opolskiej.

Autor w swojej pracy naukowej zajmował się głównie problematyką zawieszek magnetycznych. Zarówno praca magisterska i rozprawa doktorska dotyczyły problematyki układu sterowania aktywnym łożyskiem magnetycznym. Przedstawiony do recenzji materiał stanowi przykład kontynuacji zainteresowań Habilitanta. Pomimo koncentracji zainteresowań na aspektach modelowania, projektowania i symulacji aktywnych zawieszek magnetycznych, w dorobku naukowym Habilitanta występują aktywności w zakresie projektowania pasywnych zawieszek magnetycznych, systemów sterowania, układów wykonawczych i maszyn elektrycznych.

3. Ocena rozprawy monografii i cyklu publikacji

Pan dr inż. Dawid Wajnert jako element oryginalnego osiągnięcia pt. „Modelowanie i weryfikacja pomiarowa charakterystyk hybrydowych łożysk magnetycznych”, przedstawił monografię „Mathematical modelling of hybrid magnetic bearing” wydaną przez Oficynę Wydawniczą Politechniki Opolskiej. Monografia obejmuje 126 stron i jest podzielona na siedem rozdziałów, wykaz oznaczeń i skrótów, wykaz literatury, dwa załączniki oraz streszczenie w języku polskim i angielskim. Przygotowana przez Pana Dawida Wajnerta monografia napisana została w języku angielskim. Przed opublikowaniem została zrecenzowana przez dr hab. inż. Arkadiusza Mystkowskiego z Politechniki Białostockiej i dr hab. inż. Marcina Wardacha z Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.

W rozdziale pierwszym przedstawiona została charakterystyka i klasyfikacja łożysk magnetycznych. Omówione zostały scenariusze sterowania zawieszkami aktywnymi oraz

Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2,
00-908 Warszawa

NIP: 527-020-63-00, REGON: 012122900, www.wat.edu.pl

przedstawiona autorska koncepcja hybrydowego zawieszenia magnetycznego. Autor monografii przeprowadził analizę stanu wiedzy w zakresie konstrukcji zawieszonych aktywnych, wykazując że przedstawiona koncepcja układu sześciobiegunowego jest oryginalnym rozwiązaniem względem bardzo rozpowszechnionego układu ośmiobiegunowego.

Natomiast w drugim rozdziale monografii przedstawiona jest charakterystyka konstrukcji i parametry hybrydowych promieniowych łożysk magnetycznych. Autor w monografii zaproponował dwie konfiguracje magnetowodów łożysk promieniowych. Wersja „A” to magnetowód z sześcioma nabiegownikami, z tym że w trzech umieszczone są magnesy, na pozostałych znajdują się cewki elektromagnesów. Magnetowód w wersji „B” łożyska posiada magnesy umieszczone w jarzmie łożyska między nabiegownikami. W tej wersji łożyska znajduje się sześć cewek wsuniętych na każdy z nabiegowników. Wersja „A” charakteryzuje się posiadaniem trzech magnesów i trzech cewek, natomiast wersja „B” posiada sześć odpowiednio cewek oraz magnesów.

Rozdziały trzeci i czwarty opisują model obwodowy i polowy łożyska w wersji „A” i „B”. Rozdział trzeci to krótka charakterystyka opisu pola magnetycznego zgodnie z równaniami Maxwella. Kolejny rozdział przedstawia modele MES łożyska „A” i „B”. Autor omawia dyskretyzację modelu łożysk oraz wyniki analizy MES, która została wykorzystana do wyznaczenia rozkładu pola magnetycznego w szczelinie powietrznej oraz charakterystyk sztywności przemieszczeniowej i prądowej. W dalszej części rozdziału przedstawione są modele obwodowe łożysk. Autor wykorzystał podstawowe zależności stosowane w elektrotechnice do zdefiniowania składowych reluktancji magnetycznej obwodów. Magnetowody zaproponowanych wariantów łożysk magnetycznych można poddać dyskretyzacji przez podział ich na skończoną liczbę dyskretnych odcinków charakteryzowanych stałym polem przekroju, długością oraz właściwościami magnetycznymi materiału, z którego jest wykonany. Podobnie jak dla modelu MES Autor wyznaczył charakterystyki łożysk magnetycznych w wersji „A” i „B”. Wyznaczone charakterystyki dla modelu MES i obwodu magnetycznego łożyska typu „A” i „B” zostały porównane i ocenione z wykorzystaniem wskaźnika błędów średniego, który został zdefiniowany przez Autora w rozdziale czwartym monografii.

W rozdziale piątym przeprowadzana jest obszerna dyskusja o wpływie wybranych parametrów łożyska na rozkład pola magnetycznego, sztywność prądową i przemieszczeniową łożysk magnetycznych oraz wartości promieniowych sił magnetycznych generowanych przez siłowniki łożyska magnetycznego w kierunku osi sterowania. Analiza obejmuje wpływ parametrów geometrycznych magnetowodu łożysk oraz magnesów.

W ostatnim rozdziale przedstawiony jest układ sterowania łożyska magnetycznego oraz model dynamiczny siłowników, który uwzględnia charakterystyki sztywności zawieszonych magnetycznych

oszacowane we wcześniejszych rozdziałach pracy. Podsumowaniem rozdziału są badania symulacyjne modelu dynamicznego poszczególnych łożysk. Autor przedstawił odpowiedzi skokowe zawiesznień magnetycznych na wymuszenie w kierunku osi sterowania/pomiarowej O_x i O_y oraz trajektorie ruchu wirnika.

Praca kończy się podsumowaniem oraz załącznikami, w których omówione zostało stanowisko badawcze wykorzystane do weryfikacji eksperymentalnej modeli (załącznik A) oraz układ do pomiaru siły, prądu sterującego oraz przemieszczeń wirnika (załącznik B).

Monografia jest przygotowana bardzo starannie, nie mam uwag do jej strony redakcyjnej. Załączony wykaz publikacji jest adekwatny do treści zawartych w monografii i obejmuje 126 pozycji, z których 117 to artykuły i książki. Dopełnieniem zbioru bibliografii są dwa patenty oraz strony Internetowe.

Kolejnym elementem oryginalnego osiągnięcia Pana dr inż. Dawid Wajnerta jest cykl ośmiu artykułów, które są zbieżne z przedstawioną powyżej monografią. Jednak można wyróżnić artykuły stanowiące dopełnienie monografii. Artykuł pt. "Analysis of spatial thermal field in a magnetic bearing" stanowi rozszerzenie i uzupełnienie treści zawartych w monografii. W tym artykule Pan dr inż. Dawid Wajnert poruszył istotną problematykę związaną z wpływem temperatury na pracę zaprojektowanych aktywnych łożysk magnetycznych.

Natomiast artykuł pt. „Analysis of the cross-coupling effect and magnetic force nonlinearity in the 6-pole radial hybrid magnetic bearing” prezentuje ograniczenia jakie wystąpiły w zaproponowanej przez Pan dr inż. Dawida Wajnerta konstrukcji promieniowych łożysk aktywnych. W tym artykule przedstawiona została propozycja rozwiązania powyższych problemów, co doprowadziło do zgłoszenia dwóch patentów, które również zostały wykazane jako oryginalne osiągnięcie Pana Wajnerta.

Ponieważ pozostałe artykuły w całości stanowią odzwierciedlenie monografii, to nie będą w ocenie oryginalnego osiągnięcia rozpatrywane oddzielnie. Podobnie przedstawione w oryginalnym osiągnięciu patenty stanowią integralną część pracy badawczej i świadczą o istotnym wkładzie pracy Pana dr inż. Dawida Wajnerta w stan nauki o projektowaniu i sterowaniu zawiesznień magnetycznych.

Oceniając przedstawiony materiał należy podkreślić duży poziom oryginalności zastosowanego rozwiązania. Większość promieniowych łożysk magnetycznych wykonywana jest w układzie ośmiobiegunowym (przyjmując terminologię Pana Dawida Wajnerta), są to dwa siłowniki różnicowe, które umieszczone są ortogonalnie w łożysku (zazwyczaj przypisuje się im płaski układ odniesienia O_{xy} , w którym rozpatruje się ruch łożyskowanego wirnika). Siłowniki różnicowe pracują w układzie antagonistycznym (każdy ciągnie z określoną wartością siły magnetycznej generowanej przez elektromagnes zgodnie z wartością prądu punktu pracy i sterującego), a proces

sterowania polega na zwiększeniu lub zmniejszeniu prądu sterującego, co prowadzi do generowania siły elektromagnetycznej, która sprowadza wirnik do zadanego położenia (najczęściej przyjmuj się jako kryterium równość szczelin powietrznych w łożysku magnetycznym). Rozwiązanie w układzie sześciobiegunowym również było spotykane w literaturze przedmiotu, ale w ograniczonym stopniu i raczej rozpatrywane jako trzy niezależne elektromagnesy z trzema osiami pomiarowymi. Jednak ze względu na silnie nieliniowy charakter siłowników proces sterowania jest bardzo utrudniony.

Konstrukcja łożyska magnetycznego zaproponowana przez Pana Dawida Wajnert nie tylko posiada oryginalny magnetowód, ale również koncepcję sterowania. Autor przeniósł układ sterowania z klasycznego łożyska magnetycznego wyposażonego w dwa siłowniki elektromagnetyczne, dwie osie pomiarowe i dwa kanały sterowania do konfiguracji magnetowodu statora sześciobiegunowego. Przedstawiona koncepcja sterowania stanowi nowe bardzo interesujące podejście do zagadnienia konstruowania łożysk magnetycznych.

Oceniam oryginalne osiągnięcie Pana dr inż. Dawida Wajnerta bardzo wysoko i stanowi ono istotny wkład w rozwój nauki w zakresie aktywnych systemów łożyskowania magnetycznego. Jednak mam też kilka krytycznych uwag dotyczących opiniowanego materiału.

Pierwsza uwaga dotyczy przyjętej przez Autora monografii klasyfikacji zawieszek magnetycznych. W monografii Autor dzieli zawieszki/łożyska magnetyczne na aktywne, pasywne i hybrydowe. Przyjmując taką logikę myślenia należy traktować łożysko hybrydowe jako połączenie łożyska aktywnego z pasywnym. Dlatego uważam, że zakwalifikowanie przedstawionych w monografii modeli jako hybrydowe jest bezzasadne. Uważam, że są to łożyska aktywne z magnesami trwałymi. Magnesy w łożysku aktywnym wprowadzają strumień magnetyczny punktu pracy, który jest odpowiednikiem prądu punktu pracy w łożysku aktywnym bez magnesów. Dlatego proponuję w dalszej działalności nazywać tego typu łożyska jednak aktywnymi.

Kolejna uwaga dotyczy złożoności układu sterowania. Zaproponowana konstrukcja posiada bardzo złożony układ sterowania. Położenie wirnika mierzone jest w dwóch osiach pomiarowych. Uchyb położenia jest uwzględniany przez regulator, który zmienia wartość prądu startującego w kanale sterowania. Ponieważ mamy dwa kanały sterowania, to musimy wyznaczone wartości prądów sterujący transformować do trzech składowych prądu w układzie związanym ze statorem łożyska. Taka transformacja w układach rzeczywistych zawsze wprowadza błędy i zakłócenia, jednocześnie powoduje silne sprzężenia między kanałami sterowania.

Kolejny element, którego zabrakło w rozdziale szóstym monografii i artykułach, to badanie wejścia łożyska do punktu pracy. W stanie wyłączonym wirnik opiera się w przypadkowym położeniu co jest spowodowane oddziaływaniem magnesów. W takim stanie, wirnik przesunięty

jest o wartość szczeliny powietrznej lub szczeliny narzuconej przez łożyska spoczynkowe. W badaniach symulacyjnych są to warunki początkowe wektora stanu zawieszenia magnetycznego.

Kolejne moje zastrzeżenie budzi umieszczenie magnesów. Ponieważ są one umieszczone w gniazdach, które są zamknięte magnetowodem (w realizowanym projekcie z jednej strony, a w symulacjach z dwóch stron), w takim przypadku pojawia się zamknięcie strumienia i nasycenie obwodu magnetycznego. Stan taki prowadzi do nieefektywnego wykorzystania magnesów.

Pomimo powyższych uwag, oceniam monografię, cykl artykułów i patenty Pana dr inż. Dawida Wajnerta jako wnoszące znaczący wkład w pozyskanie wiedzy o rozwoju technologii zawieszek magnetycznych. Autor wykazał się dużym doświadczeniem badawczym oraz praktyką inżynierską. Opiniowana monografia, cykl publikacji i patenty stanowią spójną całość i dotyczą jednej szeroko rozumianej dziedziny badań i techniki czym wyczerpuje wymagania jakie powinna spełniać praca habilitacyjna.

4. Ocena dorobku naukowego, Habilitanta oraz jego dorobku dydaktycznego i działalności organizacyjnej

a. Dorobek naukowy

W ramach działalności naukowej dr inż. Dawid Wajnert opublikował 10 artykułów przed pracą doktorską i 13 po obronie doktoratu. Kolejne dwa artykuły opublikował w materiałach konferencyjnych, które posiadają punkty MNiSW. Habilitant, po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych, wygłosił referaty na siedmiu konferencjach naukowych krajowych i zagranicznych. Wszystkie wskazane wystąpienia i publikacje są powiązane tematycznie i dotyczą problematyki konstrukcji i sterowania aktywnych łożysk magnetycznych w układzie sześciobiegunowym.

Oprócz działalności publikacyjnej aktywnie uczestniczył w prowadzeniu prac badawczych. W okresie od uzyskania stopnia naukowego doktora nauk technicznych (od 2012 roku) uczestniczył w jednym projekcie badawczym oraz siedmiu pracach statutowych. Do aktywności w tym obszarze należy zaliczyć udział w programach europejskich realizowanych na rzecz rozbudowy potencjału przemysłowego rejonu Opola oraz bazy laboratoryjnej Politechniki Opolskiej.

Kolejnym obszarem aktywności naukowej jest recenzowanie artykułów publikowanych w renomowanych czasopismach i materiałach konferencyjnych. Pan dr inż. Dawid Wajnert zrecenzował łącznie 14 artykułów w tym 12 w renomowanych czasopismach. Ponadto Habilitant aktywnie współpracuje z przedsiębiorstwami realizując wspólne projekty oraz kształcą pracowników. Dodatkowym wymiernym efektem jest patent (oprócz wymienionych jako oryginalne osiągnięcie dwóch patentów) i wdrożenie realizowane wspólnie z Uniwersytetem Technicznym w Dortmundzie.

Dane bibliometryczne habilitanta są w pełni wystarczające do nadania Mu stopnia naukowego doktora habilitowanego. Zgodnie z podanymi danymi liczba cytowani wynosi:

Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2,
00-908 Warszawa

NIP: 527-020-63-00, REGON: 012122900, www.wat.edu.pl

- Web of Science – ogólna 36; bez autocytowań 23;
- Web of Science Core Collections – ogólna 35; bez autocytowań 22;
- Scopus – ogólna 67; bez autocytowań 45.

Habilitant posiada indeks Hirsha 4.

Aktywność publikacyjna, udział w pracach badawczych, wdrożenia i patenty oraz recenzowanie artykułów świadczy o rozpoznawalności w środowisku naukowym krajowym i zagranicznym. Dorobek Pana dr inż. Dawida Wajnerta oraz jego rozpoznawalność w środowisku naukowym uważam za wystarczającą. Osiągnięcia publikacyjne nie są szczególnie wyróżniające jednak należy uwzględnić wysoki stopień specjalizacji obszaru badawczego Pana Dawida Wajnerta, co jednocześnie nie sprzyja uzyskaniu wysokich indeksów.

b. Dorobek dydaktyczny i działalność organizacyjna

Pan dr inż. Dawid Wajnert jest pracownikiem badawczo-dydaktycznym Politechniki Opolskiej od 2012 roku. Jako pracownik dydaktyczny posiada znaczący udział w realizacji procesu dydaktycznego. Liczba prowadzonych przedmiotów (wykładów, ćwiczeń i laboratoriów) jest znaczna. Uczestniczy w prowadzeniu zajęć dla studentów zagranicznych, co wiąże się z dodatkowymi obowiązkami związanymi z koniecznością przygotowania zajęć w języku angielskim. Jako pracownik badawczo-dydaktyczny, doceniam skalę trudności jaka wiąże się z prowadzeniem tak wielu zajęć przez Pana dr inż. Dawida Wajnerta (osiemnaście przedmiotów studia I i II stopnia oraz trzy w ramach ERASMUS). Domyślam się, że część z tych przedmiotów to wynik ewolucji spowodowanej zmianą programów nauczania, jednak jest to również poważne wyzwanie, co wiąże się z obowiązkami Habilitanta w ramach Rady Dydaktycznej działającej na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej. Obciążenia dydaktyczne pracowników badawczych stanowią poważną przeszkodę w rozwoju naukowym. Prowadzenie zajęć jest oczywistym wymogiem na uczelni wyższej, jednak nadmierna liczba godzin dydaktycznych oraz konieczność dostosowania programów i przedmiotów do dynamicznie zmieniającego się stanu wiedzy stanowi poważne obciążenie pracowników (proces ten obserwuję jako pracownik badawczo-dydaktyczny WAT).

Dodatkowo Habilitant kierował osiemnastoma pracami inżynierskimi i czterema magisterskimi. Dwie z tych prac zostały wyróżnione. Jednocześnie Habilitant zrecenzował 10 prac inżynierskich i 12 magisterskich. Doświadczenie w procesie kształcenia kadr zdobył jako promotor pomocniczy w przewodzie doktorskim prowadzonym od 2020 roku w Politechnice Opolskiej.

Pan dr inż. Dawid Wajnert uczestniczy w pracach organizacyjnych prowadzonych w macierzystej uczelni. Zajmuje się organizacją oraz sprawuje opiekę nad laboratoriami w Politechnice Opolskiej. Uczestniczy w organizacji konferencji naukowych, przez aktywną pracę w komitetach organizacyjnych. Prowadzi działalność popularyzatorską oraz promującą Politechnikę

Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2,
00-908 Warszawa

NIP: 527-020-63-00, REGON: 012122900, www.wat.edu.pl

Opolską. Za swoją działalność dwukrotnie nagrodzony został nagrodą Rektora Politechniki Opolskiej.

Podsumowując działalność dydaktyczną oraz organizacyjną Pana dr inż. Dawida Wajnerta należy podkreślić jego pracowitość, obowiązkowość oraz zaangażowanie. Jak zaznaczyłem powyżej, rozwój naukowy połączony z aktywną działalnością dydaktyczną oraz organizacyjną wymaga bardzo dużego nakładu pracy. Ponadto Habilitant na każdym z tych obszarów działalności odnosi sukcesy (nagrodzone prace dyplomowe oraz nagrody Rektora Politechniki Opolskiej). Dlatego uważam, że dorobek w tym obszarze z nadmiarem spełnia wymagania jakie stawia się samodzielnym pracownikom naukowym.

5. Wniosek końcowy

Oceniając całokształt dorobku dra inż. Dawida Wajnerta, w tym Jego wyniki badań przedstawione jako oryginalne osiągnięcie pod wspólnym tytułem „Modelowanie i weryfikacja pomiarowa charakterystyk łożysk magnetycznych”, dorobek publikacyjny, aktywność naukową, dorobek dydaktyczny i działalność organizacyjną, stwierdzam, że Habilitant znacząco powiększył swój dorobek po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nauk technicznych i spełnia wymagania wynikające z art. 219 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. 2018 poz. 1668) oraz ustawy z dnia 27 września 2017 roku „O stopniach naukowych i tytule naukowym” (Dz.U. 2017 poz. 1789). W związku z powyższym wnoszę o przyjęcie dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego dra inż. Dawida Wajnerta jako podstawy do nadania Mu przez Senat Politechniki Opolskiej stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie automatyka, elektrotechnika i elektronika.

