

Recenzja wniosku

w sprawie nadania stopnia naukowego **doktora habilitowanego**

dr inż. **Pawłowi Grzegorzowi Ewertowi**

w dyscyplinie naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologia Kosmiczne

1. Podstawa formalna wykonania recenzji

Podstawą wykonania niniejszej recenzji jest 'Zawiadomienie o wyznaczeniu na Recenzenta i Członka Komisji Habilitacyjnej' nr 12/04/DO2/2024 wystawione przez Politechnikę Wrocławską przez prorektora Prof. Andrzeja Ożyhara.

2. Podstawa merytoryczna oceny dorobku naukowego dr. Inż. Pawła Ewerta w zakresie dotyczącym wniosku o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego

Podstawą do zapoznania się z dorobkiem naukowym i dokonaniem oceny z punktu widzenia obowiązującej aktualnie ustawy jest materiał dostarczony przez Politechnikę Wrocławską w formie elektronicznej, a przygotowany przez kandydata, o nazwie:

cykl powiązanych tematycznie publikacji naukowych pt. „Diagnostyka mechanicznych uszkodzeń układu napędowego przy wykorzystaniu metod przetwarzania sygnałów i sieci neuronowych”

Materiał ten kompletny, dobrze i przejrzysto przygotowany, a ocenie merytorycznej służą obszerny autoreferat kandydata (56 stron) i załączniki zawierające prace tworzące cykl publikacji będący podstawą do oceny dorobku, oświadczenia współautorów publikacji wspólnych, wykaz osiągnięć naukowych, kopię dyplomu nadania stopnia naukowego doktora, zestawienie wskaźników bibliometrycznych, zaświadczenie o odbyciu stu naukowego i kopie dyplomów

dotyczących osiągnięć związanych z dorobkiem naukowym i dydaktycznym. Materiały te w pełni pozwalają na ocenę wkładu kandydata w rozwój dyscypliny naukowej, której dotyczy wniosek promocyjny i jego kwalifikacji jako naukowca i nauczyciela akademickiego.

3. Ocena merytoryczna wniosku o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego

Aktualne wymagania ustawowe dotyczące nadania stopnia naukowego doktora habilitowanego obejmują spełnienie przez kandydata trzech warunków koniecznych:

- posiadania stopnia naukowego doktora
- posiadanie dorobku naukowego, który stanowi znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej, w której nadawany jest stopień naukowy
- wykazanie się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, czy instytucji naukowej.

Dorobek naukowy wynikający z drugiego warunku to co najmniej 1 monografia naukowa, wydana w wymaganym w prawie wydawnictwie naukowym albo jeden cykl powiązanych tematycznie recenzowanych artykułów naukowych wydanych w czasopismach naukowych lub materiałach konferencyjnych określonych zgodnie z obowiązującymi przepisami. Przedstawiony do oceny wniosek Pana dr. inż. P. Ewerta w zakresie dorobku naukowego zawiera cykl powiązanych tematycznie publikacji naukowych pt. **'Diagnostyka mechanicznych uszkodzeń układu napędowego przy wykorzystaniu metod przetwarzania sygnałów i sieci neuronowych'**.

3.1 Warunek pierwszy – posiadanie stopnia naukowego doktora

Jest to najlepiej spełniony przez kandydata warunek ustawy – we wniosku załączona jest kopia dyplomu doktorskiego nadanego przez Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej, w 2012 roku. Tytuł rozprawy doktorskiej: **'Diagnostyka mechanicznych uszkodzeń napędów z silnikami indukcyjnymi przy wykorzystaniu sieci neuronowych'** jest ściśle powiązany z dalszym rozwojem naukowym kandydata i nazwą cyklu artykułów stanowiących podstawę wniosku o nadania stopnia doktora habilitowanego

Stopień naukowy doktora został nadany z wyróżnieniem.

3.2 Warunek drugi – dorobek naukowy stanowiący znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej: Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne

Dorobek naukowy przedstawionego do oceny cyklu artykułów naukowych jest o tyle trudny w recenzowaniu, że w tytule cyklu artykułów podmiotem jest '**Diagnostyka mechanicznych uszkodzeń...**', a wniosek dotyczy dyscypliny 'Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne'. Moim zdaniem lepszy byłby tytuł '**Wykorzystanie metod przetwarzania sygnału i sieci neuronowych do diagnostyki...**' i w tym bym się dopatrywał znacznego wkładu w rozwój dyscypliny naukowej.

Sam cykl artykułów stanowi 12 publikacji, głównie współautorskich, publikowanych w cenionych czasopismach naukowych, których tematyka badań odpowiada w pełni tytułowi cyklu – czyli w mojej ocenie ten cykl artykułów jest istotny i dobrze skomponowany. Współautorstwo prac jest uzasadnione szerokim zakresem badań i kilkoma nurtami występującymi w tych badaniach. Udział kandydata jest ważny, dobrze opisany i dotyczy głównie koncepcji badań pomiarów, doboru i przetwarzania sygnałów pomiarowych i optymalnego wykorzystania sieci neuronowych i innych narzędzi analizy sygnału do postawienia diagnozy stanu mechanicznego maszyny elektrycznej. Diagnozy te dotyczą kilku istotnych rodzajów mechanicznych uszkodzeń maszyny elektrycznej i napędu, ujętych w autoreferacie kandydata jako 3 cele cyklu publikacji – to jest: uszkodzeń łożysk tocznych, niewyważenia wirnika maszyny oraz niewspółosiowości i niecentryczności wirnika.

Z tych czterech rodzajów uszkodzeń mechanicznych maszyn na **pierwszy plan** wychodzą uszkodzenie łożysk tocznych, co autor słusznie uzasadnia częstością ich występowania i nieuchronnością pogłębiania się w trakcie eksploatacji. Temu tematowi jest też poświęcone 5 z 12 publikacji omawianego cyklu. Detekcji i klasyfikacji uszkodzeń łożysk tocznych jest poświęcony główny nurt badań. Są one przeprowadzone na podstawie badań laboratoryjnych dla trzech rodzajów maszyn elektrycznych małej mocy: silnika indukcyjnego, silnika BLDC i silnika synchronicznego PMSM. Sygnałem pomiarowym jest przyspieszenie drgań mierzone na obudowie łożyska w jednej lub kilku osiach w przestrzeni. Główny dorobek autora polega na badaniu i doborze metod przetwarzania sygnałów pomiarowych i 'automatycznym' wykrywaniu uszkodzeń (detekcja) i ewentualnej klasyfikacji rodzaju uszkodzenia łożyska. Podstawą jest szybka transformata Fouriera (FFT), ale jej stosowanie jest ograniczone do analizy sygnałów stacjonarnych. Kandydat bada więc skuteczność stosowania analizy falkowej, pakietowej analizy falkowej, klasycznych sieci neuronowych, map Kohonena, a także dodatkowego przetwarzania sygnału przy zastosowaniu transformaty

Hilberta. Pracy jest tutaj bardzo dużo, bo metody te mają szereg elementów strukturalnych i parametrów, które są dobieralne. W szczególności dotyczy to sieci neuronowych, które mogą być różnej budowy, różnego rozmiaru i mogą polegać różnym metodom uczenia. Ponadto, aby wyjść poza sferę badań o charakterze poznawczym, kandydat przedstawia nisko-budżetowy system komputerowy detektorów neuronowych bazujący na analizie widmowej przyspieszenia drgań i oraz obwiedni przyspieszenia drgań do detekcji uszkodzeń łożysk 'on line' przetestowany na silniku indukcyjnym z dużą skutecznością wykrywania uszkodzeń łożysk.

W tej części pracy dopatruję się głównie znaczącego wkładu kandydata w rozwój dyscypliny naukowej, w której ma być nadawany stopień doktora habilitowanego.

Oczywiście, diagnostyką łożysk tocznych w maszynach wirujących zajmują się przede wszystkim mechanicy i prezentowany przez kandydata dorobek powinien być skonfrontowany z ich osiągnięciami. Jest to zadanie trudne, bo to bardzo obszerny materiał. Z punktu widzenia recenzenta tego cyklu artykułów, przejrzałem spisy literatury w publikacjach kandydata, dotyczące omawianego powyżej zagadnienia i odnotowałem znaczną liczbę cytowanych prac ogólnych dotyczących badań i diagnostyki łożysk tocznych, wykonanych przez mechaników, oprócz oczywiście większości jaką stanowią publikacje dotyczących pracy i uszkodzeń łożysk w maszynach elektrycznych. Można więc przyjąć, że autor zapoznał się z tymi badaniami o charakterze ogólnym, a recenzenci poszczególnych publikacji omawianego cyklu uznali oryginalność badań i rezultatów uzyskanych przez autora.

Drugim celem omawianego cyklu publikacji jest 'skuteczna', jak pisze kandydat, detekcja niewyważenia wirnika maszyny przy zastosowaniu przetwarzania sygnałów drgań mechanicznych oraz prądu stojana. W omawianym cyklu publikacji reprezentują go 3 artykuły. Jest to temat stary jak ... koło lub wirnik, a wyważarki są stosowane od przygotowania do eksploatacji od kół samochodowych po duże maszyny elektryczne, w tym masywne i długie wirniki generatorów. Natomiast zmieniły się wymagania jak i metody określania niewyważenia oraz wprowadzania i rozmieszczania mas korekcyjnych. Oczywiście większym problemem jest wyważanie wirników długich, bo istotne staje się również osiowe rozłożenie mas wirujących, a niewyważenie może objawiać jako niewyważenie dynamiczne wirnika, co wymaga pomiarów drgań na łożyskach po obu stronach wału i wyznaczenia dwóch płaszczyzn korekcji za pomocą mas dodanych. Tego

oczywiście autor nie bierze pod uwagę mając do dyspozycji w laboratorium małe maszyny i tarcze modelujące niewy wagę. Tak więc postęp w tym zakresie badań mógł nastąpić tylko w zakresie rozwoju metod analizy sygnału i to w ograniczonym stopniu. Dla pewnego złagodzenia tej uwagi krytycznej trzeba dodać, że autor nie stawia sobie zadania korekty niewyważenia, ani jego klasyfikacji, tylko detekcję. W tym względzie interesującym jest proponowane przez kandydata badanie 'bispektrum', na które składa analiza się sygnałów przyspieszenia drgań i prądu fazowego uzwojenia stojana. Z dalszych prac autora wynika jednak, że zastosowanie sygnału diagnostycznego pochodzącego z pomiaru prądu traci cechy diagnostyczne przy zasilaniu silnika (indukcyjnego) z falownika i pozostaje tylko analiza sygnału drganiowego. Omawiana grupa prac wnosi nieco wiedzy w rozwój dyscypliny, ale wyniki te są dość ograniczone, ze względu na to, że trudno je bez dalszego rozwinięcia zastosować w napędach przemysłowych, a w szczególności w przypadku dużych maszyn elektrycznych.

Trzeci cel przedstawionego cyklu publikacji to diagnostyka niewspółosiowości i ekscentryczności wirnika. Na ten segment dorobku składają się 3 publikacje; wszystkie z nich dotyczą silnika indukcyjnego. Interesujące są rezultaty pracy oznaczonej jako [H10], która prezentuje badania eksperymentalne przeprowadzane w laboratorium na małym silniku indukcyjnym, z możliwością 'ustawiania' niewspółosiowości. Badane są sygnały drgań w trzech osiach przestrzennych oraz hodografu prądu stojana, a także temperatury łożysk. Tutaj również zasilanie falownikowe silnika utrudnia diagnostykę opartą na hodografie prądu i praktycznie najbardziej miarodajnymi pozostają sygnały drganiowe.

Natomiast kolejne dwa artykuły są poświęcone analizie prądu stojana dla celów diagnostyki niewspółosiowości i są o tyle interesujące, że bazują na przebiegach prądów uzyskanych w drodze modelowania matematycznego silnika metodą polową. Do obliczeń przebiegów czasowych prądów stojana zastosowano program Maxwell 2D dla stanów nieustalonych. Uzyskane przebiegi czasowe prądów wykorzystano do analizy trojako: bezpośrednio, przez wirujący moduł 'wektora' prądu i składowe symetryczne uzyskane z przebiegów prądów fazowych. Metoda godna pochwały i niosąca potencjalnie duże możliwości diagnostyczne. Jednak krytycznie patrząc na prowadzenie badań niewspółosiowości dynamicznej na podstawie 2-wymiarowego modelu silnika. Niewspółosiowość dynamiczna ma miejsce,

gdzie osie geometryczna i fizyczna są skośne na długości wału maszyny, a do tego są potrzebne obliczenia 3-wymiarowe. Prezentowany model 2-wymiarowy oddaje w pełni niewspółosiowość statyczną i jest jakimś przybliżeniem innych defektów, które można by nazwać 'wirującą niesymetrią szczeliny'. Związek tak modelowanego defektu z niewspółosiowością dynamiczną trzeba by dopiero wykazać, a ponadto rezultaty zależałyby, moim zdaniem, od parametrów konstrukcji uzwojenia – takich jak liczba par biegunów i liczba gałęzi równoległych. Natomiast wkład w rozwój dyscypliny stanowią metody obróbki i analizy sygnału prądowego, który w tym przypadku pochodzi z obliczeń na podstawie modelu matematycznego, ale jego źródło może być także pomiarowe. Generalnie pozytywnie oceniam ten segment badań i myślę, że może to być początek określania wzorców diagnostycznych na podstawie rozbudowanych modeli matematycznych, ale chyba modeli trójwymiarowych maszyny.

Uwagi krytyczne dotyczące całego cyklu publikacji.

- a) Ten zestaw publikacji nie pokazuje czy i w jakim stopniu metody sygnały diagnostyczne typu drganiowego, które jak wynika z badań są najważniejsze w diagnostyce uszkodzeń mechanicznych, zależą od rodzaju maszyny (BLDC, PMSM, indukcyjna). Uszkodzenia mechaniczne łożysk i inne uszkodzenia mechaniczne przedstawione w załączonych pracach występują we wszystkich maszynach wirujących. Jakie więc znaczenie ma rodzaj maszyny elektrycznej? Czy chodzi o szerokość szczeliny, czy o nierównoważone siły naciągu magnetycznego? Ale drgania i ich obórka diagnostyczna to drgania – bez względu na przyczyny
- b) Dorobek naukowy i praktyka naukowców i praktyków z mechaniki i eksploatacji maszyn, w zakresie diagnostyki maszyn wirujących jest bardzo bogaty i na pewno bardziej obszerny niż specjalistów od maszyn elektrycznych i napędów. Czy autor cyklu zna i uwzględnia ten dorobek w dostatecznym stopniu? Spisy literatury poszczególnych artykułów zawierają szereg takich prac, ale z treści omawianych publikacji nie wynika, czy i w jakim zakresie autor(rzy) konfrontowali się z tym dorobkiem.
- c) Z przedstawionego cyklu prac brak wniosku ogólnego dotyczącego wskazania jaki sygnał pomiarowy lub kombinacja kilku sygnałów jest najlepsza w diagnostyce uszkodzeń mechanicznych maszyn elektrycznych, w szczególności w praktyce przemysłowej. Czytając te publikacje można

domniemywać, że jest to sygnał przyspieszenia drgań mechanicznych, a więc źródło najbliższe sił powodujących drgania

- d) Publikacje stanowiące omawiany cykl nie odnoszą się do metody diagnostycznej rozpowszechniającej się w przemyśle, w przypadkach 'odpowiedzialnych' napędów, polegającej na badaniu trendu drganiowego w trakcie eksploatacji, który jest uzyskany z regularnych okresowych zapisów pomiarów sygnałów pochodzących z czujników zamontowanych na stałe.

Te uwagi nie stanowią zaprzeczenia znaczącego dorobku kandydata, który upatruję głównie w przetwarzaniu i obróbce sygnałów pomiarowych i różnorodnych zastosowaniach sieci neuronowych jako elementów klasyfikacyjnych i decyzyjnych.

3.3 **Warunek trzeci** – istotna aktywność naukowa realizowana w więcej niż jednej uczelni (jednostce naukowej)

Jest to moim zdaniem najłatwiej spełniony przez kandydata warunek wymagań ustawowych do nadania stopnia naukowego doktora habilitowanego. Wniosek zawiera zaświadczenie o odbyciu 4-tygodniowego stażu na Politechnice Poznańskiej w odpowiedniej jednostce naukowej i wyniku tej współpracy powstała publikacja naukowa. Dziwi mnie, że nie zdołano zorganizować zagranicznego, semestralnego (lub 3-miesięcznego) stażu naukowego, choćby w pobliskich uczelniach niemieckich, w których podobna tematyka jest uprawiana. Jednak uznaję, że warunek ten został w minimalnym stopniu spełniony.

Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze kandydata i jego publikacje pozostające poza 'cyklem' oceniam zdecydowanie pozytywnie. Są one interesujące, pozostają 'w jądrze dyscypliny' i potwierdzają dobre kwalifikacje naukowe kandydata.

Wniosek końcowy.

Na podstawie przedstawionych powyżej i uzasadnionych ocen szczegółowych uznaję spełnienie ustawowych warunków do uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego przez **Dr inż. Pawła Ewerta** w dyscyplinie naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne i popieram wniosek kandydata o nadanie tego stopnia naukowego.

P. Wach

\ Piotr Wach \

domniemywać, że jest to sygnał przyspieszenia drgań mechanicznych, a więc trzeba najdłużej się powstrzymać od drgań

d) Publikacja stanowiła omówienie cykli nie odnoszą się do metody diagnostycznej rozpoznawczącej się w grzmoty, w przypadkach 'odpowiedzialnych' napędów, polegającej na badaniu trendu drganiowego w trakcie eksploatacji, który jest uzyskany z regularnych okresowych zapisków pomiarów sygnałów pochodzących z czujników zamontowanych na statku.

Je uwagi nie stanowiły zaprzeczenia znaczącego dorobku kandydata, który ujęte głównie w przetwarzaniu i obróbce sygnałów pomiarowych i różnorodnych zastosowaniach sieci neuronowych jako elementów klasyfikacyjnych i decyzyjnych.

3.3 Warunek trzeci – istota aktywność naukowa realizowana w więcej niż jednej uczelni (jednostce naukowej)

Jest to moim zdaniem najlepiej spełniony przez kandydata warunek wymagań ustawowych do nadania stopnia naukowego doktora habilitowanego. Wniosek zawiera zaświadczenie o odbyciu 4-tygodniowego stażu na Politechnice Poznańskiej w odpowiedniej jednostce naukowej i wyniku tej współpracy powstała publikacja naukowa. Dławi mnie, że nie udało zorganizować zagranicznego, semestralnego (lub 3-miesięcznego) stażu naukowego, choćby w podobnych uczelniach niemieckich, w których podobna tematyka jest uprawiana. Jednak uznaję, że warunek ten został w minimalnym stopniu spełniony.

Resztą osiągnięcia naukowo-badawcze kandydata i jego publikacje pozostające poza 'cyklem' oceniam zdecydowanie pozytywnie. Są one interesujące, pozostają w jądze dyscypliny i potwierdzają dobre kwalifikacje naukowe kandydata.

Wniosek końcowy.

Na podstawie przedstawionych powyżej i uzasadnionych ocen szczegółowych uznaję spełnienie ustawowych warunków do uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego przez Dr inż. Pawła Ewerta w dyscyplinie naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologia Kosmiczna i popieram wniosek kandydata o nadanie tego stopnia naukowego.

P. Wacht / Piotr Wacht