

**RECENZJA**  
**w postępowaniu habilitacyjnym**  
**dra inż. Phong Ba DAO**

Przedmiotem Recenzji jest rozprawa habilitacyjna oraz dorobek naukowy i dydaktyczny dra inż. Phong Ba DAO. Recenzję opracowałem na wniosek Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, prof. dra hab. inż. Antoniego KALUKIEWICZA, w związku z powołaniem na Recenzenta Komisji Habilitacyjnej.

Recenzję opracowałem na podstawie następujących dokumentów:

- kopia wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego,
- poświadczona kopia dyplomu doktorskiego,
- autoreferat,
- wykaz opublikowanych prac naukowych,
- monografia habilitacyjna,
- oświadczenie współautorów o ich wkładzie w powstanie publikacji.

## **1. WNIOSEK**

Po zapoznaniu się z przedstawioną dokumentacją dorobku dra inż. Phong Ba DAO stwierdzam, że:

- Habilitant posiada stopień naukowy doktora.
- Osiągnięcie naukowe Habilitanta uzyskane po otrzymaniu stopnia doktora, którym jest opublikowane w całości dzieło w postaci rozprawy pt. "*Cointegration-based approach for structural health monitoring: theory and application*" (*Monitorowanie stanu technicznego konstrukcji z wykorzystaniem metody kointegracji: teoria i zastosowania*), stanowi znaczny wkład w rozwój dyscyplin *Mechanika* oraz *Budowa i Eksploatacja Maszyn* w dziedzinie nauk technicznych (czyli aktualnie w rozwój dyscypliny *Inżynieria Mechaniczna* w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych).
- Habilitant wykazuje się istotną aktywnością naukową.

Powyższe oznacza, iż spełnione zostały wymagania stawiane osobom ubiegającym się o nadanie stopnia doktora habilitowanego. Uzasadnienie przedstawionego wniosku zamieszczono w kolejnych punktach Recenzji.

## 2. CHARAKTERYSTYKA HABILITANTA

- Dr inż. Phong Ba DAO urodził się w 1978 r. w Haiduong w Wietnamie.
- Studia inżynierskie na kierunku Cybernetyka ukończył w 2001 r. oraz studia magisterskie na kierunku Automatyka ukończył w 2004 r. na Uniwersytecie Nauki i Techniki w Hanoi w Wietnamie.
- W latach 2001 – 2006 był zatrudniony jako asystent dydaktyczny i badawczy w Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu Nauki i Techniki w Hanoi.
- W latach 2006 – 2011 był doktorantem w Katedrze Robotyki i Mechatroniki Uniwersytetu Twente w Enschede w Holandii.
- Stopień doktora uzyskał w roku 2011 w Uniwersytecie Twente, na podstawie rozprawy pt. "*Safeguarded multi-agent control for mechatronic systems: implementation framework and design patterns*" (*Zabezpieczone wieloagentowe sterowanie dla systemów mechatronicznych: ramy wdrożeniowe i wzorce projektowe*).
- Od roku 2011 jest zatrudniony jako adiunkt w Katedrze Robotyki i Mechatroniki AGH w Krakowie.

## 3. OCENA OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Zgodnie z wnioskiem Habilitanta o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego, osiągnięciem naukowym przedstawianym do oceny jest autorskie dzieło w postaci monografii habilitacyjnej pt. "*Cointegration-based approach for structural health monitoring: theory and applications*" (*Monitorowanie stanu technicznego konstrukcji z wykorzystaniem metody kointegracji: teoria i zastosowania*). Monografia zajmuje 124 strony. Została wydana w języku angielskim jako 339 tom w serii *Rozprawy Monografie*, przez Wydawnictwa AGH w Krakowie w 2018 r. (ISBN 978-83-66016-44-6). Recenzentami monografii byli prof. dr hab. inż. Marek KRAWCZUK (Politechnika Gdańska) i prof. dr hab. inż. Tadeusz UHL (AGH).

### 3.1. Kierunek badań

SHM (ang. Structural Health Monitoring) określane w języku polskim jako monitorowanie stanu technicznego konstrukcji lub ogólniej w połączeniu z CM (ang. Condition Monitoring) jako monitorowanie stanu technicznego obiektów jest intensywnie rozwijaną dyscypliną o wyjątkowo dużym znaczeniu praktycznym.

Pomijając szczegóły większość stosowanych metod badawczych polega na obserwowaniu działającego obiektu i zestawianiu wyników obserwacji w postaci szeregów czasowych, które są następnie poddawane analizie w celu wykrywania zmian stanu technicznego obserwowanego obiektu. Jednym z wyjątkowo trudnych zadań jest wydzielenie z tak gromadzonych szeregów czasowych nośników informacji wrażliwych na zmiany stanu obiektu, przy jednoczesnym wyeliminowaniu lub znacznym ograniczeniu ich wrażliwości na oddziaływania zakłócające, wywołane zmiennymi warunkami środowiskowymi oraz zmiennymi warunkami działania obserwowanego obiektu. Należy zauważyć, że tradycyjne metody eliminacji trendów nie prowadzą niestety do zadawalających wyników.

Diagnostyka techniczna od dawna stosuje z powodzeniem modele i metody analizy szeregów czasowych rozwijane wcześniej dla potrzeb ekonomii i ekonometrii. Oceniana monografia omawia zastosowanie, w celu ograniczenia skutków oddziaływań zakłócających, bardzo ciekawej koncepcji kointegracji. Modele kointegracyjne wprowadził, na początku lat 80-tych XX wieku, brytyjski

ekonomista Clive William John Granger, otrzymując za to nagrodę im. Alfreda Nobla w dziedzinie ekonomii, w 2003 r.

Kointegracja jest definiowana jako własność obserwowanych równocześnie niestacjonarnych szeregów czasowych, dla których istnieje kombinacja liniowa wyznaczająca resztę będącą stacjonarnym szeregiem czasowym. Przekształcanie rozpatrywanych niestacjonarnych szeregów czasowych w stacjonarną resztę interpretowane jest jako rozpoznanie normalnego stanu obiektu. Brak stacjonarności tej reszty interpretowany jest jako informacja o zmienionym stanie obiektu.

### 3.2. Ocena monografii

Monografia zawiera zwięzłe i zrozumiałe wprowadzenie dotyczące modelowania kointegracyjnego oraz omawia szczegółowo przykłady różnych klas zastosowań. Autor wykazuje pełną przydatność metod wykorzystujących kointegrację dla potrzeb diagnostyki technicznej i monitorowania stanu technicznego obiektów. Kointegracja może być stosowana jako środek do wstępnej normalizacji danych będących wynikiem obserwacji.

Objaśniając cel monografii Autor stwierdził, że jego zamiarem było:

- udostępnienie odpowiedniego wprowadzenia do teorii kointegracji,
- przedstawienie przykładów zastosowań kointegracji dla potrzeb SHM,
- przedstawienie przykładów zastosowań kointegracji dla potrzeb CM.

W rozdziale 1. przeprowadzono przegląd metod stosowanych w celu ograniczenia niekorzystnego wpływu warunków środowiskowych i warunków eksploatacji na wyniki obserwacji prowadzonych w celach diagnostycznych. Objąsnił pojęcie kointegracji liniowej i omówiono prowadzone w kilku ośrodkach badania dotyczące zastosowania kointegracji dla potrzeb SHM. Przedstawiono rys historyczny i wyczerpująco omówiono główne publikacje związane z badaniami dotyczącymi zastosowania kointegracji dla SHM, wskazując różne techniki i zakresy tych badań. Zwrócono uwagę, że badania te są prowadzone w wielu ośrodkach, głównie w Uniwersytecie Sheffield oraz w AGH.

W rozdziale 2 omówiono pojęcie szeregu czasowego oraz pojęcia stacjonarności i niestacjonarności szeregów czasowych. Jest to pierwszy z trzech rozdziałów omawiających teorię kointegracji. Wprowadzono pojęcie pierwiastka jednostkowego oraz omówiono wybrane testy pozwalające na stwierdzanie stacjonarności lub braku stacjonarności szeregów.

W rozdziale 3. omówiono pojęcie kointegracji i pojęcie wektora kointegrującego. Porównano zastosowania kointegracji wtedy, gdy wektor kointegrujący jest definiowany na podstawie wiedzy dziedzinowej oraz wtedy, gdy wektor ten jest wyznaczany na podstawie danych. Omówiono warunki wymagane dla przeprowadzenia testu stacjonarności. Opisano również złożoną procedurę kointegracyjną Johansena. Zwrócono uwagę, iż pełne wykorzystanie kointegracji wymaga ilościowego oceniania stopnia stacjonarności szeregu resztkowego. Pokazano statystykę, która może być stosowana w tym celu jako miara stacjonarności. Omawiane procedury zilustrowano przykładem bazującym na symulacji numerycznej.

W rozdziale 4. omówiono zagadnienia dotyczące długości opóźnienia przyjmowanego dla potrzeb oceniania stacjonarności szeregu reszt kointegracji. Opisano procedury stosowane powszechnie w celu wyznaczenia rozpatrywanego opóźnienia. Na ich tle Autor zaproponował oryginalne rozwiązanie polegające na przyjęciu jako optymalne takiego opóźnienia, które zapewnia najwyższy stopień stacjonarności szeregu reszt kointegracji dla danych wejściowych gromadzonych podczas stanu obiektu uznawanego za normalny.

W rozdziale 5. pokazano dwa przykłady zastosowania omawianych metod dla potrzeb SHM. Pierwszy przykład dotyczy rozpoznawania uszkodzeń płyty aluminiowej za pośrednictwem fal lambda. Rozpatrywano uszkodzenie symulowane przez otwory wykonane w płycie, gdzie czynnikiem zakłócającym wyniki obserwacji były zmiany temperatury. Drugi przykład dotyczy rozpoznawania uszkodzeń w płytach kompozytowych z wykorzystaniem akustyki nieliniowej. Rozpatrywanym uszkodzeniem była delaminacja płyty, a czynnikiem zakłócającym zmienne obciążenie płyty. Eksperymenty związane z tymi przykładami zostały dokładnie opisane. Pokazano kolejne kroki analizy kointegracyjnej. Szczególnie ciekawym fragmentem rozdziału jest zamieszczona w nim dyskusja otrzymanych wyników, wykazująca skuteczność proponowanego postępowania.

W rozdziale 6. pokazano przykład zastosowania analizy kointegracyjnej w monitorowaniu stanu technicznego i badaniach diagnostycznych, gdzie danymi wejściowymi były dane zbierane przez system SCADA podczas monitorowania turbiny wiatrowej. Oddziaływaniem zakłócającym były w tym przykładzie zmienne warunki otoczenia i zmienne warunki działania. Uwzględnianym uszkodzeniem było między innymi uszkodzenie przekładni. Badania prowadzono dla dwóch zestawów danych będących wynikiem obserwacji działającego obiektu. Rozpatrywano dane obejmujące wybrane parametry procesowe oraz dane obejmujące wyłącznie temperaturę jednego z łożysk i temperaturę uzwojenia generatora. Wykazano, że analiza kointegracyjna umożliwia wyeliminowanie zakłócających oddziaływań środowiskowych i pozwala na poprawne rozpoznanie zmian stanu przekładni dla obu rozpatrywanych zbiorów danych wejściowych. Bardzo interesującym wnioskiem, wyraźnie ilustrującym zalety omawianych metod i wskazującym szeroki zakres potencjalnych zastosowań, jest możliwość rozpoznawania zmian stanu obiektu działającego w zmiennych warunkach, na podstawie jedynie dwóch zmiennych niestacjonarnych reprezentujących temperaturę łożyska i uzwojenia.

### **3.3. Uwagi krytyczne**

Metody postępowania opisane w monografii habilitacyjnej dotyczą działań określanych w literaturze jako wykrywanie zmian lub wykrywanie nowości (ang. novelty detection). W monografii w wielu miejscach zaznaczono, że rozpatrywane postępowanie pozwala na detekcję uszkodzeń. Podczas uczącej fazy badań prowadzonej dla obiektu o stanie uznanym za normalny wyznacza się wektor kointegrujący zmienne niestacjonarne będące wynikiem obserwacji. Jego zastosowanie do uwzględnianych zmiennych powinno prowadzić do stacjonarnej zmiennej reszt kointegracji. Po pozyskaniu nowych wartości zmiennych niestacjonarnych wyznacza się nową zmienną reszt kointegracji, z zastosowaniem wcześniej wyznaczonego wektora kointegrującego. Brak stacjonarności tak wyznaczonej nowej zmiennej reszt kointegracji jest podstawą uznania, iż wystąpiło uszkodzenie.

W żadnym miejscu monografii nie zwrócono wyraźnie uwagi na to, że uzyskanie w wyniku zastosowania proponowanych metod, pozwalających na wyeliminowanie wpływu zmiennych oddziaływań środowiskowych i zmiennych warunków eksploatacji, wniosku stwierdzającego zmianę struktury lub stanu obserwowanego obiektu nie upoważnia do stwierdzenia, iż wykryto uszkodzenie obiektu. Jest to szczególnie widoczne wtedy, gdy uwzględnimy fakt, iż w wielu obiektach mechanicznych występują procesy zużycia prowadzące do zmian stanu, których nie należy uznawać za uszkodzenia.

Uważam, że detekcja uszkodzeń wymaga nie tylko zaawansowanych metod analizy sygnałów, ale również odpowiedniej wiedzy na temat struktury i istoty działania obiektu. Wiedza taka jest niezbędna do właściwej interpretacji otrzymanych wyników analizy.

Powyższe uwagi krytyczne nie kwestionują poprawności proponowanego postępowania. Sugerują one jedynie potrzebę rozpatrzenia ewentualnej modyfikacji sposobu interpretowania i prezentowania otrzymanych wyników badań.

### **3.4. Podsumowanie**

Opiniowana monografia habilitacyjna jest starannie opracowaną, uporządkowaną prezentacją wiedzy na temat możliwości wykorzystania wyjątkowo ciekawego modelu szeregów czasowych, określanego jako ich kointegracja. Odpowiednie wykorzystanie kointegracji pozwala na wyeliminowanie wpływu przypadkowych czynników zewnętrznych i warunków działania obiektu na wyznaczone za pomocą wprowadzonego modelu sygnały zależne od aktualnej struktury i stanu technicznego obiektu.

Monografia jest udaną próbą przedstawienia propozycji Autora na tle zwięzłego podsumowania aktualnego stanu badań dotyczących wykorzystania kointegracji dla potrzeb SHM. Zaletą monografii jest między innymi to, że jej treść została przedstawiona w sposób zrozumiały, bez zbędnych formalizmów i uduziwień.

Opiniowaną monografię oceniam wysoko. Stanowi ona istotny wkład w rozwój dyscyplin naukowych związanych z diagnostyką techniczną oraz monitorowaniem stanu technicznego obiektów.

## **4. OCENA AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ**

### **4.1. Działalność badawcza**

Początkowo główne zainteresowania badawcze Habilitanta były związane z dyscypliną automatyka i dotyczyły projektu systemu kontroli nadzorczej w zakładzie włókienniczym, wykonywanego jako praca dyplomowa inżynierska oraz projektu sterownika rozmytego do układów sterowania z wykorzystaniem falowników i silników asynchronicznych, wykonywanego w ramach pracy dyplomowej magisterskiej.

W ramach studiów na Uniwersytecie Twente realizował badania związane z inteligentnymi systemami sterowania i mechatroniką. Uczestniczył w pracach zespołu, który zajmował się projektowaniem różnych, zaawansowanych sterowników przeznaczonych dla elektromechanicznych układów napędowych, w tym między innymi sterowników uczących się, działających ze sprzężeniem wyprzedzającym. Następnie rozwijał metody projektowania sterowników wykorzystujących koncepcję agentów oraz rozwijał metody projektowania wieloagentowych systemów sterowania. Po przeprowadzeniu weryfikacji eksperymentalnej wyniki tych badań zostały przedstawione w postaci rozprawy doktorskiej.

Po uzyskaniu stopnia doktora i rozpoczęciu pracy w Katedrze Robotyki i Mechatroniki Wydziału Inżynierii Mechanicznej AGH główne zainteresowania badawcze uległy zmianie. W wyniku zatrudnienia w projekcie badawczym WELCOME nr 2010-3/2, Habilitant zajął się nieklasycznymi podejściami do monitorowania stanu konstrukcji. Zwrócił uwagę na możliwość wykorzystania koncepcji kointegracji w metodach monitorowania stanu konstrukcji.

Habilitant z powodzeniem rozwiązał liczne zagadnienia związane z praktycznym wykorzystaniem kointegracji dla potrzeb SHM. Podsumowaniem tych prac jest bardzo ciekawa monografia habilitacyjna, której ocenę przedstawiłem w punkcie 3.

### **4.2. Działalność publikacyjna**

Wszystkie publikacje Habilitanta po uzyskaniu stopnia doktora, czyli po rozpoczęciu pracy w AGH (tj. po 2011 r.) są bardzo spójne tematycznie i dotyczą różnych aspektów wykorzystania koncepcji kointegracji.

Habilitant jest autorem lub współautorem:

- jednej monografii habilitacyjnej,
- 8 artykułów w czasopismach z bazy Journal Citation Reports posiadających sumaryczny IF=24,875, gdzie w 6 artykułach Habilitant jest pierwszym autorem,
- 5 artykułów w innych czasopismach, w tym 3 po uzyskaniu stopnia doktora,
- jednego patentu europejskiego i jednego patentu krajowego,
- 24 referatów opublikowanych w materiałach konferencyjnych, w tym 13 po uzyskaniu stopnia doktora.

Wskaźniki bibliograficzne dotyczące Habilitanta:

- wg Web of Science: 74 cytowania, w tym 46 bez autocytowań; wskaźnik h=4,
- wg Scopus: 142 cytowania, w tym 82 bez autocytowań; wskaźnik h=8.

Współautorem większości publikacji po uzyskaniu stopnia doktora jest między innymi prof. W. J. STASZEWSKI.

#### **4.3. Współpraca badawcza, w tym międzynarodowa**

Habilitant posiada liczne międzynarodowe kontakty badawcze. Ukończył studia w Wietnamie. Był doktorantem w Uniwersytecie Twenta w Enschede w Holandii. Współpracował z grupą badaczy w Uniwersytecie Cagliari we Włoszech. Współpracował z Laboratorium Drgań i Akustyki w Uniwersytecie w Lyonie we Francji. Pracuje aktualnie w AGH. Dowodem skuteczności kontaktów badawczych jest obszerna lista artykułów w czasopismach oraz referatów konferencyjnych, w których Habilitant występuje jako współautor.

Habilitant uczestniczył aktywnie w projekcie badawczym WELCOME 2010-3/2 finansowanym przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej i kierowanym prof. Wiesławą Jerzego STASZEWSKIEGO, w którym realizował zadania badawcze dotyczące nieklasycznego podejścia do monitorowania stanu konstrukcji.

Habilitant uczestniczył również w projekcie PBS3/B6/21/2015 finansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju i kierowanym przez prof. Tomasza BARSZCZA, w ramach którego opracował metodę monitorowania stanu turbin wiatrowych opartą na analizie kointegracyjnej.

#### **4.4. Działalność dotycząca popularyzacji nauki**

Dowodem wysokich kwalifikacji Habilitanta jest powierzenie Mu opracowania kilkudziesięciu recenzji prac przez uznane, zagraniczne czasopisma naukowe o wysokim współczynniku IF oraz przez poważne konferencje.

Był członkiem komitetu organizacyjnego ICAST 2017 – corocznej bardzo ważnej międzynarodowej konferencji dotyczącej inteligentnych materiałów oraz konstrukcji i systemów adaptacyjnych, której edycja w 2017 r. miała miejsce w Krakowie.

#### **4.5. Działalność dydaktyczna**

Habilitant aktywnie skupia się na przygotowywaniu i prowadzeniu zajęć dydaktycznych oraz indywidualnej opiece nad studentami. W czasie zatrudnienia w AGH, tzn. od roku 2011 Habilitant prowadził w dużym wymiarze zajęcia laboratoryjne i projektowe dla studentów studiów pierwszego i drugiego stopnia, na kierunku Mechanika z językiem angielskim jako językiem wykładowym. Opracował program jednego z przedmiotów i prowadził wykłady, zajęcia laboratoryjne i ćwiczenia. Opracował materiały dydaktyczne.

Zarówno jako doktorant w Uniwersytecie Twente jak i podczas zatrudnienia w AGH uczestniczył aktywnie jako konsultant i współpromotor w realizacji projektów dyplomowych przez studentów.

#### **4.6. Podsumowanie**

Przedstawiona charakterystyka aktywności naukowej i dydaktycznej świadczy o spójności zainteresowań naukowych i ciągłym rozwijaniu umiejętności prowadzenia badań. Habilitant posiada wyróżniającą wiedzę w zakresie modelowania szeregów czasowych dla potrzeb SHM.

#### **5. UWAGI KOŃCOWE**

Przedstawione:

- pozytywna opinia o monografii habilitacyjnej ocenianej jako osiągnięcie naukowe Habilitanta,
- pozytywna opinia o Jego istotnej aktywności naukowej,
- opinia o aktywności dydaktycznej,

uzasadniają podany w punkcie 1. wniosek o spełnieniu wszystkich formalnych i zwyczajowych wymagań stawianych osobom ubiegającym się o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

