

## **RECENZJA**

### **osiągnięcia naukowego**

### **”Modelowanie i identyfikacja właściwości dynamicznych obrabiarek o korpusach stalowo-polimerobetonowych” oraz innego dorobku naukowego i zawodowego doktora inżyniera Pawła Dunaja**

Recenzja została wykonana na podstawie pisma WIMiM/18/2024 z dnia 11.01.2024 pana dr hab. inż. Krzysztofa Danileckiego, prof. ZUT Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.

Podstawę do sformułowania przedkładanej recenzji stanowiły: autoreferat wnioskodawcy opisujący działalność naukowo-badawczą, dydaktyczną oraz organizacyjną wraz z załącznikami. Autoreferat zawiera opis cyklu pięciu publikacji, które kandydat wskazał do oceny jako osiągnięcia w rozumieniu ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018r z późniejszymi zmianami.

### **Ogólna charakterystyka Habilitanta**

Dr inż. Paweł Dunaj swoją karierę naukową związał z Zachodniopomorskim Uniwersytetem Technologicznym w Szczecinie. W roku 2015 uzyskał dyplom magistra inżyniera na kierunku mechanika i budowa maszyn w ZUT. Stopień doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki ZUT otrzymał dnia 27.09.2019 na podstawie rozprawy doktorskiej „Modelowanie właściwości dynamicznych stalowo-polimerobetonowych korpusów maszyn technologicznych” realizowanej pod kierunkiem dr hab. inż. Marcina Chodźko, prof. ZUT. Praca doktorska została doceniona wyróżnieniem.

Od października 2018 roku do chwili obecnej jest pracownikiem Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w

Szczecinie; początkowo był zatrudniony jako asystent, a od grudnia 2019 roku jest zatrudniony na stanowisku adiunkta.

W trakcie swojej pracy dydaktycznej na Wydziale Mechanicznym opracował programy oraz prowadził wykłady, laboratoria i ćwiczenia audytoryjne oraz zajęcia projektowe na studiach pierwszego i drugiego stopnia z następujących przedmiotów: Badania doświadczalne urządzeń mechatronicznych, Dynamika układów mechanicznych, Doświadczalna identyfikacja własności układów mechatronicznych, Dynamika układów mechatronicznych oraz Metody optymalizacji. Był promotorem dziesięciu prac magisterskich oraz ośmiu prac inżynierskich. Ponadto prowadził również zajęcia na studiach trzeciego stopnia w Szkole doktorskiej i pełnił funkcję promotora pomocniczego w trzech przewodach doktorskich.

W ramach działalności organizacyjnej dr inż. Paweł Dunaj brał udział w uruchomieniu nowego kierunku studiów Mechatronika na studiach stacjonarnych oraz niestacjonarnych. Jest członkiem komisji programowej dla kierunków Mechanika i Budowa Maszyn oraz Mechatronika. Organizował również zawody studenckie samochodów rajdowych na Wydziale. Ponadto był członkiem Komitetu organizacyjnego konferencji międzynarodowej Mechatronics organizowanej w Szczecinie w 2021 roku. Jest członkiem dwóch towarzystw naukowych: European Society for Precision Engineering and Nanotechnology (od 2023 roku) oraz Polskiego Towarzystwa Mechnaiki Teoretycznej i Stosowanej (od 2019 roku).

### **Ocena osiągnięcia naukowego**

Dr inż. Paweł Dunaj jako osiągnięcie naukowe w rozumieniu ustawy przedstawił do recenzji cykl powiązanych tematycznie publikacji opatrzonych tytułem „Modelowanie i identyfikacja właściwości dynamicznych obrabiarek o korpusach stalowo-polimerobetonowych”. Na cykl publikacji składają się dwa autorskie artykuły opublikowane w Measurement: Journal of the International Measurement Confederation (IF 5,6; MEiN 200 pkt), jeden artykuł w Polimers przyjęty do druku oraz dwa artykuły współautorskie opublikowane w International Journal of Advanced Manufacturing Technology (IF 3,6; MEiN 100pkt) i CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology (IF 3,6, MEiN 100pkt).

W autoreferacie, który zawiera pełne opracowanie przedstawionych publikacji wraz z opisem zależności tematycznej pomiędzy poszczególnymi artykułami, Habilitant przedstawiając tło badawcze oraz wcześniejsze prace związane z doktoratem definiuje osiągnięcie naukowe jako „opracowanie metod obliczeniowych wspomagających procesy projektowania obrabiarek o korpusach stalowo-polimerobetonowych”. Habilitant uzasadniając podjęcie takiego tematu odwołuje się do procesu produkcyjnego współczesnych obrabiarek, w którym ważnym

elementem mającym wpływ na własności eksploatacyjne jest korpus. Nowoczesne rozwiązania eliminujące wady korpusów żeliwnych polegają na zastosowaniu korpusów hybrydowych. Technologia wytwarzania korpusu stalowo-polimerobetonowego została opracowana w ramach projektu finansowanego przez NCBiR realizowanego w jednostce, w której zatrudniony jest habilitant. Ze względu na potencjał aplikacyjny tego rozwiązania podjęto prace nad opracowaniem polimerobetonu o odpowiednich właściwościach oraz odpowiedniego sposobu jego połączenia z konstrukcją stalową. Pierwsze prace dotyczące tych zagadnień dr inż. Paweł Dunaj podjął w swojej rozprawie doktorskiej, w której opracował metodologię modelowania struktur stalowo-polimerobetonowych. Rozwinięcie metod modelowania i identyfikacji, szczególnie w kierunku umożliwiającym przewidywanie własności statycznych i dynamicznych konstrukcji stalowo-polimerobetonowych stanowi przedmiot omawianego osiągnięcia.

Habilitant postawił dwie hipotezy badawcze, które w przedstawionym cyklu publikacji zostały udowodnione. W celu opracowania metody modelowania z uwzględnieniem identyfikacji parametrów elementów konstrukcyjnych, które nie występują w wyizolowanej postaci Habilitant zaproponował metodę substrukturyzacji. Polega ona na wydzieleniu struktur wchodzących w skład modelowanej konstrukcji, identyfikacji parametrów wybranych struktur a następnie dostrojenia parametrów globalnego modelu po ponownym jego połączeniu. Zaproponowana metoda umożliwia opcjonalnie redukcję wymiaru modelu (w celu skrócenia czasu obliczeń) oraz tzw. dostrajanie lokalne polegające na rozwiązaniu zadania optymalizacji, w którym wyznacza się parametry identyfikujące strukturę (najczęściej materiałowe) minimalizując różnice amplitud częstotliwościowych funkcji przejścia wyznaczonych obliczeniowo i doświadczalnie.

W pierwszym artykule [A] cyklu publikacji zastosowano zaprezentowany algorytm do identyfikacji parametrów belki stalowo-polimerobetonowej, która jest podstawowym komponentem konstrukcyjnym korpusu obrabiarki. Polimerobeton jest w tym wypadku strukturą nie występującą w wyizolowanej postaci. Uzyskane wyniki pozwoliły autorowi na pozytywną ocenę metody substrukturyzacji i jednocześnie sformułowanie problemów, które wymagają rozwiązania w dalszych badaniach. Te dotyczyły możliwości modelowania własności tłumionych struktury. Drugi artykuł cyklu [B] opisuje metodykę modelowania i identyfikacji konstrukcji spawanych. W tym wypadku zastosowano dwuetapową identyfikację własności dynamicznych spoiny poprzez wyizolowanie złączy spawanych. W zaproponowanym podejściu oszacowano tłumienie konstrukcji spawanych. Otrzymane wyniki porównano z wynikami doświadczalnymi formułując wniosek, że proponowana

metoda może być stosowana do przewidywania własności dynamicznych konstrukcji spawanych. Tematem kolejnego artykułu w cyklu publikacji [C], tym razem współautorskiego, jest analiza wrażliwości konstrukcji tokarki pionowej. Wykazano, że w literaturze przedmiotu istnieje niewiele prac zajmujących się kompleksowo wpływem poszczególnych elementów konstrukcji na sztywność wynikową. Sformułowano model elementów skończonych konstrukcji obrabiarki i przeprowadzono analizy wrażliwości badając wpływ zmiany sztywności poszczególnych elementów na sztywność wynikową tokarki. Uzyskane wyniki zweryfikowano doświadczalnie. W oświadczeniach współautorzy pracy potwierdzili 70% udział habilitanta, który polegał na wykonaniu m.in. badań modelowych i doświadczalnych i analizie wyników. W wyniku przeprowadzonej analizy wskazano, że polimerobeton wypełniający konstrukcję stalowego korpusu usztywnia konstrukcję, jednak znaczenie tego usztywnienia w porównaniu z innymi parametrami konstrukcyjnymi jest małe. Stąd wyciągnięto wniosek, że głównym kryterium celowości stosowania polimerobetonu powinny być jego właściwości tłumienne a nie sztywnościowe. Ten temat Habilitant podjął w następnym artykule cyklu [D]. Zaproponował metodę modelowania własności dynamicznych polimerobetonu opierając się na mezoskalowym modelu elementów skończonych. Analiza substrukturalna z artykułu [A] wykorzystana została do identyfikacji parametrów modelu. Przeprowadzone analizy umożliwiły opracowanie polimerobetonów przedstawionych w ostatnim artykule cyklu [E]. Jest to współautorski artykuł, w którym Habilitant podsumowuje prowadzone prace badawcze przedstawiając proces opracowania odpowiedniego polimerobetonu weryfikując go badaniami doświadczalnymi. Badania modelowe dr inż. Paweł Dunaj prowadził wykorzystując preprocesor Midas NFX, Nastran solver do obliczeń mes oraz Matlab do rozwiązania zadań optymalizacyjnych. Przedstawiony dorobek jest spójny tematycznie a prace habilitanta mieszczą się w profilu naukowym zespołów tworzonych przez profesorów Berczyńskiego i Marchelka, a których prace kontynuują profesorowie Chodźko i Powalka co zapewni dalszy rozwój szkoły naukowej z zakresu dynamiki maszyn w Uniwersytecie Zachodniopomorskim. Podjęta tematyka badawcza wymaga znajomości metod elementów skończonych, metod optymalizacji oraz umiejętności prowadzenia badań doświadczalnych. Podkreślić należy umiejętność łączenia obliczeń stosujących współczesne pakiety mes z pomiarami elementów i całości konstrukcji. Proponowane postępowanie (podział na substrukтуры, identyfikacja ich parametrów, ponowne połączenie modeli substruktur w cały układ i „strojenie”) wykorzystuje te umiejętności. Zagadnienia związane z modelowaniem i wykorzystaniem tych metod w procesie projektowania są ważne ze względów naukowych (identyfikacja parametrów struktur

nie występujących samodzielnie) i ze względów zastosowań przemysłowych, o czym świadczy duża liczba projektów realizowanych we współpracy z firmami zajmującymi się produkcją obrabiarek. Z tego powodu tematykę badań podjętą przez Habilitanta uważam za aktualną i potrzebną.

Przedstawione osiągnięcie, opracowana metodologia projektowania oraz uzyskane wyniki, wnoszą istotny wkład, zarówno naukowy jak i praktyczny, w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna.

Biorąc pod uwagę powyższe, stwierdzam, że praca badawcza Kandydata, której efektem jest przedstawiony cykl publikacji spełnia wymogi osiągnięcia naukowego, o którym mowa w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku i może stanowić podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego.

#### **Ocena istotnej aktywności naukowej oraz współpracy międzynarodowej i z otoczeniem społeczno-gospodarczym**

Przedstawiony w autoreferacie dorobek naukowy Habilitanta umożliwia stwierdzenie, że od początku pracy naukowej zajmuje się on badaniami eksperymentalnymi oraz teoretycznymi dotyczącymi modelowania, identyfikacji parametrów i projektowania elementów składowych obrabiarek (głównie korpusów). Oprócz głównego osiągnięcia naukowego dr inż. Paweł Dunaj jest współautorem 18 artykułów opublikowanych w czasopismach m.in. Machine Dynamics Research, Journal of Machine Construction and Maintenance. Problemy Eksploatacji, Advances in Manufacturing Science and Technology, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Archives of Civil and Mechanical Engineering, Materials, Composite Structures, Sensors and Measurement: Journal of the International Measurement Confederation. Jest również współautorem rozdziałów w wydawnictwach zbiorowych. Dorobek publikacyjny Habilitanta obejmuje 35 pozycji w tym 19 artykułów w czasopismach z listy JCR.

Po uzyskaniu stopnia doktora dr inż. Paweł Dunaj wygłosił 7 referatów konferencyjnych, w tym jeden na forum międzynarodowym w sesji online. Pozostałe referaty wygłoszono na konferencjach w kraju, jednakże wyjaśnieniem braku udziału w konferencjach międzynarodowych może być okres pandemii Sars-Covid; tym bardziej że w bieżącym roku zgłoszono referat na konferencję w Dublinie. Ponadto Habilitant złożył wniosek o sfinansowanie stypendium na wyjazd badawczy.

Sumaryczny Impact Factor liczony zgodnie z rokiem publikacji wynosi 69,4. Indeks Hirsha według bazy Web of Science wynosi  $H=7$  (6 bez autocytowań), zaś liczba cytowań  $LC=123$  (78 bez autocytowań). Takie osiągnięcia publikacyjne w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, biorąc pod uwagę krótki okres czasu, jaki upłynął od otrzymania stopnia doktora, są znaczące.

Należy docenić powołania na recenzenta - Habilitant łącznie wykonał 37 recenzji (głównie w czasopiśmie międzynarodowym). W dwóch czasopiśmie: Polymers i Vibration, jest członkiem tematycznego panelu doradczego, a w dwóch innych: Frontiers in Mechanical Engineering oraz Frontiers in Manufacturing Technology, pełni funkcję redaktora recenzyjnego.

Habilitant, po uzyskaniu stopnia doktora, uczestniczył w realizacji siedmiu zakończonych projektach krajowych: jako kierownik projektu w projekcie finansowanym przez NCN (konkurs Miniatura) oraz jednym projekcie realizowanym w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Zachodnio-Pomorskiego, a także jako kierownik zadania w projekcie finansowanym przez NCBiR. W pozostałych projektach był współwykonawcą (członkiem zespołu badawczego). Na uwagę zasługują trzy projekty realizowane wspólnie z Pomorskim Uniwersytetem Medycznym, w ramach których Habilitant realizował badania dedykowane walce ze skutkami COVID-19. Ponadto, pozostałe projekty były również realizowane we współpracy z instytucjami z otoczenia gospodarczego. Należy podkreślić aplikacyjność wykonywanych prac. Technologie wdrożone w wyniku realizacji dwóch projektów zostały nagrodzone w konkursie na Najlepsze Osiągnięcie Techniczne: w roku 2019 (projekt wspólny z Andrychowską Fabryką Maszyn) oraz w roku 2022 (projekt realizowany wspólnie z PPHU Poligraf). Natomiast efektem realizacji projektu finansowanego przez NCBiR (POIR.01.01.01 -00-0166/22) jest m.in. zgłoszenie patentowe P.443736. Obecnie Habilitant uczestniczy w realizacji dwóch projektów finansowanych przez NCBiR. Projekt INNO-GLOBO/1/1TWA/20/2021 jest realizowany w ramach konsorcjum międzynarodowego wspólnie z Andrychowską Fabryką Maszyn i Uniwersytetem Auckland w Nowej Zelandii, a drugi (LIDER/0101/L-13/2022) jest realizowany we współpracy z Akademią Górniczo-Hutniczą w Krakowie oraz przedsiębiorstwem ASTRA Technologia betonu.

Aktywność we współpracy z otoczeniem gospodarczym przejawia się w licznych pracach konstrukcyjno-obliczeniowych w zakresie własności statycznych, dynamicznych i wytrzymałościowych różnego rodzaju konstrukcji mechanicznych wykonanych m.in. na rzecz Andrychowskiej Fabryki Maszyn DEFUM, Morskiej Stoczni Remontowej „Gryfia”, FANUC

Polska, HTBOX.COM czy też Carbon Fox Group. Co ważne opracowywane technologie są nie tylko wdrażane ale doceniane nagrodami. Jako efekty współpracy z otoczeniem gospodarczym Habilitant wymienia 5 wdrożeń, 2 zgłoszenia patentowe oraz 4 ekspertyzy. Na uwagę zasługuje współpraca z firmami zagranicznymi: MagSOL Labs (Stany Zjednoczone) oraz 3Shape A/S (Dania).

Realizując staż naukowo-badawczy w Królewskim Instytucie Technicznym (KTH) w Sztokholmie dr inż. Paweł Dunaj wypełnił ustawowy wymóg istotnej aktywności naukowej realizowanej w więcej niż jednej uczelni, a w szczególności zagranicznej. Staż trwał 7 tygodni, a opiekunem stażu był naukowiec o międzynarodowej renomie, prof. Andreas Archenti. Badania prowadzone w KTH dotyczyły zagadnień modelowania własności dynamicznych obrabiarek, w szczególności modelowania niskoczęstotliwościowych postaci drgań obrabiarki i wiązały się z tematyką badań przedstawionych jako główne osiągnięcie Habilitanta. Współpraca międzynarodowa realizowana jest również w ramach wspomnianego wcześniej projektu badawczego INNO-GLOBO, w którym dr inż. Paweł Dunaj jest kierownikiem zadania badawczego dotyczącego badań doświadczalnych i modelowych modelu wrzeciona inteligentnej tokarki.

Habilitant osiągnął wysoki poziom merytoryczny, który umożliwia samodzielną realizację prac badawczych oraz aplikacyjnych. Dorobek naukowy i aplikacyjny jest tematycznie spójny i w pełni mieści się w obszarze dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna. Dorobek Habilitanta w zakresie istotnej aktywności naukowej oraz aktywności międzynarodową i współpracy z otoczeniem społeczno-gospodarczym oceniam pozytywnie.

### **Konkluzja końcowa**

Na podstawie przeprowadzonej oceny stwierdzam, że

- osiągnięcie naukowe „Modelowanie i identyfikacja właściwości dynamicznych obrabiarek o korpusach stalowo-polimerobetonowych”, na które składa się cykl pięciu publikacji powiązanych tematycznie spełnia wymogi osiągnięcia naukowego, o którym mowa w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (z późniejszymi zmianami) i wnosi znaczący wkład w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna;

- całkowity dorobek naukowy w postaci publikacji, zgłoszeń patentowych, udziału w realizacji projektów badawczych zarówno krajowych jak i międzynarodowych jest na wysokim poziomie naukowym i spełnia wszystkie wymagania wspomnianej ustawy.

Biorąc powyższe pod uwagę wnioskuję o nadanie doktorowi inżynierowi Pawłowi Dunajowi stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.