

Szczecin 06.05.2024

Dr hab. inż. prof. ZUT Mirosław Pajor
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie

RECENZJA

**osiągnięcia naukowego, dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego
dr. inż. Wojciecha KACZMARKA
opracowana w związku z postępowaniem o nadanie stopnia naukowego
doktora habilitowanego**

Podstawę formalną wykonania recenzji stanowi uchwała nr 01/RDN IM/2024 z dnia 17 stycznia 2024 oraz pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Mechaniczna” WAT prof. dr hab. inż. Jerzego Małachowskiego, wystosowane w związku z decyzją Rady Doskonałości Naukowej, powołującą mnie na recenzenta w postępowaniu habilitacyjnym dr. inż. Wojciecha Kaczmarka. Dokumentację merytoryczną i formalną opracowanej opinii stanowi: autoreferat przedstawiający opis dorobku, osiągnięcia w działalności dydaktycznej i popularyzacji nauki oraz działalności organizacyjnej. Ponadto podstawą sporządzonej oceny stanowi zaznajomienie się recenzenta z publikacjami i patentami Habilitanta dołączonymi do dokumentacji.

1. Ogólna charakterystyka Habilitanta

Dr inż. Wojciech Kaczmarek, urodził się 17 lipca 1971 r. Studia magisterskie ukończył 15.07.1995 r. w Wojskowej Akademii Technicznej na Wydziale Uzbrojenia i Lotnictwa na kierunku Elektromechanika i specjalności Uzbrojenie wojsk lądowych. Habilitant obronił pracę pt. **„Projekt mikroprocesorowego układu wielokanałowej regulacji cyfrowej PID dla systemu kierowania ogniem”** – praca uzyskała nagrodę II stopnia Komendanta WAT. Od 1996 r. podejmuje pracę na stanowisku asystenta w Wojskowej Akademii Technicznej w Instytucie Systemów Mechatronicznych Wydziału Mechatroniki. Pracę doktorską pt. **„Badanie tłumienia drgań w połączeniu gwintowym z uwzględnieniem tarcia konstrukcyjnego”** Habilitant broni 28 kwietnia 2004 r. w Wojskowej Akademii Technicznej na Wydziale Mechatroniki w dyscyplinie mechanika i specjalności mechanika-dynamika maszyn. Od 2004 r. do dnia dzisiejszego pracuje na stanowisku adiunkta w Instytucie Systemów Mechatronicznych Wydziału Mechatroniki (obecnie Instytut Techniki Rakietowej i

Mechatroniki Wydziału Mechatroniki, Uzbrojenia i Lotnictwa) Wojskowej Akademii Technicznej. Ponadto Habilitant w roku 1994 uzyskał Patent Oficera Wojska Polskiego, w 2003 r. ukończył studia podyplomowe w zakresie pedagogiki, a w 2006 r. ukończył specjalistyczny kurs w zakresie nowoczesnej logistyki szkoły wyższej. W latach 2012 do 2020 był Kierownikiem Zespołu Mechatroniki, a od 2020 do dziś jest Kierownikiem Zakładu Mechatroniki.

2. Ocena działalności naukowej Habilitanta

2.1. Ocena osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora habilitowanego

Habilitant jako osiągnięcia naukowe wynikające z art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) stanowiące podstawę ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora habilitowanego, wskazał cykl pięciu monografii opublikowanych w latach 2017-2022 przez Wydawnictwo Naukowe PWN, cykl trzynastu powiązanych artykułów w zakresie problematyki pozycjonowania i orientowania obiektów w przestrzeni w warunkach dynamicznych, oraz zbudowany, przebadany i wdrożony Modułowy System Inteligentnych Chwyteków. Osiągnięciu naukowemu nadano wspólny tytuł „*Pozycjonowanie i orientowanie obiektów w przestrzeni w warunkach dynamicznych*”.

Cykl monografii obejmuje następujące pozycje:

- 1) **Wojciech Kaczmarek**, Jarosław Panasiuk, Szymon Borys, 2017, *Środowiska programowania robotów*, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-19395-9, 284 strony (MEiN: 80 pkt wg. punktacji w 2017).
- 2) **Wojciech Kaczmarek**, Jarosław Panasiuk, 2017, *Robotyzacja procesów produkcyjnych*, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-19426-0, 250 stron, (MEiN: 80 pkt wg. punktacji w 2017).
- 3) **Wojciech Kaczmarek**, Jarosław Panasiuk, 2017, *Programowanie robotów przemysłowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-19664-6, 281 strony, (MEiN: 80 pkt wg. punktacji w 2017).
- 4) **Wojciech Kaczmarek**, Jarosław Panasiuk, 2019, *Robotization of production processes*, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., ISBN: 978-83-01-20415-0, 300 stron, (MEiN: 80 pkt wg. punktacji w 2019).

- 5) **Wojciech Kaczmarek**, Jarosław Panasiuk, Szymon Borys, Michał Siwek, Robert Dyczkowski, 2022, *Robotyzacja i automatyzacja. Przemysł 4.0*, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., EAN/ISBN:9788301225957, 340 stron, (MEiN: 80 pkt wg. punktacji w 2022).

Cykl publikacji obejmuje następujące pozycje:

- 1) Włodzimierz Borowczyk, **Wojciech Kaczmarek**, 2008, *Analiza błędów obliczania nastaw działowych przy zastosowaniu algorytmu zmiennego w czasie*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, Vol. LVII, nr 1 (649), str. 7-18.. (IF = N/D, Punkty MEiN/MNiSW (2008): 6 pkt).
- 2) Włodzimierz Borowczyk, **Wojciech Kaczmarek**, 2008, *Analiza i ocena błędów wyliczania nastaw działowych w przelicznikach przeciwlotniczych zestawów artyleryjskich bliskiego zasięgu*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, Vol. LVII, nr 1 (649). (IF = N/D, Punkty MEiN/MNiSW (2008): 6 pkt).
- 3) **Wojciech Kaczmarek**, 2005, *Metody dowiązania i orientowania przeciwlotniczych zestawów artyleryjsko-rakietowych wyposażonych w celownik CP-1*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej Vol. 54, nr 9 (637), str. 83-92. (IF = N/D, Punkty MEiN/MNiSW (2005): N/D).
- 4) Włodzimierz Borowczyk, **Wojciech Kaczmarek**, 2007, *Wykorzystanie danych GPS w przeciwlotniczych zestawach artyleryjsko-rakietowych na przykładzie odbiornika Lassen iQ firmy Trimble*, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, VOL. LVI 3 i 4 (647 i 648), str. 123-137. (IF = N/D, Punkty MEiN/MNiSW (2007): 6 pkt).
- 5) **Wojciech Kaczmarek**, Jarosław Panasiuk, Karol Gospodarczyk, 2013, *Wykorzystanie robota przemysłowego do symulacji ruchu obiektu w badaniu optoelektronicznych głowic śledzących*, Mechanik 7/2013, ISSN 0025-6552, nr 7, str. 595 (Pełny tekst na CD – str. 287-296). (IF = N/D, Punkty MEiN/MNiSW (2013): 7 pkt).
- 6) Szymon Borys, **Wojciech Kaczmarek**, Dariusz Laskowski, 2020, *Selection and Optimization of the Parameters of the Robotized Packaging Process of One Type of Product*. Sensors (ISSN 1424-8220; CODEN: SENSC9), 2020, 20, 5378. <https://doi.org/10.3390/s20185378>. (IF = 3,275, Punkty MEiN/MNiSW (2008): 100 pkt).
- 7) **Wojciech Kaczmarek**, Jarosław Panasiuk, Szymon Borys, Patryk Banach, 2020, *Industrial Robot Control by Means of Gestures and Voice Commands in Off-Line and On-Line Mode*. Sensors (ISSN 1424-8220; CODEN: SENSC9), 2020, 20(21), 6358. <https://doi.org/10.3390/s20216358>. (IF = 3,275, Punkty MEiN/MNiSW (2020): 100 pkt).

- 8) **Wojciech Kaczmarek**, Bartłomiej Łotys, Szymon Borys, Dariusz Laskowski, Piotr Łubkowski, 2021, *Controlling an Industrial Robot Using a Graphic Tablet in Offline and Online Mode*. Sensors (ISSN 1424-8220; CODEN: SENS99), 2021, 21, 2439. <https://doi.org/10.3390/s21072439>. (IF = 3,275, Punkty MEiN/MNiSW (2021): 100 pkt).
- 9) Jarosław Panasiuk, **Wojciech Kaczmarek**, Michał Siwek, Szymon Borys, Robert Dyczkowski, Marek Piotrów, 2021, *Wybrane aspekty komputerowego projektowania chwytaków robotów przemysłowych*, Monografia: Aspekty komputerowego wspomagania projektowania, wytwarzania i eksploatacji pod redakcją naukową Radosława Trębińskiego 2021, ISBN 978-83-7938-351-1, Wojskowa Akademia Techniczna, Tom 1, strony 173-199 (stron 25) Warszawa 2021, (IF = N/D, Punkty MEiN/MNiSW (2021): 20 pkt).
- 10) Jarosław Panasiuk, **Wojciech Kaczmarek**, Michał Siwek, Szymon Borys, 2022, *Test Bench Concept for Testing of Gripper Properties in a Robotic Palletizing Process*, Problems of Mechatronics. Armament, Aviation, Safety Engineering 2022; 13 (2): 51-64; ISSN: 2081-5891 | E-ISSN: 2720-5266, DOI: 10.5604/01.3001.0015.9065, | ICV: 100. (IF = N/D, Punkty MEiN/MNiSW (2022): 40 pkt).
- 11) **Wojciech Kaczmarek**, Szymon Borys, Jarosław Panasiuk, Michał Siwek, Piotr Prusaczyk, 2022, *Experimental study of the vibrations of a roller shutter gripper*. Applied Sciences (Switzerland), 12(19) doi:10.3390/app12199996. (IF = 2,838, Punkty MEiN/MNiSW (2022): 100 pkt).
- 12) Szymon Borys, **Wojciech Kaczmarek**, Dariusz Laskowski, Rafał Polak, 2022, *Experimental study of the vibration of the spot welding gun at a robotic station*. Applied Sciences (Switzerland), 12(23) doi:10.3390/app122312209. (IF = 2,838, Punkty MEiN/MNiSW (2022): 100 pkt).
- 13) **Wojciech Kaczmarek**, Szymon Borys, Jarosław Panasiuk, Michał Siwek, 2023, *The Use of Virtual Twins in the Robotic Yoghurt Mixing Process*, Problems of Mechatronics. Armament, Aviation, Safety Engineering 2023; 14 (1): 105-122, DOI: 10.5604/01.3001.0016.2962, GICID: 01.3001.0016.2962. (IF = N/D, Punkty MEiN/MNiSW (2023): 70 pkt).

W zaprezentowanym cyklu osiemnastu publikacji, wskazanych jako elementy osiągnięcia naukowego, jedna publikacja jest autorska pozostałe publikacje są współautorskie, przy czym Habilitant ma dominujący lub znaczący udział w ich opracowywaniu. Sumaryczny *impact factor* publikacji wskazanych jako element osiągnięcia naukowego wynosi 15,501. Liczba

punktów Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego publikacji wskazanych jako element osiągnięcia naukowego wynosi 695. Prezentowane publikacje, wskazane jako elementy osiągnięcia naukowego, stanowią logicznie powiązany ciąg prac ilustrujących realizowane przez Habilitanta badania związane z pozycjonowaniem i orientowaniem obiektów w przestrzeni w warunkach dynamicznych dla potrzeb rozwiązań militarnych oraz cywilnych. Osiągnięcia te można pogrupować na dwie kategorie tematyczne. Pierwszą kategorię stanowią prowadzone przez Habilitanta badania naukowe obejmujące zagadnienia w zastosowaniach militarnych, koncentrujące się na problematyce związanej z Przeciwlotniczymi Zestawami Artyleryjskimi (PZA) oraz Przeciwlotniczymi Zestawami Raketowo-Artyleryjskimi (PZRA). Pierwsze [1,2] dwa artykuły z cyklu publikacji dotyczą badań algorytmów śledzenia i wyliczenia punktu spotkania pocisku z celem. Kolejne dwa artykuły [3,4] zajmują się zagadnieniami dowiązywania i orientowania jednostek ogniowych, oraz wykorzystania stanowisk zrobotyzowanych jako platform badawczych [5]. Prezentowane w artykułach [1-5] prace badawcze były prowadzone w ramach zamówień od polskich firm zbrojeniowych, a ich wyniki zostały wdrożone. Programowalny celownik nowej generacji CP-1, była pierwszym tego typu rozwiązaniem w Polsce, zastąpił on wcześniej używane celowniki z rodziny CKE.

Drugą kategorię stanowią, prowadzone przez Habilitanta badania naukowe obejmujące zagadnienia pozycjonowania i orientowania obiektów w przestrzeni w warunkach dynamicznych w zastosowaniach przemysłowych. Habilitant słusznie zauważył, że brak jest monografii stanowiących kompendium wiedzy z zakres przemysłowych zastosowań nowoczesnej robotyki. Habilitant jest współautorem cyklu pięciu monografii przedstawiających w sposób spójny i usystematyzowany problematykę robotyzacji produkcji. Wiedza prezentowana w monografiach może być zastosowana nie tylko w implementacjach przemysłowych, ale również w działalności badawczej. Monografie można podzielić na cztery obszary tematyczne obejmujące: środowiska do programowania robotów i symulowania pracy stanowisk zrobotyzowanych [1], robotyzację procesów produkcyjnych [2,4 – *przekład na język angielski pozycji 2*], programowanie robotów przemysłowych [3] oraz praktyczne przykłady wykorzystania robotów w aspekcie przemysłu 4.0 [5].

Habilitant realizował prace badawcze dla potrzeb przemysłu. Ważną częścią jego dorobku są wyniki badań nad algorytmami sortowania i pakowania produktów z zastosowaniem technologii robotycznych. W pracach badawczych nt.: „Badanie algorytmów zrobotyzowanego pakowania produktów z uwzględnieniem śledzenia transporterów oraz dobór, optymalizacja i walidacja parametrów pakowania” oraz „Badanie algorytmów zrobotyzowanego sortowania i

pakowania wielu typów produktów w środowisku RobotStudio”, kierowanych przez Habilitanta, koncentrował się na badaniu algorytmów zrobotyzowanego sortowania i pakowania jednego i wielu typów produktów na jednej linii produkcyjnej. Wyniki tych prac zamieszczono w artykule [6]. Badania były prowadzone w formie symulacji komputerowych w środowisku RobotStudio firmy ABB. Zastosowano technologię cyfrowych bliźniaków pozwalającą na prowadzenie analiz funkcjonowania stacji produkcyjnych przed ich uruchomieniem. Badania naukowe w obszarze aplikacji typu „pick and place” Habilitant prowadził również dla przemysłu elektronicznego i spożywczego. Realizowane badania symulacyjne pozwalały rozwiązać szereg problemów robotyzacji: obsługa złożonych procesów, bezpieczeństwo współpracy ludzi i maszyn, obsługa nieregularnych kształtów produktów, analiza niedoskonałości systemów wizyjnych, definiowanie czasu i sposobu chwytania obiektów, określenie czasów cykli oraz wyliczenie wielkości produkcji oraz określenie stopnia wykorzystania poszczególnych maszyn w zrobotyzowanym stanowisku. Kontynuacją prac prowadzonych przez Habilitanta było badanie algorytmów pakowania wielu typów produktów na stanowisku do zrobotyzowanego miksowania jogurtów, prezentowane w artykule [13].

Ważnym kierunkiem badań Habilitanta było pozycjonowanie i orientowanie efektorów robotów przemysłowych w warunkach dynamicznych z zastosowaniem interaktywnych metod sterowania i programowania robotów. W artykule [7] zaprezentowano wyniki badań nad sterowaniem ruchami robota przemysłowego za pomocą gestów i komend głosowych. Natomiast w artykule [8] zaprezentowano technologię generowania i modyfikowania trajektorii robota przemysłowego za pomocą tabletu graficznego. W pierwszym przypadku innowacją było zastosowanie w sterowaniu robotem IRB 120 firmy ABB jednoczesnego sterowania komendami głosowymi i gestami. W drugim wykorzystanie tabletu graficznego do szybkiego i intuicyjnego generowania i modyfikowania trajektorii robota IRB 360 firmy ABB. Celem w obu przypadkach było sprawdzenie możliwości zastosowania uniwersalnej metody sterowania/programowania, która nie wymagałaby konieczności znajomości języków i zasad programowania robotów przemysłowych i mogła być wykorzystana w robotach różnych producentów. Zaletą aplikacji sterującej robotem opracowanej przez habilitanta było oddzielenie sterowania ruchami robota od wymiany danych w wątku komunikacyjnym, co spowodowało, że każda zmiana wartości danych była widziana przez oba wątki. Taka funkcjonalność ma kluczowe znaczenie w procesie sterowania, ponieważ rozwiązanie to pozwala sterować robotem przemysłowym za pomocą gestów i poleceń głosowych bez widocznych opóźnień.

Kolejnym istotnym obszarem prac badawczych i projektowych Habilitanta była budowa Modułowych Systemów Inteligentnych Chwyteków oraz badania symulacyjne i eksperymentalne pozycjonowania efektorów robotów przemysłowych w punktach procesowych. Habilitant brał udział w projekcie realizowanym w ramach konkursu 2.3.2 POIR nt.: „Opracowanie projektu Modułowego Systemu Inteligentnych Chwyteków (MSIC), dedykowanych do zrobotyzowanego stanowiska paletyzacji oraz budowa demonstratora Modułowego Systemu Inteligentnych Chwyteków (MSIC), dedykowanych do zrobotyzowanego stanowiska paletyzacji”. W ramach projektu opracowano cztery warianty chwytaków:

- Chwytek Warstwowy Roletowy do przenoszenia pełnych warstw produktów o wymiarze EuroPalety. Maksymalna masa chwytaka nie przekraczała 205 kg przy ładowności 100 kg.
- Chwytek Warstwowy Ściskowy do przenoszenia pełnych warstw produktów o wymiarze EuroPalety. Maksymalna masa chwytaka nie przekraczała 130 kg przy ładowności 180 kg.
- Chwytek Workowy do paletyzacji produktów o nieregularnych kształtach w opakowaniach workowych o masie 20 – 50 kg. Masa chwytaka nie przekraczała 55 kg przy ładowności 50 kg.
- Chwytek Grabiowy do wierszowej paletyzacji produktów o szerokości do 800 mm. Masa urządzenia nie przekraczała 55 kg przy ładowności 60 kg.

Badania eksperymentalne chwytaków wykonano w firmie HITMARK. W opracowanej konstrukcji MSIC zastosowano uniwersalne układy sterujące chwytakami, co umożliwia na ich podłączenie do robotów różnych producentów (np.: ABB, KUKA, FANUC). Modułowy System Inteligentnych Chwyteków został wdrożony w firmie HITMARK. Opracowane rozwiązanie zwiększyło kompetencje firmy HITMARK w zakresie projektowania i wdrażania rozwiązań dla przemysłu w obszarze robotyzacji i automatyzacji produkcji i jest ono oferowane odbiorcom przemysłowym.

Ponadto Habilitant realizował interesujący cykl badań drgań narzędzia w punktach procesowych na stanowisku z robotem KUKA KR120 R2500 wyposażonym w zgrzewadło pneumatyczne. Wyniki badań ujawniły występowanie drgań oraz ich zależność od parametrów ruchu robota (tj. prędkość robota oraz rampy przyspieszenia i hamowania). Badania wykazały, że pomimo iż roboty przemysłowe charakteryzują się dużą sztywnością, to zarówno w przypadku konstrukcji czteroosiowych (badania przedstawione w artykule [11]) jak i sześciuosiowych (badania przedstawione w artykule [12]) problem drgań robota w punktach

procesowych silnie ujawnia się w czasie eksploatacji. Z uwagi na charakter wykorzystania robotów w procesie produkcyjnym te niekorzystne zjawiska mogą wydłużać cykle pracy, co w przypadku produkcji wielkoseryjnej może generować zmniejszenie wydajności produkcji.

W prezentowanym cyklu prac zaprezentowano badania związane z pozycjonowaniem i orientowaniem obiektów w przestrzeni w warunkach dynamicznych dla potrzeb rozwiązań militarnych oraz cywilnych. Efektem końcowym prowadzonych badań były rozwiązania wdrożeniowe zastosowane w przemyśle zbrojeniowym oraz rozwiązania wdrożeniowe w zakresie robotyzacji procesów produkcyjnych. Na szczególną uwagę zasługuje duży potencjał aplikacyjnych wyników realizowanych prac badawczych w obszarze modelowania systemów robotycznych w technologii „cyfrowych bliźniaków”. Z uwagi na powyższe stwierdzam, że wskazany przez Habilitanta **cykl pięciu powiązanych tematycznie monografii i trzynastu publikacji oraz zbudowany, przebadany i wdrożony Modułowy System Inteligentnych Chwyteków pod wspólny tytułem „Pozycjonowanie i orientowanie obiektów w przestrzeni w warunkach dynamicznych” może stanowić podstawę do ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora habilitowanego przez dr inż. Wojciecha Kaczmarka.**

2.2. Ocena pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych, dorobku naukowego i publikacyjnego

Habilitant obok zagadnień będących elementami osiągnięcia naukowego rozwija swoje zainteresowania badawcze w obszarze wdrażania technologii robotycznych na zlecenie partnerów przemysłowych. W kooperacji z partnerami przemysłowymi wykonuje symulacje pracy zrobotyzowanych stanowisk produkcyjnych i opracowuje Dokumentacji Techniczno-Ruchowych (DTR) wdrażanych zrobotyzowanych stanowisk produkcyjnych. Habilitant intensywnie współpracuje z firmą ABB. W ramach tej współpracy Habilitant tworzy koncepcji zrobotyzowanych stanowisk produkcyjnych dla klientów z całego świata z różnych branż przemysłowych, tworzy oprogramowania sterującego do robotów, prowadzi symulacje pracy stanowisk zrobotyzowanych z uwzględnieniem detekcji kolizji i przestrzegania reżimów czasowych, analizuje pracę stanowisk oraz dostosowuje stanowiska do wymagań klientów końcowych. Ponadto Habilitant projektuje Dokumentacji Techniczno-Ruchowych (DTR), w zakresie budowy stanowisk, przestrzegania zasad bezpieczeństwa, sterowania, obsługi stanowisk przez operatorów. W ramach tej współpracy Habilitant brał udział w pracach projektowych 20 zrobotyzowanych stanowisk produkcyjnych. Prowadził prace

badawczo-projektowe zrobotyzowanych stanowisk dla firm z branży: produkcji katalizatorów, produkcji elementów automatyki, produkcji maszyn rolniczych, produkcji produktów farmaceutycznych, produkcji produktów spożywczych, produkcji wymienników ciepła, produkcji chemii i kosmetyków, samochodowej, przemysłu stalowego, przemysłu rolniczego, lotniczej, obróbki elementów aluminiowych, produkcji silników, spawalniczej.

Po doktoracie Habilitant opublikował 5 monografii, 15 rozdziałów w monografiach, 70 artykułów w czasopismach naukowych, 17 artykułów w czasopismach branżowych oraz 13 artykułów w recenzowanych materiałach konferencyjnych, co daje łącznie 120 publikacji, z czego 21 pozycji jest indeksowanych w *Web of Science*. Habilitant osiągnął sumaryczny *Impact Factor* na poziomie $IF=26,502$. Habilitant osiągnął indeks *Hirscha* (stan na 28.07.2023) wg bazy *Web of Science* równy 6, bazy *Scopus* również równy 6 oraz bazy *Google Scholar* równy 18. Oceniając osiągniętą wartość indeksu *Hirscha* można stwierdzić, że w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn jest to wynik dobry, akceptowalny przy ubieganiu się o stopień doktora habilitowanego.

Zgodnie z podanymi danymi we wniosku, w okresie po doktoracie Habilitant brał czynny udział w 14 projektach badawczych finansowanych ze źródeł zewnętrznych, przy czym w 3 pełnił funkcje kierownicze. Ponadto brał udział w 9 projektach badawczych WAT, przy czym w 5 był kierownikiem prac. Aktualnie Habilitant jest wykonawcą w jednym projekcie finansowanym ze źródeł zewnętrznych i w dwóch projektach finansowanych przez WAT, gdzie jest kierownikiem prac badawczych. Habilitant współpracował z wieloma partnerami przemysłowymi w obszarze przemysłu zbrojeniowego oraz cywilnego:

- PIT-RADWAR S.A. – czołowy dostawca urządzeń z zakresu elektroniki profesjonalnej dla Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej.
- Przedsiębiorstwo PREXER Sp. z o.o. – wykonawca celownika programowalnego CP-1.
- P.P.U.H. Help Edward Bielecki ze Starogardu Gdańskiego.
- Zakłady Mechaniczne Tarnów – producent przeciwlotniczego systemu raketowo-artyleryjskiego "PILICA".
- HITMARK Sp. z o.o. – producent Modułowego Systemu Inteligentnych Chwytek MSIC.
- Firma Virtual Power Plant Sp. z o.o. – wykonawca Optymalizatora HAVAC.
- Firma KARTEL S.C. – wykonawca mobilnego urządzenia inspekcyjno-inżynierskiego.
- Firma ABB Sp. z o.o. – współpraca przy wdrażaniu stanowisk zrobotyzowanych. Habilitant we współpracy z ABB zrealizował prace w zakresie robotyzacji procesów produkcyjnych dla 20 firm (dane firm utajnione).

Wybrane wyniki prac badawczych były patentowane, Habilitant jest współautorem 3 patentów. Habilitant regularnie prezentował swoje osiągnięcia na konferencjach międzynarodowych i krajowych, na których wygłosił 64 referaty oraz 9 komunikatów na temat osiągnięć badawczych. Ponadto Habilitant prowadził 13 zamówionych warsztatów z zakresu budowy, eksploatacji i programowania robotów przemysłowych dla uczestników międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych. Habilitant brał 18 razy udział w pracach komitetów organizacyjnych międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych.

Habilitant wykazał się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni oraz instytucji naukowej-badawczej. Habilitant odbył trzy staże w instytucjach naukowych i badawczych, akademickich i przemysłowych:

- 1) 2023, Staż naukowy na Politechnice Warszawskiej, w zakresie wykorzystania robotów przemysłowych oraz ich wirtualnych bliźniaków w aplikacjach manipulowania obiektami
- 2) 2018, Staż naukowo-techniczny w centrum ABB Sp. z o.o., w zakresie integracji i konfiguracji stanowisk zrobotyzowanych ze szczególnym uwzględnieniem kwestii dotyczących projektowania i symulacji stanowisk zrobotyzowanych w środowisku RobotStudio.
- 3) 2015, ROS training Course on Summit XL HL – Micro and Guardian – Terabot mobile manipulator platforms, Robotnik, Walencja, Hiszpania. Staż w zakresie programowania robotów mobilnych na platformie Robot Operating System w systemie operacyjnym Linux. Staż obejmował programowanie robotów firmy ROBOTNIK oraz wykorzystanie środowisk Rviz i Movit do programowania i symulacji pracy robotów mobilnych i manipulatorów na komputerze.

Wyniki prac badawczych realizowanych w ramach wymienionych staży były prezentowane w publikacjach naukowych.

Habilitant jest członkiem w komitecie redakcyjnego w formie tzw. Guest Editor Applied Sciences (ISSN 2076-3417), Special Issue "Automation Control and Robotics in Human-Machine Cooperation", Impact Factor 2.838 (2023). Ponadto Habilitant wykonał 35 recenzji prac naukowych publikowanych w czasopiśmie międzynarodowych o wysokim Impact Factor takich jak: Computers and industrial engineering, International Journal of Environmental Research and Public Health, Robotics, Actuators, Sensors, Materials, Micromachines, Applied Sciences, Problems of Mechatronics (Armament, Aviation, Safety Engineering), Artykuły konferencyjne 24th International Conference ENGINEERING MECHANICS 2018, recenzja rozdziału do monografii naukowej pt.: „Technologie XXI

wieku – aktualne problemy i nowe wyzwania” Wydawnictwo Naukowe TYGIEL sp z o. o., recenzja rozdziału do monografii naukowej SMWM 2020: Modelling in Engineering 2020: Applied Mechanics, Wydawnictwo SPRINGER.

Odnosząc się do osiągnięć naukowo-badawczych stwierdzam, że Habilitant spełnia wymagania stawiane kandydatom ubiegającym się o stopień naukowy doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, dyscyplinie inżynieria mechaniczna zgodnie z wymogami ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Habilitant spełnia stawiane wymagania na dobrym poziomie, w świetle powyższego stwierdzam, że w odniesieniu do osiągnięć naukowo-badawczych uznaję wymagane prawem osiągnięcia za spełnione.

3. Ocena działalności dydaktycznej i organizacyjnej

Oceniając dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz dorobek organizacyjny i współpracę międzynarodową stwierdzam, że prezentowane przez Habilitanta osiągnięcia w tym obszarze są zadowalające. Habilitant aktywnie uczestniczy w zespołach oceniających wnioski o przyznanie nagród naukowych, mających charakter naukowy lub dydaktyczny np.: opracowanie Raportu dla Projektu “Ablacja Laserowa”. Projekt współfinansowany ze środków NCBR; członkostwo kapituły corocznego ogólnopolskiego konkursu Produkt Roku Magazynu Control Engineering Polska, Warszawa; członek JURY ogólnopolskiego konkursu RobotMan 2009 organizowanego przez firmę ABB.

Habilitant brał czynny udział projektach w europejskich i międzynarodowych: Euroskills 2023 – European Championship of Young Professionals, pełnienie funkcji WorkShop Manager w konkurencji Robot System Integration; PROJECT NO 2020-1-RO01-KA203-080375, EuCTSds – European Common Technical Semester for Defence and Security; Traineeship at MUT – Fundamentals of robotics 2022; Traineeship at MUT – Fundamentals of robotics 2021; Student Mobility for traineeships at the IAT for cadets 2019/2020; Traineeships for Vasil Lev-ski” National Military University 2018; EduNet, International Education Network – międzynarodowy projekt edukacyjny, wspierający wymianę i współpracę między uczelniami i przemysłem w dziedzinie automatyki; Xplore New Automation Award – międzynarodowy konkurs technologiczny i edukacyjny; Projekt unijny POIS.13.01.00-00-48/08 „Przebudowa budynku nr 36 na cele dydaktyczne Wydziału Mechatroniki i Lotnictwa WAT” 2010-2015. Ponadto habilitant brał trzykrotnie udział w

prowadzeniu warsztatów z zakresu programowania robotów dla studentów i uczestników Międzynarodowych Targach Innowacyjnych Rozwiązań Przemysłowych Warsaw Industry Week, w 2016, 2017 i 2018 roku.

Habilitant pracując na Wydziale Mechatroniki, Uzbrojenia i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej prowadzi zajęcia dydaktyczne w formie wykładów, ćwiczeń, ćwiczeń laboratoryjnych, seminariów i projektów, na kierunkach studiów I i II stopnia studiów jednolitych oraz studiów III stopnia. Ponadto Habilitant jest autorem wielu kart przedmiotów, sylabusów, materiałów do wykładów, ćwiczeń rachunkowych oraz instrukcji do ćwiczeń laboratoryjnych. Prowadzi zajęcia z zakresu inżynierii mechanicznej, automatyki, robotyki, telemetrii, układów lokacyjnych i kierowania ogniem, budowy i eksploatacji maszyn i programowania. W latach 1996-2023 Habilitant przepracował łącznie 9520 godzin dydaktycznych. Pełnił rolę promotora w 100 prac dyplomowych (50 magisterskich, 50 inżynierskich) oraz był recenzentem 86 prac dyplomowych (42 magisterskich, 44 inżynierskich). Ponadto Habilitant był promotorem pomocniczego 3 doktorantów (w tym jednego z zagranicy).

Habilitant prowadzi również zajęcia z zakresu programowania robotów dla studentów zagranicznych, ponadto uczestniczy w projekcie pt.: European Common Technical Semester for Defence and Security. Od 2016 roku Habilitant pełni funkcję opiekuna specjalności Robotyka i automatyka przemysłowa na kierunku Mechatronika, gdzie projektował program studiów. W 2008 roku opracował recenzowany podręcznik akademicki pt.: „Elementy robotyki przemysłowej”. W latach 2010-2015 uczestniczył w uruchomieniu nowego Laboratorium Robotyki WAT.

Habilitant był opiekunem naukowym 16. studentów indywidualnych. Studenci i zespoły studentów, których był opiekunem zdobyli 10 nagród i wyróżnień w ogólnopolskich i uczelnianych seminariach i konkursach. Za działalność dydaktyczną Habilitant uzyskał osiem nagród i wyróżnień w tym Medal Komisji Edukacji Narodowej w 2019 r. oraz Odznakę Zasłużony Nauczyciel Akademicki WAT w 2011 r.

Ponadto Habilitant pełnił liczne funkcje organizacyjne w macierzystej uczelni. W latach 2012-2020 pełnił funkcję kierownika Zespołu Mechatroniki w Katedrze Mechatroniki, a od 2020 jestem kierownikiem Zakładu Mechatroniki.

Habilitant współpracuje w zakresie robotyki z liczącymi się na rynku światowym firmami m.in. ABB, FANUC, Mitsubishi Electric, KUKA, SMC, B&R, SHUNK. Z udziałem firm zajmujących się produkcją robotów przemysłowych Habilitant zorganizował jedenaście certyfikowane kursy i seminaria dla studentów i pracowników WAT. Habilitant prowadzi

również działalność popularyzacyjną nauki, był organizatorem oraz uczestnikiem 13 wystaw i dni otwartych związanych z popularyzacją nauki. Ponadto Habilitant wielokrotnie był współorganizatorem i kierownikiem praktyk studentów wojskowych oraz studentów cywilnych.

Za swoje osiągnięcia Habilitant wielokrotnie był odznaczany m.in.: Nagrodą Ministra Obrony Narodowej, listem gratulacyjny Ministra Obrony Narodowej, nagrodami rektorskimi (5), nagrodami dziekańskimi (9), innymi nagrodami i wyróżnieniami (3) oraz orderami, medalami i odznaczeniami (16).

Podsumowując stwierdzam, że w odniesieniu do osiągnięć dydaktycznych i organizacyjnych Habilitant wykazuje bardzo wysoką aktywność w tym zakresie. W świetle powyższego stwierdzam, że w odniesieniu do osiągnięć dydaktycznych i organizacyjnych Habilitant spełnia wymagania stawiane kandydatom ubiegającym się o stopień naukowy doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, dyscyplinie inżynieria mechaniczna zgodnie z wymogami ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).

4. Podsumowanie i wnioski końcowe

W świetle przedstawionej powyżej oceny osiągnięcia naukowego w formie cykl pięciu powiązanych tematycznie monografii i trzynastu publikacji oraz zbudowanego, przebadanego i wdrożonego Modułowego Systemu Inteligentnych Chwytek pod wspólny tytułem „Pozycjonowanie i orientowanie obiektów w przestrzeni w warunkach dynamicznych” stwierdzam, że spełnia ono wymagania wynikające ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.), stanowiąc podstawę ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora habilitowanego. Osiągnięcia Habilitant wniosły istotny wkład w dyscyplinę inżynieria mechaniczna. Do oryginalnych osiągnięć Habilitanta zaliczam:

- Wyniki badań automatycznych systemów prowadzenia ognia w tym: badania algorytmów przeliczników zestawów przeciwlotniczych krótkiego zasięgu przeprowadzone na podstawie autorskich metodyk badawczych; wyniki badań dowodzące, że wzrost manewrów celu ma negatywny wpływ na dokładność wyliczania nastaw działowych a uwzględnienie opóźnień w obliczeniach już na poziomie 10 ms wpływa na poprawę dokładności wyliczania nastaw działowych; badania potwierdzające, że dokładne wyliczenie nastaw działowych przez przeliczniki jest możliwe kiedy czas obserwacji jest dłuższy niż 4s oraz, że najlepszym

rozwiązaniem jest stosowanie algorytmu zmiennego w czasie, który przełączałby się automatycznie w zależności od czasu śledzenia celu i rodzaju trajektorii po jakiej się on porusza; badania potwierdzające, że przy prowadzeniu ognia do celu niemanewrującego najkorzystniejsze jest zastosowanie filtrów drugiego rzędu w całym okresie strzelania, przy czym przełączanie pomiędzy filtrami powinno odbywać się na podstawie wyliczanej uśrednionej wartości trzeciej pochodnej danej współrzędnej celu.

- Opracowana koncepcja metod dowiązania i orientowania zestawów przeciwlotniczych wraz z autorskimi algorytmami i programami komputerowymi realizującymi proces dowiązania i orientowania, przeliczenie współrzędnych oraz odbiór i przekształcanie danych z odbiornika GPS. Zmodyfikowane algorytmy dowiązania i orientowania oraz programy komputerowe zostały wykorzystane w komputerze pokładowym jednostki ogniowej systemu PILICA.
- Wdrożenia zawierające autorskie rozwiązania m.in. w zakresie dowiązania i orientowania: programowalnego celownika nowej generacji CP-1 stanowiącego obecnie wyposażenie 23 mm PZRA ZUR-23-2KG. Zaproponowana koncepcja była pierwszym tego typu rozwiązaniem dla zestawów przeciwlotniczych bardzo krótkiego zasięgu w Polsce. Ponadto zaimplementowanie funkcji dowiązania i orientowanie w programowalnym celowniku CP-1 pozwoliło na udostępnianie informacji o własnym położeniu innym elementom ugrupowania bojowego pracującym w sieci.
- Opracowana koncepcja oryginalnego stanowiska badawczego z robotem przemysłowym do symulacji ruchu obiektu powietrznego oraz uzyskane na jej podstawie wyniki badań oraz budowa innowacyjnej wieloosiowej platformy do badań dynamicznych, która stanowi drugi element stanowiska badawczego. Habilitant zrealizował konfigurację układu sterowania oraz opracował autorskie algorytmy i programy sterujące platformą.
- Opracowanie spójnego i usystematyzowanego cyklu monografii prezentującego problematykę w zakresie robotyki. Przedstawiona problematyka w cyku monografii stanowi kompleksowe i wartościowe źródło wiedzy dla naukowców, którzy roboty przemysłowe postrzegają jako elementy wysoce zaawansowanych stanowisk badawczych. Ponadto, cykl stanowi kompendium wiedzy dla programistów robotów przemysłowych, wykładowców i studentów.

- Skonfigurowanie i opracowane autorskich wirtualnych stanowisk do badania algorytmów sortowania i pakowania, które dzięki swojej uniwersalności pozwalają na szybką ocenę zróżnicowanych rozwiązań konstrukcyjnych przez pryzmat oczekiwanych wydajności, zapewniając odpowiednie zróżnicowanie ocen oraz multiplikowanie pożądanych cech. Oryginalnym podejściem jest uwzględnienie w symulacjach stanów awaryjnych w postaci „zatrzymania” pracy wybranych robotów oraz badanie oddziaływania tych sytuacji na uzyskaną jakość i wydajność procesu przemysłowego.
- Wyniki badań naukowych prowadzonych z uwzględnieniem niedoskonałości systemów wizyjnych, przez symulowanie w sposób pseudolosowy liczby niepoprawnie rozpoznanych elementów, definiowanie czasu i sposobu chwytania obiektów. Badania pozwoliły na określenie czasów cykli oraz wyliczenie wielkości produkcji. Ponadto, analiza cykli pozwoliła na ocenę stopnia wykorzystania poszczególnych maszyn. Badania wykazały, że w zależności od zastosowanego algorytmu pracy awarie robotów mogą wymusić zatrzymanie całej linii produkcyjnej.
- Opracowanie i uruchomienie oryginalnych stanowisk badawczych pozwalających na badania innowacyjnych metod sterowania i programowania robotów przemysłowych za pomocą gestów i komend głosowych oraz poleceń wydawanych na tablecie. Komendy głosowe stanowiące dodatek do gestów rozszerzają możliwości sterowania robotem bez konieczności skupiania na nim całej uwagi operatora. Płynna praca manipulatorów podczas podążania za ręką operatora jest możliwa w aplikacji wielowątkowej, w której wątek mechaniczny i wątek komunikacyjny pracują niezależnie. Uzyskane wyniki badań dowiodły, że możliwe jest sterowanie robotem i tworzenie/modyfikowanie trajektorii ruchu robota za pomocą tabletu graficznego. Potwierdzono, że użycie tabletu graficznego pozwala na łatwe i szybkie tworzenie i parametryzację ścieżek ruchu robota w wyznaczonym obszarze roboczym nawet przez osoby bez specjalistycznej wiedzy z zakresu programowania robotów.
- Zrealizowane prace projektowo-badawcze oraz konstrukcyjne nad Modułowym Systemem Inteligentnych Chwyteków. Biorąc pod uwagę typy chwytaków wchodzących w skład systemu oraz ich funkcjonalność stanowi on innowacyjne i oryginalne opracowanie i jest pierwszym tego typu system wdrożonym w Polsce. Modułowy System Inteligentnych Chwyteków został wdrożony i obecnie stanowi ofertę firmy HITMARK.

- Opracowane oryginalne stanowisko pomiarowe do badań eksperymentalnych umożliwiające badanie położenia narzędzi w punktach procesowych oraz prowadzenie analiz związanych z drganiami efektorów w punktach procesowych. Uzyskane wyniki badań, które potwierdziły wpływ zmiany parametrów ruchu robota na wartość drgań narzędzia w punkcie procesowym.

Odnosząc się do istotnej aktywności naukowo-badawczych Habilitanta stwierdzam, że spełniono wymagania stawiane kandydatom ubiegającym się o stopień naukowy doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, dyscyplinie inżynieria mechaniczna zgodnie z wymogami ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Analiza dorobku dydaktycznego, popularyzatorskiego oraz organizacyjnego dowiodła, że Habilitant również wykazuje bardzo wysoką aktywność w tym obszarze.

W konkluzji, wniosek o nadanie **dr inż. Wojciechowi Kaczmarkowi stopnia doktora habilitowanego nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna** uważam za uzasadniony. W związku z tym wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Mechaniczna” Wojskowej Akademii Technicznej o podjęcie dalszej procedury w sprawie nadania **dr inż. Wojciechowi Kaczmarkowi stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.**

