

dr hab. inż. Jacek Reiner profesor Uczelni
Politechnika Wroclawska
Wydział Mechaniczny
Jacek.Reiner@pwr.edu.pl

Wrocław 28.02.2019

Recenzja osiągnięć naukowych oraz dorobku dydaktycznego i organizacyjnego
w postępowaniu habilitacyjnym

dr inż. Kseni Ostrowskiej

z Wydziału Mechanicznego, Politechniki Krakowskiej

w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn

Tytuł osiągnięcia naukowego

„Ocena i korekcja dokładności Redundantnych Współrzędnościowych Systemów Pomiarowych”

Opinia sporządzona w odpowiedzi na Pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej M.00.520.20/2019 z dnia 23 stycznia 2019, w oparciu o uchwałę Centralnej Komisji ds. Stopni i Tytułów nr BCK-VI-L-9134/18 z 11 stycznia 2019, na podstawie autoreferatu, wykazu dorobku habilitacyjnego, cyklu tematycznego publikacji wraz z monografią oraz pozostałych osiągnięć naukowych.

Wrocław 2019



1. Ocena podjętej tematyki badawczej

Uprawiane przez habilitantkę zagadnienia naukowe stanowią kontynuację i rozwinięcie Krakowskiej Szkoły Metrologii Współrzędnościowej – rozwiniętej przez prof. Jerzego Śładka. Habilitantka, uczestnicząc bardzo aktywnie w działalności naukowej Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej swoje kompetencje naukowe koncentruje na redundantnych ramionach pomiarowych oraz robotach przemysłowych do zastosowań metrologicznych. Jak zidentyfikowała, głównym ograniczeniem znacznie szerszego ich stosowania są trudności w szybkiej i łatwiej ocenie ich zdolności metrologicznej. W odpowiedzi na tak postawiony problem podejmuje wyzwanie opracowania uniwersalnych, użytkarnych modeli funkcjonalnych będących podstawą symulacyjnego systemu oceny niepewności dla pomiarowych współrzędnościowych urządzeń redundantnych o stałych więzach kinematycznych oraz o budowie otwartego łańcucha kinematycznego. Przewiduje, że dzięki takim rozwiązaniom możliwa będzie szybka predykcja wyników pomiarów wraz z ich niepewnością pomiarową.

Takie postawienie problematyki, jest w pełni zgodnie z paradygmatem mechatronicznym, odpowiada też na wyzwania Przemysłu 4.0. Jego podjęcie wymaga interdyscyplinarnej wiedzy, szczególnie z zakresu metrologii współrzędnościowej i robotyki, popartej umiejętnościami opracowywania algorytmów w z obszarze informatyki technicznej.

Stwierdzam, że obszar działalności naukowej dr inż. Kseni Ostrowskiej jest spójny, rozwija aktualny stan wiedzy i jest odpowiedzią na oczekiwania przemysłu globalnego, tym samym wpisuje się w dyscyplinę – Budowa i Eksploatacja Maszyn.

2. Ocena zgłoszonego osiągnięcia naukowego

2.1. Cykl publikacyjny

Do oceny Habilitantka przedłożyła cykl publikacyjny składający się 7 pozycji, pod wspólnym tytułem „Ocena i korekcja dokładności Redundantnych Współrzędnościowych Systemów Pomiarowych”. Obejmuje on, 1 monografię, 3 publikacje w czasopiśmie ujętych w bazie JCR oraz 3 publikacje konferencyjne indeksowane w bazie Scopus.

L.p.	Opis bibliograficzny prac w cyklu	Udział
1	Ksenia Ostrowska, 2018, Redundantne współrzędnościowe systemy pomiarowe - modelowanie matematyczne i funkcjonalne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 188 stron, ISBN 978-83-7242-863-9 (monografia) 100%	100%
2	Ostrowska K., Gąska, A., Śladek, J. Determining the uncertainty of measurement with the use of a virtual coordinate measuring arm. (2014). International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 71(1-4), 529-537. doi:10.1007/s00170-013-5486-8. Punktacja MNISW (2014): 30, IF 1.458.	60%
3	Ostrowska K., Gąska A., Kupiec R., Śladek J., Gromczak K. "Verification of articulated arm coordinate measuring machines accuracy using LaserTracer system as standard of length" (2016), MAPAN : Journal of Metrology Society of India, 255-256, ISSN 0974-9853, DOI 10.1007/s12647-016-0176-2. Punktacja MNISW (2016): 15, IF 1.	60%
4	Ostrowska K., Gąska A., Kupiec R., Gromczak K., Wojakowski P., Śladek J. "Comparison of accuracy of virtual articulated arm coordinate measuring machine based on different metrological models" (2018), Measurement 133, 262-270, https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.10.024, 0263-2241/_2018 Elsevier. Punktacja MNISW (2017): 30, IF 2.218	55%
5	Ostrowska K. Gromczak, K., Owczarek, D., Gąska, A., & Śladek, J. A. „Development of CAA correction matrix for coordinate measurement arms.” (2015) Paper presented at the XXI IMEKO World Congress "Measurement in Research and Industry", – S. 1472-1475. – ISBN 978-1-5108-1292-5	60%
6	Gromczak K., Ostrowska K., Owczarek D., Śladek J. "Validation of the metrological model of coordinate measuring arm using multifeaturecheck" (2015), Advances in Science and Technology Research Journal, Volume 9, No. 28, Dec. 2015, str. 120-124, DOI:10.12913/22998624/60798; – ISSN 2299-8624	40%
7	Gromczak K., Ostrowska K., Gąska A., Śladek J. "The universal validation algorithm of coordinate measuring methods", (2016), Measurement Automation Monitoring, vol. 62, no. 4, 2016, 120-124, ISSN 2450-2855	40%

Przedstawiona tematyka jest spójna i komplementarna, a udział procentowy oraz charakterystyka zrealizowanych prac dowodzą, że wkład Habilitantki był wiodący.

2.2. Ocena monografii habilitacyjnej

Oryginalnym, jednoautorskim osiągnięciem publikacyjnym Kseni Ostrowskiej jest monografia pt. „Redundantne współrzędnościowe systemy pomiarowe – modelowanie matematyczne i funkcjonalne”, wydana przez Politechnikę Krakowską w 2018r. Praca, ustrukturyzowana została w formie 11 rozdziałów na 188 stronach. Autorka powołuje się na 145 publikacji oraz patenty, normy projekty i nieliczne strony internetowe. Rozdziały 1-4 mają charakter przeglądowy i porządkujący, charakteryzując redundantne systemy pomiarowe na przykładzie ramion pomiarowych oraz robotów przemysłowych, omawiając podstawy teoretyczne ich modelowania za pomocą notacji Denavit-Hartenberga, zadanie proste kinematyki oraz analizę dokładności manipulatora z użyciem jakobianów. W kolejnym rozdziale omówiono problematykę niepewności pomiarów oraz metody oceny dokładności.

W rozdziale 5, Autorka formułuje cel pracy, który brzmi: „opracowanie uniwersalnych, utylitarnych modeli funkcjonalnych będących podstawą symulacyjnego systemu oceny niepewności dla pomiarowych współrzędnościowych urządzeń redundantnych o stałych więzach kinematycznych oraz o budowie otwartego łańcucha kinematycznego”. Stawia również dwie tezy, dotyczące czynników wpływających na modelowanie metrologiczne oraz identyfikacji rozkładów błędów na potrzeby modelowania do zastosowań w warunkach przemysłowych. Zgodnie z metodyką badawczą znajdujemy tu również założenia i ograniczenia do pojętych badań.

Najistotniejsze są dwa następujące rozdziały, 6. – przedstawiający metodykę wyznaczania niepewności pomiarów metodą symulacyjną, 7. – przedstawiający metodykę badań w celu zastosowania robota przemysłowego jako współrzędnościowy system pomiarowy. Autorka definiuje dwa podejścia do modelowania (white-box – metoda analityczna oraz black-box – metoda symulacyjna) do modelowania funkcjonalnego – metrologicznego oraz podaje niezbędne podstawy teoretyczne. W podejściu pierwszym zaprezentowano etapy identyfikacji poszczególnych parametrów geometrycznych i błędów (położenia, orientacji, przypadkowych, temperatury, operatora, układu pomiarowego). Słusznie Autorka podkreśla, że dostępność do macierzy korekcji producenta jest bardzo ograniczona – w rzeczywistości niemożliwa. Szczególnie w obecnych, mechatronicznych rozwiązaniach, gdzie niedoskonałości mechaniczne są kompensowane poprzez algorytmy, których skuteczność stanowi o konkurencyjności danego produktu. Identyfikację parametrów i budowę modelu wg. II procedury oparto na modelu symulacyjnym tj. wirtualnym urządzeniu pomiarowym. Podejście to bazuje na metodzie Monte Carlo, powszechnie stosowanej do modelowania matematycznie złożonych zależności, których przykładem, z całą pewnością, są redundantne kinematyki współrzędnościowe. W rozdziale 7. znajdujemy obszernie informacje dot. badań robota przemysłowego pod kątem jego zdolności metrologicznej. Badania prowadzone zgodnie z aktualnym stanem normatywnym nie budzą zastrzeżeń. Znajdujemy tu szczegółowy model matematyczny wirtualnego robota przemysłowego, z uwzględnieniem jego błędów (kinematycznych, położenia i orientacji, przypadkowe oraz od temperatury).

Podsumowanie i walidację, powyższych, autorskich opracowań Habilitantki stanowi rozdział 8, Potwierdzono w nim, że opracowane wirtualne ramię pomiarowe oraz wirtualny robot pomiarowy spełniają warunki dwustronnej miary rozbieżności i prawdopodobieństwa.



Pracę podsumowują wnioski potwierdzające osiągnięcie założonego celu i postawionych tez. Uzyskane wyniki i opracowania skutecznie wspierają zadania metrologiczne (predykcję wyników i ich niepewności, dając odpowiedź w akceptowalnym czasie) dzięki Wirtualnym Redundantnym Systemom Pomiarowym. Ponadto roboty pomiarowe dzięki ich wirtualizacji i zewnętrznym modułom korekcyjnym, opracowanym przez Habilitantkę, mogą w coraz większym stopniu automatyzować współrzędnościowe zadania metrologiczne bezpośrednio na linii produkcyjnej.

2.3. Krytyczna dyskusja i wybrane uwagi

Oceniając monografię przez pryzmat robotyki, pewien niedosyt może budzić zaniedbanie zagadnienia wyznaczania kinematyki odwrotnej. Z aplikacyjnego punktu widzenia, nadmierna redundancja utrudnia manualną manipulację takim ramieniem, jego sterowanie oraz podnosi koszty, stąd producenci sprzętu ograniczają liczbę stopni swobody do niezbędnego wymiaru. Wśród badanych układów kinematycznych, większość stanowiły konfiguracje DoF=6. Jednakże, szeroko rozumiana wirtualizacja szeregowych, redundantnych łańcuchów kinematycznych wymaga umiejętności wyznaczenia konfiguracji wewnętrznej manipulatora tj. umiejętności rozwiązywania zadania odwrotnego – którego wynik nie jest jednoznaczny. Stąd analiza niepewności, przy niejednoznacznościach konfiguracyjnych, moim zdaniem, powinna być pogłębianą w dalszych pracach Habilitantki.

Podczas eksperymentu termicznego zebrano dane pomiarowe, na podstawie których zidentyfikowano zmianę długości poszczególnych elementów geometrycznych ramienia pomiarowego. Uzyskane wyniki (rys. 6.13) wykazują na silną nieliniowość, co stawia szereg otwartych pytań poznawczych, np.: co jest przyczyną takiego nieliniowego przebiegu, na ile jest on kompensowany programistycznie, czy przebieg ten nie zależy od aktualnej konfiguracji kinematycznej WRP, czy obserwowane zmiany długości nie zależą od kierunku zmian temperatury (histereza), etc.?

W celu jak najdokładniejszego zamodelowania zaobserwowanej zmienności zaproponowano interpolację sklejanymi funkcjami wielomianowymi, trzeciego 3 stopnia (ang. cubic spline). Powstaje jednakże wątpliwość, jaka jest jakość niniejszego modelu dla danych rzeczywistych? Nie bazuje on bowiem na rozkładach zmienności obserwowanej wielkości i niestety nie pokazano jego walidacji.

Dyskusyjny może być również podrozdział dot. zastosowania sieci neuronowych do korekcji błędów położenia głowicy, gdyż przedstawiono go bardzo skrótowo. Bez podania szczegółów dotyczących architektury sieci, jej wymiarowości i stosowanych funkcji aktywacji oraz wyników kroswalidacji nie sposób ocenić, czy nie doszło to przecuczenia sieci, nie jest możliwe również odtworzenie tego eksperymentu.

W pracy dostrzegłem powtarzający się błąd edytorski dotyczący opisu rysunków (wykresów), które przedstawiają zmienność parametru w funkcji temperatury, a nie jak podano w funkcji czasu. (rys. 6.14 oraz załącznik – rozdział 5. rys. Z9-Z21)

Powyższe uwagi mają charakter polemiki naukowej i nie wpływają na moją pozytywną ocenę monografii. Należy docenić spójną koncepcję naukową, jasno sformułowany cel i zakres, zgodność z metodyką badań naukowych, czym Habilitantka potwierdza swoje kwalifikacje do samodzielnego prowadzenia badań i kierowania zespołami badawczymi.

2.4. Aktywność naukowa oraz zasięg publikacji

Bibliometryczna analiza dorobku publikacyjnego Habilitantki wskazuje na znaczny wzrost jej aktywności po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych. Na łączną liczbę publikacji 62, te po



doktoracie stanowią 84%, o łącznym wskaźniku *impact factor* 17.843. Około połowa z nich, to publikacje znaczące (punktowane z bazy JCR i krajowe), pozostała część to wystąpienia konferencyjne – wyłącznie anglojęzyczne. Efektem powyższej aktywności publikacyjnej jest znaczna liczba cytowań (bez autocytowań) za WoS = 111, za Scopus = 140, oraz wskaźnik Hirscha, odpowiednio 6 i 7 (dane z 21.11.2018).

Pozytywnie oceniam aktywność badawczą poprzez uczestnictwo dr inż. Kseni Ostrowskiej w projektach badawczych oraz kierowaniu nimi. Poniżej wybrane z ostatniego okresu, wskazują pełną zgodność z główną kompetencją badawczą Habilitantki:

- Kierownik projektu, System oceny dokładności pomiarów współrzędnościowych on-line realizowanych urządzeniami redundantnymi, LIDER/024/559/L-4/12/NCBR/2013, NCBiR, 2014-2016
- Wykonawca projektu, Metoda oceny dokładności pomiarów współrzędnościowych realizowanych w warunkach przemysłowych wykonywana w trybie on-line, LIDER/06/117/L-3/11/NCBR/2012, NCBiR, 2013-2015,
- Podwykonawca - Kierownik zespołu, Opracowanie i wdrożenie do produkcji kompleksowego bezdotykowego systemu pomiaru obiektów przestrzennych przystosowanego do realizacji precyzyjnych pomiarów metrologicznych w warunkach wysokiego nasłonecznienia, POIR.01.01.01-00-0376/15, NCBiR, 2015-2018
- Wykonawca- członek zespołu, Badania rozwojowe nad wzorcowaniem (z wykorzystaniem Laser Tracera) i wyznaczaniem niepewności pomiarów dla systemów współrzędnościowych, Nr N R01 0048 10, NCBiR, 2010-2013

Na podstawie powyższych wskaźników, w kontekście dziedzinowym (budowa i eksploatacja maszyn – metrologia współrzędnościowa) oceniam pozytywnie aktywność naukową Habilitantki, podkreślając obecność jej wyników badań na arenie międzynarodowej w znaczących wydawnictwach i konferencjach z dziedziny jej badań.

3. Ocena aktywności dydaktycznej

Habilitantka, bardzo aktywnie uczestniczy w procesie dydaktycznym w Politechnice Krakowskiej, prowadząc szereg zajęć, dotyczących szeroko rozumianej metrologii, dla studentów studiów stacjonarnych, podyplomowych jak również zagranicznych w ramach programów wymiany Erasmus.

Wśród jej kompetencji dydaktycznych znajdujemy takie kursy jak: „Zaawansowane systemy pomiarowe”, „Zautomatyzowane systemy pomiarów współrzędnościowych”, „Zaawansowane systemy pomiarów współrzędnościowych produktu”, „Metrologia w procesach wytwarzania makroelementów”, „Pomiary bezstykowe”, „Współrzędnościowa Technika Pomiarowa”, „Obrazowanie i skanowanie bezstykowe obiektów-technika skanerów światła strukturalnego i skanowanie laserowe”, „Mobilne systemy Współrzędnościowe -Ramiona Pomiarowe i Laser Trackery” w tym pomiary wielkogabarytowe”, „Coordinate metrology” oraz „Coordinate measuring systems”. Ponadto, sprawowała opiekę merytoryczną nad 70-cioma dyplomantami (2010-2018), opiekuje się kołem naukowym Metrologii Współrzędnościowej (20-30 studentów rocznie), dwoma zespołami uczestniczącymi w Hakatonie, prowadziła wykłady w Słowacji i na Węgrzech.

Wymiar prowadzonych aktywności dydaktycznych oraz ich tematyka w pełni zgodna z obszarem prowadzonych badań, uprawniają do bardzo wysokiej oceny Habilitantki w tym obszarze.



4. Ocena aktywności organizacyjnej

Habilitantka, prezentuje swoją aktywność organizacyjną i popularyzującą naukę wymieniając aż 13 różnych jej form, z których większość była wielokrotnie powtarzana. W wielu z nich, jak np. Festiwal Nauki i Sztuki, Małopolska Noc Naukowców czy Promocja Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej, wielokrotnie podejmowała rolę koordynatora z ramienia Wydziału Mechanicznego, bądź organizatora/współorganizatora.

Docenić należy jej członkostwo w organizacjach i towarzystwach naukowych, a szczególnie jako Ekspert międzynarodowej grupy organu roboczego CEN/CENELEC, ISO/IEC, grupy WG 10 -Coordinate measuring machines, 12 -Size, 18-Geometrical tolerancing oraz jako reprezentantka Politechniki Krakowskiej w Komitecie Technicznym Polskiego Komitetu Normalizacyjnego nr 48 ds. Podstaw Budowy Maszyn. Ponadto uczestniczyła również w naukowych konsorcjach międzynarodowych np.: 3DCentral - Catalyzing Smart Engineering and Rapid Prototyping lub konsorcjum projektu Cyclobot (zaprojektowanie i wykonanie robota medycznego).

Należy zauważyć, że dr inż. Ksenia Ostrowska sukcesywnie podnosi własne kwalifikacje zawodowych poprzez uczestnictwo w szkoleniach oraz stażach, co zostało udokumentowane 15-toma zdarzeniami (kursach/szkoleniach).

Powyższy przegląd aktywności organizacyjnych dowodzi ogromnego zaangażowania i pracowitości Habilitantki.

5. Wniosek końcowy

Na podstawie przeprowadzonej analizy osiągnięć naukowych, dorobku dydaktycznego i organizacyjnego Pani dr inż. Kseni Ostrowskiej stwierdzam, że:

- Habilitantka rozwija zagadnienia oryginalne, istotne poznawczo i aplikacyjnie, dla rozwoju podstaw budowy i eksploatacji maszyn, a w szczególności metrologii współrzędnościowej
- Jest autorką i współautorką znaczących doniesień publikacyjnych o zasięgu międzynarodowym, których liczbę i znacznie (*impact factor*) zwiększyła znacząco po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych
- Przedstawiła spójny cykl publikacyjny wraz z jednoautorską monografią, która rozwija wiedzę z zakresu projektowania i eksploatacji metod i urządzeń do pomiarów współrzędnościowych.
- Wykazała się umiejętnością pracy w wielu zespołach badawczych projektów krajowych i międzynarodowych a nawet kierowała takimi zespołami
- Zdobyła doświadczenie i dorobek w zakresie współpracy z przemysłem
- Prowadzi wykłady, również zagraniczne, promuje prace dyplomowe inżynierskie i magisterskie, pełniła funkcję promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim
- Uczestniczy w grupach eksperckich krajowych i międzynarodowych, wymianie osiągnięć badawczych podczas konferencji, aktywnie promuje naukę w kołach naukowych i innych aktywnościach

Powyższa analiza pozwala mi stwierdzić, że dorobek naukowy oraz pozostałe osiągnięcia Habilitantki, wypełniają wymagania stawiane w przewodach habilitacyjnych, tak więc pozytywnie opiniuję wniosek do Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego Pani dr inż. Kseni Ostrowskiej w dyscyplinie budowa i eksploatacja.



Jacek Reiner