

Warszawa, dn. 13.02.2019 r.

prof. dr hab. inż. Adam Woźniak  
Instytut Metrologii i Inżynierii Biomedycznej  
Wydział Mechatroniki  
Politechnika Warszawska  
ul. Św. A. Boboli 8, 02-525 Warszawa  
tel: 22 234 8281, fax: 22 849 0395  
e-mail: [wozniaka@mchtr.pw.edu.pl](mailto:wozniaka@mchtr.pw.edu.pl)

**Recenzja osiągnięć dr inż. Kseni Ostrowskiej  
w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych  
w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn**

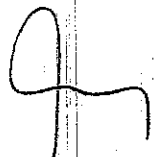
Podstawa opracowania recenzji:

Decyzja Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów  
(pismo nr BCK-VI-L-9134/18 z dnia 11.01.2019)  
oraz zlecenie Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki  
Krakowskiej (pismo M.00.520.20/2019 z dnia 23.01.2019 r.)

**1. Informacje podstawowe**

Dr inż. Ksenia Ostrowska uzyskała w roku 2004 dyplom magistra inżyniera na *Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej*, na kierunku *automatyka i robotyka* oraz *specjalności automatyzacja procesów wytwarzania*. W roku 2009 ten sam wydział *Politechniki Krakowskiej* nadał dr inż. Kseni Ostrowskiej stopień doktora nauk technicznych w *dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn*. Podstawą nadania była pozytywna obrona rozprawy doktorskiej zatytułowanej "*Metoda oceny dokładności pomiarów realizowanych przy zastosowaniu Współrzędnościowych Ramion Pomiarowych*", której promotorem jest prof. dr hab. inż. Jerzy A. Sładek.

Dr inż. Ksenia Ostrowska rozpoczęła akademicką pracę zawodową w roku 2009 na stanowisku asystenta naukowo-dydaktycznego. Jednocześnie w roku 2010 dołączyła do zespołu akredytowanego personelu technicznego *Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej na Politechnice Krakowskiej*, awansując w roku 2011 na stanowisko zastępcy kierownika do spraw jakości. W roku 2013 Pani dr inż. Ksenia Ostrowska zmieniła stanowisko na adiunkta naukowo-dydaktycznego.



## 2. Ocena osiągnięć naukowych

Osiągnięcia naukowo-badawcze dr inż. Kseni Ostrowskiej będące podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych przedstawione zostały w postaci spójnego tematycznie cyklu publikacji pod wspólnym tytułem „Ocena i korekcja dokładności Redundantnych Współrzędnościowych Systemów Pomiarowych”. Pierwszym i najważniejszym elementem tego cyklu jest monografia pt. „Redundantne współrzędnościowe systemy pomiarowe - modelowanie matematyczne i funkcjonalne” wydana przez Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej (ISBN 978-83-7242-863-9). Monografia ujęta jest w jedenastu rozdziałach o objętości wynoszącej (wraz z wykazem oznaczeń oraz wykazem literatury i załącznikami) łącznie 188 stron. Pozostałe osiągnięcia dr inż. Kseni Ostrowskiej stanowią trzy współautorskie artykuły naukowe opublikowanych w czasopismach indeksowanych w bazach naukowych *Web of Science* i *Scopus*, tj. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Measurement* oraz *MAPAN: Journal of Metrology Society of India*. Dwa pierwsze to uznane w środowisku naukowym czasopisma, których indywidualny pięcioletni współczynnik IF przekracza wartość 2.30, co lokuje je wśród wyżej indeksowanych czasopism publikujących artykuły o tematyce badań naukowych prowadzonych przez Habilitantkę. Uzupełnieniem cyklu publikacji są trzy, również współautorskie publikacje, w tym jedna konferencyjna na ważnym w środowisku metrologicznym światowym kongresie metrologicznym, tj.: *International Conference on Laser Metrology and Machine Performance (LAMDAMAP)* oraz *IMEKO World Congress on Measurement in Research and Industry*. W 4 z 6 wymienionych artykułów Habilitantka jest pierwszym autorem. Wszystkie wymienione artykuły należy zaliczyć do typu *full length paper*, co oznacza pełne teoretyczno-doświadczalne podejście do analizowanych zagadnień.

Dorobek naukowy dr inż. Kseni Ostrowskiej został opisany w polskojęzycznym i anglojęzycznym autoreferacie o objętości 35 stron każdy. Przedstawiony do recenzji autoreferat zawiera zarówno dane bibliometryczne, jak również syntetyczne merytoryczne ujęcie najważniejszych osiągnięć w zakresie modelowania i badań niepewności pomiaru przy użyciu redundantnych współrzędnościowych urządzeń pomiarowych.

Badania te wpisują się w rozwój współrzędnościowych systemów pomiarowych, które w nowoczesnej gospodarce zastępują jednozadaniowe przyrządy do pomiarów geometrycznych. Ze względu na uniwersalność i pełną integrację z systemami CAD/CAM współrzędnościowe urządzenia pomiarowe należą obecnie do najbardziej uniwersalnych i są podstawowym wyposażeniem podczas kontroli wymiarowej części maszyn i urządzeń produkowanych w

przemysle motoryzacyjnym, lotniczym, AGD i w wielu innych. Obecnie, obok klasycznych współrzędnościowych maszyn pomiarowych, silnie rozwijają się ich odmiany w postaci redundantnych systemów pomiarowych, takich jak: współrzędnościowe ramiona pomiarowe, urządzenia działające na zasadzie fotogrametrii bliskiego zasięgu oraz laserowe systemy nadażne. Wszystkie te urządzenia znajdują zastosowanie zarówno w laboratoriach, jak również w halach produkcyjnych. Dla wszystkich tych urządzeń podstawowym zagadnieniem jest obecnie problem oceny niepewności pomiarów.

Niepewność pomiarów, również w odniesieniu do redundantnych współrzędnościowych urządzeń pomiarowych, związana jest błędami pomiaru, na które wpływ ma szereg czynników. W ogólnym ujęciu są to niedoskonałości geometrii elementów składowych urządzenia, błędy wskazania przetworników pomiarowych, błędy głowicy pomiarowej, błędy związane z wpływem warunków zewnętrznych (z których dominujące są temperatura oraz drgania), błędy strategii pomiarowej oraz algorytmów obliczeniowych. Ze względu na przenikanie się poszczególnych źródeł błędów i wzajemne ich powiązania pełne odseparowanie ich jest utrudnione i nie zawsze jednoznaczne. Jest to szczególnie kłopotliwe w przypadku redundantnych współrzędnościowych urządzeń pomiarowych dla których te same wskazania pomiarowe można uzyskać dla nieskończonej liczby wzajemnych położeń członów pomiarowych urządzenia.

W tym świetle należy stwierdzić, że podjęte przez dr inż. Ksenię Ostrowską badania dotyczące całościowej oceny niepewności pomiarów wykonywanych przy użyciu redundantnych współrzędnościowych urządzeń pomiarowych są bardzo ważne zarówno z naukowego, jak również użytkowego punktu widzenia. Pozwalają bowiem na wykrycie źródeł błędów w celu ich korekcji lub kompensacji oraz umożliwiają poznanie dokładności całego systemu pomiarowego w celu ustalenia właściwej strategii pomiarowej i możliwości oszacowania niepewności pomiaru.

Obecnie uważa się, że niepewność pomiaru może być wyznaczana jedną z trzech metod: typu A - czyli eksperymentalnie, typu B - czyli na podstawie analizy informacji innej niż statystyczna oraz metodą symulacyjną. Możliwe jest również wyznaczanie kilku składników niepewności różnymi metodami i wyznaczanie niepewności złożonej za pomocą tzw. budżetu niepewności. Wszystkie te metody są niemal równolegle rozwijane w różnych ośrodkach naukowych na świecie, np. w *University of North Carolina at Charlotte* (USA), *Physikalisch-Technische Bundesanstalt* (Niemcy), *National Physical Laboratory* (Wielka Brytania), *National Institute of Standards and Technology* (USA). Wiele z ustaleń naukowych znalazło odzwierciedlenie w uformowanych normach, np. ISO 15530-3:2011 lub ISO/TS 15530-4:2008.

Metoda eksperymentalna wyznaczania niepewności pomiarów polega porównawczym pomiarze elementu pomiarowego i przedmiotu wzorcowego. Ale takie porównanie może odbywać się tylko wtedy, gdy są zachowane warunki podobieństwa w zakresie mierzonego wymiaru, materiału mierzonego przedmiotu, strategii pomiaru oraz konfiguracji głowicy pomiarowej. Metoda analityczna umożliwia szacowanie niepewności pomiarów na podstawie równania pomiaru. Metoda symulacyjna realizowana jest poprzez implementację tzw. wirtualnej współrzędnościowej maszyny lub innych wirtualnych systemów pomiarowych, do których również należy zaliczyć redundantne współrzędnościowe urządzenia pomiarowe, będące w obszarze zainteresowań naukowych dr inż. Kseni Ostrowskiej.

To właśnie metoda symulacyjna wyznaczenia niepewności pomiarów współrzędnościowych była intensywnie rozwijana przez Habilitantkę, a wyniki pracy naukowej są postawą opiniowanego postępowania habilitacyjnego. W tym obszarze do głównych i oryginalnych osiągnięć dr inż. Kseni Ostrowskiej należy zaliczyć niewątpliwie opracowanie uniwersalnych, użytkowych modeli funkcjonalnych redundantnych współrzędnościowych urządzeń pomiarowych. Modele te stały się podstawowym narzędziem do rozwijania i badania właściwości symulacyjnego systemu oceny niepewności pomiarów współrzędnościowych.

W szczególności za najważniejsze wyniki badań dr inż. Kseni Ostrowskiej związanych z symulacyjnymi metodami szacowania niepewności pomiarów współrzędnościowych należy uznać:

- a) opracowanie dwóch modeli współrzędnościowych ramion pomiarowych oraz robota pomiarowego, jako struktury kinematycznej szeregowej, z zastosowaniem notacji Denavita-Hartenberga,
- b) badanie błędów pomiaru redundantnych współrzędnościowych urządzeń pomiarowych, w tym błędów układów pomiarowych, błędów termicznych oraz błędów pochodzących od operatora,
- c) opracowanie wirtualnych systemów pomiarowych (współrzędnościowego ramienia oraz robota pomiarowego) pozwalających na symulacyjne oszacowanie niepewności pomiaru w czasie „prawie rzeczywistym”,
- d) opracowanie oryginalnego oprogramowania symulacyjnego, które może być wdrożone w warunkach przemysłowych,
- e) analiza dokładności wyników pomiarów wykonanych metodą symulacyjną.

Dodatkowo, aby możliwe były badania dotyczące robota pomiarowego, jako kolejnego po ramieniu współrzędnościowym redundantnego urządzenia pomiarowego, należało dokonać

adaptacji robota przemysłowego przez doposażenie w głowicę pomiarową i odpowiednie oprogramowanie, co Habilitantka zrobiła z powodzeniem.

Wszystkie te wymienione osiągnięcia zostały opisane przez dr inż. Ksenię Ostrowską w monografii i stanowią jej najważniejsze części. Na tej podstawie należy stwierdzić, że Habilitantka z pewnością przyczyniła się do rozwoju symulacyjnych metod oceny niepewności pomiarów współrzędnościowych. Czytając z zainteresowaniem monografię dr inż. Kseni Ostrowskiej należy również zauważyć, że nie ustrzegła się również pewnych niedociągnięć, które należy poddać pod dyskusję polemiczną. Na przykład w odniesieniu do badania błędów termicznych zupełnie niezrozumiałe jest zastosowanie wielomianów trzeciego stopnia do interpolacji wyników badania rozszerzalności cieplnej elementów konstrukcyjnych współrzędnościowego ramienia pomiarowego. W wyniku takiej interpolacji otrzymujemy informację, że mamy do czynienia w unikatowym materiałem, który charakteryzuje się tym, że w zależności od temperatury ma ujemny lub dodatni współczynnik rozszerzalności cieplnej, co pokazuje rys. 6.14, na stronie 77 monografii.

W rozdziale 7.4 monografii przedstawiono model impulsowej głowicy pomiarowej z zastosowaniem sieci neuronowej. Jako zbiór uczący zastosowano wyniki badania głowicy uzyskane metodą pośrednią przez pomiar kuli wzorcowej robotem pomiarowym wyposażonym w badaną głowicę. Wyniki tego typu badania nie mogą być wiarygodne jeżeli zastosowany robot pomiarowy, zgodnie danymi przedstawionymi na rys. 7.11, ma błędy rzędu kilkuset mikrometrów. W stosunku do każdej głowicy pomiarowej impulsowej można spodziewać się błędów co najwyżej kilkudziesięciu mikrometrów, zatem o rząd wielkości mniejszych. Badanie błędów dokładniejszego urządzenia mniej dokładnym jest metodologicznie nieprawidłowe, chyba, że zastosujemy metody numerycznej separacji tych błędów. Prace na ten temat były już publikowane. Innym wyjściem umożliwiającym uzyskanie wiarygodnej charakterystyki błędów głowic impulsowych jest zastosowanie do ich badania wzorcowego stanowiska, którym dysponuje *Politechnika Warszawska*.

Rozdział 8 monografii dotyczy analizy dokładności wyników pomiarów wykonanych metodą symulacyjną z zastosowaniem opracowanych modeli redundantnych współrzędnościowych urządzeń pomiarowych. Szkoda, że jest to rozdział bardzo krótki, który liczy zaledwie 3 strony. Przedstawiono tylko przykładowe wyniki badań porównawczych, nie uwzględniając szeregu czynników np. wpływu temperatury. Nie ma również porównania z innymi metodami szacowania niepewności np. metodą analityczną. Metoda ta rozwijana z powodzeniem w *Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej* nie znalazła się również w opisie stanu wiedzy w części przeglądowej monografii.

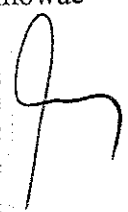
W ujęciu bibliometrycznym całościowy dorobek naukowy dr inż. Kseni Ostrowskiej, po uzyskaniu tytułu doktora nauk technicznych, oprócz monografii, obejmuje 52 publikacje naukowe w czasopiśmie i materiałach konferencyjnych i pracach zbiorowych. W dniu sporządzania recenzji, w bazie publikacji naukowych *Web of Science Core Collection* można obecnie znaleźć 17 publikacji Habilitantki. Wszystkie te publikacje są współautorskie, co świadczy o zespołowym charakterze prowadzenia badań naukowych przez dr inż. Ksenię Ostrowską. W tym świetle, aby przedstawiony dorobek naukowy Habilitantki nie budził wątpliwości recenzentów, co udziału merytorycznego, niewątpliwie słusznym było przygotowanie monografii obejmującej tylko te osiągnięcia naukowe, które już bez wątpliwości należy przypisać Habilitantce.

Dorobek naukowy dr inż. Kseni Ostrowskiej jest cytowany. W dniu sporządzania recenzji w bazy *Web of Science Core Collection* można znaleźć informację, że publikacje Habilitantki cytowano już 126 razy (w dniu składania wniosku było ich 121), z czego 113 cytowań pochodzi od innych badaczy. Większość cytowań powstało po doktoracie, w okresie ostatnich 5 lat, co świadczy stale rosnącej pozycji naukowej dr inż. Kseni Ostrowskiej. Tego miernikiem jest również rosnący indeks h (Hirscha), który wg *WoS* obecnie wynosi 7.

Podsumowując działalność naukową dr inż. Kseni Ostrowskiej należy stwierdzić, że znacząco powiększyła swój dorobek po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych, uzyskując oryginalne osiągnięcia w dyscyplinie *budowa i eksploatacja maszyn*. Poziom naukowy Habilitantki został uznany w międzynarodowym środowisku naukowym, czego potwierdzeniem jest 17 publikacji ulokowanych w bazie *Web of Science*. O oryginalności osiągnięć naukowych dr inż. Kseni Ostrowskiej świadczy również ciągle rosnąca liczba cytowań. Opiniowany dorobek naukowy dr inż. Kseni Ostrowskiej może zatem stanowić podstawę ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego.

**2. Ocena pozostałego dorobku, w tym działalności dydaktycznej i popularyzatorskiej oraz współpracy z instytucjami naukowymi, o których mowa w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 r. poz. 261)**

Dorobek dra inż. Kseni Ostrowskiej, szczególnie w zakresie działalności dydaktycznej i popularyzatorskiej oraz współpracy z instytucjami naukowymi, można podsumować w następujący sposób:



- i. Uczestniczyła jako wykonawca w 9 projektach badawczych, w tym w 5 projektach finansowanych ze środków NCBiR. W projekcie *Lider* finansowanym ze środków NCBiR pełniła funkcję kierownika.
- ii. Wygłosiła 10 referatów na międzynarodowych konferencjach naukowych. Prowadziła również sesję na międzynarodowej konferencji „*XIII International Scientific Conference Coordinate Measuring Technique*” w 2016 roku.
- iii. Od lutego 2010 jest członkiem personelu akredytowanego laboratorium wzorcującego LMW. W latach 2011-2015 była zastępcą kierownika do spraw jakości.
- iv. Prowadziła współpracę z wieloma firmami, szczególnie w zakresie wspólnych projektów, zleceń badawczych oraz wzorcowań.
- v. Organizowała wspólną konferencję *Politechniki Krakowskiej i Głównego Urzędu Miar GUM* pt. „Europejskie programy metrologiczne: EMRP i EMPIR – szanse dla polskiej metrologii” oraz współorganizowała międzynarodową konferencję naukową – *11th International Symposium on Measurement and Quality Control* w 2013 r. w Krakowie i Kielcach.
- vi. Jest recenzentem artykułów naukowych w 5 czasopismach, tj. *Sensors, Measurement Science and Technology, Measurement, MDPI Machines, Opto-Electronics*. Opracowała w sumie 15 recenzji.
- vii. Uzyskała 3 nagrody zespołowe I stopnia Rektora *Politechniki Krakowskiej* za osiągnięcia naukowe, stypendium w ramach „*Małopolskie stypendium Doktoranckie*” ZPORR oraz nagrodę Dziekana *Wydziału Mechanicznego*.
- viii. Jest współautorem 2 wynalazków zgłoszonych w *Urzędzie Patentowym RP*.
- ix. Jest promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim dr inż. Danuty Owczarek „*Modelowanie niepewności we współrzędnościowych pomiarach optycznych*”. Praca została obroniona w październiku 2017 roku na *Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej*.
- x. Jest współzałożycielem i opiekunem *Koła Naukowego Metrologii Współrzędnościowej* oraz członkiem założycielem *Towarzystwa Naukowego Metrologii Współrzędnościowej*.
- xi. Jest promotorem blisko 70 prac dyplomowych.
- xii. Jest opiekunem zespołów biorących udział w konkursie *Hackathonie Technologii Kosmicznych "ActInSpaca"* dla *Mechanicznej Agencji Kosmicznej* (Francja, Belgia, Holandia). Jeden z zespołów zajął II miejsce w Polsce.

- xiii. Prowadzi zajęcia dydaktyczne dla studentów z Francji w ramach umowy z *Institut de Formation Alterneepour l'Industrie de Transfotmation de Rhone-Alpes*, wykłady dla *Faculty of Mechanical Engineeing Department of Production Engineering, Department of Computer Support of Teechnology*, Słowacja, oraz *Faculty of Mechanical Engineeringand Informatiics Department of Manufacturing Science*, Węgry.
- xiv. Opracowała wiele programów przedmiotów oraz stanowisk dydaktycznych. Prowadzi szereg różnego rodzaju zajęć dydaktycznych.
- xv. Jest członkiem komisji do spraw promocji oraz komisji rekrutacyjnej *Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej*.
- xvi. Jest popularyzatorem nauki w ramach: *Małopolskiej Nocy Naukowców, Festiwal Nauki i Sztuki* oraz poprzez organizację wizyt studyjnych do *Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej*.
- xvii. Jest członkiem organizacji i towarzystw naukowych, tj.: międzynarodowej grupy organu roboczego CEN/CENELEC, ISO/IEC, grupy WG 10 - *Coordinate measuring machines, 12 -Size, 18-Geometrical tolerancing*, *Komitetu Technicznego Polskiego Komitetu Normalizacyjnego nr 48 ds. Podstaw Budowy Maszyn, Towarzystwa Naukowego Metrologii Współrzędnościowej* oraz *Polskiego Stowarzyszenia Upowszechniania Komputerowych Systemów Inżynierskich*.
- xviii. Współpracuje z 11 partnerami reprezentującymi 10 regionów Europy Środkowej w ramach projektu pt. *3DCentral - Catalyzing Smart Engineering and Rapid Prototyping*, CE634 realizowany w ramach programu *INTERREG CENTRAL EUROPE*.
- xix. Podjęła współpracę w ramach projektu *Cyclobot* z *Uniwersytetem w Heidelbergu (Automation Laboratory, Institute of Computer Engineering, University of Heidelberg* oraz *Laboratory for Biomechanics and Experimental Orthopaedics, Orthopaedic Surgery and Trauma Centre (OUZ), University Medical Centre Mannheim)* oraz *Uniwersytetem Mannheim (Institute for CAE Applications, Department of Mechanical Engineering)*.

Przedłożony do oceny dorobek dr inż. Kseni Ostrowskiej nie zawiera informacji o odbytych stażach w krajowych lub zagranicznych ośrodkach naukowych lub akademickich, określonych w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 r. poz. 261). Brak szerszej aktywności dr inż. Kseni Ostrowskiej w tym zakresie



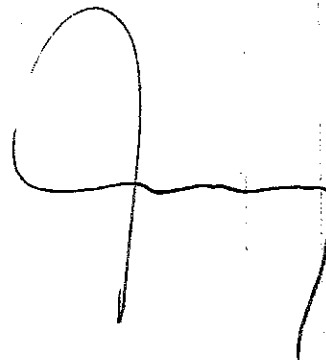
może być rekompensowany przedstawionym dorobkiem w pozostałych wymienionych obszarach działalności naukowej, dydaktycznej i popularyzatorskiej.

### 3. Wniosek końcowy

Na podstawie przedstawionych i omówionych osiągnięć naukowo-badawczych oraz innych osiągnięć, w tym w zakresie działalności dydaktycznej i popularyzatorskiej oraz współpracy z instytucjami naukowymi, stwierdzam, że dr inż. Ksenia Ostrowska spełnia wymagania określone w *art. 16 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki*.

Oceny osiągnięć naukowo-badawczych dr inż. Kseni Ostrowskiej dokonałem, stosując kryteria oceny, o których mowa w *Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 r. poz. 261)*.

Tym samym popieram wniosek dr inż. Kseni Ostrowskiej o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie *budowa i eksploatacja maszyn*.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'K' followed by a horizontal line and a vertical line extending downwards.