

Recenzja osiągnięć dra inż. Adama Gąski w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn

1. Podstawa opracowania recenzji

Pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej prof. dr hab. inż. Jerzego Śładka, z dnia 4 października 2018 roku, nr M.00.520.194/2018, w imieniu Centralnej Komisji ds. Stopni i Tytułów.

2. Ocena osiągnięć naukowo-badawczych

Przedłożone do recenzji osiągnięcia naukowo-badawcze dra inż. Adama Gąski zostały przedstawione w postaci:
monografii:

- Adam Gąska, 2017, *Symulacyjny system oceny niepewności pomiarów współrzędnościowych realizowanych w warunkach przemysłowych*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 163 strony

oraz 5 publikacji wieloautorskich (3 w czasopiśmie ujętych w bazie JCR i 2 publikacje konferencyjne indeksowane w bazie Scopus):

- Adam Gąska, Wiktor Harmatys, Piotr Gąska, Maciej Gruza, Kamila Gromczak, Ksenia Ostrowska, 2017, *Virtual CMM-based model for uncertainty estimation of coordinate measurements performed in industrial conditions*, Measurement, 98, 361-371 (6 autorów, udział Habilitanta 60%),
- Adam Gąska, Jerzy Śladek, Ksenia Ostrowska, Robert Kupiec, Marcin Krawczyk, Wiktor Harmatys, Piotr Gąska, Maciej Gruza, Danuta Owczarek, Renata Knapik, Artur Kmita, 2015, *Analysis of changes in coordinate measuring machines accuracy made by different nodes density in geometrical errors correction matrix*, Measurement, 68, 155-163 (11 autorów, udział Habilitanta 35%),
- Kamila Gromczak, Adam Gąska, Ksenia Ostrowska, Jerzy Śladek, Wiktor Harmatys, Piotr Gąska, Maciej Gruza, Marek Kowalski, 2016, *Validation model for coordinate measuring methods based on the concept of statistical consistency control*, Precision Engineering, 45, 414-422 (8 autorów, udział Habilitanta 60%),
- Adam Gąska, Wiktor Harmatys, Piotr Gąska, Maciej Gruza, Thomas Mathia, Jerzy Śladek, *Optimization of probe head errors model used in Virtual CMM systems*, 2015, The 11th International Conference on Laser Metrology and Machine Performance (LAMDAMAP), 181-190, 17-18 March 2015, Huddersfield, UK (6 autorów, udział Habilitanta 60%),
- Adam Gąska, Wiktor Harmatys, Piotr Gąska, Ksenia Ostrowska, Maciej Gruza, Danuta Owczarek, Jerzy Śladek, 2015, *Modeling of the thermal influences on the CMM kinematic system*, 21st IMEKO World Congress on Measurement in Research and Industry, 1365-1368, 30.08-04.09.2015, Prague, Czech Republic (7 autorów, udział Habilitanta 55%).

Osiągnięcia te zostały ponadto omówione przez Habilitanta w autoreferacie liczącym 19 stron formatu A4.

Prace Habilitanta dotyczą opracowania metodyki oceny niepewności pomiarów współrzędnościowych realizowanych w warunkach przemysłowych opartej na symulacji Monte Carlo. W przedstawionych publikacjach Habilitant kontynuuje rozwijanie koncepcji "wirtualnej maszyny pomiarowej", która powstała w PTB i była rozwijana również na Politechnice pod kierunkiem profesora Jerzego Śładka. Zwraca uwagę, że opracowana w PTB metodyka i oprogramowanie zostały dotychczas wdrożone jedynie w warunkach laboratoryjnych i tylko w kilku ośrodkach zajmujących się dokładnymi pomiarami współrzędnościowymi w Niemczech, USA i Wielkiej Brytanii. Jako podstawowy powód istniejącej sytuacji wskazuje czasochłonną procedurę identyfikacji (zarówno systematycznych, jak i przypadkowych) resztowych błędów geometrycznych maszyny oraz błędów głowicy, która musi być wykonana po raz pierwszy na etapie wdrażania, a następnie okresowo powtarzana w celu uaktualnienia danych wejściowych do oprogramowania symulacyjnego. Zwraca też uwagę na fakt, że instalacja oprogramowania PTB ma sens jedynie dla CMM pracujących w bardzo stabilnych warunkach temperaturowych.

Habilitant przyjmuje, że informację wejściową dla opracowywanego systemu będzie stanowić informacja o błędach geometrycznych maszyny w tzw. punktach referencyjnych obejmujących jej przestrzeń pomiarową i informacja o błędach głowicy. W obu przypadkach informacja ta ma postać wektorów błędów dla wybranych kierunków w przestrzeni. Problem losowości jest uwzględniony w postaci rozkładów prawdopodobieństwa wartości poszczególnych błędów. Dla każdej z trzech składowych błędów maszyny w punkcie referencyjnym przyjęto (bez uzasadnienia), że odpowiednim rozkładem będzie rozkład t o zadanej (wynikającej z liczby pomiarów w punkcie referencyjnym) liczbie stopni swobody. Pozostałe dwa parametry rozkładu są estymowane na podstawie wyników eksperymentu polegającego na wielokrotnym pomiarze błędu pozycjonowania wykonywanym za pomocą laser-tracera. Rozkłady prawdopodobieństwa dla błędów głowicy są identyfikowane na podstawie wyników eksperymentu polegającego na wielokrotnym pomiarze kuli wzorcowej w równomiernie (w układzie sferycznym) rozmieszczonych punktach. Błędy w poszczególnych punktach próbkowania są w procesie symulacji obliczane przez interpolację błędów wygenerowanych dla najbliższych „sąsiadów”. Poprawność pracy opracowanego systemu ma być każdorazowo walidowana.

Należy zauważyć, że Habilitant wykonał wiele czasochłonnych badań związanych z samym tematem, jak i jego otoczeniem. W szczególności zostały wykonane następujące prace:

- projekt i budowa stanowiska do badań dokładności CMM w różnych warunkach temperaturowych,
- badania dokładności CMM z użyciem laser-tracera i zastosowaniem multilateracji, a także przy zastosowaniu metod klasycznych,
- badania dotyczące szacowania niepewności pomiaru metodą z użyciem przedmiotu wzorcowego (według ISO 15530-3) oraz metodą wielopozycyjną,
- badania nad możliwością wykorzystania „Multi-Feature-Check”,
- badania możliwości ograniczenia liczby punktów referencyjnych pod kątem zmniejszania czasu potrzebnego na prace wdrożeniowe,
- opracowanie oprogramowania symulacyjnego oraz interfejsów umożliwiających jego współpracę z oprogramowaniem CMM (Modus i Quindos),
- walidacja metody na trzech maszynach pomiarowych,

Warto również zauważyć, że badania zostały wykonane z użyciem nowoczesnego i bardzo dokładnego wyposażenia pomiarowego.

W dalszych pracach oraz publikacjach sugeruję Habilitantowi wzięcie pod uwagę następujących uwag:

- Przedstawiono propozycję połączenia (w celu zaoszczędzenia czasu) procedury identyfikacji błędów resztowych maszyny z procedurą wyznaczenia macierzy

korekcji. Dzięki temu możliwe jest przyjęcie, że błędy resztowe mają charakter wyłącznie przypadkowy, bowiem wcześniej zmieniana jest mapa błędów. Pozostaje jednak nierozwiązany inny problem: zmiany mapy błędów CMM wykonuje się rzadko, natomiast aktualizacja danych do szacowania niepewności pomiaru powinna być wykonywana co najmniej tak często jak wzorcowanie.

- Brakuje mi w pracy wzorów i bardziej szczegółowych algorytmów. Dotyczy to w szczególności opracowania wyników pomiarów wykonanych laser-tracerem.
- Nie znalazłem uzasadnienia dla stosowania rozkładu t jako modelu błędów. Jeśli nie ma istotnego powodu, to sugeruję używanie rozkładu normalnego – wyniki będą zbliżone.
- Mam wątpliwości, czy pomiary weryfikacyjne wykonane z użyciem Multi-Feature-Check i opisane w rozdziale 8 dotyczyły rzeczywiście metody porównawczej (substitution). W moim przekonaniu pomiary były wykonywane metodą bezpośrednią (non-substitution). Nie należy mylić/utożsamiać metody wykonywania pomiarów (bezpośrednia lub porównawcza) z metodą szacowania niepewności pomiaru (metoda z użyciem przedmiotu wzorcowego). Pomiary metodą porównawczą w przemyśle nie występują. W tym samym rozdziale podano, że jako przedmiot wzorcowy do procedury szacowania niepewności pomiarów charakterystyk obudowy pompy związanych z płaszczyznami została użyta płytką wzorcowa. Co prawda w obu przedmiotach występują płaszczyzny, ale różniące się zbyt mocno rozmiarami, żeby można je uznać za spełniające wymagania podobieństwa w rozumieniu ISO 15530-3.
- W pracach znajduję określenia nieprecyzyjne. Stosowanie terminu „optymalizacja” wymaga doprecyzowania zmiennych decyzyjnych, funkcji celu i warunków ograniczających. Wielokrotnie używany jest termin „identyfikacja”, podczas gdy w większości przypadków jest mowa jedynie o estymacji parametrów rozkładu o założonej postaci czy nawet tylko o obliczaniu średniej i odchylenia standardowego. Nie należy używać takich terminów jak „pole zmienności błędów” – nie wiadomo czy chodzi o skalar czy o wektor, ani czy dotyczy modelu deterministycznego czy probabilistycznego.
- Zalecam Habilitantowi unikanie określeń o charakterze marketingowym typu „pierwsze w skali światowej”.

W wyniku analizy przedłożonych publikacji można stwierdzić, że obszarem zainteresowań naukowych Habilitanta jest modelowanie współrzędnościowych systemów pomiarowych, w szczególności współrzędnościowych maszyn. Habilitant rozwija opracowaną w Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej (LMW) metodę macierzową opisującą błędy geometryczne współrzędnościowych maszyn pomiarowych w tzw. punktach węzłowych, za pomocą trójwymiarowej macierzy wektorów błędów. Do określenia wektora błędów w konkretnym punkcie przestrzeni pomiarowej używa interpolacji metodą najbliższego sąsiada i/lub metodą dwuwymiarowej interpolacji liniowej. Celem modelowania jest identyfikacja błędów systemu pomiarowego i szacowanie niepewności pomiarów współrzędnościowych.

W badaniach skutecznie wykorzystuje unikalne wyposażenie Laboratorium. Mam tu na myśli przede wszystkim jedną z najdokładniejszych w kraju i pracującą w bardzo dobrych warunkach temperaturowych współrzędnościową maszynę pomiarową PMM 12106 firmy Leitz z oprogramowaniem Quindos, jak i laser-tracer firmy ETALON. Laser-tracer, wraz z oprogramowaną metodą multilateracji, jest wykorzystywany m.in. do identyfikacji błędów geometrycznych maszyn pomiarowych we wspomnianych wyżej punktach węzłowych przestrzeni pomiarowej. Dobre wykorzystanie posiadanego, unikalnego wyposażenia uważam z duży atut.

W pracach Habilitanta widoczne jest wykorzystanie doświadczenia wynikającego ze współpracy LMW z Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) w Braunschweig oraz

Wb

kontynuacja prac rozpoczętych przez prof. Jerzego Śladka, a w szczególności prac dotyczących modelowania błędów głowic maszyn pomiarowych i tzw. metody macierzowej, co również oceniam bardzo pozytywnie.

Habilitant dużo uwagi poświęca metodzie Monte Carlo, która do modelowania współrzędnościowych maszyn pomiarowych została zastosowana po raz pierwszy w Europie przez zespół PTB (E. Trapet, H. Schwenke i in.). Metoda ta jest znana w literaturze pod nazwą wirtualnej maszyny pomiarowej (Virtual CMM). Metoda Monte Carlo w zastosowaniu do współrzędnościowych maszyn pomiarowych jest rozwijana przez Habilitanta pod kątem wykorzystania opracowanych w LMW modeli błędów. Metoda Monte Carlo obecnie zdobywa coraz więcej zwolenników, do czego przyczynia się również m.in. dokument JCGM 101:2008 „Evaluation of measurement data. Supplement 1 to the Guide to the expression of uncertainty in measurement. Propagation of distributions using a Monte Carlo method” wydany jako uzupełnienie do dokumentu JCGM 100:2008 „(GUM 1995 with minor corrections) Evaluation of measurement data. Guide to the expression of uncertainty in measurement” znany w kraju pod nazwą „przewodnik GUM” i stosowanie tej techniki uważam za właściwe.

Modelowanie złożonych problemów metrologicznych należy do zadań wymagających dużego zespołu i dobrego zarządzania tym zespołem. Budowa i rozwijanie modelu symulacyjnego obiektu składającego się z takich elementów jak struktura mechaniczna maszyny, głowica pomiarowa czy uwzględnienie wpływów temperaturowych nie należy do zadań łatwych. Wystarczy zauważyć, że oprogramowanie symulacyjne VCMM w PTB powstawało w ramach dużego projektu badawczego.

Na pozytywną uwagę zasługują również prace związane z wykorzystaniem względnie nowego narzędzia, jakim jest interfejs I++ (Hexagon). Twórcze wykorzystywanie tego narzędzia świadczy o dobrej, praktycznej znajomości techniki współrzędnościowej, a w szczególności oprogramowania Quindos należącego do grupy najnowocześniejszych systemów obsługujących maszyny pomiarowe.

W podsumowaniu uważam, że temat jest ważny i aktualny. Habilitant poświęcił wiele czasu, wykonał interesujące badania i uzyskał bardzo ciekawe wyniki. Wykazał się dobrą znajomością literatury przedmiotu i umiejętnością prowadzenia badań oraz kierowania zespołem. Przedstawione wyniki mają wartość zarówno naukową jak i praktyczną.

3. Ocena aktywności naukowej

W ujęciu bibliometrycznym dorobek naukowy dra inż. Adama Gąski, po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych, obejmuje 57 publikacji naukowych (w tym 17 występuje w bazie JCR i 14 na liście B), wszystkie (z wyjątkiem monografii) wieloautorskie, z przeważającym albo istotnym udziałem Habilitanta. Przedłożony do recenzji jednotematyczny cykl składa się z 6 publikacji (w tym 5 anglojęzycznych), z których dwie zostały opublikowane w Measurement, jedna w Precision Engineering i dwie wygłoszone na konferencjach międzynarodowych.

Publikacje dra inż. Adama Gąski cytowano 125 razy (według Web of Science, bez autocytowań). Indeks h (Hirscha) wynosi 7. Sumaryczny impact factor 21,9. Świadczy to o zauważalności Habilitanta w świecie nauki, szczególnie jeśli wziąć pod uwagę fakt, że w rozumieniu naukowym współrzędnościową techniką pomiarową zajmuje się ograniczona liczba ośrodków.

Habilitant uczestniczy w wielu projektach badawczych. W szczególności kierował/kieruje dwoma projektami:

- W latach 2013-2015 - *Metoda oceny dokładności pomiarów współrzędnościowych realizowanych w warunkach przemysłowych wykonywana w trybie on-line (LIDER/06/117/L-3/11/NCBR/2012)* – projekt finansowany przez NCBiR.

Wb

- W latach 2016-2019 - *Modelowanie dokładności 5-cio osiowych struktur kinematycznych o zdolności wzajemnej orientacji, wykorzystujących w łańcuchu kinematycznym zarówno pary przesuwnie jak i obrotowe* (SONATA 2015/17/D/ST8/01280) – projekt finansowany przez NCN,

a ponadto uczestniczy jako wykonawca w pięciu innych projektach:

- 2006-2009 *System metrologicznego nadzoru nad dokładnością maszyn pomiarowych robotów i obrabiarek z wykorzystaniem wzorców i interferometrycznych laserowych systemów śledzących jako podstawa wzrostu jakości produkcji przemysłu maszynowego* (R03 029 01),
- 2008-2010 *Metoda oceny dokładności pomiarów realizowanych redundantnymi systemami współrzędnościowymi (RSW)* (N505 255935),
- 2010-2013 *Badania rozwojowe nad wzorcowaniem (z wykorzystaniem Laser Tracera) i wyznaczaniem niepewności pomiarów dla systemów współrzędnościowych* (N R01 0048 10)
- 2014-2016 *System oceny dokładności pomiarów współrzędnościowych on-line realizowanych urządzeniami redundantnymi* (LIDER/024/559/L-4/12/NCBR/2013)
- 2017-2020 *Fantom do testów eksploatacyjnych urządzeń radioterapeutycznych w teleradioterapii* (POIR.04.01.04-00-0014/16).

Od lutego 2011 Habilitant uczestniczy w pracach akredytowanego laboratorium wzorcującego, gdzie ostatnio pełni funkcję zastępcy kierownika technicznego laboratorium. Do jego obowiązków należy tutaj również wzorcowanie wzorców materialnych z zastosowaniem maszyny PMM 12106 oraz systemu laser tracker Leica LTD 840. Współpracuje również z wieloma przedsiębiorstwami przemysłowymi (m.in. Volkswagen, Fiat Auto Poland, Delphi Poland). Był członkiem komitetu organizacyjnego dwóch konferencji (11th International Symposium on Measurement and Quality Control w 2013 r. i Ogólnopolskiej Konferencji Tribologicznej XXXVI Jesienna Szkoła Tribologiczna, w 2017 r.). Prowadził sesje na konferencjach międzynarodowych (11th International Symposium on Measurement and Quality Control, Kraków 2013, XII Scientific Conference Coordinate Measuring Technique, Szczyrk 2014). Jest recenzentem w ważnych czasopismach (Sensors, Measurement Science and Technology, Precision Engineering, Measurement, Measurement Science Review, Sustainability, MAPAN, Applied Sciences, Journal of Testing and Evaluation). Jest wielokrotnie nagradzany na swojej uczelni. Jest autorem 3 zgłoszeń patentowych.

3. Ocena dorobku w zakresie działalności dydaktycznej, popularyzatorskiej oraz współpracy międzynarodowej

Habilitant bierze udział w kształceniu kadry naukowej jako promotor pomocniczy w dwóch przewodach doktorskich (mgr inż. Kamila Gromczak, *Model walidacji współrzędnościowych metod pomiarowych* i mgr inż. Wiktor Harmatys, *Modelowanie dokładności optycznych współrzędnościowych maszyn pomiarowych*).

Dotychczasowa działalność dydaktyczna Habilitanta obejmuje promotorstwo 26 prac magisterskich i 46 prac inżynierskich oraz prowadzenie zajęć dydaktycznych (wykładów i ćwiczeń laboratoryjnych) z wielu przedmiotów związanych z metrologią (Wzorcowanie i sprawdzanie narzędzi i systemów pomiarowych, Metrologia techniczna, Metody oceny dokładności i SPC, Modernizacja sterowania maszyn i urządzeń technologicznych, Zaawansowane systemy pomiarów współrzędnościowych, Współrzędnościowa Technika Pomiarowa). Ponadto opracował program i prowadzi zajęcia w języku angielskim z przedmiotu "Metrology" dla kierunku studiów Advanced Computational Mechanics. Prowadzi również zajęcia w języku angielskim dla studentów zagranicznych w ramach programu Erasmus.

Do działalności organizacyjnej i popularyzującej naukę można zaliczyć opiekuństwo Koła Naukowego Metrologii Współrzędnościowej oraz członkostwo i funkcją członka zarządu Towarzystwa Naukowego Metrologii Współrzędnościowej. Ponadto należy odnotować członkostwo w EUSPEN (European Society for Precision Engineering & Nanotechnology) i w stowarzyszeniu ProCAX (Polskie Stowarzyszenie Upowszechniania Komputerowych Systemów Inżynierskich).

W ramach współpracy międzynarodowej należy odnotować współpracę w ramach projektu Cyclobot z Uniwersytetem w Heidelbergu oraz Uniwersytetem w Mannheim, gdzie celem naukowym projektu realizowanym przez stronę polską (LMW) była analiza dokładności funkcjonowania układu kinematycznego robota. Ponadto Habilitant jest konsultantem w Leitz Messtechnik Wetzlar i jednym z inicjatorów współpracy z University of Belgrade, Budapest University of Technology and Economics oraz firmami Kotem, OGP Messtechnik i Parallaxe. Podjął również współpracę z zespołami badawczymi wielu instytucji w zakresie pomiarów elementów asferycznych oraz powierzchni swobodnych, w ramach której został opracowany wniosek projektowy pt. "Traceable Asphere and Freeform Metrology", który został zgłoszony do konkursu w ramach programu EMPIR (The European Metrology Programme for Innovation and Research).

W ramach podnoszenia kwalifikacji zawodowych Habilitant brał udział w jedno- lub kilkudniowych wizytach studyjnych. Do ciekawszych należy zaliczyć tygodniowe pobyty w University of Belgrade, w firmie KOTEM w Budapeszcie, w Hexagon Metrology w Wetzlar, w University of Applied Sciences w Darmstadt, w University of Heidelberg czy w Etalon AG w Braunschweig. Ponadto uczestniczył w dwumiesięcznym kursie projektowania 3D SolidWorks w Politechnice Krakowskiej.

4. Podsumowanie

Przedstawione przez Habilitanta prace mają oryginalny charakter i w mojej opinii wnoszą istotny wkład w rozwój dyscypliny Budowa i Eksploatacja Maszyn. Dr inż. Adam Gąska jest na pewno ekspertem w dziedzinie pomiarów współrzędnościowych, a w szczególności w wykorzystaniu laser-tracera do badań dokładności współrzędnościowych systemów pomiarowych.

Do oceny został przedłożony wieloautorski cykl publikacji wraz z autoreferatem, w którym opisano udział Habilitanta. Fakt, że publikacje mają wielu autorów jest dla mnie dość oczywisty – obecnie trudno prowadzić badania samodzielnie, szczególnie w tak trudnej dziedzinie jaką jest współrzędnościowa technika pomiarowa. Dodatkowym argumentem jest fakt, że wiele z tych prac powstało pod kierunkiem Habilitanta. W przedstawionej monografii osiągnięcia naukowe Habilitanta zostały uporządkowane i tym samym stały się zdecydowanie łatwiejsze do oceny.

5. Wniosek końcowy

Wymienione osiągnięcia naukowe, dydaktyczne i organizacyjne, a w szczególności znaczny dorobek publikacyjny po uzyskaniu stopnia doktora, upoważniają mnie do pozytywnej oceny całości dorobku dra inż. Adama Gąski

Biorąc pod uwagę przedstawioną recenzję monografii i pozostałych elementów cyklu publikacji oraz ocenę całości dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego wyrażam opinię, że dr inż. Adam Gąska spełnia wymogi zawarte w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 r. poz. 261).