



Wydział Mechaniczny
Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej



Ksenia Ostrowska

Autoreferat

Kraków, 21 listopad 2018



Spis treści

1. Dane osobowe	3
2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe.....	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	4
4. Wskazanie osiągnięcia naukowego	4
5. Przebieg pracy naukowej.....	8
5.1. Działalność naukowo badawcza przed uzyskaniem stopnia doktora.....	8
5.2. Działalność naukowo - badawcza po uzyskaniu stopnia doktora.....	9
6. Omówienie celu naukowego cyklu publikacji i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich potencjału do wykorzystania	12
7. Dorobek naukowy wnioskodawcy, świadczących o istotnej aktywności naukowej	24
7.1. Zestawienie informacji o publikacjach, cytowaniach oraz udziale w projektach	24
7.2. Udział w realizacji projektów badawczych.....	25
7.3. Pozostałe osiągnięcia w działalności naukowo- badawczej oraz rozwiązywanie zadań metrologicznych w laboratorium akredytowanym i w zastosowaniach przemysłowych	27
7.3.1. Udział w pracach akredytowanego laboratorium wzorcującego	27
7.3.2. Współpraca z przemysłem.....	27
7.3.3 Organizacja konferencji naukowych i przewodniczenie sesjom	28
7.3.4. Recenzje	29
7.3.5. Nagrody, stypendia i wyróżnienia	29
7.3.6. Zgłoszenia patentowe	30
7.4. Działalność dydaktyczna i popularyzująca naukę, osiągnięcia w kształceniu kadry naukowej	30
7.4.1. Udział w kształceniu kadry naukowej	30
7.4.2. Działalność dydaktyczna	30
7.4.3. Działalność organizacyjna i popularyzująca naukę	32
7.4.4. Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych.....	33
7.5. Współpraca międzynarodowa z zagranicznymi jednostkami naukowymi.....	33
7.6. Podnoszenie kwalifikacji zawodowych – szkolenia w zagranicznych i krajowych ośrodkach, wizyty studyjne.....	35



1. Dane osobowe

1. Imię i nazwisko: **Ksenia Ostrowska**
2. **Stopień naukowy:** doktor nauk technicznych
3. **Miejsce zatrudnienia:** Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej



2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

1. Nazwa: **doktor nauk technicznych**

Miejsce uzyskania: Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny

Data nadania stopnia: 16.12.2009 r.

Tytuł rozprawy doktorskiej: "Metoda oceny dokładności pomiarów realizowanych przy zastosowaniu Współrzędnościowych Ramion Pomiarowych".

Dyscyplina: Budowa i Eksploatacja Maszyn

Specjalność: Metrologia współrzędnościowa

Promotor: prof. dr hab. inż. Jerzy A. Sładek

2. Nazwa: **magister inżynier**

Miejsce uzyskania: Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny

Rok uzyskania: 2004

Kierunek: Automatyka i Robotyka

Specjalność: Automatykacja Procesów Wytwarzania



3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych i badawczych

Data	Miejsce zatrudnienia	Stanowisko
10.2013 – obecnie	Politechnika Krakowska Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków	Adiunkt n-d
09.2009 – 09.2013	Politechnika Krakowska Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków	Asystent n-d
02.2011 – 2016	Politechnika Krakowska Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków, Akredytowane Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej	Zastępca kierownika do spraw Jakości
02.2010 – obecnie	Akredytowane Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej Politechnika Krakowska Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków,	Akredytowany personel techniczny
2004 – 2005	IGE+XAO Polska Sp. z o.o.	Kastomizator oprogramowania/ Zespół do spraw Airbus A380



4. Wskazanie osiągnięcia naukowego

Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.)

Temat osiągnięcia naukowego:

Jako moje osiągnięcie naukowe przedstawiam cykl powiązanych tematycznie publikacji, na które składają się niżej wymieniona monografia autorska, sześć współautorskich artykułów naukowych opublikowanych w specjalistycznych czasopismach indeksowanych w bazie SCOPUS i Web of Science, których przewodni temat definiuję jako:

Ocena i korekcja dokładności Redundantnych Współrzędnościowych Systemów Pomiarowych

Osiągnięcie to zostało opublikowane w następujących pozycjach :

Monografia:

- [1] Ksenia Ostrowska – „Redundantne współrzędnościowe systemy pomiarowe - modelowanie matematyczne i funkcjonalne”, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, ISBN 978-83-7242-863-9, rok wydania: 2018, 188 stron.

Redaktor naukowy:

Prof. dr hab. inż. Jerzy A. Sładek
Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny
Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej

Recenzenci wydawniczy:

Prof. zw. dr inż. Eugeniusz Ratajczyk
Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania w Warszawie
Wydział Inżynierii i Zarządzania

Prof. dr hab. inż. Adam Ruszaj
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nowym Sączu
Instytut Techniczny

Publikacje w czasopismach ujętych w bazie JCR o zasięgu światowym:

- [2] Ostrowska K., Gąska A., Sładek, J. “Determining the uncertainty of measurement with the use of a virtual coordinate measuring arm.”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71(1-4), S. 529-537, doi:10.1007/s00170-013-5486-8, Punktacja MNiSW (2014): **30, IF 1.458**.

Mój wkład w zrealizowaniu tego osiągnięcia polegał na: opracowaniu koncepcji wirtualnych współrzędnościowych ramion pomiarowych, algorytmów z których składał się model metrologiczny, na którym oparto wirtualne urządzenie pomiarowe, ale przede wszystkim na zbudowaniu całościowego systemu, który pozwolił na podanie niepewności pomiaru za pomocą metody symulacyjnej. Wykonałam również pomiary pozwalające na weryfikację niniejszego systemu za pomocą zaleceń VDI/VDE 2617-7. Przeanalizowałam uzyskane wyniki i na ich podstawie zdefiniowałam większość wniosków i kierunki dalszych badań.

Mój udział procentowy szacuję na 60 %.

- [3] **Ostrowska K., Gąska A., Kupiec R., Sładek 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*, s. 255-256, ISSN 0974-9853, DOI 10.1007/s12647-016-0176-2, **Punktacja MNiSW (2016): 15, IF 1.****

Mój wkład w zrealizowaniu tego osiągnięcia polegał na: opracowaniu koncepcji kalibracji Współrzędnościowych Ramion Pomiarowych przy pomocy LaserTracera, pełniącego rolę wzorca kalibracyjnego. Przetłumaczyłam, a następnie przeanalizowałam normy ISO 10360-2 i na ich podstawie zaproponowałam algorytm postępowania podczas wzorcowania WRP, gdzie na końcu zamiast końcówki pomiarowej zamontowany był retroreflektor, z kolei ostatni człon WRP (z retroreflektorem) umieszczony został w kiści Robota Przemysłowego mającego posłużyć jako element napędowy zapewniający powtarzalny ruch. Podczas pomiarów byłam odpowiedzialna za pomiar i opracowanie wyników WRP oraz połączenie trzech systemów równocześnie tj. WRP, RP i LT. Przeanalizowałam uzyskane wyniki i na ich podstawie zdefiniowałam większość wniosków i kierunki dalszych badań.

Mój udział procentowy szacuję na 60 %.

- [4] **Ostrowska K., Gąska A., Kupiec R., Gromczak K., Wojakowski P., Sładek J. „Comparison of accuracy of virtual articulated arm coordinate measuring machine based on different metrological models”, *Measurement* 133(2018), s. 262–270, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.10.024>, 0263-2241/_ 2018 Elsevier, **Punktacja MNiSW (2017): 30, IF 2.218.****

Mój wkład w zrealizowaniu tego osiągnięcia polegał na opracowaniu koncepcji, a następnie realizacji algorytmów trzech modeli metrologicznych, na których oparto wirtualne współrzędnościowe redundantne systemy pomiarowe. Dwa modele metrologiczne (MM) miały bardzo podobne działanie. Traktowały one urządzenie redundantne pomiarowe jako "czarną skrzynkę" i za każdym razem szukały lokalnych parametrów kinematycznych oraz błędów geometrycznych urządzenia. Jednak zasadniczą różnicą była liczba punktów pobieranych właśnie do wyznaczenia elementów geometrycznych urządzeń. MM III po wykonaniu wszystkich pomiarów przez operatora zbierał dane i wyznaczał lokalne parametry urządzenia, a następnie operator wskazywał ile punktów zbierał podczas pomiaru danego elementu np. walca, stożka itd. Było to rozwiązanie uciążliwe chociaż wykazywało znaczną zbieżność z wynikami uzyskanymi przez rzeczywiste urządzenie pomiarowe. Ponieważ wyniki były bardzo obiecujące w MM II zamieniłam kolejność wykonywanych czynności. W oprogramowaniu dorobiono funkcję pozwalającą na zaznaczenie, że pobieranie punktów na danym elemencie pomiarowym zostało zakończone. Algorytm z pobranych punktów oblicza lokalne parametry urządzenia i symuluje jego błędy. Rozwiązanie to dało najlepszą zgodność wyników z producentem. Model metrologiczny I (MM I) polega na wykonaniu całkiem odrębnej kopii urządzenia i wyznaczeniu jej dokładnych błędów zarówno konstrukcyjnych, jak i pomiarowych. Przeanalizowałam uzyskane wyniki i na ich podstawie zdefiniowałam większość wniosków i kierunki dalszych badań.

Mój udział procentowy szacuję na 55 %.

Publikacje konferencyjne indeksowane w bazie Scopus:

- [5] **Ostrowska K.**, Gromczak, K., Owczarek, D., Gąska, A., & Śladek, J. A. (2015). „Development of CAA correction matrix for coordinate measurement arms.” Paper presented at the XXI IMEKO World Congress, *Measurement in Research and Industry*, 2015, s. 1472-1475. – ISBN 978-1-5108-1292-5, Punktacja MNiSW (2015): 15.

Mój wkład w zrealizowaniu tego osiągnięcia polegał na opracowaniu koncepcji przeniesienia algorytmu macierzy korekcji CAA na Współrzędnościowe Ramiona Pomiarowe. Zaproponowałam zastosowany wówczas system wyznaczenia błędów kinematycznych urządzenia pomiarowego, a następnie dokonałam ich obliczenia. Opracowałam równocześnie koncepcję budowy w/w macierzy. Przeanalizowałam uzyskane wyniki i na ich podstawie zdefiniowałam większość wniosków i kierunki dalszych badań.

Mój udział procentowy szacuję na 60 %.

- [6] Gromczak K., **Ostrowska K.**, Owczarek D., Śladek J., "Validation of the metrological model of coordinate measuring arm using multifeaturecheck", *Advances in Science and Technology Research Journal*, Volume 9, No. 28, Dec. 2015, s. 120–124, DOI:10.12913/22998624/60798; ISSN 2299-8624, Punktacja MNiSW: 10.

Mój wkład w zrealizowaniu tego osiągnięcia polegał na opracowaniu Wirtualnych Współrzędnościowych Ramion Pomiarowych, a także na opracowaniu badań pozwalających na walidację powstałego systemu. Wykonałam również kalibrację cech metrologicznych wzorca potrzebnych do weryfikacji systemu na referencyjnej maszynie, a następnie opracowałam wyniki według akredytowanej metody. Przeanalizowałam również uzyskane wyniki i na ich podstawie zdefiniowałam większość wniosków i kierunki dalszych badań.

Mój udział procentowy szacuję na 40 %.

- [7] Gromczak K., **Ostrowska K.**, Gąska A., Śladek J., "The universal validation algorithm of coordinate measuring methods", *Measurement Automation Monitoring- Pomiary Automatyka Kontrola*, vol. 62, no. 4, 2016, s. 120-124, ISSN 2450-2855, Punktacja MNiSW: 11.

Mój wkład w zrealizowaniu tego osiągnięcia polegał na udziale w przystosowaniu metody sprawdzania spójności statystycznej oraz modelu zgodności metrologicznej do walidacji metod oceny dokładności pomiarów współrzędnościowych, wykonaniu pomiarów i opracowaniu wyników, a następnie zdefiniowaniu wniosków i zaproponowaniu kierunku dalszych badań.

Mój udział procentowy szacuję na 40 %.



5. Przebieg pracy naukowej

5.1. Działalność naukowo badawcza przed uzyskaniem stopnia doktora

Jestem absolwentką Kierunku Automatyka i Robotyka oraz Studium Doktoranckiego w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej. W trakcie studiów doktoranckich zainteresowałam się zagadnieniami metrologii współrzędnościowej i podjęłam współpracę naukową z Prof. Jerzym Śładkiem oraz kierowanym przez niego zespołem Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej. Szczególnie zainteresowałam się problematyką badania układów optycznych oraz kinematyką i dokładnością współrzędnościowych systemów pomiarowych.

W latach 2006-2007 zaangażowana byłam w realizację projektu europejskiego „Transnational Calibration Expert Serve – TRACES” C517456 - europejski projekt badawczo rozwojowy realizowany w ramach *e-Ten* realizowany latach 2005-2007 – dotyczącego opracowania międzynarodowego systemu wzorcowań, koordynowanego przez Physikalisch-Technische Bundesanstalt w Braunschweig

W latach 2005-2008 uczestniczyła w realizacji projektu badawczego Finansowanego przez Komitet Badań Naukowych nr 505G 1143 nt „Optonumeryczny system do pomiaru elementów geometrycznych zintegrowany z Współrzędnościową Maszyną Pomiarową” wykonywanego wspólnie i Instytutem Mikromechaniki i Fotoniki Politechniki Warszawskiej. Zagadnienia, przy opracowaniu których uczestniczyłam zostały opisane w pracy: *J. Śladek, K. Ostrowska, M. Kupiec, A. Kmita „The Method for measuring accuracy of optical multicoordinate devices” Science report Project PL 0007 Modern Metrology in Quality Management System, CEEPUS, Kielce, 2006, pp.227-235*

Od 2005 roku uczestniczyłam też w realizacji ukończonego w roku 2009 projektu badawczo rozwojowego Nr R03 029 01 nt. "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".

W latach 2008-2010 powierzono mi kluczowe zadania w realizacji grantu – projektu badawczego KBN nr N505 255935. nt.: *Metoda oceny dokładności pomiarów realizowanych redundantnymi systemami współrzędnościowymi (RSW)* co pozwoliło na przygotowanie szeregu publikacji naukowych oraz pracy doktorskiej nt.: *„Metoda oceny dokładności pomiarów realizowanych przy zastosowaniu współrzędnościowych ramion pomiarowych”* Udział w tym projekcie ukształtowały i ukierunkowały moje zainteresowania naukowe.

Reasumując moja działalność naukowo-badawcza przed obroną doktoratu zaowocowała 10 artykułami, z czego 4 były połączone z moimi wystąpieniami na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych. Uczestniczyłam też w 4 badaniach naukowych oraz zdobyłam stypendium w ramach konkursu „Małopolskiego stypendium Doktoranckiego” ZPORR 2009.

5.2. Działalność naukowo - badawcza po uzyskaniu stopnia doktora

Specjalizacja naukowa Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej Politechniki Krakowskiej dotycząca modelowania współrzędnościowych systemów pomiarowych i stosowania metod symulacyjnych w obliczaniu niepewności realizowanych pomiarów *on line* pozwoliła mi na dalsze rozwijanie problematyki redundantnych systemów pomiarowych. W pracy doktorskiej podjęłam próby oceny dokładności pomiarów współrzędnościowych realizowanych konkretnymi sześciooosiowymi WRP. Ponieważ w LMW powstały już wcześniej prace o tematyce wyznaczania dokładności za pomocą systemów symulacyjnych opracowałam pojedyncze algorytmy, mające na celu udowodnienie założenia, że możliwe jest skonstruowanie Symulacyjnych Współrzędnościowych Ramion Pomiarowych. Niestety, producenci ówczesnie nie umożliwiali dostępu do ciągłego zapisu odczytów współrzędnych konfiguracyjnych wraz z współrzędnymi kartezyjskimi i skierowaniem trzpienia pomiarowego. Przedstawiony opis nie uwzględniał innych urządzeń redundantnych tj. robotów przemysłowych czy siedmioosiowych WRP. Nie były wówczas dostępne urządzenia z enkoderami absolutnymi, które zmieniły całkowicie format zapisu danych. Kiedy jedna z największych firm produkujących Współrzędnościowe Ramiona Pomiarowe zadeklarowała, że udostępni ciągły zapis danych pomiarowych z systemu pomiaru przemieszczeń – enkoderów, mogłam rozwinąć moje badania i opracować Wirtualne Współrzędnościowe Systemy Pomiarowe. Pomysł ten zgłosiłam i uzyskałam finansowanie w konkursie Narodowego Centrum Badań i Rozwoju LIDER:

LIDER/024/559/L-4/12/NCBR/2013, "System oceny dokładności pomiarów współrzędnościowych *on-line* realizowanych urządzeniami redundantnymi" (2014-2016).

W/w program skierowany był do młodych naukowców, w wieku do 35 lat. Zostałam kierownikiem tego projektu i mogłam zbudować zespół naukowy. Wszystkie założenia zostały zrealizowane pomyślnie, a ich efektem były Wirtualne Współrzędnościowe Urządzenia Pomiarowe, które w powiązaniu z realnym pomiarem podają jego niepewność w czasie quasi-rzeczywistym. Wyniki tego projektu były podstawą przede wszystkim monografii, a także 6 publikacji znajdujących się w bazie JCR (część A wykazu czasopism naukowych). Publikacje te przedstawiały przeprowadzone badania w ramach projektu pod moim kierownictwem oraz zostały uzupełnione o korekcję urządzeń redundantnych. W 2015 roku otrzymałam Nagrodę Rektora I stopnia za przedstawione powyżej osiągnięcia naukowe.

W tym czasie byłam również członkiem innego zespołu projektu NCBiR „LIDER” pod kierownictwem dr inż. Adama Gąski: **LIDER/06/117/L-3/11/NCBR/2012 "Metoda oceny dokładności pomiarów współrzędnościowych realizowanych w warunkach przemysłowych wykonywana w trybie *on-line*" (2013-2015).** Głównym celem tego projektu było wdrożenie nowatorskiego, symulacyjnego systemu oceny dokładności pomiarów współrzędnościowych, które realizowane są w warunkach przemysłowych. Mój współudział dotyczył zagadnień modelowania systemów kinematycznych i badania oddziaływań termicznych.

W tym czasie zauważyłam że obszarem, który bardzo szybko się rozwinał w metrologii współrzędnościowej jest automatyzacja procesów pomiarowych – *in line metrology*

z zastosowaniem robotów przemysłowych z głowicami optycznymi. Mając już znaczne doświadczenie uzyskane w trakcie projektów badawczych, a także dzięki współpracy z przemysłem w zakresie systemów optycznych, w tym skanerów światła strukturalnego, rozpoczęłam współpracę z partnerem przemysłowym – firmą Smarttech 3D, jedynym polskim producentem skanerów światła strukturalnego. Gdy LMW PK w 2015 roku rozpoczęło prace nad wspólnym z firmą Smarttech 3D oraz Politechniką Warszawską projektem: *POIR.01.01.01-00-0376/15., Opracowanie i wdrożenie do produkcji kompleksowego bezdotykowego systemu pomiaru obiektów przestrzennych przystosowanego do realizacji precyzyjnych pomiarów metrologicznych w warunkach wysokiego nastonecznienia. (2015-2018)* zespół pod moim kierownictwem opracował głowicę stykową do skanerów 3D, która łączy się z systemem za pomocą fotogrametrii.

W 2016 roku dołączyłam do międzynarodowego, unijnego projektu finansowanego z programu Interreg CENTRAL EUROPE Cooperation Programme 2014-2020: *Interreg Central Europe CE634 "3DCentral -Catalyzing smart engineering and rapid prototyping" (2016-2018)*. Jego głównym celem jest dążenie do doskonałości europejskiej we współpracy transnarodowej dotyczącej wymiany technologii, innowacji, transferu i wydajności biznesowej w zakresie inteligentnej inżynierii i szybkiego prototypowania. Przy jego pomocy zostanie zbudowana platforma wymiany wiedzy i doświadczeń między ośrodkami naukowo-badawczymi i przemysłowymi w obszarze Smart Engineeringu i Rapid Prototyping. Podejmowane są działania mające na celu opracowanie specjalistycznego programu wsparcia – sieci współpracy pomiędzy regionami. W projekcie bierze udział 11 partnerów z 10 regionów centralnej Europy. Moje doświadczenie naukowe i badawcze w skanowaniu optycznym obiektów przestrzennych miało dla realizacji projektu znaczenie kluczowe.

Nieustanne rozwijanie mojego zainteresowania zagadnieniami inżynierii biomedycznej i jej powiązaniami z metrologią współrzędnościową zaowocowało tym, że gdy LMW PK rozpoczęło współrealizację tego projektu rozpoczęłam również współpracę z branżą medyczną, która zainteresowała się moimi osiągnięciami z dziedziny metrologii. Zostałam dzięki temu kierownikiem zespołu z ramienia LMW PK w projekcie: *POIR.04.01.04-00-0014/16 „Fantom do testów eksploatacyjnych urządzeń radioterapeutycznych w teleradioterapii”, Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014- 2020 działanie 4.1/poddziałanie 4.1.4 (2017-2020)*. W projekcie tym moim zadaniem jest kierowanie zespołem do spraw opracowania i skonstruowania oraz wzorcowania trzech fantomów, które pozwolą na podniesienie dokładności urządzeń radioterapeutycznych.

Od sierpnia 2018 roku biorę udział w projekcie współfinansowanym ze środków EFRR w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014-2020. Oś priorytetowa I. Nowoczesna gospodarka. Działanie 1.2 Badania, rozwój i innowacje w przedsiębiorstwach: *WND-RPSL.01.02.00-24-0894/17-004 "System MACS- monitorowanie spawania i hartowania laserowego w czasie rzeczywistym"*. W projekcie tym moim zadaniem jest opracowanie parametrów pracy urządzenia monitorującego (jakim jest system optyczny) oraz zakresu parametrów obróbki materiałów w zakresie spawania i hartowania laserowego z użyciem urządzenia monitorującego.

Jestem współautorem 6 publikacji, związanych z tematem optycznych pomiarów, znajdujących się w bazie JCR (część A wykazu czasopism naukowych) oraz 18 publikacji konferencyjnych lub w punktowanych czasopismach krajowych (część B wykazu czasopism naukowych).

Ponieważ od 2014 roku jestem koordynatorem Małopolskiej Nocy Naukowców z ramienia Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej wraz z Centrum Transferu Technologii CTT w 2016 i 2018 roku pozyskałam środki na zasoby ludzkie w projekcie Małopolska Noc Naukowców realizowanego w ramach programu ramowego w zakresie badań naukowych i innowacji „HORYZONT 2020”.

Od 10 marca 2010 roku jestem członkiem **Komitetu Technicznego Polskiego Komitetu Normalizacyjnego nr 48 ds. Podstaw Budowy Maszyn**. Natomiast od sierpnia 2018 roku jestem **ekspertem międzynarodowej grupy organu roboczego CEN/CENELEC, ISO/IEC, grupy WG 10 – Coordinate measuring machines, 12 -Size, 18-Geometrical tolerancing**. Organ ten jest odpowiedzialny za opracowywanie międzynarodowych norm ISO.

Podrozdział 7.2 zawiera tabelę z projektami, w których brałam udział, natomiast wszystkie artykuły wraz z opisem mojego wkładu i określeniem procentowego udziału zawarte są w załączniku nr 2.



6. Omówienie celu naukowego cyklu publikacji i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich potencjału do wykorzystania

Wskazanym osiągnięciem naukowym jest :

Ocena i korekcja dokładności Redundantnych Współrzędnościowych Systemów Pomiarowych

opublikowany w cyklu publikacji, którego celem naukowym było:

Opracowanie uniwersalnych, utylitarnych modeli funkcjonalnych będących podstawą symulacyjnego systemu oceny niepewności dla pomiarowych współrzędnościowych urządzeń redundantnych o stałych więzach kinematycznych oraz budowie otwartego łańcucha kinematycznego.

Według założeń opracowany system znajdzie zastosowanie praktyczne w ocenie niepewności pomiarów on-line w warunkach czasu *quasi* rzeczywistego a opracowane modele metrologiczne stanowić mogą podstawę softwarowej korekcji dokładności tych systemów.

Do postawionego celu naukowego sformułowano założenia i pośrednie cele, a uzyskane wyniki wniosą istotny potencjał utylitarny:

1. Opracowany system oceny niepewności pomiarów on-line dla systemów redundantnych, znacznie skróci czas pomiaru, a zastosowanie baz danych jako nośnika informacji, zautomatyzuje zaimplementowanie go bezpośrednio w Przemysle 4.0.
2. Wirtualny system pomiarowy jest uniwersalny i łatwy w implementacji na urządzeniach o budowie otwartego łańcucha kinematycznego i stałych węzłach kinematycznych.
3. Dopuszczalna zmienność temperatury w trakcie pracy systemu, opisanego na podstawie Modelu Metrologicznego I (MMI) to 18–22°C.
4. Nieistotna jest dopuszczalna temperatura otoczenia dla systemu opisanego na Modelu Metrologicznym II (MMII) i Modelu Metrologicznym (MMIII), gdzie dobierane są parametry lokalne, chwilowe dla urządzenia. Powstały model ma dokładnie odzwierciedlać urządzenie w danej chwili i w danych warunkach środowiskowych dopasowując się do danych producenta.
5. System oceny niepewności on-line musi współpracować z wybranym, zwalidowanym komercyjnym oprogramowaniem metrologicznym.
6. System oceny niepewności on-line będzie przechowywał dane na serwerze bazodanowym.

7. Urządzenie pomiarowe, na którym ma być zainstalowany system musi mieć pełny dostęp do zapisu do pliku w czasie rzeczywistym danych konfiguracyjnych (odczytów z układów pomiarowych kąta).
8. Czas instalacji nie może zbyt długo zakłócać pracy urządzenia, nie powinien przekroczyć czasu kalibracji standardowej urządzenia, np. według ISO 10360-12.
9. Opracowane oprogramowanie nie wymaga czasochłonnych szkoleń.
10. Systemy wyznaczania i korekcji błędów mogą być wykorzystane do podnoszenia dokładności pomiarowych systemów redundantnych.

Wraz z coraz szybszym rozwojem przemysłu oraz systemów wytwarzania, rozwija się też metrologia współrzędnościowa, ściśle związana z wymogami tych systemów. Wzrost wymagań jakościowych stawianych produktom stawia przed wytwórcami przyrządów pomiarowych nowe zadania. Czas przeprowadzania pomiarów, jak również wymagania, co do ich dokładności, czasu pomiaru i automatyzacji, powodują powstawanie nowych rozwiązań w systemach metrologii współrzędnościowej, a także ciągłe ulepszenie już istniejących. Niewątpliwie jednymi z najelastyczniejszych rozwiązań są Redundantne Systemy Pomiarowe, które można podzielić na dwie kategorie: ze stałymi więzami kinematycznymi, które dzielą się na manualne np. Współrzędnościowe Ramiona Pomiarowe (WRP) i zautomatyzowane np. Roboty Przemysłowe (RP) oraz bez stałych więzów kinematycznych, które z kolei dzielą się na LaserTrackery z głowicami stykowymi jak również Skanery 3D z głowicami stykowymi. **Podział ten wynika z tego, iż zauważono że istnieją systemy których wspólną cechą jest szeroko pojęta nadwymiarowość, czyli tzw. redundancja.** Jednocześnie systemy te można podzielić na takie, które mają bezpośrednie połączenie z podstawą, a ich kinematyka jest tożsama z budową urządzeń o otwartym łańcuchu kinematycznym (ze stałymi węzłami kinematycznymi). Drugi rodzaj posiada stykowe głowice, które z systemem pomiarowym łączą się za pomocą czujników bezstykowych (bez stałych węzłów kinematycznych). Według zasad metrologii wyniki pomiarów są tylko wtedy przydatne, gdy są podawane z określeniem ich niepewności. W przypadku Redundantnych Systemów Pomiarowych Współrzędnościowych (RSPW) jest to zadanie szczególnie trudne i nie zawsze jednoznaczne z racji ich konstrukcji. **RSPW mogą osiągać tą samą pozycję końcówki stykowej z nieskończoną ilości ułożeń i konfiguracji poszczególnych członów urządzenia.**

Powszechnie stosowane metody wyznaczania niepewności są skomplikowane i bardzo rzadko znajdują zastosowanie w warunkach przemysłowych, są to: metoda porównawcza i wielopozycyjna. Stosowanie ich wymaga dużej liczby wzorców, powtórzeń pomiaru oraz, co najważniejsze, wysoko wykwalifikowanej kadry i zapewnienia stałych warunków pomiaru. W przemyśle metody te są trudne do zastosowania z uwagi na koszty wzorców i ich utrzymanie oraz przede wszystkim z uwagi na bardzo długi czas pomiarów, a także konieczność utrzymywania bardzo stabilnych warunków środowiskowych. Od końca XX wieku pojawiły się zatem nowe metody zwane symulacyjnymi. Wymagają one wcześniejszego opracowania "wirtualnych urządzeń pomiarowych", stosowanych do obliczania niepewności realizowanych pomiarów w warunkach czasu prawie rzeczywistego. Wirtualne urządzenia opierają się na tzw. "modelach funkcjonalnych" czy "modelach metrologicznych", które wiernie odzwierciedlają zachowanie się systemu. Praca z wirtualną maszyną polega na opisaniu urządzenia za pomocą matematycznych zależności, które tworzą system paradygmatyczny do systemu maszyny rzeczywistej.

Wspólną cechą takich rozwiązań była wcześniejsza identyfikacja błędów geometrycznych maszyny, a następnie zastosowanie tych danych do symulowania niepewności pomiaru dla założonych zadań. LMW Politechniki Krakowskiej ma już wieloletnie doświadczenie datowane od początku lat 90-tych XX wieku w modelowaniu systemów współrzędnościowych maszyn pomiarowych (WMP) i jest jednym z niewielu ośrodków na świecie gdzie takie opracowania powstają. Są to m.in. krajowe instytucje metrologiczne tj. PTB w Niemczech czy NPL w Wielkiej Brytanii. Podejmowano próby też w NIST w Stanach Zjednoczonych, ostatecznie zainstalowano rozwiązania koncepcji PTB w kilku laboratoriach wzorcujących (Feinmess czy Eumetron) oraz w wiodących centrach naukowych, jak np. University of North Carolina w USA i Technische Universitaet Nuernberg-Erlangen w Niemczech. W przypadku jednak redundantnych systemów pomiarowych o budowie otwartego łańcucha, o stałych węzłach kinematycznych, poza Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej Politechniki Krakowskiej żaden inny ośrodek na Świecie nie dysponuje takim systemem. Pierwsze próby zbudowania modelu funkcjonalnego dla tego typu urządzeń podjęłam dla sześciosiowych Współrzędnościowych Ramion Pomiarowych (WRP). Wstępny zarys koncepcji został zawarty w mojej pracy doktorskiej. Powstały wówczas algorytmy mające na celu udowodnienie założenia, że możliwe jest skonstruowanie Wirtualnych WRP. Zaproponowano rozwiązanie dedykowane dla urządzenia firmy Romer -Sigma 2025. Powstałe wówczas algorytmy, opracowano w wielu odrębnych oprogramowaniach matematycznych: Mathcad, Mathematica oraz Matlab. Część elementów symulacyjnych napisane zostały za pomocą języka programowania C++. Największą jednak trudnością, która niestety uniemożliwiła w tamtym czasie szersze przemysłowe wykorzystanie Wirtualnych WRP był brak możliwości ciągłego zapisu danych tj. odczyt współrzędnych konfiguracyjnych wraz z współrzędnymi kartezjańskimi i skierowaniem trzpienia pomiarowego. Opracowany wtedy opis zawężony był zatem do jednego urządzenia i nie uwzględniał innych rozwiązań konstrukcyjnych. Nie były też wówczas dostępne urządzenia z enkoderami absolutnymi, które zmieniły format zapisu danych oraz pracę użytkownika. W roku 2011 uzyskano możliwość ciągłego zapisu potrzebnych danych. Dlatego oczywistym kierunkiem dalszego rozwoju stało się zbudowanie uniwersalnego, utylitarne modelu funkcjonalnego dla Redundantnych Współrzędnościowych Systemów Pomiarowych (RSP) o budowie otwartego łańcucha kinematycznego i stałych węzłach.

Ponieważ obecnie rozwija się koncepcja Przemysłu 4.0, a u jej podstaw znajdują się połączone ze sobą systemy Internetu przemysłowego, płynnie wspierające działania wzdłuż całego łańcucha linii wytwarzania, postanowiłam rozszerzyć niniejsze badania na zautomatyzowanych przedstawicieli urządzeń redundantnych, jakimi są Roboty Przemysłowe. Łącząc wiedzę z zakresu robotyki i automatyki z metrologią współrzędnościową, jak również dzięki doświadczeniu praktycznemu uzyskanemu podczas pracy w laboratorium akredytowanym LMW PK, zaproponowałam nowe i innowacyjne rozwiązanie wyznaczenia niepewności pomiaru, metodą symulacyjną dedykowaną ogólnie dla Redundantnych Urządzeń Pomiarowych. Ponadto wraz ze wzrostem wymagań co do jakości wytwarzania i konieczności wyznaczania niepewności pomiarów w przemyśle *on-line*, zapotrzebowanie na takie rozwiązanie zostało szybko potwierdzone.

Pomysł ten został zgłoszony i uzyskał finansowanie w konkursie NCBiR LIDER nr LIDER/024/559/L-4/12/NCBR/2013. Dzięki temu projektowi możliwe było rozwiązanie części kluczowych zadań naukowych i zorganizowanie młodego zespołu badawczego pod moim kierunkiem. Po wielu cyklach badań, przyjęto cel naukowy i początkowo zaproponowano trzy modele metrologiczne, które po wstępnych testach zostały zredukowane do dwóch. W [4] opisano wszystkie trzy modele analizując różnice między nimi. Dwa modele metrologiczne (MM) miały bardzo podobne działanie. Traktowały redundantne urządzenie pomiarowe jako "czarną skrzynkę" i za każdym razem poszukiwano lokalnych parametrów kinematycznych oraz błędów geometrycznych. Jednak zasadniczą różnicą była liczba punktów pobieranych do wyznaczenia elementów geometrycznych urządzeń. MM III po wykonaniu wszystkich pomiarów przez operatora zbierał dane i wyznaczał lokalne parametry urządzenia, a następnie operator wskazywał punkty podczas pomiaru danego elementu np. walca, stożka itd. Było to rozwiązanie uciążliwe chociaż wykazywało znaczną zbieżność z wynikami uzyskanymi przez rzeczywiste urządzenie pomiarowe. Ponieważ wyniki były bardzo obiecujące w MM II zamieniono kolejność wykonywanych czynności. W oprogramowaniu dopisano funkcję zaznaczenia, że skończyło się pobierać punkty na danym elemencie pomiarowym. Algorytm dla pobranych punktów oblicza lokalne parametry urządzenia i symuluje jego błędy. Rozwiązanie to dało najlepszą zgodność wyników z obiektem rzeczywistym RSP danego producenta. Model metrologiczny I (MM I) polega na wykonaniu całkiem odrębnej kopii urządzenia i wyznaczeniu jej dokładnych błędów zarówno konstrukcyjnych, jak i pomiarowych. W podejściu tym nigdy nie ma pewności, czy uda się uwzględnić wszystkie elementy, które producent zawarł w swojej macierzy korekcji, gdyż użytkownik nie ma do niej dostępu, tzw. know-how. Jest to jednak rozwiązanie najbardziej poprawne metrologicznie, gdyż parametry urządzenia wyznaczane są w odniesieniu do jednostki metra. Dokładniej budowę przedstawionych elementów zaprezentowałam w monografii [1].

Aby modele metrologiczne mogły poprawnie funkcjonować, konieczne było wyznaczenie wszystkich błędów, które wpływają na dokładność odwzorowania rzeczywistych redundantnych urządzeń pomiarowych. Po przeanalizowaniu zagadnienia, podzieliłam błędy, na takie które są korygowane i te które wskazują obszar wpływu danego czynnika. Do pierwszej grupy zaliczyłam błędy: pozycji i orientacji, geometryczne (parametry poszczególnych członów i par obrotowych), wpływu temperatury na zmianę parametrów urządzenia oraz niedokładności wskazań enkoderów. Do drugiej grupy zaliczyłam błędy takie jak wpływ operatora na wynik pomiaru oraz elipsoidy prawdopodobieństwa. Ostatni czynnik miał na celu wskazanie maksymalnego zakresu działania Modelu Metrologicznego, poza którym wyniki są nie akceptowalne.

Podstawą wyznaczenia wszelkich błędów redundantnych urządzeń było opisanie RSP za pomocą schematów kinematycznych i określenia parametrów urządzenia zgodnie z notacją D-H. Następnie należało opracować program, który będzie wyznaczał dokładne parametry geometryczne urządzenia, gdyż dane przedstawione przez producenta są tylko założeniami projektowymi. Parametry tak naprawdę są liczone od zamontowanego w jednym członie enkodera do zamontowanego w drugim członie enkodera. Po zmontowaniu wszystkich

elementów systemu pomiarowego, jego prawdziwe gabaryty zależą od dokładności montażu poszczególnych członów i każde urządzenie będzie miało odrębne wartości.

Obecnie z programu producenta danego urządzenia, podczas zbierania punktu pomiarowego, można uzyskać takie informacje jak: współrzędne końcówki pomiarowej x, y, z , skierowanie trzpienia pomiarowego i, j, k oraz odczyty z kątowych układów pomiarowych (tzw. współrzędne konfiguracyjne) - enkoderów $\theta_1, \dots, \theta_n$. Następnie wykorzystuje się macierzowy opis przekształceń w przestrzeniach i -wymiarowych. Opierając się na zapisanych w nim informacjach, wyznacza się w sposób symboliczny zadanie proste kinematyki. Następnie buduje się układy równań z 24 niewiadomymi, dla sześćoosiowych i 28 niewiadomymi dla siedmioosiowych redundantnych urządzeń pomiarowych. Liczby te biorą się z tego, że do opisu pary obrotowej potrzebne są cztery parametry wg notacji D-H. Z opisu macierzowego uzyskuje się informację o położeniu i skierowaniu ostatniego członu. Następnie poszczególne dane z niniejszego zapisu (w formie symbolicznej) przyrównuje się do informacji uzyskanych z oprogramowania producenta, podczas pomiaru wzorca długości. W ten sposób uzyskujemy geometryczne parametry poszczególnych członów, takie jak: l_i - odległość od osi z_i do osi z_{i+1} mierzona po osi x_i , α_i - kąt między osiami z_i i z_{i+1} mierzona wokół osi x_i , l_i - odległość pomiędzy osiami x_{i-1} i x_i mierzona wokół z_i , ζ_i - przesunięcie katowe na kącie zawartym między osiami x_{i-1} i x_i mierzony wokół z_i [1-5]. Aby model miał odniesienie do jednostki metra, wykonano pomiar wzorca długości, o gniazdach pozwalających na jednoznaczne określenie punktu styku. Gniazda te powinny być tak zaprojektowane, aby występował styk zawsze w tym samym miejscu np. stożek wewnętrzny trójpunktowy, gdzie końcówka pomiarowa opiera się na trzech wystających ściankach lub na trzech kulkach rozmieszczonych co 120° po okręgu [1] i [4]. Po uzyskaniu danych z rzeczywistego urządzenia pomiarowego, jak również z wzorca, podstawiamy je do układu równań zbudowanego na wzorze na odległość dwóch punktów. Oczywiście wzorzec jest ustawiany w różnych ułożeniach w całej przestrzeni pomiarowej. **W ten sposób wyznacza się nie tylko parametry rzeczywiste RSP, ale też błędy kinematyczne urządzenia pomiarowego. Błędy te są stałe dla całej przestrzeni pomiarowej i należy je traktować jako systematyczne.**

Po wyznaczeniu błędów geometrycznych urządzenia, należało wyznaczyć Błąd Odtwarzalności Punktu Pomiarowego BOPP [1], w skład którego wchodzi błędy pozycji i orientacji trzpienia pomiarowego. Scharakteryzowany jest on przez wektor \bar{P}_a , będący różnicą pomiędzy wektorem wodzącym punktu styku końcówki głowicy pomiarowej \bar{P}_{rz} z powierzchnią mierzoną, a wektorem wodzącym punktu wskazanego przez maszynę \bar{P}_m , traktując \bar{P}_{rz} jako wektor wodzący rzeczywistego punktu pomiarowego. Wektor \bar{P}_a , stanowi z punktu widzenia metrologicznego wektor charakteryzujący dokładność WMP w danym punkcie jej przestrzeni pomiarowej. Aby opis urządzenia był kompletny, należy przywołać pojęcie błędu pozycji \bar{P}_p , który jest różnicą między wektorem punktu końcówki stykowej obliczonym z kinematyki urządzenia \bar{P}_{km} , a wektorem \bar{P}_m punktu wskazanego przez maszynę. Wektor \bar{P}_p kumuluje więc, w sobie błędy związane z kinematyką. Na koniec należy uwzględnić jeszcze błąd rotacji, który polega na wyznaczeniu różnicy rotacji zadanej i aktualnej. Wzór ten wyprowadziłam jako pierwsza po uwzględnieniu informacji z dziedziny robotyki, matematyki, a także metrologii współrzędnościowej (Monografia [1] –podrozdział 6.2, wzór 6.18).

Kolejnym elementem którego wpływ był wyznaczany, a następnie korygowany, był to błąd pochodzący od temperatury. Badania zostały przeprowadzone w akredytowanym Laboratorium Badań Technoklimatycznych i Maszyn Roboczych Politechniki Krakowskiej, zgodnie z jego procedurą PB 01 „Badania rozkładu temperatury w komorze termoklimatycznej i w obiektach w niej testowanych”. Urządzenia (Współrzędnościowe Ramię Pomiarowe MultiGauge 1200 oraz RA 7320 SI Romer HexagonMetrology) pomiarowe umieszczono w komorze termoklimatycznej. Komorę ogrzano do temperatury 10 °C i wykonano odpowiednią procedurę pomiarową mającą na celu wyznaczenie dokładnych parametrów urządzenia, tak jak opisano powyżej oraz w [1]. Następnie podniesiono temperaturę otoczenia w komorze do 15 °C. Po ustabilizowaniu się temperatury powtórnie wykonano procedurę pomiarową. Badania wykonano jeszcze dla temperatur otoczenia wynoszących 20 °C, 25 °C i 30⁰ C. Założono, iż jeśli poszczególne człony urządzenia zmieniają swoją długość w różnych temperaturach, należy to uwzględnić podczas modelowania funkcjonalnego modelu metrologicznego. Po przeprowadzeniu pełnych procedur polegających na sprawdzeniu długości poszczególnych członów urządzenia (opisanych przy budowie MM) w różnych temperaturach, zaobserwowano znaczną zmianę długości, zarówno w WRP sześćo- jak i siedmioosiowym. Każda długość była najbardziej zbliżona do nominalnej w granicach 20 °C i do około 25⁰C zmieniała się nieznacznie, po czym w temperaturze 30⁰C obserwowano jej znaczny wzrost [1]. W celu wprowadzenia wyników niniejszych badań do modelu funkcyjnego Redundantnych Urządzeń Pomiarowych wykorzystano interpolacje (1d wielomianami trzeciego stopnia), poprzez określenie funkcji sklepanych 3 stopnia (cubic spline). W metodzie 'splajnów' stosowane są funkcje zdefiniowane jako wielomiany niskiego stopnia osobno dla każdego odcinka pomiędzy sąsiednimi węzłami interpolacyjnymi. Przedstawione lokalne wielomiany są dobierane w taki sposób, aby – oprócz warunków interpolacji – spełniać warunki sklejenia tak, aby cały 'splajn' był funkcją o odpowiedniej regularności. Dokładne wyniki interpolacji co 0,5⁰ wraz z pełnym opisem zostały przedstawione w [1] w podrozdziale 6.2.4 oraz w załączniku.

Kolejnym składnikiem, który został wyznaczony, a następnie wprowadzono jego korektę do modelu był błąd pochodzący od układów pomiarowych kąta -enkoderów. Do zadania tego zostało zbudowane stanowisko składające się ze stolika obrotowego, urządzenia redundantnego oraz interferometru laserowego firmy Renishaw ML10. Interferometr ten posiada dokładność kątową $\pm 0,01$ sekundy (zgodnie z danymi producenta). W czasie pomiaru głowica laserowa stała na stole granitowym, gdzie w uchwycie zamontowano układ pryzmatów interferometru. Do osi enkodera zamontowano układ reflektorów interferometru. Redundantne Urządzenie Pomiarowe ustawione zostało na stoliku obrotowym w celu wykonywania zmiany kątowej w sposób powtarzalny. Pomiar realizowany był przy użyciu interferometru do wychyleń kątowych. Jest to konfiguracja do pomiaru kąta z zastosowaniem podwójnego pryzmatu, zawierającego zestaw dwóch pryzmatów narożnych odległych od siebie o znaną wartość d . Dzięki wykorzystaniu wielokrotnego odbicia światła bez względu na kąt pochylenia wiązki powracające są zawsze równoległe do wiązek wejściowych. Jedna z wiązek kierowana jest za pomocą zwierciadła w kierunku reflektora. Kątowe skręcenie zespołu reflektorów w płaszczyźnie wiązek świetlnych, powoduje ruch jednego pryzmatu względem drugiego (mierzony przez interferometr) w kierunku równoległym do osi promieni lasera. Zmiany kąta enkodera względem interferometru wyznaczone są automatycznie jako stosunek zmian w

położeniu obu naroży pryzmatów wzdłuż osi do odległości między nimi. Enkodery sprawdzono w całym ich zakresie co 5^0 . Między 5^0 , w których dokonywano odczytów, po korekcji wskazań enkodera przez interferometr laserowy, zastosowano interpolację taką samą funkcją, jak przy pomiarach długości poszczególnych członów w zmiennej temperaturze. Zmienione była oczywiście ilość węzłów interpolacji, jak również ilość przedziałów. Interpolacja wykonana została co $1,25^0$. Wyniki były wykorzystane jako korekcje do każdego odczytu -podrozdział 6.2.6 monografii [1].

Ostatnim składnikiem, który należało wyznaczyć był błąd pochodzący od operatora. Błąd ten dla WRP z głowicą stykową dochodzi do 15%, natomiast z głowicą bezstykową nawet do 25% całości błędu pomiaru [1]. Może to być związane z tym, iż przy głowicach optycznych operator ma wpływ nie tylko na pomiar, ale też na opracowanie wyników pomiarów (zastosowane algorytmy, filtracje, metoda pomiarowa, a nawet dobór parametrów urządzenia do badanego materiału). Do wyznaczenia błędów pochodzących od operatora zaadaptowałam metodę znaną w literaturze jako R&R (Ford-Type-2 wersja pełna). Metoda ta pozwala na określenie błędu powtarzalności i odtwarzalności narzędzia pomiarowego w postaci odseparowanej, gdzie odtwarzalność charakteryzuje błąd pochodzący od operatora. Ponieważ wszystkie modele opierają się na symulowaniu wielokrotnego pomiaru po jego jednokrotnym wykonaniu, zdecydowałam do wynikowego równania niepewności dodać składnik pochodzący właśnie od operatora. Podczas badań nad wyżej wymienionymi błędami przeanalizowałam wiele pozycji literatury dotyczącej tego zagadnienia, nie tylko z punktu widzenia metrologii, ale również robotyki. W analizowanych publikacjach nie znalazłam opisów redundantnych systemów pomiarowych tożsamy z opisem macierzy korekcji jakie występują w konwencjonalnych maszynach współrzędnościowych. W oparciu o badania nad modelowaniem błędów RSP w artykule [5] zaproponowałam sposób, dzięki któremu powstał opis macierzy korekcji CAA dla urządzeń redundantnych. Rozwiązanie takie powoli na znaczne obniżenie ich kosztów wytwarzania bez straty dokładności. Adaptując tę koncepcję z Współrzędnościowych Maszyn Pomiarowych, gdzie wyznacza się błędy za pomocą interferometru laserowego, tak samo w urządzeniach redundantnych można, po określeniu składowych błędów geometrycznych, znaleźć błędy wskazań enkoderów w całym ich zakresie i zamodelować macierz korekcji dla RSP.

Na tym etapie otrzymano już większość elementów potrzebnych do opracowania wirtualnych redundantnych urządzeń pomiarowych. Posiadałam też opis matematyczny urządzenia oraz wyznaczone zostały błędy wraz z algorytmami ich korekcji. Wszystkie elementy opisane były za pomocą jednego spójnego języka programowania Python. Brakowało tylko metody symulacji punktu styku. Do tego zagadnienia wykorzystałam doświadczenia zespołu LMW i stosowania metody numerycznej Monte Carlo, która służy do modelowania matematycznego skomplikowanych procesów, których wartość jest trudna do wyznaczenia w sposób analityczny. W tym zadaniu jej zastosowanie polegało na losowym próbkowaniu z funkcji rozkładu błędów enkoderów. Zastosowanie MMC składało się z trzech etapów: sformułowania problemu, propagacji oraz podsumowania. Przez sformułowanie problemu rozumiemy: określenie wielkości wyjściowych i wejściowych, zbudowanie modelu (matematycznego) łączącego wielkości wejściowe z wielkością wyjściową oraz przypisanie odpowiednich funkcji gęstości prawdopodobieństwa (FGP) do wielkości wejściowych,

na podstawie posiadanej wiedzy oraz znanych informacji. Przez propagację rozumiemy próbkowanie wielkości wejściowych oraz wykorzystanie modelu matematycznego pomiaru w celu otrzymania FGP dla wielkości wyjściowej. Podsumowanie wykorzystuje FGP dla wielkości wyjściowej w celu wyznaczenia: wartości oczekiwanej tej wielkości będącej jej estymatą, odchylenia standardowego tej wielkości (niepewnością standardową) oraz przedziału pokrycia zawierającego wartości wielkości wejściowej z odpowiednim prawdopodobieństwem.

Pierwsze czynności, jakie należało podjąć przy korzystaniu z MMC to wyznaczenie wielkości wejściowych, wielkości wyjściowych oraz znaleźć model matematyczny (opisane powyżej modele metrologiczne) określającego zależność pomiędzy nimi.

W metodzie Monte Carlo nie uwzględniamy tylko i wyłącznie jednej wartości będącej średnią z serii pomiarów, ale badane jest zachowanie układu dla różnych wartości wylosowanych z funkcji gęstości prawdopodobieństwa (FWP) dla wielkości wejściowych. Oczywiście wartości te będą w pewien sposób oscylować wokół wartości średniej, która to jest jedną z charakterystyk opisujących FGP. Kolejnym etapem jest przypisanie poszczególnym wielkościom wejściowym odpowiednich funkcji gęstości prawdopodobieństwa. W zależności od dostępnych informacji na temat poszczególnych wielkości wejściowych należało do każdej z nich przypisać najlepiej opisującą ją FGP. Zagadnienie to jest w wyczerpujący sposób opisane w Suplemencie dołączonym do "Przewodnika po wyrażeniu niepewności".

Po wylosowaniu M liczb z wszystkich FGP są one odpowiednio wstawiane do modelu matematycznego. W ten sposób otrzymaliśmy M wartości wielkości mierzonej (wyjściowej), które to z kolei po odpowiednich przekształceniach stanowią FGP wielkości wyjściowej. Na podstawie tej funkcji natomiast możliwe było wyznaczenie wartości oczekiwanej oraz odchylenia standardowego. W przypadku urządzeń redundantnych, o budowie otwartego łańcucha kinematycznego, z parami obrotowymi, danymi wejściowymi do symulacji są współrzędne konfiguracyjne z układów pomiarowych kąta -enkoderów. To właśnie informacja o dokładności enkoderów, oraz ich pozycja jest wykorzystywana do symulacji punktu pomiarowego.

Na tym etapie posiadałam już wszystkie informacje i elementy potrzebne do skonstruowania Wirtualnych Redundantnych Urządzeń Pomiarowych, które zostały opisane za pomocą algorytmu przedstawionego w artykule [4]. Wymóg zapisu danych dotyczących zmierzonych punktów oraz konieczność zapisu danych pochodzących z kolejnych iteracji symulacyjnego odtwarzania zmierzonych punktów wpływa na postać algorytmu obliczeniowego. Jak już wspomniałam wcześniej, całość powstałego systemu Wirtualnych Urządzeń Pomiarowych została napisana w języku programowania Python, który pozwolił na płynne połączenie poszczególnych programów i elementów (baz danych, programu metrologicznego, programu (serwera) współpracującego z rzeczywistym urządzeniem oraz programu odpowiedzialnego za wizualizację).

System rozpoczyna działanie od zdefiniowania obiektu mierzonego. Pojedynczy obiekt stanowi oddzielny projekt metrologiczny. W kolejnym kroku definiuje się pojedynczą cechę geometryczną, dla której wykonuje się pomiar rzeczywisty, uzyskując współrzędne punktów x,y,z oraz ich współrzędne kierunkowe i,j,k . Następnie dokonuje się zapisu wartości współrzędnych rzeczywistych punktów cechy geometrycznej w bazie danych z identyfikatorem

it=0. Uruchamiana jest wówczas procedura w pętli iteracyjnej, w której przeprowadza się symulację współrzędnych punktów pomiarowych x,y,z oraz i,j,k dla zmierzonych wcześniej punktów zdefiniowanej cechy geometrycznej. Następnym elementem systemu było napisanie skryptów pod oprogramowanie metrologiczne. Istotnym zagadnieniem na tym etapie była dobra znajomość oprogramowania metrologicznego, które zostało wykorzystane, ponieważ należało opracować interfejs komunikacji pomiędzy programem symulacyjnym a nim samym. Komunikacja jest potrzebna ponieważ konieczne jest przesyłanie zmierzonych i zasymulowanych punktów do oprogramowania, które skonstruowało elementy geometryczne z zmierzonych przedmiotów, a następnie wysyła już konkretne dane do obliczenia niepewności takich jak np. średnica, kąt, odległość. Program symulacyjny oblicza średnią i niepewność pomiaru, a następnie importuje te dane z powrotem do oprogramowania metrologicznego lub wyświetla wyniki jako komunikat czy raport.

Do uszeregowania zasymulowanych danych zostały wykorzystane bazy danych, które pozwoliły na szybkie przeszukiwanie wyników. Zastosowanie baz pozwoliło także na układanie zasymulowanych punktów, w taki sposób aby oprogramowanie metrologiczne dostawało informację w postaci uszeregowanych współrzędnych punktów pomiarowych zebranych z danego elementu. Zatem sercem projektowanego systemu informatycznego stała się baza danych działająca na serwerze bazodanowym, do którego poszczególne aplikacje zawsze mają dostęp. Podpinając WRUP wprost w istniejące bazy danych przy systemie linii produkcyjnej, uzyskano wyższą wydajność poprzez redukcję kosztów z wykorzystaniem danych w czasie rzeczywistym. To z kolei pozwoliło na obniżenie kosztów i poprawę efektywności, większą szybkość i skalę.

Opracowany system został zaimplementowany na zautomatyzowanej, redundantnej maszynie pomiarowej, jaką jest robot przemysłowy. Na sześciosiowym robocie o budowie otwartego łańcucha kinematycznego, zamontowana została stykowa głowica pomiarowa. Oczywiście należało zaprogramować jej interfejs komunikacji z robotem, tak aby po zetknięciu głowicy z przedmiotem pomiarowym robot przejmował punkt styku. Przed implementacją Wirtualnego Systemu Pomiarowego została jeszcze wykonana jej korekcja poprzez sieci neuronowe i dopisano do powstałego wcześniej systemu podprogram, który zmieniał zapis orientacji głowicy, z opisu za pomocą kątów Eulera, na opis za pomocą wektorów jednostkowych [1]. Tak skonfigurowany zautomatyzowany redundantny system pomiarowy (robot pomiarowy) z zaimplementowanym systemem symulacyjnym został pomyślnie przetestowany i może być w prosty sposób stosowany na wszystkich redundantnych urządzeniach pomiarowych o stałych węzłach kinematycznych.

Opracowanie wirtualnego redundantnego urządzenia pomiarowego dla zautomatyzowanego systemu pozwoli na wykorzystanie robota przemysłowego w nowym zadaniu, gdzie będzie można wykonywać pomiary bezpośrednio na linii produkcyjnej (*In Line Metrology*) np. w miejscach o podwyższonym ryzyku, bez udziału człowieka. Poza tym jedno urządzenie będzie mogło być wykorzystane do kilku zadań, co może znacznie obniżyć koszty produkcji [1].

Celem sprawdzenia poprawności działania wirtualnych redundantnych urządzeń pomiarowych wykonano testy statystyczne, oraz wykorzystano zalecenia VDI/VDE 2617-7 czy normy ISO 10360-12.

Jako pierwsze zostały wykonane testy za pomocą wirtualnego systemu pomiarowego, dla sześciooosiowego ramienia pomiarowego z enkoderami inkrementalnymi oparte o zalecenia VDI/VDE 2617-7. Zalecenia te opisują w jaki sposób wykonać pomiary wzorca w postaci walca, aby można było ich wyniki użyć do zweryfikowania poprawności działania systemów symulacyjnych. Weryfikacja ta została opisana w artykule [2], gdzie dla wszystkich wyników spełniona została nierówność: $|y_k - y| \leq U_k + U$, gdzie y_k - jest wartością nominalną z kalibracji wzorca, y - wartość z pomiaru uzyskanego za pomocą WRUP, U_k - Niepewność pomiaru kalibracji wzorca, U - niepewność pomiaru uzyskanego za pomocą WRUP.

Kolejnym etapem weryfikacji były pomiary wzorcujące, według akredytowanej procedury, opartej na normie ISO 10360-12. Wzorcowanie wykonano dla Współrzędnościowych Ramion Pomiarowych sześć- i siedmio- osiowych z enkoderami absolutnymi (model metrologiczny I i II) oraz sześciooosiowych z enkoderami inkrementalnymi (model metrologiczny II) a także z wykorzystaniem robota przemysłowego Kawasaki z głowicą Heidenhain (model metrologiczny I). Wyniki zostały zaprezentowane w monografii [1] i na międzynarodowych konferencjach takich jak XXII World Congress of the International Measurement Confederation IMEKO w Belfaście czy XIII International Scientific Conference Coordinate Measuring Technique w Bielsku Białej.

Ostatnim etapem weryfikacji było zastosowanie testów statystycznych, które opierały się na wynikach pomiarów wykonanych za pomocą rzeczywistych urządzeń i zwalidowanych metod: porównawczej i wielopozycyjnej, a także za pomocą wirtualnych redundantnych ramion i robotów. Metody te zostały dokładnie przedstawione w artykule [7], gdzie opisano algorytm walidacji oparty na modelu statystycznej spójności oraz modelu metrologicznej zgodności. Algorytmy te zostały następnie wykorzystane do sprawdzenia poprawności działania wirtualnych ramion pomiarowych w [6], gdzie za pomocą modelu metrologicznej zgodności, potwierdzono prawidłową ich funkcjonalność. Natomiast w oparciu o test normalnej spójności i miar rozbieżności "Birge'a", w [1] z enkoderami absolutnymi, jak również wirtualnego redundantnego robota pomiarowego.

Wszystkie przeprowadzone walidacje, jak również sprawdzenia działania funkcjonowania wirtualnych urządzeń pomiarowych, zostały pozytywnie potwierdzone.

Jak już wcześniej wspomniano, znaczna część prac związanych z przedstawionym osiągnięciem naukowym została zaprezentowana w monografii [1]. Stanowi ona najważniejszą publikację cyklu, która w sposób zwarty prezentuje przedstawione do oceny najważniejsze osiągnięcie naukowe autorki, które powstało według jej pomysłu i koncepcji oraz pod jej kierownictwem między innymi w trakcie realizacji projektu przeznaczonego dla młodych naukowców, a finansowanego przez NCBiR LIDER/024/559/L-4/12/NCBR/2013. Celem poddania krytyce naukowej część badań została szeroko zaprezentowana na: międzynarodowych konferencjach: w Polsce, w Czechach, w Wielkiej Brytanii czy Portugalii. Znaczna część została też opublikowana w artykułach w czasopiśmie z wykazu JCR i artykułach konferencyjnych indeksowanych w bazie SCOPUS uzyskując wysoką cytowalność,

a zatem pozytywne przyjęcie przez światowe środowisko metrologiczne. Prace te również stanowią część przedstawionego do oceny osiągnięcia naukowego (pozycje [2-7] punktu 4 niniejszego opracowania). Wkład autorki w wyżej wymienionych opracowaniach jest kluczowy i został opisany ilościowo i oszacowany w załączniku nr 4 do wniosku o przeprowadzenie przewodu habilitacyjnego oraz w stosownych oświadczeniach.

Monografia [1] zawiera również szereg opracowań, które mogą być bardzo użyteczne dla potencjalnego użytkownika RSP, a które nie były w pełni wcześniej publikowane, takie jak: szeroki opis budowy współrzędnościowych ramion pomiarowych – podrozdział 2.1, kinematyka redundantnych urządzeń pomiarowych o stałych węzłach kinematycznych – rozdział 3, dokładna procedura opisu redundantnych urządzeń pomiarowych na podstawie współrzędnościowych ramion pomiarowych zgodnie z producentem w notacji Denavita-Hartenberga – rozdział 3, wyprowadzenie wzoru pozwalającego na określenie błędu orientacji – podrozdział 3.1, diagram Ishikawy opracowany dla współrzędnościowych redundantnych systemów pomiarowych – podrozdział 6.2, systemy wyznaczenia, a następnie korekcji błędów pochodzących od temperatury oraz od błędów na enkoderach – również podrozdział 6.2 i 7.5 (dla robota przemysłowego), dokładny opis implementacji komputerowego systemu oceny niepewności pomiarów oraz sposób połączenia go z oprogramowaniem metrologicznym wykorzystywanym na rozpatrywanych redundantnych systemach współrzędnościowych – podrozdziały 6.5 i 7.5 (dla robota przemysłowego), weryfikację poprawnego funkcjonowania systemu – załącznik, szczegółowe zdefiniowanie kierunków dalszego rozwoju przedstawionego systemu – rozdział 10, ale przede wszystkim kompletny wirtualny system pomiarowy dla robota przemysłowego – rozdział 7.

Bardzo ważnym dla praktyki laboratoryjnej, ale i przemysłowej było opracowanie przeze mnie nowej metody wzorcowania WRP. Metoda ta została zaprezentowana na międzynarodowej konferencji *-IMEKO TC14 Symposium on Laser Metrology for Precision Measurement and Inspection in Industry w Krakowie*, a następnie opublikowana w czasopiśmie indeksowanym w JCR z listy A [3]. Opracowana metoda miała tą przewagę nad innymi, iż była metodą bardzo dokładną, a dedykowaną szczególnie dla laboratoriów wzorcujących, gdzie jako wzorzec został wykorzystany LaserTracer. Ramię zamontowane było w kiści robota, który miał służyć tylko zapewnieniu powtarzalnych ruchów. Na końcu WRP zamiast końcówki pomiarowej umocowany został retroreflektor. Zastosowanie LaserTracer'a pozwoliło na wzorcowanie WRP o dużym zakresie, dla którego wzorce pomiarowe są bardzo długie, a co za tym idzie, są trudne w manewrowaniu. Przykładowo dla WRP o zakresie pomiarowym 5m wzorzec musiałby mieć co najmniej 3.3 m długości.

Jak już wspomniano wyżej, wykonane prace były szeroko prezentowane i spotkały się z pozytywnym odzewem i były wielokrotnie cytowane o czym świadczy Indeks H=7 (SCOPUS).

Postawiony cel naukowy: - **Opracowanie uniwersalnych, użytkowych modeli funkcjonalnych będących podstawą symulacyjnego systemu oceny niepewności dla pomiarowych współrzędnościowych urządzeń redundantnych o stałych węzłach kinematycznych oraz budowie otwartego łańcucha kinematycznego** - stanowi wkład w rozwój dyscypliny naukowej zgłoszonego osiągnięcia, a został zrealizowany poprzez wykazanie tez w odniesieniu do postawionych założeń:

1. Zastosowanie modelu metrologicznego MM II i wykazuje lepszą zgodność z modelem producenta.

2. Model metrologiczny MM I jest zgodny z założeniami metrologii i jego wyniki zawierają się w założonej dokładności producenta, mimo tego że nigdy nie będziemy w stanie jeden do jednego skopiować jego błędów (jak ma to miejsce w MM II), gdyż producenci wprowadzają swoje korekty, które mogą posiadać inny algorytm, lepszy lub gorszy od użytego w niniejszej pracy, co będzie skutkowało zmiennym polem błędów.
3. Zmienność temperatury ma kluczowy wpływ na wybór modelu metrologicznego na którym zostanie oparty system
4. Wyznaczenie niepewności pomiaru w warunkach przemysłowych z zastosowaniem opracowanego systemu przebiega w znacznie krótszym czasie niż w przypadku popularnie stosowanych metod: porównawczej oraz wielopozycyjnej.
5. Implementacja niniejszego systemu nie przekracza czasu wzorcowania systemu według normy ISO 10360-12.
6. **Wirtualny system pomiarowy ma duży potencjał wdrożeniowy i po nieznacznych zmianach, z powodzeniem może być wykorzystywany do wszystkich urządzeń pomiarowych o otwartym łańcuchu kinematycznym a z stałymi więzami.**
7. **Zastosowanie baz danych jako "serca systemu" pozwala na jego łatwą implementację bezpośrednio na linii produkcyjnej, jak również w całym przedsiębiorstwie w wielu działach jednocześnie.**

W oparciu o doniesienia literaturowe oraz dyskusje konferencyjne na największych sympozach i kongresach można stwierdzić, że opracowany Wirtualny Redundantny System Pomiarowy jest innowacyjny i unikatowy w skali światowej. W żadnym ośrodku naukowym lub przemysłowym na świecie nie powstały podobne rozwiązania. Zastosowanie baz danych do przechowywania pomiarów rzeczywistych i zasymulowanych pozwoli na ich wykorzystanie do korekty błędów, w sprzężeniu zwrotnym na linii produkcyjnej. Natomiast przeniesienie takiego rozwiązania na Roboty Przemysłowe otwiera nowy nurt, który jest zgodny z założeniami szeroko rozumianego Przemysłu 4.0. Zbudowany model funkcyjny jest uniwersalny i można go z powodzeniem przenieść na nowe urządzenia o podobnej konstrukcji. Czas instalowania systemu jest krótszy niż czas wzorcowania takiego urządzenia, co również przyczyni się do jego szybkiego rozwoju. Biorąc pod uwagę przedstawione powyżej zalety oraz rozważając możliwe oddziaływanie systemu na rozwój metrologii współrzędnościowej w Polsce jak również oceniając szanse jego popularyzacji, należy zauważyć, iż system wykazuje duży potencjał wdrożeniowy.

Tak jak wspomniano już wcześniej, wyznaczenie niepewności metodami konwencjonalnymi jest często dedykowane tylko dla wysoko wykwalifikowanej kadry, a do ich przeprowadzenia potrzebne są przeznaczone wzorce oraz bardzo długi czas wykonania. Dlatego opracowany system tym bardziej będzie pożądanym przez zakłady produkcyjne, gdyż przyczyni się on do podniesienia tzw. "kultury metrologicznej" więc zmniejszenia kosztów poprzez skrócenie czasu pomiaru, pozwoli też na podanie wyniku wraz z niepewnością, bez potrzeby wykonywania czasochłonnych pomiarów, ale przede wszystkim umożliwi wykonanie pomiaru każdemu operatorowi urządzeń pomiarowych po 15 minutowym szkoleniu z jego obsługi.



7. Dorobek naukowy wnioskodawcy, świadczących o istotnej aktywności naukowej

7.1. Zestawienie informacji o publikacjach, cytowaniach oraz udziale w projektach

Poniższe zestawienia przedstawiają **publikacje, cytowania oraz udział w projektach badawczych Autorki.**

Rodzaj publikacji	Przed doktoratem	Po doktoracie	Łącznie
Publikacje ogółem	10	52	62
Publikacje z bazy JCR (część A wykazu czasopism naukowych)	-	12	12
Publikacje w punktowanych czasopismach krajowych (część B wykazu czasopism naukowych)	2	14	16
Publikacje w materiałach konferencyjnych - po angielsku	3	25	28
Publikacje w materiałach konferencyjnych - po polsku	-	-	-
Rozdziały w monografiach	4	1	5
Monografie	-	1	1
Sumaryczny Impact Factor publikacji	-	17.843	17.843

Źródło	Ilość cytowań		Indeks Hirscha
	wszystkich	bez autocytowań	
Web of Science	121	111	6
Scopus	160	140	7

Udział w konferencjach	Ilość
Wystąpienia na konferencjach międzynarodowych	10
Udział w konferencjach międzynarodowych bez wystąpienia	15
Razem	25
Prowadzenie sesji na konferencjach międzynarodowych	1

Udział w projektach badawczych	Ilość
Jako kierownik projektu	1
Jako członek zespołu badawczego	9
Projekty działalności statusowej	2

Dane o cytowaniach z dnia 21.11.2018.

7.2. Udział w realizacji projektów badawczych

Autorka od początku swojej działalności naukowej **wchodziła w skład lub przewodniczyła wielu projektom badawczym** przedstawionym w poniższym zestawieniu.

Tytuł projektu	Lata realizacji	Nazwa organu przyznającego fundusze	Numer projektu/Edycja	Charakter udziału habilitanta
System oceny dokładności pomiarów współrzędnościowych on-line realizowanych urządzeniami redundantnymi	(2014-2016)	Narodowe Centrum Badań i Rozwoju	LIDER/024/559/L-4/12/NCBR/2013	Kierownik
Metoda oceny dokładności pomiarów współrzędnościowych realizowanych w warunkach przemysłowych wykonywana w trybie on-line	(2013-2015)	Narodowe Centrum Badań i Rozwoju	LIDER/06/117/L-3/11/NCBR/2012	Wykonawca
3DCentral -Catalyzing smart engineering and rapid prototyping	(2016-2018)	Interreg Central Europe CE634	Projekt międzynarodowy	Wykonawca
Fantom do testów eksploatacyjnych urządzeń radioterapeutycznych w teleradioterapii	(2017-2020)	Narodowe Centrum Badań i Rozwoju	POIR.04.01.04-00-0014/16, Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014- 2020	Wykonawca-Kierownik zespołu
Opracowanie i wdrożenie do produkcji kompleksowego bezdotykowego systemu pomiaru obiektów przestrzennych przystosowanego do realizacji precyzyjnych pomiarów metrologicznych w	(2015-2018)		POIR.01.01.01-00-0376/15,	Podwykonawca-Kierownik zespołu

warunkach wysokiego nasłonecznienia				
Badania rozwojowe nad wzorcowaniem (z wykorzystaniem Laser Tracera) i wyznaczaniem niepewności pomiarów dla systemów współrzędnościowych	(2010-2013)	Narodowe Centrum Badań i Rozwoju	Nr N R01 0048 10	Wykonawca-członek zespołu
Metoda oceny dokładności pomiarów realizowanych redundantnymi systemami współrzędnościowymi	(2008-2010)	Narodowe Centrum Badań i Rozwoju	2559/B/T02/2008/35	Wykonawca-członek zespołu
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	(2006-2009)	Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego	Nr R03 029 01	Wykonawca-członek zespołu
TRACES- Translation Calibration Expert System	2005-2007	Europejski projekt	C517456 Projekt Europejski realizowany w ramach e-Ten	Wykonawca-członek zespołu
Technologie wzorcowania optycznych systemów współrzędnościowych	2012	Projekt Działalności Statusowej	M10/270/DS.-M/2012	Kierownik
Opracowanie metody pomiaru wyrobów wielkogabarytowych z wykorzystaniem nowoczesnej fotogrametrii statycznej	2007	Projekt Działalności Statusowej	M6/541/DS/2007	Kierownik
System MACS-monitorowanie spawania i hartowania laserowego w czasie rzeczywistym	2018	Projekt współfinansowany ze środków EFRR w ramach Regionalnego Programu	WND-RPSL.01.02.00-24-0894/17-004	Ekspert

		Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014-2020		
--	--	---	--	--

7.3. Pozostałe osiągnięcia w działalności naukowo- badawczej oraz rozwiązywanie zadań metrologicznych w laboratorium akredytowanym i w zastosowaniach przemysłowych

7.3.1. Udział w pracach akredytowanego laboratorium wzorcującego

Od lutego 2010 Autorka jest **członkiem personelu akredytowanego laboratorium wzorcującego LMW**. W latach 2011-2015 była zastępcą kierownika do spraw jakości. Do jej głównych obowiązków należą:

- Wzorcowanie Współrzędnościowych Systemów Pomiarowych wyposażonych w zespół głowicy pomiarowej rejestrującej obraz zgodnie z normą PN-EN ISO 10360-7:2011”
- -Wzorcowanie Współrzędnościowych Systemów Pomiarowych z czujnikami optycznymi odległości zgodnie z zaleceniami VDI/VDE 2634 Blatt 2:2012”,
- Wzorcowanie Współrzędnościowych Systemów Pomiarowych zgodnie z normą PN-EN ISO 10360-12:2017-02”.
- Wzorcowanie z zastosowaniem stykowych Współrzędnościowych Systemów Pomiarowych”,
- Wzorcowanie z zastosowaniem Laserowego Systemu Nadążnego”,
- Wzorcowanie kul i pierścieni wzorcowych z zastosowaniem Współrzędnościowej Maszyny Pomiarowej w oparciu o pomiar porównawczy”,
- Wzorcowanie z zastosowaniem Optycznych Współrzędnościowych Systemów Pomiarowych”.

Dzięki między innymi, że jestem pracownikiem akredytowanego laboratorium wzorcującego, mam stały kontakt z przemysłem. Jest to bardzo ważne z punktu widzenia działalności naukowej czy badawczej, gdyż moje prace nakierowane są na rozwiązywanie rzeczywistych problemów występujących w ośrodkach przemysłowych. Ponadto udział mój w pracach związanych z akredytacją LMW, pozwala mi na utrzymanie biegłości w pomiarach współrzędnościowych oraz ciągłe doskonalenie umiejętności.

7.3.2. Współpraca z przemysłem

Ścisła współpraca z wieloma, dużymi i znaczącymi firmami. Autorka ma na swoim koncie wiele projektów i zleceń badawczych oraz wzorcowań dla:

- Volkswagen Poznań Sp. z o.o.,
- Fiat Auto Poland S.A.,
- Delphi Poland S.A.,
- ALSTOM Power Sp. z o.o.,
- Pilkington Automotive Poland,
- Arcelor Mittal Poland,

- CREUZET Polska Sp. z o.o. (część LISI AEROSPACE),
- AKE Robotics Sp. z o.o. (podwykonawca Porsche AG),
- EUROMETAL Sp. z o.o.,
- SPLAST Sp. z o.o.,
- Iwamet Sp. z o.o.,
- Valeo Autosystemy sp. z o.o.;
- Pratt& Whitney Tubes
- Carl Zeiss Sp. z o.o. - Dział Metrologii Przemysłowej,
- HexagonMetrology GmbH,
- Smarttech Sp. z o.o.
- Smart Solutions;
- Nikon Metrology.

Jak wspomniano wcześniej współpraca z przemysłem jest nieodzowną częścią aktywności autorki w akredytowanym laboratorium wzorującym. Polega ona na wykonywaniu projektów badawczych, skomplikowanych z punktu widzenia metrologii i wymaganej dokładności pomiarów, w tym wzorujących oraz sprawdzających maszyny współrzędnościowe stykowe jak również bezstykowe. Istotną częścią współpracy jest również przeprowadzanie szkoleń związanych z metrologią współrzędnościową, jak również konsultacje metrologiczne. **Autorka zainicjowała współpracę z polską firmą Smarttech 3D, zajmującą się systemami optycznymi, co zaowocowało podpisaniem umowy i otwarciem laboratorium pomiarów optycznych na Wydziale Mechanicznym PK wyposażonego przez tę firmę w sprzęt pomiarowy o wartości kilkuset tysięcy złotych.**

7.3.3 Organizacja konferencji naukowych i przewodniczenie sesjom

Organizatorka konferencji Politechniki Krakowskiej i Głównego Urzędu Miar GUM pt. „*Europejskie programy metrologiczne: EMRP i EMPIR – szanse dla polskiej metrologii*”. Konferencja ta tematycznie poświęcona była zagadnieniom dotyczącym współpracy naukowej w dziedzinie metrologii, realizowanej w ramach europejskich programów badawczych koordynowanych przez EURAMET (Europejskie Stowarzyszenie Krajowych Instytucji Metrologicznych). W jej ramach zostały omówione rezultaty dotychczasowego uczestnictwa Polski w Europejskim programie badań naukowych w dziedzinie metrologii (EMRP) oraz przekazane zostały najaktualniejsze informacje o możliwości i zasadach udziału w nowym programie EMPIR – Europejskim programie na rzecz innowacji i badań w dziedzinie metrologii.

Autorka była jednym z współorganizatorów dużej międzynarodowej konferencji naukowej – 11th International Symposium on Measurement and Quality Control w 2013 r. organizowanej w Krakowie i Kielcach. TC14 IMEKO. Jest to jedna z najważniejszych konferencji z obszaru metrologii wielkości geometrycznych i systemów jakości na świecie. W 2013 r. zaszczyt prowadzenia tej konferencji przypadł polskim uczelniom technicznym: Politechnice Świętokrzyskiej, Politechnice Krakowskiej oraz Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej.

Autorce powierzono, jako wyraz uznania w środowisku naukowym, **przewodzenie sesji na międzynarodowej konferencji: XIII International Scientific Conference, Coordinate Measuring Technique 2016 roku.**

7.3.4. Recenzje

Autorka jest stałym recenzentem (15 recenzji) w następujących czasopismach ujętych w bazie JCR (lista A):

- Sensors – 7 recenzji,
- Measurement Science and Technology – 2 recenzje,
- Measurement – 4 recenzje,
- MDPI Machines-1 recenzja,
- Opto-Electronics -1 recenzja.

7.3.5. Nagrody, stypendia i wyróżnienia

Autorka jest laureatką wielu nagród i stypendiów wykazanych w poniższym zestawieniu.

Nazwa nagrody	Rok przyznania	Nazwa organu przyznającego nagrodę	Tytuł z jakiego została przyznana nagroda
Stypendium w ramach „Małopolskie stypendium Doktoranckie” ZPORR	2009	Europejski Fundusz Społeczny w ramach Zintegrowanego Programu Operacyjnego Rozwoju Regionalnego	Indywidualne jednorazowe stypendium naukowe w celu wsparcia działalności naukowo badawczej
Nagroda Rektora	2014	Rektor Politechniki Krakowskiej	Nagroda zespołowa I stopnia za osiągnięcia naukowe
Nagroda Rektora	2015	Rektor Politechniki Krakowskiej	Nagroda zespołowa I stopnia za osiągnięcia organizacyjne
Nagroda Rektora	2016	Rektor Politechniki Krakowskiej	Nagroda zespołowa I stopnia za osiągnięcia organizacyjne
Nagroda Dziekana Wydziału Mechanicznego	2018	Dziekan Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej	Nagroda indywidualna za promocję Wydziału Mechanicznego jako koordynator Festiwalu Nauki i Małopolskiej Nocy Naukowców z ramienia Dziekana WM

7.3.6. Zgłoszenia patentowe

Zgłoszenia zarejestrowane przez Urząd Patentowy RP dnia 30.01.2017:

1. „Wzorzec do wyznaczania błędów optycznych urządzeń pomiarowych” (autorzy: A. Gąska, M. Gruza, P. Gąska, W. Harmatys, **K. Ostrowska**, J. Śladek) – zgłoszenie w Urzędzie Patentowym RP pod numerem zgłoszeniowym P.420352.
2. „Wzorzec do wyznaczania błędów pomiaru długości z gniazdami kulowymi” (autorzy: W. Harmatys, **K. Ostrowska**, A. Gąska, P. Gąska, J. Śladek) – zgłoszenie w Urzędzie Patentowym RP pod numerem zgłoszeniowym P.420353.

7.4. Działalność dydaktyczna i popularyzująca naukę, osiągnięcia w kształceniu kadry naukowej

7.4.1. Udział w kształceniu kadry naukowej

Autorka była promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim dr inż. Danuty Owczarek "Modelowanie niepewności we współrzędnościowych pomiarach optycznych" – praca obroniona w październiku 2017 roku na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej.

7.4.2. Działalność dydaktyczna

Oprócz działalności naukowej autorka **angażowała się również w działalność dydaktyczną**, która została scharakteryzowana w poniższym zestawieniu:

Lp	Nazwa osiągnięcia	Liczba osób nad którymi sprawowana była opieka naukowa	Rok
1	Prace dyplomowe	Habilitantka od uzyskania stopnia doktora w każdym roku akademickim prowadziła 10 prac dyplomowych (8-studia stacjonarne, 2-studia niestacjonarne) (zarówno na studiach inżynierskich jak i magisterskich) co daje opiekę nad około 70 pracami dyplomowymi.	2010/2011 2011/2012 2013/2014 2014/2015 2015/2016 2016/2017 2017/2018
2	Koło Naukowe Metrologii Współrzędnościowej - Współzałożycielka (razem z dr inż. Adamem Gąską), opiekun Koła Naukowego	Co roku koło naukowe zmienia liczbę uczestników, jednak liczba studentów czynnie uczestniczących w spotkaniach koła waha się od 20 do 30 osób. Zajęcia podzielone są na kilka zespołów zgodnie z kierunkiem studiów: Inżynieria Produkcji, Inżynieria Biomedyczna, Automatyka i Robotyka oraz Wzornictwo Przemysłowe	Od 2013

3	Opieka nad dwoma zespołami biorącymi udział w konkursie: Hackathonie Technologii Kosmicznych "ActInSpaca" dla Mechanicznej Agencji Kosmicznej (Francja, Belgia, Holandia)-jeden z zespołów zajął II miejsce w Polsce	2 X 5 osób	2016
4	Prowadzenie zajęć dydaktycznych dla studentów z Francji w ramach umowy z Institut de Formation Alterneepour l'Industrie de Transfotmation de Rhone-Alpes	30 osób	2016-2017
5	Wykłady -Faculty of Mechanical Engineering Department of Production Engineering, Department of Computer Support of Technology, Słowacja		2017
6	Wykłady- Faculty of Mechanical Engineeringand Informatiics Department of Manufacturing Science, Węgry		2018

Opracowanie programów przedmiotów, stanowisk i prowadzenie zajęć według własnej koncepcji z przedmiotów:

- „Zaawansowane systemy pomiarowe”,
- „Zautomatyzowane systemy pomiarów współrzędnościowych”,
- „Zaawansowane systemy pomiarów współrzędnościowych produktu”,
- „Metrologia w procesach wytwarzania makroelementów”,
- "Pomiary bezstykowe",
- "Współrzędnościowa Technika Pomiarowa".

Opracowanie programów przedmiotów, stanowisk i prowadzenie zajęć według własnej koncepcji z przedmiotów opracowanych na studia podyplomowe:

- „Obrazowanie i skanowanie bezstykowe obiektów-technika skanerów światła strukturalnego i skanowanie laserowe”,
- „Mobilne systemy Współrzędnościowe -Ramiona Pomiarowe i Laser Trackery w tym pomiary wielkogabarytowe”.

Opracowanie programów przedmiotów, stanowisk i prowadzenie zajęć według własnej koncepcji z przedmiotów w języku angielskim (zajęcia dla studentów z Francji, Erasmus oraz na wyjazdach zagranicznych w ramach Erasmus):

- „Coordinate metrology”;
- "Coordinate measuring systems".

7.4.3. Działalność organizacyjna i popularyzująca naukę

Autorka angażowała się również w **działalność organizacyjną i popularyzującą naukę**. Najważniejsze działania zostały ujęte w poniższym zestawieniu.

LP	Osiągnięcie	Rok	Stanowisko
1	Festiwal Nauki i Sztuki prezentujące Wydział Mechaniczny Politechniki Krakowskiej pokazy odbywające się na Rynku Głównym w Krakowie.	16.05.2009 15.05.2010 14.05.2011 12.05.2012 15.05.2013	Wykonawca
2	Festiwal Nauki i Sztuki prezentujące Wydział Mechaniczny Politechniki Krakowskiej pokazy odbywające się na Rynku Głównym w Krakowie.	19.05.2014 20.05.2015 19.05.2016	Koordynator z ramienia Wydziału Mechanicznego
3	Festiwal Nauki i Sztuki prezentujące Wydział Mechaniczny Politechniki Krakowskiej pokazy odbywające się na Rynku Głównym w Krakowie.	17.05.2017 16.05.2018	Koordynator z ramienia Wydziału Mechanicznego
4	Małopolska Noc Naukowców prezentująca Najciekawsze laboratoria Politechniki Krakowskiej	25 .09. 2009	Wykonawca
5	Małopolska Noc Naukowców prezentująca Najciekawsze laboratoria Politechniki Krakowskiej	26.09.2014 24.09.2015 29.09.2016 29.09.2017 28.09.2018	Koordynator z ramienia Wydziału Mechanicznego
6	Festiwal Nauki w Oświęcimiu pod patronatem Rektora Politechniki Krakowskiej	15.01.2014 14.01.2015 13.01.2016	Wykonawca
7	Członek komisji do spraw Promocji Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej	2010-2018	Członek Komisji/ od 2017 zastępca przewodniczącego komisji do spraw Promocji Wydziału Mechanicznego
8	Członek komisji rekrutacyjnej Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej	2015-2016	Członek Komisji
8	Prezentacje podczas Dni Otwartych Politechniki Krakowskiej	2010-2018	Wykonawca
9	Prezentacje na Dzień Mechanika -dni otwarte Wydziału Mechanicznego organizowane przez Samorząd Studencki	2015-2017	Wykonawca
10	Prezentacje na Dzień Dziecka w Niepołomicach promujące Wydział Mechaniczny	28.05.2017	Wykonawca
11	Organizacja wizyt studyjnych w Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej dla zagranicznych gości LMW PK oraz uczestników konferencji międzynarodowych	2009-2018	Organizator
12	Współorganizacja (razem z dr inż. Adamem Gąską) wizyt studyjnych w Carl Zeiss Sp. z o.o.,	2009-2018	Organizator

	Smart Solution, Smarttech 3D, Hexagon Metrology, Instytut Odlewnictwa oraz staży dla członków Koła Naukowego Metrologii Współrzędnościowej.		
13	Opieka nad studentami zdobywającymi liczne nagrody i wyróżnienia na Uczelnianych Sesjach Kół Naukowych (m.in. wyróżnienie na USSKN 2015; pierwsze i trzecie miejsce oraz wyróżnienie na USSKN 2016), wystąpienie na dniu innowacji InTech PK, drugie miejsce w Hackathon w całej Polsce.	2015-2018	Opiekun i założyciel Koła Naukowego Metrologii Współrzędnościowej

7.4.4. Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych

Autorka starając się uczestniczyć w globalnej wymianie myśli naukowej **jest członkiem następujących organizacji i towarzystw naukowych:**

1. Ekspert międzynarodowej grupy organu roboczego CEN/CENELEC, ISO/IEC, grupy WG 10 -Coordinate measuring machines, 12 -Size, 18-Geometrical tolerancing;
2. Komitet Techniczny Polskiego Komitetu Normalizacyjnego nr 48 ds. Podstaw Budowy Maszyn- reprezentantka Politechniki Krakowskiej od 10 marca 2011 roku –trwa;
3. Towarzystwo Naukowe Metrologii Współrzędnościowej, 10.2013 – trwa, Prezes, członek zarządu, założyciel;
4. ProCAX - Polskie Stowarzyszenie Upowszechniania Komputerowych Systemów Inżynierskich, 11.2013 – trwa, członek.

7.5. Współpraca międzynarodowa z zagranicznymi jednostkami naukowymi

Autorka **współpracuje lub współpracowała z następującymi zagranicznymi jednostkami naukowymi:**

1. Międzynarodowy projekt realizowany w konsorcjum z 11 partnerami reprezentującymi 10 regionów Europy Środkowej pt. 3DCentral - Catalyzing Smart Engineering and Rapid Prototyping. (CE634 realizowany w ramach programu INTERREG CENTRAL EUROPE). Partnerami w ramach konsorcjum są: IDM Suedtirol Alto Adige (Südtirol - Włochy)- Lider projektu, AFIL –ASSOCIAZIONE FABBRICA INTELLIGENTE LomBARDIA (Włochy), Campus 02 (Austria), Evolaris next level GMBH (Austria), Fraunhofer IWU, Institute for Machine Tools and Forming Technology (Niemcy), Wirtschaftsforderung Region Stuttgart GmbH (Niemcy), Tehnološki park Ljubljana d.o.o. (Słowenia), Pomurski tehnološki park (Słowenia), Pannon Gazdasági Hálózat Egyesület (Węgry), Krakowski Park Technologiczny Sp.zo.o. (Polska), Politechnika Krakowska, Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji (Polska). W ramach podejmowanych działań opracowany został specjalistyczny program wsparcia - sieci współpracy pomiędzy regionami środkowej Europy.

2. Od 02.2011 podjęłam aktywną współpracę w obszarze naukowo-badawczym 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). Celem wspólnego polsko-niemieckiego projektu było zaprojektowanie i wykonanie medycznego robota Cyclobot.

3. Od 2018 roku jestem członkiem międzynarodowej grupy organu roboczego CEN/CENELEC, ISO/IEC, grupy WG 10 -Coordinate measuring machines, WG 12 -Size, WG 18-Geometrical tolerancing. Ogran ten prowadzi prace nad zapewnieniem zasad i polityki normalizacji, tworząc tym samym normy dotyczące zasad kalibracji współrzędnościowych systemów pomiarowych. Grupa WG 18 natomiast dotyczy norm z zakresu tolerancji wymiarów.

7.6. Podnoszenie kwalifikacji zawodowych – szkolenia w zagranicznych i krajowych ośrodkach, wizyty studyjne

Autorka **podnosiła swoje kwalifikacje zawodowe** między innymi poprzez:

Data	Rodzaj i nazwa kursu/szkolenia	Organizator
08.2017	LabViewCore 1	National Instruments
12.2016	Zapytania SQL w bazach danych Microsoft SQL Server	Pro Innowacja
12.2015	Obsługa i programowanie robotów Kawasaki - część II	ASTOR
10.2015	Podstawy programowania robotów Kawasaki	ASTOR
06.2015	Oprogramowania Calypso programowanie CAD	Carl Zeiss
05.2014	Szkolenie z obsługi i programowania maszyny pomiarowej LK z oprogramowaniem CMM Manager i Focus	Smart Solutions
02.2014	Zarządzanie projektami badawczymi	Narodowe Centrum Badań i Rozwoju
02.2014	Zarządzanie zasobami ludzkimi w projekcie badawczym	Ośrodek Doradztwa i Treningu Kierowniczego "Spółdzielnia" oraz Akademia Morska w Gdyni
12.2013	Automatyzacja i robotyzacja w przemyśle	Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP
04.03.2013	Cykl szkoleniowy z zakresu symulacji biznesowej prowadzenia działalności gospodarczej „Akademia przedsiębiorczości”	Akademicki Inkubator Przedsiębiorczości PK
01.2012	Kurs programu Statistica	Politechnika Krakowska
27.09.2011	Wzorcowanie współrzędnościowych systemów pomiarowych oraz wyznaczanie niepewności wzorcowania WSP	Politechnika Krakowska/ Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej
27.06.2011	Dobre praktyki laboratoryjne i metrologiczne w laboratorium wzorującym	Politechnika Krakowska/ Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej
27.10.2010	Wzorcowanie wymiarów geometrycznych z zastosowaniem Laserowego Systemu Nadążnego	Politechnika Krakowska/ Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej
08.2010	<i>Obsługa Współrzędnościowego Ramienia Pomiarowego wraz z oprogramowaniem pomiarowym PC-DMIS i oprogramowaniem 3DReshaper do skanowania, i obróbki chmury punktów</i>	Hexagon Metrology
2004	Kurs w zakresie projektowania w systemie Catia v5	Politechnika Krakowska