

Prof. dr hab. inż. Janusz Gajda  
Akademia Górniczo – Hutnicza  
Katedra Metrologii i Elektroniki  
Kraków

Kraków, 15.12.2023r.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA  
Biuro Rady Dyscypliny  
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika  
i Technologie Kosmiczne

wpłynęło dnia 18.12.2023

nr ..... zał. ....

**OCENA**  
**osiągnięcia naukowego**  
**pt. „Układy różnicowe i ilorazowe w metrologii impedancyjnej najwyższych dokładności”**  
**dr inż. Krzysztofa Musioła,**  
**opracowana w związku z postępowaniem o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego**

**WSTĘP FORMALNY**

Ocena osiągnięcia naukowego oraz aktywności naukowej dr inż. Krzysztofa Musioła została wykonana na zlecenie dr hab. inż. Moniki Kwoki, profesor uczelni, Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Śląskiej. Zlecenie zostało wystawione w dniu 26 października 2023r.

Ocena została przeprowadzona zgodnie z wymaganiami Ustawy z dnia **USTAWA** z dnia 20 lipca 2018 r. **Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce** (z późniejszymi zmianami- **Dz. U. z 2023 r. poz. 742.**). W rozdziale 3 Ustawy zawarte zostały następujące wymagania dotyczące przewodu habilitacyjnego:

**Art. 219. 1. Stopień doktora habilitowanego nadaje się osobie, która:**

- 1) *posiada stopień doktora,*
- 2) *posiada w dorobku osiągnięcia naukowe albo artystyczne, stanowiące znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny, w tym co najmniej:*
  - a) *1 monografię naukową wydaną przez wydawnictwo, które w roku opublikowania monografii w ostatecznej formie było ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. a, lub*
  - b) *1 cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b, lub*
  - c) *1 zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne lub artystyczne,*
- 3) *wykazuje się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.*

Opracowując tę recenzję kierowałem się również zaleceniami opublikowanymi na stronie internetowej Rady Doskonałości Naukowej, zgodnie z którymi cyt.: „Należy także wskazać, że pozytywna konkluzja opinii recenzenta wymaga łącznie zarówno potwierdzenia spełnienia wymogu określonego w punkcie pierwszym, jak i wyrażenia pozytywnej oceny, o której mowa w punkcie drugim. Brak jest natomiast podstaw, by recenzenci – formułując ostateczną konkluzję swoich opinii – mogli brać pod uwagę inne aspekty niż wyżej wskazane”.

Ocena dorobku dr inż. Krzysztofa Musioła została opracowana na podstawie materiałów zawartych w dokumentacji tj.:

1. Autoreferatu,
2. Kopii dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora nauk technicznych,
3. Kopii publikacji związanych z osiągnięciem naukowym,
4. Oświadczeń współautorów potwierdzających indywidualny wkład Habilitanta,
5. Wykazu osiągnięć naukowych Habilitanta,
6. Kopii dokumentów potwierdzających osiągnięcia Habilitanta.

## **SYLWETKA NAUKOWA I ZAWODOWA HABILITANTA**

### **Wykształcenie i uzyskane stopnie naukowe**

- 2002 Tytuł zawodowy magistra inżyniera, kierunek studiów: elektrotechnika, specjalność: automatyka i metrologia elektryczna Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny, Tytuł pracy: *Wzorcowy dzielnik rezystancyjny*,
- 2007 Stopień naukowy doktora w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie elektrotechnika, Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny. Tytuł rozprawy: *Opracowanie, badania i zastosowanie multipleksera wzorców indukcyjności*. Uchwała RW z dnia 4 września 2007, promotor prof. dr hab. inż. Tadeusz Skubis.

### **Przebieg pracy zawodowej, zajmowane stanowiska**

- 2007 - Adiunkt Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny  
do VIII 2017r. : Instytut Metrologii, Elektroniki i Automatyki  
od IX 2017r. : Katedra Metrologii, Elektroniki i Automatyki

### **OCENA OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO pt. „Układy różnicowe i ilorazowe w metrologii impedancyjnej najwyższych dokładności”**

Wniosek habilitacyjny dr inż. Krzysztofa Musioła opiera się na monotematycznym cyklu 9 artykułów opublikowanych w międzynarodowych czasopismach naukowych:

[KM1] K. Musioł (70%), M. Kampik (20%), A. Ziótek (5%), J. Jursza (5%): “Experiences with a new sampling-based four-terminal-pair digital impedance bridge”, *Measurement*, Volume 205, December 2022, 112159, 200 pkt. MEiN, IF2021=5.131

[KM2] K. Musioł (100%): “Experimental Study of Digitizers Used in High-Precision Impedance Measurements”, *Energies*, 2022, 15(11), 4051, 140 pkt. MEiN, IF2022=3.252

[KM3] M. Kampik (55%), K. Musioł (45%): “Investigations of the high-performance source of digitally synthesized sinusoidal voltage for primary impedance metrology”, *Measurement*, Volume 168, 15 January 2021, 200 pkt. MEiN, IF2021=5.131

[KM4] J. Augustyn (40%), M. Kampik (30%), K. Musioł (30%): “Investigation of Selected Reconstruction Algorithms Used for Determination of Complex Ratio of AC Voltages”, *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, Volume 70, April 2021, 100 pkt. MEiN, IF2021=5.332

[KM5] M. Ortolano , M. Marzano , V. D’Elia , N. T. M. Tran, R. Rybski, J. Kaczmarek, M. Kozioł, K. Musioł (10%) , A. E. Christensen , L. Callegaro , J. Kucera , O. Power: “A Comprehensive Analysis of

Error Sources in Electronic Fully Digital Impedance Bridges”, *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, Volume 70, April 2021. 100 pkt. MEiN, IF2021=5.332

[KM6] K. Musioł (70%), M. Kampik (30%): “Metrological triangles in impedance comparison”. *Measurement*, Volume 148, December 2019, 200 pkt. MEiN, IF2019=3.364

[KM7] K. Musioł (65%), T. Skubis (35%): “The use of 1:1 comparator bridge for 10:1 and 1:10 inductance standard transfer”. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 63, Issue:12, December 2014, 30 pkt. MEiN, IF2014=1.790

[KM8] A. Met (40%), K. Musioł (30%), T. Skubis (30%): Vector Voltmeter for High-Precision Unbalanced Comparator Bridge. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Volume 60, No. 2, February 2011, 25 pkt. MEiN, IF2011=1.106

[KM9] K. Musioł (40%), A. Met (30%), T. Skubis (30%): Automatic Bridge for Comparison of Inductance Standards. *Measurement*, Volume 43, Issue 10, December 2010, 27 pkt. MEiN, IF2011=0.853.

Zostały one opublikowane w czasopismach z listy JCR: *Measurement* (200pkt., 4 artykuły), *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement* (100 pkt., 4 artykuły), *Energies* (140pkt., 1 artykuł). Dominują artykuły współautorskie, w których Habilitant ma udział od 10% do 70%. Średni udział wynosi 46%. W czterech artykułach jest pierwszym autorem. Samodzielnie Habilitant opublikował jeden artykuł (*Energies*). Prace zaliczone do cyklu habilitacyjnego zostały opublikowane w latach 2010 –2022. Dominują prace opublikowane w latach 2019 – 2022. Sumaryczna liczba punktów MEiN cyklu publikacji wynosi 1022. Sumaryczny IF wynosi natomiast 33.643.

Wymienione publikacje oraz badania prowadzone przez Habilitanta dotyczą porównań wzorców impedancji, realizowanych przy zastosowaniu komparatorów impedancji. Zachowanie spójności pomiarowej w zakresie pomiarów impedancji wymaga przeprowadzania porównań wzorców impedancji z kwantowym wzorcem rezystancji, a w przypadku wzorców wtórnych z wzorcami odpowiednio wysokiej klasy. Zrealizowanie tego zadania wymaga skonstruowania odpowiednio dokładnych i stabilnych komparatorów impedancji, co wiąże się z koniecznością rozwiązania szeregu problemów konstrukcyjnych i algorytmicznych oraz opracowania metod weryfikowania metrologicznych właściwości tych komparatorów. Prace badawcze prowadzone przez Habilitanta dotyczą właśnie tych zagadnień. Ich celem jest rozwój komparatorów impedancji umożliwiających prowadzenie porównań z niepewnością względną na poziomie  $10^{-6}$  oraz opracowanie metod pomiarowych i przeprowadzenie ich walidacji. Biorąc pod uwagę taki cel badań prowadzonych przez Habilitanta należy uznać, że przedstawiony cykl publikacji jest merytorycznie spójny. Habilitant prowadzi swoje badania w zespole naukowym w Katedrze Metrologii, Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląskiej, kierowanym wcześniej przez prof. Tadeusza Skubisa, a obecnie przez prof. Mariana Kampika.

Oceniając badania prowadzone przez Habilitanta, ich cel oraz efekty, należy wziąć pod uwagę, że czołowe laboratoria metrologiczne jak np. NIST (USA), ale także Laboratorium Wzorców Napięcia i Rezystancji Zakładu Metrologii Elektrycznej Głównego Urzędu Miar posiadają wyposażenie umożliwiające odtwarzanie jednostki rezystancji (wzorec kwantowy) z niepewnością względną rzędu  $10^{-9}$ .

Tematyka badań prowadzonych przez dr inż. Krzysztofa Musioła dotyczy czterech zagadnień, związanych bezpośrednio z ogólnym celem badawczym. Są to:

- A) Opracowanie i rozwój komparatorów wzorców indukcyjności własnej oraz cyfrowych systemów komparacji impedancji. Wyniki tych prac zostały opublikowane w 6 artykułach

oznaczonych jako KM1, KM3, KM5, KM7÷KM9, wchodzących w skład przedstawionego cyklu habilitacyjnego.

- B) Rozwój metody walidacji układów komparacji impedancji przy wykorzystaniu tzw. „trójkątów metrologicznych” [KM1, KM6, KM9],
- C) Analiza i metody wyznaczania błędów nieliniowości źródeł cyfrowych i układów próbkujących wykorzystywanych w cyfrowych komparatorach impedancji [KM2, KM5],
- D) Badania algorytmów wykorzystywanych do wyznaczania zespolonego stosunku napięć [KM4].

#### **Ad. A)**

W tym zakresie badania prowadzone przez Habilitanta dotyczyły rozwoju komparatora impedancji oznaczonego jako KWL, opracowanego wcześniej w Katedrze MEiA. Badania spójności metrologicznej tego komparatora przeprowadzone przez Habilitanta dla grupy wzorców o wartościach 1 mH i 10 mH przy częstotliwości 1 kHz i 10 kHz wykazały spójność wyników komparacji na poziomie  $5 \times 10^{-6}$ . Habilitant wykazał, że przy użyciu komparatora KWL możliwy jest transfer jednostki indukcyjności na wielokrotność i podwielokrotność jednostki głównej. Badania zostały przeprowadzone w Instytucie PTB (Niemcy). W publikacji [KM7] wykazano, że względna niepewność standardowa transferu w takim przypadku jest o 125% wyższa od względnej niepewności porównania wzorców 1:1 (jednakowe wartości nominalne).

Bez wątplenia źródło zasilające układy komparacji impedancji i jego parametry jest istotnym elementem układów komparacji impedancji. Jego parametry wpływają bezpośrednio na niepewność wyniku porównania. Habilitant badał to zagadnienie w odniesieniu do dwóch rozwiązań konstrukcyjnych komparatora impedancji tj. komparatora generatorowego i komparatora próbkującego. W odniesieniu do komparatora generatorowego przeanalizował On źródła błędów uwzględniając błędy wynikające z nieliniowości charakterystyki źródeł, błędy wywołane przesłuchem między kanałami, błędy spowodowane obciążaniem generatora, a także niedokładnym zrównoważeniem układu.

Komparator próbkujący opracowany w zespole, w którym pracuje Habilitant i przy jego współudziale został wdrożony w GUM. Wyniki jego badań przeprowadzonych dla częstotliwości 100Hz, 1kHz i 1592Hz potwierdziły spójność wyników na poziomie lepszym niż  $10 \mu\Omega/\Omega$ , a w przypadku komparacji impedancji o zbliżonych modułach  $5 \mu\Omega/\Omega$ .

Poniżej zostały omówione wymienione wcześniej publikacje, prezentujące te zagadnienia.

KM1–W pracy przedstawione zostały wyniki badań próbkującego mostka impedancyjnego z czterema parami zacisków. Wyniki potwierdziły dokładność lepszą niż  $10^{-5}$ . Do walidacji układu zastosowano „metodę trójkąta metrologicznego”. Wyniki potwierdziły spójność pomiarową na poziomie od  $2.5 \times 10^{-6}$  do  $9 \times 10^{-6}$  w zakresie częstotliwości od 100Hz do 1592Hz. Niepewność wyniku pomiaru wyznaczona metodą „A” wyniosła mniej niż  $2 \times 10^{-6}$  (Habilitant używa błędnego określenia „niepewność typu A”). Przeprowadzono również porównanie wzorców kalibrowanych w celu sprawdzenia poprawności działania układu mostka oraz oceniono błąd nieliniowości przetwornika a/c, który ma znaczący udział w budżecie błędów układu. Wyznaczona wartość tego błędu wynosi  $5 \times 10^{-5}$ .

Wkład Habilitanta w tę publikację obejmował opracowanie koncepcji artykułu, zaproponowanie metodologii badań, przygotowanie w środowisku LabVIEW programu odpowiedzialnego za zrównoważenie mostka i sterującego systemem komparacji, przeprowadzenie badań elementów składowych systemu komparacji (multiplexera, transformatorów i systemu próbkującego), wykonanie komparacji w celu walidacji systemu, analizę wyników pomiarowych i analizę



niepewności, przygotowanie tekstu artykułu, końcową redakcję i edycję tekstu. Habilitant był autorem korespondencyjnym.

Wniesiony wkład potwierdza biegłość Habilitanta w prowadzeniu pomiarów o wysokiej dokładności oraz umiejętność przeprowadzenia analizy niepewności wyników. Wkład Habilitanta został wyceniony na 70%.

KM3—Artykuł dotyczy badań dwufazowego źródła cyfrowo syntetyzowanego napięcia sinusoidalnego. Celem badań było określenie parametrów generatora takich jak stabilność amplitudowa i fazowa generowanych sygnałów sinusoidalnych, wrażliwość na zmiany temperatury, rozdzielczość, liniowość i czystość widmowa generowanego sygnału.

Długoterminowa (miesięczna) stabilność badanego generatora w odniesieniu do amplitudy generowanego sygnału jest na poziomie  $2 \times 10^{-6}$ , a w stabilność fazy wynosi  $3 \mu\text{rad}$ . Współczynnik temperaturowy amplitudy generowanego sygnału wyniósł  $-0.3 \mu\text{V/V/K}$  dla kanału 1 oraz  $-2.3 \mu\text{V/V/K}$  dla kanału 2. W warunkach eksperymentu wpływ obciążenia na amplitudę generowanego sygnału był na poziomie  $-30 \mu\text{V/V}$ , a wpływ na fazę wyniósł  $-80 \mu\text{rad}$ . Współczynnik THD+N wyniósł 0,001% dla amplitudy generowanego sygnału 10V.

Wkład Habilitanta w postanie tej publikacji obejmował współudział w określeniu koncepcji artykułu, określenie metodologii przeprowadzenia badań parametrów metrologicznych cyfrowego źródła napięcia przemiennego, przebadanie właściwości metrologicznych cyfrowego źródła napięcia, analizę wyników pomiarowych, przygotowanie tekstu artykułu, końcową edycję tekstu. Habilitant był autorem korespondencyjnym.

Wkład Habilitanta ograniczył się do przeprowadzenia pomiarów oraz opracowania ich wyników, a także redakcji i edycji tekstu, co nie jest działalnością naukową. Wkład Habilitanta został oceniony na 45%.

KM5 –Praca dotyczy analizy błędów w pełni cyfrowego generatorowego mostka impedancji i ich porównania z błędami próbkującego komparatora impedancji. Przedmiotem analizy były błędy spowodowane przez nieliniowość charakterystyki generatora, przesłuchy generatora, wpływ obciążenia generatora oraz niezrównoważenia układu mostka.

W przypadku próbkującego komparatora impedancji uwzględnione zostały następujące źródła błędów: nieliniowość charakterystyki przetwornika a/c, przełączanie multiplexera oraz niezrównoważenie układu mostka. Przedstawione zostały wyniki badań eksperymentalnych obu rozwiązań układowych.

Wkład Habilitanta w powstanie tej publikacji obejmował badania i rozwój dwufazowego źródła napięcia przemiennego użytego w komparatorze próbkującym w Trescal (Dania), badania nieliniowości sześciofazowego źródła napięcia przemiennego użytego w komparatorze generatorowym i badania cyfrowego, generatorowego komparatora impedancji, przeprowadzone w INRiM (Włochy).

Wkład Habilitanta polegał na przeprowadzeniu badań istniejących rozwiązań komparatorów. Nie zostało wyjaśnione na czym polegał Jego wkład w „rozwój dwufazowego źródła napięcia przemiennego”. Wkład Habilitanta w powstanie tej publikacji został oceniony na 10%.

KM7—W pracy przedstawiono ideę zastosowania komparatora impedancji, przystosowanego do porównań 1:1, do transferu jednostki indukcyjności 10:1 tj. z 10mH do 1mH oraz z 1mH do 100μH. Badania zostały przeprowadzone na komparatorze KWL3 opracowanym w Katedrze Metrologii Elektroniki i Automatyki Politechniki Śląskiej. Wykazano, że względna niepewność standardowa

transferu w takim przypadku jest o 125% wyższa od względnej niepewności porównania wzorców 1:1.

Wkład Habilitanta wniesiony do tej publikacji obejmował współudział w opracowaniu koncepcji artykułu, opracowanie metodologii wykorzystania komparatora oznaczonego jako KWL3 do przeniesienia wartości wzorców na ich wielokrotności i podwielokrotności, analizę wpływu parametrów resztkowych komparatora na wyniki pomiarów, wykonanie pomiarów różnic indukcyjności w PTB (Niemcy), przygotowanie tekstu artykułu, końcową redakcję i edycję tekstu. Był autorem korespondencyjnym. Jego wkład został wyceniony na 65%.

Twórczym wkładem Habilitanta było opracowanie metodologii wykorzystania komparatora KWL3 do porównań wzorców z ich wielokrotnością i podwielokrotnością.

KM8 – Jest to bardzo wczesna publikacja pochodząca jeszcze z roku 2011. Opisano w niej zastosowanie woltomierza wektorowego do pomiaru napięcia nierównowagi w komparatorze impedancji. Przedstawiono budowę woltomierza oraz jego właściwości. Wykazano, że dla badanego układu komparatora impedancji współpracującego z woltomierzem wektorowym spójność pomiarowa osiąga wartość  $5\mu\text{H}/\text{H}$ .

Wkład Habilitanta obejmował współudział w określeniu koncepcji artykułu i metodologii badań, zaplanowanie badań woltomierza wektorowego i sposobu wizualizacji jego błędów, implementację metody trójkątów i wykonanie badań spójności w komparatorze różnicowym, przygotowanie tekstu artykułu, końcową edycję tekstu. Był On autorem korespondencyjnym.

Merytoryczny wkład Habilitanta obejmował badania błędów woltomierza wektorowego oraz badanie spójności metrologicznej w komparatorze różnicowym. Został wyceniony na 30%.

KM9 – Publikacja pochodzi z roku 2010. Opisano w niej układ komparatora indukcyjności oznaczony jako KWL5, umożliwiający porównywanie impedancji o takich samych wartościach (porównania 1:1). Wyniki badań pozwoliły wykazać powtarzalność wyników pomiarowych na poziomie 10ppm oraz spójność pomiarową na poziomie 5ppm.

Wkład Habilitanta wniesiony w tę pracę obejmował współudział w określeniu koncepcji artykułu i metodologii badań, zaplanowanie badań komparatora różnicowego, implementację metody trójkątów i wykonanie pomiarów spójności komparatorem różnicowym, wykonanie testów powtarzalności pomiarów komparatorem KWL, przygotowanie tekstu artykułu, końcową edycję tekstu. Był autorem korespondencyjnym.

Praca zawiera wiele elementów wspólnych z pracą oznaczoną jako KM8. Wkład wniesiony przez Habilitanta oceniam jako przyczynkowy. Został on wyceniony na 40%.

#### **Ad B)**

Badanie właściwości metrologicznych układów do dokładnych pomiarów impedancji (komparatorów impedancji) jest bez wątpienia istotnym problemem naukowym oraz technicznym mieszczącym się w obszarze metrologii. Podstawowa metoda stosowana w takich badaniach jest oparta na wzorcach impedancji. Posiada ona jednak pewne ograniczenia, do których w pierwszej kolejności należy zaliczyć konieczność dysponowania dwoma wzorcami impedancji, których wartości zostały wyznaczone z mniejszą niepewnością niż niepewność badanego układu pomiarowego. Warunek ten może być trudny do spełnienia dla wielu laboratoriów.

Alternatywą jest opracowanie metody pomiarowej nie stawiającej tak wysokich wymagań sprzętowych. Może nią być metoda badania spójności pomiarowej na podstawie tzw. „trójkątów

metrologicznych”, nazywana również metodą trójkątów. Wymaga ona wprawdzie użycia nie dwóch, lecz trzech wzorców, ale nie jest wymagana znajomość rzeczywistych wartości impedancji. Jest to istotną zaletą tej metody. Metoda ta jest stosowana w niektórych laboratoriach metrologicznych. Znane są zastosowania metody trójkątów w komparatorach różnicowych. Habilitant rozwinął tę metodę i przedstawił jej rozszerzenie również na obszar komparatorów ilorazowych. Skuteczność takiego rozszerzenia potwierdził wynikami swoich badań opublikowanymi np. w pracy [KM6]. Zgodnie ze stwierdzeniem Habilitanta zawartym w Autoreferacie cyt.: „Metoda trójkątów była przeze mnie wielokrotnie wykorzystywana, zwłaszcza na etapie budowy nowych lub modernizacji wcześniej skonstruowanych układów komparacji”.

Wyniki badań prowadzonych przez Habilitanta w tym obszarze merytorycznym zostały opublikowane w 3 artykułach dołączonych do cyklu habilitacyjnego. Są to prace oznaczone jako KM1, KM6, KM9.

KM1 - Publikacja została omówiona w ramach oceny dorobku Habilitanta w zakresie punktu A.

KM6 – W pracy zostały przedstawione podstawowe zależności opisujące metodę trójkątów metrologicznych, zastosowanej do różnicowych i ilorazowych komparatorów impedancji. Metoda pozwala wykryć błędy systematyczne jak również przeprowadzić analizę niepewności. Dla obu rozwiązań układowych została przeprowadzona analiza niepewności. Wyznaczona została łączna niepewność standardowa oceny poziomu spójności wzorców impedancji. Opisane zostały przyczyny wywołujące błędy oceny poziomu spójności w odniesieniu do układu ilorazowego. Wskazane również zostały przypadki, w których metoda trójkątów nie pozwala wykryć występowania błędów w układzie pomiarowym. Metoda trójkątów została zaimplementowana do oceny spójności dla przykładowych układów komparacji różnicowego i ilorazowego.

Habilitant przytacza argumenty praktyczne przemawiające na korzyść metody trójkątów jak np. brak w Polsce wystarczająco dokładnych wzorców impedancji, brak możliwości przeprowadzenia porównania z kwantowym wzorcem rezystancji i spowodowana tymi przyczynami konieczność korzystania z kosztownych usług laboratoriów zagranicznych (kwantowym wzorcem rezystancji dysponuje GUM). Wydaje się jednak, że z punktu widzenia oceny wkładu Habilitanta w rozwój dyscypliny naukowej trzeba przyjąć, że nauka jest jedna. Nie ma nauki polskiej i światowej, a przedmiotem oceny powinien być wkład wniesiony po prostu w naukę, bez przymiotników.

Wkład Habilitanta w powstanie publikacji obejmował: określenie koncepcji artykułu, opracowanie metody badań spójności pomiarów dla układów ilorazowych, przeprowadzenie analizy niepewności w pomiarach spójności, dokonanie analizy błędów występujących w pomiarach ilorazowych, opracowanie i budowę komparatora ilorazowego wykorzystującego cyfrowe źródła napięcia przemiennego, wykonanie komparacji w celu walidacji komparatora KWL4 i komparatora ilorazowego metodą trójkątów metrologicznych, przygotowanie tekstu artykułu. Habilitant był autorem korespondencyjnym. Wkład Habilitanta został oceniony na 70%.

KM9 – Publikacja została omówiona w ramach oceny dorobku Habilitanta w zakresie punktu A.

#### **Ad. C)**

Dorobek naukowy Habilitanta w tym obszarze merytorycznym został podsumowany w dwóch publikacjach wchodzących w skład cyklu habilitacyjnego. Są to prace oznaczone jako KM2 i KM5. Praca KM5 została omówiona wcześniej przy omawianiu dorobku zawartego w punkcie „A”. Obecnie skupię się na omówieniu pracy oznaczonej jako KM2, jakkolwiek wyniki badań błędów nieliniowości komparatorów impedancji są również opisane w innych publikacjach zaliczonych do cyklu habilitacyjnego, np. w pracy KM1. Zgodnie z deklaracją Habilitanta złożoną w dokumentacji badania zostały wykonane przez niego podczas stażu naukowego w INRiM w Turynie.

KM2 – Przedmiotem badań opisanych w tej pracy są komercyjnie dostępne przetworniki a/c, które Habilitant stosuje do pomiaru stosunku napięć w komparatorach impedancji. Błąd liniowości tych przetworników jest istotną przyczyną ograniczającą dokładność pomiaru. Równocześnie informacja nt. właściwości metrologicznych tych przetworników, dostarczana przez producenta nie jest na tyle kompletna aby ocenić ich przydatność w układach precyzyjnych pomiarów impedancji. Stało się to motywacją do podjęcia badań przez Habilitanta. Badania dotyczyły dwóch przetworników firmy National Instruments oznaczonych symbolami NI PXI-4461 oraz NI PXI-4462. Uzyskane wyniki badań pozwoliły na wytypowanie przetwornika (konkretnego egzemplarza) o najmniejszej wartości błędu liniowości. Został on następnie wykorzystany w konstrukcji komparatora impedancji.

Habilitant jest jedynym autorem tej publikacji. Została ona opublikowana w 2022r, w czasopiśmie Energies w 2022 roku. (140pkt.).

#### **Ad. D)**

Wyniki badań algorytmów używanych do przetwarzania sygnałów pozyskiwanych z komparatora impedancji, w celu wyznaczenia zespolonego stosunku napięć zostały zaprezentowane w jednym artykule dołączonym do cyklu habilitacyjnego, oznaczonym jako KM4.

KM4 – Przedmiotem badań opisanych w tej pracy są algorytmy wyliczania zespolonego stosunku napięć sinusoidalnych. Przedmiotem przetwarzania są próbki sygnałów pomiarowych pozyskane metodą próbkowania sekwencyjnego lub synchronicznego. Badane były algorytmy należące do trzech grup tj. algorytm oparty na Dyskretnej Transformacji Fouriera (DFT), algorytmy (SF) wykorzystujące aproksymację próbek sygnału modelem sygnału sinusoidalnego (w zależności od stopnia rozbudowy modelu, wyznaczana jest różna liczba jego współczynników, rozważano modele o 3, 4 i 7 współczynnikach) oraz algorytm oparty na aproksymacji próbek sygnału uogólnionym równaniem elipsy (EF). Na podstawie uzyskanych wyników przeprowadzono dyskusję właściwości porównywanych algorytmów. W szczególności celem było poszukiwanie odpowiedzi na pytanie dotyczące odporności algorytmów na brak synchronizacji układu próbkującego ze źródłem sygnału.

Praca została opublikowana w czasopiśmie IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement (100pkt.), w 2021 roku. Wkład Habilitanta został oceniony na 30% i obejmował: współudział w określeniu koncepcji artykułu, określenie metodologii pod względem przeprowadzenia pomiarów zespolonego stosunku napięć dla różnych wariantów próbkowania (koherentne i niekoherentne), napisanie oprogramowania (w środowisku LabVIEW) umożliwiającego wykonanie badań algorytmów wykorzystywanych do wyznaczania zespolonego stosunku napięć, wykonanie pomiarów zespolonego stosunku napięć, udział w przygotowaniu tekstu artykułu.

W autoreferacie, do swoich największych osiągnięć, Habilitant zaliczył:

- 1) udział w opracowaniu i badaniach woltomierza wektorowego przeznaczonego dla wielozakresowego komparatora wzorców indukcyjności własnej, opracowanie i badanie procedur autokalibracji i korekcji błędów. W tym kontekście Habilitant powołuje się na publikację oznaczoną jako KM8. Zgodnie natomiast z oświadczeniem złożonym przez Habilitanta Jego wkład w postanie tej publikacji obejmował współudział w określeniu koncepcji artykułu i metodologii badań, zaplanowanie badań woltomierza wektorowego i sposobu wizualizacji jego błędów, implementację metody trójkątów i wykonanie badań spójności komparatorem różnicowym. Widoczna jest istotna rozbieżność pomiędzy obydwoma deklaracjami. Biorąc to pod uwagę uznałem, że w tym zakresie tematycznym wkład Habilitanta obejmował udział w zaplanowaniu i realizacji badań woltomierza wektorowego oraz wykonanie badań spójności komparatorem różnicowym z zastosowaniem metody trójkątów.



- 2) przeprowadzenie walidacji wielozakresowego komparatora wzorców indukcyjności własnej o względnej niepewności pomiaru  $10^{-6}$ . W kontekście opisanego wkładu Habilitant przywołał publikację oznaczoną jako KM9. W deklaracji dotyczącej tej publikacji jako swój wkład Habilitant wymienił współudział w określeniu koncepcji artykułu i metodologii badań, zaplanowanie badań komparatora różnicowego, implementację metody trójkątów i wykonanie pomiarów spójności komparatorem różnicowym, wykonanie testów powtarzalności pomiarów komparatorem KWL. Tak więc część osiągnięć jest identyczna z wymienionymi w punkcie 1. Nowymi elementami są: zaplanowanie badań komparatora różnicowego oraz wykonanie testów powtarzalności pomiarów komparatorem KWL.
- 3) udział w opracowaniu metody przeniesienia wartości wzorców indukcyjności na wielokrotności i podwielokrotności przy wykorzystaniu komparatora przeznaczonego do komparacji 1:1, dokonanie analizy wpływu parametrów resztkowych komparatora na wyniki pomiarów i analizy niepewności transferów 1:10 i 10:1, uwzględniając korelację wyników pomiarowych.
- 4) opracowanie metody badania spójności pomiarów dla układów ilorazowych (metoda trójkątów) i przeprowadzenie analizy możliwości wykorzystania równań uproszczonych do oceny spójności, a także implementacja metody trójkątów do walidacji wzorcowych komparatorów impedancji typu różnicowego i ilorazowego.
- 5) opracowanie i przebadanie komparatora ilorazowego wykorzystującego komercyjnie cyfrowe źródła napięcia przemiennego.
- 6) przeprowadzenie analizy błędów występujących w układach ilorazowych, a także analizy niepewności pomiaru spójności w układach różnicowych i ilorazowych.
- 7) udział w opracowaniu i badaniach dwufazowego cyfrowego źródła napięcia przemiennego o stabilności krótkoterminowej stosunku generowanych napięć na poziomie  $10^{-7}$ , wykorzystanie źródła do budowy próbkującego czteroportowego komparatora impedancji. Jako udokumentowanie tych osiągnięć Habilitant przytacza publikację oznaczoną jako KM3. W swoim oświadczeniu dotyczącym własnego wkładu w powstanie tej publikacji Habilitant wymienił natomiast współudział w określeniu koncepcji artykułu, określenie metodologii przeprowadzenia badań parametrów metrologicznych cyfrowego źródła napięcia przemiennego, przebadanie właściwości metrologicznych cyfrowego źródła napięcia, analizę wyników pomiarowych, przygotowanie tekstu artykułu, końcową edycję tekstu. Biorąc powyższe pod uwagę należy uznać, że wkład Habilitanta w tym punkcie obejmuje określenie metodologii przeprowadzenia badań parametrów metrologicznych cyfrowego źródła napięcia przemiennego, przebadanie właściwości metrologicznych tego źródła oraz analizę wyników pomiarowych.
- 8) opracowanie, zbudowanie, oprogramowanie i wdrożenie do stosowania w GUM cyfrowego, próbkującego komparatora impedancji czteroportowych o niepewności komparacji  $10^{-6}$  [KM1]. Zgodnie z oświadczeniem Habilitanta dotyczącym Jego wkładu w przywołaną publikację KM1 obejmował on opracowanie koncepcji artykułu, zaproponowanie metodologii badań, przygotowanie w środowisku LabVIEW programu odpowiedzialnego za równoważenie mostka i sterującego systemem komparacji, przeprowadzenie badań elementów składowych systemu komparacji (multipleksera, transformatorów iniekcyjnych i systemu próbkującego), wykonanie komparacji w celu walidacji systemu, analizę wyników pomiarowych i analizę niepewności. Dlatego uznałem, że wkład Habilitanta polega na przygotowaniu w środowisku LabVIEW programu odpowiedzialnego za równoważenie mostka i sterującego systemem komparacji, przeprowadzeniu badań elementów składowych systemu komparacji, wykonaniu komparacji w celu walidacji systemu, analizie wyników pomiarowych i analizie niepewności.

9) przeprowadzenie analizy wpływu błędu nieliniowości źródła i przetwornika a/c na wyniki pomiarów cyfrowym komparatorem impedancji, wykonanie badań nieliniowości układów wykorzystywanych w komparatorach cyfrowych w krajowych instytutach metrologicznych we Włoszech, w Szwajcarii i w Polsce [KM5, KM2],

10) przeprowadzenie analizy algorytmów wykorzystywanych do wyznaczania zespolonego stosunku napięć w komparatorach impedancji, podanie wytycznych odnośnie możliwości stosowania danego algorytmu w sytuacjach próbkowania niesynchronicznego i niekoherentnego [KM4].

Podsumowując powyżej przedstawioną dyskusję i oceny za wkład Habilitanta wniesiony w rozwój dyscypliny Automatyka, Elektroniki, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne uważam:

- zaplanowanie i realizację badań woltomierza wektorowego oraz wykonanie badań spójności komparatorem różnicowym z zastosowaniem metody trójkątów,

- zaplanowanie badań komparatora różnicowego oraz wykonanie testów powtarzalności pomiarów komparatorem KWL,

- udział w opracowaniu metody przeniesienia wartości wzorców indukcyjności na wielokrotności i podwielokrotności przy wykorzystaniu komparatora przeznaczonego do komparacji 1:1, dokonanie analizy wpływu parametrów resztkowych komparatora na wyniki pomiarów i analizy niepewności transferów 1:10 i 10:1 z uwzględnieniem korelacji wyników pomiarowych,

- opracowanie metody badania spójności pomiarów dla układów ilorazowych metodą trójkątów i przeprowadzenie analizy możliwości wykorzystania równań uproszczonych do oceny spójności,

- opracowanie i przebadanie komparatora ilorazowego wykorzystującego komercyjnie cyfrowe źródła napięcia przemiennego,

- przeprowadzenie analizy błędów występujących w pomiarach ilorazowych, a także analizy niepewności pomiaru spójności w komparatorach różnicowych i ilorazowych,

- określenie metodologii przeprowadzenia badań parametrów metrologicznych cyfrowego źródła napięcia przemiennego, przebadanie właściwości metrologicznych tego źródła oraz analizę wyników pomiarowych,

- przygotowanie w środowisku LabVIEW programu odpowiedzialnego za równoważenie mostka i sterującego systemem komparacji, przeprowadzenie badań elementów składowych systemu komparacji, wykonanie komparacji w celu walidacji systemu, analizę wyników pomiarowych i analizę niepewności,

- przeprowadzenie analizy wpływu błędu nieliniowości źródła i przetwornika a/c na wyniki pomiarów cyfrowym komparatorem impedancji, wykonanie badań nieliniowości układów wykorzystywanych w komparatorach cyfrowych w krajowych instytutach metrologicznych we Włoszech, w Szwajcarii i w Polsce,

- przeprowadzenie analizy algorytmów wykorzystywanych do wyznaczania zespolonego stosunku napięć w komparatorach impedancji, określenie wytycznych odnośnie możliwości stosowania danego algorytmu w sytuacjach próbkowania niesynchronicznego i niekoherentnego.

Konstrukcja komparatorów impedancji jest znana od wielu lat. Opiera się ona na mostku Kelwina opracowanym dla potrzeb dokładnych pomiarów rezystancji. Jednak zapewnienie wysokiej dokładności takich pomiarów, np. na poziomie  $10^{-6}$  jak w pracach Habilitanta, nie jest zagadnieniem

trywialnym. Na osiągnięcie tego celu składa się wiele działań zarówno o charakterze sprzętowym jak również algorytmicznym. Między innymi konieczne jest zapewnienie stabilnych i kontrolowanych warunków środowiskowych, zastosowanie odpowiednio dobranych przyrządów pomiarowych (woltomierz wektorowy, przetwornik a/c jedno lub wielokanałowy, wzorcowe impedancje) oraz wyposażenia pomocniczego jak np. wielokanałowy generator napięcia sinusoidalnego, opracowanie i wdrożenie algorytmów sterowania elementami komparatora, algorytmów przetwarzania danych pomiarowych, efektywnych metod wyznaczania oceny stopnia spójności oraz analizy niepewności tej oceny. Badania prowadzone przez Habilitanta dotyczą wszystkich wymienionych elementów oraz zagadnień. Wykazał się On dużą biegłością w prowadzeniu pomiarów na wysokim poziomie dokładności. Wykazał, że dobór elementów składowych komparatora wymaga badań prowadzonych na różnych egzemplarzach (np. pochodzących od różnych producentów) określonego modelu (dotyczyło to np. przetworników a/c), wykazał skuteczność rozszerzenia metody trójkątów na układy ilorazowe komparatorów. Można więc uznać, że badania prowadzone przez Habilitanta spowodowały istotny rozwój wiedzy dotyczącej budowy komparatorów impedancji. Wysoki poziom tych badań jak również ich użyteczność potwierdza wykorzystanie ich wyników w narodowych instytutach metrologii, w tym również w GUM.

Moją uwagę zwróciły sformułowania używane przez Habilitanta w opisie swojego wkładu merytorycznego. Zbyt często pojawia się tam określenie „współudział”. Kandydat do stopnia doktora habilitowanego powinien wykazywać się większą samodzielnością i własną inwencją w proponowaniu rozwiązań, w planowaniu badań i przedstawianiu koncepcji publikacji. W tym zakresie odczuwam pewien niedosyt.

Niemniej biorą pod uwagę powyższe oceny uznaję, że prace badawcze prowadzone przez dr inż. Krzysztofa Musiała oraz ich wyniki stanowią istotny wkład naukowy w rozwój dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne (AEEiTK). Przedstawiony przez Niego cykl dziewięciu publikacji w postaci artykułów naukowych spełnia wymagania stawiane przez odnośną ustawę tj. stanowi cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, opublikowanych w czasopiśmie naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b,

Tym samym uważam, że dr inż. Krzysztof Musiał posiada w dorobku osiągnięcia naukowe, stanowiące znaczny wkład w rozwój dyscypliny AEEiTK. Spełnia więc wymaganie sformułowane w Art. 219, pkt. 1, ust. 2b **Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce**, Dz. U. z dnia 20 kwietnia 2023 r. Poz. 742.

## **OCENA AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ**

Dr inż. Krzysztof Musiał jest autorem lub współautorem:

- 12 rozdziałów w monografiach wydanych w wydawnictwach krajowych (Politechnika Świętokrzyska, Śląska, Opolska, Zielonogórska),
- 29 artykułów w czasopiśmie naukowych krajowych i międzynarodowych, z czego 28 zostało opublikowanych pod doktoracie. W tym zbiorze tylko dwa artykuły są autorskie,
- 9 wystąpień na konferencjach międzynarodowych, z czego 3 przed doktoratem,
- 15 wystąpień na konferencjach krajowych, z czego 5 przed doktoratem.

Łącznie dr inż. Krzysztof Musiał w okresie po doktoracie, jest autorem lub współautorem 21 artykułów opublikowanych w czasopiśmie z listy JCR (posiadających Impact Factor). Ich sumaryczny Impact Factor wynosi 45,542, a sumaryczna punktacja MEiN: 2315. Liczba cytowań publikacji Habilitanta wg bazy Web of Science wynosi 54 (bez autocytowań: 28), wg. bazy Scopus: 103 (bez autocytowań: 46), wg bazy Google Scholar: 133 (bez autocytowań: 73). Indeks h jest równy

odpowiednio w Web of Science: 5, Scopus 6, Google Scholar 6. Ze względu na wysoki poziom autocytowań (ok. 48%) nie jest to jednak parametr miarodajny.

Habilitant wykonał recenzje 29 artykułów naukowych, w tym 24 dla redakcji czasopism znajdujących się na liście JCR.

Obecnie Habilitant realizuje dwa projekty naukowe, z których w jednym pełni funkcję kierownika, a w drugim jest głównym wykonawcą. Po doktoracie brał On udział łącznie w pięciu projektach naukowych z czego dwoma projektami kierował, a w trzech był głównym wykonawcą. Ponadto był głównym wykonawcą w jednym projekcie zakończonym przed doktoratem.

W szczególności Habilitant brał udział w 3 projektach międzynarodowych lub finansowanych ze środków europejskich:

- a versatile electrical impedance calibration laboratory based on digital impedance bridges, (VersICal 17RPT04). Projekt finansowany w ramach The European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR),
- cztery edycje (II, IV, V i VII) Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój POWER.03.05.00-00-z098/17 „Politechnika Śląska jako Centrum Nowoczesnego Kształcenia opartego o badania i innowacje”. Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego.
- w charakterze Eksperta w projekcie pt. „Foresight priorytetowych, innowacyjnych technologii na rzecz automatyki, robotyki i techniki pomiarowej. Projekt był współfinansowanych przez Unię Europejską w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka.

Był członkiem 3 zespołów badawczych realizujących projekty naukowe w latach 2015 – 2021 pod jednakowym tytułem Laboratorium Wzorców AC-DC i utrzymywany w nim pierwotny wzorzec napięcia przemiennego (NCN).

#### **Informacja o aktywności naukowej Habilitanta w innych jednostkach naukowych**

Dr inż. Krzysztof Musioł współpracuje z kilkoma narodowymi instytutami metrologicznymi (NMI) w różnych krajach europejskich, a w Polsce z Głównym Urzędem Miar. W efekcie tej współpracy powstało 12 publikacji, których współautorami są pracownicy tych NMI. W przedstawionej dokumentacji Habilitant wymienił następujące europejskie i krajowe instytucje naukowe, w których odbył staże lub prowadzi współpracę:

- **Istituto Nazionale di Ricerca Metrological NRIIM (Turyn, Włochy)** - 3-miesięczny staż naukowy w okresie od 23 lipca 2018 do 31 października 2018 r.
- **Federal Institute of Metrology METAS (Berno, Szwajcaria)** - 3-tygodniowy staż naukowy w okresie od 16 maja do 3 czerwca 2022 r.
- **Główny Urząd Miar GUM (Warszawa, Polska)** – współpraca została zapoczątkowana w roku 2007 podczas wdrażania w GUM opracowanego w ramach pracy doktorskiej Habilitanta multipleksera wzorców indukcyjności własnej.
- **Trescal (Silkeborg, Dania)** - współpraca została zapoczątkowana w roku 2016 i dotyczyła badania stabilności źródeł napięcia przeznaczonych do transferu AC/DC.
- **Politechnika Świętokrzyska (Kielce)** – Współpraca została zapoczątkowana w roku 2020 i zaowocowała dwiema wspólnymi publikacjami. Współpraca dotyczy badań algorytmów wykorzystywanych w komparacjach impedancji do wyznaczania zespolonego stosunku napięć.
- **Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN (Zabrze)** - Współpraca została zapoczątkowana w 2021 roku i dotyczy badania właściwości elektrostatycznych materiałów dielektrycznych przeznaczonych do zastosowań w atmosferach zagrożonych wybuchem.
- **Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB (Niemcy)** – realizacja pracy badawczej od VI do VIII 2005r. pt. “Automatyzacja stanowiska do komparacji wzorców indukcyjności własnej”, efektem współpracy jest wspólna publikacja wydana w 2005 r.



- **Centralny Wojskowy Ośrodek Metrologii CWOM (Warszawa)** – współpraca w zakresie badań wzorców grupowych napięcia stałego, efektem wspólna publikacja wydana w 2012 r.

Dodatkowo w latach 2018÷2020 w ramach projektu międzynarodowego VerslCaL Habilitant współpracował z trzema innymi instytutami metrologicznymi: **NSAI** (Irlandia), **CTU** (Czechy) i **Tubitak UME** (Turcja).

Dr inż. K. Musioł w okresie przed doktoratem odbył staż naukowy w:

- **Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB** (Brunszwik, Niemcy) – 10-tygodniowy pobyt badawczy w niemieckim Krajowym Instytucie Metrologicznym, w okresie od 23 czerwca do 10 sierpnia 2005r.

Dr inż. Krzysztof Musioł aktywnie współpracuje z otoczeniem społecznym oraz z sektorem gospodarczym. W szczególności współpracował z następującymi podmiotami naukowymi i gospodarczymi: Główny Urząd Miar, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Diehl Metering Sp. z.o.o., Plastal Sp.j.

Jest autorem lub współautorem dwóch wdrożonych technologii. Wdrożenia dotyczyły kompletnego systemu komparacji impedancji czteroportowych w GUM oraz multipleksera wzorców indukcyjności własnej opracowanego i zbudowanego w ramach pracy doktorskiej w GUM i PTB (w tym przypadku nie podano parametrów umowy wdrożeniowej). Dr inż. Krzysztof Musioł jest autorem 4 ekspertyz i brał udział w pracach 1 zespołu eksperckiego.

Habilitant posiada w swoim dorobku cztery osiągnięcia projektowe i konstrukcyjne. Dotyczyły one zaprojektowania i wykonania zautomatyzowanego systemu komparacji impedancji, czteroportowych wzorców rezystancji, termostatów wzorców impedancji oraz multipleksera indukcyjności własnej.

Habilitant trzykrotnie brał udział w pracach zespołów oceniających wnioski składane w ramach działalności statutowej na macierzystym wydziale.

## **OCENA DOROBKU DYDAKTYCZNEGO POPULARYZATORSKIEGO I ORGANIZACYJNEGO HABILITANTA**

W swojej działalności dydaktycznej dr inż. Krzysztof Musioł prowadził wszystkie rodzaje zajęć dydaktycznych, typowych dla wyższej uczelni technicznej tj. ćwiczenia laboratoryjne i tablicowe, seminaria oraz wykłady. Zajęcia te prowadził w ramach 18 różnych przedmiotów, z których większość jest ściśle powiązana z nauczaniem metrologii. Oprócz standardowych zajęć dydaktycznych Habilitant był organizatorem, kierownikiem i głównym wykładowcą kursu dokształcającego „Pomiary prądów, napięć, rezystancji i temperatury”, zorganizowanego na zlecenie zakładu „NGK Ceramics” z branży motoryzacyjnej. Ponadto w roku 2021 prowadził 30-godzinny cykl wykładowy „Measurement systems” dla studentów z uczelni Yanshan w Chinach.

Był również opiekunem następujących projektów dydaktycznych:

- 1) „Zastosowanie nanotechnologii w diagnostyce wytrzymałościowej i korozyjnej konstrukcji z betonów specjalnych i komórkowych” (czas realizacji: marzec-wrzesień 2019),
- 2) „Ocena możliwości stosowania odpadów typu PET jako dodatku do betonu w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym” (czas realizacji: marzec-wrzesień 2020),
- 3) „Rozwój technologii betonów modyfikowanych odpadami typu PET” (październik 2020-luty 2021),
- 4) „Wykorzystanie droбноziarnistego kruszywa odpadowego w technologii druku 3D betonów w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym” (październik 2021-luty 2022).

Był promotorem łącznie 21 prac dyplomowych (7 magisterskich i 14 inżynierskich). Za swoje osiągnięcia dydaktyczne Habilitant otrzymał zespołową Dydaktyczną Nagrodę Rektora stopnia III.

Habilitant wykazał się dużą aktywnością w zakresie organizacji konferencji metrologicznych. Dziewięciokrotnie (w latach: 2005, 2006, 2008, 2009, 2011, 2014, 2015, 2016, 2018) był członkiem Komitetu Organizacyjnego konferencji „Podstawowe Problemy Metrologii” (od 2015 roku „Problems and Progress in Metrology”). Dwukrotnie pełnił rolę Sekretarza Naukowego konferencji: w 2012 roku na potrzeby „Międzyuczelnianej Konferencji Metrologów”, a w roku 2019 na potrzeby międzynarodowej konferencji „Quantum and Precision Metrology”. Jest członkiem dwóch organizacji. Są to Polskie Towarzystwo Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej (PTETiS) oraz Komisja Metrologii Oddziału Polskiej Akademii Nauk w Katowicach.

Za osiągnięcia organizacyjne Habilitant dwukrotnie otrzymał Zespołową Nagrodę Rektora stopnia III. Ponadto otrzymał nagrodę Oddziału Gliwicko-Opolskiego Polskiego Towarzystwa Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej za najciekawszy artykuł opublikowany w kwartalniku „Elektryka”, w Zeszytach Naukowych Politechniki Śląskiej „Elektronika” oraz „Automatyka”, a także w Zeszytach Naukowych Politechniki Opolskiej „Elektryka”.

## KONKLUZJA

Moja ocena osiągnięcia naukowego dr inż. Krzysztofa Musiała, będącego podstawą przedstawionego wniosku habilitacyjnego jest pozytywna. Pozytywnie oceniam również aktywność naukową Habilitanta, w tym Jego działalność naukową prowadzoną w innych jednostkach naukowych, a w szczególności zagranicznych. Habilitant wykazał się również istotną działalnością dydaktyczną i organizacyjną, prowadzoną zarówno w swojej macierzystej uczelni, jak również poza nią. W Działalności dr inż. Krzysztofa Musiała zabrakło działalności popularyzatorskiej, pomimo że zagadnienia którymi się On zajmuje byłyby interesujące również dla nie-specjalistów, a w polskim społeczeństwie brakuje wiedzy dotyczącej zakresu merytorycznego obejmowanego przez metrologię oraz roli jaką ona odgrywa w życiu tzw. „zwykłego obywatela”.

W mojej ocenie dr inż. Krzysztof Musiał spełnia oba warunki stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego sformułowane w przywołanym na wstępie **Art. 219. 1. Ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce**. Posiada On stopień doktora oraz posiada w swoim dorobku osiągnięcia naukowe, stanowiące znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny, w tym przypadku tą dyscypliną jest Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczna. Wkład wniesiony przez Habilitanta został udokumentowany cyklem powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b.

