

Prof. dr hab. inż. Jerzy Mizeraczyk
Katedra Elektroniki Morskiej
Wydział Elektryczny
Uniwersytet Morski w Gdyni
ul. Morska 81-87
81-225 Gdynia

Gdańsk, 15 sierpnia 2023 r.

Recenzja

dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego

dr. inż. Karola Krzempka

w związku z postępowaniem w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego

w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych

w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne

1. Podstawa prawna wykonania recenzji:

- Uchwała nr 662/29/RDND02/2021-2024 Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne z dnia 19 czerwca 2023 r.,
- Prośba Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Wrocławskiej, prof. dr. hab. inż. Andrzeja Dziedzica z dnia 26 czerwca 2023 r. (RDN AEETK/82/2023).

2. Sylwetka Habilitanta

Dr inż. Karol Krzempek, którego dalej będę nazywał Habilitantem, ukończył studia 14.07.2010 r. na kierunku Elektronika i Telekomunikacja na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej, otrzymując stopień magistra inżyniera. Tytuł Jego pracy magisterskiej: „Optymalizacja lasera światłowodowego bazującego na włóknach fotonicznych utrzymujących polaryzację”. Stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie Telekomunikacja został nadany Habilitantowi przez Wydział Elektroniki Politechniki Wrocławskiej 22.06. 2016 r. po przyjęciu rozprawy doktorskiej pt. „Nieliniowa konwersja optycznego grzebienia częstotliwości z pasma telekomunikacyjnego w zakres średniej podczerwieni”.

Swoje zatrudnienie w jednostkach naukowych Habilitant rozpoczął w lutym 2013 r. jako asystent naukowy na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej. Po doktoracie od października 2016 r. do dzisiaj Habilitant jest zatrudniony jako adiunkt badawczy na tym

Wydziale a po reorganizacji w roku 2021 na Wydziale Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów. Obecnie jest Kierownikiem założonego przez siebie laboratorium pn. Grupa Laserowej Spektroskopii Gazów.

3. Zakres recenzji

Przedmiotem niniejszej recenzji są: wskazane przez Habilitanta w Autoreferacie osiągnięcia naukowe zaprezentowane w monotematycznym cyklu 10 artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach indeksowanych w bazie JCR oraz aktywność naukowa Habilitanta, w tym inny dorobek naukowy, współpraca z ośrodkami badawczymi, udział w projektach badawczych, dorobek dydaktyczny, organizacyjny i popularyzatorski.

Moja ocena osiągnięć naukowych i aktywności naukowej Habilitanta jest przedstawiona poniżej w odrębnych, wyraźnie zaznaczonych częściach.

Cykl 10 artykułów naukowych zgłoszonych przez Habilitanta jako osiągnięcie naukowe pt. „Wykorzystanie efektu fototermicznego w laserowej detekcji gazów” stanowią następujące publikacje (wg oznaczeń w Autoreferacie podanych przez Habilitanta):

[H1] **Karol Krzempek**, G. Dudzik, K. Abramski, G. Wysocki, P. Jaworski, M. Nikodem, "Heterodyne interferometric signal retrieval in photoacoustic spectroscopy", **Optics Express** **26**(2), 1125–1132 (2018). **IF₂₀₂₁ = 3,833; 140 pkt MEiN₂₀₂₂**

[H2] **Karol Krzempek**, A. Hudzikowski, A. Głuszek, G. Dudzik, K. Abramski, G. Wysocki, M. Nikodem, "Multi-pass cell-assisted photoacoustic/photothermal spectroscopy of gases using quantum cascade laser excitation and heterodyne interferometric signal detection", **Applied Physics B** **124**(5), 1–6 (2018). **IF₂₀₂₁ = 2,171; 70 pkt MEiN₂₀₂₂**

[H3] G. Dudzik, **Karol Krzempek**, K. Abramski, G. Wysocki, "Solid-state laser intra-cavity photothermal gas sensor", **Sensors and Actuators B: Chemical** **328**, 129072 (2021). **IF₂₀₂₁ = 9,221; 140 pkt MEiN₂₀₂₂**

[H4] **Karol Krzempek**, G. Dudzik, K. Abramski, "Photothermal spectroscopy of CO₂ in an intracavity mode-locked fiber laser configuration", **Optics Express** **26**(22), 28861–28871 (2018). **IF₂₀₂₁ = 3,833; 140 pkt MEiN₂₀₂₂**

[H5] **Karol Krzempek**, P. Jaworski, P. Bojęś, P. Kozioł, "Photothermal gas detection using a mode-locked laser signal readout", **Journal of Lightwave Technology** **40**(13), 4436–4442 (2022). **IF₂₀₂₁ = 4,439; 140 pkt MEiN₂₀₂₂**

[H6] **Karol Krzempek**, "Sensitive mid-infrared photothermal gas detection enhanced by self-heterodyne harmonic amplification of a mode-locked fiber laser probe", **Optics Express** **30**(17), 31354–31366 (2022). **IF₂₀₂₁ = 3,833; 140 pkt MEiN₂₀₂₂**

[H7] **Karol Krzempek**, P. Jaworski, P. Kozioł, W. Belardi, "Antiresonant hollow core fiber-assisted photothermal spectroscopy of nitric oxide at 5.26 μm with parts-per-billion sensitivity", **Sensors and Actuators B: Chemical** **345**, 130374 (2021). **IF₂₀₂₁ = 9,221; 140 pkt MEiN₂₀₂₂**

[H8] **Karol Krzempek**, "Part-per-billion level photothermal nitric oxide detection at 5.26 μm using antiresonant hollow-core fiber-based heterodyne interferometry", **Optics Express** **29**(20), 32568–32579 (2021). **IF₂₀₂₁ = 3,833; 140 pkt MEiN₂₀₂₂**

[H9] P. Bojęś, P. Pokryszka, P. Jaworski, F. Yu, D. Wu, **Karol Krzempek**, "Quartz-Enhanced Photothermal Spectroscopy-Based Methane Detection in an Anti-Resonant Hollow-Core Fiber", **Sensors** **22**(15), 5504 (2022). **IF₂₀₂₁ = 3,847; 100 pkt MEiN₂₀₂₂**

[H10] **Karol Krzempek**, "A review of photothermal detection techniques for gas sensing applications", **Applied Sciences** **9**(14), 2826 (2019). **IF₂₀₂₁ = 2,838; 100 pkt MEiN₂₀₂₂**

W Autoreferacie Habilitant informuje, że z cyklem 10 artykułów naukowych zgłoszonych jako osiągnięcie naukowe związany jest patent krajowy:

[P1] Krzysztof Abramski, Grzegorz Dudzik, **Karol Krzempek**, Michał P. Nikodem, „Laserowy detektor gazów oraz sposób detekcji gazów”, Zgłoszenie numer 426146; Patent przyznany w 2020 r.

Niniejsza recenzja została wykonana na podstawie otrzymanej elektronicznej dokumentacji Habilitanta.

4. Ocena wskazanego przez Habilitanta osiągnięcia naukowego

Problematyką wykrywania i ilościowej detekcji wybranych związków lotnych o śladowych stężeniach jest zainteresowanych wiele instytucji państwowych (np. ochrona środowiska), przemysłowych, militarnych, bezpieczeństwa publicznego, medycznych, naukowych itd. W szczególności przedmiotem zainteresowania są szybkie, selektywne i nieinwazyjne metody pomiarowe o wysokiej czułości detekcji. Jedną z metod spełniających tego rodzaju wymogi są metody absorpcyjnej spektroskopii laserowej, której zastosowanie do pomiarów koncentracji związków lotnych gwałtownie wzrosło po wprowadzeniu na rynek laserów generujących w paśmie średniej podczerwieni w zakresie długości fali od około 2,5 μm do 6 μm . W paśmie tym znajdują się bowiem pasma absorpcyjne wielu związków lotnych.

Metody absorpcyjnej spektroskopii laserowej do pomiaru koncentracji związków przezroczystych oparte są na zjawisku absorpcji promieniowania laserowego. Wyróżniamy dwa rodzaje metod absorpcyjnej spektroskopii laserowej. Bezpośrednie, polegające na pomiarze absorbancji (lub transmitancji) promieniowania laserowego sondującego badany związek, oraz metody pośrednie, które mierzą inne efekty fizyczne powodowane w badanym związku przez zaabsorbowane promieniowanie laserowe. Zaabsorbowana energia promieniowania laserowego powoduje nagrzewanie się badanego związku, co oznacza wzrost jego temperatury a wraz z nim zmianę jego innych parametrów termodynamicznych. Pomiarzy zmian temperatury, ciśnienia i gęstości badanego związku, wywołane absorpcją

promieniowania laserowego, czyli zjawiskiem fototermicznym stały się podstawą pośrednich metod absorpcyjnej spektroskopii laserowej.

Do bezpośrednich metod absorpcyjnej spektroskopii laserowej, polegających na pomiarze absorbancji promieniowania laserowego należą metody: TDLAS (Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy), WMS (Wavelength Modulation Spectroscopy), CRDS (Cavity Ring-Down Spectroscopy), CEAS (Cavity Enhanced Absorption Spectroscopy), ICOS (Integrated Cavity Output Spectroscopy) i NICEOHMS (Noise-Immune Cavity-Enhanced Optical Heterodyne Molecular Spectroscopy). Chociaż powodowane tym samym zjawiskiem fototermicznym, pośrednie metody absorpcyjnej spektroskopii laserowej dzieli się na akustyczne i fototermiczne. Metody akustyczne PAS (Photoacoustic Spectroscopy) i QEPAS (Quartz Enhanced Photoacoustic Spectroscopy) oparte są na pomiarach fali ciśnienia wywołanych periodycznym lub impulsowym nagrzewaniem badanego związku wiązką laserową. Spektroskopia fototermiczna (FTS) bazuje na metodach pomiaru termicznych zmian lokalnych współczynnika załamania w badanym związku za pomocą sondującego promieniowania laserowego. Wady i zalety powyższych metod zostały szeroko opisane, m.in. w książce „Photothermal Spectroscopy Methods” (Second Edition, Stephen E. Bialkowski, Nelson G. C. Astrath, and Mikhail A. Proskurnin, © 2019 John Wiley & Sons, Inc. Published 2019 by John Wiley & Sons, Inc.). Także Habilitant podejmuje temat porównania metod spektroskopii laserowej w swoim artykule przeglądowym [H10] (Karol Krzempek, "A review of photothermal detection techniques for gas sensing applications," Applied Sciences 9(14), 2826 (2019)), zgłoszonym jako osiągnięcie naukowe.

Pierwsze systemy laserowej spektroskopii fototermicznej do detekcji związków lotnych pojawiły już w latach 80. ubiegłego wieku. Mimo że systemy te cechowały się dużą czułością detekcji (10^{-9} , czyli 1 cząstka na miliard), ówczesny stan rozwoju techniki laserowej, optyki, sensorów i układów akwizycji sygnałów powodował, że systemy te nie były konkurencją dla innych systemów spektroskopii laserowej (TDLAS, WMS, PAS i QEPAS). Jednak postęp techniki spowodował, że w ostatnim 20-leciu laserowa spektroskopia fototermiczna stała się intensywnie rozwijaną metodą detekcji gazów, wykazując się większą czułością detekcji w porównaniu z metodami laserowej spektroskopii absorpcyjnej.

Habilitant rozpoczął swoją teoretyczną i eksperymentalną działalność naukową w zakresie laserowej spektroskopii fototermicznej w roku 2017. Jego celem badawczym było głębsze przebadanie podstaw fizycznych techniki detekcji gazów za pomocą spektroskopii fototermicznej oraz opracowanie nowych metod i systemów pomiarowych (nazywanych przez

Habilitanta „laserowymi czujnikami gazów”), pozwalających na uzyskanie wysokich czułości detekcji, przy zachowaniu niewielkich wymiarów oraz możliwie małego stopnia skomplikowania urządzenia pomiarowego.

Badania Habilitanta ukierunkowane były na 3 zagadnienia dotyczące:

- 1) fototermicznej detekcji gazów opartej na heterodynowej detekcji sygnału spektroskopowego,
- 2) układów fototermicznej detekcji gazów z użyciem antyrezonansowych włókien światłowodowych,
- 3) fototermicznej detekcji gazów z użyciem rezonatorów kwarcowych i antyrezonansowych włókien światłowodowych.

Wyniki tych badań zostały opublikowane w cyklu 10 artykułów naukowych zgłoszonych przez Habilitanta jako osiągnięcie naukowe pt. „**Wykorzystanie efektu fototermicznego w laserowej detekcji gazów**”. Artykuły te (oznaczone przez Habilitanta jako [H1] – [H10]) zostały opublikowane w latach 2018-2022 w czasopismach o zasięgu międzynarodowym znajdujących się na liście Journal Citation Reports (JCR). Czasopisma te to: Optics Express (4 artykuły), Applied Physics B, Sensors and Actuators B: Chemical (2 artykuły), Journal of Lightwave Technology, Sensors i Applied Sciences. Impact factor (IF) w/w czasopism wynosi od 2,838 do 9,221. W 3 artykułach ([H6], [H8] i [H10]) Habilitant jest jedynym autorem. Pozostałe 7 artykułów jest współautorskich (od 3 do 6 współautorów).

Wyniki badań Habilitanta dotyczące pierwszego z wyżej wymienionych zagadnień badawczych Habilitanta, tj. fototermicznej detekcji gazów opartej na heterodynowej detekcji sygnału spektroskopowego zostały opublikowane w artykułach [H1] – [H6].

W artykule [H1] przedstawiony został po raz pierwszy na świecie laserowy czujnik gazów, w którym do detekcji efektu fototermicznego został użyty układ heterodynowego interferometru Mach-Zehndera, bazującego na ogólnodostępnych oraz łatwych w użyciu komponentach światłowodowych z pasma telekomunikacyjnego - 1550 nm. Artykuł [H2] poświęcony jest pierwszej na świecie demonstracji laserowego czujnika gazów wykorzystującego wieloodbiciową komórkę absorpcyjną w celu zwiększenia rejestrowanego sygnału fototermicznego. Prace eksperymentalne dotyczące tego czujnika wykonane zostały przez Habilitanta w trakcie stażu na Uniwersytecie Princeton. W roku 2021 przyznany został krajowy patent na laserowy czujnik gazów z wieloodbiciową komórką absorpcyjną, opracowany z udziałem Habilitanta [P1]. W artykule [H3] zostało wykazane, że fototermiczna detekcja gazów możliwa jest przy wykorzystaniu miniaturowanych laserów na ciele stałym

z użyciem mikrokomórki gazowej wewnątrz rezonatora laserowego. W artykule [H4] zademonstrowano zostało po raz pierwszy na świecie laserowy czujnik gazów, w którym zmiana współczynnika załamania indukowana efektem fototermicznym rejestrowana jest za pomocą lasera z pasywną synchronizacją modów (mode locked, ML). W czujniku tym do detekcji gazów użyto częstotliwościowego kodowania sygnału spektroskopowego (analiza dewiacji częstotliwości pierwszej harmonicznej lasera), upraszczającego znacznie konstrukcję czujnika. Wadą rozwiązania przedstawionego w artykule [H4] była jednak skomplikowana i czasochłonna obsługa czujnika z powodu zastosowania w nim pierścieniowego rezonatora lasera z synchronizacją modów. Niedogodność ta została usunięta w następnej wersji laserowego czujnika gazów, opisanego w artykule [H5]. W artykule tym przedstawiona jest ulepszona wersja czujnika laserowego gazów, bazująca na liniowej konfiguracji lasera z synchronizacją modów. W wersji tej procedura justowania wiązki lasera próbującego była znacznie uproszczona niż w wersji opisanego w artykule [H4]. W artykule [6] Habilitant przedstawił autorską nową metodę fototermicznej detekcji gazów przy użyciu laserów z synchronizacją modów, nazwaną przez Niego Self Heterodyne Harmonic Amplification (SHHA). Polega ona na analizie wyższych harmonicznych zbudowań lasera z synchronizacją modów w celu zwielokrotnienia czułości detekcji gazów. Zastosowanie przez Habilitanta nowej metody SHHA do ekstrakcji fototermicznego sygnału spektroskopowego pozwoliło na uzyskanie 22-krotnie lepszej czułości detekcji (kilka ppbv) niż w metodzie bazującej na analizie dewiacji częstotliwości pierwszej harmonicznej lasera z synchronizacją modów, zastosowanej w laserowych czujnikach gazów opisanych przez Habilitanta w artykułach [H4] i [H5]. Artykuły [4]-[6] dokumentują rozwój laserowych czujników gazów opracowanych przez Habilitanta. Wynika z nich, że ostatnia wersja SHHA posiada najważniejsze zalety czujników fototermicznych gazów, tj. umożliwia realizację pomiarów w kilku zakresach spektralnych (w zakresie od 1 μm do 9 μm), odseparowanie części pomiarowej układu od części wzbudzającej gaz i częstotliwościowe kodowanie sygnału spektroskopowego.

W powyższych 6 artykułach dotyczących fototermicznej detekcji gazów opartej na heterodynowej detekcji sygnału spektroskopowego Habilitant jest jedynym autorem artykułu [6]. W mojej ocenie jest to najważniejszy artykuł z tego zestawu. Pozostałe 5 artykułów jest współautorskie (od 3 do 6 współautorów). Wkład Habilitanta w powstanie w/w artykułów współautorskich polegał na pozyskaniu środków finansowych, zaplanowaniu badań, budowie układów eksperymentalnych, przeprowadzeniu eksperymentów, zebraniu, obróbce i analizie wyników pomiarów i przygotowaniu manuskryptu. Swoją udział procentowy

w powstanie artykułów [H1], [H2] i [H3] szacowany jest przez Habilitanta na odpowiednio 40 %, 40 % i 30 %. Mimo kilku współautorów artykułów [H4] i [H5] szacowany udział Habilitanta, odpowiednio 90 % i 85 %, sugeruje, że są to praktycznie artykuły jednego autora. Procentowy wkład Habilitanta w powstanie w/w artykułów zostały potwierdzone pisemnie przez współautorów.

Wyniki dotyczące drugiego zagadnienia badawczego Habilitanta, tj. układów fototermicznej detekcji gazów z użyciem antyrezonansowych włókien światłowodowych (ARHCF - Antiresonat Hollow Core Fiber) zostały opublikowane w 2 artykułach [H7] i [H8]. Obie publikacje dotyczą nowatorskiego kierunku w tematyce laserowych czujników gazów. Mianowicie, po pojawieniu się nowych typów włókien światłowodowych z rdzeniem powietrznym, czyli tzw. antyrezonansowych włókien fonicznych, które umożliwiają transmitowanie promieniowania z pasma średniej podczerwieni, Habilitant zaproponował użycie włókien tego rodzaju jako komórki absorpcyjne (wypełnione badanym gazem) w laserowych czujnikach gazów. Ponieważ w tym czasie włókna ARHCF były trudno dostępne, Habilitant nawiązał współpracę z zagranicznymi ośrodkami specjalizującymi się w projektowaniu i wytwarzaniu tego rodzaju włókien (Universite' de Lille, CNRS, France; Hangzhou Institute for Advanced Study, University of Chinese Academy of Sciences, Hangzhou, China; i Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai, China). W wieloautorskim artykule [H7] Habilitant zademonstrował pierwszy na świecie fototermiczny laserowy czujnik gazów bazujący na włóknie ARHCF, który umożliwiał wykrywanie gazów o pasmach absorpcyjnych z zakresu powyżej 4,5 μm . Zastosowanie włókna ARHCF o dużej długości jako komórki absorpcyjnej usuwało największą wadę fototermicznych czujników gazu, wynikającą z niezapewnienia przez dotychczasowe czujniki fototermiczne długiej drogi oddziaływania promieniowania próbującego z badanym gazem przy jednoczesnym utrzymaniu idealnej osiowości wiązki próbującej z wiązką pomiarową. W autorskim artykule [H8] Habilitant jako pierwszy zastosował częstotliwościowy odczyt fototermicznego sygnału spektroskopowego przy pomocy heterodynowego interferometru Macha-Zehndera w laserowym czujniku gazów z włóknem ARHCF do detekcji gazów w paśmie powyżej 4,5 μm . Za pomocą tego czujnika gazów Habilitant uzyskał rekordową w skali światowej czułość detekcji (1,78 ppbv przy 100 s uśredniania) w paśmie powyżej 4,5 μm dla fototermicznych czujników gazu ze światłowodowymi komórkami absorpcyjnymi.

Artykuł [H7] jest współautorski z Habilitantem jako pierwszym współautorem i 3 innymi współautorami, w tym jednym zagranicznym. Habilitant szacuje swój udział w tym artykule na 85 %. Wkład Habilitanta to postawienie i opracowanie hipotezy badawczej, opracowanie koncepcji nowego fototermicznego czujnika gazów, pozyskanie finansowania, zaprojektowanie i zbudowanie układu eksperymentalnego, wykonanie pomiarów, przeanalizowanie wyników i przygotowanie manuskryptu. Zasługą zagranicznego współautora artykułu [H7] było dostarczenie włókien ARHCF. Przypominam, że Habilitant jest jedynym autorem drugiego artykułu [H8] z tematyki układów fototermicznej detekcji gazów z użyciem antyrezonansowych włókien światłowodowych.

Trzecim zagadnieniem, którym zajmował się Habilitant była fototermiczna detekcja gazów z użyciem rezonatorów kwarcowych i antyrezonansowych włókien światłowodowych. W ramach tego zagadnienia Habilitant opracował laserowy czujnik gazów, w którym połączył zalety stosowania włókien ARHCF jako komórek absorpcyjnych i znanych zalet stosowania rezonatorów kwarcowych o dużej dobroci do detekcji sygnału spektroskopowego. Ze wstępnych rezultatów przedstawionych przez Habilitanta w artykule [H9] wynikają pewne zalety tego rodzaju czujnika. Jest to ograniczenie objętości próbkowanego gazu oraz możliwość wyeliminowania z układu części optyki objętościowej i fotodiody. Mimo optymizmu wyrażonego przez Habilitanta, że skonstruowany przez Niego czujnik posiada potencjał aplikacyjny, uzyskana jak dotąd czułość detekcji CH₄ na poziomie 220 ppbv przy czasie uśredniania 100 s „dzięki zaprojektowaniu, skonstruowaniu oraz wieloetapowej optymalizacji dedykowanego układu wzmacniacza, który zbierał sygnał elektryczny z rezonatora kwarcowego, poddawał go wzmocnieniu oraz filtrowaniu” stawia w mojej opinii znak zapytania, jeżeli chodzi o dalsze implementacyjne losy przedstawionego przez Habilitanta rozwiązania. Tym niemniej wyniki badawcze przedstawione w artykule [H9] są cenne poznawczo. Artykuł [H9] ma 6 współautorów, w tym 2 zagranicznych, których udział w tym artykule jest najprawdopodobniej wynikiem dostarczenia przez nich włókien ARHCF. Habilitant ocenia swój procentowy udział w pracach, których rezultaty są opisane w artykule [H9] na 50 %.

Ostatnim artykułem przedstawionym przez Habilitanta jako osiągnięcie naukowe jest jednoautorski artykuł przeglądowy [H10]. Habilitant opisał w nim fizyczne podstawy fototermicznej detekcji gazów i przedstawił najważniejsze metody akwizycji sygnałów spektroskopowych w laserowych czujnikach gazów wykorzystujących efekt fototermiczny. Przeanalizował większość opublikowanych konfiguracji fototermicznych laserowych

czujników gazów, porównując ich parametry, wady i zalety. Artykuł przeglądowy Habilitanta jest cennym zbiorem wiedzy na temat podstaw i techniki fototermicznej detekcji gazów. Był często cytowany. Został umieszczony jako rozdział w książce Yufei Ma, Aurore Vicet, and Karol Krzempek (Ed.), *State-of-the-Art of Laser Gas Sensing Technologies* (MDPI, 2020), 10(2), p. 433. ISBN 978-3-03928-398-9.

Najważniejsze osiągnięcia naukowe Habilitanta przedstawione w monotematycznym cyklu 10 artykułów naukowych to:

- zaproponowanie i realizacja kilku unikatowych na skalę światową konfiguracji fototermicznych laserowych czujników gazów, tj.:
 - fototermicznego czujnika gazów z wieloodbiciową komórką absorpcyjną,
 - miniaturowego fototermicznego czujnika gazów na bazie lasera na ciele stałym,
 - fototermicznego czujnika gazów z wykorzystaniem laserów z synchronizacją modów z rezonatorem pierścieniowym i liniowym,
 - fototermicznego czujnika gazów z miniaturowymi komórkami absorpcyjnymi na bazie antyrezonansowych włókien światłowodowych na zakres średniej podczerwieni

i

- zaproponowanie autorskiej metody detekcji zmian współczynnika załamania gazu na podstawie heterodynowego odczytu sygnału spektroskopowego.

Podsumowując, osiągnięcia naukowe Habilitanta przedstawione w monotematycznym cyklu 10 artykułów są oryginalne. Są one znaczącym wkładem w istniejący stan wiedzy w tematyce laserowej spektroskopii gazów i wyznaczają nowy kierunek badań laserowych metod detekcji gazów z wykorzystaniem efektów fototermicznych. Osiągnięcia naukowe Habilitanta dotyczą interdyscyplinarnych zagadnień z optoelektroniki i elektrotechniki, stanowiąc znaczący wkład do rozwoju dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Wyniki naukowe osiągnięte przez Habilitanta świadczą o tym, że w swojej dziedzinie należy On do grupy wiodących specjalistów na świecie.

Uważam, że monotematyczny cykl 10 artykułów przedstawiony przez Habilitanta jako osiągnięcie naukowe spełnia warunki nadania Habilitantowi stopnia doktora habilitowanego.

5. Informacja o aktywności naukowej Habilitanta w więcej niż jednej uczelni lub instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej. Współpraca Habilitanta z zagranicznymi ośrodkami badawczymi

Od roku 2012 Habilitant bierze aktywny udział w międzynarodowej współpracy naukowej z zagranicznymi instytucjami naukowymi. Współpraca ta dotyczy rozwoju techniki laserowej do detekcji gazów. Obszerność tej współpracy ilustruje poniższy wykaz:

- przed doktoratem (2011 r. i 2012 r.) dwa 2-miesięczne staże w laboratorium laserowej spektroskopii gazów na Rice University, Rice, USA, w którym Habilitant zajmował się metodami detekcji gazów za pomocą laserów typu ICL i miniaturowych komórek wieloodbiciowych. Efektem staży naukowych były 2 artykuły z listy JCR ([A3] i [A4] wg oznaczenia w Autoreferacie Habilitanta),
- po doktoracie dwa miesięczne staże w 2016 i 2017 r. w laboratorium laserowej spektroskopii gazów na Princeton University, Princeton, Stany Zjednoczone, gdzie Habilitant zajmował się metodami laserowej detekcji gazów, w tym metodą fototermiczną. Efektem staży naukowych były 2 artykuły [H2] i [H3] z listy JCR, zgłoszone przez Habilitanta jako osiągnięcie naukowe, artykuł [B8] z listy JCR oraz dwie publikacje ([C36] i [C37]) w materiałach pokonferencyjnych indeksowanych na liście JCR,
- nawiązanie w roku 2018 współpracy z firmą GLO Photonics z Francji, która udostępniła Habilitantowi prototyp włókna światłowodowego z rdzeniem powietrznym z zakresu średniej podczerwieni do badań laserowych czujników gazów. Efektem współpracy były 2 artykuły ([B10] oraz [B11]) z listy JCR,
- nawiązanie w roku 2019 współpracy z Uniwersytetem w Lille, Francja i Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics (SIOM) w Szanghaju, Chiny, które udostępniły Habilitantowi nowe rodzaje włókien światłowodowych z rdzeniem powietrznym z zakresu średniej podczerwieni do badań laserowych czujników gazów. W okresie od 2019 r. do 2022 r. Habilitant realizował z partnerami chińskimi z SIOM międzynarodowy projekt NAWA [P9], w ramach którego prowadzone były wspólne badania nad integracją światłowodowych komórek absorpcyjnych w laserowych czujnikach gazów. Efektem współpracy były 2 artykuły ([B13] oraz [B17]) z listy JCR,
- od roku 2019 udział Habilitanta w roli kierownika lub głównego wykonawcy w wieloletnich międzynarodowych projektach badawczych [P1], [P5] i [P6]

dotyczących laserowych czujników gazów z uczestnictwem jednostek badawczych z Francji, Belgii, Wielkiej Brytanii i Chin,

- od roku 2021 udział Habilitanta w międzynarodowym grantie badawczo-rozwojowym w ramach II polsko-chińskiego konkursu bilateralnego, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Ministerstwo Nauki i Technologii Chińskiej Republiki Ludowej. Działalność habilitanta w tym grantie ukierunkowana jest na zastosowanie laserowych czujników gazów w przemyśle rafineryjnym.

Oprócz wymienionych już wyżej publikacji działalność naukowa Habilitanta w ramach międzynarodowej współpracy naukowej zaowocowała powstaniem 6 artykułów w czasopiśmie z listy JCR i 18 publikacjami w materiałach pokonferencyjnych indeksowanych na liście JCR. Są to: artykuły [H7] i [H9] zgłoszone przez Habilitanta jako osiągnięcia naukowe, [B14], [B19], [B21], [B22], [C2-C4], [C6-C14], [C20], [C22], [C23], [C26-C29].

W świetle powyższego uznaję, że Habilitant spełnił warunek nadania stopnia doktora habilitowanego w zakresie wykazania się istotną aktywnością w więcej niż jednej instytucji naukowej, w tym zagranicznej. W wyniku tej aktywności powstały artykuły naukowe stanowiące wkład w rozwój dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. 4 z tych artykułów zostało zgłoszone przez Habilitanta jako osiągnięcia naukowe ([H2], [H3], [H7] i [H9]).

6. Uczestnictwo Habilitanta w pracach zespołów realizujących projekty finansowe w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych

Habilitant legitymuje się uczestnictwem w 15 projektach badawczych, w tym w 4 międzynarodowych jako kierownik, główny wykonawca lub wykonawca. Był autorem lub głównym redaktorem wniosków o finansowanie badań w 9 z tych projektów. Projekty, w których uczestniczył Habilitant to:

[P1] Rodzaj grantu: **międzynarodowy** projekt badawczy, konkurs wielostronny M-ERA.NET Call 2019. Tytuł: Gas absorption sensors development for environment based on novel mid-infrared hollow fibers with enhanced functional design. Rola Habilitanta: Kierownik projektu po stronie polskiej. Instytucja finansująca: Narodowe Centrum Nauki (NCN, Polska), Agence National de Recherche (ANR, Francja), SPW (Belgia).

[P2] Rodzaj grantu: projekt badawczy, konkurs SONATA 15. Nr projektu 2019/35/D/ST7/04436. Tytuł: Całkowicie światłowodowe, zsynchronizowane źródła mikrodżulowych impulsów laserowych - badania nad możliwością zastosowania w układach

nieliniowej generacji częstotliwości optycznych. Rola: Kierownik projektu. Instytucja finansująca: Narodowe Centrum Nauki.

[P3] Rodzaj grantu: projekt badawczy, konkurs Iuventus Plus. Nr projektu IP2014021773. Tytuł: Przeszajalne całkowicie światłowodowe źródła promieniowania w paśmie średniej podczerwieni do zastosowań w spektroskopii laserowej. Rola: Kierownik projektu. Instytucja finansująca: Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

[P4] Rodzaj grantu: Działanie naukowe, Konkurs Miniatura-2, Nr projektu 2018/02/X/ST7/01792. Tytuł: Światłowodowe źródła wysokoenergetycznych impulsów w paśmie 1 μm . Rola: Kierownik projektu. Instytucja finansująca: Narodowe Centrum Nauki.

[P5] Rodzaj grantu: **międzynarodowy** projekt badawczo-rozwojowy, II polsko-chiński konkurs bilateralny, Symbol: HiSensTech, nr projektu WPC2/HiSensTech/2021. Tytuł: Development of key Technologies and equipment for Dynamic Early Warning and Emergency Prevention – Control of H₂S Leakage Risk in Petrochemical Production Area. Rola: Główny wykonawca. Projekt realizowany we współpracy z Xi'an University of Science and Technology, China National Petroleum Company (Research Institute of Safety and Environmental Protection, CNPC), China Petroleum and Chemical Corporation (Sinopec Corp.). Instytucja finansująca: Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Ministerstwo Nauki i Technologii Chińskiej Republiki Ludowej.

[P6] Rodzaj grantu: **międzynarodowy** projekt badawczy, SHENG 1 – I konkurs na polsko-chińskie projekty badawcze. Symbol: LaSensFiber, nr projektu UMO-2018/30/Q/ST3/00809. Tytuł: Ultra-low-loss hollow-core fibers for ultra-high-sensitive gas sensing and MID-IR laser sources Rola: Główny wykonawca. Projekt realizowany we współpracy z Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences (SIOM), Centre for Photonics and Photonic Materials (CPPM), University of Bath. Instytucja finansująca: Narodowe Centrum Nauki, National Natural Science Foundation of China.

[P7] Rodzaj grantu: projekt infrastrukturalny, badawczy. Symbol: NLPQT, nr projektu POIR.04.02.00-00-B003/18-00. Tytuł: NLPQT – Narodowe Laboratorium Fotoniki i Technologii Kwantowych Rola: Główny wykonawca. Instytucje realizujące grant: Uniwersytet Warszawski, Instytut Chemii Fizycznej PAN, Politechnika Śląska, Politechnika Wrocławska - Katedra Optyki i Fotoniki, Instytut Chemii Bioorganicznej PAN - Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe, Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej w Lublinie, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu. Instytucja finansująca: Ośrodek Przetwarzania Informacji.

[P8] Rodzaj grantu: projekt badawczy, program First TEAM, nr proj. POIR.04.04.00-00-434D/17-01. Tytuł: Fiber-based mid-infrared frequency combs for laser spectroscopy and environmental monitoring. Rola: Główny wykonawca. Projekt realizowany we współpracy z Umea Universitet (Szwecja), Uniwersytetem Mikołaja Kopernika w Toruniu (Polska), Princeton University (USA). Instytucja finansująca: Fundacja na rzecz Nauki Polskiej.

[P9] Rodzaj grantu: **międzynarodowy** projekt badawczy, program NAWA, nr projektu PPI/APM/2018/1/00031/U/001. Tytuł: Akademickie Partnerstwa Międzynarodowe Politechniki Wrocławskiej. Rola: Główny wykonawca. Projekt realizowany we współpracy z Princeton University (USA), Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences (SIOM). Instytucja finansująca: Narodowa Agencja Wymiany Akademickiej (NAWA).

[P10] Rodzaj grantu: projekt badawczo-rozwojowy, konkurs TANGO, Symbol:, nr projektu TANGO1/266345/NCBR//2015. Tytuł: Opracowanie, optymalizacja i integracja jednoczesotliwościowego lasera sygnałowego pracującego na długości fali 1064 nm ze wzmacniaczem światłowodowym średniej mocy. Rola: Główny wykonawca. Instytucja finansująca: Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

[P11] Rodzaj grantu: projekt badawczy, Symbol: UMO-2014/14/M/ST7/00866 Tytuł: Fototermiczne rezonansowe zjawiska w gazach - badanie właściwości i opracowanie nowych optycznych metod detekcyjnych. Rola: Główny wykonawca. Instytucja finansująca: Narodowe Centrum Nauki.

[P12] Rodzaj grantu: projekt badawczy, Symbol: UMO-2012/07/B/ST7/01476 Tytuł: Generacja promieniowania z zakresu średniej podczerwieni z wykorzystaniem nowatorskich dwuczęstotliwościowych źródeł laserowych. Rola: Główny wykonawca. Instytucja finansująca: Narodowe Centrum Nauki.

[P13] Rodzaj grantu: projekt badawczy, Symbol: GRAFTECH/ NCBR/ 04/04/2012 Tytuł: Ultraszybkie lasery światłowodowe na bazie grafenu. Rola: Wykonawca. Instytucja finansująca: Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

[P14] Rodzaj grantu: projekt badawczy, Symbol: POIG.01.01.02-02-002/08. Tytuł: Lasery i wzmacniacze światłowodowe. Rola: Główny wykonawca. Instytucja finansująca: Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

[P15] Rodzaj grantu: projekt badawczy, Symbol POIG.01.01.02-02-002/08. Tytuł: Opracowanie i rozwój nowatorskiej techniki wielopunktowego monitorowania laserowo-swiatłowodowego na potrzeby ochrony środowiska przed hałasem i wibracjami. Rola: Wykonawca. Instytucja finansująca: Fundusze norweskie EOG.

Oceniam aktywność Habilitanta w zakresie realizacji projektów badawczych bardzo pozytywnie, tym bardziej że 4 nich są projektami międzynarodowymi.

7. Inne informacje o aktywności naukowej Habilitanta

Przed doktoratem Habilitant zajmował się głównie laserowymi metodami generowania optycznych grzebieni częstotliwości w paśmie średniej podczerwieni przy wykorzystaniu efektów nieliniowych. M.in. w ramach tych prac powstała Jego praca doktorska pt. „Nieliniowa konwersja optycznego grzebienia częstotliwości z pasma telekomunikacyjnego w zakres średniej podczerwieni”. Przed doktoratem, w latach 2011 – 2015 Habilitant opublikował łącznie 16 współautorskich artykułów w czasopismach naukowych z listy JCR. Wygłosił też kilkanaście referatów na międzynarodowych konferencjach naukowych. W trakcie realizacji doktoratu był czynnie zaangażowany w realizację trzech projektów badawczych ([P13], [P14] i [P15]). Był także współautorem 10 patentów z zakresu detekcji sygnałów optycznych, wzmacniaczy światłowodowych i generacji promieniowania optycznego w średniej podczerwieni.

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych Habilitant kontynuował prace nad układami laserów impulsowych pracujących w reżimie DSR (Dissipative Soliton Resonance) oraz laserowymi czujnikami gazów opartych na efekcie fototermicznym. W ramach tych prac Habilitant opublikował jako współautor 22 artykuły w czasopismach naukowych z listy JCR oraz 41 referatów na międzynarodowych konferencjach naukowych. Badania powyższe były wspierane finansowaniem z 9 grantów badawczych, w których Habilitant pełnił rolę kierownika, głównego wykonawcy lub głównego redaktora wniosku.

Warto dodać, że w dorobku Habilitanta są także osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne z obszaru wzmacniaczy światłowodowych, zarejestrowane w Raportach Wydziału Elektroniki PWr.

W/w artykuły niewchodzące w skład osiągnięcia naukowego oraz osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne Habilitanta dotyczą rozwoju techniki laserowej a w szczególności laserowych czujników gazów i w tym zakresie wnoszą wkład w rozwój dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

8. Dorobek dydaktyczny, organizacyjny i popularyzatorski

Habilitant nie legitymuje się istotnym dorobkiem dydaktycznym. Wynika to przede wszystkim z tego, że na Politechnice Wrocławskiej był zatrudniony na stanowiskach o charakterze wyłącznie badawczym. Tym niemniej posiada On pewne doświadczenie dydaktyczne. Jak informuje w Autoreferacie, „współprowadził wykłady w latach 2020 – 2021”, pełnił funkcję promotora pomocniczego w czterech przewodach doktorskich i funkcję promotora trzech prac magisterskich oraz jednej pracy inżynierskiej oraz popularyzował naukę, prowadząc zajęcia dydaktyczne w ramach XXI Dolnośląskiego Festiwalu Nauki na PWr.

Habilitant legitymuje się uczestnictwem w pracach redakcyjnych w czasopismach naukowych. Był dwukrotnie Edytorem pomocniczym w czasopiśmie Sensors, MDPI (IF = 3,847) i dwukrotnie Edytorem pomocniczym w czasopiśmie Frontiers in Physics (IF = 3,56). Zrecenzował 46 artykułów w czasopismach, m.in. w czasopismach o wysokim Impact Factor: Nature Communications, Photoacoustics i Sensors and Actuators B:Chemica.

Największym osiągnięciem organizacyjnym Habilitanta jest zainicjowanie na Wydziale Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów PWr badań poświęconych rozwijaniu laserowych metod detekcji gazów. W ramach tej inicjatywy Habilitanta założył Grupę Laserowej Spektroskopii Gazów, której jest obecnie Kierownikiem.

9. Dane naukometryczne

Z danych bazy Web of Science wynika, że parametry naukometryczne dorobku Habilitanta są bardzo dobre, jeżeli porównać je z wartościami opisującymi dokonania innych badaczy z dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, wnioskującymi o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego. Liczba artykułów Habilitanta w czasopismach z listy JCR wynosi 49, w tym 31 artykułów dotyczy spektroskopii laserowej, będącej przedmiotem niniejszej habilitacji. Wg bazy Web of Science sumaryczny IF artykułów Habilitanta wynosi 158,344, liczba cytowań bez autocytowań - 997 a indeks Hirscha artykułów Habilitanta jest równy 21.

W latach 2021 i 2022 Habilitant został wymieniony w rankingu World's TOP 2% Scientists organizowanym przez Stanford University. Jest dwukrotnym Laureatem programu SECUNDUS na Politechnice Wrocławskiej dla autorów najwyższej punktowanych publikacji naukowych w dyscyplinie. Habilitant został wyróżniony stypendiami: Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego (trzykrotnie), Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, Fundacji im. Maxa Borna i Rektora Politechniki Wrocławskiej.

10. Podsumowanie i wnioski końcowe

Z przedstawionych powyżej faktów dotyczących działalności naukowej Habilitanta wynika, że spełnia on warunki nadania stopnia doktora habilitowanego, a mianowicie:

- posiada stopień doktora,
- posiada w dorobku naukowym osiągnięcie naukowe w postaci monotematycznego cyklu 10 artykułów pt. „Wykorzystanie efektu fototermicznego w laserowej detekcji gazów”, które są znacznym wkładem w rozwój dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne,
- i wykazuje się istotną aktywnością naukową w więcej niż jednej instytucji naukowej, w tym instytucji zagranicznej. Rezultatem tej aktywności są artykuły naukowe stanowiące znaczny wkład w rozwój w/w dyscypliny naukowej.

Przedstawiony do oceny monotematyczny cykl 10 artykułów, składający się na osiągnięcie naukowe, stanowi oryginalną i spójną tematycznie całość, prezentuje solidny poziom merytoryczny a przedstawione w nim wyniki są oryginalne i nowatorskie. Walorem wyników badawczych Habilitanta jest to, że posiadają one zarówno aspekty poznawcze jak

i praktyczne, ważne dla rozwoju dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

Swoimi osiągnięciami naukowymi Habilitant udowodnił, że należy do grupy czołowych światowych specjalistów w zakresie laserowych czujników gazów. Dorobek naukowy, współpraca z czołowymi światowymi ośrodkami spektroskopii laserowej i udział Habilitanta w międzynarodowych projektach badawczych świadczą o tym, że posiada On kwalifikacje do prowadzenia samodzielnej działalności naukowo-badawczej na najwyższym światowym poziomie.

Podsumowując, popieram wniosek o nadanie dr. inż. Karolowi Krzempkowi stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.



Prof. dr hab. inż. Jerzy Mizeraczyk