

Recenzja cyklu publikacji

**pt. „Materiały funkcjonalne dla przetworników fotonicznych oraz przykłady ich zastosowań”
oraz całości dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego, sporządzona w związku
z wystąpieniem dra inż. Pawła Marcia o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie nauk inżynierjno-technicznych
w dyscyplinie inżynieria materiałowa.**

Recenzja została wykona na zlecenie Prof. dra hab. inż. Krzysztofa Czupryńskiego, Dziekana Wydziału Nowych Technologii i Chemii, Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie, pismo z dnia 2 sierpnia 2021 r.

1. Dane ogólne

1.1. Imię i nazwisko: Paweł Marć

1.2. Przebieg pracy zawodowej:

10.2008 r. – do chwili obecnej	Kierownik Zakładu Technicznych Zastosowań Fizyki, Instytut Fizyki Technicznej, Wydział Nowych Technologii i Chemii, Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie
02.2006 r. – do chwili obecnej	adiunkt badawczo-dydaktyczny, Wydział Nowych Technologii i Chemii, Instytut Fizyki Technicznej, Zakład Technicznych Zastosowań Fizyki - Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie
01.2003 r. – 01.2006 r.	asystent naukowo-dydaktyczny, Wydział Inżynierii, Chemii i Fizyki Technicznej, Instytut Fizyki Technicznej, Zakład Technicznych Zastosowań Fizyki - Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie
10.2000 r. – 12.2002 r.	inżynier, Wydział Inżynierii, Chemii i Fizyki Technicznej, Instytut Fizyki Technicznej, Zakład Technicznych Zastosowań Fizyki - Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie

1.3. Rozwój naukowy:

2004 r.	doktor nauk technicznych w dyscyplinie elektronika (specjalność: optoelektronika światłowodowa), Wydział Elektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie, tytuł: „ <i>Analiza parametrów polaryzacji wiązki świetlnej w systemie światłowodowym</i> ”, (Promotor: prof. dr hab. inż. Leszek R. Jaroszewicz), wyróżnienie
1999 r.	magister inżynier w dyscyplinie fizyka techniczna, (specjalność: akustoelektronika), Wydział Inżynierii Chemii i Fizyki Technicznej Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie, tytuł: „ <i>Wąskopasmowy filtr niskostratny z akustyczną falą powierzchniową</i> ”, (Promotor: prof. dr hab. inż. Jerzy Filipiak), wyróżnienie Dziekana Wydziału

2. Ocena wskazanego przez Habilitanta osiągnięcia naukowego - cyklu powiązanych tematycznie publikacji stanowiących podstawę do uzyskania stopnia doktora habilitowanego

Dr inż. Paweł Marć jako osiągnięcie naukowe, w rozumieniu art. 219 ust. 1 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. 2018 poz. 1668 ze zm.), będące podstawą do wszczęcia postępowania habilitacyjnego, przedstawił cykl publikacji powiązanych tematycznie ujętych pod wspólnym tytułem: „*Materiały funkcjonalne dla przetworników fonicznych oraz przykłady ich zastosowań*”.

Cykl ten zawiera 11 pozycji, które zgodnie z rokiem publikacji znajdowały się w bazie Journal Citation Reports (JCR) o sumarycznym współczynniku wpływu Impact Factor (IF) wynoszącym 29,769. Charakterystykę osiągnięć i udziału Habilitanta w pracach badawczych ocenianego cyklu publikacji powiązanych tematycznie przedstawiłem w poniższej tabeli.

Lp.	Tytuł publikacji, Impact Factor, Udział Habilitanta (wg. autoreferatu), Osiągnięcie wg. recenzenta	I. cytowań Scopus/ udział Hab. [%]
[1]*	<p>P. Marć, N. Przybysz, A. Molska, L.R. Jaroszewicz, Photonic crystal fiber transducers for an optical fiber multilevel temperature threshold sensor, J. Lightwave Technol., 36(4), (2018), 898 – 903, IF=4,1262</p> <p>Udział Habilitanta:</p> <ul style="list-style-type: none"> - wybór materiałów wypełniających - koncepcja czujnika temperatury z dwustanowymi przetwornikami temperatury przejścia - projekt i wykonanie stanowiska pomiarowego, oprogramowania sterującego, procedury pomiarowej - analiza wyników pomiarów i opracowanie manuskryptu <p>Osiągnięcie:</p> <p>Opracowanie wielopoziomowego czujnika temperatury z czterema przetwornikami dwustanowymi. Analiza właściwości termo-optycznych czujników, w tym charakterystyki zmiany napięcia w funkcji temperatury otoczenia czujnika (rys. 5, [H1]). Wykazanie obecności strefy martwej przy przejściu ze stanu OFF-ON (ogrzewania) i ON-OFF (chłodzenie), (tabela 2, [H1]). Propozycja wielostanowego czujnika temperatury z wypełnieniami: nonadekan, heneiskozan, tetrakozan i oktakozan, pozwalającego na wyróżnienie pięciu poziomów napięcia sumarycznego pochodzącego od tych przetworników i kierunkowy charakter pracy (rys. 6 i 7, [H1]).</p>	12/40%
[2]*	<p>N. Przybysz, P. Marć, E. Tomaszewska, J. Grobelny, L.R. Jaroszewicz, Mixtures of selected nalkane and Au nanoparticels for optical fiber threshold temperature transducers, Opto-Electron. Rev., 28(4), (2020), 220-228, IF=2,045</p> <p>Udział Habilitanta:</p> <ul style="list-style-type: none"> - koncepcja domieszkowania wybranych n-alkanów nanocząstkami Au - opracowanie koncepcji pomiarów, stanowiska pomiarowego, procedury pomiarowej - analiza wyników pomiarów i udział w napisaniu manuskryptu <p>Osiągnięcie:</p> <p>Opracowanie przetwornika fonicznego na bazie materiału funkcjonalnego mieszanin n-alkanów z nanocząstkami Au o rozmiarze 14 nm o zmienionych właściwościach optycznych (współczynnika załamania światła). Wykazanie zmniejszenia efektu niestabilności przełączania czujnika ON-OFF podczas ogrzewania i chłodzenia w wyniku wzrostu energii aktywacji mieszaniny (rys. 6, [H2]). Określenie wpływu stosunku mieszaniny n-alkanów i nano-cząstek Au na wartości temperatur włączania i wyłączenia czujnika (rys. 7, [H2]).</p>	0/40%
[3]*	<p>P. Pura, M. Szymański, M. Dudek, L.R. Jaroszewicz, P. Marć, M. Kujawińska, Polymer microtips at different types of optical fibers as functional elements for sensing applications. J. Lightwave Technol., 33(12), (2015), 2398-2404, IF=2,567</p> <p>Udział Habilitanta:</p> <ul style="list-style-type: none"> - opracowanie koncepcji wykorzystania mikrotipu w postaci odbiciowego czujnika światłowodowego - współautorstwo manuskryptu <p>Osiągnięcie:</p> <p>Koncepcja absorpcyjnego czujnika chemicznego wykorzystującego wytworzony mikrotyp polimerowy</p>	15/20%

	jako optotrodę (rys. 10 [H3]). Potwierdzenie zdolności sorpcyjnych mikrotipów pomiarami chromatograficznymi związku organicznego zawierającego siarkę (rys. 11 [H3]).	
[4]	P. Pura-Pawlikowska, M. Dudek, R. Wonko, P. Marć , M. Kujawińska, L.R. Jaroszewicz, The polymer converter for effectively connecting polymer with silica optical fibers, Opto-Electron. Rev. , 24(3), (2016), 126-133, IF=1,449	
	Udział Habilitanta: - współtworzenie koncepcji konwertera polimerowego do łączenia włókien krzemionkowych i polimerowych - opracowanie procedur pomiaru procesu polimeryzacji mostków polimerowych oraz badań termicznych - współautorstwo manuskryptu, tożsamego z patentem PL 233284 B3, 17.06.2019 (udział Hab. 33%) Osiągnięcie: Opracowanie technologii łączenia gradientowych światłowodów krzemionkowego i polimerowego o średnicy rdzenia 62,5 μm (rys. 5 [H4]). Opracowanie układu do monitorowania procesu fotopolimeryzacji i minimalizacji strat złącza do wartości 0,1 dB - 0,4 dB (w zakresie temp. od -40°C do 80°C) - o ponad 1 dB mniejszą niż dopuszczalne straty komercyjnie dostępnych złączy (rys. 3, 6 [H4]).	3/20%
[5]	I. Jakubowska, S. Popiel, M. Szala, M. Czerwiński, M. Chrunik, D. Zasada, P. Marć , L.R. Jaroszewicz, Structure and sorption properties of multifunctional acrylic polymers designed for solid phase microextraction fibers, Polymer , 190, (2020), 122191, IF=3,771	
	Udział Habilitanta: - koncepcja zastosowania mikrotipów polimerowych – elementów sorbujących związki chemiczne - współautorstwo manuskryptu Osiągnięcie: Opracowanie techniki wytwarzania włókna przeznaczonego do procesu mikroekstrakcji z fazy stałej (SPME – ang. solid-phase microextraction) przy wykorzystaniu światłowodów wielomodowych. Weryfikacja parametrów termicznych wytwarzanych mikrotipów polimeryzowanych w zakresie UV-VIS (rys. 5, 8, 10 [H5]).	0/15%
[6]	M. Żuchowska, P. Marć , I. Jakubowska, L.R. Jaroszewicz, Technology of polymer microtips' manufacturing on the ends of multi-mode optical fibers, Materials , 13(2), (2020), 416, IF=2,972	
	Udział Habilitanta: - koncepcja kształtowania mikrotipów polimerowych na końcu włókna wielomodowego - opracowanie sterowania parametrami procesu technologicznego fotopolimeryzacji - analiza danych pomiarowych i współautorstwo manuskryptu Osiągnięcie: Analiza wieloparametrowa wytwarzania mikrotipów (PETA, TCDMA) obejmująca zależności pomiędzy rodzajem (Nd:YAG, LED), zakresem spektralnym (UV-VIS) i mocą (2μW-8mW) źródła promieniowania użytego do fotopolimeryzacji oraz średnicy rdzenia światłowodu (50μm -200μm) (rys. 8 [H6]).	1/40%
[7]*	P. Marć , M. Żuchowska, L.R. Jaroszewicz, Reflective properties of a polymer micro-transducer for an optical fiber refractive index sensor, Sensors , 20, (2020), 6964, IF=3,275	
	Udział Habilitanta: - koncepcja badań przetwornika w postaci mikrotipu polimerowego na końcu światłowodu wielomodowego - analiza wyników pomiarów i współautorstwo manuskryptu Osiągnięcie: Uzyskanie liniowych zależności zmian wstecznego odbicia w funkcji współczynnika złamania światła dla przetworników wykonanych z polimerów PETA i TCDMA (1,3 – 1,48 i 1,5 –1,6) (rys. 5-7 [H7]). Optymalizacja parametrów geometrycznych optrody (średnicy rdzenia, kształtu mikrotipu) prowadzących do uzyskania poprawy czułości i dynamiki np. dla mikrotipu PETA (VIS) w zakresie liniowych zmian wsp. złamania światła 1,35 – 1,48 uzyskano najwyższą czułość 208 dB/RI i dynamikę 32 dB (rys. 8 [H7]).	0/40%
[8]	P. Kula, N. Bennis, P. Marć , P. Harmata, K. Gacloch, P. Morawiak, L.R. Jaroszewicz, Perdeuterated liquid crystals for near infrared applications, Opt. Mat. , 60, (2016), 209-213, IF=2,183	
	Udział Habilitanta: - opracowanie koncepcji i elementów układu polarymetrycznego oraz procedury pomiarowej - obliczenie parametrów optycznych do oceny właściwości badanych materiałów ciekłokrystalicznych - współautorstwo manuskryptu Osiągnięcie: Przeprowadzenie pomiarów polarymetrycznych oraz obliczenie strat komórek ciekłokrystalicznych	11/20%

	z porządkiem planarnym wypełnionych nematycznymi ciekłymi kryształami 5CB i D5CB w zakresie widmowym bliskiej podczerwieni dla długości fali 1390 nm, 1550 nm i 1630 nm. (rys. 5-7, [H8]). Obliczenie na bazie macierzy Muellera strat optycznych i parametrów polarymetrycznych (rys. 3, [H8]).	
[9]*	<p>P. Marć, N. Bennis, A. Spadło, A. Kalbarczyk, R. Węglowski, K. Garbat, L.R. Jaroszewicz, Monochromatic depolarizer based on liquid crystal, <i>Crystals</i>, 9, (2019), 387, IF=2,061</p> <p>Udział Habilitanta:</p> <ul style="list-style-type: none"> - opracowanie koncepcji, budowa układu i procedury pomiarowej - analiza właściwości optycznych badanego elementu na bazie przygotowanego oprogramowania - współautorstwo manuskryptu <p>Osiągnięcie: Charakteryzacja i analiza właściwości optycznych komórki ciekłokrystalicznej z homeotropowym porządkiem ciekłego kryształu (rys. 2, 4, 9 [H9]).</p>	3/30%
[10]	<p>A. Kalbarczyk, L.R. Jaroszewicz, N. Bennis, M. Chruściel, P. Marć. The Young interferometer as an optical system for a variable depolarizer characterization, <i>Sensors</i>, 19, (2019), 3037, IF=3,275</p> <p>Udział Habilitanta:</p> <ul style="list-style-type: none"> - koncepcja zastosowania komórki ciekłokrystalicznej z homeotropowym uporządkowaniem jako elementu symulującego działanie elementu depolaryzującego - dyskusja wyników i współautorstwo manuskryptu <p>Osiągnięcie: Analiza zmiany fazy dla liniowych stanów polaryzacji (horyzontalnego, wertykalnego i o azymutach 45° i -45°), a także kołowych prawo- i lewoskrętnych (rys.2, H10).</p>	1/20%
[11]*	<p>P. Marć, K. Stasiewicz, J. Korec, L.R. Jaroszewicz, P. Kula, Polarization properties of nematic liquid crystal cell with tapered optical fiber, <i>Opto-Electro. Rev.</i>, 27(4), (2019), 321-384, IF=2,045</p> <p>Udział Habilitanta:</p> <ul style="list-style-type: none"> - opracowanie koncepcji, budowa układu i procedury pomiarowej - wykonanie badań i analiza właściwości optycznych na bazie opracowanego oprogramowania - opracowanie manuskryptu <p>Osiągnięcie: Konstrukcja przetwornika fotonicznego będąca połączeniem światłowodu z przewężką oraz fazą ciekłokrystaliczną umieszczoną w pozycji płaszcza światłowodu zamkniętą parą podłoży szklanych zawierających warstwy porządkująco-przewodzące. (rys. 1 [H11]). Dyskusja właściwości polaryzacyjnych wybranych materiałów ciekłokrystalicznych 6CHBT i E7 (rys. 6-9 [H11]).</p>	1/60%

* pierwszy i korespondencyjny autor

Publikacje zawarte w powyższym cyklu są wieloautorskie, a Habilitant w 6-ciu pozycjach jest pierwszym lub korespondencyjnym Autorem. Deklarowany przez dra inż. Pawła Marcia udział w ich powstaniu dotyczył implementacji materiałów organicznych w elementach fonicznych w rozumieniu określenia tych cech materiałowych, które warunkują powstanie nowych układów przetworników fonicznych. Potwierdzają to również załączone oświadczenia współautorów. Analizując Autoreferat oraz oceniany cykl publikacji należy zwrócić uwagę, że Habilitant jest specjalistą w zakresie fotoniki, a w szczególności fotoniki falowodowej. W tym zakresie zrealizował pracę doktorską i staż zagraniczny w Uniwersytecie Technicznym w Ilmenau w trakcie którego badał układ interferometryczny dla potrzeb systemu pomiarowego o nanometrycznej rozdzielczości. Widać wyraźnie, że kolejny staż dotyczący wytwarzania falowodów planarnych z wykonywanych z materiałów SiO_xN_y i SiO₂ w Uniwersytecie Franche – Comte w Besancone w latach 2005 - 2007, ukształtował Jego zainteresowania w kierunku aplikacyjnym oraz wykorzystania zmian właściwości materiałów do budowy nowych struktur fonicznych. Przytaczam te fakty w kontekście zaproponowanego tytułu cyklu publikacji, który w powyższym świetle dobrze oddaje osiągnięcia Habilitanta w zakresie wykorzystania zmian specyficznych właściwości materiałów. Zauważenie tych cech materiałowych i ich wykorzystanie nie byłoby możliwe bez doskonałego warsztatu badawczego, analitycznego i technologicznego z zakresu fotoniki światłowodowej.

Przechodząc do analizy wskazanych osiągnięć Habilitant dzieli je według potencjalnych zastosowań użytych materiałów tj. n-alkanów [H1, H2], polimerów [H3 - H7] i ciekłych kryształów [H8 - H11] do budowy elementów fonicznych odpowiednio: dwustanowych czujników temperatury, czujników światłowodowych i konwertera modowego oraz polaryzacyjnych przetworników fonicznych.

Pierwszy obszar dotyczy budowy dwustanowych czujników temperatury przejścia w których bazowym elementem był jednomodowy światłowod foniczny LMA 10 firmy NKT Photonics charakteryzujący się heksagonalnym układem czterech warstw otworów powietrznych otaczających krzemionkowy rdzeń. Habilitant wykorzystał zmiany transmisji światłowodu zależnej od wartości współczynnika załamania światła wypełnienia otworów powietrznych związkami z grupy n-alkanów. Zauważył możliwość wykorzystania zmian ich wartości współczynnika załamania względem temperatury oraz wpływu efektów termodynamicznych topienia i krystalizacji. Rozpoczynając badania nad toluenem oraz oktakożanem zaproponował wypełnienia związkami n-alkanów, przeprowadzając badania nad ich stabilnością termiczną i docelowo zmianami napięcia w funkcji temperatury otoczenia czujnika [H1]. Obserwując obecność strefy martwej przy przejściu OFF-ON (ogrzewania) i ON-OFF (chłodzenie) zaproponował i zoptymalizował działanie przetwornika fonicznego na bazie materiału funkcjonalnego mieszanin n-alkanów z nanocząstkami Au [H2].

Drugi zakres związany jest z opracowaniem warunków, wytworzenia i współdziałania mikroelementów polimerowych realizowanych na końcu lub łączących światłowody. Habilitant w pracy H4 opracował proces połączenia gradientowych światłowodów krzemionkowego i polimerowego o średnicy rdzeni 62,5 μm wykorzystując zbudowany układ do monitorowania procesu fotopolimeryzacji i minimalizacji strat złącza uzyskując wartości 0,1 dB - 0,4 dB (w zakresie temp. od -40°C do 80°C) czyli o ponad 1 dB mniejsze niż dopuszczalne straty złącza polimerowych dostępnych komercyjnie [H4]. Opracowanie to w zakresie koncepcji połączenia, kontroli wzrostu konwertera, parametrów mieszaniny monomeru oraz jego charakterystyki termicznej zostało zgłoszone w 2015 r. do ochrony patentowej (PAT.23328413, 2019 r.). Kolejne zastosowania dotyczyły wykorzystania procesu fotopolimeryzacji do wytworzenia mikrotipów na końcu światłowodu fonicznego i zastosowania go jako optrody w absorpcyjnym czujniku chemicznym [H3]. Kontynuując optymalizację parametrów odbiciowych czujnika Habilitant analizował parametry procesu technologicznego wykazując zależności pomiędzy rodzajem (Nd:YAG, LED), zakresem spektralnym (UV-VIS) i mocą (2 μW – 8 mW) źródła promieniowania użytego do fotopolimeryzacji oraz średnicy rdzenia światłowodu (50 μm - 200 μm) na kształt wytworzonych mikrotipów [H6]. Konsekwentnie zastosował opracowaną konstrukcję przetwornika w czujniku współczynnika załamania cieczy wykazującym liniowość w zakresie 1,3-1,7 w zależności od rodzaju polimeru (PETA, TCDMA) i średnicy rdzenia włókna (62,5 μm , 105 μm i 200 μm) [H7].

Trzeci obszar badawczy dotyczy badań nad wykorzystaniem ciekłych kryształów do budowy przetworników fonicznych. Habilitant opracował autorskie stanowiska badawcze do wyznaczania strat optycznych oraz właściwości polaryzacyjnych (dichroizmu, dwójłomności, depolaryzacji) materiałów pozwalające na określenie ich cech funkcjonalnych. Głównym kierunkiem badawczym była analiza i wykorzystanie zależności wpływu amplitudy zewnętrznego pola elektrycznego sterującego pracą ciekłego kryształu na modulację parametrów polaryzacji fali elektromagnetycznej. W pracy [H8] Habilitant dokonał pomiaru i analizy właściwości polarymetrycznych oraz strat optycznych klasycznych komórek ciekłokrystalicznych (5CB i D5CB) w konfiguracji planarnej. Wykazał zgodność zależności fazy w funkcji napięcia dla trzech długości fali (1390 nm, 1550 nm, 1630 nm) w przypadku ciekłego kryształu 5CB i po jego deuteryzacji D5CB. Jednocześnie zwrócił uwagę na dodatkowe efekty interferencyjne i zmiany w natężeniu wiązki lasera dla charakterystycznych stanów polaryzacji [H8]. Badając możliwości depolaryzacji zaproponował komórkę ciekłokrystaliczną wypełnioną nematycznym ciekłym kryształem z materiał porządkującym (biopolimer)

umożliwiający orientację homeotropową cząsteczek kryształu [H9]. Wykazał przydatność aplikacyjną komórek o rozmiarach kryształów 10 μm i 15 μm , określając ich straty optyczne ($\sim 0,5$ dB) oraz szczegółowo charakteryzując właściwości depolaryzujące. Na tej podstawie zaproponował [H10] użycie zmodyfikowanego interferometru Younga do oceny wpływu depolaryzacji, umieszczając w ramieniu pomiarowym komórkę ciekłokrystaliczną z homeotropowo uporządkowanym ciekłym kryształem (rys. 1, [H10]). W szczególności analizowane były zmiany fazy dla liniowych stanów polaryzacji (horyzontalnego, wertykalnego i o azymutach 45° i -45°), a także kołowych prawo- i lewoskrętnych (rys.2, [H10]). Osiągnięte wyniki potwierdziły możliwość zastosowania tego materiału jako elementu czujnikowego do badań związanych z analizą zmian polaryzacji w tkankach organizmów żywych. Ostatni w cyklu artykuł w pełni obrazuje kompetencje Habilitanta, który potrafił skonstruować nowy polaryzacyjny przetwornik foniczny wykorzystując dwa znane elementy optyczne jakim jest przewężenie światłowodowe i kryształ ciekłokrystaliczny (E7, 6CHBT). Konstrukcja polegała na umieszczeniu fazy krystalicznej w pozycji płaszcza światłowodu oraz jej zamknięcie parą podłoży szklanych zawierających warstwy porządkująco-przewodzące. W ten sposób Habilitant scharakteryzował właściwości elektro-optyczne układu obserwując dla długości fali 1550nm zmiany właściwości dichroicznych po wpływie napięcia w zakresie 40 V - 190 V. Do obliczeń właściwości polaryzacyjnych użył dwa modele teoretyczne dekompozycji polarnej Lu-Chipmana i rozkładu według wartości osobliwych przeprowadzając dyskusję wyników i porównując wybrane materiały ciekłokrystaliczne.

Powyższe osiągnięcia Habilitanta w zakresie wskazanego cyklu zostały przedstawione w autoreferacie, a najistotniejsze wg. recenzenta zawarto w powyższej tabeli. Tematyka prac tworzących powyższy cykl została opublikowana we właściwie dobranych czasopismach (Opto-Electronics Review - 3, J. Lightwave Technol. – 2, Sensors -2, Polymer -1, Materials - 1, Optical Materials -1, Crystals -1), obejmujących wskazaną dyscyplinę inżynierię materiałową, ale także zawartość merytoryczną ocenianego osiągnięcia. Średni współczynnik wpływu ocenianego cyklu wynosi 2,7, a sumaryczna liczba cytowań 47. Należy podkreślić, że Habilitant realizował badania prowadzone w ocenianym cyklu w ramach różnych projektów badawczych w tym: [1] PBS- 654; [3] POIG.01.03.01-14-016/08, INNOTECH-K2/IN2/770/18369 /NCBR/13, TEAM/2011-7/7; [4] POIG.01.03.01-14-016/08, PBS- 654; [5] GBMON/13-995/2018/WAT, GBMON/13-994/2018/WAT; [6] GBMON/13-995/2018/WAT; [9, 11] GBMON/13-995/2018/WAT, PBS - 23 – 898; [10] GBMON/13-995/2018/WAT; [8] Defense Advanced Research Project Agency (DARPA), RMN 728/2015.

Podsumowując powyższe osiągnięcia Habilitanta należy podkreślić, że zawierają się one w dynamicznie rozwijającym się interdyscyplinarnym obszarze fotoniki, w którym modyfikacja lub modulacja cech materiału wywoływanych interakcją z falą elektromagnetyczną prowadzi do obserwacji nowych efektów i w konsekwencji powstania nowych konstrukcji fonicznych. Uważam, że Habilitant właściwie wykorzystał swój warsztat naukowy wywodzący się z oddziaływania fali elektromagnetycznej w określonym ośrodku i rozwijanym po doktoracie w aspekcie materiałowym w trakcie staży zagranicznych, koncentrując się na obecnie stosowanych materiałach fonicznych jakim są polimery, ciekłe kryształy czy związki organiczne. W ten sposób wskazał na właściwości tych materiałów (modulując ich parametry), dotychczas niewykorzystane z punktu widzenia fotoniki falowodowej.

Na podstawie przedłożonego przez dra inż. Pawła Marcia cyklu 11 publikacji zatytułowanego „Materiały funkcjonalne dla przetworników fonicznych oraz przykłady ich zastosowań” i autoreferatu stwierdzam, że osiągnięcia zawarte w przedstawionym cyklu wnoszą nowe elementy do nauki w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa, a Habilitant spełnia wymagania stawiane kandydatowi do stopnia doktora habilitowanego.

3. Ocena istotnej aktywności naukowej - pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Dr inż. Paweł Marć rozpoczął (2000 r.) i kontynuuje swoją karierę naukową na Wydziale Inżynierii, Chemii i Fizyki Technicznej, Wojskowej Akademii Technicznej. Na każdym etapie awansowym wykazywał znaczną aktywność publikacyjną i konferencyjną, a przede wszystkim uczestniczył w realizacji projektów badawczych. Już w trakcie realizacji pracy magisterskiej pt. „Wąskopasmowy filtr niskostratny z akustyczną falą powierzchniową” opublikował dwie prace w czasopiśmie *Molecular and Quantum Acoustics*. Następnie realizując pracę doktorską pod kierunkiem prof. Leszka R. Jaroszewicza, rozszerzył spektrum zainteresowań badając parametry polaryzacji w elementach i systemach światłowodowych. W efekcie powstały trzy artykuły (np. *IEEE Sensor Journal*) posiadające współczynnik wpływu IF oraz jednaście komunikatów konferencyjnych, a rozprawa została obroniona z wyróżnieniem w 2004 r. Osiągnięcia te zostały zauważone na 7th International Symposium on Laser Metrology Applied to Science, Industry, and Everyday Life, (2002, Nowosybirsk, Rosja), a Habilitant otrzymał zaproszenie i zrealizował miesięczny staż w zespole prof. Gerda Jägera z Uniwersytetu Technicznego w Ilmenu. W ramach stażu zajmował się badaniem trójosiowego interferometru przygotowanego dla systemu pomiarowego o rozdzielczości nanometrycznej. Ponadto uczestniczył w realizacji projektów badawczych w zakresie: i) budowy tomografu optycznego przeznaczonego do badań siatkówki oka uhonorowane brązowym medalem na wystawie EUREKA (2003) w Brukseli, ii) badania rotacyjnych zjawisk sejsmicznych przy wykorzystaniu światłowodowego interferometru Sagnaca, iii) budowy kamery mikro-holograficznej z wykorzystaniem systemu oświetlaczy światłowodowych za którą otrzymał Stypendium Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej w 2005 r.

Habilitant po uzyskaniu stopnia doktora kierował projektem KBN pt. „FOSPA - analizator polaryzacji w paśmie C na bazie światłowodowego interferometru Sagnaca” (2005-2008). Jednocześnie na zaproszenie prof. Christophera Goreckiego z Unwersytetu Franche – Comte w Besancone we Francji, odbył 2-letni staż w trakcie którego zajmował się opracowaniem technologii wytwarzania falowodów planarnych na bazie podłoży krzemowych z warstwami SiO₂ jako płaszcz i warstwą SiO_xN_y pełniącą funkcję rdzenia. Zrealizował zadanie obejmujące wszystkie etapy od projektowania struktur falowodowych przez opracowanie procedury i wytwarzanie falowodów optycznych oraz ich charakteryzacji, po weryfikację działania wykonanego elementu. Doświadczenie tych prac z zakresu inżynierii materiałów fotonicznych zapewne było impulsem do ich kontynuacji w kraju, czego wyrazem było dołączenie Habilitanta do wykonawców projektu kluczowego: POIG.01.03.01-014-16/08 pt.: „Nowe materiały fotoniczne i ich zaawansowane zastosowania”, realizowanego pod kierunkiem prof. Leszka R. Jaroszewicza. Badania w tym projekcie i kolejnych (2008-2014) były finansowane głównie ze środków UE i NCBR, a do najważniejszych efektów należy zaliczyć przygotowanie pięciu zgłoszeń patentowych do Urzędu Patentowego RP oraz czterech w UE i USA. Habilitant rozwijał w tym czasie również kierunki badawcze dotyczące: metod łączenia standardowych światłowodów jednomodowych ze światłowodami fonicznymi, badania parametrów światłowodów specjalnych do zastosowań w technologii czujnikowej i generatorach typu supercontinuum oraz analizy właściwości polaryzacyjnych włókien światłowodowych w czujnikach z siatkami Bragga. Ponadto, uczestniczył w realizacji układów i urządzeń do budowy światłowodowego interferometru Sagnaca przeznaczonego do monitorowania rotacyjnych zjawisk sejsmicznych oraz zastosowania metod interferometrycznych do badania komórek ciekłokrystalicznych. Obecnie angażuje się w kolejne obszary badawcze związane z wykorzystaniem linii opóźniających i rezonatorów z falą powierzchniową w technologii czujnikowej oraz budowę komputera kwantowego, w którym opracowuje układ optyczny. Na podstawie powyższego widać szerokie kompetencje Habilitanta, który opracował autorskie stanowiska do charakteryzacji materiałów fonicznych i potrafi modyfikować/modulować ich właściwości w celu skonstruowania określonych elementów funkcjonalnych.

Przechodząc do analizy danych bibliometrycznych Habilitanta, przedstawiają się one w następujący sposób:

- 23 publikacje (20 po doktoracie), w tym 11 wskazane w ocenianym cyklu habilitacyjnym,

- 165/206 cytowań wg Web of Science/Scopus (bez autocytowań),
- Index Hirscha:10 (wg WoS i Scopus),
- 87,903 - sumaryczny Impact Factor, w tym 29,769 ocenianego cyklu,
- 9 publikacji anglojęzycznych i 3 krajowe,
- 61 pozycji w materiałach konferencyjnych (47 po doktoracie),
- 22 wygłoszone referaty (12 plenarnych),
- 27 projektów badawczo-rozwojowych (3 obecnie w realizacji), w tym kierował 1 projektem KBN i 3 projektami WAT,
- 1 patent współautorski polski (P-414328, 2017).

Analizując aktywność naukową Habilitanta widać wyraźnie, że powyżej scharakteryzowana szeroka działalność badawcza ma swoje odzwierciedlenie w danych bibliometrycznych. Abstrahując jednak od wartości liczbowych chciałbym w pierwszym rzędzie podkreślić, wysoką jakość naukową i rozpoznawalność międzynarodową Habilitanta. Dr inż. Paweł Marć był wielokrotnie zapraszany do wygłaszania wykładów plenarnych na znanych branżowych konferencjach krajowych (18th Conference on Optical Fibers and Their Applications – 2018-2020, 15th Conference Integrated Optics – Sensors, Sensing Structures and Methods - 2020) i międzynarodowych (Photonics Europe - 2004-2012, MEMS Technology and Devices - 2007, 2016 EMN Meeting on Polymer, International Conference on Advanced Technologies and Innovations - 2017). Dopelnieniem tego stwierdzenia jest uczestnictwo Kandydata jako eksperta w programach badawczych UE jak: COST Action 299 Optical Fibers for New Challenges Facing the Information Society (2005-2010) – “FIDES”; COST Action TD1001 Novel and Reliable Optical Fibre Sensor Systems for Future Security and Safety Applications (OFSeSa), WG4 - Optimisation of system components (2010-2014) i Network of Excellence for Micro-Optics NEMO, członek z ramienia Uniwersytetu Franche – Comte w Besancone (2006-2007). Ponadto powierzano mu w kraju wykonywanie recenzji eksperckich wniosków dla Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej, NCBR - Lubelskiej Agencji Wspierania Przedsiębiorczości w ramach programu Lubelska Wyżyna Technologii Fotonicznych i raportu końcowego dla Ośrodka Przetwarzania Informacji programu „Wsparcie ochrony własności przemysłowej tworzonej w jednostkach naukowych w wyniku prac B+R”. Był również recenzentem 13 artykułów w czasopiśmie naukowych: Optics Express, Materials, Sensors, Crystals, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Acta Physica Polonica A i Przegląd Teleinformatyczny.

Drugim istotnym elementem pracy naukowej jest realizacja projektów badawczych finansowanych z różnych agencji naukowych, przytoczę tu tylko wybrane oddające szeroki obszar tematyczny zainteresowań Habilitanta:

- *Analiza parametrów polaryzacji wiązki świetlnej w systemach światłowodowych*, (promotorski) 2003-2004, KBN, główny wykonawca,
- *Elementy i moduły optoelektroniczne do zastosowań w medycynie, przemyśle, ochronie środowiska i technice wojskowej*, 2004-2006, KBN projekt zamawiany PBZ-MIN-009/T11/2003, wykonawca,
- *FOSPA - analizator polaryzacji w paśmie C na bazie światłowodowego interferometru Sagnaca*, 2005-2008, KBN, kierownik projektu,
- *Nowe materiały fotoniczne i ich zaawansowane zastosowania*, 2007-2015, MNiSW projekt kluczowy POIG.01.03.01-014-16/08, wykonawca,
- *Badania rozwojowe zaawansowanych pasywnych i aktywnych elementów fotonicznych typu in-line dla zastosowania w społeczeństwie informatycznym*, 2009-2011, NCBR projekt rozwojowy Nr NR02 0006-06, wykonawca,
- *Integracja i sprzęganie światłowodów telekomunikacyjnych ze światłowodami specjalnymi i mikrostrukturalnymi*, 2010-2013, NCBR projekt rozwojowy Nr NR02-0074-10/2010, wykonawca,
- *Ochrona patentowa rozwiązań i wynalazków z zakresu technologii i aplikacji światłowodów fotonicznych*, 2012-2014, OPI, wykonawca,

- *Światłowodowe monitorowanie zdarzeń lub/i zjawisk rotacyjnych*, 2012-2015, NCBR projekt PBS-180889 ścieżka B, wykonawca,
- *Opracowanie efektywnego stałego łączenia POF ze standardowymi światłowodami*, 2012-2015, NCBR - InnoTech II, wykonawca,
- *Przetworniki foniczne w zastosowaniach czujnikowych i telekomunikacyjnych*, 2016–2018, WAT praca PBS-654, kierownik projektu,
- *Zastosowania materiałów nanokompozytowych do budowy i badania przetworników fonicznych*, 2019, WAT praca PBS – 898, kierownik projektu,
- *Badanie właściwości optycznych materiałów stosowanych do przetworników fonicznych różnego przeznaczenia*, 2020, WAT praca UGB – 22 – 756, kierownik projektu,
- *EPOS - System Obserwacji Płyty Europejskiej*, 2016-2021, OPI, wykonawca,
- *Podstawy innowacyjnych materiałów i technologii podwójnego zastosowania*, 2018-2022, MON, wykonawca,
- *Opracowanie modularnej infrastruktury komputera kwantowego do specjalnych i wojskowych zastosowań Informatycznych*, 2020–2024, NCBR, wykonawca.

Na podstawie powyższego stwierdzam, że dr inż. Paweł Marć jest samodzielnym pracownikiem naukowym, posiada udokumentowane osiągnięcia naukowe i umiejętności w zakresie realizacji projektów badawczo-rozwojowych.

4. Działalność dydaktyczna, organizacyjna i popularyzatorska

Dr inż. Paweł Marć jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym charakteryzującym się typową aktywnością we wszystkich obszarach działalności akademickiej.

W zakresie dydaktyki od roku 2000 przeprowadził około 5 tys. godzin (w języku polskim i angielskim) w formie wykładów, ćwiczeń rachunkowych i laboratoriów. Prowadził zajęcia w ramach przedmiotów Fizyka, Technologia elementów i podzespołów światłowodowych, Materiały i technologie dla elementów fotoniki światłowodowej, Metody pomiarowe parametrów wiązki świetlnej, Optical fiber technology and its applications. Zorganizował w Zakładzie Technicznych Zastosowań Fizyki praktyki studenckie dla słuchaczy Uniwersytetu Warszawskiego i Politechniki Warszawskiej.

Habilitant angażował się w osobisty rozwój naukowy studentów pełniąc rolę promotora w 18 pracach dyplomowych, w tym 14 na kierunku Inżynieria Materiałowa i 4 na kierunku Mechatronika (Instytut Mikromechaniki i Fotoniki Politechniki Warszawskiej). Ponadto popularyzował naukę współorganizując coroczne wykłady i pokazy z fizyki dla uczniów szkół podstawowych i ogólnokształcących. W roku 2018 za swoje osiągnięcia dydaktyczne otrzymał „Tytuł zasłużonego nauczyciela Akademickiego WAT”.

W obszarze aktywności organizacyjnej dr inż. Paweł Marć od 2008 r. pełni funkcję kierownika Zakładu Technicznych Zastosowań Fizyki, a w trakcie tego okresu powstały 4 prace doktorskie i 1 habilitacyjna. Habilitant uczestniczył w pracach Komitetu Technicznego SPIE Congress on Optics and Optoelectronics, SPIE-COO, 2005 i 5th European Workshop on Optical Fibre Sensors EWOFS'2013. Ponadto uczestniczył w pracach towarzystw naukowych SPIE - The International Society for Optics and Photonics (2003–2015) i Photonics Society of Poland, (2009–2021) oraz jest edytorem tematyczny czasopisma Sensors, w ramach którego koordynuje wydanie specjalne pt. „Optical Fiber Sensor Transducers Based on Hybrid and Structured Materials”.

Habilitant z zaangażowaniem wykonywał zadania związane z działalnością dydaktyczną, organizacyjną i popularyzatorską.

5. Podsumowanie

Dr inż. Paweł Marć to doświadczony naukowiec charakteryzujący się interdyscyplinarną aktywnością naukowo-badawczą w zakresie fotoniki, a w szczególności inżynierii materiałów fonicznych, ich modyfikacji i implementacji w zaawansowanych układach sensorowych i pomiarowych. Do najważniejszych osiągnięć Habilitanta w zakresie ocenianego cyklu habilitacyjnego zaliczam:

1. Badania przetworników fonicznych wykorzystujących światłowody foniczne wypełnione związkami n-alkanów, optymalizację ich pracy (właściwości termo-optycznych) i wskazanie rozwiązań dwustanowych czujników temperatury przejścia [H1, H2]. Opracowanie koncepcji wielostopniowego czujnika temperatury oraz ograniczenia efektu kierunkowej pracy dwustanowego światłowodowego przetwornika temperatury przejścia przez domieszkowanie n-alkanów nanocząstkami Au.
2. Badania nad przetwornikami fonicznymi wykorzystującymi mikroelementy polimerowe. Przeprowadzenie optymalizacji wytwarzania mikrotipów i połączeń polimerowych poprzez kontrolę procesu fotopolimeryzacji realizowanego na wyjściu z światłowodu. Opracowanie i charakteryzację przetwornika do konstrukcji czujnika wartości współczynnika załamania [H3, H6, H7]. Uzyskanie ochrony patentowej dla opracowanego konwertera modowego o niskich stratach pomiędzy wielomodowymi światłowodowymi polimerowymi i krzemionkowymi [H4]. Propozycja metody wytwarzania włókien do mikroekstrakcji z fazy stałej do zastosowań w chromatografii gazowej [H5].
3. Badania właściwości polaryzacyjnych przetworników fonicznych wykorzystujących materiały ciekłokrystaliczne. Wyznaczenie i analiza właściwości komórek ciekłokrystalicznych z porządkowaniem planarnym w zakresie podczerwieni [H8] oraz homeotropowym [H9]. Określenie warunków kontrolowanej depolaryzacji [H10] i modulacji dichroizmu w przetworniku światłowodowym płaszczem ciekłokrystalicznym [11].

Wniosek:

Stwierdzam, że zarówno poziom naukowy cyklu publikacji, jak i pozostała aktywność naukowa dra inż. Pawła Marcia spełniają wymagania art. 219 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. 2018 poz. 1668 ze zm.) stawiane kandydatowi do stopnia naukowego doktora habilitowanego. Popieram wniosek o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynierijno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

Kraków, 29.09.2021 r.

