

**Recenzja osiągnięcia naukowo-badawczego dra inż. Sławomira Ertmana
pt. „Niskostratne i przestrajalne światłowody mikrostrukturalne z wypełnieniem
ciekłokrystalicznym” oraz dorobku naukowego, dydaktycznego
i organizacyjnego, sporządzona w związku z wystąpieniem o uzyskanie stopnia doktora
habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych
w dyscyplinie nauki fizyczne**

Recenzja została wykonana na zlecenie Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Fizyczne Politechniki Warszawskiej.

1. Dane ogólne

1.1. Imię i nazwisko: dr inż. Sławomir Ertman

1.2. Przebieg pracy zawodowej:

2010 – obecnie adiunkt - Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej, Zakład Optyki i Fotoniki

1.3. Rozwój naukowy:

2009 doktor nauk fizycznych w zakresie fizyki, Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki,
Tytuł: „Polaryzacja światła w ciekłokrystalicznych światłowodach fonicznych”,
promotor: prof. dr hab. inż. Tomasz R. Woliński

2005 magister inżynier - Wydział Fizyki, Tytuł: „Badanie propagacji światła w
mikrostrukturalnych światłowodach dwójłomnych”, Kierunek - Fizyka Techniczna,
Specjalność - Optoelektronika

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

Dr inż. Sławomir Ertman jako osiągnięcie naukowe, w rozumieniu art. 219 ust 1 pkt 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. 2020 poz. 85 z późn. zm.), będące podstawą do wszczęcia postępowania habilitacyjnego, przedstawił cykl publikacji powiązanych tematycznie ujętych pod wspólnym tytułem: „*Niskostratne i przestrajalne światłowody mikrostrukturalne z wypełnieniem ciekłokrystalicznym*”.

Cykl zawiera 10 pozycji, oznaczonych H1-H10, które poza H7 (rozdział w monografii) zgodnie z rokiem publikacji znajdowały się w bazie Journal Citation Reports (JCR) o sumarycznym współczynniku wpływu Impact Factor (IF) wynoszącym 25,076. Charakterystyka istotnego udziału (wg. Kandydata) oraz osiągnięcia (wg. recenzenta) Habilitanta zawarte w pracach badawczych ocenianego cyklu publikacji zostały przedstawione w poniższej tabeli.

Lp.	Tytuł publikacji, Impact Factor, Udział Habilitanta (wg. Kandydata), Osiągnięcie wg. recenzenta	I. cytowań WoS/Scopus
[H1]	<p>S. Ertman, T. R. Wolinski, D. Pysz, R. Buczynski, E. Nowinowski-Kruszelnicki, and R. Dabrowski, "Low-loss propagation and continuously tunable birefringence in high-index photonic crystal fibers filled with nematic liquid crystals," <i>Opt. Express</i> 17(21), 19298–19310 (2009), IF 2009: 3,278 (IF 2023: 3,833).</p> <p><i>Udział Habilitanta:</i> opracowanie koncepcji badawczej; opracowanie projektu światłowodu mikrostrukturalnego; budowa układów pomiarowych; wykonanie próbek; pomiary właściwości próbek; opracowanie pierwszego tekstu artykułu; opracowanie poprawek do artykułu i poprawek na uwagi recenzentów</p> <p><i>Osiągnięcie:</i> - niskostratny światłowód PCF (duży kontrast współczynnika załamania światła rdzenia $n=1,95$, względem otworów powietrznych) o tłumieniu własnym (0,15dB/cm) i niskim tłumieniu po wypełnieniu ciekłymi kryształami np. 0,19 dB/cm dla nematyka 5CB, (rys. 7, H1) - numeryczne i eksperymentalne przedstawienie przestrajanie dwójłomności światłowodu względem przyłożonego pola elektrycznego dla ciekłych kryształów o nadzwyczajnym wsp. zał. światła (n) mniejszym od n włókna PCF, (rys. 13, H1) - dyskusja nad zaletami i wadami światłowodów PCF o wysokiej wartości n, w kontekście niskiego tłumienia i propagacji wielomodowej i analizy zmian stanu polaryzacji obserwowanej na sferze Poincare (rozdz. 6, [H1])</p>	58/66
[H2]	<p>S. Ertman, T. R. Woliński, J. Beeckman, K. Neyts, P. J. M. Vanbrabant, R. James, and F. A. Fernández, "Numerical simulations of electrically induced birefringence in photonic liquid crystal fibers," <i>Acta Phys. Pol. A</i> 118(6), 1113–1117 (2010), IF 2010: 0,467 (IF 2023: 0,725)</p> <p><i>Udział Habilitanta:</i> opracowanie koncepcji badawczej; dostosowanie istniejącego oprogramowania do modelowania ciekłokrystalicznych światłowodów fotonicznych; przeprowadzenie i analiza symulacji numerycznych; opracowanie pierwszego tekstu artykułu; opracowanie poprawek do artykułu i poprawek na uwagi recenzentów</p> <p><i>Osiągnięcie:</i> - symulacje zmian dwójłomności ciekłokrystalicznego światłowodu fotonicznego w funkcji pola elektrycznego, ze wskazaniem na ich nieliniowy charakter (rys. 9, H2) - analiza i porównanie zaproponowanych metod modelowania opartych na kolektywnej reorientacji kryształów (rys. 4, H2) oraz uwzględniającej ich trójwymiarową reorientację (rys. 7, 8, H2)</p> <p><i>Inne:</i> staż w Ghent Univeristy</p>	7/8
[H3]	<p>S. Ertman, A. K. Srivastava, V. G. Chigrinov, M. S. Chychłowski, and T. R. Woliński, "Patterned alignment of liquid crystal molecules in silica micro-capillaries," <i>Liq. Cryst.</i> 40(1), 1–6, (2013), IF 2013: 1,959 (IF 2023: 2,676)</p> <p><i>Udział Habilitanta:</i> opracowanie koncepcji badawczej; budowa układu do napełniania kapilar ciekłymi kryształami; wykonanie próbek; pomiary właściwości próbek - analiza uporządkowania molekuł ciekłokrystalicznych; opracowanie tekstu artykułu</p> <p><i>Osiągnięcie:</i> - zastosowanie techniki foto-porządkowania molekuł ciekłokrystalicznych w mikrokapilarach polegającej na naświetlaniu spolaryzowanym promieniowaniem UV barwnika azowego (SD1) osadzonego na wewnętrznej powierzchni kapilary (rys. 2, H3), - eksperymentalne potwierdzenie trwałego uporządkowania molekuł w mikrokapilarach oraz wskazanie na możliwość uzyskania periodycznie zmiennego uporządkowania wewnątrz kapilary (rys. 4, H3).</p> <p><i>Inne:</i> staż w Hong Kong University of Technology, projekt MNSW - N517 554139</p>	15/19
[H4]	<p>A. Siarkowska, M. Józwik, S. Ertman, T. R. Woliński, and V. G. Chigrinov, "Photo-alignment of liquid crystals in micro capillaries with point-by-point irradiation," <i>Opto-Electron. Rev.</i> 22(3), 178–182 (2014), IF 2014: 1,279 (IF 2023: 2,227)</p> <p><i>Udział Habilitanta:</i> opracowanie koncepcji eksperymentu; budowa zautomatyzowanego układu laserowego do naświetlania „punkt-po-punkcie”; udział w pracach eksperymentalnych (opieka nad dyplomantką MJ i doktorantką AS); analiza i interpretacja wyników eksperymentalnych; udział w redagowaniu treści artykułu</p> <p><i>Osiągnięcie:</i> - budowa układu do naświetlania (LD, 405nm) „punkt-po punkcie” kapilary z warstwą barwnika SD1 z możliwością kontroli obrotu próbki o dowolny kąt oraz azymutu liniowo-spolaryzowanej wiązki LD (rys.</p>	5/7

	<p>1, 2 H4), - eksperymentalne uzyskanie zmian uporządkowania molekuł w kapilarach dla różnych wartości kątowych spolaryzowanej wiązki laserowej (rys. 3, 4, H4). <i>Inne:</i> projekt LIDER/05/208/L-3/11/NCBR/2012</p>	
[H5]	<p>M. M. Tefelska, S. Ertman, T. R. Wolinski, P. Mergo, and R. Dabrowski, "Large area multimode photonic band-gap propagation in photonic liquid-crystal fiber," IEEE Photonics Technol. Lett. 24(8), 631–633 (2012),</p> <p><i>Udział Habilitanta:</i> opracowanie hipotezy badawczej (w zakresie badania propagacji selektywnej w światłowodach o dużym polu modowym); opracowanie koncepcji eksperymentu; opracowanie modelu numerycznego i zdefiniowanie parametrów symulacji w pełni wektorową metodą elementów skończonych; udział w wykonaniu próbek oraz w pomiarach; analiza wyników symulacji oraz wyników pomiarów; udział w redagowaniu artykułu</p> <p><i>Osiągnięcie:</i> - wykazanie na podstawie modelu numerycznego, że w światłowodach PCF o średnicy pola modowego znacznie większej niż średnica otworów, wnikanie pola modowego w otwory będzie mniejsze niż 1%, potwierdzonego eksperymentalnie (rys. 2, tabela 1, H5) - uzyskanie niskiego tłumienia światłowodu (50μm – średnica rdzenia, 5,7μm – średnica otworów) wynoszącego 0,16 dB/cm dla $\lambda=727$nm (rys. 4, H5)</p>	16/18
[H6]	<p>S. Ertman, A. H. Rodriaguez, M. M. Tefelska, M. S. Chychlowski, D. Pysz, R. Buczynski, E. Nowinowski-Kruszelnicki, R. Dabrowski, and T. R. Wolinski, "Index Guiding Photonic Liquid Crystal Fibers for Practical Applications," J. Light. Technol. 30(8), 1208–1214 (2012), IF 2012: 2,784 (IF 2023: 4,439)</p> <p><i>Udział Habilitanta:</i> opracowanie koncepcji badawczej; wykonanie symulacji porównujących właściwości propagacyjnych różnych typów ciekłokrystalicznych światłowodów fotonicznych; bezpośredni nadzór nad wszystkimi pracami eksperymentalnym; udział w przygotowaniu próbek oraz w pomiarze ich właściwości; opracowanie metody łączenia światłowodów klasycznych ze światłowodami ciekłokrystalicznymi; opracowanie i modelowanie układów mikroelektrod; przygotowanie pierwszej wersji artykułu, opracowanie odpowiedzi na uwagi recenzentów</p> <p><i>Osiągnięcie:</i> - koncepcja włókna PCF ze szkła o wsp. zał. $n = 1,62$ znajdującym się pomiędzy wartością zwyczajnego i nadzwyczajnego współczynnika załamania światła wprowadzanych ciekłych kryształów (rys. 2, H6), - analiza wpływu natężenia pola elektrycznego na wartości tłumienności, polaryzacji oraz przesunięcia fazowego między ortogonalnymi składowymi modu (rys. 8, 9, 11, H6), ze wskazaniem na zastosowania w zakresie przestrajalnych tłumików, polaryzatorów oraz płytek fazowych, - opracowanie łącznia włókna PCF z światłowodem telekomunikacyjnym, (rys. 13, H6).</p>	39/44
[H7]	<p>T. R. Woliński, S. Ertman, and K. A. Rutkowska, "Liquid crystals infiltrated photonic crystal fibers (PCFs) for electromagnetic field sensing," in Optofluidics, Sensors and Actuators in Microstructured Optical Fibers, Editors: Stavros Pissadakis, Stefano Selleri, Woodhead Publishing, Cambridge 2015, pp. 175–206.</p> <p><i>Udział Habilitanta:</i> udział w redagowaniu całości tekstu rozdziału, w szczególności przygotowanie części poświęconej efektem indukowanym przy użyciu pola elektrycznego; omówienie prac Habilitanta realizowanych od początku zajmowania się tematyką światłowodów z ciekłymi kryształami; zaprezentowanie koncepcji wieloelektrodowego systemu sterowania pozwalającego na zmianę kierunku pola elektrycznego, opartą o zaprojektowany układ cylindrycznych mikroelektrod</p> <p><i>Osiągnięcie:</i> - propozycja konstrukcji układu elektrod do sterowania zmianą kierunku pola elektrycznego (rys. 7.6, H7) - obliczenia numeryczne i analiza propagacji światła we włóknach PCF (rys. 7.9-7.12, H7), - lokalizacja wyników badań Habilitanta w odniesieniu do osiągnięć światowych.</p>	-/4
[H8]	<p>S. Ertman, K. Rutkowska, and T. R. Woliński, "Recent Progress in Liquid-Crystal Optical Fibers and Their Applications in Photonics," J. Light. Technol. 37(11), 2516–2526 (2019), IF 2019: 4,288 (IF 2023: 4,439) – INVITED TUTORIAL</p>	16/19

	<p><i>Udział Habilitanta:</i> opracowanie wstępnej koncepcji artykułu przygotowanego na zaproszenie redakcji – „invited tutorial”, wszyscy trzej współautorzy mieli jednakowy wkład w postanie tego artykułu przeglądowego</p> <p><i>Osiągnięcie:</i> - lokalizacja wyników badań Habilitanta w odniesieniu do osiągnięć światowych.</p>	
[H9]	<p>S. Ertman, K. Orzechowski, K. Rutkowska, O. Kolodyńska, J. Różycka, A. Ignaciuk, N. Wasilewska, T. Osuch, and T. R. Woliński, "Periodic liquid crystalline waveguiding microstructures," <i>Sci. Rep.</i> 13(1), 13896 (2023), IF 2023: 4,997</p> <p><i>Udział Habilitanta:</i> opracowanie koncepcji badawczej w zakresie dotyczących kapilar wypełnionych periodycznie uporządkowanymi ciekłymi kryształami; opracowanie układu eksperymentalnego pozwalającego na uzyskanie periodycznej orientacji molekuł ciekłokrystalicznych (z rozdzielczością dochodzącą do 2 mikrometrów); bezpośredni nadzór prac eksperymentalnych wykonywanych przez dyplomantów (O.K., J.R. oraz N.W.); analiza wyników symulacji właściwości transmisyjnych kapilar z rdzeniem ciekłokrystalicznym; sformułowanie hipotezy wyjaśniającej trudności z uzyskaniem widm typowych dla siatek światłowodowych; opracowanie części manuskryptu dotyczącej kapilar wypełnionych periodycznie uporządkowanymi ciekłymi kryształami</p> <p><i>Osiągnięcie:</i> - budowa unikalnego układu pozwalającego na kontrolowane naświetlanie laserem ($\lambda=405$ nm), umożliwiającego, dzięki zastosowaniu zmiennooogniskowego układu obrazującego, na ciągle skalowanie rozmiaru pojedynczego piksela w zakresie od 2 mikrometrów (rys. 1, H9), - uzyskanie uporządkowania periodycznego w kapilarach o okresie w zakresie od 5 do 200 μm (np. rys. 5, H9), - dyskusja nad wynikami i wyzwaniem dotyczącymi siatek w strukturach falowodów z ciekłymi kryształami (rys. 15, H9).</p> <p><i>Inne:</i> realizacja w ramach IDUB PW Fotech 2</p>	0/0
[H10]	<p>S. Ertman, M. Chychłowski, K. Bednarska, A. Pazdzior, O. Jaworska, A. Czaplą, M. Bieda, M. Halendy, J. Różycka, N. Wasilewska, O. Kolodyńska, P. Harmata, D. Pysz, R. Buczyński, T. Wolinski, „All-fiber tunable devices based on high-index photonic crystal fibers filled with liquid crystals”, accepted for printing in <i>Optics Express</i> (2023), https://doi.org/10.1364/OE.502351, IF 2023: 3,833 (IF 2023: 3,833)</p> <p><i>Udział Habilitanta:</i> opracowanie koncepcji badawczej badań opisanych w ramach artykułu; zaprojektowanie i optymalizacja mikrostruktur światłowodów fotonicznych; opracowanie wieloelektrodowych układów sterowania opartych na mikroelektrodach cylindrycznych; opracowane metody zabezpieczania („packaging”) próbek ciekłokrystalicznych światłowodów fotonicznych; opracowanie koncepcji całkowicie światłowodowych przestrajalnych komponentów (retarder, polaryzator, kontroler polaryzacji); opracowanie metody ciągłej zmiany kierunku pola elektrycznego, opracowanie układów pomiarowych i udział w pomiarach; bezpośredni nadzór prac eksperymentalnych wykonywanych przez dyplomantów (KB, AP, OJ, MH, JR, NW, OK); udział w opracowaniu sterowników elektronicznych dedykowanych do sterowania ciekłokrystalicznymi światłowodami fotonicznymi; redakcja artykułu</p> <p><i>Osiągnięcie:</i> - cztero-elektrodowe układy przestrajania, bazujące na mikroelektrodach cylindrycznych o odpowiednio dobranej średnicy oraz metoda trwałego zabezpieczania próbek poprzez „zatapianie” w żywicy epoksydowej (rys. 4-6, H10) - przestrajalny w pełni światłowodowy polaryzator o współczynniku wygaszenia polaryzacji sterowanym od zera do ponad 30dB (rys. 8, H10) z możliwością arbitralnej i ciągłej zmiany azymutu polaryzatora (rys. 13, H10), - światłowodowe kontrolery stanu polaryzacji światła (rys. 14-16, H10), - światłowodowy niedeterministyczny depolaryzator, bazujący na przypadkowych fluktuacjach molekuł ciekłokrystalicznych w niestabilnej, cienkiej warstwie ciekłego kryształu wytworzonej wewnątrz mikro-otworków (rys. 17, H10).</p> <p><i>Inne:</i> realizacja w ramach: LIDER/05/208/L3-11/NCiBR/2012 oraz PW Fotech 2</p>	0/0

Publikacje zawarte w powyższym cyklu są wieloautorskie. Habilitant, poza pozycjami H4 i H5 (drugi autor), jest pierwszym autorem, a w pracach H1, H3, H6, H8, H9 i H10 autorem korespondencyjnym. Deklarowany przez dra inż. Sławomira Ertmana udział w ich powstaniu dotyczy projektowania, wytwarzania i optymalizacji mikrostruktur światłowodów fotonicznych wypełnionych ciekłymi kryształami, a w szczególności symulacji i metrologii ich fizycznych parametrów propagacyjnych i polaryzacyjnych.

Potwierdza to analiza udziału Habilitanta, przedstawiona w autoreferacie (powyżej w tabeli) oraz jej zgodność z oświadczeniami współautorów (zał. 6). Ponadto, Habilitant zajmuje się tą tematyką nieprzerwanie od pracy magisterskiej, realizując po doktoracie zadania badawcze w ramach kierowanych projektów MNiSW (N517 554139, 2009-2012), NCBiR „Lider” (LIDER/05/208/L-3/11/NCBR/2012, 2012-2016) i Fotech 2 (PW, 2021-2023). Mając na uwadze powyższe fakty uważam, że Habilitant odegrał kluczową rolę w powstaniu ocenianego cyklu publikacji H1-H10.

Tematyka cyku dotyczy badań nad fizycznymi właściwościami propagacji i polaryzacji w mikrostrukturalnych światłowodach wypełnionych ciekłymi kryształami. Habilitant podzielił tematykę badawczą na następujące zagadnienia:

- Analiza teoretyczna i modelowanie właściwości fizycznych ciekłokrystalicznych światłowodów fotonicznych.
- Badania uporządkowania molekuł ciekłokrystalicznych w mikrokapilarach i światłowodach mikrostrukturalnych oraz prace nad opracowaniem metod efektywnego i powtarzalnego porządkowania molekuł ciekłokrystalicznych.
- Badania właściwości propagacyjnych i polaryzacyjnych ciekłokrystalicznych światłowodów fotonicznych, w szczególności prace, których celem było obniżenie tłumienności oraz zapewnienie efektywnego łączenia z tzw. światłowodami klasycznymi.
- Badania przestrajania ciekłokrystalicznych światłowodów fotonicznych przy użyciu pola elektrycznego, w szczególności prace nad opracowaniem i optymalizacją układów mikroelektrod sterujących pozwalających na dynamiczną zmianę kierunku pola elektrycznego.
- Badania związane z teoretycznym i eksperymentalnym opracowaniem dynamicznie przestrajalnych komponentów światłowodowych opartych na światłowodach mikrostrukturalnych.

Powyższe zagadnienia są zawarte w cyklu publikacji H1-H10 i wynikają z kolejnych etapów badań przeprowadzonych przez Habilitanta. Ponadto istotne jest, że badania te rozciągnięte są w czasie od roku 2009 pracą w Optics Express i kończą się w roku 2023 w tym samym prestiżowym czasopiśmie. Zwracam na to uwagę, gdyż ten zakres czasowy pozwolił Habilitantowi na krytyczne spojrzenie na uzyskiwane wyniki, co jednoznacznie jest adresowane przez niego w autoreferacie i umożliwiło napisanie przeglądowych prac H7 i H8. Kolejność publikacji wynika z poprzedzających je wniosków i postawionych celów badawczych i aplikacyjnych. Przykładowo analizując swoje doświadczenia z prowadzonych symulacji w pracy H1 Habilitant stwierdza, że rozkład pola elektrycznego wewnątrz światłowodu nie jest równomierny, a więc reorientacja molekuł w światłowodzie również nie może zachodzić jednorodnie. Rozwiązuje to zagadnienie w trakcie stażu naukowego w Ghent University, gdzie przeprowadza w pełni trójwymiarowe modelowanie reorientacji molekuł ciekłokrystalicznych pod wpływem zadanego rozkładu pola elektrycznego dla przypadku założeń metod „przybliżonej i rygorystycznej”, stwierdzając, że do przewidywania zakresu przestrajania dwójmności można z powodzeniem zakładać kolektywną reorientację molekuł. Kolejno postanawia zająć się zagadnieniem kontroli uporządkowania molekuł ciekłokrystalicznych w mikro-kanalikach światłowodów mikrostrukturalnych. W tym celu w ramach stażu w Laboratorium Wyświetlaczy Ciekłokrystalicznych (Hong Kong University of Technology) pracuje ze światowymi ekspertami (prof. V. Chigrnovem) w zakresie porządkowania molekuł ciekłokrystalicznych. W trakcie tego stażu realizuje układ do napełniania mikrokapilar ciekłymi kryształami i w ramach współpracy z dr A. Srivastava prowadzi prace nad techniką foto-porządkowania molekuł, wykorzystując wewnątrz osadzoną warstwę barwnika azowego (SD1) naświetlanego lampą UV [H3] (podkreślając w autoreferacie, że próbki wykonane w 2012 r. są stabilne i nadal wykazują periodyczność uporządkowania!). Zdobyte doświadczenia w ramach staży zagranicznych determinują jego dalszy rozwój. W konsekwencji buduje swój układ do naświetlania kapilar i światłowodu spolaryzowaną wiązką diody laserowej o długości fali 405 nm, uzyskując efekt porządkowania molekuł wykorzystując barwnik SD1 [H4]. Dalej modyfikuje system wykorzystując

moduł DMD (DLP 4710, rozdzielczość 1920x1080 pikseli) oraz stosuje zmiennooogniskowy układ obrazujący, który umożliwił ciągłe skalowanie rozmiaru pojedynczego piksela w zakresie od 2 μm . W ten sposób powstały różne struktury falowodowe o periodycznym uporządkowaniu w zakresie od 5 do 200 μm [H9]. Następnie zajmuje się zagadnieniem dotyczącym obniżenia tłumienia światłowodu fotonicznego z ciekłymi kryształami [H5, H6]. Na podstawie symulacji numerycznych wykazuje możliwości uzyskania niskostratnej propagacji w światłowodach ciekłokrystalicznych, zakładając uzyskanie ograniczenia wnikania pola modowego do otworów wypełnionych ciekłym kryształem. Jest to też wynik wcześniejszych badań Habilitanta, na podstawie których stwierdził, że zastosowanie technik porządkowania molekuł nie rozwiąże zagadnienia uzyskania niskostratnych światłowodów ciekłokrystalicznych. W ten sposób powstają dwa włókna fotoniczne charakteryzujące się dużym polem modowym (50 μm) i współczynnikiem załamania szkła $n=1,62$, wytworzone odpowiednio w zespołach kierowanych przez prof. R. Buczyńskiego i prof. P. Mergo. W pierwszym uzyskano niskie tłumienie światłowodu (50 μm – średnica rdzenia, 5,7 μm – średnica otworów) wynoszące 0,16 dB/cm dla $\lambda=727\text{nm}$ [H5]. W drugim, opracowana koncepcja włókna ze szkła o wsp. zał. $n = 1,62$, czyli znajdującym się pomiędzy wartością zwyczajnego i nadzwyczajnego współczynnika załamania światła wprowadzanych ciekłych kryształów, pozwoliła na analizę wpływu natężenia pola elektrycznego na wartości tłumienności, polaryzacji oraz przesunięcia fazowego między ortogonalnymi składowymi modu. W efekcie wskazano na zastosowania w zakresie przestrajalnych tłumików, polaryzatorów oraz płytek fazowych, a także opracowano łącznie włókien PCF z światłowodem telekomunikacyjnym [H6]. Praca ta ukazuje cel aplikacyjny nad którym pracował Habilitant kierując projektem LIDER/05/208/L3-11/NCiBR/2012, czego efektem są wyniki zawarte w pracy H10, w której wykorzystano trzy rodzaje światłowodów jednomodowych zoptymalizowanych do budowy przestrajalnych komponentów światłowodowych. Światłowody PCF-22e, PCF-24 i PCF-291b wykonano ze szkła PBG08 ($n=1,938$), Schott F2 ($n=1,618$) i PBS ($n=1,815$). Najważniejsze osiągnięcia Habilitanta dotyczyły opracowania cztero-elektrodowych układów przestrajania, budowy przestrajalnego światłowodowego polaryzatora o współczynniku wygaszenia polaryzacji od 0 do 30dB z możliwością arbitralnej i ciągłej zmiany azymutu polaryzatora. Ponadto, powstał światłowodowy kontroler stanu polaryzacji światła i niedeterministyczny depolaryzator, bazujący na przypadkowych fluktuacjach molekuł ciekłokrystalicznych. W cyklu znajdują się dwie istotne, wspomniane wcześniej w recenzji, zaproszone pozycje przeglądowe H7 i H8, traktujące o badaniach nad światłowodami ciekłokrystalicznymi, prowadzonymi w zespole kierowanym przez prof. Tomasza Wolińskiego. Habilitant włączył je do cyklu prezentując własne propozycje konstrukcji układu elektrod do sterowania zmianą kierunku pola elektrycznego, obliczenia numeryczne i analizę propagacji promieniowania we włóknach PCF. Uważam, że było to słuszne posunięcie pokazujące, na tle badań światowych, własne osiągnięcia Habilitanta, do których sam zalicza:

- Przeprowadzenie rygorystycznego modelowania numerycznego właściwości fizycznych ciekłokrystalicznych światłowodów fotonicznych i porównanie z wynikami symulacji przeprowadzonych przy użyciu uproszczonego modelu, bazującego na diagonalnym tensorze przenikalności dielektrycznej i uproszczonym założeniu kolektywnej reorientacji wszystkich molekuł o ten sam kąt.
- Opracowanie metod efektywnego porządkowania molekuł ciekłokrystalicznych w mikrokapilarach i światłowodach mikrostrukturalnych.
- Optymalizacja (teoretyczna i eksperymentalna) struktur ciekłokrystalicznych światłowodów fotonicznych, w szczególności obniżenie tłumienności.
- Określenie warunków niezbędnych do uzyskania niskiej tłumienności w strukturach, w których propagacja odbywa się dzięki zjawisku fotonicznej przerwy wzbronionej.
- Opracowanie metody efektywnego łączenia światłowodów ciekłokrystalicznych z tzw. światłowodami klasycznymi.

- Optymalizacją układów mikroelektrod sterujących pozwalających na dynamiczną zmianę kierunku pola elektrycznego, w szczególności opracowanie cztero-elektrodowego układu sterowania bazującego na cylindrycznych mikroelektrodach.
- Badania związane z teoretycznym i eksperymentalnym opracowaniem dynamicznie przestrajalnych komponentów światłowodowych opartych na światłowodach mikrostrukturalnych.
- Opracowanie i scharakteryzowanie w pełni światłowodowych kontrolerów stanu polaryzacji światła.

Analizując załączone w dokumentacji publikacje H1-H10, recenzent wyspecyfikował w tabeli osiągnięcia, które uznaje za znaczący wkład w rozwój dyscypliny nauki fizyczne. Osiągnięcia Habilitanta zostały już zweryfikowane naukowo, poprzez ich lokalizację w branżowych czasopismach JCR: Optics Express x2, Scientific Reports, J. Light. Technol. x2, IEEE Photonics Technol. Lett., Liq. Cryst., Opto-Electron. Rev., Acta Phys. Pol. A i Woodhead Publishing, Cambridge, Średni współczynnik wpływu ocenianego cyklu wynosi 2,51, a sumaryczna liczba cytowań 156/185 (wg. WoS/Scopus).

Przedłożony przez dra inż. Sławomira Ertmana cykl 10 publikacji powiązanych tematycznie, zatytułowany „Niskostratne i przestrajalne światłowody mikrostrukturalne z wypełnieniem ciekłokrystalicznym”, zawiera osiągnięcia wnoszące wkład w rozwój dyscypliny nauki fizyczne, a Habilitant spełnia wymagania stawiane kandydatowi do stopnia doktora habilitowanego.

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

Dr inż. Sławomir Ertman od początku kariery naukowej konsekwentnie zajmował się ciekłokrystalicznymi światłowodami fonicznymi w szerokim aspekcie ich symulacji, konstrukcji, metrologii właściwości fizycznych i zastosowań. Jego aktywność naukową można przedstawić w następujących punktach:

3.1 Dane naukometryczne

- 49 publikacje JCR (licząc z cyklem habilitacyjnym)
- 96,2 - sumaryczny IF (wartość IF z roku 2023), w tym 25,076 - publikacje z cyklu [H1-H10],
- 955/1169 cytowań, w tym 730/871 bez autocytowań, wg. baz WoS/Scopus
- 14/17 - Indeks Hirscha, wg. baz WoS/Scopus,
- 46 wystąpień na konferencjach międzynarodowych, w tym 18 przed doktoratem,
- 19 wystąpień na krajowych konferencjach, w tym 8 przed doktoratem,
- 1 rozdział w monografii T. R. Woliński, S. Ertman, and K. A. Rutkowska, "Liquid crystals infiltrated photonic crystal fibers (PCFs) for electromagnetic field sensing," in Optofluidics, Sensors and Actuators in Microstructured Optical Fibers, Editors: Stavros Pissadakis, Stefano Selleri, Woodhead Publishing, Cambridge 2015, pp. 175–206.
- 3 razy kierował projektami: NCBiR LIDER/05/208/L-3/11/NCBR/2012 (2012-2016), MNiSW N517 554139 (2009-2012), Fotech 2 – PW, IDUB (2021-2023)
- 5 razy uczestniczył jako główny wykonawca/wykonawca w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych (MNiSzW N517 0164 33; MNiSzW N517 0565 35, MNiI 3T10C 016 28, European Network of Excellence on Microoptics NEMO Program, PBZ-MIN-009/T11/2003),

3.2 Istotna aktywność naukowa realizowana w więcej niż jednej uczelni, udokumentowana realizacją projektów, publikacjami i pozycjami konferencyjnymi

- Hong Kong University of Technology, Chiny, efektem aktywności jest publikacja [H3]: S. Ertman, A. K. Srivastava, V. G. Chigrinov, M. S. Chychłowski, and T. R. Woliński, "Patterned alignment of liquid crystal molecules in silica micro-capillaries," Liq. Cryst. 40(1), 1–6 (2013).

- Ghent University, Gandawa, Belgia; efektem aktywności jest publikacja [H2]: S. Ertman, T. R. Woliński, J. Beeckman, K. Neyts, P. J. M. Vanbrabant, R. James, and F. A. Fernández, "Numerical simulations of electrically induced birefringence in photonic liquid crystal fibers," *Acta Phys. Pol. A* 118(6), 1113–1117 (2010)

3.3 Wykaz staży w instytucjach naukowych lub artystycznych, w tym zagranicznych, z podaniem miejsca, terminu, czasu trwania stażu i jego charakteru

- 2017 IX-XII 60-dniowe szkolenie "Industrial Technical Tutor Training Program" (sponsored by Ministry of Economic Affairs, Republic of China), Taichung, Tajwa,
- 2011 VII-VIII 30-dniowy staż naukowy, Hong Kong University of Technology, Chiny Opiekun naukowy stażu: Prof. Vladimir Chigrinov, tematyka stażu: fotoorientacja molekuł ciekłokrystalicznych w mikro-kapilarach i światłowodach fotonicznych,
- 2009 XI-XII 60-dniowy staż naukowy, Ghent University, Gandawa, Belgia; Opiekun naukowy stażu: prof. Kristiaan Neyts; Tematyka stażu: modelowanie ciekłokrystalicznych światłowodów fotonicznych z uwzględnieniem anizotropii dielektrycznej i uporządkowania ciekłego kryształu,
- 2007 V-VIII 90-dniowy staż naukowy, Vrije Universiteit Brussel, Bruksela, Belgia, tematyka stażu: symulacje numeryczne dwójłomnych światłowodów fotonicznych selektywnie wypełnionych ciekłym kryształem.

3.4 Uczestnictwo w programach europejskich lub innych programach międzynarodowych

- 2004-2008 - European Network of Excellence on Microoptics NEMO Program,
- 2021-2023 Nawa SPINAKER International Summer Schools of the Warsaw University of Technology.

3.5 Współpraca naukowa

- Łukasiewicz Research Network - Institute of Microelectronics and Photonics, Department of Fiber Technology and Quantum Systems – prof. dr hab inż. Ryszard Buczyński, dr inż. Dariusz Pysz, dr. inż. Van Thuy Hoang,
- Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Pracownia Technologii Światłowodów, Lublin – dr hab. inż. Paweł Mergo, mgr inż. Adam Paździor,
- Ghent University, Gandawa, Belgia – prof. Kristiaan Neyts, prof. Prof. Jeroen Beeckman ,
- Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Nowych Technologii i Chemii, Warszawa prof. R. Dąbrowski, dr inż. Edward Nowinowski-Kruszelnicki, dr hab. inż. Przemysław Kula, dr inż. Olga Strzeżysz, dr inż. Piotr Harmata,
- University College London, United Kingdom – prof. Federico Anibal Fernandez, dr Dr. Richard James,
- Agency for Science, Technology and Research (A, STAR), Institute for Infocomm Research, Singapore – dr Dora Juan Juan Hu,
- Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, China – prof. Vladimir Chigrinov, dr Abhishek Kumar Srivastava,
- Southern University of Science and Technology (SUSTech), Shenzhen, China – prof. Perry Ping Shum.

3.6 Wykaz recenzowanych prac naukowych czasopism naukowych indeksowanych w JCR

Optics Express, Optics Letters, Photonics Technology Letters, Liquid Crystals, Optical and Quantum Electronics, Applied Physics B, Optoelectronics Review, Sensors, Materials, Photonics Letters of Poland

3.7 Wybrane nagrody i wyróżnienia

- 2016-2018 – Stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla wybitnych młodych naukowców,
- 2018, 2016, 2014, 2011, 2009 – Zespołowa Nagroda I-go stopnia J.M. Rektora Politechniki Warszawskiej za osiągnięcia naukowe,

- 2011 – Nagroda Prezesa Rady Ministrów za rozprawę doktorską „Polaryzacja światła w ciekłokrystalicznych światłowodach fotonicznych”,
- 2011 – stypendium w ramach programu „Start” Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej.

Na podstawie powyższego stwierdzam, że dr inż. Sławomir Ertman jest samodzielnym pracownikiem naukowym. Zwraca uwagę Jego doświadczenie w kierowaniu projektami badawczymi we współpracy zagranicznej i krajowej, co przekłada się na dużą aktywność publikacyjną (JCR) oraz konferencyjną. Habilitant przebywał na naukowych stażach zagranicznych realizując zadania w obrębie więcej niż jednej uczelni.

4. Działalność dydaktyczna, organizacyjna i popularyzatorska

Działalność Habilitanta w zakresie dydaktyki, organizacji i popularyzacji nauki obejmuje:

4.1 Prowadzenie zajęć dydaktycznych w formie wykładów, ćwiczeń, laboratoriów i projektów w języku polskim i angielskim na Wydziale Fizyki PW z przedmiotów: Podstawy fizyki 1 i Podstawy fizyki 2, (2010 - 2023); Programowanie obiektowe Java, (2012 - 2023); Laboratorium Fizyki 3 i Laboratorium naukowe (2012 - 2023); Laboratorium podstaw fizyki (2006 - 2015); Laboratorium Fizyki 2, (2011 - 2018); Laboratorium optoelektroniki, (2007 – 2013); Physics II (2013).

4.2 Wypromowanie 32 prac inżynierskich i 10 prac magisterskich na Wydziale Fizyki PW.

4.3 Promotor pomocniczy obronionej pracy doktorskiej dr. Agaty Budaszewskiej

4.4 Osiągnięcia w opiece nad studentami:

- Aura Higuera Rodriguez - pierwsza nagroda za najlepszy poster w trakcie międzynarodowych warsztatów OpSciTech Summer Workshop – 2011,
- Aleksander Tyburka (praca inżynierska) i Agata Siarkowskiej (praca magisterska) - wyróżnienia prac dyplomowych w Ogólnopolskim Konkursie na Najlepsze Prace Dyplomowe z Zakresu Optoelektroniki im. Adama Smolińskiego – 2012,
- Michalina Józwik (praca inżynierska) - nagroda III-stopnia w XXIII Konkursie PKOpto 2014 im. Profesora Adama Smolinskiego na najlepsze prace dyplomowe z zakresu optoelektroniki – 2014,
- Julia Różycka i Natalia Wasilewska (prace inżynierskie) - wyróżnienia prac dyplomowych w Ogólnopolskim Konkursie na Najlepsze Prace Dyplomowe z Zakresu Optoelektroniki im. Adama Smolińskiego - 2022.

4.5 Osiągnięcia organizacyjne:

- Kierownik Laboratorium Nanofotoniki – od 2023 roku,
- Członek Uczelnianej Komisji Wyborczej (w tym wybory władz PW w 2020 roku),
- Sekretarz Komisji Oceny Śródkresowej Doktorantów WF PW,
- Pełnomocnik Dziekana ds. programu Erasmus Plus - koordynowanie Programem LLP Erasmus i Programem Erasmus+,
- członkostwo w organizacjach naukowych: The International Society for Optical Engineering SPIE; Optica (The Optical Society of America), The Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE, IEEE Photonics Society, Photonics Society of Poland,
- członek zespołu redakcyjnego czasopisma “Photonics Letters of Poland”,
- członek Komitetu Organizacyjnego konferencji IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC-2007, Warsaw, Poland, May 1-3, 2007.

4.6 Osiągnięcia popularyzujące naukę:

- Oprowadzanie wycieczek po Laboratorium Fotoniki Światłowodowej w trakcie dni otwartych, pikników naukowych oraz wizyt delegacji krajowych i zagranicznych (w latach 2009-2023),

- Prowadzenie zajęć (wykład i laboratorium) w ramach szkoły letniej w ramach programu NAWA Międzynarodowe Szkoły Letnie Politechniki Warszawskiej, „Summer School of Photonics 2023.

Habilitant posiada bogate doświadczenie w zakresie działalności dydaktycznej, organizacyjnej i popularyzatorskiej.

5. Wniosek

Stwierdzam, że zarówno poziom naukowy cyklu publikacji, jak i pozostały dorobek naukowy dra inż. Sławomira Ertmana spełniają wymagania art. 219 ust 1 pkt 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. 2020 poz. 85 z późn. zm.) stawiane kandydatowi do stopnia naukowego doktora habilitowanego. Wnoszę o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne.

Kraków, 04.04.2024 r.

