

dr hab. inż. Jerzy Pluciński, prof. PG
Politechnika Gdańska,
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki,
Katedra Metrologii i Optoelektroniki

Gdańsk, 27 marca 2024 r.

Recenzja w postępowaniu habilitacyjnym dra inż. Sławomira Ertmana

1. Uwagi wstępne

Formalną podstawą prawną wykonania recenzji osiągnięcia naukowego (zgodnie z Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 art. 219 ust. 1 pkt 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. z późn. zm. „Prawa o szkolnictwie wyższym i nauce”) jest powołanie mnie przez Radę Dyscypliny Nauki Fizyczne Politechniki Warszawskiej w dniu 18 stycznia 2024 r. na członka komisji habilitacyjnej w charakterze recenzenta w postępowaniu habilitacyjnym dra inż. Sławomira Ertmana w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne. Dokumentację związaną z procedurą habilitacyjną otrzymałem 6 lutego 2024 r. w formie elektronicznej w postaci plików w formacie pdf.

Dokumentacja zawiera:

- Uchwałę nr 3/01/2024 Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Politechniki Warszawskiej z dnia 18 stycznia 2024 r.,
- Wniosek przewodni dra inż. Sławomira Ertmana w języku polskim i angielskim,
- Dane wnioskodawcy dra inż. Sławomira Ertmana,
- Kopię dyplomu uzyskania stopnia doktora,
- Autoreferat w języku polskim i angielskim,
- Kopie 10 publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego,
- Oświadczenia współautorów o wkładzie autorskim do publikacji,
- Kopie nagród, dyplomów i certyfikatów,
- Listę załączników.

2. Sylwetka zawodowa Habilitanta

Habilitant jest absolwentem Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej, gdzie w 2005 roku uzyskał dyplom magistra inżyniera w specjalności optoelektronika (studia ukończone z wynikiem celujący). Po uzyskaniu dyplomu magistra inżyniera Habilitant podjął studia doktoranckie na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej, które ukończył w 2009 roku, uzyskując stopień naukowy doktora nauk fizycznych w zakresie fizyki. W międzyczasie w latach 2006–2007 uczestniczył w kursie Master of Research (MRes) o tematyce: „Electromagnetics in the Analysis and Design of Communication and High-speed Systems” organizowanym przez University of Nottingham we współpracy z Instytutem Łączności w Warszawie (ukończonym bez złożenia pracy dyplomowej). W latach 2011–2012 Habilitant był uczestnikiem Podyplomowych Studiów Zarządzania Projektami w Katedrze Zarządzania Projektami Szkoły Głównej Handlowej (studia zaoczne, ukończone bez złożenia pracy). Od 2010 roku Habilitant jest

zatrudniony na stanowisku adiunkta w Zakładzie Optyki i Fotoniki Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej.

3. Ocena dorobku naukowego, projektowego, konstrukcyjnego i technologicznego

Głównym obszarem naukowych zainteresowań dra inż. Sławomira Ertmana są badania dotyczące ciekłokrystalicznych struktur fotonicznych – w szczególności struktury wykorzystujące mikrokapilary oraz światłowody mikrostrukturalne wypełnione ośrodkiem ciekłokrystalicznym, w tym światłowody fotoniczne (ang. Photonic Crystal Fibers) wykorzystujące taki ośrodek. Osiągnięcia z tego obszaru są przedmiotem oceny przedstawionego dorobku w postępowaniu habilitacyjnym.

3.1. Ocena cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych

Jako osiągnięcie naukowe w rozumieniu Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.) Habilitant przedstawił wyniki prac opisane w cyklu publikacji pt.:

„Niskostratne i przestrajalne światłowody mikrostrukturalne z wypełnieniem ciekłokrystalicznym”,

na który składa się cykl powiązanych tematycznie 9 artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych, o którym mowa w art. 219 ust. 1 pkt 2 lit. b) Ustawy (numeracja zgodna z Autoreferatem):

- [H1] **S. Ertman**, T. R. Wolinski, D. Pysz, R. Buczynski, E. Nowinowski-Kruszelnicki, R. Dabrowski: Low-loss propagation and continuously tunable birefringence in high-index photonic crystal fibers filled with nematic liquid crystals. *Optics Express* 17(21), pp. 19298–19310 (2009), <https://doi.org/10.1364/OE.17.019298>. IF 2009: 3,278 (IF 2023: 3,833), liczba cytowań: WoS: 58, Scopus: 66, punktów ministerialnych w roku wydania: 32 (140 w 2023 r.).
- [H2] **S. Ertman**, T. R. Woliński, J. Beeckman, K. Neyts, P. J. M. Vanbrabant, R. James, F. A. Fernández: Numerical simulations of electrically induced birefringence in photonic liquid crystal fibers. *Acta Physica Polonica Series A* 118(6), pp. 1113–1117 (2010), <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.118.1113>. IF 2010: 0,467 (IF 2023: 0,725), liczba cytowań: WoS: 7, Scopus: 8, punktów ministerialnych w roku wydania: 13 (70 w 2023 r.).
- [H3] **S. Ertman**, A. K. Srivastava, V. G. Chigrinov, M. S. Chychłowski, T. R. Woliński: Patterned alignment of liquid crystal molecules in silica micro-capillaries. *Liquid Crystals* 40(1), pp. 1–6 (2013), <https://doi.org/10.1080/02678292.2012.725869>. IF 2013: 1,959 (IF 2023: 2,676), liczba cytowań: WoS: 15, Scopus: 19, punktów ministerialnych w roku wydania: 25 (100 w 2023 r.).
- [H4] A. Siarkowska, M. Jóźwik, **S. Ertman**, T. R. Woliński, V. G. Chigrinov: Photo alignment of liquid crystals in micro capillaries with point-by-point irradiation. *Opto-Electronics Review* 22(3), pp. 178–182 (2014), <https://doi.org/10.2478/s11772-014-0188-9>. IF 2014: 1,279 (IF 2023: 2,227), liczba cytowań: WoS: 5, Scopus: 7, punktów ministerialnych w roku wydania: 20 (100 w 2023 r.).
- [H5] M. M. Tefelska, **S. Ertman**, T. R. Wolinski, P. Mergo, R. Dabrowski: Large area multimode photonic band-gap propagation in photonic liquid-crystal fiber. *IEEE*

Photonics Technology Letters 24(8), pp. 631–633 (2012),
<https://doi.org/10.1109/LPT.2012.2184278>.

IF 2012: 2,191 (IF 2023: 2,414), liczba cytowań: WoS: 16, Scopus: 18, punktów ministerialnych w roku wydania: 30 (100 w 2023 r.).

- [H6] **S. Ertman**, A. H. Rodriaguez, M. M. Tefelska, M. S. Chychłowski, D. Pysz, R. Buczyński, E. Nowinowski-Kruszelnicki, R. Dąbrowski, T. R. Woliński: Index Guiding Photonic Liquid Crystal Fibers for Practical Applications (Invited Paper). *Journal of Lightwave Technology* 30(8), pp. 1208–1214 (2012),
<https://doi.org/10.1109/JLT.2011.2172393>.

IF 2012: 2,784 (IF 2023: 4,439), liczba cytowań: WoS: 39, Scopus: 44, punktów ministerialnych w roku wydania: 40 (140 w 2023 r.).

- [H8] **S. Ertman**, K. Rutkowska, T. R. Woliński: Recent Progress in Liquid-Crystal Optical Fibers and Their Applications in Photonics (Invited Tutorial). *Journal of Lightwave Technology* 37(11), pp. 2516–2526 (2019), <https://doi.org/10.1109/JLT.2018.2869916>.
 IF 2019: 4,288 (IF 2023: 4,439), liczba cytowań: WoS: 16, Scopus: 19, punktów ministerialnych w roku wydania: 140 (140 w 2023 r.).

- [H9] **S. Ertman**, K. Orzechowski, K. Rutkowska, O. Kołodyńska, J. Różycka, A. Ignaciuk, N. Wasilewska, T. Osuch, T. R. Woliński: Periodic liquid crystalline waveguiding microstructures. *Scientific Reports* 13(1), 13896 (2023) <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41255-6>.

IF 2023: 4,997, liczba cytowań: WoS: 0, Scopus: 0, punktów ministerialnych w roku wydania: 140 (140 w 2023 r.).

- [H10] **S. Ertman**, M. Chychłowski, K. Bednarska, A. Paździor, O. Jaworska, A. Czapla, M. Bieda, M. Halendy, J. Różycka, N. Wasilewska, O. Kołodyńska, P. Harmata, D. Pysz, R. Buczyński, T. R. Woliński: All-fiber tunable devices based on high-index photonic crystal fibers filled with liquid crystals. Accepted for printing in *Optics Express* (2023), <https://doi.org/10.1364/OE.502351>.

IF 2023: 3,833 (IF 2023: 3,833), liczba cytowań: WoS: 0, Scopus: 0, punktów ministerialnych w roku wydania: 140 (140 w 2023 r.).

oraz rozdział w prestiżowej monografii naukowej:

- [H7] T. R. Woliński, **S. Ertman**, 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.
<https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-329-4.00007-2>.

IF: nie dotyczy, liczba cytowań: WoS: nie indeksowane, Scopus: 4.

Ocena bibliometryczna cyklu publikacji naukowych

Na cykl składa się dziewięć artykułów z lat 2009–2023 opublikowanych w czasopiśmie z listy Journal Citation Reports (JCR), których *impact factor* (IF) w roku publikacji zawiera się w przedziale od 0,467 do 4,997, w tym cztery o IF > 3,0 (w roku 2023 – w przedziale od 0,725 do 4,997, w tym pięć o IF > 3,0). Sumaryczny IF przedstawionych prac wynosi 25,076 (29,582 w 2023 r.), a sumaryczna liczba punktów ministerialnych wynosi 584 (1070 w 2023 r.). Liczba cytowań prac z cyklu wynosi 156 wg bazy Web of Science, a 181 (plus 4 cytowania dołączonego rozdziału) wg bazy Scopus. Wszystkie artykuły mają wielu współautorów – z wyjątkiem

jednego artykułu, który ma trzech współautorów (tyle samo współautorów ma dołączony rozdział w monografii naukowej), w pozostałych pracach liczba ta wynosi od pięciu do piętnastu. W siedmiu artykułach Habilitant jest pierwszym współautorem, a w jednym – drugim współautorem (tak jak w dołączonym rozdziale monografii). Z oświadczeń Habilitanta i współautorów wynika, że w jego udział był przodujący w opracowaniu koncepcji badawczej (prace [H1]–[H3], [H6], [H9] i [H10]) lub opracowaniu koncepcji eksperymentu (prace [H4], [H5]). W pracy [H7] udział Habilitanta dotyczył redagowania całości tekstu rozdziału, natomiast w pracy [H8] Jego udział był przodujący w opracowaniu wstępnej koncepcji artykułu przygotowanego na zaproszenie redakcji. W zależności od charakteru artykułu udział Habilitanta był również przodujący m.in. w opracowaniu projektu światłowodu mikrostrukturalnego, opracowaniu modelu numerycznego i zdefiniowaniu parametrów symulacji światłowodu fotonicznego wypełnionego ciekłym kryształem, w opracowaniu i modelowaniu układów mikroelektrod, opracowaniu wieloelektrodowych układów sterowania opartych na mikroelektrodach cylindrycznych, w opracowaniu metody zabezpieczania („packaging”) próbek światłowodów mikrostrukturalnych z wypełnieniem ciekłokrystalicznym, w opracowaniu koncepcji całkowicie światłowodowych przestrzajalnych komponentów, w opracowaniu metody ciągłej zmiany kierunku pola elektrycznego oraz w opracowaniu układów pomiarowych. We wszystkich pracach brał też udział w ich redagowaniu. Szczegółowe zakresy wykonanych prac związanych z wkładem Habilitanta dla poszczególnych publikacji cyklu zawarte są w Autoreferacie oraz w oświadczeniach współautorów o wkładzie autorskim do publikacji.

Dorobek ten **jest znaczący** z bibliometrycznego punktu widzenia.

Ocena merytoryczna osiągnięć naukowych opisanych w cyklu prac przedstawionych do oceny

Przedstawiony przez Habilitanta cykl powiązanych tematycznie prac naukowych opublikowanych w czasopiśmie naukowych wraz z rozdziałem monografii dotyczy jego osiągnięć w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne w zakresie badań nad ciekłokrystalicznymi światłowodami fotonicznymi i mikrostrukturalnymi. Celem naukowym, jaki sobie postawił Habilitant, było przeprowadzenie badań właściwości fizycznych (w szczególności właściwości propagacyjnych i polaryzacyjnych) mikrostrukturalnych światłowodów wypełnionych ciekłymi kryształami. Badania te prowadzone były, wykorzystując analizę teoretyczną i modelowanie numeryczne oraz eksperymenty doświadczalne, prowadzące do poznania właściwości fizycznych opracowanych przez Habilitanta struktur. W szczególności przeprowadzone badania dotyczyły:

- analizy teoretycznej i modelowania właściwości fizycznych światłowodów mikrostrukturalnych z wypełnieniem ciekłokrystalicznym;
- uporządkowania molekuł ciekłokrystalicznych w mikrokapilarach światłowodów mikrostrukturalnych oraz prac nad opracowaniem metod efektywnego i powtarzalnego porządkowania molekuł ciekłokrystalicznych;
- właściwości propagacyjnych i polaryzacyjnych światłowodów mikrostrukturalnych z wypełnieniem ciekłokrystalicznym, w szczególności prac, których celem było obniżenie tłumienności oraz zapewnienie efektywnego łączenia z tzw. światłowodami klasycznymi;
- przestrzajania światłowodów mikrostrukturalnych z wypełnieniem ciekłokrystalicznym przy użyciu pola elektrycznego, w szczególności prac nad opracowaniem i optymalizacją

cją układów mikroelektrod sterujących pozwalających na dynamiczną zmianę kierunku pola elektrycznego;

- opracowania dynamicznie przestrajalnych komponentów światłowodowych wykorzystujące światłowody mikrostrukturalne z wypełnieniem ciekłokrystalicznym.

W pracy [H1] Habilitant przedstawił wyniki badań nad wielomodowym mikrostrukturalnym ciekłokrystalicznym światłowodem fotonicznym (ang. *photonic liquid crystal fiber* – PLCF). Oryginalnym pomysłem było tu wykorzystanie szkła o bardzo dużym współczynniku załamania wynoszącym $\sim 1,95$ (szkło PBG-08), który był większy od współczynników załamania wykorzystanego ciekłego kryształu (zarówno zwyczajnego, jak i nadzwyczajnego), którym wypełniono otwory tworzące mikrokapilary w wytworzonej mikrostrukturze. Wykonany na bazie opracowanego przez Habilitanta projektu światłowód przed wypełnieniem ciekłym kryształem charakteryzował się tłumiennością $0,15 \text{ dB/cm}$. Po wypełnieniu otworów opracowanego światłowodu jego tłumienność tylko w niewielkim stopniu wzrosła (np. do wartości $0,19 \text{ dB/cm}$ przy wypełnieniu nematykiem 5CB). Tak małą tłumienność udało się osiągnąć dzięki uniknięciu propagacji bazującej na zjawisku tzw. fotonicznej przerwy wzbronionej (charakteryzującej się dużym wnikaniami pola modowego w otwory, a co za tym idzie dużego rozpraszania promieniowania optycznego przez molekuły ciekłokrystaliczne). Sukcesem Habilitanta jest to, że na drodze wykonanych przez niego symulacji numerycznych wykazał on, iż w opracowanym światłowodzie dla modu podstawowego promieniowanie optyczne będzie zlokalizowane głównie w szklanym rdzeniu – nieznacznie tylko wnikać w otwory przyległe do rdzenia. Brak fotonicznej przerwy wzbronionej pozwolił na propagację szerokopasmową. Habilitant również zamodelował możliwość uzyskania w opracowanym światłowodzie przestrajania dwójłomności przy użyciu poprzecznego pola elektrycznego przyłożonego do światłowodu. Zakres przestrajania dwójłomności był większy przy zastosowaniu ciekłych kryształów o wyższej dwójłomności pod warunkiem, że nadzwyczajny współczynnik załamania był niższy niż współczynnik załamania szkła – stąd tak duże jest znaczenie doboru szkła o bardzo dużym współczynniku załamania, którym mogą się charakteryzować niektóre szkła wieloskładnikowe. Jednakże szkła te jednocześnie charakteryzują się znacznie większą tłumiennością niż szkło kwarcowe (szkło krzemionkowe) powszechnie wykorzystywane do wytwarzania światłowodów o bardzo małej tłumienności do zastosowań telekomunikacyjnych. Badania eksperymentalne potwierdziły możliwość ciągłego i powtarzalnego strojenia dwójłomności fazowej indukowanej zewnętrznym polem elektrycznym. Najbardziej interesującą cechą strojenia jest to, że początkowo światłowód niewykazujący dwójłomności (bez pola elektrycznego) staje się dwójłomny z wywołaną dwójłomnością fazową proporcjonalną do natężenia zewnętrznego pola elektrycznego oddziałującego na światłowód. Ponadto jego oś dwójłomności jest określana przez kierunek tego pola, co jest szczególnie interesujące w kontekście potencjalnych zastosowań (np. jako światłowodowe kontrolery polaryzacji, modulatory fazowe lub kompensatory dyspersji polaryzacyjnej). Wadą opracowanego przez Habilitanta światłowodu, która w znacznym stopniu ogranicza jego potencjalne zastosowanie, jest to, że nie jest to światłowód jednomodowy.

Wyniki badań kończących się uzyskaniem niskostratnej propagacji w światłowodach mikrostrukturalnych z wypełnieniem ciekłokrystalicznym, w których propagacja odbywa się dzięki zjawisku fotonicznej przerwy wzbronionej, zostały opublikowane w pracy [H5]. Jednak udział Habilitanta w osiągnięciu tego sukcesu był skromniejszy niż w badaniach przedstawionych w pracy [H1] i ograniczył się do opracowania hipotezy badawczej w zakresie badania propagacji selektywnej w światłowodach o dużej średnicy pola modu, opracowania koncepcji

eksperymentu, opracowania modelu numerycznego, zdefiniowania parametrów symulacji w pełni wektorową metodą elementów skończonych i współudziału w analizie wyników symulacji oraz wyników pomiarów (zgodnie z oświadczeniami współautorów pracy [H5], przeprowadzenie symulacji numerycznych, wykonanie próbek i pomiary widm transmisyjnych próbek światłowodów fotonicznych z wypełnieniem ciekłokrystalicznym o dużym rdzeniu wykonała pierwsza współautorka publikacji, dr inż. Marzena Maria Sala-Tefelska). W opracowanym światłowodzie fotonicznym z wypełnieniem ciekłokrystalicznym uzyskano bardzo małą tłumienność wynoszącą 0,16 dB/cm.

Kolejnym osiągnięciem Habilitanta jest przeprowadzenie analizy teoretycznej i modelowania właściwości fizycznych światłowodów mikrostrukturalnych z wypełnieniem ciekłokrystalicznym. W pracy [H1] Habilitant przedstawił wyniki modelowania numerycznego z wykorzystaniem metody elementów skończonych, pozwalające określić właściwości tych światłowodów. Wykorzystano tu metodę przybliżoną, zakładającą, że rozkład pola elektrycznego wewnątrz światłowodu jest jednorodny, co powoduje, że wszystkie molekuły reorientują się jednocześnie o ten sam kąt. W rzeczywistości rozkład tego pola nie jest jednorodny, a co za tym idzie, kąt reorientacji molekuł ciekłego kryształu nie jest jednorodny. Ma to istotny wpływ na dokładność wyników symulacji. Aby ten problem rozwiązać, Habilitant w dalszych badaniach wykorzystał metodę elementów skończonych z uwzględnieniem niejednorodności rozkładu pola elektrycznego, a co za tym idzie niejednorodności kąta reorientacji molekuł ciekłego kryształu. W wyniku tego podejścia uzyskane wyniki modelowania zmiany dwójłomności światłowodu mikrostrukturalnego z wypełnieniem ciekłokrystalicznym w funkcji natężenia pola elektrycznego były znacznie dokładniejsze aniżeli wyniki, które można uzyskać za pomocą metody opisanej w pracy [H1]. Wyniki tej symulacji pokazały między innymi, że wzrost dwójłomności nie jest liniowy i że po przekroczeniu pewnej wielkości pola elektrycznego zmiany dwójłomności ulegają „nasyceniu”. Przewidywania tego zjawiska zostały potwierdzone eksperymentalnie. Wyniki tych badań Habilitant zawarł w pracy [H2].

Następnym problemem, jakim zajął się Habilitant, było kontrolowanie uporządkowania molekuł ciekłokrystalicznych w mikrokapilarach światłowodów mikrostrukturalnych. Rozwiązanie tego problemu związane jest z zapewnieniem możliwości praktycznego zastosowania ciekłokrystalicznych światłowodów fotonicznych. Osiągnięcia w tym zakresie zostały opisane w pracach [H3], [H4] i [H9]. Aby rozwiązać ten problem, Habilitant wykonał układ do napełniania mikrokapilar ciekłymi kryształami i innymi cieczami. Opracowana metoda bazuje na wytworzeniu cienkiej warstwy specjalnie dobranego azo-barwnika o nazwie handlowej SD-1, która następnie była naświetlana liniowo spolaryzowanym promieniowaniem ultrafioletowym (UV), w efekcie czego po napełnieniu nematycznym ciekłym kryształem jego molekuły orientują się prostopadle do azymutu polaryzacji zastosowanego wcześniej promieniowania UV. W wyniku przeprowadzonych prac udało się Habilitantowi dobrać optymalne parametry pozwalające na uzyskanie trwałego uporządkowania molekuł w mikrokapilarach. Ponadto, stosując selektywne naświetlanie (przy użyciu maski amplitudowej), możliwe było uzyskanie periodycznie zmiennego uporządkowania wewnątrz pojedynczej mikrokapilary [H3] i [H4]. Efekt porządkowania okazał się bardzo stabilny w czasie kilku miesięcy (późniejsze obserwacje pokazały, że efekt porządkowania występował nawet po 10 latach). Wykorzystana do prac eksperymentalnych opisanych w pracy [H3] metoda naświetlania została w dalszych badaniach znacznie ulepszona przez Habilitanta poprzez umożliwienie kontrolowanego naświetlania „punkt po punkcie”, przy czym w dowolnym kroku próbka mogła być obrócona o dowolny kąt, podobnie jak azymut liniowo spolaryzowanej wiązki laserowej użytej do naświetlania – co

zostało opisane w pracy [H4]. Jednak okres zmian uporządkowania był na tyle duży (większy od 1 mm z powodu średnicy wiązki laserowej wykorzystanej do naświetlania), że nie dało się za pomocą opracowanego przez Habilitanta układu wytworzyć światłowodowych ciekłokrystalicznych siatek Bragga. Układ pozwalający uzyskanie okresu niezbędnego dla wykonywania światłowodowej ciekłokrystalicznej siatki Bragga udało się Habilitantowi opracować, a następnie wykorzystać w dalszych pracach badawczych, których wyniki zostały opisane w pracy [H9]. Opracowany przez niego układ pozwalał na kontrolowanie uporządkowania molekuł ciekłokrystalicznych w mikrokapilarach światłowodów mikrostrukturalnych z rozdzielczością dochodzącą do 2 μm . Choć uzyskano periodyczne uporządkowanie molekuł ciekłokrystalicznych, zweryfikowane przy użyciu mikroskopii polaryzacyjnej oraz na drodze modelowania numerycznego, że taka periodyczna struktura przy wykorzystanej metodzie porządkowania molekuł powstaje, to jednak wyniki widm transmisyjnych nie potwierdziły powstanie struktury o cechach siatki Bragga. Habilitant postawił hipotezę, zgodnie z którą za brak uzyskania typowego widma dla siatki Bragga może odpowiadać to, że granice między obszarami o różnym uporządkowaniu niekoniecznie są prostopadłe do osi światłowodu oraz że położenie granic między obszarami o różnych orientacjach molekuł ciekłokrystalicznych nie są jednoznacznie określone w czasie, gdyż w wyniku ruchów termicznych molekuł możliwe są nieznaczące fluktuacje uporządkowania mające wpływ na lokalne zmiany wartości współczynnika załamania.

Wyniki badań nad praktycznym zastosowaniem światłowodów mikrostrukturalnych z wypełnieniem ciekłokrystalicznym Habilitant zawarł w pracach [H6]-[H8] i [H10]. Do Jego osiągnięć opisanych w pracy [H6] można zaliczyć opracowanie metody łączenia światłowodów klasycznych ze światłowodami mikrostrukturalnymi z wypełnieniem ciekłokrystalicznym oraz opracowanie takiego światłowodu o przestrajalnym tłumieniu lub opóźnieniu fazowym. Był to światłowod wykonany z komercyjnie dostępnego szkła Schott F2, o współczynniku załamania równym około 1,62, gdzie geometria mikrostrukturalnego płaszcza została zmodyfikowana w celu wyeliminowania niekorzystnego wpływu modów wyższych rzędów. Do napełnienia mikrokapilar tego światłowodu wykorzystano ciekły kryształ o takich wartościach zwyczajnego i nadzwyczajnego współczynnika załamania, aby między tymi wartościami mieściła się wartość współczynnika załamania szkła. Dzięki takiemu doborowi współczynników propagacja światła silnie zależała od polaryzacji, gdyż mod o jednej z ortogonalnych składowych propagował się nadal dzięki klasycznemu efektowi falowodowemu (warunki propagacji ciągle określała zwyczajna wartość współczynnika załamania ciekłego kryształu), podczas gdy warunki propagacji modu dla drugiej z ortogonalnych składowych polaryzacji zależały od stopnia reorientacji oraz wartości nadzwyczajnego współczynnika załamania. Dzięki temu udało się uzyskać próbki światłowodu o przestrajalnej tłumienności (potencjalnie zastosowanie to przestrajalne tłumiki), o przestrajalnych stratach zależnych od polaryzacji (potencjalne zastosowanie to przestrajalne polaryzatory) oraz o przestrajalnym w szerokim zakresie przesunięciu fazowym między ortogonalnymi składowymi modu (potencjalne zastosowanie to przestrajalne płytki fazowe, linie opóźniające lub kontrolery polaryzacji). Do przestrajania tych wielkości niezbędne są elektrody pozwalające zmieniać rozkład pola elektrycznego wewnątrz światłowodu z kapilarami wypełnionymi ciekłym kryształem. W pracy [H7] Habilitant przedstawił zaproponowaną przez siebie koncepcję wieloelektrodowego systemu sterowania pozwalającego na zmianę kierunku pola elektrycznego, opartą o specjalnie zaprojektowany układ cylindrycznych mikroelektrod. Propozycje potencjalnych zastosowań niskostratnych i przestrajalnych światłowodów mikrostrukturalnych z wypełnieniem Habilitant zawarł również w obszernej pracy przeglądowej [H8], w której rozważane są też wyzwania i perspektywy rozwoju tych światłowodów w przeszłości.

Swoje osiągnięcia dotyczące opracowanym przez siebie całkowicie światłowodowym przestrzajnym komponentom (światłowody o właściwościach płytki fazowej, polaryzatory, kontrolery polaryzacji) wykorzystujących przestrzajalne światłowody mikrostrukturalne Habilitant zawarł również w pracy [H10]. Na potrzeby wytwarzania tych komponentów Habilitant zaprojektował i zoptymalizował mikrostruktury światłowodów fotonicznych, opracował metody ciągłej zmiany kierunku pola elektrycznego i wieloelektrodowe układy sterowania oparte na mikroelektrodach cylindrycznych i brał udział w opracowaniu niezbędnych do nich sterowników; opracował też metody zabezpieczania („packaging”) próbek ciekłokrystalicznych światłowodów fotonicznych.

Podsumowując, do najważniejszych osiągnięć Habilitanta opisanych w przedstawionym cyklu prac można zaliczyć:

- przeprowadzenie analizy teoretycznej i modelowania właściwości fizycznych światłowodów mikrostrukturalnych z wypełnieniem ciekłokrystalicznym z wykorzystaniem modelu uwzględniającego różną reorientację molekuł ciekłokrystalicznych oraz modelu uproszczonego zakładającego kolektywną reorientację wszystkich molekuł o ten sam kąt;
- określenie warunków niezbędnych do uzyskania niskiej tłumienności w światłowodach mikrostrukturalnych z wypełnieniem ciekłokrystalicznym, w których propagacja odbywa się dzięki zjawisku fotonicznej przerwy wzbronionej, oraz ich optymalizację, aby taką niską tłumienność uzyskać;
- opracowanie metod efektywnego i powtarzalnego porządkowania molekuł ciekłokrystalicznych w mikrokapilarach światłowodów mikrostrukturalnych oraz optymalizację układu mikroelektrod sterujących pozwalających na dynamiczną zmianę kierunku pola elektrycznego, w szczególności opracowanie czteroelektrodowego układu sterowania bazującego na cylindrycznych mikroelektrodach, pozwalającego na budowę przestrzajnych komponentów mikrostrukturalnych światłowodowych, w tym w pełni światłowodowych kontrolerów stanu polaryzacji promieniowania optycznego;
- opracowanie metod efektywnego i powtarzalnego porządkowania molekuł ciekłokrystalicznych w światłowodach mikrostrukturalnych;
- opracowanie metody efektywnego łączenia światłowodów mikrostrukturalnych z wypełnieniem ciekłokrystalicznym z tzw. światłowodami klasycznymi.

Przedstawione osiągnięcia naukowe można uznać, że stanowią znaczący wkład w rozwój dziedziny nauki ścisłe i przyrodnicze dyscypliny nauki fizyczne w myśl Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668, z późn. zm.) – art. 219 ust. 1 pkt. 2.

Powyższa ocena dotyczy dorobku naukowego przedstawionego przez Habilitanta w postaci powiązanego tematycznie cyklu publikacji naukowych. W skład tego cyklu wchodzi przewidziany przez Ustawę (w art. 219 ust. 1 pkt. 2 lit. b)) cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych oraz rozdział w monografii naukowej. Literalnie, ocenając jedynie cykl artykułów (bez dołączonego dodatkowo rozdziału monografii naukowej), też można stwierdzić, że przedstawiony dorobek spełnia wymagania art. 219 ust. 1 pkt. 2 lit. b).

3.2. Ocena pozostałego dorobku naukowego, projektowego, konstrukcyjnego lub technologicznego

Poza 10 pracami wchodzącymi w skład cyklu publikacji przedstawionego w punkcie 3.1, Habilitant jest autorem lub współautorem 86 artykułów naukowych (w tym 40 po uzyskaniu stopnia doktora), z czego 40 artykułów zostało opublikowane w czasopismach będących obecnie na liście Journal Citation Reports (10 przed uzyskaniem stopnia doktora – 2 w *Measurement Science and Technology*, 4 w *Opto-Electronics Review*, 2 w *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 1 w *Optical and Quantum Electronics* i 1 w *Photonics Letters of Poland*) oraz 30 po uzyskaniu stopnia doktora (1 w *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2 w *Journal of Lightwave Technology*, 1 w *Optical Materials*, 2 w *Optical Materials Express*, 1 w *Applied Physics A – Materials Science and Processing*, 1 w *Optics Communications*, 2 w *Opto-Electronics Review*, 1 w *Journal of Optics* (United Kingdom), 4 w *Acta Physica Polonica Series A*, 5 w *Molecular Crystals and Liquid Crystals* i 10 w *Photonics Letters of Poland*). Dorobek naukowy Habilitanta był również prezentowany na wielu konferencjach krajowych i międzynarodowych. W sumie jest współautorem (a w jednym wypadku autorem) 19 prezentacji na konferencjach krajowych (w tym 11 po uzyskaniu stopnia doktora) oraz współautorem 46 prezentacji na konferencjach międzynarodowych (w tym 28 po uzyskaniu stopnia doktora). Pełny wykaz powyższych artykułów oraz wystąpień konferencyjnych został zamieszczony w „Wykazie osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny” zamieszczonym w Załączniku 4 do wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego (Załącznik 4 został dostarczony w języku angielskim).

Ogólny dorobek bibliometryczny Habilitanta w zakresie cytowań wynosi: 955 (w tym 730 bez autocytowań) wg bazy Web of Science oraz 1169 (8710) wg bazy Scopus. Indeks Hirscha wynosi 14 wg bazy Web of Science oraz 17 wg bazy Scopus. Z punktu widzenia wskaźników bibliometrycznych dorobek ten jest duży. Oceniając ten dorobek należy jednak wspomnieć, że dotyczy on prac mających wielu współautorów – w zdecydowanej większości więcej niż pięciu, a nie rzadko więcej niż dziesięciu. Do absolutnych wyjątków należą prace, gdzie Habilitant jest jednym z dwóch współautorów (w przedstawionym dorobku można znaleźć tylko 3 takie artykuły). Szkoda, że Habilitant w swoim dorobku nie ma artykułu, w którym byłby jedynym autorem. Należy jednak zaznaczyć, że działalność naukowa Habilitanta związana jest w znacznej mierze z technologią, dla której bardzo trudno uzyskać znaczące osiągnięcia w pojedynkę.

Przedstawione osiągnięcia pozostałego dorobku naukowego **są istotne**.

4. Ocena aktywności naukowej

Do najwartościowszych osiągnięć dotyczących aktywności naukowej Habilitanta realizowanej we współpracy z uczelniami i instytucjami naukowymi poza Politechniką Warszawską można zaliczyć zagraniczne staże naukowe w:

1. Hong Kong University of Technology, Chiny, w okresie VII–VIII 2011 r. – podczas miesięcznego stażu Habilitant zajmował się fotoorientacją molekuł ciekłokrystalicznych w światłowodach mikrostrukturalnych z wypełnieniem ciekłokrystalicznym; istotnym efektem stażu jest publikacja [H3];
2. Ghent University, Gandawa, Belgia, w okresie XI–XII 2009 r. – podczas dwumiesięcznego stażu Habilitant modelował światłowody mikrostrukturalne z wypełnieniem

ciekłoekrystalicznym z uwzględnieniem anizotropii dielektrycznej i uporządkowania molekuł ciekłego kryształu; istotnym efektem stażu jest publikacja [H2];

3. Vrije Universiteit Brussel, Bruksela, Belgia, w okresie V–VIII 2007 r. – podczas trzymiesięcznego stażu Habilitant wykonywał technikami numerycznymi symulacje dwójłomnych światłowodów fotonicznych selektywnie wypełnionych ciekłym kryształem.

Habilitant wykazuje także szeroką współpracę z zagranicznymi instytucjami naukowymi, do których można zaliczyć:

1. Ghent University, Gandawa, Belgia – współpraca z prof. Kristiaan Neyts oraz z prof. Jeroen Beeckman,
2. University College London, United Kingdom – współpraca z prof. Federico Anibal Fernandez oraz z dr. Richard James,
3. Agency for Science, Technology and Research (A, STAR), Institute for Infocomm Research, Singapore – współpraca z dr. Dora Juan Juan Hu,
4. Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, China – współpraca z prof. Vladimir Chigrinov oraz dr. Abhishek Kumar Srivastava,
5. Southern University of Science and Technology (SUSTech), Shenzhen, China – współpraca z prof. Perry Ping Shum.

Cenna jest również współpraca Habilitanta z krajowymi instytucjami naukowymi, w tym współpraca z:

1. Siecią Badawczą Łukasiewicz (Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki (Ł-IMiF), Grupa Badawcza Technologie i Systemy Światłowodowe i Kwantowe – współpraca z prof. dr. hab. inż. Ryszardem Buczyńskim, dr. inż. Dariuszem Pyszem i z dr. inż. Van Thuy Hoang),
2. Uniwersytetem Marii Curie-Skłodowskiej (Pracownia Technologii Światłowodów, Lublin – współpraca z dr. hab. inż. Pawłem Mergo),
3. Wojskową Akademią Techniczną (Wydział Nowych Technologii i Chemii, Warszawa – współpraca z prof. dr. hab. inż. Romanem Dąbrowskim, dr. inż. Edwardem Nowinowskim-Kruszelnickim, dr. hab. inż. Przemysławem Kulą, dr. inż. Olgą Strzeżysz oraz dr. inż. Piotrem Harmatą).

Do aktywności naukowej Habilitanta należy zaliczyć szereg grantów badawczych krajowych i międzynarodowych finansowanych w drodze konkursu, w których był on kierownikiem, głównym wykonawcą lub wykonawcą. Habilitant brał udział w charakterze **kierownika projektu** w 1 projekcie – w projekcie finansowanym przez *Narodowe Centrum Badań i Rozwoju* (Grant LIDER/05/208/L-3/11/NCBR/2012 pt. „Tunable optical fibers for potential applications in fiber optic optoelectronics and sensors”), **głównego wykonawcy** w 3 projektach – w 2 projektach finansowanych przez *Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego* (Grant N517 0164 33 pt. „Polarization of light in liquid crystal photonic fibers” oraz Grant N517 0565 35 pt. „Dynamic tunable fiber optic”) i w 1 projekcie finansowanym przez *Ministerstwo Nauki i Informatyzacji* (Grant 3T10C 016 28 pt. „New generation multiparameter fiber optic sensor based on liquid crystal photonic structures elements based on liquid crystal photonic fibers”) oraz **wykonawcy** w 2 projektach – w 1 projekcie finansowanym przez *Unię Europejską* pt. „European Network of Excellence on Microoptics NEMO Program” i w 1 projekcie finansowanym przez *Ministerstwo Nauki i Informatyzacji* (Grant PBZ-MIN-009/T11/2003 pt. „Development and implementation of sensor modules for measuring temperature, hydrostatic pressure and

mechanical stress”). Habilitant był też **kierownikiem projektu** finansowanego przez Politechnikę Warszawską (Grant FOTECH pt. „Photonic structures obtained by selective ultraviolet light irradiation with high spatial resolution”).

Aktywność naukowa Habilitanta wyraża się również w wykonywaniu recenzji artykułów dla wielu czasopism naukowych, w tym dla *Optics Express*, *Optics Letters*, *Photonics Technology Letters*, *Liquid Crystals*, *Optical and Quantum Electronics*, *Applied Physics B*, *Optoelectronics Review*, *Sensors*, *Materials* oraz *Photonics Letters of Poland*. Habilitant był też członkiem komitetu organizującego dwóch konferencji międzynarodowych. Jest też członkiem zespołu redakcyjnego czasopisma *Photonics Letters of Poland* (pełni funkcję redaktora technicznego oraz zajmuje się administracją).

Habilitant jest też członkiem czterech organizacji naukowych: *The International Society for Optical Engineering SPIE*, *Optica* (wcześniej występującej pod nazwą *The Optical Society of America, OSA*), *IEEE Photonics Society* oraz *Polskiego Stowarzyszenia Fotonicznego*.

Habilitant odbył również dwumiesięczne szkolenie “Industrial Technical Tutor Training Program” sponsorowanego przez Ministry of Economic Affairs, Republic of China w Tajpeh, Tajwan, w okresie IX–XII 2017 r. oraz krótkookresowe krajowe staże i praktyki zawodowe w Centrum Technik Laserowych „Laser Instruments”, Warszawa, w Alcatel Polska, Warszawa, w Centrum Usług Satelitarnych, T.P. S.A., Psary oraz w Telekomunikacja Polska S.A., Mińsk Mazowiecki. Staże te i praktyki świadczą również o znaczącej aktywności zawodowej Habilitanta, pośrednio mogące mieć wpływ na Jego dużą aktywność naukową.

Biorąc pod uwagę aktywność naukową Habilitanta, w szczególności zagraniczne staże naukowe w Hong Kong University of Technology, Chiny, w Ghent University, Gandawa, Belgia oraz w Vrije Universiteit Brussel, Bruksela, Belgia, a także szeroką współpracę naukową z wieloma zagranicznymi i krajowymi instytucjami naukowymi, stwierdzam, że Habilitant **spełnia kryteria dotyczące aktywności naukowej** w myśl Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.) – art. 219 ust. 1 pkt. 3.

5. Inne osiągnięcia, w tym osiągnięcia dydaktyczne, organizacyjne i związane z popularyzacją nauki oraz nagrody

Do osiągnięć dydaktycznych Habilitanta można zaliczyć prowadzenie licznych zajęć dla studentów Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej. Od 2010 roku Habilitant prowadzi ćwiczenia rachunkowe z przedmiotów „podstawy fizyki 1” oraz „podstawy fizyki 2” dla studentów kierunku fotonika, prowadzonego na Wydziale Fizyki (ćwiczenia te Habilitant prowadził także dla studentów innych wydziałów Politechniki Warszawskiej). Od 2013 roku prowadzi również wykład (z przerwami), laboratoria i zajęcia projektowe z przedmiotu „programowanie obiektowe – Java”, a także liczne laboratoria z przedmiotów „laboratorium fizyki 3” (z przerwami). Ponadto w różnych latach prowadził laboratoria z przedmiotów „laboratorium podstaw fizyki” (w języku angielskim), „laboratorium z optoelektroniki” oraz „laboratorium z fizyki 2”. W zastępstwie Habilitant poprowadził (w języku angielskim) w 2013 r. też wykład z przedmiotu „Physics II”. Wypromował on również 32 prace inżynierskie oraz 10 prac magisterskich. Pełnił on także funkcję promotora pomocniczego wypromowanej pracy doktorskiej dr Agaty Budaszewskiej.

Do osiągnięć Habilitanta na polu dydaktyki można również zaliczyć liczne nagrody, jakie zdobyli jego podopieczni. Do tej kategorii osiągnięć można zaliczyć: Pierwszą nagrodę dla

studentki projektu badawczego (w ramach studiów Erasmus Plus), której był opiekunem, za najlepszy poster w trakcie międzynarodowych warsztatów OpSciTech Summer Workshop 2011, dwa wyróżnienia wypromowanych przez Habilitanta prac dyplomowych w Ogólnopolskim Konkursie na Najlepsze Prace Dyplomowe z Zakresu Optoelektroniki im. Adama Smolińskiego w roku 2012 oraz w tym samym konkursie dwa wyróżnienia w roku 2022, a także nagrodę III stopnia w XXIII Konkursie PKOpto 2014 im. Profesora Adama Smolińskiego na najlepsze prace dyplomowe z zakresu optoelektroniki.

Habilitant posiada liczne osiągnięcia organizacyjne, do których można zaliczyć: kierowanie od 2023 r. Laboratorium Nanofotoniki, dla którego koordynował zakupy aparatury naukowej, członkostwo w Uczelnianej Komisji Wyborczej w Politechnice Warszawskiej, pełnienie funkcji Sekretarza Komisji Oceny Śródkresowej Doktorantów Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej oraz pełnienie funkcji Pełnomocnika Dziekana ds. programu Erasmus Plus.

Habilitant jest również aktywny w popularyzowaniu nauki. Do osiągnięć na tym polu można zaliczyć prowadzenie zajęć (wykład i laboratorium) w ramach szkoły letniej przy realizacji programu NAWA Międzynarodowe Szkoły Letnie Politechniki Warszawskiej „Summer School of Photonics 2023” oraz oprowadzanie licznych wycieczek po Laboratorium Fotoniki Światłowodowej w trakcie dni otwartych, pikników naukowych oraz wizyt delegacji krajowych i zagranicznych (w latach 2009–2023).

Habilitant uzyskał szereg nagród: Nagrodę Prezesa Rady Ministrów za rozprawę doktorską „Polaryzacja światła w ciekłokrystalicznych światłowodach fonicznych, sześciokrotnie Zespołową Nagrodę I-go stopnia J.M. Rektora Politechniki Warszawskiej za osiągnięcia naukowe, nagrodę pierwszego stopnia w 14-tym Ogólnopolskim Konkursie im. Adam Smolińskiego na najlepszą pracę dyplomową w roku akademickim 2004/2005 z dziedziny optoelektroniki, Stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla wybitnych młodych naukowców, stypendium w ramach programu „Start” Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej, stypendium „Programu Rozwojowego Politechniki Warszawskiej” przyznane w ramach konkursu CAS/1/POKL, Mazowieckie Stypendium Doktoranckie – ufundowane przez wojewodę mazowieckiego, stypendium “European Accession States Postgraduate Scholarship” uzyskane na pokrycie kosztów kursu MRes (Master of Research) organizowanego przez University of Nottingham oraz Instytut Łączności w Warszawie oraz stypendium naukowe dla doktorantów, Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej.

6. Konkluzja

Biorąc pod uwagę posiadany stopień doktora, pozytywną ocenę przedstawionego wyżej dorobku naukowego oraz aktywności naukowej, stwierdzam, że dr inż. Sławomir Ertman **spełnia wszystkie wymagania** Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.) do uzyskania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne. Wnoszę zatem o dopuszczenie dra inż. Sławomira Ertmana do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

