

Białystok, 21 stycznia 2022r.

Dr hab. inż. Maciej Zajkowski, prof. PB  
Katedra Fotoniki, Elektroniki i Techniki Światłnej  
Wydział Elektryczny Politechniki Białostockiej  
Ul. Wiejska 45D/124  
15-351 Białystok  
Tel. [REDACTED], e-mail: [m.zajkowski@pb.edu.pl](mailto:m.zajkowski@pb.edu.pl)

Recenzja osiągnięcia naukowego dr. inż. Macieja Trusiaka  
pt. „Metody obrazowania obliczeniowego w mikroskopii optycznej” oraz  
całości dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego, sporządzona w  
związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk  
technicznych, w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika

Recenzję sporządzono na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Naukowej  
Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Warszawskiej z dnia 7  
grudnia 2021r., w związku z powołaniem mnie jako recenzenta w postępowaniu o nadanie  
stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie  
automatyka, elektronika i elektrotechnika, wszczętym na wniosek dr. inż. Macieja Trusiaka,  
w oparciu o przekazane materiały: Dane wnioskodawcy, Autoreferat, odpis dyplomu  
uzyskania stopnia doktora, Wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w  
rozwój dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika oraz Kopie publikacji  
stanowiących osiągnięcie naukowe i oświadczenia współautorów.

### **1. Dane ogólne**

Dr inż. Maciej Trusiak w 2012 roku rozpoczął studia doktoranckie na Wydziale  
Mechatroniki Politechniki Warszawskiej w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn, pod  
opieką naukową prof. dr hab. inż. Krzysztofa Patorskiego. Pracę magisterską, nagrodzoną w  
konkursie im. Profesora Adama Smolińskiego na najlepsze prace dyplomowe z zakresu  
optoelektroniki, przygotował uczestnicząc jako wykonawca w projekcie Ministerstwa Nauki i  
Szkolnictwa Wyższego (MNiSW) pt. „Jednoobrazowe metody automatycznej analizy  
obrazów prążkowych w polowych pomiarach optycznych”, kierowanym przez prof.  
Patorskiego. Zdobyte doświadczenia pozwoliły na opracowanie wniosku projektowego w

ramach pierwszej edycji konkursu MNiSW Diamentowy Grant, którego został laureatem, kierując Diamentowym Grantem pt. „Rozwój metody szybkiej adaptacyjnej, dwuwymiarowej dekompozycji sygnału na mody empiryczne do analizy obrazów prążkowych”. W 2014 roku złożył wniosek w konkursie Narodowego Centrum Nauki PRELUDIUM pt. „Rozwój metody transformacji Hilberta-Huanga na potrzeby metrologii optycznej”, który uzyskał finansowanie. Od tego momentu karierę naukową Habilitant związał z Instytutem Mikromechaniki i Fotoniki Politechniki Warszawskiej. W czerwcu 2017 roku został obroniony doktorat pt. „Przetwarzanie i analiza obrazów prążkowych z zastosowaniem transformacji Hilberta-Huanga na potrzeby polowych optycznych metod pomiaru”, zaś praca doktorska otrzymała wyróżnienie. Po uzyskaniu stopnia doktora, Habilitant uzyskał zatrudnienie w Instytucie Mikromechaniki i Fotoniki na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej, na stanowisku adiunkta naukowo-badawczego.

## *2. Ocena cyklu publikacji stanowiących podstawę do uzyskania stopnia doktora habilitowanego*

Dr. inż. Maciej Trusiak jako osiągnięcie naukowe, stosownie do art. 219 ust 1 pkt 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”, będące podstawą do wszczęcia postępowania habilitacyjnego, przedstawił spójny tematycznie cykl 18 publikacji pod wspólnym tytułem „Metody obrazowania obliczeniowego w mikroskopii optycznej”:

- [1] M. Trusiak, "Fringe analysis: single-shot or two-frames? Quantitative phase imaging answers," *Optics Express* 29(12), 18192-18211 (2021)
- [2] M. Trusiak, M. Cywińska, V. Micó, J. Á. Picazo-Bueno, C. Zuo, P. Zdańkowski, K. Patorski, "Variational Hilbert quantitative phase imaging," *Scientific Reports* 10, 13955 (2020)
- [3] N. T. Shaked, V. Micó, M. Trusiak, A. Kus, S. K. Mirsky, "Off-axis digital holographic multiplexing for rapid wave front acquisition and processing," *Advances in Optics and Photonics* 12(3), 556-611 (2020)
- [4] M. Trusiak, J.A. Pizaco-Bueno, P. Zdańkowski, V. Micó, "DarkFocus: numerical autofocusing in digital in-line holographic microscopy using variance of computational dark-field gradient," *Optics and Lasers in Engineering* 134, 106195 (2020)
- [5] P. Gocłowski M. Trusiak, A. Ahmad, A. Styk, V. Micó, B. S. Ahluwalia, K. Patorski, "Automatic fringe pattern enhancement using truly adaptive period-guided bidimensional empirical mode decomposition," *Optics Express* 28(5), 6277-6293 (2020)



- [6] K. Patorski, P. Zdańkowski, M. Trusiak, "Grating deployed total-shear 3-beam interference microscopy with reduced temporal coherence," *Optics Express* 28(5), 6893-6908 (2020)
- [7] M. Cywińska, M. Trusiak, A. Styk, K. Patorski, "Full-field vibration profilometry using time-averaged interference microscopy aided by variational analysis," *Optics Express* 28(1), 435-450 (2020)
- [8] Y. Fan, J. Sun, Q. Chen, X. Pan, M. Trusiak, C. Zuo, "Single-shot isotropic quantitative phase microscopy based on color-multiplexed differential phase contrast," *APL Photonics* 4, 121301 (2019)
- [9] P. Zdańkowski, M. Trusiak, D. McGloin, J. R. Swedlow, "Numerically enhanced adaptive optics-based 3D STED microscopy for deep-tissue super-resolved imaging," *ACS Nano* 14(1), 394-405 (2020)
- [10] M. Sanz, M. Trusiak, J. Garcia, V. Micó, "Variable zoom digital in-line holographic microscopy," *Optics and Lasers in Engineering* 127, 105939 (2020)
- [11] M. Trusiak, J. Á. Picazo-Bueno, K. Patorski, P. Zdańkowski, V. Micó, "Single-shot two-frame  $\pi$ -shifted spatially multiplexed interference phase microscopy," *Journal of Biomedical Optics* 24(9), 096004 (2019)
- [12] M. Cywińska, M. Trusiak, K. Patorski, "Automatized fringe pattern preprocessing using unsupervised variational image decomposition," *Optics Express* 27(16), 22542-22562 (2019)
- [13] M. Cywińska, M. Trusiak, C. Zuo, K. Patorski, "Enhancing single-shot fringe pattern phase demodulation using advanced variational image decomposition," *Journal of Optics* 21(4), 045702 (2019) [autor korespondencyjny]
- [14] J. Á. Picazo-Bueno, M. Trusiak, V. Micó, "Single-shot slightly off-axis digital holographic microscopy with add-on module based on beamsplitter cube," *Optics Express* 27(4), 5655-5669 (2019)
- [15] M. Trusiak, A. Styk, K. Patorski, "Hilbert–Huang transform based advanced Bessel fringe generation and demodulation for full-field vibration studies of specular reflection micro-objects," *Optics and Lasers in Engineering* 110, 100-112 (2018)
- [16] K. Patorski, Ł. Służewski, M. Trusiak, "5-beam grating interferometry for extended phase gradient sensing," *Optics Express* 26(21), 26872-26887 (2018)
- [17] J. Á. Picazo-Bueno, M. Trusiak, J. García, K. Patorski, V. Micó, "Hilbert–Huang single-shot spatially multiplexed interferometric microscopy," *Optics Letters* 43(5), 1007-1010 (2018)

hologramów, zmiennej konfluencji obiektów w objętości pomiarowej i amplitudowo-fazowy charakter badanych próbek.

Do nowości zrealizowanych przez Autora należy też autorska metoda algorytmiczna rozwiązująca w uniwersalny sposób problem ograniczonej przepustowości informacji fazowej w jednoobrazowych metodach ilościowego obrazowania fazy [2], polegająca na możliwości odzyskania szczegółowej informacji fazowej skomplikowanych obiektów biologicznych, w przypadku pokrywania się członów widmowych interferogramów, które do tej pory silnie ograniczało koherentną mikroskopię z ilościowym kontrastem fazowym, realizowaną przy pomocy obliczeniowej techniki transformacji Fouriera i analityczności Kramersa-Kroniga.

Habilitant opracował również algorytm dekompozycji modów empirycznych lokalnie dopasowujący się do okresu prążków [5], dzięki czemu wyeliminowano niekorzystne zjawiska mieszania modów, wyekstraktowano kompletny człon prążkowy w pierwszym modzie dekompozycji, a także potwierdzono dokładność filtracji prążków o bardzo dużym zakresie zmienności lokalnego okresu i orientacji.

Do osiągnięć Habilitanta należy opracowana metoda siatkowej mikroskopii interferencyjnej wspólnej drogi do pomiarów fazy i amplitudy mikroobektów o umiarkowanym upakowaniu [6], której zalety to: achromatyczna generacja prążków drugiej harmonicznej przy zerowej różnicy dróg optycznych rzędów sprzężonych w układzie wspólnej drogi, pozwalająca na redukcję artefaktów koherencyjnych i poprawę dokładności obrazowania fazy oraz redukcja aberracji systemowych przez początkowy pomiar referencyjny, a także możliwość precyzyjnego nieinwazyjnego badania dynamicznych procesów biologicznych.

Efektom prac badawczych opisanych w cyklu publikacji były algorytmy dekompozycji obrazu wspomaganą transformacją Hilberta, do generacji i analizy prążków Bessela w mikroskopii interferencyjnej, z uśrednianiem w czasie zastosowanej w badaniach drgań mikroobektów odbijających światło [7, 15]. Opracowane algorytmy pozwoliły na minimalizację liczby interferogramów składowych, przy jednoczesnej maksymalizacji dokładności demodulacji finalnego rozkładu amplitudy drgań z pojedynczego besselogramu oraz zastosowanie bardzo skutecznego przetwarzania wstępnego interferogramów i besselogramów metodami dekompozycji wariacyjnej [7] i empirycznej [15].

Habilitant opracował i zaproponował też autorską metodę redukcji szumu w niekoherentnej nanoskopii typu STED z wykorzystaniem algorytmu cyfrowej analizy obrazu BM3D [9], uzyskując zwiększoną efektywną rozdzielczość nanoskopii STED. Efekty tych prac wskazały potencjał na przyszłe badania uwzględniają metody optymalizacyjne,



otwierające potencjalnie nowe możliwości w nanoskopii STED i ogólnie rozumianej mikroskopii fluorescencyjnej z wysoką rozdzielczością, w tym metody lokalizacyjne.

W publikacji [11], Habilitant opisał również nowy układ siatkowego interferencyjnego mikroskopu wspólnej drogi ze specjalizowaną metodą demodulacji fazy multipleksowanych przestrzennie interferogramów, wykorzystującego kostkę światłodzielną i prosty komercyjny mikroskop biologiczny, uzyskując tym samym możliwość analizy zjawisk i obiektów dynamicznych, z dużą odpornością na szum i niski kontrast interferogramów oraz zwiększoną, w porównaniu do istniejących rozwiązań, przepustowość informacyjną, zaimplementowane w korpusie podstawowego komercyjnego mikroskopu biologicznego.

Badania opisane w publikacjach [12, 13] odnoszą się do autorskiej metody automatycznego przetwarzania wstępnego obrazów prążkowych, bazującej na nienadzorowanej wariacyjnej dekompozycji obrazu, dzięki czemu uzyskano wysoką skuteczność, automatyzację, adaptacyjną filtrację wstępną silnie zaszumionych interferogramów o niskim kontraście i dużej lokalnej zmienności okresu i orientacji prążków.

Wynikiem autorskiego połączenia wariacyjnej i empirycznej dekompozycji w przetwarzaniu wstępnym pojedynczego interferogramu było opracowanie publikacji [17], wykorzystującej doświadczenia związane z demodulacją fazy metodą transformacji Hilberta-Huanga, gdzie wykorzystano pasma detektora w stopniu podobnym do metod wieloramkowych, z dużą przewagą w dziedzinie rozdzielczości czasowej.

Oprócz cyklu publikacji wchodzących w skład dorobku naukowego o których mowa a art.219 ust.1 pkt.2 Ustawy, Habilitant przedstawił jako wykaz osiągnięć naukowych szereg innych publikacji, które są obecnie recenzowane lub znajdują się w fazie przygotowań, a wynikają z inicjowania lub utrwalania współpracy naukowej, w tym międzynarodowej.

Pan dr inż. Maciej Trusiak realizował pracę naukową od 2015 r. Jeszcze jako młody pracownik, przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych podejmował wyzwania badawcze i brał udział w stażach, min. w Walencji, gdzie zdobyte doświadczenie i nowa wiedza zaowocowały skupieniem się na problematyce metod obrazowania w mikroskopii optycznej. Wynikiem późniejszej współpracy z wiodącymi ośrodkami naukowymi w latach 2015 - 2020, w tym z naukowcami Uniwersytetu w Madrycie, Uniwersytetu Harvard, Uniwersytetu Tromso, Uniwersytetu Nanjing, Uniwersytetu L'Alquila i Instytutu Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej PAN, było zawiązanie grup badawczych, w których dr inż. Maciej Trusiak odgrywał rolę inicjatora lub wykonawcy wspólnych projektów naukowych.

Podsumowując osiągnięcie naukowe należy jednoznacznie stwierdzić, że potencjał naukometryczny jest ponadprzeciętny i stanowi znaczny wkład w rozwój dyscypliny. Habilitant może poszczycić się sumarycznym Impact Factor na poziomie 99,247, przy czym

uwzględniając wkład procentowy w poszczególne publikacje wynosi on 32,149. Całkowita liczba punktów wg. MEiN za cykl publikacji wynosi 2050, zaś uwzględniając procentowy udział Autora w publikacjach liczba punktów osiąga wartość 740,75. Liczba cytowań dotycząca cyklu publikacji wynosi odpowiednio w bazach: Web of Science - 129, Scopus – 143 i Google Scholar – 169.

**Przedstawione przez dr. inż. Macieja Trusiaka osiągnięcie naukowe SPEŁNIA wymagania określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 ze zm.). Dr inż. Maciej Trusiak jest aktywnym naukowcem. W twórczy sposób podejmuje skomplikowane tematy badań i realizuje je w jasno określonym celu. Uważam, że posiada On pełne predyspozycje do pracy jako samodzielny pracownik naukowy.**

### ***3. Działalność dydaktyczna, organizacyjna i popularyzatorska***

Habilitant posiada prawie 10 letnie doświadczenie w pracy dydaktycznej w Instytucie Mikromechaniki i Fotoniki Politechniki Warszawskiej. Prowadził zajęcia laboratoryjne, projekty i ćwiczenia oraz autorskie wykłady, przygotowując w sumie 80 godzin oryginalnych treści dydaktycznych. Dodatkowo prowadził w sumie 13 prac inżynierskich i magisterskich, z czego 6 po uzyskaniu stopnia doktora. Jest też promotorem pomocniczym doktoranta i sprawuje opiekę merytoryczną nad jedną z doktorantek na PW, a także był promotorem pomocniczym doktoratu obronionego na Wydziale Fizyki Uniwersytetu w Walencji.

W zakresie działalności organizacyjnej należy wskazać głównie prowadzenie w charakterze kierownika 7 projektów naukowych, opiekę naukową nad doktorantami w Instytucie oraz organizowanie działań studentów w ramach prowadzonych prac inżynierskich i magisterskich, a także inicjowanie i aktywne prowadzenie współpracy międzynarodowej w ramach projektów naukowych, staży i prac eksperymentalnych. Habilitant, wraz z zespołem naukowym PW, zdobyli brązowy medal na targach iENA 2018 w Norymberdze, za wynalazek „Metoda obliczeniowa wspomagająca połowe optyczne techniki pomiarowe”.

Do ważnych osiągnięć organizacyjnych należy również zaliczyć udział w przygotowaniu manuskryptów publikowanych w czasopismach o wysokim wskaźniku IF, pracę i koordynowanie wydań specjalnych w znanych czasopismach (JPhys Photonics, Photonics MDPI) oraz zrealizowanie około 200 recenzji artykułów naukowych do czasopism o zasięgu międzynarodowym, w tym ponad 150 recenzji dla OSA, za co Habilitant otrzymał w 2021 roku nagrodę Outstanding Reviewer Award. Brał również udział w pracach zespołów



[18] D. Saide, M. Trusiak, K. Patorski, "Evaluation of adaptively enhanced two-shot fringe pattern phase and amplitude demodulation methods," *Applied Optics* 56(19), 5489-5500 (2017)

W skład cyklu habilitacyjnego wchodzi publikacje, wśród których jedna jest pracą autorską [1], zaś w pozostałych publikacjach Habilitant był pierwszym autorem [2, 4, 11, 15] lub pełnił rolę wiodącą [3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 18]. Dwanaście publikacji powstało we współpracy międzynarodowej, zaś wszystkie zgłoszone do oceny publikacje były wynikiem prac badawczych realizowanych w ramach projektów finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki.

Zaprezentowany cykl publikacji przedstawia osiągnięcia Autora w tematyce obrazowania obliczeniowego. Zostały zaprezentowane wyniki badań dotyczące optycznej rejestracji danych obrazowych i ich numerycznego przetwarzania, w celu zwiększenia możliwości ilościowych opto-numerycznych układów pomiarowych, ze szczególnym uwzględnieniem potrzeb mikroskopii optycznej. Rozumiejąc fizyczne ograniczenia metod klasycznych, związanych m.in. z parametrami układu świetlno-optycznego, Habilitant skupił swój potencjał naukowy na dwóch głównych nurtach działań na potrzeby mikroskopii świetlnej: niekoherentnych technik obrazowania obliczeniowego oraz na rozwoju koherentnych metod obrazowania obliczeniowego, szczególnie w zakresie numerycznych metod analizy danych na potrzeby obliczeniowej mikroskopii świetlnej, a także na nowych metodach eksperymentalnych.

Do najważniejszych osiągnięć Habilitanta, zgłoszonego w postępowaniu habilitacyjnym, należy włączyć przede wszystkim analizę metod obliczeniowej koherentnej mikroskopii z ilościowym kontrastem fazowym, stosujących pojedynczy i dwa przesunięte w fazie interferogramy do ekstrakcji poszukiwanej mapy fazowej, które zostały opisane w publikacji [1]. Wynik opisanych badań wskazuje, że na podstawie doświadczeń numerycznych i eksperymentalnych, w przypadku wysokiej jakości interferogramów składowych, rejestracja dwóch ramek ma przełożenie na zwiększoną dokładność demodulacji fazy względem metod jednoramkowych, zaś w przypadku interferogramów niskiej i średniej jakości zaleca się stosowanie metod jednoramkowych, np. w wersjach opracowanych przez Habilitanta [2, 5, 12, 13, 17].

Kolejne osiągnięcie, które wskazano w publikacji [4] dotyczy nowej metody numerycznej, pozwalającej na automatyczne wyznaczenie płaszczyzny ostrości w poosiowej bezsoczewkowej mikroskopii holograficznej. Wynikiem badań było uzyskanie dużej rozdzielczości poosiowej i pole widzenia, odporności na szum, niskiego kontrastu

przygotowujących wniosek PW w konkursie NAWA PROM oraz zasiada w Radzie Naukowej czasopisma JPhys Photonics.


Osiągnięcia Habilitanta związane są również z działalnością popularyzatorską, w zakresie której można wymienić, oprócz udziału w konferencjach naukowych w roli uczestnika, również znaczące udziały z wygłoszeniem referatów zapraszanych oraz publikację artykułów popularno-naukowych na portalach min. PAP Nauka w Polsce, Forum Akademickiego i innych. Na uwagę zasługuje też popularyzowanie badań naukowych, będących podstawą osiągnięcia naukowego, w formie realizacji prac eksperckich i konsultacji naukowo-badawczych na potrzeby innych projektów, w tym obejmujących sektor gospodarczy (program Actphast). Wynikiem tej współpracy było wdrożenie opracowanych rozwiązań algorytmicznych w dziedzinie pomiarów oraz medycyny, w firmie włoskiej i estońskiej.

**Uważam, że dr inż. Maciej Trusiak aktywnie uczestniczy w realizacji zadań dydaktycznych, organizacyjnych i popularyzatorskich**

#### **4. Wniosek końcowy**

Dr inż. Maciej Trusiak, legitymuje się znaczącym dorobkiem naukowym, aktywną współpracą z krajowymi i międzynarodowymi ośrodkami naukowymi i przemysłowymi. Posiada też doświadczenie i osiągnięcia w pracy dydaktycznej. Aktywnie uczestniczy w działaniach organizacyjnych i popularyzatorskich na rzecz Instytutu, Uczelni i środowiska. Uważam, że zarówno poziom naukowy cyklu publikacji, jak i pozostały dorobek naukowy, dydaktyczny i organizacyjny dr. inż. Macieja Trusiaka spełniają wymagania stawiane kandydatowi do stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk technicznych. W pełni popieram wniosek Kandydata o nadanie stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika.

Z poważaniem



Dr hab. inż. Maciej Zajkowski, prof. PB