

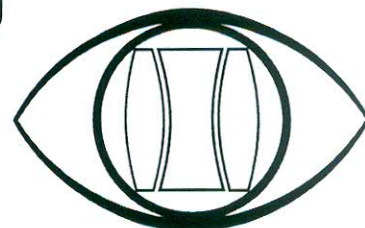
# INSTYTUT OPTYKI STOSOWANEJ

*im. prof. Maksymiliana Pluty*

ul. Kamionkowska 18, 03-805 Warszawa

tel: +48 604 432 844  
fax: +48 22 813 32 65  
e-mail: [galasj@inos.pl](mailto:galasj@inos.pl)  
<http://www.inos.pl>

KRS: 0000119363  
REGON: 000035725  
NIP: 525-000-87-90



INOS

Warszawa, dnia 17 marca 2015 roku

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Jaroszewicz  
Zakład Optyki Fizycznej  
Instytut Optyki Stosowanej  
ul. Kamionkowska 18, 03-805 Warszawa  
tel. 0228700585  
e-mail: [mmtzjaroszewicz@post.pl](mailto:mmtzjaroszewicz@post.pl)

## RECENZJA

### **Rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Prokopczuka p.t. „Obrazowanie submikrometrowych drgań czujnikami światłowodowymi”**

Tematem rozprawy doktorskiej p. mgr inż. Krzysztofa Prokopczuka, jak to już wskazuje sam jej tytuł, jest zastosowanie czujników światłowodowych do detekcji drgań o amplitudzie mniejszej niż jeden mikrometr. Rozprawa ma 114 stron i liczy sobie 144 pozycje bibliograficzne dotyczące omawianego w niej tematu. Praca składa się z sześciu rozdziałów oraz spisu bibliografii, w tym publikacji własnych autora składających się na rozprawę.

Pierwszy rozdział zawiera, jak to zwykle się zazwyczaj czynić, wprowadzenie do problematyki podejmowanej w pracy, a ponadto przedstawia się w nim cel podjętych badań, ich krótkie uzasadnienie oraz tezę naukową, którą autor zamierza udowodnić, a która w jego ujęciu brzmi następująco: „Możliwe jest obrazowanie i pomiar po wcześniejszej kalibracji drgań o amplitudzie wychylenia mniejszej niż 1  $\mu\text{m}$  czujnikiem światłowodowym z odwzorowaniem wystarczającym do zastosowań przemysłowych i medycznych”.



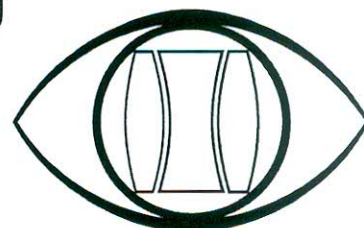
# INSTYTUT OPTYKI STOSOWANEJ

*im. prof. Maksymiliana Pluty*

ul. Kamionkowska 18, 03-805 Warszawa

tel: +48 604 432 844  
fax: +48 22 813 32 65  
e-mail: [galasj@inos.pl](mailto:galasj@inos.pl)  
<http://www.inos.pl>

KRS: 0000119363  
REGON: 000035725  
NIP: 525-000-87-90



**INOS**

Drugi rozdział poświęcony jest omówieniu różnych typów urządzeń służących do pomiaru drgań o małej amplitudzie. Autor dzieli je na trzy grupy według rodzaju mierzonej wielkości, tj. przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia. W pierwszej kolejności zostały wymienione elektroniczne metody pomiaru drgań wykorzystujące czujniki indukcyjne transformatorowe, czujniki elektromagnetyczne, układy typu MEMS, czujniki piezoelektryczne i wreszcie systemy akustyczne. Kolejną grupę, wydzieloną osobno ze względu na ich znaczenie dla dalszego ciągu rozprawy stanowią czujniki optoelektroniczne, do której zostały zaliczone urządzenia wykorzystujące wibrometrię dopplerowską, metody wieloeksperymentalne i holograficzne, laserowe czujniki odbiciowe oraz interferometry laserowe. Z kolei w zbiorze czujników optoelektronicznych wyróżniono i bardziej szczegółowo omówiono techniki pomiaru drgań z wykorzystaniem światłowodów. Tutaj też zaproponowano wiele różnych metod, które zostały opisane w pracy. Duża ilość ich odmian wymusza potrzebę uporządkowania i klasyfikacji. Autor podzielił światłowodowe metody pomiaru drgań na dwie podstawowe grupy. Pierwszą z nich stanowią czujniki pozwalające na pośredni pomiar drgań poprzez pomiar wywołanych nimi odkształceń podłużnych włókna. Należą do nich czujniki polarymetryczne, grupa metod opartych na reflektometrii oraz czujniki wykorzystujące włókna z światłowodowymi siatkami Bragga. W drugiej grupie zostały umieszczone czujniki pozwalające na bezpośredni pomiar amplitudy drgań, pomiędzy którymi zostały umieszczone czujniki zgięciowe, transmisyjne, odbiciowe oraz interferometryczne. Wszystkie wymienione rodzaje czujników do bezpośredniego pomiaru drgań zostały wykonane w Pracowni Optoelektroniki Światłowodowej Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej. Należy w tym miejscu nadmienić, że autor brał udział w wykonaniu prototypu systemu do monitoringu przemieszczeń rur gazociągowych wykorzystującego czujniki transmisyjne.

Ostatnie dwa rodzaje czujników światłowodowych, tj. czujniki odbiciowe oraz interferometryczne zostały wybrane przez autora do realizacji celu rozprawy, opisane w kolejnych dwóch rozdziałach oraz użyte do pomiaru drgań o małej amplitudzie dwóch rodzajów obiektów: części maszyn i fantomu błony bębenkowej ucha ludzkiego.

Trzeci rozdział zawiera omówienie natężeniowych odbiciowych czujników światłowodowych, gdzie wiązka emitowana z pojedynczego światłowodu jednomodowego po

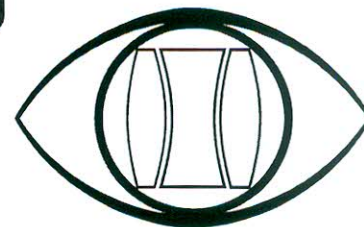
# INSTYTUT OPTYKI STOSOWANEJ

*im. prof. Maksymiliana Pluty*

ul. Kamionkowska 18, 03-805 Warszawa

tel: +48 604 432 844  
fax: +48 22 813 32 65  
e-mail: [galasj@inos.pl](mailto:galasj@inos.pl)  
<http://www.inos.pl>

KRS: 0000119363  
REGON: 000035725  
NIP: 525-000-87-90



**INOS**

odbiciu od badanej powierzchni jest zbierana przez jeden światłowód wielomodowy lub ich wiązkę. W rozdziale przedstawiono także konstrukcję takiego czujnika oraz wyniki pomiarów przeprowadzone za jego pomocą na cylindrycznym wirniku, płytce piezoelektrycznej i modulatorze mechanicznym. Uzasadniają one możliwość zastosowania takich czujników do pomiarów drgań części maszyn, a brak wrażliwości czujników światłowodowych na zakłócenia elektromagnetyczne, często występujące w takim środowisku, dodatkowo zwiększa ich potencjalną użyteczność.

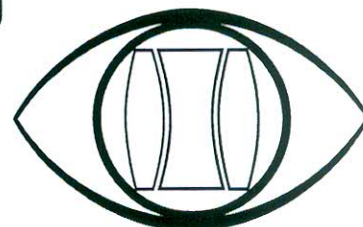
Rozdziały czwarty i piąty zawierają opis koherentnego czujnika światłowodowego, w którym informacje o położeniu punktu badanej powierzchni uzyskuje się poprzez pomiar natężenia sygnału optycznego będącego wynikiem interferencji wiązki odbitej od powierzchni wyjściowej światłowodu z wiązką, która po wyjściu z włókna zostaje odbita od badanej powierzchni i ponownie wprowadzona do światłowodu. Urządzenie wykonane przez autora zostało użyte do pomiaru drgań fantomu błony bębenkowej wykonanego we współpracy ze specjalistami z Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego. Przedstawione wyniki zawierają także dyskusję warunków pracy urządzenia i jego zakresu, propozycję zdjęcia mapy amplitudy drgań całej powierzchni oraz odniesienie się do problemu pomiaru drgań niesinusoidalnych i poprzez częściowo transparentną przeszkodę, co ma odpowiadać warunkom bardziej zbliżonym do przewidywanej przyszłej pracy urządzenia.

Szósty i ostatni rozdział pracy zawiera podsumowanie, wnioski i uwagi końcowe, a także opis demonstratorów układów sterowania czujników wykonanych przez autora.

Za główną wartość pracy uważam zastosowanie czujników światłowodowych w wersji koherentnej do pomiaru drgań fantomu błony bębenkowej. Na podkreślenie zasługuje przeprowadzenie pomiaru nie tylko punktowego, ale także sporządzenie mapy drgań całej membrany poprzez prowadzenie głowicy pomiarowej nad jej powierzchnią. Na ile mogę to orzec, proponowany temat jest nowy i oryginalny, a jego praktyczne zastosowanie miałyby wartość trudną do przecenienia. Tym niemniej uważam, że praca wymaga dalszej kontynuacji i sprawozdaje zaledwie częściowy i daleki od ukończenia stan badań poruszanego tematu.

Na końcu pracy w jej ostatnim rozdziale zabrakło, wbrew powszechnie przyjętej praktyce postępowania, omówienia





przyszłych badań, które powinny zostać podjęte i które są konsekwencją otrzymanych wyników i eksperymentów opisanych w niniejszej rozprawie. Dziwi to tym bardziej, że przecież w pracy przedstawiono badania jedynie nad fantomem błony bębenkowej, a możliwość badania żywego ucha jest oczywistym następnym krokiem. Być może autor uznał to za tak oczywiste, że aż niegodne wzmianki.

Rozdział 3, w którym opisano czujniki natężeniowe, nie zawiera praktycznie żadnych odnośników literaturowych na ten temat, co dziwi tym bardziej, że była to w zasadzie jedna z pierwszych propozycji takowego zastosowania światłowodów. Kilka prac, takich jak np. jedna z wcześniejszych praca Cooka i Hamma<sup>1</sup> czy też parę publikacji z ostatnich lat<sup>2,3,4</sup>, w tym także polskich autorów<sup>5</sup>, jak również parę publikacji przeglądowych<sup>6,7</sup>, powinny znaleźć się w spisie publikacji zamieszczonych w rozprawie i dowieść znajomości tematu przez doktoranta oraz pozwolić na uniknięcie wrażenia, że autor przedstawia oryginalną propozycję nowego czujnika, która taką nie jest.

Co więcej, opis pracy urządzenia jest całkowicie heurystyczny, brak w rozprawie jakiegokolwiek modelu opisującego krzywą czułości czujnika i pozwalającego na dopasowywanie danych pomiarowych przedstawionych na rys. 3.4, 3.6, 3.7, i 3.10. do ich oczekiwanego przebiegu. Wskazówki do takiego modelu można znaleźć chociażby w pracach wymienionych w poz. [3] i [4].

Cała rozprawa liczy sobie skromną ilość równań, w sumie jest ich 17 i nie są one częścią wywodu mającego służyć wykazaniu celu rozprawy, a jedynie stanowią opisową część wstępów kolejnych rozdziałów służących do przedstawienia prezentowanych w nich

<sup>1</sup> R. O. Cook and C. W. Hamm, "Fiber optic lever displacement transducer," *Appl. Opt.* **18**, 3230-3241 (1979).

<sup>2</sup> V. Trudel and Y. St-Amant, "One-dimensional single-mode fiber-optic displacement sensors for submillimeter measurements," *Appl. Opt.* **48**, 4851-4857 (2009).

<sup>3</sup> H. Cao, Y. Chen, Z. Zhou, and G. Zhang, "Theoretical and experimental study on the optical fiber bundle displacement sensors," *Sensors and Actuators A* **136**, 580-587 (2007).

<sup>4</sup> S.W. Harun, H.Z. Yang, M.H. Yasin, and H. Ahmad, "Theoretical and experimental study on the fiber optic displacement sensor with two receiving fibers," *Microw. Opt. Technol. Lett.* **52**, 373-375 (2010).

<sup>5</sup> G. Łomotowski and E. Beres-Pawlik, "A method of measuring moving element displacements in micro-hydraulic valves with the use of optical fibers," *J. Theoret. Appl. Mech.* **52**, 781-791 (2014).

<sup>6</sup> W. Shen, X. Wu, H. Meng, G. Zhang, and X. Huang, "Long distance fiber-optic displacement sensor based on fiber collimator," *Rev. Sci. Instrum.* **81**, 123104 (2010).

<sup>7</sup> G. Berkovic and E. Shafir, "Optical methods for distance and displacement measurements," *Adv. Opt. Photon.* **4**, 441-471 (2012).

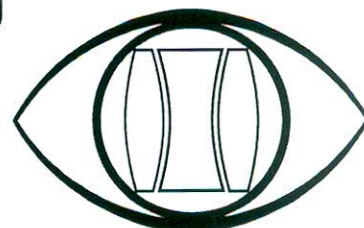
# INSTYTUT OPTYKI STOSOWANEJ

*im. prof. Maksymiliana Pluty*

ul. Kamionkowska 18, 03-805 Warszawa

tel: +48 604 432 844  
fax: +48 22 813 32 65  
e-mail: [galasj@inos.pl](mailto:galasj@inos.pl)  
<http://www.inos.pl>

KRS: 0000119363  
REGON: 000035725  
NIP: 525-000-87-90



INOS

problemów. Redakcja rozprawy jest miejscami niestaranna, ograniczę się tylko do jednego przykładu, gdzie na stronie 63 napisano 1.57 radiana zamiast, jak to jest powszechnie przyjęte,  $\pi/2$ .

Za istotną lukę należy również uznać brak danych na temat rzeczywistej amplitudy drgań błony bębenkowej zmierzonych innymi metodami, tak, żeby można było porównać i ocenić założenia poczynione przy konstrukcji jej fantomu.

Z drugiej strony, w pracy daje się wyczuć biegłość autora w konstruowaniu układów doświadczalnych i posługiwaniu się sprzętem elektronicznym, co stanowiło warunek konieczny pomyślnego przeprowadzenia części eksperymentalnej i pomiarowej pracy.

Rozprawę broni również fakt opublikowania jej wyników w czterech artykułach z tzw. listy filadelfijskiej (jeden w *Applied Optics*<sup>8</sup> i trzy w *Acta Physica Polonica*) i pięciu komunikatach wygłoszonych na międzynarodowych konferencjach naukowych, przez co wymóg przedstawienia otrzymanych wyników społeczności naukowej, jak również poddania ich krytycznej analizie można uznać za dopełniony.

W konkluzji stwierdzam, że teza naukowa postawiona przez autora w rozprawie została rozwiązana pomyślnie i stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Krzysztofa Prokopczuka do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Uważam, że rozprawa przedstawiona mi do oceny **spełnia wymogi ustawy o tytule doktorskim i stopniach naukowych**.



Zbigniew Jaroszewicz

<sup>8</sup> K. Prokopczuk, K. Rozwadowski, M.D. Aleksandra Starzyńska, and A.W. Domański, "Optical fiber sensor for membrane submicrometer vibration measurement," *Appl. Opt.* **53**, 6051-6057 (2014).