

Prof. dr hab. inż. Wacław Urbańczyk  
Katedra Optyki i Fotoniki  
Politechnika Wrocławska  
50-370 Wrocław  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
[wacław.urbanczyk@pwr.edu.pl](mailto:wacław.urbanczyk@pwr.edu.pl)

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Szeląga pt. „Czujniki światłowodowe z siatką Bragga do pomiaru odkształceń i temperatury w materiałach kompozytowych”**

Rozprawa doktorska Pana Mateusza Szeląga została wykonana pod kierunkiem dra hab. inż. Piotra Lesiaka, a promotorem pomocniczym był dr inż. Daniel Budaszewski, obaj z Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej. Badania o charakterze eksperymentalnym i symulacyjnym, przedstawione w ramach rozprawy, koncentrują się na właściwościach światłowodowych siatek Bragga i możliwości ich wykorzystania do monitorowania stanu struktur kompozytowych, w szczególności do pomiaru odkształceń.

Warto podkreślić, że tematyka rozprawy jest bardzo aktualna. W ostatnich latach obserwuje się narastający trend do coraz bardziej powszechnego zastępowania konstrukcji metalowych przez ich kompozytowe odpowiedniki. Istotną zaletą kompozytów jest wysoka mechaniczna wytrzymałość przy stosunkowo niedużej masie, co zachęca do ich stosowania w przemyśle lotniczym, maszynowym i budownictwie. W ramach rozprawy przebadano możliwość monitorowania mechanicznych i termicznych obciążeń struktur kompozytowych przy pomocy światłowodowych siatek Bragga. Tematyka badań podjętych przez Autora ma więc duży potencjał aplikacyjny, a uzyskane wyniki mogą przyczynić się do poszerzenia obszaru zastosowań struktur kompozytowych.

Rozprawa składa się z 5 rozdziałów, 5 załączników i wykazu cytowanej literatury (75 pozycji) o łącznej długości 96 stron. Na końcu rozprawy Autor dołączył także wykaz własnych publikacji, który składa się z 3 współautorskich artykułów w czasopismach z Listy Filadelfijskiej: *Measurement-1*, *Acta Physica Polonica A-2*, jednego artykułu w czasopiśmie spoza LF (*Elektronika*) oraz 5 komunikatów konferencyjnych. Tylko w jednym artykule (*Elektronika*) Autor rozprawy pojawia się na pierwszym miejscu na liście współautorów.

Rozdział 1. stanowi wprowadzenie w tematykę rozprawy. Przedstawiono w nim podstawowe pojęcia dotyczące światłowodowych siatek Bragga, metody ich wytwarzania oraz sposoby kompensacji wpływu temperatury na wynik pomiaru innych wielkości fizycznych. W rozdziale 1. zawarto również wprowadzające informacje na temat rodzajów materiałów kompozytowych i ich podstawowych właściwości.

W rozdziale 2. przedstawiono wyniki analizy numerycznej odpowiedzi siatek Bragga na temperaturę i odkształcenia dla jednorodnego i gradientowego rozkładu mierzonego parametru wzdłuż długości siatki. Wartościowym rezultatem przedstawionym w tym rozdziale jest wykazanie na drodze symulacji numerycznych, że gradientowy rozkład mierzonego parametru (liniowy, gaussowski) jest odpowiedzialny za poszerzenie charakterystyki widmowej siatki oraz za zmniejszenie współczynnika odbicia.

W rozdziale 3. zdefiniowano model numeryczny struktury kompozytowej, który służył do obliczeń odkształceń przy różnych obciążeniach. W symulacjach uwzględniono ilość warstw struktury kompozytowej i kierunek ich ułożenia. Opisano również metodę formowania struktury kompozytowej z zatopionym włóknem, a także sposób pomiaru czułości siatek Bragga na temperaturę i odkształcenia. Opracowanie skutecznej metody integracji czujnika światłowodowego z kompozytem należy uznać za ważne osiągnięcie Autora, które wymagało rozwiązania szeregu problemów technologicznych, w tym doboru odpowiedniej struktury kompozytu (typu włókna zbrojącego, ilości i kierunku ułożenia warstw kompozytu), temperatury i czasu wygrzewania, pokrycia włókna optycznego oraz umiejscowienia czujnika w kompozycie. Dzięki temu możliwe było przeprowadzenie badań eksperymentalnych czułości siatek Bragga wbudowanych w strukturę kompozytową na odkształcenia, które zostały opisane w rozdziale 4. Wyniki pomiarów i symulacji wykazywały dobrą zgodność, co potwierdza poprawność przyjętego przez Autora modelu numerycznego.

W rozdziale 5 przebadano możliwość zastosowania światłowodowej siatki Bragga z liniowo opadającym zboczem charakterystyki transmisyjnej jako czujnika temperatury i odkształcenia w strukturze kompozytowej. Niewątpliwą zaletą siatki Bragga tego typu jest wariantowy system detekcyjny, w którym, w zależności od potrzeb, można mierzyć natężenie światła dla wybranej długości fali lub pozycję pików Bragga. Przeprowadzone eksperymenty potwierdziły możliwość stosowania takich siatek do pomiaru temperatury i wydłużenia w szerokim zakresie zmienności obu parametrów.

Rozprawa jest dobrze napisana i zilustrowana przemyślanymi rysunkami. Liczba potknięć i niezręczności językowych, które wymieniam w załączniku, nie przekracza akceptowalnego poziomu. W trakcie czytania rozprawy nasunęły mi się dwie uwagi o charakterze merytorycznym. Pierwsza dotyczy obliczeń czułości siatek Bragga na temperaturę i wydłużenie. Nie rozumiem dlaczego obliczona czułość na temperaturę powyżej i poniżej przyjętej temperatury odniesienia (25 °C) ma inną wartość. Czułość jest mierzalnym parametrem i intuicyjnie trudno jest zaakceptować fakt, że wynik pomiaru miałby zależeć od przyjętej w obliczeniach temperatury odniesienia. Podobne wątpliwości dotyczą różnych

wartości czułości na odkształcenia uzyskanych w obliczeniach dla rozciągania i ściskania. Druga uwaga dotyczy braku jasnej definicji czułości siatki na dany parametr fizyczny w przypadku niejednorodnego rozkładu tego parametru wzdłuż długości siatki.

Przytoczone wątpliwości nie wpływają jednak na ogólnie wysoką ocenę merytoryczną rozprawy. Na podkreślenie zasługuje aktualna tematyka, szeroki zakres przeprowadzonych badań i ich zdecydowanie aplikacyjny charakter. Autor przeprowadził symulacje parametrów mechanicznych i optycznych struktur kompozytowych z wybudowaną siatką Bragga przy pomocy zaawansowanych narzędzi numerycznych. Istotnym wynikiem rozprawy jest analiza wpływu gradientowego rozkładu mierzonego parametru na odpowiedź siatki Bragga. Autor wykazał się także umiejętnościami eksperymentalnymi, co pozwoliło na zweryfikowanie przyjętego modelu numerycznego względem wyników pomiaru, a także na potwierdzenie w praktyce możliwości stosowania siatek Bragga do monitorowania odkształceń w kompozytach. Wartościowym pomysłem, potwierdzonym eksperymentalnie, jest także zastosowanie siatki Bragga z liniowo opadającym zboczem charakterystyki transmisyjnej do pomiaru temperatury i odkształcenia w materiałach kompozytowych. Ponadto, ważnym osiągnięciem rozprawy o charakterze technologicznym, warunkującym wszystkie badania eksperymentalne, było opanowanie metody integracji czujnika światłowodowego z elementem kompozytowym, w tym rozwiązanie problemu doprowadzeń.

W podsumowaniu stwierdzam, że recenzowana rozprawa zawiera istotne wyniki naukowe i może być podstawą uzyskania stopnia doktora nauk fizycznych w świetle wymagań formalnych stawianych przez odpowiednie ustawy. Wnoszę więc o dopuszczenie mgra inż. Mateusza Szeląga do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

  
Prof. dr hab. inż. Waclaw Urbańczyk

Wrocław, 15 maja 2016 r.

## Wykaz błędów redakcyjnych i nieściślych wypowiedzi

1. Nie stawiamy kropek po tytułach rozdziałów i podrozdziałów.
2. Str.18: „Światło odbite od każdego prążka siatki”.
3. Str.18: „Obraz prążków interferencyjnych oddziałuje na rdzeń włókna”.
4. Str.19: „Współczynnik załamania światła posiada największe wartości w pobliżu osi podłużnej światłowodu”.
5. Str.20: zamiast „równomierne siatki Bragga” lepiej byłoby powiedzieć „jednorodne siatki Bragga”.
6. Str.22: „Zastosowanie maski fazowej o zmiennej sprawności” (wydajności dyfrakcyjnej ??).
7. Niejasne rysunki 1.4 i 1.7.
8. Str. 37: „Fotoczulość jest to zdolność do posiadania całkowicie zmienionego współczynnika załamania światła poprzez oddziaływanie na światłowód promieniowaniem ultrafioletowym”.