

Warszawa, 10 września 2024 r

dr hab. inż. Katarzyna A. Rutkowska, prof. uczelni
Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej
ul. Koszykowa 75
00-662 Warszawa

**Recenzja rozprawy doktorskiej Pani magister inżynier Marty Weroniki Benaś
pt. Kształtowanie właściwości transmisyjnych i czujnikowych światłowodów przez skręcenie**

Głównym celem rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Marty Weroniki Benaś **było wykazanie możliwości kształtowania i dostrajania właściwości transmisyjnych i czujnikowych/metrologicznych światłowodów dwójłomnych liniowo przez ich skręcanie** a przez to w szczególności możliwości ich wykorzystania do uzyskania konwersji międzymodowej, w tym generacji optycznych wiązek wirowych, jak również wytworzenia polarymetrycznych czujników światłowodowych. Praca ta powstała pod kierunkiem Pani dr hab. inż. Gabrieli Statkiewicz-Barabach z Katedry Optyki i Fotoniki na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej, a przeprowadzone badania powiązane były między innymi z realizacją projektów NCN Maesto nt. *Spiralne światłowody fotoniczne do zastosowań w metrologii i komunikacji* oraz OPUS 18 nt. *Wielordzeniowe światłowody specjalne o dużej dwójłomności do jednoczesnych do wieloparametrowych pomiarów*. Rolę promotora pomocniczego pełnił Pan dr Maciej Napiórkowski.

Recenzowana praca doktorska obejmuje szeroki zakres prac technologicznych i eksperymentalnych, wspartych dodatkowo analizą teoretyczną (w tym głównie numeryczną, chociaż również analityczną). W szczególności, skręcone struktury światłowodowe zostały zamodelowane z wykorzystaniem metody elementów skończonych (ang. *finite element method*, FEM) przy zastosowaniu formalizmu optyki transformacyjnej w helikoidalnym układzie współrzędnych. **Bardzo ważnym elementem przeprowadzonych prac badawczych było określenie jakości wiązek wirowych** uzyskiwanych na wyjściu badanych struktur skręconych światłowodów dwójłomnych **w warunkach eksperymentalnych, wskazując z jednej strony na możliwość zastosowania zaprojektowanych i wykonanych struktur światłowodowych (nazywanych również w pracy światłowodowym źródłem wiązek wirowych) do efektywnej generacji dobrej jakości wirów optycznych** jak również **na możliwość przestrajania cylindrycznych wiązek wektorowych**, w tym o azymutalnej lub radialnej polaryzacji. **Ogólną wartość pracy i jej potencjał aplikacyjny podnoszą kolejne osiągnięcia** wchodzące w jej skład, do których zaliczyć można: (i) opracowanie metody pozwalającej na zwiększenie efektywności sprzęgania światła między włóknami standardowymi a włóknami o spiralnym rdzeniu; oraz (ii) przeprowadzenie szczegółowych badań i testów (w tym pomiarów rozłożonych) dotyczących polarymetrycznej czułości skręconych włókien dwójłomnych (tutaj dla włókien typu *side-hole*) na ciśnienie hydrostatyczne.



Rozprawa doktorska, napisana w języku polskim, **składa się** z 9 rozdziałów (w tym pierwszym będącym wprowadzeniem i ostatnim zawierającym uwagi końcowe do całej pracy), oraz bibliografii (obejmującej 151 pozycji literaturowych). Ważnym elementem opracowania jest pojawiająca się na stronach 115-116 lista 5 publikacji w czasopismach recenzowanych oraz 5 wystąpień konferencyjnych, stanowiących podstawę niniejszej rozprawy doktorskiej, jak również 2 publikacji w czasopismach recenzowanych i 1 wystąpienia konferencyjnego, niezwiązanych bezpośrednio z rozprawą. **Praca napisana jest bardzo starannie i klarownie**, a jej struktura jest zgodna ze standardami typowymi dla prac i publikacji naukowych. Wszystkie rozdziały przedstawiające wyniki badań przeprowadzonych przez Doktorantkę charakteryzują się taką samą strukturą – tj. rozpoczynają się od skrótowego nakreślenia podstaw teoretycznych i założeń dotyczących danego zagadnienia a następnie, po przedstawieniu właściwej jego treści (tj. metod pomiarowych i symulacyjnych, otrzymanych wyników pomiarowych i symulacji) zakończone są przedstawieniem podsumowania i konkluzji. Taka forma z pewnością zwiększa czytelność pracy i ułatwia czytelnikowi analizę uzyskanych wyników.

Na początku swojej pracy **Doktorantka postawiła trzy tezy** wskazujące odpowiednio na możliwość: **(i)** konwersji międzymodowej w grupie modów pierwszego rzędu, w tym w szczególności generację modów wirowych uzyskaną przez lokalne skręcenie światłowodu dwójłomnego; **(ii)** poprawy efektywności wprowadzania światła do włókien skręconych przez lokalną zmianę okresu skręcenia; **(iii)** kształtowania czułości na ciśnienie hydrostatyczne światłowodu typu *side-hole* uzyskanego dzięki zmianie stopnia skręcenia włókna na całej jego długości podczas procesu wyciągania. Wszystkie postawione **tezy** zostały systematycznie zbadane a otrzymane wyniki przedstawione w niniejszej rozprawie i ostatecznie **pozytywnie zweryfikowane**. W szczególności, rozprawa doktorska Pani mgr inż. Marty Weroniki Bernaś adresuje zagadnienia związane z możliwością zaprojektowania, wytworzenia i wykorzystania dwójłomnych światłowodów skręconych, pozwalających na (i) efektywną generację wirów optycznych (w wyniku konwersji modów LP_{11} we włóknach typu PANDA o gradientowym profilu skręcenia), w tym w szczególności w trybie szerokopasmowym lub przestrzajalnym (po zastosowaniu w źródle wiązek wirowych dodatkowego mikrostrukturalnego światłowodu dwójłomnego pełniącego rolę szerokopasmowego lub przestrzajalnego źródła modów LP_{11}); (ii) wytworzenie siatek typu *rocking-filter* (przez lokalne (a raczej właściwie punktowe) periodycznie rozmieszczone obroty osi dwumodowego światłowodu dwójłomnego typu PANDA) do rezonansowych sprzężeń między różnymi parami modów LP_{11} (pozwalające na konwersję pomiędzy modami w różnych konfiguracjach jeśli chodzi o kierunek polaryzacji i przestrzenny rozkład amplitudy a co więcej na generację cylindrycznych wiązek wektorowych) oraz (iii) uzyskanie światłowodowego układu czujnikowego o różnej czułości polarymetrycznej na ciśnienie hydrostatyczne w zależności od okresu skręcenia włókna (dla światłowodu typu *side-hole* z eliptycznym rdzeniem skręcane na całej długości przez obrót preformy w procesie produkcji). Rozprawa zawiera szczegółowy opis przeprowadzonych prac koncepcyjnych i analitycznych (związanych z zaprojektowaniem odpowiednich struktur/układów, wykonanych z właściwie dobranych światłowodów w konkretnej konfiguracji geometrycznej – w szczególności o odpowiedniej geometrii skręcenia), działań związanych z praktycznym wytworzeniem struktur, badań eksperymentalnych służących ich charakteryzacji, jak również weryfikacji postawionych tez i słuszności założeń konstrukcyjnych.

Przechodząc do dokładniejszego omawiania zawartości dysertacji, można przyjąć, że zasadnicza treść pracy doktorskiej Pani mgr inż. Marty Weroniki Bernaś (pomijając wprowadzenie, zawierające opis historycznego i aktualnego stanu wiedzy na temat światłowodów skręconych i ich wykorzystania, oraz zakończenie z uwagami końcowymi) składa się z dwóch odrębnych części.



Pierwsza z nich, zawierająca dwa rozdziały (tj. Rozdział 2 i Rozdział 3), stanowi teoretyczne i merytoryczne wprowadzenie, przedstawiające odpowiednio opis różnych typów dwójłomności światłowodów, w tym dwójłomność wywołaną nieelastycznym skręceniem włókna (**Rozdział 2**) oraz podstawy stosowanej w rozprawie metody numerycznego modelowania światłowodów skręconych, bazującej na formalizmie optyki transformacyjnej w powiązaniu z metodą elementów skończonych (**Rozdział 3**). Druga część pracy, obejmująca kolejno Rozdziały 4-8, zawiera oryginalne wyniki prac badawczych Doktorantki wraz z dyskusją. Warto przy tym zaznaczyć, że w większości przypadków przedstawianych w pracy wyników badań i obserwacji eksperymentalnych były one wyjaśniane i potwierdzane z wykorzystaniem przeprowadzonych symulacji numerycznych z wykorzystaniem techniki modelowania propagacji fal elektromagnetycznych w światłowodach skręconych opisanej w Rozdziale 3. Dodatkowo, w każdym z rozdziałów, którego to dotyczy, bardzo dokładnie opisane są stosowane dodatkowe metody analityczne oraz co bardzo ważne techniki pomiarowe i charakterystyczne, które często nie są powszechnie używane w laboratoriach optycznych. We wspomnianym **Rozdziale 3** Autorka w sposób przystępny wprowadza podstawowe wzory, zagadnienia i pojęcia z omawianego zakresu, jak również pokazuje przykładowe wyniki symulacji dla światłowodu skręconego. W połączeniu z wiedzą przedstawioną w Rozdziale 2, w Rozdziale 3 zawarte zostały wszystkie informacje niezbędne do zrozumienia dalszej części rozprawy – w tym w szczególności poświęcone dokładnemu wytłumaczeniu sposobu uzyskania wiązek wirowych bazując na ewolucji modów w skręconym włóknie z wbudowaną dwójłomnością naprężeniową, co zostało wykorzystane w trakcie dalszych badań, opisanych w kolejnych rozdziałach niniejszej rozprawy.

Rozdziały 4 i 5, stanowiące potwierdzenie pierwszej tezy rozprawy, zawierają wytłumaczenie koncepcji i sposobów praktycznej realizacji, jak również szczegółowe opisy uzyskanych wyników symulacji numerycznych i badań eksperymentalnych dotyczących wykorzystania gradientowo skręconego włókna do budowy szerokopasmowego lub przestrajalnego światłowodowego źródła wiązek wirowych. Uzyskane wyniki zostały zawarte między innymi w publikacjach *Opt. Expr.* **46(8)**, 4446 (2021) i *Opt. Expr.* **30(15)**, 27715 (2022). Szczególną uwagę poświęcono opisowi opracowanego procesu gradientowego skręcania światłowodu w celu uzyskania konwertera modów. W ten sposób zaproponowano a następnie zweryfikowano eksperymentalnie i numerycznie (wprowadzając kolejne doprecyzowania począwszy od modelu z kołowym, a następnie z eliptycznym rdzeniem, kończąc na modelu z eliptycznym rdzeniem i naprężeniami, w celu najlepszego odwzorowania wyników eksperymentalnych) możliwość uzyskania adiabaticznej konwersji modów LP₁₁ nieskręconego światłowodu do modów wirowych (odpowiednio o całkowitym momencie pędu ± 2 lub 0), będącymi modami własnymi skręconego światłowodu (Rozdział 4). Co ważne, zaproponowany konwerter może działać w szerokim zakresie spektralnym (co jest dużą zaletą w porównaniu do innych rozwiązań stosowanych typowo do generacji wirów optycznych), co daje możliwość uzyskania źródła wiązek wirowych pracującego w trybie szerokopasmowym lub przestrajalnym. Można to uzyskać przez zastosowanie źródła typu superkontinuum oraz przestrzennego modulatora światła (na którym wyświetlane były odpowiednie maski fazowe umożliwiające wprowadzenie do konwertera modu o określonym profilu przestrzennym), jak miało to miejsce w przypadku opisanym przez Autorkę w Rozdziale 4. Innym rozwiązaniem jest, opisane szczegółowo w Rozdziale 5, wykorzystanie nieliniowej konwersji spektralnej zachodzącej bezpośrednio w modach LP₁₁ specjalnie zaprojektowanego światłowodu mikrostrukturalnego (pełniącego rolę szerokopasmowego lub przestrajalnego źródła modów LP₁₁), umieszczonego na wejściu gradientowo skręconego konwertera modów. Zgodnie z wynikami badań eksperymentalnych przedstawionych w Rozdziale 5, zastosowanie takiej, całkowicie



światłowodowej, konfiguracji złożonej z dwóch typów dwumodowych światłowodów o ściśle określonych właściwościach pozwala na wygenerowanie wiązek wirowych różnych typów o całkowitych momentach pędu $-2, 0, 2$. Działanie w trybie szerokopasmowym lub przestrajalnym wynika z zastosowania impulsowego lasera dużej mocy do generacji efektów nieliniowych w światłowodzie mikrostrukturalnym, w tym do generacji superkontinuum i przestrajalnych solitonów Ramana o dużej czystości modowej i polaryzacyjnej w modzie LP_{11} . W ten sposób udało się w warunkach eksperymentalnych uzyskać wiązki wirowe przestrajalne w zakresie widmowym ponad 300nm i czystości polaryzacyjnej na poziomie do około -20dB .

W kolejnym rozdziale rozprawy, tj. w **Rozdziale 6**, dającym kolejne argumenty przemawiające na rzecz potwierdzenia pierwszej tezy pracy, Doktorantka dokładnie opisuje proces wytworzenia siatek typu *rocking-filter*, w których (w odróżnieniu do skręconych włókien omawianych w poprzednich rozdziałach) dochodzi do rezonansowego sprzężenia między różnymi parami modów LP_{11} . Badania eksperymentalne oraz symulacje numeryczne, których wyniki zostały zaprezentowane we wspomnianym rozdziale (jak również w publikacji *Opt. Expr.* **31(14)**, 22837 (2023)), dowiodły możliwość uzyskania efektywnej konwersji zarówno między modami o ortogonalnych polaryzacjach i tym samym rozkładzie przestrzennym amplitudy, jak i o tych samych kierunkach polaryzacji i ortogonalnych rozkładach przestrzennych amplitudy. W pracy po raz pierwszy pokazano, że długookresową siatkę typu *rocking-filter* można zastosować nie tylko do wywoływania sprzężeń między podstawowymi modami polaryzacyjnymi ale również między różnymi parami modów wyższych rzędów. W ramach prowadzonych prac badawczych uzyskano satysfakcjonującą zgodność wyników eksperymentalnych i symulacji numerycznych. Co ważne, wykazano, że wytworzone i przebadane siatki długookresowe mogą zostać wykorzystane do generacji cylindrycznych wiązek wektorowych (o azymutalnej lub radialnej polaryzacji).

Badania i wyniki przedstawione w **Rozdziale 7** można uznać za element pomocniczy i skalający tematykę pracy. Został on bowiem ujęty w rozprawie w celu przedstawienia zagadnienia wprowadzania światła do włókien o spiralnym rdzeniu i trudnościach wynikających z pochylania frontu falowego modów. W pracy zaproponowano metodę służącą zwiększeniu efektywności sprzęgania światła do światłowodów skręconych, co pozwoliło na potwierdzenie drugiej tezy niniejszej pracy i zostało przedstawione w publikacji *Opt. Expr.* **29(4)**, 5343 (2021).

Następny aspekt praktyczny i aplikacyjny pojawia się w **Rozdziale 8**, w którym Autorka przedstawiła wyniki badań eksperymentalnych dotyczących wpływu nieelastycznego skręcenia (uzyskanego w procesie produkcji przez obrót preformy) na polarymetryczną czułość na ciśnienie hydrostatyczne włókien typu *side-hole* z eliptycznym rdzeniem, co stanowi potwierdzenie trzeciej tezy stawianej w niniejszej pracy. Wyniki eksperymentalne (jak również przewidywania analityczne opierające się na znajomości czułości i dwójłomności nieskręconego światłowodu oraz kołowej składowej dwójłomności zależnej od okresu skręcenia) wskazują na spadek czułości polarymetrycznej włókna na ciśnienie hydrostatyczne (będącej co więcej zależnej od długości fali) wraz ze wzrostem stopnia skręcenia (czyli skracaniem okresu skręcenia). Jednocześnie rozłożone pomiary czułości na ciśnienie (bazujące na rozpraszaniu Rayleigha i modulacji długości fali promieniowania elektromagnetycznego) wspomnianych włókien wykazały, że dla jednego modu polaryzacyjnego następuje spadek, podczas dla drugiego następuje wzrost czułości, co powoduje spadek wartości bezwzględnej różnicy czułości modów wraz ze wzrostem stopnia skręcenia, zgadzając się w sposób jakościowy z wynikami analitycznymi. Warto zauważyć, że wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że skręcone włókna typu *side-hole* mogą być wykorzystywane jako czujniki polarymetryczne innych wielkości fizycznych przy zmiennym ciśnieniu hydrostatycznym z uwagi na ich mniejszą czułość polarymetryczną na ciśnienie w porównaniu do włókien nieskręconych.



Rozprawę doktorską kończy **Rozdział 9**, w którym znalazło się podsumowanie całej pracy oraz weryfikacja tez rozważanych w niniejszej rozprawie. Na podkreślenie zasługuje fakt, że Autorka nie ograniczyła się jedynie do podsumowania najważniejszych wyników i weryfikacji tez rozprawy, ale wskazała możliwe zastosowania praktyczne omawianych rozwiązań. Przykładowo z uwagi na łatwość wykonania i szeroki zakres spektralny zaproponowane w pracy konwertery modów mogą mieć zastosowanie w telekomunikacji, laserach światłowodowych, mikroskopii, pułapkowaniu optycznym, czy też w optyce kwantowej. Wytworzone siatki RF mogą być wykorzystane do generacji cylindrycznych wiązek wektorowych ale również do bardziej przyziemnych zastosowań czujnikowych, jak ma to miejsce w przypadku standardowych siatek długookresowych. Również skręcone włókna typu *side-hole* mogą być wykorzystywane jako czujniki polarymetryczne różnych parametrów fizycznych nie tylko przy zmiennej temperaturze ale również przy zmiennym ciśnieniu hydrostatycznym.

Odnosząc się do formy rozprawy i aspektów edytorskich, należy stwierdzić, że **praca napisana jest bardzo starannie**, z dużą dbałością o szczegóły, wzbogacona dużą liczbą odpowiednio dobranych kolorowych ilustracji i wykresów. **Forma rozprawy** (w sensie wydrukowanego dzieła), rozumianej, jako osobne, spójne wewnętrznie opracowanie, **jest bardzo dobra**. Praca scala w sposób bardzo przejrzysty i systematyczny otrzymane wyniki obliczeń numerycznych z wynikami badań eksperymentalnych, wyraźnie potwierdzając stawiane na początku tezy. **Otrzymane wyniki zostały dokładnie opisane i przeanalizowane**, jak również właściwie zilustrowane wykresami, ułatwiającymi zrozumienie przedstawionych wyników i analiz. Nie zauważyłam w niej błędów merytorycznych czy formalnych. Nie znalazłam również błędów językowych czy edytorskich.

Ponieważ rolą recenzenta jest krytyczne odniesienie się do treści rozprawy, jako swoje dodatkowe uwagi, które w żadnym sposobie nie podważają bardzo wysokiej oceny rozprawy doktorskiej i oryginalnych osiągnięć Doktorantki, wskazałabym: i) wykorzystywanie przez Autorkę pojęcia „rozkład intensywności” czy „intensywność”, co wydaje się być kalką z języka angielskiego (warto jednak zauważyć na znajdujące się na stronie 66 określenie „natężenie/intensywność światła” co sugerowałoby możliwość zamiennego stosowania); ii) kilkukrotne stosowanie kolokwializmu „czyste pobudzenie modów (...) na różnych długościach fali”, „zdzjęcia (...) wykonane w klasycznym mikroskopie”, czy też skrótu myślowego „kamera na podczerwień”, „amplituda zespolona światła rozporoszonego”; iii) brak uwzględnienia niepewności co przykładowo w przypadku danych z rys. 5.2(d), 6.4(b), 6.5(b), 9.6(c) mogłoby prowadzić do uzyskania innych parametrów dopasowanych prostych; iv) brak jednoznacznej informacji (a może to być ciekawe dla czytelnika) np. w przypadku badań przedstawionych w podrozdziale 5.3 (rys. 5.6) czy opisywane struktury były najpierw projektowane (chodzi o określony okres skręcenia) a potem wykonywane i badane, czy było raczej odwrotnie – tj. czy symulacje numeryczne były wykonywane wtórnie dla struktur uzyskanych w warunkach eksperymentalnych; v) czy warunek dopasowania okresu siatki do drogi zdudnień dla pełnego transferu mocy (podany pod wzorem (6.2)) obowiązuje tylko dla $\pi/2$ czy też dla jego krotności? vi) chciałabym również zapytać o dokładność/niepewność pomiaru zmiany długości ΔL (jak przykładowo wykreślono na rys. 6.5(b)) jak również informację jak oszacowano niepewność całkowitego kąta skręcenia potrzebnego do uzyskania pełnego transferu energii w siatce RF – str. 68: wartość $(140 \pm 20)^\circ$ – jest to *nota bene* jedynie miejsce, w którym pojawiają się niepewności, o które pytałam wyżej; vii) czy możliwe jest określenie przez Autorkę źródeł rozbieżności w wynikach eksperymentalnych i symulacyjnych dla długości fali dla których zaobserwowano i przewidziano sprzężenia (str. 69 – informacja w teście, mniej więcej w połowie strony; viii) w



przypadku niektórych zdjęć – tak jak przykładowo w przypadku tych przedstawionych na rys. 7.4. warto byłoby dodać skalę aby móc określić rozmiar obiektów (zamiast ekstrahować je z opisu); ix) w przypadku podsumowania na zakończenie Rozdziału 7 warto byłoby powiedzieć czy zaproponowane rozwiązanie ma zastosowanie w przypadku wszystkich włókien skręconych a może jednak są jakieś jego ograniczenia; x) w przypadku badań opisywanych w Rozdziale 9 warto byłoby wcześniej dodać informację skąd pochodził światłowód mikrostrukturalny – informacja znajduje się dopiero w podsumowaniu Rozdziału; xi) w przypadku badań opisywanych w podrozdziale 8.1 nie znalazłam informacji o długości włókna poddawanej działaniu ciśnienia hydrostatycznego (w innych podrozdziałach długości wykorzystywanych odcinków włókien są też trudne do odnalezienia, jeśli w ogóle podane); xii) może warto zdefiniować co znaczy „stopień skręcenia” – można jedynie domyslać się, że jego wzrost powoduje skrócenie okresu skręcenia; xiii) w podsumowaniu Rozdziału 8 stwierdzono, że możliwymi przyczynami rozbieżności między wynikami obliczeń analitycznych i wynikami pomiarów „mogą być błędy eksperymentalne, związane z pomiarami niewielkich wartości” – czy możliwe jest bardziej dokładne zdiagnozowanie przyczyn rozbieżności? może udałoby się chociażby oszacować niepewności pomiarowe i obliczeniowe?

Recenzowaną pracę należy ocenić, jako bardzo wartościową mając na uwadze, że wyniki zawarte w składających się na nią pięciu publikacjach (stanowiących oryginalne rozwiązanie problemów naukowych) zostały opublikowane w renomowanym czasopiśmie recenzowanym *Optics Express*, przy czym w czerech z nich Pani mgr inż. Marta Weronika Bernaś jest pierwszym autorem, co świadczy o znaczącej roli, jaką pełniła w przeprowadzonych badaniach. Co więcej, **rozprawa doktorska Pani mgr inż. Marty Weroniki Bernaś stanowi niezaprzeczalny wkład Doktorantki w rozwój tematyki** związanej z efektywną generacją wiązek wirowych w układach całkowicie światłowodowych. **Praca zawiera szereg wartościowych i ciekawych wyników** analiz i badań eksperymentalnych dotyczących aspektów ważnych z punktu widzenia współczesnej optyki i fotoniki. Można założyć, że prowadzone przez Dyplomantkę prace będą kontynuowane a uzyskane wyniki znajdą grono potencjalnych odbiorców i z uwagi na wysoki aspekt aplikacyjny prac.

Podsumowując uważam, że recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr inż. Marty Weroniki Bernaś jest dziełem wartościowym a uzyskane wyniki stanowią zauważalny wkład w rozwój współczesnej optyki i fotoniki. Poruszane w rozprawie tematy wpisują się w aktualne trendy badań. Praca zawiera nowe, wartościowe wyniki (łącznie rozważania teoretyczne, aspekty technologiczne i badania eksperymentalne) dotyczące możliwości zastosowań włókien skręconych. Te ostatnie, dzięki swoim właściwościom, znajdują zastosowanie w telekomunikacji (ze względu na mniejszą, w stosunku do włókien standardowych, dyspersję polaryzacyjną), jako czujniki, w laserach światłowodowych dużej mocy. Dodatkowo, otrzymane wyniki mają dużą wartość poznawczą i aplikacyjną z zakresu generacji i wykorzystania wiązek wirowych. Mają tym samym bardzo duży potencjał praktyczny i aplikacyjny. Praca, zawierająca wiele oryginalnych wyników i rozwiązań stanowi niewątpliwie bardzo ważny wkład do aktualnych badań światłowodowych z zakresu praktycznych zastosowań światłowódów.

Stwierdzam jednocześnie, że praca doktorska jak i dorobek naukowy jej Autorki spełniają warunki ustawowe stawiane rozprawom doktorskim, **stąd wnoszę o dopuszczenie Pani mgr inż. Marty Weroniki Bernaś przez Radę Dyscypliny Naukowej Nauki Fizyczne Politechniki Wrocławskiej do dalszych etapów postępowania doktorskiego.**



Dodatkowo, mając na uwadze bardzo aktualną tematykę pracy i jej złożoność (tj. udział Dyplomantki w projektowaniu, wykonaniu, bardzo dokładnej charakteryzacji i optymalizacji badanych struktur światłowodowych), jak również znaczący potencjał aplikacyjny, **wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Marty Weroniki Bernaś**. W szczególności na wyróżnienie zasługują oryginalne prace badawcze skupione na efektywnej generacji wiązek wirowych, jak również na poprawie efektywności wprowadzania/sprzęgania światła do światłowodów o spiralnym rdzeniu. Doktorantka zaprojektowała i wykonała odpowiednie układy, co jest jedynie małym fragmentem, jeśli chodzi o potencjalne zastosowania. Można zatem stwierdzić, że wyniki prac prowadzonych przez Doktorantkę mogą stanowić istotny wkład w rozwój nowych technik telekomunikacyjnych i czujnikowych o dużym potencjale wdrożeniowym.

Katarzyna A. Rutkowska