



# KATEDRA OPTOELEKTRONIKI

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

44-100 Gliwice, ul. Krzywoustego 2,

tel (032) 237-29-02,

Gliwice, 2023.10.12

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Pustelny  
Katedra Optoelektroniki  
Politechnika Śląska  
e-mail: Tadeusz.Pustelny@polsl.pl

## Recenzja pracy doktorskiej

mgr inż. Roberta CYBULSKIEGO pt.:

*"Analiza właściwości nieliniowego przyciągania polaryzacji jako narzędzia do kontroli polaryzacji sygnału w światłowodowych systemach transmisyjnych".*

Praca doktorska została wykonana na Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej w Dziedzinie - Nauk Inżyniersko-Techniczne w Dyscyplinie Naukowej – Informatyka Techniczna i Telekomunikacja.

Promotorem w niniejszym przewodzie doktorskim jest Pan dr hab. inż. Krzysztof Perlicki, prof. Politechniki Warszawskiej.

### 1. Informacje wstępne

Rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Roberta Cybulskiego została opublikowana w formie monografii, wydanej przez Oficynę Wydawniczą Politechniki Warszawskiej.

Wyniki swoich analiz literaturowych, analiz i rozważań o charakterze teoretycznym i projektowym a także badań eksperymentalnych Pan mgr Robert Cybulski zawarł na 127 stronach maszynopisu. Praca zawiera 60 rysunków, wykresów i zdjęć oraz 9 tabel. W rzeczywistości ilość rysunków jest znacznie większa, gdyż często pod jednym numerem znajduje się kilka wykresów (często nawet 8 wykresów). Bogata prezentacja graficzna analizowanych zagadnień oraz uzyskanych wyników jest silną stroną rozprawy i ułatwia analizy prezentowanych w niej treści. Praca zawiera *Wykaz ważniejszych oznaczeń* oraz *Wykaz symboli*, jakich Doktorant używał w rozprawie a również *Spis rysunków* i *Spis tabel*.

Praca zawiera *Listę publikacji autora*, którą stanowią *Publikacje z listy filadelfijskiej* oraz *Pozostałe publikacje*. Autor rozprawy powołuje się w swojej pracy na 99 pozycji literatury, z których korzystał przy jej realizacji. W tej grupie większość prac to artykuły naukowe relatywnie nowe (z okresu ostatnich kilku, kilkunastu lat). W zakresie analiz zjawisk fizycznych opisywanych w rozprawie Doktorant odwołuje się niekiedy do prac starszych (jeszcze z ubiegłego wieku) pionierskich i istotnych dla omawianych zagadnień.

## 2. Cel rozprawy

Praca doktorska Pana mgr inż. Roberta Cybulskiego pt. *"Analiza właściwości nieliniowego przyciągania polaryzacji jako narzędzia do kontroli polaryzacji sygnału w światłowodowych systemach transmisyjnych"* dotyczy zagadnień związanych z zastosowaniem zjawiska polaryzacji promieniowania elektromagnetycznego w zakresie okołowidzialnym w optycznych systemach transmisji informacji. Rozwój infrastruktury sieciowej związany głównie z ciągle rosnącym zapotrzebowaniem na wzrost szybkości przesyłu informacji oraz szeroki dostęp do różnych usług telekomunikacyjnych i multimedialnych powodują konieczność ciągłego wzrostu potencjału transmisyjnego sieci telekomunikacyjnych. O postępie w tym zakresie decyduje także rozwój systemów telekomunikacyjnych z transmisją i detekcją koherentną. Jednym z ważnych elementów poprawnej pracy systemów z transmisją koherentną jest obok zapewnienia poprawnej detekcji, również kontrola polaryzacji informacyjnego sygnału optycznego w systemach transmisyjnych wykorzystujących efekt polaryzacji sygnału świetlnego. Do kontroli i stabilizacji stanu polaryzacji światła w nowoczesnych systemach transmisyjnych można wykorzystać efekty nieliniowe, towarzyszące propagacji światła w światłowodach polaryzacyjnych. Zjawiska nieliniowe w światłowodach obserwuje się jako efekt modyfikacji wartości współczynnika załamania włókna, wywołany odpowiednio wysokim natężeniem koherentnego sygnału optycznego.

Wymuszone rozpraszanie Ramana należy do tej grupy zjawisk nieliniowych w światłowodach, które próbuje się zastosować do wzmocnienia propagującego się w włóknie sygnału optycznego. W zjawisku wymuszonego rozpraszania Ramana nowo wygenerowany foton ma identyczną fazę z padającym fotonem fali wzmacnianej. We wspomnianym oddziaływaniu fali wygenerowanej i fali wzmacnianej można obserwować nieliniowy efekt zmiany polaryzacji fali wzmacnianej pod wpływem fali wzmacniającej o większym natężeniu. Zjawisko to często określa się terminem przyciągania polaryzacji.

Nieliniowe przyciąganie polaryzacji zostało zaobserwowane dla kilku optycznych zjawisk nieliniowych w światłowodach, m.in. w nieliniowym rozpraszaniu Ramana oraz wymuszonym rozpraszaniu Brillouin'a.

W nowoczesnych optycznych systemach transmisyjnych z koherentną propagacją i detekcją światła, zjawisko wymuszonego rozpraszania Ramana można wykorzystać do kontroli i modyfikacji stanu polaryzacji sygnału optycznego. Tematyka oddziaływania nieliniowego koherentnej wiązki sygnału optycznego z falą wymuszającą zmianę polaryzacji jest atrakcyjna w sensie naukowym i poznawczym. Jest atrakcyjna również w sensie utylitarnym. Badaniom w tym zakresie poświęcona jest rozprawa doktorska Pan mgr Roberta Cybulskiego.

Można bez wątpienia uznać, że tematyka podjęta w rozprawie doktorskiej przez mgra Roberta Cybulskiego jest naukowo i technicznie ale także aplikacyjnie atrakcyjna. Ponieważ rozprawa realizowana jest w Dziedzinie Nauk Inżynieryjno-Technicznych ważnym również jest jej użytkowy charakter.

### **3. Teza i cele rozprawy doktorskiej**

Doktorant sformułował następującą tezę swojej rozprawy doktorskiej (cytat z rozprawy):  
*„możliwe jest wykorzystanie wymuszonego rozpraszania Ramana we włóknie światłowodowym do uzyskania kontroli polaryzacji i wzmocnienia sygnału optycznego w systemie transmisji optycznej”.*

Dla weryfikacji niniejszej tezy Doktorant sformułował trzy cele (cytat z rozprawy):

- *określenie właściwości zależności efektywności zjawiska czysto optycznego przyciągania polaryzacji i wzmocnienia fali optycznej przy pomocy spolaryzowanej fali pompującej we włóknie światłowodowym od mocy fali pompującej oraz stopnia nieliniowości i długości światłowodu;*
- *określenie właściwości zależności efektywności zjawiska nieliniowego przyciągania polaryzacji od efektu wyczerpania fali pompującej oraz wzmocnienia zależnego od polaryzacji;*
- *potwierdzenie możliwości wykorzystania nieliniowego przyciągania polaryzacji do dostosowania polaryzacji sygnału użytkowego na wejściu odbiornika w systemie transmisyjnym z detekcją koherentną;*

Uważam, że sformułowana przez Doktoranta teza rozprawy oraz cele rozprawy postawione są jasno, poprawnie i precyzyjnie.

#### 4. Zawartość rozprawy doktorskiej

W rozprawie doktorskiej Pana mgra Roberta Cybulskiego można wyróżnić dwie zasadnicze części, na które składa się 8 rozdziałów pracy.

Pierwszą część (strony: 13- 74) stanowią 4 pierwsze rozdziały rozprawy.

Tę część rozprawy stanowią rozdziały: *1 Wstęp i cel pracy*, *2 Systemy transmisyjne z detekcją koherentną*, *3 Zjawisko nieliniowego przyciągania polaryzacji we włóknie światłowodowym*, *4 Teoretyczna weryfikacja nieliniowego przyciągania polaryzacji z wykorzystaniem wymuszonego rozpraszania Ramana*.

W tej części rozprawy mgr Cybulski przedstawia teoretyczną analizę właściwości procesu przyciągania polaryzacji w rezultacie oddziaływań nieliniowych pomiędzy koherentnymi wiązkami optycznymi, propagującymi się we włóknie światłowodowym. Doktorant omawia istotę tego zjawiska oraz dyskutuje możliwości jego uzyskania z wykorzystaniem różnych oddziaływań nieliniowych. Dalej (w rozdziale 4) Doktorant przedstawia analizę zjawiska rozpraszania Ramana w ośrodku geometrycznie ograniczonym. Przedstawia bogate wyniki własnych analiz numerycznych.

Na drugą część (strony: 75-121) składają się rozdziały 5, 6, 7 oraz 8. Tę część rozprawy stanowią rozdziały: *4 Eksperymentalna weryfikacja procesu przyciągania polaryzacji dla sygnału o długości fali 1552 nm w warunkach laboratoryjnych*, *6 Weryfikacja procesu przyciągania polaryzacji przy zmianie długości fali wzmacnianej*, *7 Zastosowanie atraktora polaryzacji do kontroli stanu polaryzacji i detekcji sygnału 16-QAM*, *8 Podsumowanie wraz z Listą publikacji Autora oraz nienumerowana część Bibliografia*.

Część druga rozprawy zawiera wyniki eksperymentów nieliniowego przyciągania polaryzacji, wykorzystującego wymuszone rozpraszanie Ramana. Dalej (w rozdziale 6) Doktorant prezentuje rezultaty własnych badań eksperymentalnych w celu określenia właściwości procesu przyciągania polaryzacji i wzmacniania koherentnego sygnału optycznego w szerokim zakresie zmian długości fali wzmacnianej, dla wybranej konfiguracji parametrów, które zostały wybrane w rezultacie wcześniejszych badań (zaprezentowanych w rozdziale 5). W rozdziale 7 zaprezentowany został układ z zastosowaniem atraktora polaryzacji dla kontroli polaryzacji i wzmocnienia sygnału użytecznego z modulacją 16-QAM (*QAM – modulacja kwadraturowa*) w układzie z detekcją koherentną. *Rozdział 8* zawiera *Podsumowanie* realizacji rozprawy doktorskiej, przeprowadzone w sposób staranny i kompetentny. Tworzy go także wykaz publikacji własnych Doktoranta oraz Jego wystąpień konferencyjnych. Rozprawę kończy *Bibliografia*, którą stanowią 99 pozycje naukowe (artykuły) z tematyki podejmowanej w rozprawie. Wykaz literatury świadczy o dobrej

znajomości materiału naukowego, i metrologicznego dotyczącego analizowanych w rozprawie zagadnień. Choć dziwi fakt, że Doktorant tylko raz dowołuje się do własnej pracy (z współautorstwem Promotora) i raz odwołuje się do pracy opublikowanej przez Promotora.

## 5. Ocena rozprawy doktorskiej

W tym miejscu pragnę raz jeszcze podkreślić, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Roberta Cybulskiego jest ukierunkowana zarówno na rozwiązanie problemów naukowo-technicznych jak również, że ma ona istotny charakter użyteczny.

W opinii Recenzenta w niniejszym przewodzie doktorskim, jako własny wkład Doktoranta w rozwój badań i analiz efektów towarzyszących propagacji koherentnego sygnału optycznego we włóknie światłowodowym może uznać:

- analizę i charakteryzację zjawiska nieliniowego przyciągania polaryzacji a także wzmocnienia w szerokim zakresie długości światłowodu oraz wejściowej mocy fali pompującej i jej wejściowego stanu polaryzacji;

- uwzględnienie wpływu zjawiska wyczerpania się wrażliwości fali wzmacnianej na przyciąganie polaryzacji wywołanej falą pompującą, powyżej pewnych jej wartości natężenia;

- dokonanie oceny właściwości nieliniowego przyciągania polaryzacji w warunkach laboratoryjnych;

- przeprowadzenie teoretycznej analizy możliwości zastosowania atraktora polaryzacji do kontroli stanu polaryzacji koherentnego sygnału optycznego na wejściu odbiornika sygnału w systemie z modulacją kwadraturową;

- wykazanie, że zastosowanie atraktora polaryzacji na wejściu odbiornika koherentnego umożliwia usunięcie z toru światłowodowego wzmacniaczy optycznych, co upraszcza konstrukcję odbiornika oraz redukuje złożoność obliczeniową operacji wykonywanych przez procesor sygnałowy;

Należy podkreślić, że dla wykazania tezy rozprawy oraz osiągnięcia postawionych celów Doktorant zaproponował w kilku przypadkach oryginalne, własne rozwiązania.

Czytając rozprawę ma się pozytywne wrażenie, że Doktorant posiada wartościowe kompetencje i wiedzę w zakresie metrologii optoelektronicznej oraz informatyki technicznej i telekomunikacji.

Można uznać, że postawione w *Rozdziale 1 cele pracy* zostały, w wyniku jej realizacji przez Doktoranta osiągnięte.

Jako Recenzent pracy doktorskiej Pana mgra inż. Roberta Cybulskiego uważam, że niniejsza rozprawa prezentuje wartościowy poziom naukowy w *Dyscyplinie – Informatyka Techniczna i Telekomunikacja*. Jak już wcześniej podkreślałem, ważnym jest, że rozprawa, obok wartości naukowej i technicznej oraz technologicznej, posiada także istotną wartość praktyczną.

## 6. Uwagi krytyczne

Z obowiązku Recenzenta pragnę zgłosić swoje uwagi i zastrzeżenia.

Praca doktorska mgra inż. Roberta Cybulskiego napisana jest w sposób przemyślany. Układ pracy jest starannie dobrany. Usterki edycyjne a także tzw. literówki w pracy zdarzają się relatywnie rzadko. Autor na początku pracy zamieścił *Wykaz ważniejszych oznaczeń* oraz *Wykaz symboli*, których używa w pracy. Ułatwia to lekturę pracy i analizę zawartych w niej treści. Doktorant przy redakcji pracy nie ustrzegł się stosowania skrótów myślowych oraz określeń nieprecyzyjnych

Doktorant na samym początku maszynopisu rozprawy składa „*Serdeczne podziękowania dla Krzysztofa Perlickiego za zwierzchnictwo i cierpliwość*”. Jest to dziwne podziękowanie kierowane do promotora rozprawy.

Proszę Doktoranta, aby w trakcie publicznej obrony przedstawił szczegółowo z kim współpracował i w jakim zakresie. Problem współpracy zawsze był dla mnie problemem istotnym. I to dlatego, że wartościowe prace naukowe z zakresu badań eksperymentalnych muszą wiązać się ze współpracą. Z reguły wykonywane są w zespołach badawczych. I nie ma w mojej opinii, w tym nic nagannego. Współpraca naukowa zawsze jest wartością – jest również wartością w przypadku realizacji rozprawy doktorskiej. Naganne może być w działalności naukowej unikanie informacji o współpracy, która ma charakter naukowy. W niniejszej rozprawie Doktorant nic nie mówi z kim współpracował i w jakim zakresie. Jest to dodatkowo dziwne przez fakt, że wszystkie Jego prace naukowe są pracami współautorskimi. W aspekcie Jego współpracy przy realizacji pracy, mam do Doktoranta następujące pytania:

- Czy analizy numeryczne, których wyniki zamieszczone są w rozprawie zostały wykonane osobiście przez Doktoranta? W oparciu o jaki system numeryczny prowadził własne badania analizowanych w rozprawie struktur?

- Czy eksperymentalne stanowisko badawcze (przedstawione w rozprawie) jest stanowiskiem istniejącym w Jednostce? Czy Doktorant uczestniczył w zestawieniu tego stanowiska?

W rozprawie, w analizach naukowych dotyczących konstrukcji wzmacniaczy optycznych Doktorant wykorzystuje zjawisko wymuszonego rozpraszania Ramana. Analizuje także możliwość wykorzystania zjawiska wymuszonego rozpraszania Brillouin'a. Pan mgr Cybulski w swojej pracy o fizycznej naturze tych zjawisk pisze oszczędnie. Proszę aby w trakcie publicznej obrony zjawiska te krótko wyjaśnił i omówił.

Powyższe uwagi nie mają wpływu, na moją pozytywną opinię o recenzowanej rozprawie doktorskiej Pana mgr. inż. Roberta Cybulskiego.

Pan mgr inż. Robert Cybulski jest współautorem 3 prac, wydanych w czasopiśmie naukowych indeksowanych w bazach o zasięgu światowym (opublikowanych w: *Optical Quantum Electronics* oraz *Journal of Lightwave Technology*). Jest również współautorem 6 prac opublikowanych w wydawnictwach spoza Listy A Ministerstwa Edukacji i Nauki. W swoim dorobku wymienia udział w 4 konferencjach IEEE-SPIE w Wildze. Uczestniczył w 3 projektach badawczych.

Jeśli uwzględni się, że Pan Robert Cybulski stara się o stopień doktora nauk technicznych (a w pracach brał udział jako jeszcze magister) to można uznać, że jest to dorobek zasługujący na zauważenie.

### **Konkluzja końcowa**

Jako recenzent, pragnę wyraźnie podkreślić, że pozytywnie oceniam poziom naukowy rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Roberta Cybulskiego.

Praca doktorska zawiera oryginalne wyniki analiz i badań naukowych i technicznych, o ważnym utylitarnym znaczeniu. Cele rozprawy zostały osiągnięte.

Biorąc pod uwagę moją, jako Recenzenta, pozytywną ocenę rozprawy doktorskiej mgra inż. Roberta Cybulskiego pt.:

***"Analiza właściwości nieliniowego przyciągania polaryzacji jako narzędzia do kontroli polaryzacji sygnału w światłowodowych systemach transmisyjnych "***

**uważam, że**

w świetle obowiązującej *Ustawy - Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z 20.07.2018r*  
(a także w świetle aktów wcześniejszych, w tym: „*Ustawą o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki*”, z dnia 14 marca 2003 roku wraz z *Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 22 września 2011 roku. oraz Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018)*)

**recenzowana rozprawa spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim w Dyscyplinie - Informatyka Techniczna i Telekomunikacja, w Dziedzinie – Nauki Inżynieryjno-Techniczne.**

Pozytywna ocena pracy doktorskiej stanowi, w mojej opinii podstawę do ubiegania się mgra inż. Roberta Cybulskiego o stopień doktora nauk technicznych w Dyscyplinie - Informatyka Techniczna i Telekomunikacja.

Wnoszę do Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie mgra inż. Roberta Cybulskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Z wyrazami szacunku



Gliwice, 2023.10.12