



Wojskowa
Akademia
Techniczna

Instytut
Optoelektroniki



DZIEKANAT WYDZIAŁU FIZYKI
WPŁYNĘŁO

2019 -06- 1 1 *W. Biał.*

dr hab. inż. Jacek Świdorski, prof. WAT
Instytut Optoelektroniki
Wojskowa Akademia Techniczna

Warszawa, dn. 07.06.2019 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Pana mgr. inż. Jana Szczepanka

pt. „Wytwarzanie i dynamika ultrakrótkich impulsów w laserach światłowodowych
z normalną dyspersją”

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Jana Szczepanka pt. „Wytwarzanie i dynamika ultrakrótkich impulsów w laserach światłowodowych z normalną dyspersją” przygotowana pod kierownictwem naukowym dr. hab. Yuriya Stepanenko jako promotora. Recenzja została napisana na prośbę Dziekana Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego – pana prof. dr. hab. Dariusza Wasika, w związku z przewodem doktorskim przeprowadzanym na tym wydziale.

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska dotyczy generacji impulsów optycznych o femtosekundowym czasie trwania w światłowodowych laserach iterbowych z całkowicie normalną dyspersją, w których zastosowano, jako szybkie modulatory strat rezonatora, wybrane sztuczne wysycalne absorbery. W szczególności zastosowanie całkowicie światłowodowej konstrukcji oscylatora pozwala zminimalizować wpływ czynników atmosferycznych, takich jak kurz, wahania temperatury i wilgotności oraz drgania mechaniczne. Cechy te w połączeniu z dużym wzmocnieniem ośrodka aktywnego lasera, możliwością generacji wiązki optycznej o bardzo dobrej jakości oraz efektywnym odprowadzaniem ciepła generowanego w rdzeniu domieszkowanym jonami pierwiastków ziem rzadkich sprawiają, że układy te znajdują wiele istotnych zastosowań, począwszy od badań podstawowych i stosowanych, poprzez prace rozwojowe, a skończywszy na aplikacjach w przemyśle i medycynie. Lasery światłowodowe są jedną z najbardziej dynamicznie rozwijających się grup laserów ciała stałego w ostatnich dwóch dekadach. Jednym z wyzwań tej technologii jest m.in. opracowanie konstrukcji pozwalającej na uzyskanie stabilnego ciągu impulsów o krótkim czasie trwania i możliwie dużej energii. Stąd też nie dziwi fakt, że badania nad tymi układami prowadzone są w czołowych ośrodkach naukowych na całym świecie. Dysertacja Pana mgr. inż. Jana Szczepanka dotyczy zatem istotnego z punktu widzenia naukowego praktycznego obszaru badań w zakresie techniki laserowej.

Rozprawa doktorska ma charakter eksperymentalny z mocno zaakcentowaną analizą podstawowych zjawisk fizycznych występujących przy generacji krótkich impulsów optycznych w oscylatorach światłowodowych oraz z modelowaniem i optymalizacją numeryczną konstruowanych i badanych układów laserowych. Za główny cel pracy Autor przyjął: (1) opracowanie i badanie właściwości sztucznych nasycalnych absorberów bazujących na światłowodach utrzymujących stan polaryzacji, (2) budowę i charakteryzację wybranych konstrukcji impulsowych oscylatorów światłowodowych

oraz (3) analizę teoretyczną i eksperymentalną dynamiki propagacji i parametrów impulsów w opracowanych źródłach ze szczególnym uwzględnieniem wpływu zastosowanej filtracji spektralnej na zmiany parametrów impulsu. Rozprawa napisana jest w języku polskim i ma 222 strony. Rozpoczyna ją streszczenie w języku polskim i angielskim, podziękowanie, spis treści oraz wykaz najważniejszych oznaczeń i akronimów. Następnie zamieszczone jest wprowadzenie przedstawiające m.in. motywację, cel i tezy pracy, po czym następują rozdziały od 2 do 4 zawierające podstawy teoretyczne oraz rozdziały prezentujące oryginalne wyniki prac nad podejmowanymi zagadnieniami (obszerne rozdziały 5 i 6). Podsumowanie wyników prowadzonych prac stanowi rozdział 7. Ponadto Autor zamieścił materiały dodatkowe istotne z punktu widzenia podejmowanych zagadnień. Pracę kończy bogata bibliografia.

Pierwszy rozdział zatytułowany „Wstęp” jest krótkim przewodnikiem prezentującym układ pracy, artykuły naukowe oraz doniesienia pokonferencyjne, których wyniki zostały w niej wykorzystane, a także pozostałe artykuły i zgłoszenia patentowe współautorstwa Pana mgr. inż. Jana Szczepanka. Autor przedstawia tu również aktualny stan wiedzy dotyczącej laserów światłowodowych, uzasadniając potrzebę podjętych badań, i na tym tle formułuje następujące tezy dysertacji:

- 1.1. Możliwe jest wykorzystanie nieliniowego optycznego lustra pętlowego (ang. NOLM – *Nonlinear Optical Loop Mirror*) jako sztucznego nasycalnego absorbera w całkowicie światłowodowych laserach zbudowanych ze światłowodów PM pracujących w obszarze normalnej dyspersji wykorzystywanych światłowodów. Wykonanie konstrukcji ze światłowodów typu PM umożliwi realizację źródeł promieniowania o zwiększonej odporności na wstrząsy i zmiany temperatury w środowisku zewnętrznym, przy zachowaniu ich możliwie prostej konstrukcji.
- 1.2. Funkcja opisująca transmisję filtra spektralnego wykorzystywanego we wnętrzu oscylatora światłowodowego z wyłącznie normalną dyspersją istotnie wpływa na rozkład natężenia w widmie i profilu czasowym impulsów.
- 1.3. Proces wymuszonego rozpraszania Ramana (ang. SRS – *Stimulated Raman Scattering*) podczas propagacji impulsu laserowego w obszarze normalnej dyspersji powoduje zaburzenia w widmie i rozkładzie natężenia impulsu w czasie.
2. Możliwe jest opracowanie sztucznego nasycalnego absorbera dla ultrakrótkich impulsów o szerokim widmie, bazującego na zjawisku nieliniowej ewolucji polaryzacji (ang. NPE – *Nonlinear Polarization Evolution*), wykorzystując wyłącznie włókno dwójłomne określone jako utrzymujące polaryzację – typu PM oraz element polaryzacyjny.

Tak postawione przez Doktoranta tezy oceniam jako bardzo ambitne. Sama realizacja badań prowadzących do zbudowania laserów światłowodowych o zdefiniowanej konstrukcji wymagała od Niego opanowania gruntownej wiedzy teoretycznej, umiejętności modelowania zjawisk fizycznych pozwalających na wstępną optymalizację konstrukcji badanych laserów oraz, zważywszy na szeroki zakres wyżej zdefiniowanych zagadnień, dużego nakładu pracy laboratoryjnej.

Rozdział 2 poświęcony jest zagadnieniom propagacji fali elektromagnetycznej w światłowodzie włóknistym z uwzględnieniem zarówno zjawisk liniowych, jak i nieliniowych wpływających na parametry impulsu optycznego propagującego się w takim ośrodku. Zaprezentowany został również model numeryczny propagacji ultrakrótkiego impulsu laserowego w światłowodzie, opracowany poprzez rozwiązanie uogólnionego równania Schrödingera metodą nieliniowego dzielonego kroku z transformatą Fouriera. Podane zostały założenia modelu oraz jego ograniczenia.

Rozdział 3 stanowi m.in. opis najczęściej stosowanych technik generacji ultrakrótkich impulsów optycznych w całkowicie światłowodowych wnękach laserowych oraz prezentację różnych trybów

pracy lasera determinujących dynamikę propagacji impulsu we wnęce optycznej. Główny nacisk położony został na lasery z całkowicie normalną dyspersją pracujące w trybie solitonów dyssypujących. Wybór ten uważam za w pełni zasadny, gdyż ten tryb pracy umożliwia osiągnięcie ultrakrótkich impulsów o dużej energii, co stanowi jedno z głównych wyzwań badań nad przedmiotowymi laserami. Tu również Autor wprowadza bardzo przydatne pojęcie współczynnika R zdefiniowanego jako iloraz natężenia szczytowego zmierzonego impulsu do natężenia impulsu fourierowsko ograniczonego (dla zadanego widma) i określającego ilościowo jakość impulsu laserowego po kompresji.

W rozdziale 4 Autor opisał wysycalne absorbery z rozróżnieniem na rzeczywiste (oparte na właściwościach absorpcyjnych materiału) oraz sztuczne, które stanowią układy optyczne cechujące się nieliniowo zmienną transmisją zależną od natężenia padającego promieniowania – w wyniku oddziaływania zjawisk nieliniowych (układy te nie wykazują zjawiska wysycenia absorpcji materiału). Zasadnicza uwaga skupiona została na omówieniu zasady działania nieliniowego optycznego zwierciadła pętlowego (NOLM) oraz techniki nieliniowej ewolucji polaryzacji (NPE), co zdeterminowane zostało przez postawione tezy rozprawy. Zaletą omawianych tu sztucznych nasycalnych absorberów jest możliwość ich relatywnie prostej realizacji przy użyciu komercyjnie dostępnych światłowodów jednomodowych utrzymujących stan polaryzacji (światłowodów PM) propagującego się w nich promieniowania.

Powyższe trzy rozdziały stanowią obszerny i zarazem bardzo dobry materiał dydaktyczny, który wprowadza czytelnika w podstawowe pojęcia i zjawiska techniki laserowej. Ta część rozprawy może służyć obecnym i przyszłym studentom do nauki podstaw nt. laserów światłowodowych z synchronizacją modów. Warto tutaj podkreślić, że Autor bardzo umiejętnie odniósł się do informacji zamieszczonych w tych rozdziałach przy omawianiu układów eksperymentalnych. Czytając dysertację, byłem pod bardzo dużym wrażeniem spójności podejmowanych wywodów i płynności w odwoływaniu się do prezentowanych zagadnień teoretycznych.

Kolejne dwa rozdziały zawierają oryginalne wyniki Doktoranta dotyczące opracowanych całkowicie światłowodowych laserów z normalną dyspersją. Każdy z nich zawiera niezbędne wprowadzenie, prezentację uzyskanych wyników oraz podsumowanie najważniejszych osiągnięć.

W rozdziale 5 Autor prezentuje wyniki badań kilku konfiguracji oscylatorów laserowych z nieliniowym optycznym zwierciadłem pętlowym (NOLM) jako sztucznym nasycalnym absorberem, generujących promieniowanie o długości fali ok. 1030 nm. Główny nacisk w tych badaniach położony został na osiągnięcie impulsu o możliwie najszerszym widmie i najkrótszym czasie trwania po kompresji oraz jak najlepszej jakości impulsu (najwyższej wartości współczynnika R) poprzez optymalizację nieliniowej pętli NOLM oraz odpowiedni dobór parametrów krzywej transmisji filtra spektralnego zastosowanego w rezonatorze lasera. Do budowy laserów użyto wyłącznie światłowodów aktywnych i pasywnych utrzymujących stan polaryzacji promieniowania. Badania laboratoryjne zostały uzupełnione o stosowne symulacje numeryczne pozwalające na analizę zmian parametrów impulsów podczas propagacji. Autor opracował i zoptymalizował m.in. całkowicie światłowodowy laser iterbowy generujący ciąg impulsów liniowo spolaryzowanych o energii 1,96 nJ oraz czasie trwania po kompresji 162 fs, przy częstotliwości repetycji 19,46 MHz. Walory konstrukcyjne (dużą stabilność i powtarzalność parametrów generowanego promieniowania) opracowanych układów potwierdzono przeprowadzając testy ich odporności na wstrząsy i zmiany temperatury. Istotnym zagadnieniem podjętym przez Autora były również badania wpływu wymuszonego rozpraszania Ramana (SRS) na stabilność pracy lasera i parametry generowanej wiązki wyjściowej. W tym też celu Autor dokonał pomiaru średniej wartości fazy spektralnej i widma

impulsów, jak również zmiany w profilu czasowym impulsów następujące wraz ze wzrostem mocy promieniowania pompującego światłowód aktywny. W swych badaniach zastosował znaną technikę dyspersyjnej transformaty Fouriera pozwalającej na rejestrację i porównanie widm ciągu następujących po sobie impulsów. Ponadto wykorzystując mapy korelacji dla poszczególnych składowych widma impulsu Autor sprawdził eksperymentalnie jak składowe widma wygenerowane w procesie SRS destabilizują początkowo stabilny impuls laserowy. W podjętej analizie dowiódł, że SRS silnie wpływa tylko na części widma o długościach fal dłuższych niż centralna długość fali widma impulsu. Moim zdaniem najciekawszą częścią tego rozdziału są badania nad wpływem parametrów filtra transmisyjnego (funkcji opisującej jego transmisję) na profil czasowy natężenia impulsu propagującego się w laserze światłowodowym z wyłącznie normalną dyspersją. Doktorant wykazał, że zastosowanie filtra spektralnego o stromych krawędziach charakterystyki transmisyjnej prowadzi do silnych modulacji w świergocie impulsu i w konsekwencji modulacji w widmie i rozkładzie natężenia impulsu. Ponadto wykazał, że zastosowanie odpowiedniej filtracji spektralnej pozwala na uzyskanie impulsów o wyższym współczynniku jakości R . Przeprowadzając symulacje numeryczne dowodzi, że kształt krzywej filtracji spektralnej istotnie wpływa na dynamikę propagacji impulsu oraz jakość impulsu po kompresji. Wykonując liczne symulacje komputerowe wskazuje, że zmiana filtracji spektralnej z funkcji Gaussa siódmego rzędu na niższy powinna skutkować uzyskaniem impulsu o lepszej jakości. To stwierdzenie weryfikuje eksperymentalnie, stosując w układzie lasera filtr spektralny o charakterystyce transmisyjnej opisanej funkcją Gaussa 2. rzędu i dla tego przypadku odnotował bardzo wysoką wartość współczynnika $R = 0,95$, potwierdzającą tym samym skuteczną kompresję uzyskanego eksperymentalnie impulsu laserowego w zastosowanym kompresorze siatkowym. Warto tutaj nadmienić, że wszystkie prezentowane w rozprawie konstrukcje oscylatorów światłowodowych pozwalały na generację impulsów optycznych o czasie trwania (po kompresji) poniżej 230 fs i energii powyżej 1,7 nJ.

Rozdział 6 zawiera wyniki analiz numerycznych oraz badań eksperymentalnych nad opracowaniem nowatorskiej konstrukcji sztucznego nasycalnego absorbera wykorzystującego zjawisko nieliniowej ewolucji polaryzacji w światłowodach utrzymujących stan polaryzacji (PM NPE). Nowością jest tutaj użycie tylko światłowodów dwójłomnych, co odróżnia to rozwiązanie od innych podobnych nasycalnych absorberów bazujących na standardowych światłowodach i kontrolerach polaryzacji wprowadzających indukowaną dwójłomność. Autor bardzo dokładnie przedstawił charakterystyczne właściwości opracowanego sztucznego absorbera, uprzednio budując układ eksperymentalny do pomiaru nasycalnej absorpcji. Podkreśla tu również istotę segmentacji odcinków światłowodu, w których zachodzi nieliniowa propagacja promieniowania. Udowadnia, że zastosowanie wielu odcinków światłowodu o nierównej długości pozwala na uzyskanie impulsów o szerokim widmie (powyżej 10 nm) oraz czasie trwania poniżej 240 fs (po kompresji). W układzie całkowicie światłowodowego oscylatora wykorzystującego liniową konfigurację sztucznego nieliniowego absorbera PM NPE uzyskał impulsy o czasie trwania po kompresji 150 fs przy widmie o centralnej długości fali ok. 1030 nm i szerokości FWHM powyżej 22 nm. Warto tu podkreślić, że był to pierwszy na świecie oscylator tego typu. Kontynuując prace eksperymentalne, Autor zbudował laser światłowodowy z opracowanym autorskim sztucznym nasycalnym absorberem w konfiguracji odbiciowej z przesuwnikiem fazy wykorzystującym w swej konstrukcji rotator Faradaya. Pozwoliło to na eliminację problemu precyzyjnego dopasowania długości światłowodów (w porównaniu do konfiguracji liniowej) oraz obniżenie wartości natężenia szczytowego, przy którym występuje maximum transmisji nasycalnego absorbera. Uzyskany czas trwania impulsu oraz szerokość połówkowa widma wynosiły odpowiednio 240 fs oraz 13 nm. Laser ten w swej konstrukcji zawierał elementy optyki objętościowej, co zmniejszało jego wrażliwość na czynniki zewnętrzne. Nie jest to

jednak problem zasadniczy od strony konstrukcyjnej, gdyż obecny poziom technologii wykonywania komponentów światłowodowych pozwala na zastąpienie elementów optyki objętościowej ich „światłowodowymi odpowiednikami”. Niemniej jednak opracowany laser w warunkach laboratoryjnych pracował bardzo stabilnie, co zostało potwierdzone długoterminowym pomiarem mocy promieniowania wyjściowego wskazującym na maksymalne zmiany sygnału nieprzekraczające 3%. Podsumowując ten rozdział, Autor w wyniku przeprowadzonych eksperymentów, popartych symulacjami numerycznymi, udowodnił, że jest możliwa realizacja oscylatora światłowodowego zbudowanego ze światłowodów i komponentów światłowodowych utrzymujących stan polaryzacji wykorzystującego sztuczny nasycalny absorber PM NEP, generującego impulsy o femtosekundowym czasie trwania.

Rozdział 5 i 6 ilustrują wielki nakład pracy Doktoranta oraz Jego wysiłki, by uwzględnić wszystkie czynniki mogące mieć wpływ na końcowy wynik prowadzonych prac badawczych. Należy w szczególności podkreślić fakt, że najważniejsze wyniki prowadzonych badań zostały opublikowane na łamach prestiżowych czasopism z bazy Optical Society of America (J. Szczepanek i inni, *Simple all-PM-fiber laser mode-locked with a nonlinear loop mirror*, Optics Letters 40, 3500, 2015; J. Szczepanek i inni, *Ultrafast laser mode-locked using nonlinear polarization evolution in polarization maintaining fibers*, Optics Letters 42, 575, 2017; J. Szczepanek i inni, *Nonlinear polarization evolution of ultrashort pulses in polarization maintaining fibers*, Optics Express 26, 13590, 2018) i na dzień wykonania niniejszej recenzji odnotowały 67 cytowań (wg bazy Scopus). Są to wyniki imponujące, zwłaszcza biorąc pod uwagę relatywnie krótki czas od momentu publikacji tych wyników. Świadczy to bezpośrednio o dużej wadze prezentowanych osiągnięć oraz istotnie zauważalnym zainteresowaniu środowiska naukowego wynikami badań prowadzonych przez Doktoranta. Nawet biorąc pod uwagę, że za część tych sukcesów odpowiada poziom zespołu, w którym Doktorant pracuje, osiągnięcie to zasługuje na wyróżnienie.

W rozdziale 7 podsumowane zostały prowadzone prace z wyszczególnieniem najważniejszych osiągnięć. Nakreślone tu zostały perspektywy i plany na przyszłość.

Rozdział 8 stanowią materiały dodatkowe, na które składa się opis kompresora siatkowego używanego w pomiarach, charakterystyka aparatury typu SPIDER przeznaczonej do pomiaru fazy spektralnej ultrakrótkich impulsów laserowych oraz opis macierzy Jonesa dla przesuwników fazy wykorzystujących rotator Faradaya.

Rozprawę kończy bogata bibliografia licząca 227 pozycji literaturowych, z czego zdecydowaną większość stanowią pozycje anglojęzyczne. Dobór pozycji literatury jest właściwy i obejmuje wszystkie najważniejsze aspekty pracy, wskazując na bardzo dobrą znajomość podstaw teoretycznych i praktycznych badanych w rozprawie zagadnień. Autor cytuje również 9 swoich prac (współautorskich) opublikowanych w renomowanych czasopismach oraz materiałach pokonferencyjnych.

Po zapoznaniu się z recenzowaną rozprawą stwierdzam, że Doktorant dysponuje rozległą wiedzą na temat laserów światłowodowych z synchronizacją modów oraz technik pomiaru parametrów impulsów o femtosekundowym czasie trwania. Zdobyta wiedza pozwoliła Mu na przeprowadzenie stosownych analiz numerycznych, zaprojektowanie i wykonanie demonstratorów o bardzo dobrych parametrach użytkowych. Analiza uzyskanych w pracy wyników jest wyczerpująca, a wyciągane wnioski są poparte rozsądną argumentacją i nie budzą moich zastrzeżeń. Wszystkie tezy rozprawy zostały przekonująco udowodnione. Oryginalność naukowa i nowatorstwo pracy nie podlegają dyskusji. Uzyskane w trakcie jej realizacji wyniki zostały opublikowane na łamach renomowanych

czasopism z listy JCR oraz w materiałach pokonferencyjnych uznanych konferencji z zakresu optyki, fotoniki i techniki laserowej, a tym samym zweryfikowane w procesie recenzji przez międzynarodowe środowisko naukowe. Obrazuje to bardzo wysoką jakość naukową przedłożonej rozprawy doktorskiej. O kluczowej roli, jaką Pan mgr inż. Jan Szczepanek odegrał przy ich powstaniu, świadczy fakt, że jest pierwszym autorem tych publikacji.

Praca jako całość, pomimo swojej znacznej objętości, ma spójną i przejrzystą konstrukcję. Przygotowana została bardzo starannie, wyniki symulacji numerycznych oraz pomiarów opracowane zostały w postaci dobrze opisanych, czytelnych wykresów i tabel. Założenia pracy, wykorzystane metody badawcze i sposoby analizy otrzymanych wyników zostały wybrane, opisane i wykorzystane w pełni poprawnie. Uważam, że praca świadczy dobitnie o tym, że Doktorant opanował w stopniu bardzo dobrym podstawy teoretyczne swojej dyscypliny oraz warsztat eksperymentalny techniki laserowej.

Błędów merytorycznych w recenzowanej rozprawie nie znalazłem. Pod kątem edycyjnym praca została przygotowana z bardzo dużą starannością. Znalazło się w niej kilka literówek oraz pomyłek lub potocznych sformułowań, na które, niejako z obowiązku recenzenta, zwracam uwagę poniżej:

- str. 5 (linie 11-12): „...światłowód utrzymujący polaryzację...”; bardziej trafnym stwierdzeniem jest „...światłowód utrzymujący stan polaryzacji...”,
- str. 27 (linie 21-22): „...efektywność sprzężenie światła do włókna”; bardziej trafnym stwierdzeniem jest „...efektywność wprowadzenia promieniowania do włókna”,
- str. 28 (linia 21): „...przy założeniu ze...”; powinno być: „...przy założeniu, że...”,
- str. 28 (linia 25): „...LP_{x01} o LP_{y01}”; powinno być „...LP_{x01} i LP_{y01}”,
- str. 34 (linia 11): „...np. z prętami stresującymi”; bardziej trafnym stwierdzeniem jest „...np. z prętami wprowadzającymi naprężenia”,
- str. 36 (linia 9): „...włókna zrobione ze szkieleł”; bardziej trafnym stwierdzeniem jest „...włókna wykonane ze szkieleł”,
- str. 45 (wzór 2.36): we wzorze zamiast L (długość) powinno być L_{eff} (efektywna długość światłowodu, L_{eff} = (1-e^{-αL})/α, gdzie α to tłumienność jednostkowa światłowodu),
- str. 46 (linia 17): „Propagacji w dyspersyjnym ośrodku...”; powinno być „Propagacja w dyspersyjnym ośrodku ...”,
- str. 48 (linia 16): „...procesy wpływające dynamikę impulsu”; powinno być „...procesy wpływające na dynamikę impulsu”,
- str. 52 (wzór 2.38): błędnie podano te same oznaczenia (σ₂₁) dla przekroju czynnego na absorpcję i emisję,
- str. 79 (linia 3): błędnie podano wzór chemiczny tellurku antymonu – jest „Sb₂O₃”, a powinno być „Sb₂Te₃”,
- str. 80 (3 linia pod rys. 4.4): „...wykorzystują techniką spójnego dodawania...”; powinno być „...wykorzystują technikę spójnego dodawania”,
- str. 84 (linia 20): „Poważna wadą sztucznych NA jest...”; powinno być „Poważną wadą sztucznych NA jest...”,
- str. 102 (rys. 5.5b) – na osi rzędnych powinno być „faza spektralna” zamiast „znorm. intensywność”,
- str. 105 (linia 12): „...pomiaru dla lasera o pracującego...”; powinno być „...pomiaru dla lasera pracującego...”,
- str. 118 (linia 9): „Wykresy (c) i (d) prezentują...”; powinno być „Wykresy (c) i (f) prezentują...”,
- str. 132 (linia 5): „Maksymalna użyteczna moc średnia...”; powinno być „Maksymalna wyjściowa moc średnia...”,

- str. 134 (rys. 5.35b): na osi rzędnych powinno być „faza spektralna” zamiast „znorm. intensywność”,
- str. 171 (legenda do rys. 6.14, linia 4): „Wykres po prawej prezentuje....”; powinno być „Wykres po lewej prezentuje....”,
- str. 207 (linia 12): „...układów składających się z...”; powinno być „...układów składających się z...”

Oczywiście w tak obszernym opracowaniu liczącym 222 strony nie sposób ustrzec się drobnych błędów lub nieścisłości, w szczególności tzw. literówek. W żaden sposób ww. uwagi nie deprecjonują wysokiej wartości merytorycznej tej rozprawy.

Podsumowując, z pełnym przekonaniem stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska pt. „Wytwarzanie i dynamika ultrakrótkich impulsów w laserach światłowodowych z normalną dyspersją” z nadmiarem spełnia wszelkie wymogi stawiane Ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Tym samym wnoszę o dopuszczenie jej Autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ponadto w przypadku pozytywnego przebiegu obrony publicznej wnioskuję o jej wyróżnienie. Wniosek ten motywuję bardzo wysokim poziomem naukowym rozprawy – znacznie przewyższającym wymagania stawiane pracom doktorskim. Autor rozprawy rozwiązał interesujący i aktualny problem badawczy, a osiągnięte wyniki, opublikowanie w reprezentatywnej literaturze, są na najwyższym poziomie światowym. Ponadto opracowane przez Niego nowatorskie lasery światłowodowe mają duży potencjał aplikacyjny.

