

WPIYNSLO

30. 03. 17

dn

**Recenzja
rozprawy doktorskiej
mgra inż. Krzysztofa SKORUPSKIEGO**

pt:

„ANALIZA WPŁYWU WYBRANYCH PARAMETRÓW UKŁADU ŚWIATŁOWODOWYCH STRUKTUR PERIODYCZNYCH NA CHARAKTERYSTYKI SPEKTRALNE WYTWARZANYCH SIATEK BRAGGA W OPARCIU O ZDEFINIOWANE WSKAŹNIKI JAKOŚCIOWE”

Recenzja została wykonana zgodnie z uchwałą Rady Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej z dn. 26.01.2017r

1. Dane ogólne

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska dotyczy aktualnego problemu technologii włókien optycznych – techniki zapisu siatek Bragga w rdzeniu włókna optycznego stosowanych w czujnikach światłowodowych oraz w laserach włóknowych. Obydwa te zastosowania – światłowodowe czujniki i lasery - są obecnie możliwe do praktycznej realizacji w warunkach krajowych. Autor rozprawy podjął się istotnego - dla rozwoju wskazanych powyżej aplikacji – zadania, mierząc się z obszernym i złożonym problemem. Cel pracy i zakres realizowanych zadań wskazany został w rozdziale 2 - na stronie 8 Dysertacji. Zgodnie z zaprezentowanym zakresem badań, praca obejmuje:

- Przegląd metod inskrypcji siatek we włóknach optycznych,
- Przeprowadzenie obliczeń numerycznych światłowodowych siatek Bragga w celu określenia widm transmisyjnych i odbiciowych dla struktur o żądanych parametrach,
- Zdefiniowanie parametrów jakościowych siatek Bragga,
- Opracowanie i zestawienie układu do zapisu siatek we włóknie,
- Analiza wpływu wybranych parametrów procesu technologicznego inskrypcji siatek na ich właściwości.

Tak zdefiniowany obszar merytoryczny Rozprawy został rozwinięty na 138 stronach Rozprawy. Uważam, że prezentowane w rozprawie zagadnienia są aktualne, a osiągnięte rezultaty posiadają poza znaczeniem naukowym również istotne znaczenie praktyczne.

2. Charakter Rozprawy.

Praca doktorska mgra inż. Krzysztofa SKORUPSKIEGO ma charakter analityczno-eksperymentalny, z istotną przewagą części teoretycznej. Rozprawa obejmuje w swoim zasadniczym obszarze opracowanie i weryfikację algorytmów do modelowania siatek Bragga do zastosowań laserowych i metrologicznych. Szczegółowe analizy właściwości siatek Bragga pozwoliły na opracowanie, zestawienie i weryfikację laboratoryjną uzyskanych projektów. Należy podkreślić, że zakres merytoryczny realizowanej Rozprawy jest bardzo obszerny i obejmuje zagadnienia z zakresu, metod numerycznych, optyki i technologii elementów włókien światłowodowych.

Przedstawiona do oceny Rozprawa składa się ze Spisu treści, Wykazu ważniejszych oznaczeń, Wstępu, z siedmiu rozdziałów zasadniczych, oraz Podsumowania i wniosków (rozdział 9). Do tekstu dołączono wykaz cytowanej literatury (str. 124). Wykaz literatury zawiera również dołączony spis cytowanych źródeł – 112 pozycji, w tym 6 pozycji współautorstwa Doktoranta. Omawiana Rozprawa zawarta jest na 138 stronach tekstu (w tym Streszczenie oraz Abstract). Spis cytowanych źródeł zawiera pozycje literaturowe z okresu do 2016r., a więc można uznać, że jest to spis aktualny i reprezentatywny dla tematyki Rozprawy.

We *Wstępie* (rozdział 1) Autor definiuje obszar zainteresowania wskazany jako merytoryczny zakres Rozprawy, oraz krótko omawia zawartość kolejnych rozdziałów Dysertacji. W kolejnym rozdziale (rozdział 2 – *Cel i zakres pracy*) zdefiniowany został cel pracy i omówiony zakres Rozprawy. Rozwinięciem tego rozdziału jest rozdział 3 – *Geneza problemu i teza pracy* – Doktorant omawia podstawowe zależności charakteryzujące siatki Bragga do zastosowań telekomunikacyjnych i na tym tle definiuje wymagania dla aplikacji czujnikowych siatek Bragga. W wyniku tej analizy formułuje tezę Rozprawy w brzmieniu (cytuje): „*Dobór parametrów układu laserowego do zapisu siatek Bragga oraz zdefiniowanie odpowiednich kryteriów jakościowych siatek na podstawie ich widm pozwala na wytworzenie struktur periodycznych o właściwościach odpowiednich do zastosowań w układach czujnikowych.*” Teza sformułowana w taki sposób jest merytorycznie poprawna, chociaż wydaje się, że korzystnym byłoby omówienie co kryje się pod określeniami: „*odpowiednie kryteria jakościowe siatek*” oraz „*o właściwościach odpowiednich do...*”. Co prawda w treści Rozprawy, w jej dalszej części, Autor stara się zagadnienia te rozwinąć i omówić, ale wskazanie tych zasadniczych problemów które kryją się pod enigmatycznymi pojęciami zacytowanymi powyżej pozwoliłoby już w tym miejscu sprecyzować zasadnicze problemy omawiane i rozwiązywane w Rozprawie. Rozdział 4 – *Światłowodowe siatki Bragga* – poświęcono omówieniu właściwości siatek zapisanych we włóknie optycznym. Omówione zostały rodzaje siatek, zaprezentowano ich właściwości optyczne oraz wskazano na stosowane kryteria jakościowe stosowane w ocenie siatek. Następny

rozdział – **5. Wytwarzanie światłowodowych struktur periodycznych** – omawia problemy techniczne i technologiczne związane z inskrypcją siatek we włóknie, w tym związki pomiędzy parametrami włókna i efektami technologicznymi (w tym również związanymi z przygotowaniem – uczuleniem - światłowodu na promieniowanie zapisujące strukturę periodyczną). Zaprezentowane zostały również istniejące rozwiązania siatek Bragga i ich podstawowe właściwości. Kolejne rozdziały Dysertacji, w odróżnieniu od dotychczas omawianych, są autorskim wkładem Doktoranta w realizowaną tematykę. W rozdziale 6 – **Modelowanie światłowodowych struktur periodycznych** – Doktorant przedstawił wybrane wyniki analizy numerycznej struktur periodycznych o parametrach dopasowanych do możliwych w realizacji zakresów włókien optycznych. W rozdziale 7 – **Projekt i wykonanie linii technologicznej powytwarzania struktur periodycznych we włóknach światłowodowych** – Autor omawia stanowisko do naświetlania włókien – omawia układ do zapisu siatki Bragga we włóknie, oraz opracowany układ optyczny pozwalający na realizację takiego zadania. W bardzo obszernym kolejnym rozdziale – **8. Wyniki badań wytworzonych struktur periodycznych** – Doktorant omawia uzyskane rezultaty badań laboratoryjnych, a w rozdziale 9 – **Podsumowanie i wnioski** – dosyć lakonicznie podsumowuje rezultaty uzyskane w trakcie realizacji Rozprawy.

Załączony do rozprawy wykaz cytowanej literatury zawiera 112 pozycji obejmujących okres wydania (publikacji) do 2016r. Zbiór przywołanej w treści Rozprawy bibliografii zawiera publikacje stanowiące reprezentatywny zbiór, odnoszący się do analizowanej w Dysertacji tematyki. W zamieszczonym zestawieniu cytowanych pozycji literaturowych znajdują się 6 pozycji współautorstwa Doktoranta. Wykorzystanie cytowanych źródeł jest poprawne, cytowana literatura jest reprezentatywna do analizowanej tematyki, wnioski z analizy literatury wyciągane są w prawidłowy sposób.

3. Rozwiązanie postawionego zadania, właściwość przyjętych metod i założeń.

Doktorant już na stronach 8-10 szczegółowo określił zakres realizowanej pracy, przyjęte założenia oraz podał cele i tezę Rozprawy. Proponowany zakres merytoryczny Dysertacji dobrany został poprawnie, jest merytorycznie spójny, oraz w pełni umożliwia realizację zaplanowanych badań. Przyjęty przez Doktoranta tok prowadzenia rozważań, oraz sposób prezentowania i analizy uzyskanych rezultatów pozwalają na stwierdzenie, że wszystkie założone cele Rozprawy zostały zrealizowane. Przeprowadzona analiza, opracowany układ laboratoryjny, oraz bardzo skrupulatnie zrealizowana weryfikacja laboratoryjna oczekiwanych rezultatów stanowią o zamkniętej całości, stanowiącej zarówno wypełnienie potrzeb w tej dziedzinie techniki (w szczególności w zakresie czujników światłowodowych), ale również pozwalają na krajowym rynku oferować nowatorskie elementy dotychczas w całości pozyskiwane z eksportu.

4. Poprawność przedstawienia uzyskanych wyników.

Wyniki prezentowane w pracy są zredagowane poprawnie, strona edytorska rozprawy jest poprawna, ale Autor nie ustrzegł się drobnych usterek związanych z przygotowaniem tekstu do opublikowania. Analiza planowanego do realizacji przez Doktoranta zakresu merytorycznego Rozprawy pozwala na stwierdzenie, że przyjęty i zrealizowany w rozprawie tok postępowania w pełni realizuje zamysł Autora. W recenzowanej Rozprawie zauważyłem nieliczne usterek – głównie edytorskie - nie mające jednak istotnego znaczenia dla jej merytorycznej zawartości. Dla porządku pozwalam sobie wyspecyfikować niektóre z nich.

Na stronie 18 (rysunek 4.10, ale podobna sytuacja występuje również na rysunkach: 8.10., 8.17, 8.20, 8.21., 8.26., 8.29., czy 8.41.) przedstawia transmisję włókna z siatką, ale wartość transmisji przekracza 100%. Taka sytuacja wymaga wyjaśnienia, bowiem we włóknie nie występuje wzmocnienie. Wydaje się, że przedstawienie niepewności pomiaru – oczekiwanego parametru przy analizie metrologicznej – pozwoli ten problem wyjaśnić. Sądzę, że na publicznej obronie Doktorant omówi te problemy.

Drugą ogólną uwagą jest stosowanie w tekście Rozprawy opisów rysunków w dwu językach: polskim – zgodnym z językiem, w którym została ona napisana - oraz w języku angielskim (przykładem są rysunki na str. 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 40, 45, 46, 47, oraz 48. Rozumiejąc, że Doktorant zastosował rysunki z przywołanych publikacji, nie jest dobrym zwyczajem stosowanie takiej formy prezentacji.

Trzecia uwaga ogólna dotyczy w zasadzie całej treści rozdziału 7. Pozwalam sobie przywołać jego tytuł: *Projekt i wykonanie linii technologicznej do wytwarzania struktur periodycznych we włóknach światłowodowych*. Zdaniem recenzenta tytuł ten jest zdecydowanie „nadmiarowy” w stosunku do treści rozdziału. Uważam, że bardziej odpowiedni byłby tytuł zbliżony do podpisu pod rysunkiem 7.3. – (Schemat) *układ(u) do zapisu światłowodowych struktur periodycznych*. Doktorant w treści przywołanego rozdziału nie omawia linii technologicznej, a jedynie jej fragment – istotny, ale jednak fragment. Proszę, aby do tego problemu Doktorant odniósł się w czasie publicznej obrony. Poza tym problemem w rozdziale 7 Doktorant zdecydowanie nadużywa pojęcia „rysunek techniczny”, opisując w ten sposób szkice gabarytowe (rys. 7.1.), rysunki złożeniowe (np. rys. 7.4., rys. 7.7., czy choćby 7.10.). W przypadku rys. 7.9. nie jest to rysunek techniczny soczewki cylindrycznej (tak brzmi podpis pod rysunkiem), tylko szkic (schemat) modułu soczewka – oprawa (zachowanie na rysunku 7.9., również na rys. 7.1., wymiarów w calach również nie mieści się w konwencji rysunku technicznego). W przypadku rys. 7.8. czy 7.12. stosowanie określenia „rysunek techniczny” dla szkiców bez jakiegokolwiek wymiaru jest również niewskazane.

Muszę się również odnieść do zawartości tabeli 7.1. Dwa parametry nazwane przez Doktoranta „koherencja przestrzenna” oraz „rozbieżność wiązki” wymagają omówienia. W przypadku promieniowania laserowego stosowane są dwa określenia: koherencja przestrzenna, oraz droga spójności. Pierwsze z nich dotyczy spójności promieniowania w przekroju poprzecznym wiązki (w praktyce wskazuje na zmianę kontrastu prążków w przekroju poprzecznym wiązki w przypadku wyrównania dróg optycznych w interferometrze), natomiast drugie związane jest z czasem koherencji (podaje maksymalne niewyrównanie dróg optycznych w interferometrze, aby kontrast prążków zmalał do wartości 0,7 maksymalnego). Z zapisu w tabeli 7.1. nie wynika jednoznacznie o jaką wielkość chodzi Autorowi. W trakcie zapisu siatki w rdzeniu włókna problem spójności przestrzennej wiązki jest bardzo istotny, i precyzyjne sformułowanie wymagań odnośnie tego parametru jest niezbędne dla oceny jednorodności zapisanej siatki. Również w tym przypadku poproszę Doktoranta o komentarz. Drugi problem, to pojęcie „rozbieżność wiązki” (ostatni wiersz). Poprawnie powinno być „kąć rozbieżności wiązki”, oraz nie powinno znaleźć się w opisie przypisanie temu parametrowi wymiaru „(szer. x wys.)”.

W tekście pracy znajdują się również inne wyrażenia będące żargonem technicznym. Przykładami takich wyrażen są np.:

- jest „rozkład promieniowania zogniskowanej wiązki laserowej” – powinno być Napięcie promieniowania w przewężeniu wiązki laserowej
- „jasność piksela” (opis osi na rys. 7.19, 7.21., 7.23.) – trudno odgadnąć o jaki parametr chodzi Autorowi,
- niezbyt szczęśliwie użyte zostało określenie w podpisie na rys. 7.31. – widok czoła uszkodzonej powierzchni (a) widok boczny (b) – bardziej zrozumiałe byłoby: widok powierzchni bocznej włókna z kierunku propagacji wiązki promieniowania (a) oraz powierzchni bocznej włókna z kierunku prostopadłego do kierunku propagacji wiązki promieniowania. Powierzchnia „czołowa” włókna, to widok przekroju prostopadłego do osi włókna,
- w tabeli 8.1. znajduje się parametr nazwany „maksymalny promień gięcia” - właściwości mechaniczne włókna definiuje „minimalny promień gięcia”,
- częściej stosowanym skrótem nazwy diody superluminescencyjnej jest SLED,
- w całym tekście pracy Doktorant stosuje do opisu transmisji siatek pojęcie „współczynnik transmisji”, natomiast do określenia odbicia pojęcie „reflektancja” - konsekwentnie byłoby stosowanie pojęcia „współczynnik odbicia” (reflektancja jest typowo zastrzeżona do skali wyrażonej w decybelach),
- na str. 87 (opis wzoru 8.1.) Autor wymiennie używa pojęcia „period siatki” i „stała sieci siatki”,

- na rys. 6.2. opis osi poziomej wykresów bezpośrednio przeniesiony został z notacji stosowanej w procedurach numerycznych,
- pojawiająca się (np. str. 52 przedostatni akapit) fraza „szerokość połówkowa struktury” dotyczy szerokości połówkowej widma.

W rozdziale 6 Doktorant używa pojęcia „maksymalna refleksja płatów bocznych”. Bez definicji tego pojęcia stwierdzenia takie z podaną wartością przywołanego parametru stają się mało zrozumiałe. Podobnie stosowane jest to pojęcie w rozdziale 8 – np. str.103 ostatni akapit. W rozdziale 8.2. Doktorant dokonuje analizy powtarzalności parametrów uzyskanych siatek Bragga. Zdziwienie recenzenta budzi zupełny brak analizy niepewności pomiarowej podstawowych parametrów optycznych uzyskanych siatek. Również w tej kwestii poroszę Doktoranta o odniesienie się w czasie publicznej obrony

Dla porządku trzeba jeszcze wskazać na powtarzające się (rozdział 6) numery rysunków. Muszę również wskazać na jeszcze jeden problem, z jakim zetknąłem się w tekście Rozprawy, również związany z analizą metrologiczną wytworzonych struktur periodycznych – siatek Bragga. Dotyczy to stwierdzenia ze str. 109 – akapit pod rys.8.32. Uważam, że analiza powtarzalności parametrów uzyskanych struktur nie może polegać na odrzucaniu pomiarów odbiegających od wartości statystycznych (oczekiwanych przez eksperymentatora?) analizowanego zbioru. Poprawną metodyką byłoby wcześniejsze wskazanie błędu w procedurze (np. odmiennie właściwości włókna, fluktuacja parametrów energetycznych wiązki, błąd w justowaniu układu zapisu siatki, czy inne parametry wpływające na uzyskiwane właściwości) i dopiero po zdiagnozowaniu przyczyny stosowanie eliminacji struktury nie spełniającej kryteriów technologicznych. W innych przypadkach, jeśli nie wiadomo, jaka jest przyczyna odmienności uzyskanych parametrów, nie można ich eliminować z analizy statystycznej uzyskanych parametrów.

Należy jednak stwierdzić, że wskazane powyżej błędy edytorskie i językowe nie wpływają na moją wysoką ocenę merytoryczną ocenianej Rozprawy.

5. Przydatność aplikacyjna rozprawy.

Materiał zawarty w recenzowanej Pracy jest znacznym osiągnięciem Doktoranta. Zmierzyła się z trudnym i złożonym problemem technicznym i technologicznym wytwarzania periodycznych struktur we włóknach optycznych. Recenzowana Rozprawa jest zwięzłym i kompetentnym omówieniem technologii wytwarzania siatek Bragga, a opracowany i zestawiony układ może być podstawą do stworzenia możliwości uzyskiwania siatek o specjalnych, wymaganych w układach czujnikowych cechach. Zarówno zaprezentowany w Rozprawie zakres, jak również możliwość kontynuowania prowadzonych prac jest – mam taką nadzieję – znaczącym wkładem Doktoranta w realizację prac związanych z aplikacją światłowodów – zarówno czujni-

ków, jak też źródeł promieniowania. Uważam, że cząstkowe efekty przeprowadzonych badań, również opublikowane w międzynarodowym obiegu naukowym są bardzo cennym wkładem Autora do problematyki uprawianej dziedziny.

6. Wniosek końcowy.

Biorąc pod uwagę bardzo obszerny i złożony zakres Rozprawy, jej interdyscyplinarny charakter, obszerną część analityczną wspartą opracowaniem i zestawieniem układu do inskrypcji siatek Bragga, zrealizowaną szczegółową weryfikacją laboratoryjną opracowanego układu, oceniam recenzowaną pracę jako spełniająca wymagania z nadmiarem. Uważam, że recenzowana Rozprawa zawiera szereg aspektów naukowych oraz technologicznych, które Doktorant analizuje, i skutecznie aplikuje, w trakcie jej realizacji. W związku z tym stwierdzam, że rozprawa doktorska *mgra inż. Krzysztofa SKORUPSKIEGO pt: „ANALIZA WPLYWU WYBRANYCH PARAMETRÓW UKŁADU ŚWIATŁOWODOWYCH STRUKTUR PERIODYCZNYCH NA CHARAKTERYSTYKI SPEKTRALNE WYTWARZANYCH SIATEK BRAGGA W OPARCIU O ZDEFINIOWANE WSKAŹNIKI JAKOŚCIOWE”* spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim w świetle obowiązujących przepisów i wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.


Andrzej Zając