



Recenzja rozprawy doktorskiej
Pani mgr inż. Moniki Danuty Żuchowskiej
Tytuł rozprawy „Wytwarzanie i badanie mikrotipów polimerowych formowanych na
końcach światłowodów wielomodowych”

Praca doktorska została wykonana na Wydziale Nowych Technologii i Chemii, Wojskowej Akademii Technicznej. Promotorem pracy był Pan dr hab. Paweł Marć, prof. uczelni.

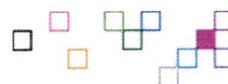
1. Podstawa opracowania recenzji

- uchwała Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Materiałowa” Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego nr 35/RDN_IMat/2025 z dnia 12 czerwca 2025 r. w sprawie wyznaczenia komisji doktorskiej w postępowaniu o nadanie stopnia doktora mgr inż. Monice Danucie Żuchowskiej,
- rozprawa doktorska mgr inż. Moniki Danuty Żuchowskiej „Wytwarzanie i badanie mikrotipów polimerowych formowanych na końcach światłowodów wielomodowych”,
- Ustawa z dnia 20 lipca 2018r., Prawo o Szkolnictwie Wyższym (Dz.U. z 2020r, poz. 85),
- Ustawa z dnia 3 lipca 2018r., Przepisy wprowadzające Ustawę – Prawo o Szkolnictwie Wyższym (Dz.U z 2018r., poz. 1669),

Zgodnie z obecnie obowiązującymi przepisami, tj. wspomnianą wyżej ustawą Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r (Dz.U. z 2023 r. poz. 742 z późn. zm.), rolą recenzenta jest stwierdzenie czy osoba ubiegająca się o stopień naukowy doktora posiada wymagany dorobek naukowy (wymóg Art. 186), oraz czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie jak i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej (wymóg Art. 187 ust. 1) a przede wszystkim czy przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego (wymóg Art. 187 ust. 2).

Po przestudiowaniu rozprawy stwierdzam że:

- przedstawiona rozprawa mieści się w całości w dyscyplinie inżynieria materiałowa,
- rozprawa ma charakter technologiczny,
- podana na stronie 22 hipoteza rozprawy jest jasno sformułowana i możliwa do weryfikacji na bazie przedłożonej rozprawy,
- w przedłożonej do recenzji rozprawie nie określono celu
- mgr inż. Monika Żuchowska jest pierwszą współautorką publikacji, dotyczących tematu rozprawy, znajdujących się w bazie JCR, co stanowi podstawę do stwierdzenia spełnienia wymogu ustawowego Art. 186 co do posiadania przez Doktorantkę dorobku naukowego, jak i wymogu Art. 187 ust. 2 odnośnie zawarcia w pracy oryginalnego rozwiązania problemu naukowego.



MP

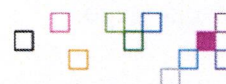
2. Charakterystyka pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została napisana w języku polskim, ma klasyczny układ i liczy 122 strony druku wraz ze spisem literatury który liczy 212 pozycji oraz wykazem skrótów. Bibliografia odzwierciedla współczesny stan wiedzy z zakresu technik i technologii światłowodowych w tym prac ściśle związanych z tematem rozprawy. Dobór literatury jest celowy i poprawny.

Rozprawa zawiera głównie część doświadczalną. Część teoretyczna jest bardzo skrócona i zawiera się jedynie w obszernym wstępie. Część doświadczalna, nie wydzielona jednoznacznie w strukturze pracy, zawiera trzy rozdziały merytoryczne. Rozprawę kończy tradycyjny rozdział podsumowujący wykonane prace. Układ pracy nie budzi moich większych zastrzeżeń, a użyta terminologia jest prawidłowa i zrozumiała. Niewielkie moje zastrzeżenie związane jest z kolejnością przedstawienia informacji w rozdziałach 3 i 4. Moim zdaniem rozdział 3 przedstawiający stricte badania aplikacyjne dotyczące wykorzystania wytworzonych mikrotyków w konstrukcji sensorów odbiciowych powinien być poprzedzony charakterystyką optyczną mikrotyków która oryginalnie jest częścią kolejnego tj. czwartego rozdziału. W rozdziale 4 przedstawiono również badania aplikacyjne związane z wykorzystaniem mikrotyków jako elementów ułatwiających wprowadzanie światła do włókien typu hollow core. Moim zdaniem połączenie treści aplikacyjnych z rozdziałów 3 i 4 w jeden rozdział i wydzielenie treści odnoszących się do charakterystyki optycznej wytworzonych mikrotyków do oddzielnego rozdziału byłoby bardziej naturalne i przedstawiało naturalny „ciąg badawczy” – technologia, charakterystyka, aplikacje. Praca jako całość napisana jest poprawnym językiem. Niewielkie moje zastrzeżenia budzi kilka drobnych fragmentów w których autorka wypowiada się w zbyt żargonowym tonie.

3. Tematyka pracy doktorskiej

Rozprawa doktorska dotyczy opracowania technologii, charakterystyki optycznej i aplikacji mikrotyków polimerowych wytwarzanych na końcach światłowodów wielomodowych ze szkła krzemionkowego i szkła typu high silica. Tematyka ta ściśle wiąże się z najnowszymi trendami naukowymi i aplikacyjnymi techniki światłowodowej. W szczególności interesujące i aktualne są badania związane z technikami budowy czujnikowych platform pomiarowych typu „lab-on-chip” i „lab-on-fiber”. Doktorantka wykonując szereg prac badawczych wykazała że opracowane mikrotypy polimerowe mogą być wykorzystane do budowy miniaturowych czujników optycznych (światłowodowych) pracujących w konfiguracji transmisyjnej i odbiciowej. Na szczególną uwagę, pomimo moich wątpliwości co do wyciąganych przez doktorantkę wniosków, zasługuje propozycja wykorzystania opracowanych mikrotyków jako czujnika progowego lotnych związków organicznych. Choć samo zagadnienie wytwarzania mikrotyków na końcach światłowodów nie jest nowym podejściem to patrząc całościowo na możliwość kontrolowanego wytwarzania mikrotyków o kształtowanej geometrii i charakterystyce optycznej i czujnikowej jest podejściem ambitnym, wpisującym się w najnowsze trendy wytwarzania struktur światłowodowych. Należy również docenić „odwagę naukową” doktorantki za badania z wykorzystaniem światłowodów wielomodowych które z



YAP

natury są trudniejsze i wymagają zdecydowanie więcej „finezji metrologicznej” od obecnie standardowych światłowodów jednomodowych.

4. Teza rozprawy doktorskiej

Na stronie 22 doktorantka sformułowała tezę - „*Istnieje możliwość wytwarzania i kształtowania mikrotipu polimerowego na czole światłowodu wielomodowego ze szkła krzemionkowego i jego zastosowanie w technologii czujnikowej*”. Dla jej udowodnienia doktorantka zaplanowała wykonanie trzech zadań badawczych tj. opracowania technologii kształtowania geometrii mikrotipu polimerowego, opracowania metodologii charakteryzacji właściwości optycznych mikrotipu polimerowego oraz badania mikrotipu polimerowego jako przykładowego czujnika współczynnika załamania materiałów ciekłych i lotnych. Wymienione zadania badawcze są adekwatne a ich realizacja całkowicie wypełnia dowód postawionej tezy.

5. Zakres rozprawy doktorskiej

Recenzowana praca obejmuje cztery rozdziały merytoryczne bez wyodrębnienia części teoretycznej i badawczej.

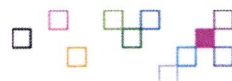
Jak wspomniałem wyżej charakter typowego rozdziału teoretycznego ma „Wstęp” w którym doktorantka przedstawiła podstawowe informacje dotyczące czujników światłowodowych i fotopolimeryzacji. Przedstawione zostało tutaj również pojęcie przetwornika jako elementu wychwytyjącego z otoczenia informacji o mierzonych parametrach i jej przetworzenie na odpowiedni sygnał optyczny. Jako szczególny rodzaj przetwornika doktorantka opisała wytwarzane na końcówkach światłowodów mikrotipy. Zawartość merytoryczna tej części jest wystarczająca dla opisanych w kolejnych rozdziałach badań doświadczalnych.

Rozdział drugi, według mnie najważniejszy w całej rozprawie, przedstawia praktyczną tj. technologiczną wartość rozprawy. Doktorantka przedstawiała w nim wyniki badań związanych z opracowaniem technologii wytwarzania mikrotipów o przewidywalnych kształtach, rozmiarach i właściwościach optycznych. Przebadano cztery różne materiały polimerowe i nanokompozyty uzupełnione nanocząstkami złota i dwutlenku tytanu. W zależności od fotoinicjatora mikrotipy wytwarzano wykorzystując promieniowanie UV lub VIS. Wykonane prace badawcze pozwoliły na następujące stwierdzenia:

- geometria mikrotipów jest zależna od rodzaju wykorzystanego światłowodu, charakterystyki spektralnej źródła światła, ilości dostarczonej energii, wielkości kropli oraz składu mieszaniny
- dodatek nanocząstek nie ma znaczącego wpływu na kształt, wymiary i strukturę powierzchni mikrotipów.

Przedstawione w tym rozdziale prace badawcze ponad wszelką wątpliwość dowodzą że doktorantka optymalizowała parametry technologii i świadomie wytworzyła mikrotipy o wymaganych właściwościach.

W tej części pracy doktorantka popełniła kilka błędów wśród których znaczącymi są stwierdzenia że siły adhezji pomiędzy mieszaniną polimeryzacyjną i szkłem determinują kształt kropli oraz że siła adhezji między mikrotipem a powierzchnią szkła jest większa w światłowodach wielomodowych ponieważ mają one większy rdzeń. Odnosząc się do



pierwszego pragnę zwrócić uwagę że siły adhezji o których pisze doktorantka występują na granicy szkło-mieszanina polimeryzacyjna i co do zasady są to siły krótko zasięgowe. Zewnętrzny kształt kropli determinowany jest nie zrównoważoną siłą działającą na cząsteczki na powierzchni kropli którą potocznie utożsamia się z napięciem powierzchniowym. Odnosząc się do siły adhezji zwracam uwagę że siła adhezji to miara oddziaływania międzycząsteczkowego. Zgadam się że im większa powierzchnia tym większe oddziaływanie ale w tym przypadku powinno się używać sformułowania energia adhezji i odnosić ją do jednostkowej powierzchni a nie o wzrastającej sile adhezji ponieważ oddziaływania międzycząsteczkowe są stałe i nie zależą od powierzchni oddziaływania. Na osobny komentarz zasługuje przedstawiona w tej części pracy analiza modowa włókien wielomodowych. Doktorantka słusznie zauważa tutaj że w odróżnieniu od standardowych światłowodów jednomodowych we włóknach wielomodowych jest prowadzonych od kilku tysięcy do nawet ponad miliona modów. Niestety tej informacji doktorantka nie wykorzystuje w dalszych częściach rozprawy.

W kolejnym trzecim rozdziale doktorantka przedstawiła badania związane z charakterystyką światłowodowego czujnika odbiciowego z mikrotipem polimerowym pełniącym funkcję przetwornika. Charakterystykę odbiciową badano w układzie pomiarowym składającym się z reflektometru OBR 4600. Niestety dobór tego urządzenia jest błędny. Reflektometr OBR 4600 jest reflektometrem przeznaczonym do charakterystyki optycznej włókien jednomodowych. W trakcie pomiaru analizowane są lokalne zdudnienia częstotliwościowe powstające w interferometrze światłowodowym w wyniku interferencji światła z wewnętrznego lasera reflektometru i światła wstecznie rozproszonego w charakteryzowanym światłowodzie. W tym kontekście powracając do reflektometru „rozproszony mod podstawowy daje dobrze zdefiniowaną interferencję i zdudnienia” a tym samym pewność co do uzyskanych wyników. Wprowadzenie dodatkowych modów zaburza pracę interferometru przez co np. zaburzony zostaje pik związany z odbiciem światła na końcu włókna przy czym zaburzenie to dotyczy zarówno szerokości jak i wysokości piku. Pomimo tego uważam że większość przedstawionych w tym rozdziale wyników jest jakościowo poprawna. Przykładem mogą tu być wyniki przedstawione na wykresach na rysunku 24. Doktorantka słusznie zauważyła że zależność strat odbiciowych w mikrotipie zależy liniowo od współczynnika załamania jego otoczenia. Uzyskanie liniowych przebiegów doktorantka tłumaczy złożonością optyczną układu i wielokrotnością odbić światła na granicach pomiędzy światłowodem, mikrotipem i cieczą immersyjną. Żałuję że doktorantka w interpretacji nie poszła o krok dalej i nie zauważyła że wielokrotność odbić jest całkiem skuteczną metodą pobudzenia w światłowodzie wielomodowym modów wyższych rzędów przez co cały układ staje się modowo bardziej wysycony i pracuje poprawniej. Ogólnie mam wrażenie że doktorantka podobnie jak większość „młodych naukowców” traktuje światłowody wielomodowe jak światłowody jednomodowe uważając że wystarczy wprowadzić do nich światło a stan modowy ustali się natychmiast. W rozdziale trzecim przedstawiono również wyniki badań związanych z opracowaniem progowego czujnika lotnych związków organicznych. W badaniach wykorzystywano również reflektometr OBR 4600 dlatego i tutaj pojawiają się wątpliwości dotyczące co do zasadności jego użycia. Podobnie jak wyżej moim zdaniem jakościowo wyniki są poprawne choć do ich interpretacji mam pewne zastrzeżenia. Na przykład z badań zilustrowanych wykresem na rysunku 33 ewidentnie wynika że TMP był

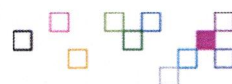
absorbowany w całej objętości mikrotipa. Świadczy o tym rozciągnięty w czasie spadek sygnału (szczególnie w przypadku krzywej czerwonej). Z kolei na stronie 72 doktorantka pisze: „*Wstępne badania wykazały, że równowaga termodynamiczna między fazą gazową i ciekłą jest osiągana po upływie około jednej godziny. Gdy czas był krótszy nie udawało się odparować odpowiedniej ilości TMP, jego koncentracja w objętości fiolki była nierównomierna i zmienna w czasie. Z kolei pozostawienie TMP w fiolce na czas dłuższy niż optymalny powodowało, że ciężkie pary TMP opadały na dno naczynia, przez co stężenie TMP w pozostałej objętości mogło stawać się zbyt niskie i niejednorodne.*”. Znajdujący się w równowadze układ nie może jedynie przez samoczynny ruch cząstek z tej równowagi wyjść. W stanie równowagi termodynamicznej w układzie ciecz-para szybkość parowania jest równa szybkości kondensacji. Cząsteczki wprawdzie przechodzą ciągle między fazą ciekłą i gazową ale ich ilość w każdej z faz nie zmienia się w czasie.

W rozdziale czwartym rozprawy przedstawiono wyniki badań właściwości transmisyjnych światłowodów z wytworzonymi na ich końcach mikrotipami oraz wykorzystanie takich włókien jako elementów wprowadzających światło do włókien typu hollow-core. Charakteryzując właściwości optyczne doktorantka wykonała pomiary apertury numerycznej oraz sprzęgania światła pomiędzy światłowodami bez i z mikrotipami w zakresie od 600 do 2400nm. Pomiary apertury numerycznej wykonała wykorzystując laser o długości fali 1550nm oraz profilometr optyczny. Mikrotipy wytworzone były na włóknach wielomodowych. W większości badanych światłowodów zaobserwowano zwiększenie apertury numerycznej. Próby integracji włókien zakończonych mikrotipami ze światłowodami typu hollow-core wykonano dla mikrotipów wytworzonych na końcu włókien jednomodowych. Doktorantka nie zawarła w tej części rozprawy informacji o aperturze numerycznej włókien SM z mikrotipami która moim zdaniem jest tutaj kluczowa. Włókna typu hollow-core to włókna o bardzo małych aperturach numerycznych. Przy wprowadzaniu do nich światła o dużej aperturze oprócz typowej propagacji światła w rdzeniu powietrznym pojawia się propagacja światła w elementach szklanych (kapilarach). Efektem tego jest pojawiająca się interferencja którą zwykle obserwuje się w postaci oscylacji intensywności światła w pasmach transmisyjnych – doktorantka nazywa te oscylacje pasmami wzbudzonymi za pomocą mikrotipu.

6. Uwagi końcowe

Po zapoznaniu się z przedstawioną do recenzji rozprawą doktorską jednoznacznie stwierdzam że przedstawiona dysertacja całkowicie wypełnia warunki określone dla nadania stopnia doktora tj:

- prezentuje ogólną wiedzę mgr inż. Moniki Żuchowskiej w dyscyplinie inżynieria materiałowa oraz jednoznacznie wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej
- przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego za które uważam opracowanie technologii wytwarzania mikrotipów polimerowych na końcach światłowodów i świadomego kształtowania ich właściwości optycznych.



Reasumując uważam że rozprawa doktorska mgr inż. Moniki Żuchowskiej pt. „Wytwarzanie i badanie mikrotipów polimerowych formowanych na końcach światłowodów wielomodowych” spełnia wymagania stawiane pracom promocyjnym na stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa w rozumieniu ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jednolity: Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z późn. zm.) a Autorka może być dopuszczony do jej publicznej obrony.

Grzegorz Paweł

