

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

**mgr. inż. Sebastiana Białasza**

pt. „Wpływ warstwy ślizgowej na poprawę efektywności  
wprowadzania mikrokabla światłowodowego do osłony  
z tworzywa”

Promotor rozprawy:

**Dr hab. inż. Tomasz Klepka, prof. PL**

Promotor pomocniczy:

**dr inż. Tomasz Jachowicz**

### **1. Podstawa formalna opracowania recenzji**

Recenzja została opracowana na podstawie zlecenia RDN/IM/199/2023 Z-cy Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Lubelskiej dr. hab. inż. Jarosława Bieniasia, prof. PL.

Stwierdzam, że tematyka recenzowanej pracy jest zgodna z obszarem moich zainteresowań naukowych. Oświadczam jednocześnie, że nie prowadziłem i nie prowadzę z Doktorantem żadnych wspólnych badań naukowych oraz że nie jesteśmy wspólnie autorami jakiegokolwiek publikacji naukowej.

## **2. Znaczenie podjętej tematyki**

Jesteśmy świadkami bardzo dynamicznego rozwoju techniki, zwłaszcza w zakresie sposobów bezprzewodowego i przewodowego komunikowania i przesyłania danych. W tym zakresie zastosowanie przewodów światłowodowych do transmisji sygnałów optoelektronicznych było jednym z kamieni milowych w tym rozwoju. Funkcją światłowodu umieszczonego w osłonie jest propagowanie sygnału w postaci fali elektromagnetycznej z jednego końca przewodu do drugiego bez znaczących strat na jego transmisję. We współczesnej technice pojedyncze włókna optyczne tworzą rdzeń mikrokabli optotelekomunikacyjnych, który jest chroniony przez kolejne warstwy izolujące je od wpływu oddziaływania obciążeń zewnętrznych i warunków otoczenia. Obszar rdzenia i płaszcz włókna światłowodowego decyduje o jakości przesyłanego sygnału optycznego.

Przedmiotem recenzowanej rozprawy jest opracowanie efektywnych warunków przeciągania mikrokabla światłowodowego w osłonie ochronnej wykonanej metodą wytłaczania z tworzywa termoplastycznego, z uwzględnieniem w badaniach efektów tribologicznych na granicy zewnętrzna powierzchnia mikrokabla - osłona ochronna, rodzaju użytych materiałów oraz cech geometrycznych przekrojów mikrokabla i osłony.

## **3. Charakterystyka formalna rozprawy**

Recenzowana praca doktorska została napisana łącznie na 165 stronach maszynopisu w formacie A4. Składa się z 14 rozdziałów, obejmujących także podsumowanie i wnioski końcowe. Zawiera streszczenia w języku polskim i angielskim, wykaz oznaczeń oraz spis literatury, który liczy 165 pozycji. Według mojej oceny, bibliografia obejmuje aktualny zbiór artykułów naukowych, pozycji książkowych oraz źródeł internetowych, a Doktorant wybrał pozycje literaturowe poprawnie, zgodnie z podjętą w pracy tematyką.

Praca ma poprawną strukturę, typową dla rozpraw doktorskich z dużym udziałem prac eksperymentalnych. W pierwszej części o charakterze teoretycznym, Doktorant przedstawił dobrze udokumentowane literaturowo zagadnienia merytoryczne związane z podstawami transmisji sygnału za pomocą światłowodu, budową mikrokabli światłowodowych i rodzajów osłon używanych do ich ochrony, a także opisał zagadnienia tribologiczne związane z oddziaływaniem par ślizgowych mikrokabel-osłona polimerowa. W rozdziale 6 zawarł wstępne wyniki badań własnych w zakresie oznaczenia właściwości wytrzymałościowych pojedynczego mikrokabla światłowodowego oraz wyniki badań tribologicznych pary ciernej

mikrokabel-osłona. Część teoretyczna pracy została zakończona wnioskami (rozdział 7), które były podstawą do sformułowania celu, hipotezy, tezy i zakresu pracy (rozdział 8).

Część doświadczalna rozprawy składa się z sześciu rozdziałów, przy czym rozdział 14 jest bardzo obszerny, zawiera nie tylko analizę uzyskanych wyników, ale także weryfikację postawionej wcześniej przez Doktoranta hipotezy i tezy oraz wnioski końcowe.

#### **4. Ocena merytoryczna rozprawy**

W zakresie oceny ogólnej warto zauważyć, że praca została przygotowana na dobrym poziomie edytorskim, jest napisana poprawnym, zrozumiałym językiem. Układ pracy i kolejność przedstawionych treści w rozdziałach nie budzi zastrzeżeń. W części teoretycznej zawarto wszystkie, ważne z punktu widzenia realizacji celów pracy, zagadnienia merytoryczne. Dyskusyjne wydaje się jedynie przedstawienie w oddzielnych rozdziałach tematyki budowy mikrokabli i osłon oraz materiałów przeznaczonych do ich wytworzenia. W moim przekonaniu można było te treści połączyć w jeden rozdział, podobnie jak zagadnienia oddziaływania tribologicznego i rodzaje warstw ślizgowych (rozdziały 4 i 5). Bardzo dobrze oceniam zaprezentowane w rozdziale szóstym wyniki badań wstępnych, które miały uzupełnić wiedzę literaturową w zakresie podjętej tematyki. Myślę, że pozwoliło to Doktorantowi na trafniejsze sformułowanie hipotezy, tezy i celów pracy (rozdział 8). Włączenie analizy badań wstępnych do części teoretycznej jest w tym przypadku uzasadnione, gdyż tematyka naukowa podjęta w rozprawie dotyczy obszaru techniki, który podlega bardzo szybkim zmianom, między innymi w zakresie budowy światłowodów (np. wielordzeniowych) oraz w obszarze sposobów multipleksacji sygnałów optycznych. Traktuję to jako dbałość Kandydata o wysoki poziom merytoryczny rozprawy, zwłaszcza w obszarze planowania badań własnych.

Podjęta w pracy tematyka jest aktualna i ważna z punktu widzenia transmisji danych za pomocą kabli i przewodów. Obok istotnego znaczenia poznawczego rozprawy, dostrzegam możliwość utylitarne wykorzystania zaproponowanych w niej rozwiązań nie tylko w skali Polski, ale również Europy a może i Świata. Traktuję to jako posiadanie odpowiedniej wiedzy teoretycznej Kandydata w zakresie opisu zjawisk towarzyszącym operacji wprowadzania mikrokabla światłowodowego do osłony ochronnej oraz wpływu tego zabiegu na jakość przesyłanego światłowodem sygnału optycznego.

Stwierdzam, że przedstawione w rozdziale 8 cele naukowe i utylitarne zostały poprawnie sformułowane. Dyskusyjne jest natomiast prezentowanie w rozprawie doktorskiej

o charakterze doświadczalnym nie tylko hipotezy, ale także tezy naukowej (str. 75). W przypadku tej drugiej, jej treść wydaje się oczywista. Powszechnie bowiem wiadomo, że powłoki o właściwościach ślizgowych oraz promień gięcia będą istotnie wpływały na wartość siły potrzebnej do wprowadzenia mikrokabla światłowodowego do wnętrza osłony ochronnej. Taki sam efekt można zauważyć i opisać w trakcie oddziaływania na siebie dowolnych dwóch ciał fizycznych będących w ruchu. Wydaje się, że Doktorant niefortunnie umieścił w tym rozdziale także zakres pracy (str. 75). Pomimo, że przedstawiony na stronie 76 schemat graficzny rzeczywiście obejmuje całość pracy, ale tak naprawdę zarysowano tam plan badań własnych, zresztą takim podpisem Kandydat opatrzył rysunek 52.

Część doświadczalna rozprawy zrealizowano na bardzo dobrym poziomie merytorycznym, z użyciem oryginalnych stanowisk, narzędzi i urządzeń pomiarowych. Na wyróżnienie zasługuje przygotowanie oryginalnych receptur lakierów do powlekania mikrokabli światłowodowych, a także opracowanie nowego sposobu ich nakładania. Na etapie projektowania narzędzia (głowicy) do nanoszenia warstwy ślizgowej, optymalizację jego konstrukcji przeprowadzono z użyciem współczesnych narzędzi wsparcia inżynierskiego takich jak: programy MES do symulacji procesu wtryskiwania wytłaczania (Cadmould, HyperExtrude), oraz oprogramowanie CAD (IronCAD) . Zaprojektowany uchwyt wykonano tradycyjną metodą ubytkową przez frezowanie, a także techniką przyrostową FDM z biotworzywa polimerowego pod nazwą polilaktyd (PLA).

Przytoczone fragmenty rozprawy pozwalają na stwierdzenie, że Kandydat prezentuje dobrą wiedzę inżynierską w zakresie: projektowania wytworów i stanowisk badawczych z zastosowaniem nowoczesnych narzędzi CAE, opracowywania procesów technologicznych, programowania badań własnych, formułowania celów badawczych, a nawet tworzenia receptur lakierów o konkretnym przeznaczeniu. Przedstawiona w rozdziale 9 metodyka badań własnych, ze szczególnym uwypukleniem rozwiązań w zakresie procesu projektowania głowicy, procesu technologicznego i stanowiska badawczego, ma zauważalne cechy oryginalnego rozwiązania. Dotyczy ona technologii powlekania mikrokabli światłowodowych w celu efektywnego wprowadzania ich do osłon polimerowych z zachowaniem oczekiwanej jakości transmisji danych. Sposób nanoszenia powłoki ślizgowej oraz jej skład materiałowy powinny zostać zastrzeżone w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej, gdyż dostrzegam duży potencjał w utylitarnym wykorzystaniu tego procesu.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a rezultaty zrealizowanych przez Doktoranta badań naukowych mogą zostać zastosowane w gospodarce.

Część doświadczalna rozprawy to trzy zasadnicze etapy badań własnych w zakresie: a) doboru systemu lakierniczego i opracowania własnego sposobu powlekania nim mikrokabla światłowodowego (rozdział 9 i 10), b) weryfikacji skuteczności działania powłoki ślizgowej w procesie przeciągania mikrokabla światłowodowego przez polietylenową osłonę ochronną poprzez pomiar parametrów tarcia (rozdział 11 i 12), c) oceny jakości transmisji sygnału optycznego przez mikrokabel światłowodowy w osłonie ochronnej oraz weryfikacji celów naukowych i hipotezy badawczej sformułowanych w rozprawie (rozdział 13 i 14).

Po lekturze tej części pracy można stwierdzić, że wszystkie wskazane etapy badań głównych były dobrze zaplanowane, stanowią logiczną całość, a do ich realizacji wykonano, zmodyfikowano i użyto szeregu oryginalnych stanowisk badawczych. Kandydat zaproponował własne receptury lakieru powłokowego (rozdział 9), skonstruował specjalną głowicę roboczą (podrozdział 9.1) i zbudował stanowisko do nakładania powłoki ślizgowej na powierzchnię mikrokabla światłowodowych (podrozdział 9.3). Te działania umożliwiły realizację badań w oparciu o 3 czynniki wejściowe, w moim przekonaniu kluczowe, dla oceny jakości procesu nanoszenia powłok i wyboru optymalnego rozwiązania w tym zakresie. W rozdziale 11 scharakteryzowano sposób i stanowisko do badania tarcia ślizgowego w trakcie przeciągania mikrokabla przez osłonę ochronną przy zmiennym kącie opasania. W tym celu zmodernizowano istniejące stanowisko badawcze, oparte na patencie 226683 autorstwa Promotora rozprawy Tomasza Klepki. W rozdziale 12 zaprezentowano wyniki pomiaru siły przeciągania mierzonej w osi przemieszczania się mikrokabla światłowodowego podczas jego przeciągania przez osłonę poliolefinową. Ostateczną weryfikację skuteczności przyjętych rozwiązań w zakresie technologii przeciągania mikrokabli w osłonie oraz doboru odpowiednich powłok ślizgowych przeprowadzono za pomocą badania jakości sygnału optycznego metodą reflektometryczną (rozdział 13). Wyznaczono charakterystyki gęstości widmowej mocy od długości fali promieniowania. Wielokryterialną analizę uzyskanych wyników Doktorant przedstawił w rozdziale 14. Obok szeregu analiz statystycznych oraz próby matematycznego określenia linii trendu dla każdej próby przeciągania, do oceny efektywności działania powłoki ślizgowej zaproponowano współczynnik WZEPŚ. Stwierdzam, że jest to bardzo wartościowy fragment pracy, w którym Kandydat wykazał się umiejętnością oceny uzyskanych wyników w kontekście postawionych celów i hipotezy badawczej.

Biorąc pod uwagę zakres i jakość zrealizowanych badań doświadczalnych, wzmocniony dobrym przeglądem literatury i badaniami wstępnymi stwierdzam, że rozprawa doktorska

wykazuje umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora.

Stwierdzam także, że Autor pozytywnie zweryfikował postawione cele, a przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Zaprezentowane wyniki mają znaczenie nie tylko poznawcze, ale także użyteczne, bardzo istotne z punktu widzenia praktyki przemysłowej w zakresie układania i jakości przesyłania danych za pomocą kabli światłowodowych.

## 5. Uwagi krytyczne oraz o charakterze dyskusyjnym

W trakcie lektury treści rozprawy sformułowano się nieliczne uwagi krytyczne dotyczące jej strony merytorycznej, a także zauważono błędy stylistyczne i interpunkcyjne. Poniżej zostały one scharakteryzowane w podpunktach:

- a) Dwukrotnie przedstawiono cele rozprawy (str. 9 i 75). Mam wrażenie, że cele naukowe zawarte na stronie 75 uwzględniają wyniki badań wstępnych (rozdział 6) i dotyczą w gruncie rzeczy realizacji części doświadczalnej. To można uznać za logiczne i poprawne, ale dlaczego cel użyteczny ze strony 75 jest powtórzeniem zapisu ze wstępu pracy?
- b) Dyskusyjne jest formułowanie tezy w rozprawie doktorskiej o charakterze doświadczalnym. W moim odczuciu postawiona przez Kandydata teza badawcza nie wymaga udowodnienia na drodze eksperymentalnej. Poza tym zawiera niejednoznaczne określenia w zakresie powłoki ślizgowej (na jakim wytworze ma zostać naniesiona) oraz siły potrzebnej do wprowadzenia mikrokabla do osłony (precyzyjniej siły przeciągania). Uważam, że w tym przypadku wystarczające jest przedstawienie hipotezy oraz celów naukowych i użytecznych rozprawy.
- c) W jakim celu w fazie projektowania głowicy do powlekania mikrokabli użyto programu do symulacji procesu wtryskiwania Cadmould (str. 85)? W jaki sposób zamodelowano cechy materiału? W jakim stopniu wyniki symulacji przyczyniły się do modyfikacji konstrukcji kanałów głowicy, którymi rozprowadzano lakier do powlekania mikrokabli?
- d) str. 89 – w9↓ - zdanie jest uproszczoną wersją informacji o czynnikach zmiennych procesu powlekania. W moim przekonaniu informacje zawarte na stronie 88 powinny zostać przesunięte do podpunktu 10.1 – Program badania. Jednocześnie w podpunkcie 10.3 powrócono kolejny raz do tych czynników zmiennych, ale

zauważono bardzo istotną zmianę wartości w zakresie zaprogramowanej odległości dyszy głowicy od powierzchni mikrokabla. Proszę o wyjaśnienie przyczyny powstania tej nieścisłości.

- e) Analiza uzyskanych obserwacji mikroskopowych jest w swoim zamyśle słuszna, ale brakuje na przedstawionych obrazach wartości powiększenia. Słusznie zakwalifikowano do dalszych prób wariant LP-V50-0,35, jednak w przypadku zastosowania lakieru silikonowego w wariacie LS-V20-0,5 uzyskano ocenę łączną tylko nieznacznie niższą (4,78). Co było powodem rezygnacji w dalszych badaniach z tego lakieru?
- f) Autor nie wspomniał w rozprawie o materiale, z którego wykonano osłonę zewnętrzną mikrokabla. Jest to bardzo istotne z punktu widzenia oceny adhezji pomiędzy naniesioną dodatkowo warstwą lakieru, a powierzchnią zewnętrzną mikrokabla. W tym kontekście, brak opisów dotyczących określonych wartości (od 1 do 5) dla zdefiniowanych kryteriów oceny skuteczności powlekania (tabela 11 str. 90-92) jest pewnym niedopatrzeniem metodycznym. Na podstawie przykładowych zdjęć z tabeli 12 trudno ocenić poprawność dokonanych wyborów. Jaka jest różnica pomiędzy powtarzalnością wymiarów i geometrii naniesionych powłok (właściwie ścieżek – kolumna 3 tab. 11), a powierzchnią przylegania warstwy do powierzchni mikrokabla (kolumna 5 tab. 11)? Jaka jest przyczyna generalnie słabej adhezji dodatkowej powłoki lakierniczej do powierzchni mikrokabla?
- g) Jak można wytłumaczyć inne obrazowanie na wykresach zmian siły przeciągania mikrokabla przez powłokę ochronną umiejscowioną w pętli o dużej i małej średnicy?
- h) W opisie metodycznym dotyczącym pomiaru jakości przesyłanego przez światłowody sygnału (podrozdział 13.3) nie podano całkowitej długości badanego mikrokabla. Do oceny tego ważnego parametru jakościowego Doktorant użył metody reflektometrycznej, a wyniki zamieszczono w postaci krzywych gęstości mocy optycznej. Proszę o obszerniejsze niż w pracy, wyjaśnienie w jaki sposób realizowano pomiary i jak analizowano różnice w wynikach.

Praca jest napisana na dobrym poziomie edytorskim, ale jej Autor nie ustrzegł się pewnych błędów redakcyjnych, stylistycznych oraz interpunkcyjnych. W celu eliminacji tych drobnych uchybień w dalszych pracach, poniżej przedstawiono najważniejsze z nich:

- a) tytuł rozprawy pojawił się dwukrotnie na kolejnych stronach;

- b) wykaz skrótów i jednostek zawiera dwa oznaczenia długości (L i l) i średnicy (d, D). Jeśli jest to zamierzone to powinno się dookreślić te wielkości. Spadek ciśnienia powinien zawierać jednostkę;
- c) rys. 14 strona 19 – czarny prostokąt zamiast sposobu propagacji światła w światłowodzie;
- d) str. 74 w2↑ - zdanie wymaga przeredagowania;
- e) str. 78 w6↑ - jest *wytarzania*, powinno być *wytwarzania*;
- f) str. 78 w10↓ - zdanie wymaga przeredagowania, powtarza się w nim zespół słów w kontekście krótkiego czasu sieciowania;
- g) str. 79 w11↑ - zdanie zawiera błędy stylistyczne; powinno być „*Lakier polimerowy.....został otrzymany z mieszaniny żywic epoksydowych....*”;
- h) str. 79 rys. 53 – przypadku rozprawy naukowej, połączenie wzorów strukturalnych związków chemicznych z grafiką obrazującą, jak się domyślam, żywice epoksydowe uważam za niewłaściwe;
- i) str. 79 w2↓ - zawartość U-DM w ilości 1%...20% objętościowo czy masowo?
- j) str. 81 w8↓ - w rozprawach naukowych nie powinno używać się określeń *drastyczne obniżenie*;
- k) str. 83 w6↑ - siła tarcia, są różne jej wartości, zamiast styku proponuję powierzchnia zetknięcia..., naniesienie powłoki nieciągłej w postaci 4 wstęg (punkty tylko w przekroju)
- l) str. 84 podpis pod rysunkiem 59 zamiast „*Wygląd projektu...frezowanej*” - Projekt eksperymentalnej głowicy powlekającej. Podobnie podpis pod rys. 61;
- m) str. 86 - wydaje mi się, że na rys. 62 przedstawiono projekt numeryczny głowicy wykonanej metodą frezowania, a nie jej rzeczywisty widok;
- n) str. 87 rys. 64 – zdjęcie słabej jakości, według mnie obrazuje zewnętrzny fragment tunelu, w którym następowało ostateczne sieciowanie dodatkowej, nieciągłej powłoki ślizgowej naniesionej na zewnętrznej osłonie mikrokabla;
- o) str. 89 – w9↓ - zdanie jest uproszczoną wersją informacji o czynnikach zmiennych procesu powlekania. W moim przekonaniu informacje zawarte na stronie 88 powinny zostać przesunięte do podpunktu 10.1 – Program badania
- p) str. 95 – w9↓ - niefortunne określenie „*w celu skończonego sieciowania*”;
- q) str. 99 – w7↓ - niewłaściwa składnia – lepiej dostępna na rynku powłoka PTFE, która zmniejsza tarcie ślizgowe;



- r) kilka rysunków (np. rys. 70, 71 78, 80, 82, 84, 86, 88 etc.) ma niewłaściwie dobrany zakres wartości na osi rzędnych, co może prowadzić do formułowania błędnych wniosków;
- s) str. 122 rys. 107 – można było zaznaczyć, przywołane w tekście na stronie 121 elementy składowe stanowiska do badania jakości przesyłanego sygnału w światłowodzie;
- t) rysunek 130 na stronie 148 trudny do analizy ze względu na jego rozmiar;
- u) str. 152 w3↑ ÷ w6↑ - zdanie wymaga korekty stylistycznej, krzywe nie mogą być takie same, a jedynie charakter zmienności i wartości mogą być zbliżone;
- v) str. 152 w8↑ - błędnie pod względem stylistycznym sformułowano pierwsze zdanie w podrozdziale 14.3. *Weryfikacja hipotezy*. Dotyczy to określić: „*badania nad warstwami ślizgowymi*” oraz „*stwierdzono następujące:*”;
- w) str. 157 – w spisie literatury zastosowano odmienną od treści rozprawy czcionkę o większą wielkość; pozycja 122 bibliografii niekompletny opis; pozycje 135, 138, 140 etc. rok wydania w nawiasie, co jest niezgodne z pozostałymi;
- x) błędy interpunkcyjne – między innymi - str. 78 w9↓; str. 83 w8↓; str. 84w3↓; str. 96 w1↓.

Dorobek naukowy mgr. inż. Sebastiana Białasza obejmuje dziesięć prac naukowych oraz sześć patentów i jeden wzór użytkowy. Dwa artykuły zostały opublikowane w czasopiśmie z listy ministerialnej (*Advances in Science and Technology Research Journal* - 100 pkt. MNiSW). Stwierdzam, że zgodnie z obowiązującymi zapisami ustawowymi, Doktorant wypełnił warunki stawiane kandydatom ubiegającym się o nadanie stopnia doktora w tym zakresie.

## 6. Podsumowanie

Po analizie treści zawartych w rozprawie doktorskiej mgr. inż. Sebastiana Białasza pt.: „*Wpływ warstwy ślizgowej na poprawę efektywności wprowadzania mikrokabla światłowodowego do osłony z tworzywa*” stwierdzam, że Kandydat prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie inżynieria mechaniczna oraz wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Autor pozytywnie zweryfikował postawione cele i hipotezę badawczą, a przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu

naukowego. Zaprezentowane wyniki mają znaczenie nie tylko poznawcze, ale także użyteczne, istotne z punktu widzenia praktyki przemysłowej.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Sebastiana Białasza pt.: „*Wpływ warstwy ślizgowej na poprawę efektywności wprowadzania mikrokabla światłowodowego do osłony z tworzywa*”, spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom promocyjnym na stopień doktora w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, a które zostały określone w obowiązującej Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym (tekst jednolity Dz. U. z 2023 poz. 742 z późn. zm.)

Na tej podstawie stawiam wniosek do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Mechanicznej Politechniki Lubelskiej o dopuszczenie mgr. inż. Sebastiana Białasza do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.



Bydgoszcz, 18.01.2024 r.