

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Angeliki Winkler zatytułowanej „**Obróbka plazmowa elektroprzędzonych nanowłókien dla zastosowań medycznych**” wykonanej na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Wrocławskiej z dnia 16 maja 2022 roku (74/RDN\_AEE/2022)

### 1. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Angeliki Winkler pt. „Obróbka plazmowa elektroprzędzonych nanowłókien dla zastosowań medycznych” liczy 135 stron i obejmuje: streszczenie rozprawy w języku polskim i angielskim, wykaz użytych skrótów i symboli, zasadniczy tekst rozprawy w siedmiu rozdziałach oraz bibliografię (320 pozycji). Rozprawa zawiera również 65 załączników.

W pierwszym rozdziale (Wprowadzenie) Autorka umiejscawia problematykę rozprawy w szerszym kontekście, omawiając, chronologicznie, rozwój badań naukowych w zakresie wytwarzania nanowłókien metodą elektrospiningu oraz ich potencjalnych zastosowań w materiałach medycznych, wskazując na znaczny wzrost liczby opracowań naukowych i patentów w ostatnim dziesięcioleciu. Wśród metod modyfikacji właściwości gotowych nanowłókien Autorka zwraca uwagę na możliwość wykorzystania w tym celu plazmy nietermicznej, uzasadniając tym samym celowość podjęcia tematu.

W drugim rozdziale omawiane są zagadnienia związane z procesami elektrostatycznego przędzenia włókien. Na podstawie danych literaturowych opisano opracowane dotychczas metody wytwarzania włókien oraz przeanalizowano wpływ podstawowych parametrów procesu elektroprzędzenia na właściwości otrzymywanych włókien. Analizowano wpływ właściwości samego roztworu polimeru, jak również znaczenie charakterystycznych zmiennych procesu (wartość napięcia zasilającego, szybkość dozowania roztworu i odległość między kapilarą a kolektorem) na parametry fizyczne otrzymywanych włókien. Rozdział kończy się omówieniem potencjalnych możliwości zastosowań medycznych elektroprzędzonych nanowłókien polimerowych.

W rozdziale trzecim, w oparciu o źródła literaturowe, omawiane są zagadnienia związane z modyfikacją plazmową. Obejmują one klasyfikację plazmy, sposoby generacji plazmy nietermicznej, ze szczególnym uwzględnieniem wyładowań barierowych, potencjalne zastosowania plazmy nietermicznej, w tym zastosowania w medycynie. W ostatnim podrozdziale omówiony jest wpływ modyfikacji plazmowej na właściwości nanowłókien polimerowych.

Teza, cel i zakres pracy zostały określone w rozdziale czwartym. Teza pracy została sformułowana na podstawie danych literaturowych i wcześniejszych, własnych badań naukowych Autorki. W sformułowaniu tezy wskazuje się na możliwość wykorzystania plazmy nietermicznej do powierzchniowej modyfikacji właściwości nanowłókien polimerowych oraz właściwości fizycznych domieszek i domieszkowanych nanowłókien. Jako cel pracy wskazano opanowanie techniki przędzenia nanowłókien istotnych z punktu widzenia zastosowań medycznych oraz zbadanie możliwości modyfikacji ich właściwości za pomocą powierzchniowej obróbki plazmą

nietermiczną. Tak postawione teza i cel pracy określiły zakres badań, który obejmował opracowanie układu do elektroprzędzenia (wraz z wyborem zmiennych procesowych), sposobu modyfikacji powierzchni nanowłókien w reaktorze z barierą dielektryczną oraz oceny wpływu obróbki plazmowej na parametry fizyko-chemiczne i biologiczne. Przyjęto również zestaw badanych parametrów istotnych ze względu na potencjalne zastosowania medyczne.

W rozdziale piątym scharakteryzowano materiały, które były przedmiotem badań oraz opisano zastosowane metody i procedury badawcze. Procedury wymagające specjalistycznej wiedzy spoza szeroko pojętej elektrotechniki, zostały opracowane przez innych pracowników naukowych.

Szósty, najbardziej obszerny rozdział zawiera wyniki pomiarów określających wpływ modyfikacji plazmowej na właściwości badanych materiałów. Wyniki te poddawane są wstępnej analizie i konfrontacji z wynikami uzyskiwanymi przez innych autorów.

Ostatni rozdział - „Podsumowanie i wnioski końcowe” - zawiera syntetyczny opis uzyskanych wyników oraz stwierdzenie o udowodnieniu tez rozprawy.

### **Ocena najważniejszych osiągnięć kandydatki**

Doktorantka w swojej rozprawie podjęła aktualny, interdyscyplinarny temat związany z poszukiwaniem nowych materiałów o specyficznych właściwościach, potencjalnie istotnych dla zastosowań w medycynie. Badaniom poddano nowoczesne materiały w postaci nanowłókien, uzyskiwane metodą elektroprzędzenia. Tak uformowane materiały poddawane były następnie działaniu niskotermicznej plazmy w skonstruowanym reaktorze plazmowym, przy wykorzystaniu efektu wyładowania barierowego, w celu sprawdzenia możliwości modyfikacji wybranych, pożądaných właściwości materiałów.

Realizacja programu badań wymagała od Doktorantki opanowania procedur związanych z zarówno z samym procesem elektroprzędzenia, jak i procesem modyfikacji właściwości materiałów w reaktorze z barierą dielektryczną.

Dla uzyskania pożądaney struktury elektroprzędzonych nanowłókien konieczne było ustalenie zakresu zmiennych procesowych, takich jak napięcie zasilające kapilarę, szybkość dozowania roztworu, oraz odległość między kapilarą ekranem zbierającym. Równie istotne było określenie napięć rozpoczęcia i zakończenia procesu elektroprzędzenia. W mojej ocenie zaproponowana procedura, w tym wybór zmiennych procesowych, została określona prawidłowo.

W części dotyczącej wpływu obróbki plazmowej na właściwości materiałów z włókien elektroprzędzonych Doktorantka przedstawiła obszerny materiał badawczy, na podstawie którego dokonuje wieloaspektowej analizy wpływu modyfikacji plazmowej na właściwości materiałów. Realizacja badań wymagała od Doktorantki opanowania wielu nowoczesnych technik badawczych. Część wyników badań potwierdziła zależności uzyskane wcześniej przez innych autorów, jednak pewna część jest oryginalnym osiągnięciem Doktorantki.

Kolejnym elementem podlegającym ocenie był sposób interpretacji i walidacji wyników pomiarowych. Stwierdzam, że Doktorantka wykazała się należyłą starannością przy wykonywaniu i analizie wyników badań oraz wnikliwością i ostrożnością w formułowaniu wniosków, podając prawdopodobne i przekonujące przyczyny możliwych zmian właściwości materiałów pod wpływem wyładowań barierowych, wskazując jednocześnie na ich znaczenie dla zastosowań medycznych.

Na uwagę zasługuje wyjątkowo obszerna i prawidłowo dobrana literatura. Niemal każdy fakt naukowy, zarówno w części prowadzącej do sformułowania tez pracy, jak i przypadku analizy wyników pomiarowych, poparty jest odpowiednimi odnośnikami do literatury. Świadczy to o dogłębnej znajomości rozważanej, interdyscyplinarnej problematyki oraz umiejętności korzystania z materiałów źródłowych. Jednocześnie, z uwagi na zakres rozważanych problemów, rozprawa ma duże walory poznawcze. W mojej ocenie, rozprawa ma duży „potencjał” publikacyjny, co jednak jeszcze nie znajduje pełnego potwierdzenia w zakresie publikacji przedstawionych do oceny.

## Uwagi dyskusyjne, krytyczne oraz pytania

1. Wnioski zamieszczone w rozdziale „Podsumowanie i wnioski końcowe” dotyczą wielu aspektów szerokiego zakresu badań. Chciałbym, aby Autorka określiła, który z uzyskanych wyników uważa za najbardziej wartościowe pod względem naukowym i aplikacyjnym.
2. W tekście nie znalazłem informacji, jakie były kryteria wyboru materiałów do badań.
3. Str. 23 Jak rozumieć zdanie „...nadmierny wzrost napięcia może doprowadzić do wytworzenia włókien o większych średnicach na skutek wzrostu długości strumienia roztworu.”
4. W wyprowadzeniu wzoru (5.5)  $U(t)$  oznacza napięcie zasilające elektrody reaktora, natomiast układ pomiarowy przedstawiony na rys. 5.2 sugeruje, że napięcie  $U(t)$  zasilające elektrodę wysokonapięciową mierzone jest względem ziemi. Czy zostało to uwzględnione przy opracowywaniu wyników badań?
5. Czy Doktorantka rozważała możliwość prostego pomiaru zaniku gęstości ładunku powierzchniowego po procesie oddziaływania plazmy. Recenzent zdaje sobie sprawę z ograniczeń związanych ze wartością zmierzonej rezystywności warstwy, zasilaniem reaktora wysokoczęstotliwościowym impulsem napięcia zmiennego itp., jednak zjawiska w trakcie oddziaływania plazmy nie są symetryczne względem biegunowości napięcia względem ziemi.
6. W rozprawie często pojawiają się niepotrzebne powtórzenia. Dotyczą one głównie określania warunków pomiaru i zmiennych procesowych. I tak, np. na wielokrotnie w tekście podawane są parametry przy których uzyskiwano plazmę, a te parametry były niezmiennie w całym ciągu pomiarów.
7. Postawienie znaku równości w wyrażeniu  $1 \text{ eV} = 11600 \text{ K}$  uważam za błąd. Można tu jedynie mówić o relacji odpowiedności, choć zdaję sobie sprawę, że relacja równości spotykana jest w literaturze przedmiotu. Podobne zastrzeżenie można mieć do oznaczenia osi pionowej na rys. 3.2 – elektronowolt jest jednostką energii, a nie temperatury. Jakie jest zdanie Doktorantki na ten temat?
8. W wielu miejscach nieprawidłowo użyto terminu „regulacja”. W trakcie wykonywania pomiarów zmienne procesowe miały stałą wartość.
9. W wielu miejscach (np.str.67,68,83) Autorka używa wyrażenia „badania własne”, co może sugerować, że inne wyniki nie są „własne”. Prawidłowe użycie tego przymiotnika możemy znaleźć np. na str. 89.
10. Str. 73. „Wpłw...był tożsamy z zależnościami”. Poza samą gramatyką, należałoby tu użyć określenia „podobny”.
11. Str. 78 źle wstawiony nawias (SQ-U).

## Podsumowanie i wniosek końcowy

Istotność i aktualność podejmowanych w rozprawie zagadnień wynika z rozwoju technologii materiałów o średnicach submikronowych i manometrycznych. Nanometryczne materiały uzyskiwane metodą elektroprzędzenia mogą wykazywać pożądane właściwości dla zastosowań medycznych, nieosiągalne dla innych stosowanych materiałów. Właściwości te mogą być dodatkowo modyfikowane metodą powierzchniowej obróbki plazmą niskotermiczną, która jest metodą prostą i szybką i może stanowić alternatywę dla chemicznych metod modyfikacji.

Przy realizacji zadań Doktorantka wykazała się dużym zasobem wiedzy w zakresie rozważanej, interdyscyplinarnej problematyki oraz należyтым podejściem do realizacji procesu badawczego, wymagającego zarówno opanowania zaawansowanych technik badawczych, jak i prawidłowego doboru procedur badawczych. Świadczy to o dobrym przygotowaniu Doktorantki do prowadzenia samodzielnych badań naukowych. Moje uwagi często mają charakter subiektywny bądź są drugorzędne i nie podważają mojej wysokiej oceny rozprawy.

Uzyskane wyniki prac potwierdzają słuszność postawionych w pracy tez, przedstawionych w rozdziale 4 tez rozprawy.

Tematyka rozprawy i osiągnięcia naukowe Doktorantki w zakresie uzyskiwania i modyfikacji plazmowej elektroprzędzonych nanowłókien lokują się w specjalności elektrotechnologia w zakresie dyscypliny elektrotechnika w dziedzinie nauk technicznych. Z tego względu osiągnięcia naukowe Doktorantki merytorycznie mieszczą się w zakresie dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych.

Reasumując, stwierdzam, że oceniana rozprawa doktorska mgr inż. **Angeliki Winkler** spełnia kryteria oceny określone dla rozpraw doktorskich w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z dnia 21.06.2016 r. poz.882).

Wniosuję o dopuszczenie przedstawionej rozprawy do dalszych kroków w procedurze nadawania stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych.

