

Prof. dr hab. inż. Piotr Jasiński  
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji  
i Informatyki  
Politechnika Gdańska  
ul. Narutowicza 11/12  
80-233 Gdańsk

Recenzja rozprawy doktorskiej mgra inż. Andrzeja Peplowskiego  
pt. „Drukowane czujniki potencjometryczne do monitorowania pH w leczeniu ran”

Pismem Dziekana Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej WMt.521.8.2019 z dnia 2.04.2019 r. otrzymałem do recenzji rozprawę doktorską mgra inż. Andrzeja Peplowskiego pt. „Drukowane czujniki potencjometryczne do monitorowania pH w leczeniu ran”. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Małgorzata Jakubowska.

Rozprawa jest napisana po polsku i składa się z jedenastu rozdziałów - w sumie 113 stron maszynopisu. Dwa rozdziały (rozdział 3 i 4) stanowią odpowiednio wprowadzenie do tematyki rozprawy oraz stan wiedzy dotyczący metod pomiaru pH. Rozdział 5 opisuje cel pracy. Rozdziały 6, 7, 8 i 9 stanowią zasadniczą część rozprawy (w sumie ponad 57 stron maszynopisu) i są związane z uzyskanymi wynikami Autora rozprawy. Pozostałe rozdziały to streszczenie, wykaz skrótów, podsumowanie i bibliografia.

#### *Problem naukowy rozprawy*

W streszczeniu pracy doktorskiej Autor pisze, że przedmiotem rozprawy doktorskiej jest opracowanie technologii wytwarzania elektrod wskaźnikowych i odniesienia, które można zastosować do pomiaru pH bezpośrednio na powierzchni rany.

Problem naukowy rozprawy jest zatem postawiony jednoznacznie i jest związany z potrzebą opracowania narzędzia diagnostycznego do badania leczenia ran bez konieczności zdejmowania opatrunku i pobierania próbki do badania. Należy w tym miejscu recenzji zauważyć, że Autor rozprawy nie postawił hipotezy badawczej. Jednak dobrze zdefiniował parametry czujników pH, które są wymagane dla tego zastosowania.

### *Podejście Autora do osiągnięcia celów pracy*

Autor do osiągnięcia celów pracy podjął się przygotowania metodą sitodruku i przebadania elektrod wskaźnikowych na bazie RuO<sub>2</sub>, nanorurek węglowych, grafenu i ich kompozytów oraz elektrody referencyjnej na bazie Ag/AgCl oraz przygotowania włókien opatrunkowych jako elektrod wskaźnikowych i referencyjnych na bazie odpowiednio tlenku rutenu z grafenem oraz srebra. Głównym narzędziem weryfikującym skuteczność pracy elektrod były pomiary elektryczne w roztworach o regulowanym pH i pomiarach referencyjnych z użyciem konwencjonalnych elektrod szklanych. Elektrody były poddane testom naświetlania UV oraz odporności na zginanie. Ponadto, Autor rozprawy podjął się weryfikacji działania elektrod włóknowych na materiale biologicznym. Według mnie, podejście Autora do realizacji celów jest prawidłowe. W rozprawie można znaleźć również opis układu elektronicznego do bezprzewodowego przesyłania zmierzonych danych do telefonu komórkowego. W tym zakresie uważam, że wysiłki Autora rozprawy mają raczej charakter inżynierski, a nie naukowy i jedynie wzbogacają rozprawę.

### *Aktualność tematyki rozprawy*

Rozprawa dotyczy konstrukcji i weryfikacji działania nakładanych bezpośrednio na ranę elektrod do pomiaru pH. Szerzej tematyka wpisuje się w bardzo aktualnie popularny temat elektroniki noszonej lub technologii noszonej (ang. wearable technology), która jest częścią rozwiązań zwanych „Przemysłem 4.0” lub „Internetem Rzeczy” (IoT). Jest to jednocześnie najtrudniejszy element tych systemów, gdyż dotyczy elementu czujnikowego. Uważam, że tematyka rozprawy jest aktualna i wpisuje się w bardzo popularne rozwiązania IoT.

### *Rozprawa na tle współczesnych doniesień literatury*

W rozprawie Autor cytuje ponad 200 pozycji literaturowych, z czego jedynie w jednej pozycji jest współautorem. Zapewne jest to związane z przeoczeniem, gdyż Autor rozprawy jest współautorem większej ilości publikacji związanych z tematem rozprawy. Większość cytowanych pozycji literaturowych pochodzi z okresu ostatnich 10 lat. W bibliografii znaleźć można również pozycje starsze, które należą do kanonu tematyki (np. prace B.E. Conwaya, P. Bergverda czy K.S. Novoselov). Uważam, że cytowania są właściwie dobrane i świadczą o

dobrej wiedzy Autora i znajomości współczesnej literatury z dyscypliny naukowej dotyczącej rozprawy.

#### *Wady, słabe strony rozprawy oraz inne uwagi*

W pracy nie zauważyłem błędów merytorycznych. Poniższe uwagi mają charakter uściślający.

Autor na większości rysunków wyników własnych przedstawia niepewność pomiarową (niepewność wartości) umieszczoną na podstawie obliczonego odchylenia. Należy za to Autora rozprawy pochwalić, gdyż bardzo często aspekt metrologiczny jest pomijany w tego typu opracowaniach. Jednak jedynie w kilku miejscach autor wskazuje, że niepewność była liczona dla 5 czujników. Dlatego proszę o doprecyzowanie sposobu jego liczenia – na podstawie ilu czujników i pomiarów, czy był wykorzystany rozkład normalny czy Studenta? Na rysunku 9.9 Autor rozprawy rysuje na niebiesko przedział 95,5% pewności pomiarowej. Z czego wynikają tak duże niepewności przy zmianach pH roztworu? Czy to wynika z nierównomiernego pH wokół 5 elektrod wskaźnikowych przyjętych do uśrednienia? Jeżeli tak, czy to właściwy sposób obliczania, gdyż wynika raczej z niedoskonałości eksperymentu, a nie właściwości metrologicznych elektrod wskaźnikowych.

Na stronie 54 Autor wskazuje, że właściwości elektryczne materiałów (nanopłatków grafenowych) mają najistotniejsze znaczenie dla rozwiązania projektowego. Czy można prosić o szersze przedyskutowanie tego aspektu podczas obrony? Czy można wskazać minimalną przewodność elektryczną materiału, aby można byłoby zbudować z niego elektrodę pH.

Jeżeli chodzi o edytorską stronę rozprawy, to ogólnie zasługuje na pochwałę. Rozprawa doktorska jest napisana ładnym językiem, zaś rysunki są czytelne i wykonane z dużą starannością. Autor rozprawy nie ustrzegł się kilku błędów edytorskich, np. na stronie 40 zdanie jest niedokończone, lub od rysunku 6.4 odnośniki w tekście do rysunków mają przekłamane numery. Nie umniejsza to rozprawie, gdyż takie pomyłki mają prawo się znaleźć w tak obszernej monografii.

#### *Oryginalny dorobek Autora*

Do oryginalnego dorobku Autora zaliczam:

- przygotowanie i przebadanie różnych czujników wskaźnikowych i referencyjnych;
- zaproponowanie i przebadanie elektrod włóknowych do pomiaru pH ran;

- zaproponowanie zastosowania teorii perkolacji do modelowania przewodności kompozytów oraz na jej podstawie wyjaśnienie zjawiska wzrostu czułości elektrod kompozytowych pod wpływem promieniowania UV;
- zbadanie odporności elektrod na wielokrotne odkształcenia mechaniczne oraz zaproponowanie i przygotowanie elektrod włóknowych opartych na roztworze poliuretanu termoplastycznego, który poprawił stabilność elektrod na odkształcenia mechaniczne.

Nieodzownym wymaganiem stawianym przed kandydatem do stopnia doktora jest publikacja wyników prac w literaturze specjalistycznej. Autor rozprawy posiada szereg publikacji prezentujących wyniki swoich badań, w tym w Journal of Sensors (Hidawi, IF=2,057), Circuit World (Emerald, IF=0,404), Sensors Letters (American Scientific Publishers, IF=brak), Nanomaterials (MDPI, IF=3,504). W 3 z tych 4 publikacji jest współautorem wiodącym. Ponadto, jest współautorem wiodącym w 4 publikacjach pokonferencyjnych nieindeksowanych w bazie Web of Science. Zatem Autor rozprawy wykazał się znaczącym dorobkiem publikacyjnym, który potwierdza dojrzałość naukową i przygotowanie do samodzielnej pracy naukowej.

#### *Podsumowanie*

Uważam, że rozprawa spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim i wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony. Ponadto, biorąc pod uwagę dorobek publikacyjny Autora wnioskuję o jej wyróżnienie.

Gdańsk, 17.05.2019 r.



Piotr Jasiński