

Dr hab. inż. Artur Wymysłowski, prof. PWr.
Zakład Technologii Aparatury Elektronicznej
Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki
Politechnika Wrocławska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra PROKARYNA „Technologia syntezy, obróbki i funkcjonalizacji polianiliny dla wytwarzania biomedycznych mikrosystemów analitycznych”

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr. inż. Piotra Prokaryna mieści się w tematyce związanej z biomedycznymi systemami analitycznymi w zakresie poszukiwania nowych materiałów i technologii, głównie wśród materiałów polimerowych przewodzących prąd elektryczny. Praca ma charakter interdyscyplinarny, a jej realizacja wymagała umiejętności wykorzystania i praktycznego zastosowania wiedzy, technik i technologii z takich dziedzin jak inżynieria materiałowa, mikroelektronika, biomedycyna, chemia. Prace o charakterze interdyscyplinarnym są jedną z najszybciej i najprężniej rozwijających się gałęzi we współczesnej inżynierii i nauce, a liczba prac doktorskich mających charakter interdyscyplinarny, szczególnie z pogranicza mikro i nanoelektroniki, chemii, medycyny i inżynierii materiałowej rośnie z każdym rokiem. Prace takie są najczęściej realizowane przez duże zespoły badawcze, posiadające szerokie zaplecze technologiczne, zaawansowaną aparaturę pomiarową, kadrę o dużym doświadczeniu i prowadzące współpracę z krajowymi i zagranicznymi jednostkami naukowymi. Tak się też stało w przypadku przedłożonej do oceny rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra Prokaryna. Praca została zrealizowana w wiodącej jednostce naukowo-badawczej, tj. Instytucie Technologii Elektronowej w Warszawie. Głównym tematem pracy było opracowanie technologii oraz wykonanie demonstratora do oznaczania stężenia wybranych analitów z użyciem sfunkcjonalizowanych elektrod wykonanych z polianiliny, jako materiału polimerowego przewodzącego prąd elektryczny. Nie ulega wątpliwości, że doktorant podjął się bardzo ambitnego zadania, szczególnie że jednym z założeń było zapewnienie zgodności, obróbki i funkcjonalizacji materiału polimerowego, z technologiami półprzewodnikowymi. Realizacja pracy wymagała dużej dyscypliny, zaangażowania oraz umiejętności współpracy ze specjalistami z różnych dziedzin. Doktorant wywiązał z tego zadania, a wynikiem realizacji pracy był wykonany demonstrator. Jednocześnie należy podkreślić, że udział i wkład doktoranta w rozwiązanie postawionego zadania naukowo-badawczego był bardzo istotny, czego podsumowaniem jest przygotowana rozprawa doktorska.

Rozprawa doktorska mgr. inż. Piotra PROKARYNA liczy 168 stron, składa się z 11 rozdziałów oraz spisu literatury. Doktorant powołuje się w pracy na 96 pozycji literaturowych, w tym cytowany w pracy dorobek naukowy autora stanowi 25 prac krajowych i zagranicznych. Na podkreślenie zasługuje fakt, że w przypadku 4 prac doktorant jest ich pierwszym autorem, co świadczy o jego znaczącym wkładzie oraz samodzielności naukowo-badawczej. Ogółem dorobek naukowy doktoranta to 10 artykułów znajdujących się na liście filadelfijskiej, 26 artykułów krajowych i zagranicznych, 49 artykułów zamieszczonych w materiałach konferencyjnych, 5 zgłoszeń patentowych oraz 3 przyznane patenty. Aktualny indeks Hirscha wynosi 5.

Tak jak w każdej pracy doktorskiej, istotnym punktem jest wyeksponowanie tezy pracy lub jej celu. W przypadku przedstawionej do oceny rozprawy doktorant zdecydował się na zaprezentowanie celu pracy jako opracowania technologii syntezy, obróbki i funkcjonalizacji polianiliny dla wytwarzania biomedycznych mikrosystemów analitycznych, a tym samym "przetarcia ścieżki technologiczno-pomiarowej", która może być zastosowana dla innych materiałów polimerowych. Osiągnięcie tak przedstawionego celu zostało przedstawione w rozprawie doktorskiej w postaci realizacji trzech etapów pracy:

1. Części teoretycznej zawierającej przegląd wiedzy z zakresu realizowanej rozprawy doktorskiej
2. Części eksperymentalnej, dotyczącej problemów technologicznych i metod pomiarowych dla polianiliny, jako obiecującego materiału polimerowego.
3. Części praktycznej, dotyczącej opracowania, wykonania oraz badań laboratoryjnych demonstratora.

W części teoretycznej (rozdziały od 1 do 5) doktorant zamieścił wstęp z opisem celu pracy oraz przedstawił zakres problemów naukowo-badawczych rozprawy w postaci zarysowania podjętego problemu na tle aktualnie prowadzonych badań w dziedzinie materiałów polimerowych i ich zastosowania jako sfunkcjonalizowanych warstw receptorowych w biomedycznych mikrosystemach analitycznych. Objętościowo, część teoretyczna rozprawy stanowi praktycznie połowę jej zawartości. Doktorant bardzo szczegółowo przedstawił i przeanalizował problemy związane z materiałami polimerowymi takie jak: stosowana nomenklatura i systematyka, metody syntezy, w tym mechanizmy i sposoby prowadzenia procesu polimeryzacji. Szczególną uwagę zwrócił na materiały polimerowe charakteryzujące się przewodnictwem elektrycznym. W tym kontekście opisał mechanizmy przewodnictwa elektrycznego materiałów polimerowych oraz sposoby prowadzenia procesu ich syntezy. Następnie przedstawił argumenty za wyborem polianiliny jako materiału do dalszych badań i omówił szczegółowo różne technologie jej syntezy, sposoby kontroli przewodności, kształtowania wzorów i metody funkcjonalizacji. W kolejnym rozdziale doktorant przedstawił przegląd metod analitycznych stosowanych w systemach czujnikowych, wykorzystujących polimery przewodzące jako składniki warstw receptorowych. Doktorant opisuje, m.in. metody optyczne, metody potencjometryczne, metody woltamperometryczne (w tym preferow, w przypadku systemów przepływowych, metodę chronoamperometrii) oraz inne, które są rzadziej stosowane. Na zakończenie części teoretycznej rozprawy doktorant przedstawił opis stosowanych konstrukcji przepływowych układów analitycznych oraz opis swoich doświadczeń w tym zakresie.

Uwagi do części teoretycznej dotyczą następujących problemów:

- jako standardowe materiały czujnikowe wykorzystuje się najczęściej metale, celem pracy było sprawdzenie możliwości zastąpienia ich materiałami polimerowymi, których zaletą może być uwrażliwienie na specyficzne anality. W pracy brak jest jednak wyraźnego przedstawienia przykładów zastosowania takich materiałów na skalę przemysłową, a nie jedynie laboratoryjną,
- jednym z kluczowych parametrów charakteryzujących przydatność materiałów w systemach analitycznych są takie parametry jak selektywność czy czułość – w pracy brak jest porównania tych parametrów dla metali i materiałów polimerowych,
- doktorant wymienia szereg parametrów, jakie powinien spełniać materiał polimerowy, niestety brak w tym zestawie parametrów, które są istotne z punktu widzenia projektowania i funkcjonowania systemów mikroelektronicznych (problem wspomniany na stronie 27), tzn. właściwości termomechaniczne, skurcz chemiczny, higroskopijność, biokompatybilność, czy wytrzymałość na obciążenia / narażenie statyczne i zmienne, itp.,
- doktorant nie wspomina o problemie dotyczącym stopnia polimeryzacji, tj. stosunku cząstek spolimeryzowanych do niespolimeryzowanych i jego wpływu na właściwości warstwy polimeru (np. na stronie 102 poruszony został temat usuwanie niespolimeryzowanego monomeru); wprawdzie na stronie 26 i 36 poruszony został problem wzrostu lepkości i wpływu temperatury na proces polimeryzacji, ale tylko pod kątem szybkości procesu polimeryzacji. Wyjaśnienia wymaga stwierdzenie, że wzrost lepkości prowadzi do przyspieszenia procesu polimeryzacji,
- w części teoretycznej brak jest odniesienia do stosowanych powszechnie metod numerycznych opartych na dynamice molekularnej, a pozwalających na numeryczne projektowanie i prognozowanie właściwości materiałowych oraz samego procesu polimeryzacji, np. budowy przestrzennej, która jest istotną cechą cząstki - izomeria wymieniona na stronie 14 rozprawy, czy steryczność wymieniona na stronie 55 oraz inne związane, np. z funkcjonalizacją polianiliny.

W części eksperymentalnej poświęconej technologii i badaniom właściwości polianiliny (rozdziały od 6 do 8) doktorant przedstawił obszerne wyniki przeprowadzonych testów. Należy podkreślić, że duża część przedstawionych wyników ma charakter nowatorski i wymagała przeprowadzeniu wielu żmudnych procesów technologicznych i zastosowania zaawansowanych metod pomiarowych. Szerokie spektrum przeprowadzonych badań eksperymentalnych dotyczyło następujących problemów: syntezy chemicznej i domieszkowania polianiliny, nakładania warstw polianiliny na podłoża z zachowaniem zgodności z technologiami półprzewodnikowymi – doktorant w tym celu zaprojektował i wykonał system nakładania polianiliny przez wirowanie z kontrolowanym nagrzewaniem lampowym. Kolejnym etapem było formowanie wzorów przy pomocy technologii półprzewodnikowych, w postaci ścieżek przewodzących - w tym celu doktorant zaprojektował i wykonał trzy różne struktury testowe charakteryzujące się innym sposobem nakładania polianiliny na podłoże oraz wykazał możliwość uzyskania ścieżki przewodzącej pomiędzy polianiliną a metalizacją wykonaną ze złota. Doktorant zbadał także możliwość wykonania wzorów z użyciem innych technologii: metody ablacji laserowej dla warstw polianiliny naniesionych na podłoża krzemowe i szklane, metody elektrochemicznej, tzn. elektroosadzania polianiliny na elektrody wykonane ze złota i osadzania z wykorzystaniem zmiennego potencjału. Ostatecznie doktorant zdecydował się na zastosowanie metody elektroosadzania ze zmiennym potencjałem i dodatkowym procesem stabilizacji warstwy - wykonane badania składu chemicznego i topografii powierzchni wykazały, że uzyskane warstwy charakteryzowały się dobrymi parametrami. Następnym etapem było badanie elektrod w różnych konfiguracjach, wykonanych z niesfunkcjonalizowanej polianiliny w celu oznaczania wybranych składników i wyznaczenie krzywych kalibracyjnych uzyskanych z pomiarów woltamperometrycznych – wynikiem przeprowadzonych badań był wybór metody i procedury pomiarowej dla układów przepływowych (oszacowano wartość roboczą potencjału jako 0,45 V tak dla woltamperometrii cyklicznej, jak i docelowo wybranej metody chronoamperometrii). Uzyskane wyniki pozwoliły na porównanie parametrów analitycznych elektrod modyfikowanych polianiliną z elektrodami wykonanymi ze złota – uzyskane wyniki dla woltamperometrii i chronoamperometrii wskazują na uzyskanie wyższej czułości pomiarowej przy niższej wartości potencjału roboczego oraz większych wartości prądów utleniania. Kolejnym etapem badań była próba przeprowadzenia funkcjonalizacji polianiliny w celu oznaczania wybranych analitów - najlepszy wynik uzyskano dla funkcjonalizacji chemicznej poprzez przyłączenie do łańcucha polimerowego grup funkcyjnych, co było możliwe po zastosowaniu odpowiednich zmian autorskich (tj. zastosowanie chlorosrebrowej elektrody odniesienia). Końcowym etapem badań była udana próba regeneracji elektrod modyfikowanych, na przykładzie niesfunkcjonalizowanej polianiliny, w celu ich powtórnego wykorzystania – możliwość regeneracji elektrod jest jednak zależna od wielu czynników i wymaga stosowania się do ściśle określonych procedur.

Uwagi do części eksperymentalnej dotyczą następujących problemów:

- dla systemu nagrzewania lampowego do nanoszenia polianiliny poprzez wirowanie jednym z istotnych problemów był równomierny rozkład temperatury na podłożu – optymalna temperatura została określona na poziomie 70-80 stopni; czy problem gradientu temperatury był rozważany oraz jego wpływu na jakość uzyskanych warstw ?

- część procesów technologicznych prowadzona była w obecności plazmy chlorowej lub tlenowej, co prowadziło do utraty przewodności polianiliny; czy efekt ten można było przewidzieć lub zbadać wcześniej, tzn. jeszcze przed wykonaniem procesów technologicznych ?

- w rozdziale 7.2 doktorant przedstawił pomiary rezystywności / przewodności właściwej ścieżek przewodzących z polianiliny wykonanych metodą ablacji laserowej; czy rezystywność / przewodność właściwa polianiliny wykazuje zależność od temperatury ? Ponadto w kolejnych pomiarach, dotyczy to wszystkich przedstawionych charakterystyk woltamperometrii czy chronoamperometrii, brak jest informacji na temat wartości temperatury, przy jakiej wykonano pomiary ?

- czy krzywe kalibracyjne uzyskane z pomiarów metodą CV, a przedstawione na rysunkach 52, 55 i 57 nie powinny przechodzić przez punkt (0,0) ?

- zgodnie ze stwierdzeniem na stronie 116, że powierzchnia aktywna elektrody modyfikowanej polianiliną wpływa na wartości prądu utleniania, wynikałoby, że gładkość powierzchni jest raczej wadą niż zaletą ?!

- wydaje się, że krzywa kalibracyjna przedstawiona na rysunkach 67 i 74 powinna mieć charakter nieliniowy i lepszym rozwiązaniem byłoby zastosowanie, np. aproksymacji wielomianem drugiego stopnia ?!

W części dotyczącej konstrukcji, wykonania i badania laboratoryjnego demonstratora (rozdziały 9 i 10), doktorant zaprezentował autorskie rozwiązanie przepływowego układu analitycznego ze zintegrowanymi aktywnymi elektrodami z polianiliny. Demonstrator został opracowany na podstawie badań literaturowych oraz własnych doświadczeń autora dotyczących syntezy i modyfikacji własności polianiliny. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt przyjęcia na wstępie procesu projektowania wielu założeń projektowych, które w dużym uproszczeniu można scharakteryzować takimi terminami jak: uniwersalność, miniaturyzacja, przepływowość, modułowość, kompatybilność z technologią półprzewodnikową, przezroczystość, możliwość wielokrotnego wykorzystania, niezawodność, prostota konstrukcji, itp. Doktorant zdecydował się ostatecznie na przepływowy układ pomiarowy z konstrukcją trójelektrodową ze zmodyfikowanymi elektrodami oraz dozowaniem za pomocą pompy strzykawkowej a jako zasadę pomiaru wybrał metodę chronoamperometrii. Elementy konstrukcyjne i struktura kanałowa systemu wykonane zostały w technologii polimerowej. W tym celu skorzystał z pięciu dostępnych komercyjnie materiałów, tj. PDMS, PMMA, silikon, polipropylen i teflon. Podłoże dla elektrod zostały wykonane ze szkła z naniesionymi warstwami pomocniczymi, tj. metalizacją i izolacją elektryczną, w technologii cienkowarstwowej. Realizacja praktyczna układu pomiarowego wymagała zastosowania trzech technik, tj. cięcia struktur szklanych precyzyjną piłą tarczową, zastosowania ablacji laserowej do cięcia, grawerowania i kształtowania wzorów oraz techniki wylewania na formę materiału polimerowego PDMS w celu wykonania otworów przelotowych i wnęki. Kolejnym problemem konstrukcyjnym było zapewnienie szczelności całego układu, którą zrealizowano poprzez zastosowanie takich materiałów jak PDMS i silikon. Końcowym etapem prac było użycie demonstratora do badania i oznaczania wybranych roztworów analitów. Doktorant zdecydował się na przeprowadzenie badań dla oznaczenia stężenia kwasu askorbinowego i jodanów. Pomiarów wykonano metodą stacjonarną oraz przepływową, a ich wynikiem było uzyskanie odpowiednich krzywych kalibracyjnych w postaci zależności prądu odpowiedzi od stężenia badanego analitu.

Uwagi do części dotyczącej konstrukcji, wykonania i badania demonstratora dotyczą następujących problemów:

- uzyskane wyniki badania metodą chronoamperometrii nie zawierają informacji o temperaturze badanego roztworu i informacji czy jej zmiana znacząco wpływa na wyniki pomiarów,
- aproksymowane krzywe kalibracyjne powinny prawdopodobnie rozpoczynać się w punkcie (0,0) ?
- krzywe kalibracyjne zostały wykonane dla pojedynczego pomiaru eksperymentalnego, które z założenia są obarczone błędem i wymagają uzupełnienia o wybrane parametry statystyczne, np. rozrzut, przedział ufności, itp.

Na zakończenie rozprawy doktorant przedstawił szczegółowe omówienie przeprowadzonych i uzyskanych wyników badań eksperymentalnych oraz podsumowanie rozprawy, głównie pod kątem rozwiązań inżynierskich. Doktorant odniósł się w sumie do 6 problemów, których propozycja rozwiązania była wynikiem wykonanych prac, tzn.:

1. Wybór polianiliny jako materiału polimerowego przewodzącego prąd elektryczny; doktorant przytacza wiele argumentów za wyborem polianiliny jako materiału, który może być z powodzeniem stosowany w tzw. technologiach krzemowo-szklanych. Większość przytoczonych argumentów, jak np. możliwości funkcjonalizacji, znajduje swoje uzasadnienie w przeprowadzonych badaniach i analizie literaturowej.
2. Metoda otrzymywania polianiliny; doktorant podkreśla, że zastosowane metody otrzymywania

polianiliny pozwoliły na efektywne prowadzenie procesu polimeryzacji chemicznej i elektrochemicznej. Zaletą jest możliwość prowadzeniu procesu polimeryzacji bez konieczności stosowania skomplikowanych procedur i sprzętu specjalistycznego.

3. Metoda kształtowania wzorów; doktorant zwraca uwagę, że kształtowanie wzorów było najtrudniejszą częścią technologii obróbki polianiliny. Przyczyną był fakt, że metody standardowe, stosowane do kształtowania warstw polimerowych, okazały się zbyt agresywne, a najlepsze wyniki doktorant uzyskał w wyniku zastosowania techniki fotolitografii i ablacji laserowej – uzyskane rozmiary ścieżek zawierały się w zakresie od 10 do 100 μm .

4. Funkcjonalizacja elektrod; doktorant stwierdza, że funkcjonalizacja polianiliny pozwala na stosowanie jej w bardzo szerokim zakresie analitów i precyzyjne oznaczanie ich stężenia, a dzięki temu znacznie przewyższa swoją użytecznością stosowane elektrody metalowe. Niemniej, głównym celem pracy było przedstawienie, na przykładzie polianiliny, metody postępowania z polimerami przewodzącymi prąd elektryczny.

5. Konstrukcja układu analitycznego; doktorant podkreślił, że opracowany i wykonany układ pomiarowy został wykonany zgodnie z przyjętymi założeniami, a przeprowadzone przy jego pomocy pomiary zakończyły się sukcesem. Ponadto, zastosowane materiały i rozwiązania, mogą być zastosowane w konstrukcji większych systemów analitycznych.

6. Kompatybilność z innymi materiałami i technologiami; doktorant zauważył, że wprowadzenie zastosowanych technologii do obróbki polianiliny są typowe dla mikroelektroniki, to pewnym problemem był sposób jej nakładania na podłoże, procesy plazmowe, trawienie w roztworach stężonych kwasów czy wysoka temperatura. Doktorant zaproponował jednak odpowiednią modyfikację metod istniejących lub zaproponował rozwiązania autorskie.

Odnosząc się do przedstawionych propozycji rozwiązań oraz do wniosków końcowych o charakterze inżynierskim, chciałbym zwrócić uwagę na kilka problemów podniesionych przez doktoranta, a które wymagałyby szczegółowego omówienia, np.:

- doktorant zauważa, że jednym z problemów związanych z obróbką polianiliny jest jej wrażliwość termiczna, a jednocześnie w trakcie zrealizowanych badań nie odnosi się do problemu wpływu zmian temperatury na otrzymane wyniki badań. Z tego punktu widzenia można mieć wątpliwość czy implementacja praktyczna demonstratora wymagałaby w celach analitycznych stabilizacji temperatury roztworu i jak ten problem wygląda w przypadku elektrod metalowych ?

- doktorant zauważa w rozprawie (strona 135), że istotnym parametrem systemów czujnikowych jest możliwość ich wielokrotnego użycia. Wydaje się, że z praktycznego punktu widzenia, ważniejszymi parametrami są raczej: niezawodność, dokładność pomiaru, itp. – szczególnie w zastosowaniach biomedycznych ?!

- biorąc pod uwagę posiadaną wiedzę interdyscyplinarną oraz zdobyte doświadczenie w trakcie realizacji pracy, jakie kierunki badawcze, zdaniem doktoranta, byłyby istotne w dziedzinie zastosowania materiałów polimerowych w mikroelektronice ?

Odnosząc się do strony formalnej rozprawy, sposobu formatowania, zastosowanego języka technicznego, itp. należy stwierdzić, że przedstawiona rozprawa została napisana poprawnym językiem technicznym, lecz niestety zawiera pewną liczbę błędów edytorskich, literowych, itp., co jest prawdopodobnie wynikiem jej obszerności. Do głównych uchybień edytorskich pracy zaliczam m.in. takie problemy jak:

- praca nie zawiera spisu skrótów, oznaczeń, symboli oraz stałych fizycznych,

- literówki, np. już na stronie 6: "Demonstratorem prawidłowo opracowanej technologii ..." zamiast "Demonstratorem prawidłowo opracowanej technologii", strona 34: podpunkt "Metoda bardzo intensywnie eksploatowana ..." powinien być częścią wcześniejszego podpunktu, strona 47: "... a przykładzie ..." zamiast "... na przykładzie ...", strona 48: "... się w podłożu cząstki ..." zamiast "... się na podłożu w cząstki ...", strona 100: "... w poprzednim dziale ..." zamiast "... w poprzednim rozdziale ...", itp.

- wyliczanie zaczynamy zazwyczaj od małej litery, jako integralnej części zdania, np. strona 12, "-

Liniowej. Najprostsza budowa, ..." zamiast "- liniowej; najprostsza budowa, ... ; , itp.

- odwołanie się do rysunków powinno znajdować się w nawiasach lub małą literą jako części zdania, np. strona 15: "- izomeria optyczna Rys. 1." zamiast "- izomeria optyczna (Rys. 1)." lub - izomeria optyczna, jak to przedstawiono na rysunku 1.", strona 52: "Poniżej na Rys. 8 zamieszczono ..." zamiast "Na rysunku 8 zamieszczono ...",

- kolejne pozycje literaturowe powinny znajdować się w nawiasach kwadratowych i oddzielone przecinkiem. np. strona 28 "... w literaturze [8], [10] ..." zamiast w "w literaturze [8,10]" lub w literaturze [8] i [10]",

- tłumaczenie terminów anglojęzycznych powinno zaczynać się zwrotem "z ang." i zawierać duże litery początkowe, np. strona 35: "... (ang.: reaction injection molding, RIM)" zamiast "... RIM (z ang. Reaction Injection Molding)",

- stosowanie czasu teraźniejszego lub przyszłego zamiast przeszłego, np. strona 37: "W dalszej części tekst znajdują się ..." zamiast "W rozdziale zawarto ...", strona 39: "W niniejszej pracy będzie używana nazwa ..." zamiast "W pracy przyjęto stosować termin / nazwę ...", strona 40: "... omawianej w rozdziale 2.3." zamiast "omówionej w rozdziale 2.3.", strona 61: "... opisana będzie ..." zamiast "... opisana została ...", strona 63: "opisane będą w rozdziale" zamiast "opisane zostały w rozdziale", strona 75: "... za pomocą którego dowiedziona zostanie ..." zamiast "... za pomocą którego wykazano ...", strona 80: "... opisana będzie w kontekście ..." zamiast "... opisana została w kontekście ...", strona 155: "... w rozdziale mówione zostaną uzyskane wyniki ..." zamiast "... w rozdziale omówione zostały uzyskane wyniki ...", itp.

- jednostki powinny być rozdzielone spacją, np. strona 60: "... wynosi 0,32V ..." zamiast "... wynosi 0,32 V ...", itp.

- stosowanie zwrotów o charakterze żargonowym, np. strona 17: "... opisanego do tej pory w pracy ..." zamiast "... opisanego w pracy ..."; strona 18: "... prowadzone będą opisy w niniejszej pracy." zamiast "... przyjęto opisy w pracy.", strona 25: "... o których była już mowa." zamiast "... który opisano w rozdziale ...", strona 70: "... warto zapoznać się ..." zamiast "... przedstawiono ...", strona 97: "(patrz poprzedni rozdział)" zamiast (problem ten opisano w rozdziale 6), strona 99: "... patrz część literaturowa." zamiast "... zamieszczone w rozdziale zawierającym spis literatury.", itp.

- sposób prezentacji i formatowania rysunków, np. brak jednostek lub ich niepoprawne formatowanie (np. Rys. 9, 19, ...), mała czytelność (np. Rys. 8, 11, 79, 82, 86, 87, ...), zbyt mała czcionka zastosowana do opisu części składowych (np. Rys. 8, 11, 47, ...), stosowanie terminów i zwrotów angielskich i brak polskich odpowiedników (np. Rys. 5, 6, 17, 75, ...), brak legendy (np. Rys. 9, 43, 69, ...), brak opisu rysunków (np. strony: 56, 57, ...), brak indeksacji i opisu rysunków składowych (np., Rys. 28, 30, 35, 61, ...), itp.

- brak numeracji wzorów matematycznych (np. strony: 65, 66, ...) oraz ich źródła literaturowego,

- brak źródła literaturowego na stronie 66 "[literatura o elektrodach szklanych]", na stronie 71 i rysunku 20,

- na stronie 102 powołano się na krzywą (Rys. 45) w kolorze czarnym podczas, gdy rysunek został przedstawiony skali monochromatycznej,

- dla rysunku 51 pomocnym byłoby zaznaczenie wybranych wartości potencjałów,

- dla rysunku 62 oś prądową można przedstawić w skali logarytmicznej,

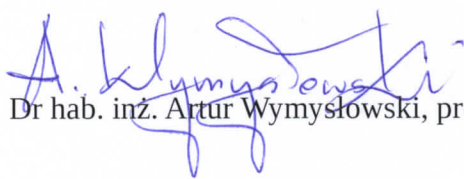
- rozdział 9.2 zatytułowano jako "Processing", co jest terminem anglojęzycznym i należałoby raczej zastosować termin i / lub opis w języku polskim np. techniki zastosowane do wykonania układu.

Na zakończenia warto zaznaczyć, że doktorant przedstawił w rozprawie doktorskiej bardzo rzetelny i poprawnie opracowany materiał teoretyczno-eksperymentalny oraz wykazał się solidnością i samodzielnością w realizacji podjętych zadań. Wyniki przeprowadzonych rozważań teoretycznych i przeprowadzonych prac eksperymentalnych znalazły swój wyraz w zaprojektowanym i wykonanym demonstratorze. Należy zaznaczyć, że skonstruowanie demonstratora i przeprowadzenia za jego pomocą przykładowych analiz chemicznych, potwierdziło zasadność wyboru polianiliny, jako materiału receptorowego. Wprawdzie, przedstawiona rozprawa, z technicznego punktu widzenia, zawiera pewną ilość błędów edytorskich oraz kilka wniosków, które wymagałyby głębszego

przeanalizowania to w ocenie całości nie wpływa to na jej wartość merytoryczną.

Podsumowując, uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Piotra PROKARYNA spełnia wymagania *Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* z dnia 14 marca 2003 roku, wraz ze zmianami z dnia 18 marca 2011 roku w części dotyczącej stopnia doktora, i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Jednocześnie proponuję wyróżnienie przedstawionej rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra PROKARYNA jako rozprawy, która wpisuje się w istotny nurt badań w dziedzinie biomedycznych mikrosystemów analitycznych, zawiera wiele nowatorskich rozwiązań w tym dotyczących technologii oraz technik pomiarowych, które są oryginalnym rozwiązaniem doktoranta, co zostało także udokumentowane w postaci zbioru publikacji, przyznanych patentów i zgłoszeń patentowych.



Dr hab. inż. Artur Wymysłowski, prof. PWr.