



Prof. dr hab. inż. Elżbieta Malinowska, prof. zw. PW
ul. Noakowskiego 3, 00-664 Warszawa, tel.: 022-234-5657; fax: 022-234-5631, E-mail: ejmal@ch.pw.edu.pl

Warszawa, 9 maja 2019 r.

OCENA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Richtera
pt.: „Application of the electric and magnetic fields in sensors and biosensors”
wykonanej w Instytucie Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk
pod kierunkiem prof. dr hab. Roberta Hołysta

Rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Richtera pt. „Application of the electric and magnetic fields in sensors and biosensors”, wykonana została w ramach Międzynarodowych Studiów Doktoranckich w Instytucie Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk. Promotorem pracy jest prof. dr hab. Robert Hołyst, zaś promotorem pomocniczym - dr Jan Paczesny. Przedmiotem przedłożonej do oceny dysertacji są badania dotyczące możliwości wykorzystania pola magnetycznego lub pola elektrycznego w szeroko pojmowanym projektowaniu metod bioanalitycznych oraz konstrukcji sensorów i biosensorów.

Obserwuje się wciąż rosnące zainteresowanie zastosowaniem biosensorów w medycynie, przemyśle biotechnologicznym i spożywczym, rolnictwie oraz monitorowaniu stanu środowiska. Biosensory są uznawane za korzystną alternatywę dla klasycznych metod biologicznych oznaczania ważnych metabolitów, głównie ze względu na niski jednostkowy koszt analizy, możliwości miniaturyzacji oraz znacznie krótszy czas analizy. Badania nad biosensoryami prowadzą renomowane uczelnie i instytucje badawcze na całym świecie i zainteresowanie nimi jako narzędziami diagnostycznymi wciąż dynamicznie rośnie, o czym świadczy liczba publikacji na ten temat. Na przestrzeni ostatnich 20 lat liczba doniesień naukowych dotyczących biosensorów wzrosła niemalże 10-krotnie (zgodnie z danymi portalu pubmed.gov). Ponadto, zgodnie z prognozą opracowaną przez Global Market Insights, Inc, przewiduje się iż rynek biosensorów przed 2024 r. ma być wart około 29,6 mld dolarów, podczas gdy jeszcze dwa lata temu szacowano go na 14,8 mld dolarów. Powyższe argumenty są wystarczająco zachęcające aby podejmować prace badawcze i konstrukcyjne związane z opracowaniem nowych i optymalizacją znanych biosensorów. Jednakże opracowanie biosensorów o pożądanym parametrach pracy nie jest łatwe i wymaga połączenia wiedzy i doświadczenia badaczy reprezentujących różne dyscypliny. W literaturze można znaleźć doniesienia dotyczące biosensorów na setki analitów. W rzeczywistości dostępne handlowo są bioczujniki do oznaczania zaledwie kilkunastu różnych substancji. Zatem niniejsza praca wpisuje się znakomicie w bieżące światowe trendy badawcze.

W dalszej części recenzji przedstawię moje uwagi dotyczące zarówno strony redakcyjnej, jak i wartości merytorycznej pracy doktorskiej.

Strona redakcyjna

Rozprawa doktorska odbiega swoim układem od klasycznej formy polskich doktoratów. Jest napisana w języku angielskim. Praca nie posiada tradycyjnej, obszernej części literaturowej. Zastąpił ją krótki (16-stronicowy) rozdział 1, który stanowi ogólne wprowadzenie do tematyki badań przedstawionych przez doktoranta w kolejnych rozdziałach.

Główna część rozprawy została przygotowana w formie czterech autonomicznych rozdziałów (2-5) o stałym układzie, z których każdy jest poświęcony odrębnemu projektowi badawczemu. W każdym z nich można wyróżnić krótki, kilkustronicowy wstęp zawierający syntetyczny przegląd literaturowy oraz podstawowe założenia planowanych badań. Następnie przedstawione są najistotniejsze dla danego wątku wyniki badań wraz z dyskusją. Na końcu każdego z tych rozdziału znajduje się opis metodyki pracy doświadczalnej oraz spis odnośników literaturowych. Rozdziały posiadają też odrębną numerację rysunków, tablic i równań. Wybór takiej struktury przedstawienia wyników uważam za trafny, jednakże drobną niedogodnością dla czytelnika jest położenie podrozdziału opisującego metodykę po opisie uzyskanych wyników i dyskusji.

Pracę zamyka rozdział 6 będący zwięzłym podsumowaniem osiągnięć doktoranta i nakreśleniem wątków badawczych godnych kontynuacji.

Praca liczy ogółem 127 stron i została zilustrowana łącznie 22 równaniami, 59 rysunkami i 6 tabelami. Na podkreślenie zasługuje fakt, że doktorant w umiejętny, dojrzały sposób korzysta z danych w nich zawartych do poparcia tez stawianych w pracy.

Na podkreślenie zasługuje staranna szata graficzna pracy, a stosunkowo nieliczne błędy edytorskie, gramatyczne, czy też skróty myślowe nie warte są nawet ich wymieniania. Natomiast w pracy dość często można natrafić na ogólne odniesienia do rozdziałów wcześniejszych, mimo iż możliwe by było skierowanie czytelnika do konkretnego rysunku czy też strony, na której znajduje się odpowiednia informacja.

Wartość merytoryczna i użytkowa

Praca doktorska Pana mgr inż. Łukasza Richtera ma w większości charakter eksperymentalny o istotnym poziomie nowości naukowej i potencjale aplikacyjnym w obszarze optymalizacji oznaczeń diagnostycznych z udziałem biosensorów.

Pracę otwiera rozdział przybliżający podstawy teoretyczne zjawisk elektrokinetycznych wraz z przeglądem literaturowym dotyczącym ich wykorzystania w bioanalityce oraz sformułowaniem celów pracy. Przegląd przygotowany został w oparciu o 81 pozycji literaturowych, z których dominująca większość ukazała się w ciągu ostatnich 10 lat, co potwierdza aktualność zaproponowanej tematyki. Zdefiniowane zostały także cele pracy. Pomimo obecności krótkich wprowadzeń przed każdym z rozdziałów badawczych, umieszczenie takiego fragmentu systematyzującego informacje uważam za bardzo wartościowe.

Rozdział 2 opisuje szereg badań o charakterze podstawowym ukierunkowanych na charakteryzację i wyjaśnienie nie opisanego wcześniej zjawiska silnego i dalekozasięgowego efektu odpychającego pomiędzy izolowanymi elektrodami w elektrolicie o zróżnicowanych ruchliwościach elektroforetycznych. Opis badań poprzedzają niezbędne w tym przypadku elementy, a mianowicie krótkie wprowadzenie przybliżające podstawy teoretyczne różnego typu zjawisk elektrokinetycznych oraz krótki opis metodyki badań z wykorzystaniem narzędzia do pomiaru sił powierzchniowych. Autor w sposób wszechstronny charakteryzuje wpływ szeregu czynników wpływających na charakter obserwowanych sił (między innymi wpływ stężenia i rodzaju elektrolitu, parametrów przyłożonego napięcia czy czasu) oraz finalnie wskazuje wzrost ciśnienia osmotycznego indukowany gradientem stężeń jonów

zebranych przy okładkach kondensatora jako przyczynę obserwowanego zjawiska. W ramach rozdziału zabrakło mi chociażby zasygnalizowania szerszego kontekstu, w jakim unikalne, opisane przez Autora zjawisko mogłoby znaleźć praktyczne zastosowanie.

Kolejny wątek badawczy obejmuje zagadnienie wykorzystania zmiennego pola elektrycznego do osadzania cząsteczek (docelowo mających być analitami) na podłożach do powierzchniowo wzmocnionej spektrometrii Ramana (SERS). Autorowi udało się zarówno udowodnić, iż możliwe jest znaczące skrócenie czasu inkubacji substratów z różnego typu próbkami, od małych cząsteczek organicznych i leków po biomolekuły, przy zastosowaniu osadzania wspomaganego zmiennym w czasie polem elektrycznym (skrócenie czasu z kilkudziesięciu godzin do kilku minut). Udowodniono również kluczową rolę doboru odpowiedniej częstotliwości na efektywność osadzania poszczególnych typów cząsteczek. Przedstawione w rozprawie badania charakteryzują zjawisko i jedynie sygnalizują możliwości płynące z zastosowania pola elektrycznego do osadzania na podłożach przewodzących (na przykładzie podłoża SERS). Moim zdaniem trudno jest już na tym etapie opisaną procedurę określić jako usprawnienie metod detekcji, jak to określił Autor w streszczeniu, gdyż wymagałoby to moim zdaniem nieco szerzej zakrojonych badań (oceny selektywności czy charakterystyki parametrów analitycznych tak usprawnionych metod). Nie umniejsza to jednak rangi przedstawionych wyników, a opisane rozwiązania są bardzo wartościowe i mają ogromną szansę na to by stać się takimi usprawnieniami w niedalekiej przyszłości.

W rozprawie (w ramach rozdziału 4) znaleźć można zarówno propozycję zastosowania pola elektrycznego do wytwarzania zorientowanych przestrzennie warstw receptorowych zbudowanych z bakteriofagów, jak również wykorzystanie pola elektrycznego i magnetycznego (odpowiednio w rozdziałach 3 i 5) do ukierunkowanej depozycji lub separacji analitów lub kompleksów receptor-analit. Wspólnym mianownikiem podejmowanych przez autora badań w ramach rozdziału 3 i 4 była chęć uzyskania nowych, bądź udoskonalenie już istniejących rozwiązań w dziedzinie biosensorów wykorzystujących bakteriofagi w roli receptorów do wykrywania modelowych analitów bakteryjnych.

Rozdział czwarty poświęcony został wykorzystaniu pola elektrycznego do wytwarzania uporządkowanych warstw receptorowych złożonych z bakteriofagów. Autor ocenił zarówno niezależny, jak również synergistyczny wpływ dwóch zastosowanych przez siebie strategii: 1) zapewnienia poprawnej orientacji przestrzennej unieruchomionych na powierzchni bakteriofagów celem zwiększenia wydajności wiązania bakterii i 2) zwiększenia gęstości powierzchniowej bioreceptorów bakteriofagowych poprzez ich chemiczne związanie z uprzednio zmodyfikowaną powierzchnią Au. Należy podkreślić, iż Autor w ramach pracy doktorskiej rozwinął, wcześniej opracowaną przez siebie w ramach pracy magisterskiej, metodykę i narzędzia do kontrolowanej immobilizacji bakteriofagów na powierzchni złota. Badania optymalizacyjne, polegające na doborze odpowiedniej modulacji napięcia, generującej zmienne pole magnetyczne pozwoliły na dalszą poprawę funkcjonalności uzyskanych warstw receptorowych względem wcześniej prowadzonych prac wykorzystujących stałe pole elektryczne. Dodatkowo, dzięki zastosowaniu technik mikroskopowych udowodniony został dominujący wpływ korzystnej orientacji przestrzennej przy minimalnym wpływie zmiany gęstości powierzchniowej. Porównanie metod bazujących na adsorpcji oraz chemisorpcji bakteriofagów na powierzchni złota pozwoliło z kolei określić istotność czynnika zwiazanego z gęstością powierzchniową fagów. Zaproponowana finalnie strategia łącząca zastosowanie pola elektrycznego i chemiczną immobilizację pozwoliła na uzyskanie modelowej warstwy receptorowej o wysokiej zdolności wiązania analitu. Opisana, uniwersalna metodyka przygotowywania warstw na powierzchniach złotych w perspektywie powinna znaleźć szersze zastosowanie w projektowaniu biosensorów wykorzystujących bakteriofagi w oparciu o różne strategie detekcji sygnału.

W rozdziale 5 zaprezentowana została kompletna metoda analityczna, umożliwiająca szybkie wykrycie modelowego szczepu bakterii w próbkach ciekłych przy pomocy cytometrii przepływowej. Istotą i głównym elementem nowości w mojej ocenie było opracowanie hybrydowych fluorescencyjno-magnetycznych biokoniugatów nanocząstek z fagami w roli bioreceptorów nadających selektywność względem analitu. Badania obejmowały optymalizację procedury dowiązania bakteriofagów do powierzchni magnetycznych nanosfer z zachowaniem ich pożądanej morfologii i zdolności do oddziaływania z analitem. Następnie autor wykorzystał nanosfery do znakowania fluorescencyjnego bakterii, które dzięki temu mogły być poddawane analizie cytometrycznej. Autorowi udało się opracować nowatorską i relatywnie nieskomplikowaną metodykę szybkiego oznaczania modelowych bakterii *E. coli* w szerokim zakresie stężeń i bez konieczności stosowania skomplikowanych procedur modyfikacji czy znakowania bakteriofagów. Dzięki właściwościom magnetycznym biokoniugatów możliwy był etap separacji kompleksów biokoniugat-bakteria, co umożliwiło skuteczną ich detekcję również w przypadku niskich stężeń. Co warto podkreślić, Autor w sposób krytyczny podchodzi do swojej pracy i sygnalizuje elementy procedury potencjalnie wymagające dalszego udoskonalenia (np. poprawa monodispersyjności biokoniugatów).

Na wyróżnienie zasługują następujące walory pracy:

- ✓ całości rozprawy przyświeca jasno sformułowany cel zasadniczy, jakim jest wykorzystanie opracowanych rozwiązań w ulepszaniu istniejących, bądź opracowaniu nowych metod analitycznych ze szczególnym uwzględnieniem sensorów i biosensorów
- ✓ logiczny układ pracy, umiejętne połączenie kilku wątków badawczych w spójną całość,
- ✓ zarówno fragmenty wprowadzające i wskazujące motywacje dla podjętych badań, dobór narzędzi eksperymentalnych, jak i sam sposób przedstawienia rezultatów wskazują na głębokie zrozumienie problematyki przez Autora,
- ✓ wszechstronność i wielowątkowość zaprezentowanych badań wykorzystujących pole elektryczne i magnetyczne na różnych etapach projektowania narzędzi analitycznych oraz w oparciu o różne mechanizmy ich działania, w tym: i) przyspieszenie osadzania modelowych cząsteczek na przewodzących podłożach na przykładzie podłoża SERS, ii) projektowanie bakteriofagowych warstw receptorowych o większej homogeniczności i pożądanej orientacji przestrzennej bioreceptorów oraz iii) projektowanie funkcjonalnych fluorescencyjnych biokoniugatów do separacji magnetycznej bakterii.,
- ✓ Autor w poprawny i umiejętny sposób dobiera i stosuje w badaniach różnorodne techniki analityczne i pomiarowe, czym udowadnia nabycie biegłości w posługiwaniu się technikami mikroskopowymi, SERS, metodami mikrobiologicznymi i biochemicznymi (hodowla bakterii, wytwarzanie bakteriofagów), metodami chemicznego sprzęgania i wielu innych w celu zbadania obserwowanych zjawisk i ich mechanizmów.
- ✓ zamknięcie dysertacji rozdziałem „*Future perspectives*”, w którym zasygnalizowane są już podjęte, jak i możliwe do zrealizowania wątki badawcze, których punkt wyjścia stanowią wyniki ujęte w niniejszej rozprawie.

W kontekście bardzo szerokich zainteresowań badawczych Autora zrozumiałe jest natomiast, że wiele opisanych przez niego wątków wymaga dalszych prac.

Szczegółowe uwagi, komentarze, pytania

- Na tle rozdziałów 4 i 5, gdzie w wyczerpujący sposób przedstawione zostały kompletne metody analityczne, w rozdziałach 2 i 3 opisy dotyczące przedstawianych zjawisk i badań w kilku miejscach mogłyby być nieco szerzej zakrojone. Również niektóre wnioski wydają

się tu być dość śmiało (np. dot. logarytmicznych charakterów zależności w rozdz. 2 i 3) - warto by było je poprzeć nieco bardziej rozbudowanymi badaniami.

- Rozdział 2.2.1, strona 26 i dalsze: Autor przedstawił szeroko zakrojone badania nad wpływem rodzaju elektrolitu na wartość generowanej siły odpychającej elektrody. Co jednak dość zaskakujące, do badania pozostałych efektów praktyczne za każdym razem dobierany był inny modelowy elektrolit (odpowiednio HNO_3 – Rys. 2.3, KOH – Rys. 2.5, NaNO_3 – Rys. 2.7 – czy był to wybór arbitralny czy uzasadniony?
- Rozdział 2.2.4, strona 29, akapit 2: Wykres 2.6 niesie za sobą bardzo dużo kluczowych informacji, dlatego moim zdaniem warto by było zaprezentować go w bardziej czytelnej formie. Obecnie, głównie z uwagi na duże zagęszczenie punktów i „spłaszczenie” wykresów z racji wspólnej skali na osi pionowej, ocena charakteru zależności jest utrudniona.
- Rozdział 2.2.4, strona 29, akapit 2: Do opisu relacji pomiędzy siłą odpychającą a różnicą mobilności jonów elektrolitu (Rys. 2.6) została wybrana funkcja logarytmiczna. Jakie przesłanki stały za wyborem takiego modelu do opisu funkcji? Czy były to jakieś założenia teoretyczne czy jedynie ocena wartości współczynników determinacji? Czy możliwe jest opisanie tej nieliniowej korelacji przy pomocy innej, być może lepszej funkcji? (na pierwszy rzut oka podobny przebieg mają chociażby zależności opisujące kinetykę enzymatyczną...).
- Rozdział 2.2.2, strona 26, akapit 2: Jako przyczynę pojawiania się siły odpychającej Doktorant w sposób jednoznaczny wskazuje różnicę w ruchliwościach jonów, popierając tę hipotezę szeregiem badań z wykorzystaniem różnych kompozycji elektrolitów. Czy brano pod uwagę alternatywną hipotezę, według której nie tyle różnica, co sama w sobie ruchliwość jonów wpływa na wartość siły odpychającej? O ile rozdzielczość metody badawczej na to pozwala, może warto by było wzmocnić bieżącą hipotezę poprzez serię pomiarów dla elektrolitów o zbliżonych różnicach ruchliwości, ale różnych wartościach bezwzględnych. Obecny zestaw elektrolitów, z uwagi na bardzo wysoką ruchliwość jonów oksoniowych i wodorotlenowych, utrudnia obserwację relacji pomiędzy innymi elektrolitami o małych ruchliwościach jonów.
- Rozdział 3.2.1, strona 51, akapit 3: Zabrakło mi zobrazowania typu modulacji pulsowej zastosowanej do kontrolowanego osadzania cząsteczek na podłożach SERS na wykresie, zamiast bardzo ogólnego odsyłacza do rozdziału pierwszego. Moim zdaniem ponowne wstawienie niewielkiego wykresu znacząco ułatwiłoby czytelnikowi odbiór treści.
- Rozdział 3.2.3, strona 54, rysunek 3.4: Insert rysunku niesie moim zdaniem dość ciekawe treści a jest przedstawiony w bardzo dużym pomniejszeniu, a przez to nieczytelny. Opisana nim zależność pomiędzy intensywnością sygnału SERS a zastosowanym napięciem moim zdaniem zasługuje na funkcjonowanie jako pełnoprawny wykres – tym bardziej, że Autor w opisie proponuje przybliżenie zależności funkcją kwadratową. Tak mały wykres utrudnia analizę trafności przybliżenia.
- Rozdział 3.2.6, strona 57, rysunek 3.7: Nie udało mi się znaleźć informacji (również w sekcji *Materiały i Metody*) o rodzaju przeciwjonów stosowanych soli amoniowych (substancja 8 i 9), a w kontekście bieżących rozważań byłaby to informacja istotna.
- Rozdział 4.1, strona 78, akapit 2: Pod koniec wstępu Autor przedstawia niewątpliwie wartościową dyskusję połączoną z przeglądem literaturowym, dotyczącą opisanych w literaturze zależności pomiędzy gęstością powierzchniową immobilizowanych fagów a wydajnością wiązania bakterii z powierzchnią. Autor stawia tam tezę, iż przyczyną braku

liniowości tej zależności dla wysokich gęstości powierzchniowych jest losowa orientacja receptorów na powierzchni oraz tendencja do aglomeracji na skutek wzajemnych oddziaływań cząstek o charakterze dipoli. Zabrakło w tym miejscu nieco odniesienia do relacji geometrycznych pomiędzy bakteriofagiem i bakterią – być może na utratę liniowości może wpływać różnica w rozmiarach receptora i analitu, a tym samym przeszkody steryczne? Tym bardziej, że zdjęcia AFM wskazują na relatywnie duże pokrycie powierzchni złota bakteriofagami (Rys. 4.8). Dyskusja w tym kontekście byłaby niewątpliwie wartościowym uzupełnieniem - szczególnie, że Autor miał możliwość odniesienia się do własnych badań. W rozdziale 4 istotnie porównanie obrazów z mikroskopu sił atomowych i konfokalnego jest problematyczne, lecz pomocne mogłyby okazać się fotografie z mikroskopu konfokalnego znajdujące się w rozdziale 5 (np. Rys. 5.6).

- Rozdział 4.2.4, strona 88, akapit 2: Autor porównuje wydajność immobilizacji fagów na powierzchni niemodyfikowanego złota oraz na powierzchni złota modyfikowanego cysteaminą aktywowaną aldehydem glutarowym. Ciekawym wydaje się, jak zmieniłaby się wydajność immobilizacji poprzez adsorpcję na warstwie cysteaminy jako kationowym podłożu. Czy brano pod uwagę taką ewentualność?
- Z treści rozprawy wynika, że do wyznaczania gęstości powierzchniowej wykorzystywana była powierzchnia geometryczna. W związku z tym, czy była analizowana w tym kontekście powtarzalność/jednorodność wykorzystywanych podłoży?
- Czy zdaniem Autora, z uwagi na dipolowy charakter immobilizowanych receptorów, byłaby możliwa szybka ocena stopnia zorientowania warstwy receptorowej np. na podstawie pomiaru ładunku powierzchniowego (tj. potencjału zeta powierzchni). Należałoby oczekiwać, iż im bardziej gęsta i jednoznacznie zorientowana warstwa receptorowa, tym bardziej dodatni ładunek powierzchniowy powinna ona generować. Czy Autor rozważał może charakterystycę otrzymanych warstw za pomocą tego typu narzędzi?
- Rozdział 5.2.1, strona 109, akapit 2/Tabela 5.1 W pracy zrealizowano dowiązanie bakteriofagów do powierzchni nanosfer magnetycznych w wielu wariantach, z których tylko jeden zaowocował uzyskaniem koniugatów o pożądanej morfologii (wariant 5 – najmniejszy z badanych stosunek liczby fagów do nanosfer, najkrótszy z badanych czas inkubacji). Zabrakło mi szerszego komentarza na temat przeprowadzonego doświadczenia i analizy jego rezultatów. Czy Autor ma może jakąś teorię, dlaczego akurat wariant nr 5 jako jedyny pozwolił uzyskać koniugaty o dobrej dyspersji?
- Rozdział 5.2.3, strona 115, akapit 1: Autor wskazuje polidispersyjność otrzymanych biokoniugatów jako zasadnicze ograniczenie uniemożliwiające dalsze obniżanie granicy wykrywalności proponowanej metody. Czy rozważane było zastosowanie jakichkolwiek (nawet prostych jak wirowanie) strategii rozdzielania/frakcjonowania biokoniugatów celem poprawy ich jakości?
- Niewątpliwie cenną informacją byłaby analiza stabilności w czasie uzyskanych biokoniugatów bakteriofag-nanosfera. Czy Autor jest w stanie określić przybliżony okres ich trwałości i przydatności do użycia?

Przedstawione powyżej uwagi nie wpływające na całościową wysoce pozytywną ocenę dysertacji mgr inż. Łukasza Richtera. Punkty te należy traktować raczej jako podstawę do ewentualnej dalszej dyskusji i świadczą bardziej o zainteresowaniu recenzenta przedstawionymi badaniami niż stanowią ocenę krytyczną.

Obiektywną weryfikacją elementów nowości naukowej większości prac doktorskich powinny być prace opublikowane w dobrych czasopismach z listy JCR. Dorobek publikacyjny Doktoranta oceniam jako wyróżniający. Wyniki opisane w dysertacji zostały już opublikowane w 3 wieloautorskich (5-8 autorów) artykułach, które ukazały się w renomowanych czasopismach (IF = 4,8 - 7,5), a kolejne 2 manuskrypty są w przygotowaniu. Doktorant jest pierwszym autorem tych prac. Mgr inż. Łukasz Richter posiada w swoim dotychczasowym dorobku naukowym 3 inne publikacje, a także 1 patent i 2 zgłoszenia patentowe. Uczestniczył w realizacji 5 projektów badawczych, w tym w roli kierownika grantu "Development of fast and efficient deposition of analyte in the electric field for improvement of sensing and biosensing" finansowanego przez NCN. Pan mgr inż. Łukasz Richter jest laureatem wielu stypendiów i nagród dla doktorantów. Na pokreślenie zasługuje też jego aktywność konferencyjna i popularyzatorska.

Podsumowanie

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, iż rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Richtera pt. „*Application of the electric and magnetic fields in sensors and biosensors*”, spełnia wymogi formalne stawiane rozprawom doktorskim określonym w art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65/2003 poz. 595 z późniejszymi zmianami i wnoszę do Rady Naukowej Instytutu Chemii Fizycznej PAN o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Jednocześnie **wnoszę o wyróżnienie** tej rozprawy, za czym moim zdaniem przemawiają walory naukowe dysertacji, jej interdyscyplinarny charakter oraz potencjał aplikacyjny efektów badań. Sposób przedstawienia wyników i ich interpretacji świadczą jednoznacznie o dojrzałości młodego naukowca, jakim jest mgr inż. Łukasz Richter. Dopełnieniem jest tu bardzo dobry dorobek publikacyjny doktoranta.

Z poważaniem,

