

Warszawa, dnia 31.07.2017 r.

prof. dr hab. inż. Ryszard Romaniuk

Politechnika Warszawska  
Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych  
Instytut Systemów Elektronicznych

***KWESTIONARIUSZ – RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ  
DLA RADY WYDZIAŁU INFORMATYKI, ELEKTRONIKI I TELEKOMUNIKACJI  
AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE***

**Tytuł rozprawy: Chemiluminescence detection using silicon photomultiplier  
in stationary and microfluidic systems**

**Autor rozprawy: mgr inż. Mateusz Baszczyk**

Podstawą recenzji jest uchwała Rady Wydziału Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji AGH z dnia 06.07.2017 r., oraz pismo Pana dziekana prof. Krzysztofa Winczy w tej sprawie, nr. IEiT.510-20/14/488/2017 z dnia 07.07.2017 r.

Pan mgr inż. Mateusz Baszczyk posiada bogate osobiste zapisy w internetowych bazach danych naukowych. Wynika to z szerokiego uczestnictwa Zespołu badawczego Mikroelektroniki WIEiT AGH w projektach międzynarodowych LHCb, DELPHI, NA61 i wielu innych. W Scopusie zapis obejmuje kilkadziesiąt prac cytowanych kilkadziesiąt razy. Są to publikacje zespołowe związane z eksperymentami fizyki wielkich energii. W portalu Nauka Polska jest kilka zapisów autora z lat 2012 i 2014 związanych bezpośrednio z tematyką pracy doktorskiej, czyli detekcji fluorescencji i chemiluminescencji w systemach mikrofluidycznych. W szczególności zarejestrowana jest praca związana z doktoratem i finansowana przez NCN od roku 2014. Praca doktorska wydaje się być znakomitym rezultatem tego projektu badawczego.

Warto tutaj rozszerzyć kontekst kilkuletniego udziału doktoranta w eksperymentach fizyki wielkich energii HEP np. LHCb i detektorze RICH, gdzie zdobył zupełnie unikalne doświadczenie budowy systemów odczytowych 'readout', DAQ i projektowania układów VLSI. Taka praca jak przedstawiona do recenzji nie możliwa byłaby do wykonania bez tego poważnego doświadczenia, udokumentowanego zresztą licznymi publikacjami Kolaboracji LHCb. Dorobek doktoranta w ramach Kolaboracji jest wyraźnie zaznaczony, gdyż w uznaniu istotnego wkładu merytorycznego jest dołączony do publikacji Kolaboracji. W takich Kolaboracjach klasy odkrywczej nikogo nie dołączają bez wyraźnego wkładu własnej pracy twórczej. W tym kładzie ocena

ogólnego dorobku doktoranta jest w pewnym sensie wielowymiarowa, dwudzielna a nawet trójdzielna. Po pierwsze doktorant posiada kilkadziesiąt publikacji zbiorowych kolaboracyjnych w najlepszych czasopismach fizycznych w uznaniu wkładu do eksperymentu i budowy detektora RICH. Publikacje te są relatywnie nowe z ostatnich dwóch – trzech lat. Po drugie doświadczenia z udziału w eksperymentach w CERN i innych laboratoriach i udział w konstrukcji aparatury tam umożliwił doktorantowi konstrukcję bardzo złożonego układu pomiarowego przedstawionego w pracy doktorskiej – co jest np. udokumentowane w pozycjach bibliografii nr 48 i 49. Mamy więc bezpośredni wpływ tamtego dorobku na realizację pracy doktorskiej, a więc nie można tego zupełnie oddzielać. Po trzecie autor zgromadził również od roku 2012 dość pokaźny dorobek ukierunkowany bezpośrednio na realizację recenzowanej pracy doktorskiej w obszarze chemiluminescencji i jej pomiarów. Czy to nie jest precyzyjne i wzorcowe zaplanowanie takiej właśnie drogi naukowej, gdzie robi się coś całkiem swojego w doświadczonym zespole, odpowiednie na pracę doktorską, ale wykorzystując bogate doświadczenia z poprzednich i Nadal kontynuowanych działań w wielkim eksperymencie? Można to podawać jako znakomity przykład projektowania kariery naukowej – bowiem doktorant jest zatrudniony na AGH.

**1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza rozprawy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?**

Obszarem badawczym pracy jest chemiluminescencja, jej badania i pomiary. Detekcja i pomiary fluorescencji i chemiluminescencji są jedną ze specjalności naukowych Zespołu Mikroelektroniki w którym doktorant realizuje swoją pracę. Zespół posiada istotny dorobek naukowy w tym zakresie. Ze względu na małe natężenie emitowanego światła w wyniku chemiluminescencji konieczne jest stosowanie wybranych fotodetektorów i współpracujących z nimi optymalizowanych odbiorników optoelektronicznych. Optymalny fotodetektor do takich zastosowań powinien być zdolny do zliczania pojedynczych fotonów. Tego typu układy detekcyjne z wykorzystaniem fotopowielaczy próżniowych dynodowych stosuje się od kilku dziesięcioleci w fizyce wielkich energii do detekcji rzadkich zjawisk z generacją fotonu. Obecnie w niektórych, coraz liczniejszych zastosowaniach, tam gdzie istotny jest rozmiar układu detekcyjnego, mały pobór mocy, oraz niskie napięcie zasilania, detektory próżniowe są wypierane przez urządzenia półprzewodnikowe, krzemowe, SiPM – silicon photomultipliers, często organizowane w matryce do detekcji powierzchniowej i określone skrótem MPPC – multi-pixel photon counter. Zastosowania SiPM, podobne do tych w niniejszej pracy doktorskiej, są możliwe relatywnie od niedawna dzięki znakomitym postępom technologii takich detektorów opracowanych między innymi, ale głównie, w firmie Hamamatsu. Zresztą doktorant powołuje się wielokrotnie na różne opracowania techniczne tej firmy dotyczące szczegółów aplikacyjnych detektorów SiPM.

Zagadnieniem naukowym rozpatrywanym w pracy jest próba zupełnie nowego zastosowania elementów SiPM w chemiluminescencji do detekcji promieniowania optycznego na poziomie pojedynczych fotonów. Celem jest redukcja kosztów urządzeń pomiarowych chemiluminescencji, redukcja wymiarów i doprowadzenie do możliwości konstrukcji autonomicznego systemu typu laboratorium na układzie LoC. Autor podkreśla różnice pomiędzy dwoma najpopularniejszymi metodami pomiarowymi z

wykorzystaniem luminescencji – fluorescencję wymagającą pobudzenia źródłem zewnętrznym, a więc podczas detekcji jego odfiltrowania, i chemiluminescencję, gdzie nie ma optycznego pobudzania zewnętrznego. Tak więc chemiluminescencja nie wymaga zastosowania pośredniczących filtrów optycznych w detektorze co prowadzi do uproszczenia aparatury pomiarowej w zakresie filtracji jednak kosztem znacznego obniżenia poziomu sygnału detekowanego.

Teza pracy dotyczy rozwiązania w praktyce problemu nowego zastosowania detektorów SiPM w chemiluminescencji i wyparcie klasycznych rozwiązań z fotopowielaczami próżniowymi, przynajmniej w pewnych adekwatnych obszarach aplikacyjnych. Tak sformułowana teza wymagała zaprojektowania i zbudowania systemu akwizycji danych dopasowanego do nowych detektorów. Dodatkowo postawiono zadanie pomiaru sygnału chemiluminescencji w układzie stacjonarnym, można powiedzieć klasycznym, oraz mikrofluidycznym który jest krokiem np. w kierunku budowy dynamicznego, miniaturowego, przenośnego systemu laboratorium na układzie, LOC – lab-on-chip.

Teza pracy jest sformułowana dostatecznie jasno i została przez autora podana z dodatkowymi warunkami realizacji pracy. Tak sformułowana całość dokładnie definiuje cel badawczy pracy. Praca ma charakter teoretyczny i doświadczalny. Część teoretyczna jest związana z projektem systemu detekcyjnego a w tym projektem układu ASIC, a część doświadczalna z konstrukcją laboratoryjną, uruchomieniem, debugowaniem i zaawansowanymi pomiarami.

**2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł / w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle /świadczący o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?**

Praca zawiera 76 pozycji bibliograficznych, w tym 16 pozycji w autorstwie i współautorstwie doktoranta. Prace współautorskie opublikowano w Elektronice, na Sympozjach IEEE Nuclear Science Symposium oraz Mixdes, i czasopismach NIMA, MMS PAN, Biuletyn NT PAN. Zwraca uwagę regularność publikacji doktoranta w latach 2012-2015 postępów prac na czołowym spotkaniu światowym poświęconym tej tematyce IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference. Cytowane prace doktoranta są dobrze skupione wokół tematyki doktoratu i dotyczą: właściwości sygnałowych fotopowielaczy krzemowych SiPM, stabilizacji wzmocnienia oraz kompensacji termicznej SiPM, budowy stopni wejściowych z szybkim układem kształtowania sygnału, oraz budowy matryc fotopowielaczy, a także budowy systemów DAQ, pomiarów światła o bardzo małym natężeniu w tym pracy detektorów w modzie zliczania pojedynczych fotonów. Innymi słowy, cytowane w pracy publikacje doktoranta dotyczą głównie różnych aspektów optymalizacji punktu pracy i warunków wykorzystania detektorów SiPM w badaniach naukowych. Są także wysoce uzasadnione cytowania prac autora łączące jego oba obszary działalności naukowej, badania chemiluminescencji i eksperymentów HEP.

Wykaz cytowanych źródeł ogólnych zawiera liczne odnośniki internetowe do literatury mikrofluidycznej, oraz noty aplikacyjne firmy Hamamatsu jednego z liderów technologicznych fotopowielaczy krzemowych. W szczególności, cytowana w pracy

literatura dotyczy następujących grup zagadnień: biotechnologicznych zastosowań bioluminescencji i chemiluminescencji, różnych rozwiązań systemów pomiarowych chemiluminescencji, pomiarów w mikro-systemach przepływowych, fotopowielaczy dynodowych próżniowych, pracy fotopowielaczy półprzewodnikowych w modzie Geigera, projektowanie układów scalonych VLSI analogowo-cyfrowych, itp. Odnośniki literaturowe są cytowane logicznie w pracy, głównie w rozdziałach dotyczących opisu i zawężania obszaru badawczego do postaci tezy pracy. Wnioski z przeglądu źródeł są sformułowane w sposób jasny i przekonujący.

Przy okazji chciałbym zwrócić uwagę doktoranta na dwie prace doktorskie zrealizowane ostatnio w kraju na Politechnice Warszawskiej we współpracy z CERNem dotyczące charakterystyki fotopowielaczy krzemowych SiPM, MPCC i MAPD. Prace dotyczą innych zagadnień ale może warto porównać zaawansowane metody charakterystyki i wyciągnąć wnioski odnośnie dalszych prac nad systemem DAQ bazującym na detektorze SiPM. Detektory SiPM są chimeryczne i aby je poprawnie stosować trzeba je dokładnie rozumieć. Te prace to M.Dziewiecki, Measurement based characterization of multipixel avalanche photodiodes for scintillating detectors, oraz A.Rychter, Measurement based characterization and modelling of micropixel avalanche photodiodes. Prace są publicznie dostępne w cernowskim bazodanowym systemie bibliograficznym cds.cern.ch. Detektory SiPM to są, wbrew prostocie konstrukcyjnej, dość wymagające elementy, które potencjalnie mogą dać bardzo dobre rezultaty sygnałowe, jednak w odpowiednich warunkach aplikacyjnych. Stąd istotny jest odpowiedni projekt stopnia odczytowego, co jest jednym z głównych zagadnień rozpatrywanych w pracy doktorskiej.

Podsumowując, w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej oraz zastosowań badawczych i praktycznych dotyczących takich zagadnień jak chemiluminescencja, nowa generacja detektorów SiPM oraz bezpośrednich układów wejściowych współpracujących z nimi. Na podstawie tej analizy autor wyciągnął wnioski dotyczące tezy pracy doktorskiej. Zauważył możliwość połączenia nowej technologii ultraczułych lawinowych fotodetektorów półprzewodnikowych z trudną pomiarowo chemiluminescencją, ze względu na generację w czasie reakcji chemicznych światła o niewielkim natężeniu. Zastąpienie w niektórych zastosowaniach dużych, objętościowych i drogich chemiluminometrów laboratoryjnych autonomicznymi przyrządami przenośnymi wykonanymi w technologii mikroprzepływowej, MEMS, MOEMS, bądź LoC z zastosowaniem detektorów SiPM i układów DAQ zamkniętych w jednym module ASIC stanowiłoby istotny przełom, wręcz rodzaj rewolucji w tej grupie przyrządów specjalizowanych do analityki chemicznej i biochemicznej. Podobne prace związane z integracją i miniaturyzacją systemów pomiarowych analitycznych i spektrometrycznych dla np. biologii, medycyny, ochrony środowiska są prowadzone także w analogicznych dziedzinach np. w foto-akustyce, wizualizacji multi-spektralnej, multi-funkcjonalnej endoskopii autonomicznej, itp. Połączenie tych nowych technik może przynieść znaczne postępy w medycynie. W ostatnim dziesięcioleciu obserwowany jest znaczny postęp zastosowań technik optycznych/fotonicznych szczególnie w medycynie. Powstały takie dziedziny jak biofotonika, oraz jej zupełnie fascynująca część – optogenetyka. W przypadku znacznej miniaturyzacji budowanego przez doktoranta nowego układu chemiluminometru, można byłoby w przyszłości myśleć np. o jego zastosowaniu w tych nowych dziedzinach dokładających się dzisiaj w nowy sposób do poznania mechanizmów pracy mózgu.



### 3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Praca doktorska zawiera siedem rozdziałów, które można logicznie przedstawić w trzech grupach, oprócz wstępu, definicji tezy i podsumowania, dotyczących chemiluminescencji i jej metod detekcji, projektu dedykowanego układu scalonego do budowy systemu akwizycji danych współpracującego z nowym fotodetektorem, oraz pomiarów chemiluminescencji.

Rozdział 2 w dużym skrócie przedstawia fotodetektor krzemowy z fotopowielaniem, pracujący w modzie Geigera zliczania pojedynczych fotonów. Autor porównuje go z lampowym fotopowielaczowym detektorem próżniowym PMT. Prezentuje podstawowe charakterystyki np. prądowe i typowe przebiegi sygnałów odpowiedzi. Podkreśla te cechy i parametry które wykorzystuje w budowie swojego układu. Charakterystyki DC i sygnałowe determinują konstrukcję stopnia wejściowego projektowanego układu akwizycji danych. Na potrzeby tej pracy taki skrótowy opis elementu SiPM jest wystarczający.

Rozdział 3 jest poświęcony, ponownie w dużym skrócie, zjawisku chemiluminescencji. Podobnie jak w rozdziale drugim, tutaj autor zarysowuje zjawisko chemiluminescencji jedynie w taki sposób jaki jest niezbędny do prowadzenia dalszego wyводу dotyczącego budowy infrastruktury pomiarowej tego efektu. Rozdziały 2 i 3 mimo skrótowości mają znaczenie nie tylko jako przedstawienie tła badań, ale jako silne uzasadnienie tezy pracy. Teza bowiem zakłada nową koncepcję „połączenia” chemiluminescencji i ultraczułych, miniaturowych fotodetektorów lawinowych SiPM. Charakterystyki sygnałowe zjawiska chemiluminescencji także wpływają istotnie na konstrukcję stopnia wejściowego budowanego systemu DAQ. Można powiedzieć, że sygnał wejściowy z którym mamy tutaj do czynienia jest wspólnym „produktem” badanego dość trudnego do obserwacji zjawiska oraz nowego rodzaju ultraczułego miniaturowego fotodetektora. Z tym sygnałem dalej trzeba sobie umieć poradzić w systemie odczytu i przetwarzania danych.

Po przedstawieniu w rozdziałach 2 i 3 niezbędnego tła realizacji pracy, w rozdziałach 4, 5 i 6 autor zawarł największy ładunek pracy własnej. Obszerny rozdział 4 przedstawia problem odczytu sygnału z detektora SiPM a więc budowę stopni wejściowych i następnych układu akwizycji danych. Stopień wejściowy musi „rozumieć” zasadę działania fotodetektora SiPM i rozróżniać sygnały od pojedynczych fotonów i nakładające się od grupy fotonów, gdzie generowany jest ładunek kolektywny i występuje zjawisko „pile-up” spiętrzania sygnałowego. Odrębną sprawą jest najpierw prawidłowe odwzorowanie zjawiska chemiluminescencyjnego przez fotodetektor SiPM z adekwatną rozdzielczością, a dopiero potem prawidłowy odczyt sygnału z SiPM przez układ elektroniczny. Warunkiem nie zniekształcania sygnału z fotodetektora przez stopień wejściowy układu odczytowego jest dopasowanie sygnałowe, czyli impedancyjne i pasmowe. Autor musi w tym celu modelować fotodetektor SiPM układem zastępczym, który stosuje w projekcie układu wejściowego. Układ wejściowy buduje z przedwzmacniacza oraz szybkiego układu kształtowania impulsu z komparatorem. Celem jest precyzyjny pomiar amplitudy i szerokości impulsu a w wyniku tego ładunku generowanego w SiPM w funkcji czasu. Autor buduje prototyp układu wejściowego z szybkim kształtowaniem impulsu w kilku doskonalonych wersjach. Prototyp testuje z kilkoma fotodetektorami Hamamatsu MPPC i laserowym nanosekundowym źródłem światła. W podobny sposób wykonuje prototyp i testuje konwerter ładunek – czas. Ze względu na różnice wzmocnienia poszczególnych

elementów SiPM stosuje kompensację w postaci w pełni różnicowego układu odczytu. Stochastyczną temperaturową kompensację generacji lawinowej dokonuje poprzez odczyt wielokanałowy i badanie korelacji impulsów. Skonstruowany układ odczytowy zawierający kształtowanie impulsu, konwersję oraz komparator spełnia warunki aplikacyjne.

Obszerny i główny rozdział pracy nr 5 przedstawia projekt i wykonanie dedykowanego układu scalonego VLSI, przeznaczonego do bezpośredniej współpracy z fotodetekтором SiPM, dysponującego wejściami cyfrowymi i wyjściami analogowymi. W trakcie projektu stosuje procedurę top-down, czyli za punkt wyjścia przyjmuje model behawioralny zarówno dla części analogowej jak i cyfrowej. Określa podstawowe parametry projektowe części analogowej jak wzmocnienie, szybkość działania, zużycie mocy, dynamika, szумы, liniowość oraz zajmowany obszar topologiczny. Wyznacza parametry technologiczne procesu MOS. Projektuje kolejne moduły funkcjonalne układu, przedwzmacniacza, wzmacniacza transkonduktacyjnego, itp. Dokonuje analizy stabilności. Generuje topologię części cyfrowej. Testuje wykonany ASIC połączony z detektorem SiPM i dowodzi jego prawidłowego działania.

W obszernym rozdziale 6 autor przedstawia pomiary chemiluminescencji w układzie stacjonarnym i przepływowym mikrofluidycznym przy pomocy zbudowanej przez siebie aparatury pomiarowej. Analizuje sygnał chemiluminescencji w układzie statycznym kilkoma metodami detekcyjnymi, które porównuje między sobą. Substancją czynną są różne koncentracje luminolu. Prezentuje surowe dane odczytowe które dowodzą znacznej czułości i odpowiedniej szybkości a także rozdzielczości układu odczytowego. Pokazuje zachowanie pełnego układu pomiarowego chemiluminescencji dla jego poszczególnych składowych - szybkiego układu kształtowania i integratora cyfrowego, komparatora i konwertera. Tworzy histogramy liczby zliczeń oraz charakterystykę intensywności światła od koncentracji luminolu. Kinetykę reakcji chemiluminescencji, zanik luminescencji w czasie, wyznacza stosując metodę detekcji amplitudy. Wyniki pomiarów z zastosowaniem fotodetektora SiPM porównuje z pomiarami z zastosowaniem PMT. Określa warunki niezbędne dla porównywalności wyników pomiarów oboma detektorami. Określa obszary stosowalności obu detektorów w chemiluminescencji i różnice pomiędzy nimi.

Pomiary chemiluminescencji powtarza dla dwóch układów mikroprzepływowych wykonanych przez IBiB PAN i IBIDI. Dyskutuje trudności pomiarowe związane np. z odgazowaniem roztworu i obecnością mikro-bąbli. Mikro-bąble usuwa w pułapce z mikroporowatą membraną teflonową. Określa czułość metody mikroprzepływowej na ok. 1 foton na mikrogram na mililitr. Czułość ta jest ok. 3 razy mniejsza od pomiarów objętościowych.

W rozdziale 7 autor podsumowuje całość pracy doktorskiej. Jeszcze raz w skrócie podaje główne osiągnięcia swojej pracy z jasnym komentarzem. Na zakończenie podkreśla że wykonane w pracy badania nowego chemiluminescencyjnego systemu pomiarowego była wspierana grantem NCN.

Podsumowując, recenzent stwierdza że autor rozwiązał bardzo dobrze postawione zagadnienie, oraz użył do ich rozwiązania właściwej metody. Przyjął ambitne lecz uzasadnione założenia budowy nowego przyrządu, zestawu pomiarowego łączącego nowy element detekcyjny z trudnym do obserwacji procesem opto-chemicznym.

#### **4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?**

W pracy jest zawartych wiele elementów oryginalnych opracowanych autorsko przez doktoranta. Elementy te można wymienić jak następuje w krótkiej liście najważniejszych osiągnięć:

- postawienie odważnej, nowej koncepcji wykorzystania fotodetektorów SiPM w pomiarach chemiluminescencyjnych,
- projekt pełnego układu odczytowego dopasowanego do fotodetektorów SiPM,
- zbudowanie systemu akwizycji danych bazującego na własnym projekcie dedykowanego układu scalonego ASIC – wykonanego w technologii AMS 350 nm,
- weryfikacja projektu i budowy układu pomiarowego, wykonanie pomiarów chemiluminescencyjnych dla luminolu jako substancji aktywnej, określenie podstawowych parametrów metrologicznych zbudowanego systemu,
- wykonanie pomiarów odniesienia dla detektora próżniowego,
- wykonanie pomiarów w układzie mikro-przepływowym rokującym nadzieje na budowę pomiarowych układów zintegrowanych.

Podsumowując, oryginalność rozprawy polega na udowodnieniu przez autora pełnej stosowalności fotodetektorów SiPM do pomiarów zjawisk chemiluminescencji w układach stacjonarnych i mikro-przepływowych. Przy okazji tego dowodu autor wyznaczył obszary optymalnej detekcji dla elementów SiPM i ich zależność od zastosowanego układu odczytowego.

#### **5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy/?**

Układ logiczny pracy jest następujący. Autor przedstawia tło realizacji pracy, zastosowane nowe elementy foto detekcyjne oraz badane zjawisko. Następnie pokazuje kolejne etapy realizacji projektu. Buduje układ na podstawie projektu. Wykonany układ pomiarowy wykorzystuje do pomiarów zjawiska. Pokazuje parametry funkcjonalne układu pomiarowego, udowadniając postawioną tezę. Recenzent uznaje taki układ pracy i sposób przedstawienia problemu a następnie uzyskanych wyników za prawidłowy.

Podsumowując, autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników pracy badawczej. Do formy redakcyjnej pracy recenzent nie ma zastrzeżeń. Praca jest napisana zwięźle i jasno. Fragmenty opisowe, przegląd literatury i przedstawienie tła i szerszego obszaru badawczego są zarysowane skrótowo ale wystarczająco. Natomiast opis prac własnych projektowych, konstrukcyjnych i pomiarowych są odpowiednio obszerne. Rysunki są czytelne, wykonane w jednakowym stylu.

#### **6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?**

Recenzent nie zauważa jakichś większych uchybień w warstwie merytorycznej pracy. Praca jest napisana wręcz wzorowo. Oczywiście nie sposób uchronić się od drobnych błędów które mają jednak charakter techniczny. Zawsze w pracy doktorskiej w naukach technicznych,

aby uchronić się przed jej nadmierną objętością charakterystyczną dla prac humanistycznych, konieczna jest ścisła dyscyplina. Dyscyplina ta polega niestety na skrótowym ujęciu tematów pomocniczych i pobocznych, nawet wtedy gdy w pracy są mimo tego ważne. Tak było i w tym przypadku. Można dyskutować czy autor nie powinien szerzej opisać niektórych problemów. Recenzent nie jest w żadnym wypadku za rozwlekłością prac doktorskich.

#### 7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Jak już poprzednio recenzent zauważał, praca dotyczy potencjalnie rozwoju autonomicznego miniaturowego systemu akwizycji danych do wykorzystania w chemiluminescencji. Oczywiście do systemu komercyjnego chemiluminometru zintegrowanego droga jest zapewne jeszcze daleka, ale autor swoją pracą ja zasadniczo skraca. Wyniki tej pracy mogą potencjalnie zachęcić jednostki przemysłowe do podjęcia odpowiednich wysiłków budowy takiego pożytecznego przyrządu. I zapewne ktoś to niedługo zrobi. Można więc bez wątpliwości stwierdzić, że przydatność pracy dla nauk technicznych jest znaczna.

#### 8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a/ nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy
- b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- c/ spełniająca wymagania
- d/ spełniająca wymagania z nadmiarem
- e/ wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

Wnoszę o dopuszczenie doktoranta do dalszych etapów procesu doktoryzowania.

W przypadku pozytywnego przebiegu obrony, a w tym prezentacji i otwartej dyskusji jestem skłonny wnioskować o przyznanie doktorantowi wyróżnienia.

  
prof. dr hab. inż. Ryszard Romaniuk

