

Warszawa, dnia 2015.06.10

prof. dr hab. inż. Ryszard Romaniuk

Politechnika Warszawska

Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych

Instytut Systemów Elektronicznych

***KWESTIONARIUSZ- RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ  
DLA RADY WYDZIAŁU INFORMATYKI, ELEKTROTECHNIKI I TELEKOMUNIKACJI  
AKADEMII GÓRNICZO – HUTNICZEJ***

**Tytuł rozprawy: A novel data acquisition system based on fast optical links and universal readout boards (Nowoczesny system akwizycji danych oparty na szybkich połączeniach optycznych i uniwersalnych płytach odczytu)**

**Autor rozprawy: mgr Grzegorz Korcyl**

Podstawą recenzji jest uchwała Rady Wydziału Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji AGH oraz pismo Dziekana w tej sprawie, nr. WIET/366/2015 z dnia 25.05.2015.

**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)?**

Autor rozprawy współpracuje z międzynarodowymi zespołami badawczymi w GSI w Darmsztadzie i w CERN. Znaczna część prac badawczych i technicznych była wykonywana na rzecz dużych eksperymentów naukowych, w tym głównie dla eksperymentu HADES [www-hades.gsi.de] (Spektrometr di-elektronowy o dużej akceptancji) zlokalizowanego w laboratorium GSI. Budowa, eksploatacja i rozwój eksperymentu o takiej skali wymaga okresowych znacznych modernizacji sprzętu i oprogramowania aparatury detekcyjnej, pomiarowej, diagnostycznej i bezpieczeństwa. Związane jest to z utrzymaniem przez pewien okres czasu klasy odkrywczej w skali lokalnej lub globalnej takiej infrastruktury badawczej. HADES będzie eksploatowany jeszcze przez znaczny okres czasu. HADES bada emisje di-elektronowe w reakcjach pomiędzy ciężkimi jonami. Bardzo dobre możliwości identyfikacyjne cząstek spektrometru, oraz znaczna rozdzielczość pomiaru momentu pędu, pozwalają także na dokładne pomiary właściwości hadronów w oddziaływaniach elementarnych. Możliwe są także inne pomiary wchodzące w obszar fizyki poza Modelem Standardowym, jak np. badanie natury czarnej materii. Ostatnio np. HADES poprawił wynik na górną granicę mieszania fotonu z hipotetycznym masywnym Czarnym Fotonem – będącym bozonem wzorcowania interakcji pomiędzy cząsteczkami Czarnej Materii. Badane są także rzadkie rozpady niektórych mezonów na pary elektron pozytron testujące obszar ważności SM. Głównym zadaniem są systematyczne badania produkcji par  $e^+e^-$  w kolizjach nukleon-nukleon i ciężkich jonów w celu izolacji fundamentalnych zjawisk oddziaływania. HADES

bierze także udział w przyszłościowym programie badawczym nad skompresowaną materią barionową w budowanym obecnie nowym kompleksie akceleratorowym FAIR.

Spełniając swoje zadania badawcze HADES musi posiadać: znaczny kął akceptacji (zapewniony przez detektory START, RICH, MDC, TOF, RPC), zaawansowane procedury identyfikacji cząstek, precyzyjne procedury rekonstrukcji wydarzeń, ekstrakcję wysokiej jakości danych (statystyka, rozdzielczość masy, identyfikacja, dokładność pomiarów), oraz akwizycja danych ze znaczną prędkością. Te znakomite wyniki spektrometru HADES w obszarach fizyki ciężkich jonów i cząstek elementarnych są możliwe w znacznym stopniu dzięki elektronice i jej coraz doskonalszej integracji z „ciężkim sprzętem” akceleratorowo – detektorowym. Elektronika eksperymentu obsługuje takie procesy jak: sterowanie i kontrola, pomiary, diagnostyka, obsługa wolnych procesów pomocniczych, obsługa procesów szybkich, synchronizacja, bezpieczeństwo, informacja. Sercem systemu elektronicznego jest ta część odpowiedzialna za zbieranie danych fizycznych. Eksperyment generuje potencjalnie ogromne ilości danych, z których nie wszystkie są istotne, lub nie wszystkie potrafimy obecnie zagospodarować. Systemy trygerowania i akwizycji znacznych ilości danych (często w literaturze światowej określane skrótem TRIDAQ) są przedmiotem ciągłego rozwoju naukowego i technicznego wraz ze wzrastającymi potrzebami pomiarowymi eksperymentów badawczych w obszarach fizyki, astronomii ale także biologii i inżynierii biomedycznej. Jest to obszar działalności naukowej i technicznej Doktoranta. Z publikacji wynika, że Doktorant brał także udział w opracowaniu bez-trygerowych systemów akwizycji danych. W szczególności, Doktorant brał udział (i bierze nadal) w opracowaniu koncepcji, projekcie, budowie, testach i implementacji nowej generacji pod-systemu TRIDAQ dla spektrometru HADES. Był to bardzo ważny etap w rozwoju systemów elektronicznych HADESa polegający na jego całkowitej cyfryzacji i wprowadzeniu technologii FPGA/VHDL i multi-gigabitowych technologii fonicznych. Cyfryzacja otworzyła znacznie szersze możliwości opracowania nowych, elastycznych, konfigurowalnych, parametryzowalnych, skalowalnych, a przez to znacznie efektywniejszych procedur selekcji i przetwarzania danych pomiarowych z eksperymentu. Procesy opracowywania i wdrażania nowych rozwiązań do eksperymentów fizyki wielkich energii mają charakter inercyjny ze względu na znaczną skalę eksperymentów pod wieloma względami. Mimo to opracowywane nowatorskie rozwiązania stanowią często wytyczne dla dalszych wdrożeń przemysłowych elektroniki. Często takie zupełnie nowe rozwiązania są oferowane przez laboratoria badawcze jak GSI czy CERN w repozytoriach otwartego sprzętu OHR (open hardware repository). System TRIDAQ HADESa podlega dalszemu rozwojowi w kierunku standaryzacji nowych rozwiązań w oparciu o układy programowalne FPGA/VHDL i standardy przemysłowe. Obecnie eksploatowany system opracowany przez Doktoranta obsługuje w pełni prowadzone przez HADES eksperymenty np. dla kolizji jonów Au-Au zapewniając przepływności danych rzędu nawet kilkuset MBps dla częstości zderzeń od kilkadziesiątu do 100 kHz. Wydajność opracowanego systemu jest kilkukrotnie wyższa od systemu poprzedniej generacji, zapewniając miejsce na wzrost wymagań pomiarowych w najbliższej przyszłości.

Rozprawa doktorska stanowi w znacznej mierze fragment prac rozwojowych i modernizacyjnych dotyczących spektrometru HADES. Doktorant pracował w zespole HADESa i musiał dostosować swój projekt do bardzo ściśle określonych wymagań eksperymentu. Każdy etap koncepcji, projektu i dalszych działań w takim zespole jest bardzo dokładnie i surowo konsultowany zespołowo. Akceptacja rozwiązań proponowanych przez Doktoranta przez taki doświadczony zespół specjalistów o światowej klasie świadczy o wysokiej jakości tych propozycji i rozwiązań. Rozprawa doktorska była usytuowana w głównym nurcie rozwojowym spektrometru, a więc Doktorant znalazł silne wsparcie

merytoryczne dla swoich prac ze strony Kolaboracji. To wsparcie, połączone z własnym znacznym wkładem pracy Doktoranta zagwarantowało wysoką jakość naukową i techniczną opracowanego i wprowadzonego do eksploatacji rozwiązania systemu TRIDAQ. Przedmiotem rozprawy doktorskiej było opracowanie i wdrożenie do eksploatacji nowego pod-systemu TRIDAQ w spektrometru HADES z zastosowaniem multi-gigabitowych łącz optycznych. Koncepcja rozwiązania pod-systemu TRIDAQ jest przedstawiona wyczerpująco i dostatecznie jasno w rozdziale 4. Problematyka doktoratu jest przedstawiona w rozdziale 2 i częściowo w 3. Wyniki badań własnych Autora są zawarte w rozdziałach 5 oraz 6. Praca ma charakter projektowy i eksperymentalny. Akceptacja autorskiej koncepcji rozwojowej systemu DAQ nowej generacji dla eksperymentu przez kolaborację HADES stanowi znaczny sukces osobisty Doktoranta.

Zagadnieniem naukowym rozpatrzonym w pracy jest opracowanie nowej generacji szybkiego, cyfrowego, rekonfigurowalnego, jak najbardziej uniwersalnego, systemu trygerowania i akwizycji danych pomiarowych z masywnego źródła danych, głównie eksperymentu HADES/GSI. Wymaganiem jest tutaj zapewnienie bardzo wysokiej jakości trygerowanych, transportowanych, przetwarzanych i gromadzonych danych pomiarowych o znacznej wartości fizycznej.

Teza rozprawy nie została sformułowana wprost np. w postaci odrębnego bezpośredniego zapisu, czy podrozdziału jak to czynione jest w niektórych pracach doktorskich. Jednak teza ta jest widoczna pośrednio w opisie tła eksperymentu i postawionego zadania naukowo-technicznego. Można ją zapewne sformułować w postaci stwierdzenia o konieczności i możliwości budowy wysoko wydajnej, cyfrowej, nowej generacji systemu TRIDAQ dla eksperymentu HADES z możliwością rozszerzenia uniwersalnego projektu na inne eksperymenty i pokrewne zastosowania o podobnie wymagających parametrach technicznych. W tym sensie (rozproszonym) teza jest jasna i jednoznaczna i nie budzi zastrzeżeń merytorycznych.

Pozycja naukowa i techniczna Doktoranta w obszarze systemów elektronicznych dla eksperymentów FWE jest dobrze zaznaczona w bibliometrii globalnej poprzez udział w dużych eksperymentach i znanych zespołach badawczych. Wykaz zapisu bibliometrycznego jest następujący (VI 2015): Scopus - 43 dokumenty, 75 cytowań przez 58 dokumentów,  $H=6$ , prace dotyczą eksperymentu HADES i instrumentu J-PET; CERN-CDS zawiera 2 dokumenty dotyczące tomografii PET; INSPIRE HEP zawiera 60 pozycji.  $H_{hep}=7$ ,  $C=149$ ; arXiv.org zawiera 31 pozycji we współautorstwie; ResearchGate zawiera 61 pozycji  $RG=21,63$ ,  $V=5k$ ,  $D=116$ ,  $C=49$ , Suma  $IF=31,51$ ; Web of Knowledge zawiera zapisy podobne do Scopusa; Scholar – brak zapisu. Wartości tych zapisów są więcej niż wystarczające do obrony pracy doktorskiej. Doktorant jest rozpoznawalnym fachowcem w swojej dziedzinie. W sieci globalnej można znaleźć fotografie i opisy funkcjonalności wykonanego przez Doktoranta sprzętu, w szczególności RGB3.

**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?**

Analiza literaturowa jest wyczerpująca. Autor cytuje w pracy 50 pozycji literatury, w tym 4 pozycje jako pierwszy autor. W niektórych pozycjach cytowanej literatury Doktorant jest

współautorem. Literatura dotyczy głównie takich zagadnień jak: spektrometru HADES, systemów DAQ i TRIDAQ, układów FPGA i programowania VHDL, układów ASIC np. dla RPC, systemu DAQ dla PET, standardu ATCA, okresowych raportów technicznych HADESa, i innych pomocniczych dotyczących projektowania układów elektronicznych. Wykaz literatury odzwierciedla strukturę pracy: opis sprzętowych technologii DAQ – poprzednich i obecnych, opis zastosowanego rozwiązania programowalnego FPGA/VHDL, opis wymagań HADESa i tomografii PET, zastosowania. Analiza źródeł w pracy została wykonana właściwie. Dobór literatury światowej jest właściwy i świadczy o dobrej wiedzy autora koniecznej do realizacji zaplanowanego projektu i budowy nowej generacji systemu DAQ. Główną pozycją literatury ściśle związaną z pracą doktorską jest raport techniczny we współ-redakcji Doktoranta i zespołu, będący dobrym podręcznikiem użytkownika dla wykonanego sprzętu TRB3. Poprzednią wersją systemu eksploatowanego przez HADES był TRB2-EPICS.

Ewentualnie można było także powołać się w literaturze nie tylko na eksperyment ATLAS ale także inne, gdzie rozwiązywano podobne zagadnienia budowy wielkoskalowych systemów TRIDAQ, np. CMS, ITER, itp. Licznie cytowane są w literaturze przedmiotu nowatorskie rozwiązania w tym obszarze prof. K. Poźniaka i jego grupy badawczej wykorzystujące oryginalne metody adresowania sprzętu, programowania behawioralnego, obiektowego podejścia do sprzętu. Zbiór tych metod znany jest pod nazwą Component Internal Interface CII. Ta grupa badawcza jest jednym ze światowych liderów w konstrukcji wielkoskalowych systemów TRIDAQ. W szczególności elastyczny system TRIDAQ pozwala na ułatwione tworzenie nowatorskich trygerów, co służy do poszukiwań sygnatur „Nowej Fizyki” poza Modelem Standardowym. Takich nowych trygerów będzie zapewne wkrótce potrzebował także detektor HADES. Nowe trygery rozpoczynają swoje działanie wkrótce w detektorach ATLAS i CMS w warunkach zwiększonej energii wiązek.

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

Struktura rozprawy doktorskiej jest następująca. Autor przedstawia kolejno przegląd systemów akwizycji danych i ich funkcjonalnych elementów składowych, w tym detektorów, elektroniki stopni wejściowych, przetworników, koncentratorów danych, sieci dystrybucji danych, konstruktorów wydarzeń, trygerów i dyskryminatorów danych, układów sterowania wolnozmiennego, a następnie zastosowanej technologii rozwiązania problemu budowy nowej generacji systemu TRIDAQ. Porównuje technologię wybraną konfigurowalną FPGA/VHDL z technologiami alternatywnymi CPU, DSP, GPU i ASIC. Następnie przechodzi do wyboru technologii realizacji i własnego projektu obejmującego sprzęt i oprogramowanie. Pokazuje zastosowania opracowanego rozwiązania dla dwóch przypadków – eksperymentu HADES oraz skanera J-PET. Wykonuje pomiary laboratoryjne wykonanych wersji sprzętu i oprogramowania dla wybranych zastosowań. Taka struktura pracy jest właściwa. Przyjęte założenia wyboru technologii układów programowalnych o znacznych zasobach obliczeniowych oraz multi-gigabitowych łączy światłowodowych są zgodne z obecnymi tendencjami rozwojowymi tej klasy układów elektronicznych.

Postawionym zagadnieniem była realizacja nowej generacji wielkoskalowego, elastycznego, rekonfigurowalnego systemu akwizycji danych głównie dla eksperymentów FWE, ale także potencjalnie przydatnego do innych zastosowań. Zagadnienie to można rozbić na szereg problemów indywidualnych których rozwiązaniem było zadaniem Doktoranta: opracowanie koncepcji systemu, projektowanie z zastosowaniem wybranych technologii, produkcja sprzętu, opracowanie oprogramowania oraz testy. Szczegółowe rozwiązanie postawionych problemów Autor opisuje w rozdziałach 4 – projektowym i wykonawczym,

oraz 5 - aplikacyjnym. Rozdziały te są uzupełnione wynikami pomiarów dwóch wersji wykonanego praktycznie systemu, przedstawionym w rozdziale 6. Rozwiązania te są typowe dla opisanej klasy układów, i nie będę ich tutaj szczegółowo opisywał. Wysiłki Autora idą równolegle do intensywnych prac w obszarze projektów i budowy wielkoskalowych systemów TRIDAQ w kilku laboratoriach świata. Rozwiązania Autora zawierają wystarczający ładunek intelektualny – koncepcyjny, projektowy, konstrukcyjny, programistyczny, laboratoryjny, aby można było uznać jego wagę za pełnowartościową pracę doktorską.

Przyjęte założenia doprowadziły Autora do realizacji celu pracy – wprowadzenia do eksploatacji nowej generacji systemu TRIDAQ, np. w eksperymencie HADES, a także w systemie tomograficznym J-PET. Można więc stwierdzić z całą pewnością, że autor rozwiązał postawione zagadnienie i użył do jego rozwiązania właściwych metod, a założenia projektowe i techniczne były uzasadnione. Autor podaje także przykłady potencjalnych zastosowań tego systemu, lub jego następnej zmodernizowanej i standaryzowanej wersji, w innej wielkiej infrastrukturze badawczej.

#### **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?**

Do oryginalnych naukowo – technicznych osiągnięć własnych Autora można zaliczyć:

Opracowanie nowoczesnej koncepcji budowy wielkoskalowego systemu trygerowania i akwizycji danych pomiarowych w eksperymencie HADES.

Zaproponowanie drzewiastej struktury platformy sprzętowej.

Opracowanie koncepcji zrównoważonego obciążenia ruchem transmisyjnym platformy sprzętowej od miejsca poboru do obszaru koncentracji.

Opracowanie konkretnej implementacji systemu TRIDAQ w postaci nowej generacji płyty systemowej TRB3, stanowiącej istotny postęp koncepcyjny i technologiczny wobec rozwiązania poprzedniej generacji TRB2.

Opracowanie autorskiego firmware układów programowalnych.

Uzyskanie w tej strukturze bardzo wysokich szybkości odczytu.

Uzyskanie znacznego marginesu przepływności danych w zaproponowanej architekturze, wobec wymagań w celu zapewnienia redundancji związanych z fluktuacją parametrów wiązki i zmiany ilości danych podlegających akwizycji.

Dokładne określenie parametrów systemu w warunkach laboratoryjnych oraz testy w warunkach eksploatacyjnych.

Określenie najsłabszych elementów systemu, które mogą w przyszłości ograniczać nominalne parametry i dalszy rozwój.

Wbudowanie skalowalności i rekonfigurowalności w system TRIDAQ, bez czego praca nie miałaby tej wartości.

Wykonanie demonstratorów systemów TRB3 i ich wszechstronna charakteryzacja.

Akceptacja koncepcji Autora przez Kolaborację HADES.

Zastosowanie z pełnym sukcesem systemu TRB3 jako systemu TRIDAQ w spektrometrze HADES i tomografie J-PET.

## **Wyodrębnienie i ocena naukowo-technicznej warstwy z obszaru informatyki**

Największy wkład intelektualny Doktorant wniósł w rozwój oprogramowania nowego systemu TRB w całkowicie zmienionej pod względem koncepcji wersji 3. Rozwiązanie autorskie zagadnienia informatycznego polegało na opracowaniu zupełnie nowych algorytmów akwizycji wielkich ilości, wielostrumieniowych danych, wykorzystujących jak najefektywniej znacznie powiększone możliwości sprzętu, po zmianie wersji systemu. Następnym zadaniem była efektywna implementacja tych złożonych algorytmów w postaci oprogramowania kompatybilnego z pozostałymi częściami systemu DAQ. Kolejnym zadaniem była adaptacja rozwiązań programistycznych do konkretnych przypadków aplikacyjnych TRIDAQ w detektorze HADES oraz DAQ w tomografii. Oprogramowanie zostało zbudowane w sposób elastyczny, łatwo adaptowalny do nowych rozwiązań sprzętowych. Pokazana w pracy droga projektowania oprogramowania dla dużych systemów akwizycji danych stanowi oryginalny i wartościowy pod względem naukowo-technicznym wkład Doktoranta, szczególnie w rozwój systemu TRB.

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

Rozprawa przedstawia poprawnie i metodycznie wszystkie komponenty procesu projektowania i konstrukcji budowanego systemu. We własnej autorskiej części modelowania i technologii autor dokładnie przedstawia wykonane eksperymenty i wnioski z każdego pojedynczego kroku działania – dotyczy to rozdziałów 4 i 5. Te wnioski niewątpliwie ułatwiają recenzentowi pracę, pokazując w pewien sposób co Autor zrobił samodzielnie. A tych prac było wiele, co wymieniam w p.4 recenzji. Z drugiej jednak strony przybliżają nieco pracę do struktury opisowej laboratoryjnej dokumentacji technicznej. Ponadto takie ujęcie opisowe powoduje, że niektóre fragmenty pracy są dość trywialne. Jednak zasadnicze wnioski przedstawiają istotę zagadnień rozwiązanych przez autora i prowadzących do realizacji tezy pracy.

Podsumowując, stwierdzam, że praca jest redakcyjnie poprawna, teza i jej dowód są przedstawione w sposób jasny i zrozumiały także dla nie specjalistów od budowy zaawansowanych systemów elektronicznych.

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

Praca zawiera nieco materiału elementarnego, technicznego o charakterze dość podstawowym, który nie koniecznie musiał być umieszczony w rozprawie doktorskiej. Prawdopodobnie nie odbiło by się to na ocenie merytorycznej własnego materiału badawczego, którego jest dostatecznie dużo aby spełnić wymagania rozprawy doktorskiej. Jest to częsta maniera krajowych prac doktorskich w dziedzinie nauk technicznych, kultywowana w obawie, że praca będzie miała np. mniej niż 100 stron, lub że będzie słabo czytelna dla niespecjalistów. Praca doktorska nadmiernie obszerna jest pisana, wydaje mi się, pod określony typ recenzenta, „klasycznego”. Części o charakterze elementarnym np. dotyczące układów FPGA są w tej pracy na szczęście niezbyt obszerne. Podobnie dotyczy to opisu niektórych fragmentów infrastruktury gdzie Autor stosuje swój system. Dla specjalistów, wyjaśnianie konstrukcji RPC jest zupełnie zbędne. Recenzent preferuje raczej formę pracy doktorskiej skupionej bardzo dokładnie i wąsko wokół tezy. Jest to zapewne fragment trudno rozwiązywalnego problemu pomiędzy profesjonalizmem i zwięzłością pracy a jej czytelnością dla szerszego grona specjalistów. Sama akceptacja koncepcji Doktoranta (przez

Kolaborację HADES) a w szczególności jej implementacja z sukcesem jest warta doktoratu.

W czasie obrony pracy Doktorant powinien skupić się na elementach zrobionych przez siebie, gdyż prace o tak szerokim zakresie są realizowana na ogół w większych zespołach.

Format wydawniczy pracy jest nieco archaiczny. Nie jest to jednak wina doktoranta, a raczej zwyczajów wydawnictwa uczelnianego. Warto może byłoby rozważyć zmianę tego formatu np. na B5 i książkową formę wydawniczą, a nie brulionową, jak jest dotychczas.

Zmienne, zbyt małe wymiary czcionek i zbędne kolory czynią niektóre rysunki w pracy niezbyt czytelne. Pokazywanie rysunków prosto z „Muzeum Techniki”, jak np. rys. 6 także wydaje mi się zbędne. Rysunki nie są w całej pracy standaryzowane do jednego formatu. Sprawiają wrażenie stosowania metody „copy – paste” z materiałów internetowych czy raportów technicznych.

Niektóre sformułowania w tekście, który opisuje wykonaną pracę naukowo-techniczną są mało „naukowo-techniczne”. Powinno unikać się stwierdzeń typu „provide valuable insight”, np. str. 101 bez natychmiastowego podania danych w postaci konkretnych liczb ilustrujących ten wgląd. Takich wyrażen jest w pracy kilka, szczególnie w częściowych wnioskach, ale na szczęście niezbyt dużo.

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

Przydatność rozprawy dla nauk technicznych jest znaczna. Praca testuje wybrane kierunki rozwoju systemów elektronicznych przeznaczonych do wielkoskalowego przetwarzania danych. W tym obszarze badawczym nie ma zastoju. Obserwujemy raczej ciągle dynamiczne zamiany. We wnioskach Autor słusznie zauważa konieczność ścisłej unifikacji wielu składowych takiego systemu do standardu przemysłowego. Takim standardem z wyboru jest obecnie ATCA, uTCA, itp. Rozwiązania proponowane przez Doktoranta leżą na drodze w tym kierunku, i w momencie definiowania projektu stanowiły kompromis pomiędzy wymaganiami, parametrami systemu, kosztami, czasem projektu i implementacji, itp. Proponowane przez Doktoranta rozwiązania mają charakter pełnego prototypowego rozwiązania technicznego wypełniającego wszystkie zasady działania systemów TRIDAQ. Rozwiązania następnych generacji muszą uwzględniać w coraz większym stopniu zasady standaryzacji sprzętu i oprogramowania.

Szczególną przydatność rozprawy dla nauk technicznych widzę w obszarze informatyki. Praca była wykonywana w ramach silnej międzynarodowej Kolaboracji TRB, gdzie główny nacisk (a przez to udział twórczy Doktoranta) jest położony nie tyle na rozwój coraz bardziej standaryzowanego w warunkach przemysłowych sprzętu, ile na rozwój różnych warstw oprogramowania – niskopoziomowego, oprogramowania funkcjonalnego sprzętu, warstw logicznych, komunikacyjnych, użytkowych, diagnostycznych, typu software i firmware, itp.

## **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

W czasie dyskusji Komisji Doktorskiej, podczas obrony pracy jestem skłonny, w sprzyjających okolicznościach i uzyskaniu konsensusu, podwyższyć ocenę pracy na kategorię e/.

Główne oryginalne autorskie osiągnięcia naukowo-techniczne w pracy dotyczą dziedziny informatyki. Praca doktorska spełnia wszystkie wymagania określone stosownymi ustawami państwowymi i zasadami zwyczajowymi i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

A handwritten signature in black ink, consisting of a series of loops and a long horizontal stroke extending to the right.