

WPŁYNYŁO  
2023 -09- 28

dn.....

Dariusz Bocian, dr hab., prof. IFJ PAN  
Instytut Fizyki Jądrowej PAN  
ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków

Kraków, 15.09.2023 r.

## Recenzja

### rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Macieja Grzechrólki zatytułowanej: **„Hardware Simulator Based on a Behavioral Model of a Superconducting Accelerating Module used in the European Spallation Source”**

Recenzja ww. rozprawy doktorskiej została wykonana na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne z dnia 28.06.2023r. Recenzowana rozprawa została zrealizowana w Zakładzie Układów i Aparatury Mikrofalowej Instytutu Systemów Elektronicznych Politechniki Warszawskiej. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Krzysztof Czuba, profesor uczelni.

#### 1. Zagadnienie naukowe rozpatrywane w pracy

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

W ostatnim dziesięcioleciu w Europie podjęto szereg działań w dziedzinie akceleratorów, w tym zbudowano i uruchomiono europejski rentgenowski laser na swobodnych elektronach (E-XFEL - *European X-ray Free Electron Laser*) w DESY, Niemcy (2017) oraz rozpoczęto budowę europejskiego źródła spalacyjnego (ESS – *European Spallation Source*) w Lund, Szwecja (2014). W obu tych wielkich europejskich przedsięwzięciach znaczący wkład wniosły i nadal wnoszą polskie zespoły badawczo-inżynierskie, głównie jako polski wkład rzeczowy.

Tematyka pracy doktorskiej Pana mgr inż. Macieja Grzechrólki dotyczy zaprojektowania symulatora wnęki rezonansowej, który w czasie rzeczywistym będzie odtwarzał działanie eliptycznych wnęk rezonansowych stopnia pośredniego (medium- $\beta$ ) i końcowego (high- $\beta$ ) akceleratora ESS wraz z wzmacniaczami wysokiej mocy. Rozprawa ma charakter doświadczalno-konstrukcyjny, nie zawiera tez, natomiast zawiera jasno sformułowane i dobrze określone cele.

Celem głównym pracy było zbudowanie urządzenia, które będzie symulować sygnały wysokiej częstotliwości (w. cz.) oraz sygnały analogowe przychodzące do system sterowania parametrami pola elektromagnetycznego w.cz. (ang.: *LLRF - Low Level Radio Frequency*). Zaprojektowanie takiego urządzenia wymagało wiedzy z różnych dziedzin, w tym fizyki akceleratorowej, elektroniki wysokich częstotliwości i elektroniki analogowej, przetwarzania sygnałów cyfrowych oraz technologii szybkich obwodów cyfrowych. Ponadto projektowanie wymagało modelowania wnęki rezonansowej i wzmacniacza wysokiej mocy oraz właściwej implementacji w oprogramowaniu sprzętowym. Następnie wymagana była weryfikacja eksperymentalna zbudowanego symulatora wnęki rezonansowej. Finalnie przygotowane urządzenie zostało udostępnione naukowcom i inżynierom rozwijającym systemy sterowania parametrami pola elektromagnetycznego w.cz. celem wykonywania testów elektroniki i oprogramowania zaprojektowanych dla akceleratora ESS. Dodatkowo symulator może być również wykorzystany dla weryfikacji poprawności instalacji systemów LLRF w Lund. Cel wskazany w rozprawie został osiągnięty. Zmierzone parametry urządzenia osiągnęły wymagane wartości, wartość dobroci Q przekroczyła  $10^9$  co pozwala urządzeniu symulować zarówno wnęki wykonane z materiałów nadprzewodzących jak i normalnie przewodzących. Urządzenie z powodzeniem było stosowane w sekcji pośredniej (medium- $\beta$ ) i planowane jest jego użycie również w sekcji końcowej

(high- $\beta$ ) akceleratora ESS. Zaprojektowane urządzenie może być z powodzeniem dalej rozwijane poprzez dodawanie nowych funkcjonalności, w tym poprzez proste modyfikacje może być dostosowane do wnęk pracujących przy innych częstotliwościach niż ESS.

## 2. Analiza źródeł i stanu wiedzy

*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?*

W przedstawionej rozprawie Autor uwzględnił 76 źródeł, zawierających pozycje książkowe, publikacje w czasopiśmie naukowych, raporty techniczne i odnośniki do stron internetowych. Autor wskazuje 15 pozycji literaturowych w których albo był pierwszym autorem albo partycypował w nich jako współautor. Wprowadzenie teoretyczne do tematu rozprawy stanowi 10% objętości pracy.

Stwierdzam, że źródła zostały dobrane właściwie i logicznie oraz należycie wykorzystane w tekście. Każdy obszar poruszonej tematyki został dobrze wsparty literaturą zawierającą najnowszą światową wiedzę w wymaganym zakresie. Wybór źródeł świadczy o dobrej wiedzy i rozeznaniu Autora w tematyce doktoratu.

## 3. Rozwiązanie postawionego zagadnienia

*Czy autor rozwiązał postawione zagadnienie, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?*

W recenzowanej rozprawie doktorskiej przedstawiono kompletną ścieżkę badawczą. W rozdziale drugim szczegółowo przedstawiono system sterowania parametrami pola elektromagnetycznego w.c.z. (ang.: *LLRF - Low Level Radio Frequency*) obejmujący zarówno komponenty elektroniczne, oprogramowanie sprzętowe jak i oprogramowanie systemu sterowania. Na tej podstawie przedstawiono parametry i wymagania dla projektowanego symulatora wnęki rezonansowej. Następnie przedstawiono koncepcję i propozycję rozwiązania sprzętowego, modele wnęki rezonansowej i wzmacniacza, oprogramowania sprzętowego i finalnie wyniki pomiarów.

Stwierdzam, że w przedstawionej rozprawie Pan mgr inż. Maciej Grzegorzócki właściwie rozwiązał postawione zagadnienia, wyczerpująco uzasadnił sposób postępowania na każdym etapie badań, przyjął prawidłowe założenia do realizacji pracy i osiągnął zamierzony przez siebie cel.

## 4. Oryginalność rozprawy, samodzielny i oryginalny dorobek autora

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

Tematyka badań prowadzonych przez Pana mgr inż. Macieja Grzegorzóckę w jego pracy doktorskiej jest aktualna. Osiągnięte wyniki są nową wiedzą i mają duży potencjał aplikacyjny. Temat pracy został wybrany prawidłowo. Autor wyraźnie zaznaczył swój wkład do badań prowadzonych w ESS. W zasadzie całość pracy przedstawiająca proces projektowania i wykonania symulatora wnęki rezonansowej jest oryginalnym dorobkiem autora. Stwierdzam, że treść zawarta w rozprawie odpowiada kryteriom pracy doktorskiej w zakresie samodzielnego i oryginalnego dorobku Autora.

## 5. Redakcja rozprawy

*Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?*

Praca ma 63 strony, zawiera 7 rozdziałów głównych podzielonych na podrozdziały. Praca posiada dodatkowy rozdział A zawierający 6 załączników. Praca napisana jest w języku angielskim. Układ rozdziałów i ich zawartość należy uznać za prawidłowy. Ocenie nie podlegały język, poprawność stylistyczna oraz gramatyczna pracy. Praca jest napisana językiem zrozumiałym.

W rozdziale 1 – Wstęp – Autor na początku przedstawił krótkie wprowadzenie do akceleratorów cząstek, skupiając się na komponentach akceleratorów liniowych istotnych dla rozprawy doktorskiej. Dalsza część wstępu jest poświęcona wprowadzeniu do zasadniczego tematu rozprawy, czyli zaprojektowania symulatora wnęki rezonansowej. Rozprawa nie zawiera tez, przedstawia ona opis rozwiązań problemu badawczo-technicznego. W podrozdziale 1.5 przedstawione są cele rozprawy. Rozdział 2 zawiera opis systemu sterowania parametrami pola elektromagnetycznego w.cz rozwijanego dla akceleratora Europejskiego Źródła Spalacyjnego budowanego obecnie w Lund, Szwecja. W podrozdziale 2.3 przedstawiono wymagania i główne cele dla symulatora wnęki RF. Zasadnicza część pracy zawarta jest w rozdziałach 3, 4, 5 i 6. Zawierają one element twórczy, który stanowi około 50% objętości pracy. Rozdziały te szczegółowo przedstawiają projektowaną elektronikę, oprogramowanie elektroniki, model symulatora - jego podstawy teoretyczne i implementację oraz wyniki pomiarów działania symulatora wnęki RF.

Rozdział 7 przedstawia podsumowanie poszczególnych etapów realizacji badań naukowych, zaś rozdział A zawiera informacje dodatkowe.

Autor nie uchronił się przed kilkoma niedociągnięciami, z których za najbardziej istotne uważam: (1) bardzo skrótowe informacje w rozdziale 1. W 1.2 przedstawiono 9-celową eliptyczną wnękę RF dla projektu E-XFEL natomiast nie przedstawiono w tym podrozdziale opisu rozwiązania w projekcie ESS, którego dotyczy ta praca. W projekcie ESS zastosowano wnęki 5-cio i 6-cio celowe, którą to informację można znaleźć w pracy w formie bardzo skrótowej kilka stron dalej, na końcu podrozdziału 1.4 w tabeli 1.1.

(2) brak jest wyjaśnień niektórych skrótów jak np. *PI controller*, który w dodatku jest tytułem podrozdziału 2.2.3. W pracy bardzo brakuje tabeli skrótów i ich objaśnień.

(3) brakuje odniesienia do rzeczywistych wyników pomiarów na stanowisku testowym w Lund (Test Stand 2). Rozumiem, że powodem były ograniczenia wynikające z napiętego harmonogramu konstrukcji ESS.

## 6. Znaczenie pracy

*Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk inżynieryjno-technicznych?*

Wyniki badań prowadzonych dla europejskiego źródła spalacyjnego mają duże znaczenie dla środowiska akceleratorowego, zwłaszcza w obszarze akceleratorów liniowych. Modelowanie i symulacje działania skomplikowanych podzespołów akceleratorów jest jedną z kluczowych metod badań i optymalizacji przyjętych rozwiązań strukturalnych, w tym zarówno sprzętowych jak i programistycznych. Ponadto dysponując tego typu narzędziem można z powodzeniem implementować różne funkcje lub zaawansowane modele stosunkowo niskim kosztem co jest istotne dla nowobudowanej infrastruktury ESS. Autor słusznie zauważa, że rozwinięty przez niego projekt systemu symulatora wnęki rezonansowej może mieć zastosowanie również w innych infrastrukturach akceleratorowych, jak np. projekt PIP-II w ośrodku Fermilab, USA.

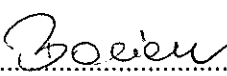
## 7. Do której z wymienionych kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

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

## Wniosek końcowy

Pomimo wystąpienia kilku niedociągnięć, głównie w pierwszej części, praca prezentuje materiał o dużej wartości poznawczej, wskazującej na oryginalne i twórcze podejście do problematyki

przedstawionej w celach rozprawy. Poziom zawartego w pracy materiału i zaprezentowane wyniki spełniają warunki stawiane rozprawom doktorskim. Podsumowując, stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Macieja Grzegorzówki spełnia warunki określone w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z dnia 21.06.2016 r., poz. 882) i wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie mgr inż. Macieja Grzegorzówki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

  
.....  
podpis recenzenta