

Politechnika Białostocka

Białystok, 08.05.2024 r.

dr hab. inż. Grzegorz Mieczkowski, prof. PB

Katedra Budowy i Eksploatacji Maszyn

Wydział Mechaniczny

ul. Wiejska 45C

15-351 Białystok

RECENZJA

pracy doktorskiej pana mgr. inż. Jacka Harazina

pt. „*Synteza i analiza złożonych układów piezoelektrycznych z uwzględnieniem metod klasycznych i nieklasycznych*”

wykonanej pod opieką promotora dra. hab. inż. Andrzeja Wróbla, prof. PŚ

i promotora pomocniczego dra. hab. inż. Marka Płaczka, prof. PŚ,

opracowana na zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna

Politechniki Śląskiej Pani Prof. dr hab. inż. Ewy Majchrzak

(pismo RDIME. 512.1.2024)

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedmiotem niniejszej recenzji jest praca doktorska mgr. Jacka Harazina pt. „*Synteza i analiza złożonych układów piezoelektrycznych z uwzględnieniem metod klasycznych i nieklasycznych*”. Praca doktorska dotyczyła opracowania metody syntezy modeli matematycznych układów piezoelektrycznych oraz weryfikacji możliwości zastosowania metody nieklasycznej, opartej na grafach i algebrze liczb strukturalnych, do analizy tych układów. Autor pracy skupił się na syntezie modeli mechatronicznych układów kaskadowych, które były odwzorowaniem rzeczywistych stosów piezoelektrycznych, złożonych z płytek o różnych parametrach geometrycznych lub właściwościach materiałowych. Badania obejmowały opracowanie zsyntetyzowanych modeli takich układów, opartych na analizie częstotliwości rezonansowych i antyrezonansowych poszczególnych członów oraz ich kluczowych parametrów materiałowych lub geometrycznych. Dodatkowo, przeprowadzono analizę odpowiedzi amplitudowej modeli w dziedzinie częstotliwości, a następnie dokonano porównania uzyskanych wyników z wykorzystaniem zarówno metod analitycznych, jak i empirycznych.

Praca doktorska ma istotne znaczenie dla dalszego rozwoju technologii w obszarze aktywnego tłumienia drgań oraz potencjalnego wykorzystania układów piezoelektrycznych w nowych dziedzinach przemysłu, co mogłoby przynieść korzyści dla różnorodnych branż. Zatem, temat rozprawy doktorskiej Pana Jacka Harazina należy uznać za ważny i aktualny na tle obecnych wyzwań technologicznych i inżynierskich.

Recenzowana praca zawiera 182 strony, w tym 102 rysunki (wykresy, schematy, zdjęcia z badań empirycznych) oraz 22 tabele. Spis literatury obejmuje 102 pozycje. Autor korzystał zarówno z tradycyjnych, jak i elektronicznych źródeł. Do pracy załączono 4

Biuro Dziekana

złożono dnia 08.05.2024
RDJMe/512/51/2024
nr zat.

załączniki. Trzy z nich zawierają kody opracowanych przez Doktoranta algorytmów lub aplikacji komputerowych (łącznie 25 stron). Załącznik 4 stanowi program komputerowy.

Układ rozdziałów jest logiczny i typowy dla rozpraw doktorskich. Można w niej wyodrębnić dwie części-teoretyczną i empiryczną. Poprzedza je kolejno streszczenie pracy, spis literatury oraz wykaz oznaczeń.

Na początku, w pierwszej części pracy (teoretycznej, stanowiącej około 60% objętości pracy), Doktorant uzasadnia istotność oraz aktualność podejmowanej tematyki badawczej. Omawia istniejące teorie i metody związane z aktywnym tłumieniem drgań. Następnie, bazując na własnych badaniach wstępnych, analizie prac poprzedników z Politechniki Śląskiej oraz przeglądzie literatury, który obejmuje matematyczną analizę i syntezę układów piezoelektrycznych, Doktorant sformułował tezę, cele oraz zakres przeprowadzanych badań.

Następnie w rozdziale pt. „Charakterystyka badanych obiektów” analizuje równania konstytutywne opisujące zjawisko piezoelektryczne oraz kluczowe parametry materiałów piezoelektrycznych, mające znaczenie dla dalszych badań.

W kolejnym rozdziale pt. „Metoda grafów i liczb strukturalnych” Doktorant przedstawia wprowadzenie do metody grafów liczb i strukturalnych wraz z graficzną reprezentacją relacji wewnątrz i na zewnątrz układów. Warto nadmienić, że w dalszej części pracy (rozdział pt. „Metody syntezy i analizy modeli matematycznych”) Doktorant zaprezentował autorską metodę analizy układu tłumionego z wykorzystaniem liczb strukturalnych.

We wspomnianym rozdziale pt. „Metody syntezy i analizy modeli matematycznych” omawia proces syntezy w zapisie dla układu o nieskończonych stopniach swobody, prezentując go szczegółowo na przykładzie układu o dwóch stopniach swobody. Przeprowadza także analizę odpowiedzi tego układu za pomocą dwóch różnych metod-klasycznej (metoda macierzowa) i nieklasycznej (metody grafów i liczb strukturalnych). Dokonuje oceny dokładności oraz efektywności obydwu metod, wykorzystując w tym celu algorytmy obliczeniowe realizowane w środowisku Matlab. Obliczenia wykonano dla układu mechanicznego, uwzględniając elementy inercyjne, sprężyste oraz tłumiące. W rozdziale tym Doktorant przedstawia także zsyntetyzowany model mechatroniczny przetwornika piezoelektrycznego, otrzymany poprzez dodanie do modelu mechanicznego dyskretnego układu elektrycznego. Dla opracowanego modelu, wyznacza, w oparciu o równania konstytutywne, wzory przejściowe, które umożliwiają wyznaczenie jego parametrów materiałowych lub geometrycznych w zależności od parametrów wejściowych w postaci częstotliwości rezonansowych.

W ramach swojej dysertacji mgr. inż. Jacek Harazin stara się wykazać następującą tezę:

„Tezą pracy jest więc możliwość utworzenia metody syntezy, umożliwiającej modelowanie dowolnych układów piezoelektrycznych o strukturze kaskadowej na bazie danych wejściowych w postaci zbioru częstotliwości rezonansowych, posiadając ograniczoną liczbę informacji na temat właściwości materiałowych lub geometrycznych dobieranych przetworników piezoelektrycznych.”

Głównym celem pracy było stworzenie metody syntezy modeli matematycznych układów piezoelektrycznych. Dodatkowo, badano również potencjał zastosowania metody niekonwencjonalnej, opartej na grafach i algebrze liczb strukturalnych, do analizy układów piezoelektrycznych.

W mojej opinii, teza pracy jest unikatowa i nie przypomina mi żadnych znanych rozwiązań dostępnych w literaturze specjalistycznej.

Przyjęty cel i teza stanowiły kontekst dla dalszych analiz i eksperymentów przeprowadzonych w ramach dysertacji. Empiryczną część pracy można rozdzielić na dwie

sekcje: prezentację działania autorskiego programu komputerowego oraz opis przeprowadzonych badań doświadczalnych.

W sekcji pierwszej (rozdział pt. „Program komputerowy do syntezy i analizy układów piezoelektrycznych”) Doktorant przedstawił strukturę programu, sposób działania, wprowadzania danych oraz otrzymywane wyniki. Opracowany program składa się z dwóch modułów-syntezy i analizy układu piezoelektrycznego.

W pierwszym module zastosowano dwie różne metody syntezy układów piezoelektrycznych, charakteryzujące się różnymi parametrami wejścia i wyjścia. Pierwsza z tych metod pozwala na dostosowanie parametrów geometrycznych układów płytek piezoelektrycznych, uwzględniając parametry materiałowe każdego elementu stosu oraz ich częstotliwości rezonansowe. Druga metoda umożliwia natomiast określenie parametrów materiałowych syntetyzowanych elementów piezoelektrycznych na podstawie już ustalonych parametrów geometrycznych oraz częstotliwości rezonansowych i antyrezonansowych układu. Niezależnie od wybranej metody syntezy w rezultacie otrzymuje się komplet danych geometrycznych i materiałowych wszystkich członów układu, w tym ich masę, sztywność i współczynnik tłumienia.

Moduł drugi przeznaczony jest do analizy układu piezoelektrycznego i może być wykorzystany np. do weryfikacji danych uzyskanych w procesie syntezy. Po zdefiniowaniu obciążeniowych warunków brzegowych otrzymuje się odpowiedź amplitudową modelu w dziedzinie częstotliwości. Przewidziano stosowanie wymuszenia mechanicznego oraz napięciowego. W obu przypadkach istnieje opcja zdefiniowania wymuszenia harmonicznego z sinusowym lub cosinusowym przesunięciem, a także określenia kroku próbkowania i zakresu badanych częstotliwości. Wynik otrzymuje (przemieszczenie, napięcie) się w postaci graficznej dla każdej płytki piezoelektrycznej.

W sekcji dotyczącej opisu przeprowadzonych badań doświadczalnych (rozdział pt. „Badania doświadczalne”) Doktorant przedstawił w sposób bardzo szczegółowy stanowisko badawcze oraz obiekt i plan badań. Stanowisko badawcze zawierało trzy podstawowe komponenty: układ wymuszenia elektrycznego (generator fal elektrycznych, wzmacniacz napięciowy), układ pomiarowy (interferometr laserowy) oraz układ akwizycji danych (oscylloskop). Badania podzielono na dwa etapy. Pierwszym etapem było opracowanie metod przygotowania stosów płytek, ich mocowania podczas badań oraz wypracowanie procedur pomiarowych. W drugim etapie przeprowadzono właściwe badania, których wyniki zostały wykorzystane do weryfikacji opracowanego zsyntezowanego modelu, uzyskanego poprzez autorską metodę syntezy układów piezoelektrycznych. W pierwszym etapie zbadano trzy różne stosy wykonane z dwóch laboratoryjnych płytek piezoelektrycznych sklejonych ze sobą. Natomiast w drugim etapie analizowano stosy wykonane z komercyjnych układów piezoelektrycznych.

W ostatnim rozdziale pt. „Wnioski oraz uwagi końcowe” Doktorant podsumował przeprowadzone w ramach rozprawy doktorskiej badania oraz zmieścił wyciągnięte z nich wnioski.

2. Szczegółowa analiza dysertacji oraz jej ocena

W opinii recenzenta, podnoszone są następujące kwestie:

- Czy doktorant posiada aktualną wiedzę związaną z badaniami prowadzonymi w ramach dysertacji?
- Czy badania przyczyniły się do poszerzenia wiedzy w obszarze tematyki doktoratu?
- Czy zastosowane metody badawcze były odpowiednie w kontekście prowadzonych badań?
- Czy interpretacja uzyskanych wyników jest rzetelna i adekwatna do zebranych danych?

2.1 Ocena wiedzy teoretycznej Doktoranta

Doktorant w swojej pracy doktorskiej dokładnie i kompleksowo przedstawia metody syntezy oraz analizy matematycznej skomplikowanych układów elektromechanicznych. Doktorant opisuje metody jasno, używając fachowego słownictwa, i bogato ilustruje je za pomocą rysunków i przykładów, co ułatwia zrozumienie dla czytelnika.

Co się tyczy metod syntezy, to o jego dużej wiedzy w tej tematyce świadczy fakt, że zmodyfikował model otrzymany przy stosowaniu podejścia Cauera. Modyfikacja polegała na wprowadzeniu do modelu nowych członów związanych z tłumieniem i obecnością efektu piezoelektrycznego w materiale. Wprowadzając wspomniane zmiany, doktorant wykazał, że posiada wiedzę z zakresu modelowania tłumienia w materiałach (metoda Rayleigha) oraz wykorzystania równań konstytutywnych materiałów piezoelektrycznych.

Analizy matematyczne układów zostały przeprowadzone przy użyciu zarówno podejść nieklasycznych, takich jak metoda grafów i algebra liczb strukturalnych (podejście Bellerta), jak i podejść klasycznych, obejmujących różniczkowe równania ruchu (metoda Lagrange'a II rodzaju). Szczególnie obszernie opisana została metoda nieklasyczna. Autor wprowadził w niej modyfikacje, które umożliwiły zastosowanie tej metody w układach z tłumieniem. Modyfikacja polegała na dodaniu do modelu tłumienia, które było wyznaczane w sposób klasyczny.

Doktorant wykorzystuje zarówno literaturę zagraniczną, jak i krajową, przy czym znacząca część jego pracy opiera się na wcześniejszych badaniach prowadzonych przez pracowników Politechniki Śląskiej. Przegląd literatury pomaga mu sformułować trafnie tezę i cele badań.

Warto podkreślić, że zdolność do uzyskania rozwiązań w postaci matematycznych wzorów oraz ich praktyczne zastosowanie w autorskim programie komputerowym świadczą o wysokim poziomie wiedzy matematycznej i umiejętności programistycznych Doktoranta.

W tekście tej części rozprawy zauważono drobne niedociągnięcia. Mianowicie:

- 1) strona **20**, zdanie „Układy regulowano dołączonymi sieciami elektrycznymi o różnych kombinacjach elementów RLC w celu wprowadzenia tłumienia pasywnego”

Uwaga recenzenta: czy na pewno Autor miał na myśli tłumienie pasywne?;

- 2) strona **44**, zdanie „Siły zewnętrzne, ze względu na ich źródło, które znajduje się poza rozpatrywanym układem, opisywane są analogicznie do momentów bezwładności, tzn. dane przemieszczenie.....”

Uwaga recenzenta: czy na pewno Autor miał na myśli momenty bezwładności?;

- 3) strona **45** i **46**, wzór 3.8, rys. 3.8

Uwaga recenzenta: wzór 3.8 wskazuje, że zbiór 6_2X jest zbiorem wieloelementowym, a na rys. 3.8 przedstawiono ten zbiór to jako 1-elementowy;

- 4) strona **55**, wzory 4.4 i 4.5 oraz **strona 58**, wzór 4.14

Uwaga recenzenta: czy nie lepiej byłoby we wszystkich wzorach użyć tej samej litery np. G?

- 5) strona **69**, wzory 4.40÷4.43

Uwaga recenzenta: nie jest jasne, jak uzyskano wzór 4.43 na podstawie wzorów 4.40÷4.42;

- 6) strona **101** odwołanie do rysunku 4.26

Uwaga recenzenta: w tekście pracy nie odnalazłem rysunku 4.26.

Pomimo drobnych niedociągnięć, recenzent ma pewność, że doktorant posiada wszechstronną wiedzę zarówno ogólną, jak i specjalistyczną w dziedzinie prowadzonych badań.

2.2 Ocena oryginalności przedstawionych rozwiązań

Drgania mechaniczne są powszechnym i nieuniknionym efektem, wywołanym oddziaływaniem różnych czynników na konstrukcje mechaniczne. Aby skutecznie kontrolować te drgania, coraz częściej wykorzystuje się układy piezoelektryczne, w tym tzw. stosy płytek. Mogą one służyć do aktywnego tłumienia drgań, monitorowania i analizy drgań mechanicznych, a także do generowania wibracji, jak np. w sonarach czy systemach wykorzystujących pomiary oparte na ultradźwiękach.

Po dokładnej analizie literatury, Doktorant zidentyfikował lukę badawczą, polegającą na braku metod syntezy umożliwiających modelowanie układów piezoelektrycznych w przypadku nieznajomości pożądaných parametrów wejściowych płytek tworzących stosy piezoelektryczne. W odpowiedzi na tę lukę badawczą, sformułował tezę, że takie metody można opracować i wykorzystać je następnie do stworzenia zsyntetyzowanego modelu, przyjmując częstotliwości drgań rezonansowych jako parametry wejściowe. Następnie przeprowadził badania teoretyczne i eksperymentalne, aby potwierdzić prawdziwość tej tezy, realizując tym samym główny cel swojej dysertacji.

Rezultatem badań było opracowanie autorskiej metody syntezy układów piezoelektrycznych o nieskończonej liczbie stopni swobody, wraz z pełnym opisem matematycznym. Kolejnym osiągnięciem Doktoranta było uzyskanie niezbędnych wzorów do przeprowadzenia analizy matematycznej tych układów. Na uwagę zasługuje również opracowanie oryginalnej metody nieklasycznej do analizy układów z tłumieniem. Istotnym osiągnięciem było także stworzenie aplikacji komputerowej do syntezy i analizy układów piezoelektrycznych, co może znacząco przyspieszyć proces projektowania nowych urządzeń piezoelektrycznych.

Po szczegółowej analizie części eksperymentalnej pracy zauważyłem drobne usterki redakcyjne, oraz nasunęło mi się kilka uwag, wątpliwości i pytań. Poniżej przedstawiam moje spostrzeżenia:

1) Rozdział „Program komputerowy do syntezy i analizy układów piezoelektrycznych”

Pytanie recenzenta: Czy dałoby się w prosty sposób zmodyfikować program tak, aby na wejściu zadać oczekiwany parametr wyjściowy np. amplituda odkształcenia, przy określonym wymuszeniu? W opinii recenzenta znacznie wpłynęło by to na zwiększenie funkcjonalności aplikacji.

2) strona 111 oraz 112, „Pierwszym, a zarazem głównym oknem..... Widok głównego okna programu do syntezy parametrów piezoelektrycznych przedstawiono na rysunku 5.3.”

Uwaga recenzenta: Tekst ze strony 111 powtórzono na stronie 112;

3) strona 114, „W prawym dolnym rogu ekranu umieszczono pole wyboru opisane jako...”

Uwaga recenzenta: powinno być: „W lewym dolnym rogu ekranu...”

4) strona 117 rozdział „Synteza właściwości materiałowych”, rys. 5.7

Pytanie recenzenta: Jaki jest sens przeprowadzenia badań syntezy właściwości materiałowych, skoro do dalszych analiz przyjmuje się materiał już istniejący, którego parametry (np. gęstość) istotnie różnią się od wyznaczonych?

5) strona 125, odwołanie do rysunku 4.25

Uwaga recenzenta: w tekście pracy nie odnalazłem rysunku 4.25.

6) strona 136, rys. 6.8 oraz strona 154, rys. 6.29

Pytanie recenzenta: Z jakiego powodu w badaniach opisanych w rozdziałach 6.1 oraz 6.2 stosowano różne mocowania stosu płytek? W opinii recenzenta mocowanie stosu, przedstawione na rysunku 6.8, jest niezgodne z założeniami przyjmowanymi w modelach matematycznych.

7) strona 160, rys. 6.34

Uwaga recenzenta: W opisie wyników nie zostało dostatecznie wyjaśnione, że wyniki badań eksperymentalnych wykazały mniejsze przemieszczenie stosu płytek w porównaniu do przemieszczenia pojedynczych płytek piezoelektrycznych.

Dysertacja Doktoranta przedstawia interesujące podejście do modelowania układów piezoelektrycznych, zwłaszcza w sytuacji, gdy brakuje pożądanych parametrów wejściowych. Przeprowadzona weryfikacja eksperymentalna potwierdziła przyjętą tezę pracy. Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską, stwierdzam, że problematyka badawcza poruszana przez Doktoranta jest zgodna z aktualnymi kierunkami badań w zakresie tłumienia, kontroli i generowania drgań. Wspomniane powyżej osiągnięcia stanowią cenny wkład w rozwój tej dziedziny.

2.3 Ocena prowadzenia badań naukowych

W ocenie prowadzonych badań przez Doktoranta należy uwzględnić różnorodność zastosowanych metod oraz samodzielność w ich realizacji. Doktorant wykazał się zarówno umiejętnościami w modelowaniu matematycznym, jak i prowadzeniem badań eksperymentalnych. Wykorzystując uzyskane modele matematyczne, opracował program komputerowy, co świadczy o jego zaawansowanej wiedzy i umiejętnościach programistycznych. Natomiast w badaniach eksperymentalnych doktorant skutecznie dobrał i wykorzystał odpowiednią aparaturę badawczą, umożliwiającą wyznaczenie odpowiedzi amplitudowych układów piezoelektrycznych w dziedzinie częstotliwości. Jedyny niedosyt, jaki pojawił się po przeanalizowaniu pracy, wynika z faktu, że w badaniach eksperymentalnych nie uwzględniono wymuszenia mechanicznego.

Mimo uwag zawartych w recenzji, uważam, że prowadzenie badań teoretycznych i eksperymentalnych oraz dyskusja wyników są na bardzo wysokim poziomie. Badania doświadczalne pozytywnie potwierdziły opracowane rozwiązania matematyczne, co daje podstawy do stwierdzenia osiągnięcia celu pracy i udowodnienia tezy.

Wyniki przeprowadzonych badań zostały udostępnione szerszej społeczności naukowej poprzez publikację w renomowanych czasopismach naukowych oraz prezentacje na różnych konferencjach.

2.4 Ocena jakości interpretacji uzyskanych wyników

Prezentacja wyników została przedstawiona w sposób jasny i zrozumiały dla czytelnika. Bardzo pozytywnie należy ocenić bogaty materiał ilustracyjny, który został w niej umieszczony, co znacząco ułatwia zrozumienie omawianych problemów. Liczba rysunków, schematów, tabel oraz wykresów jest odpowiednio dobrana, co sprzyja klarownemu wyjaśnieniu analizowanych zagadnień. Wyniki badań są systematycznie omawiane, a wnioski zawarte w pracy, także ilościowe, stanowią rzetelne podsumowanie przeprowadzonych badań. Wartość dodatnią pracy stanowi także wskazanie, w oparciu o przeprowadzone badania, kierunków dalszych badań, mianowicie:

- badania przy zastosowaniu metod elementów skończonych i specjalistycznego oprogramowania MES;
- rozważenie alternatywnych metod syntezy elementów tłumiących,

co świadczy o profesjonalnym podejściu Doktoranta do tematu i jego dążeniu do rozwijania naukowych dyskusji.

Zauważone drobne usterki, wspomniane wcześniej w recenzji, nie mają istotnego wpływu na ogólną wartość merytoryczną pracy oraz nie podważają prawidłowości prowadzonych badań i uzyskanych wyników. Prezentacja wyników jest klarowna i

zrozumiała, a wnioski wyciągnięte z wyników badań są rzetelne i adekwatne do zebranych danych oraz odpowiadają na pytania badawcze.

3. Wniosek końcowy

Po przeanalizowaniu rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Jacka Harazina pt. „Synteza i analiza złożonych układów piezoelektrycznych z uwzględnieniem metod klasycznych i nieklasycznych”, której promotorem jest dr hab. inż. Andrzej Wróbel, prof. PŚ, oraz promotorem pomocniczym dr hab. inż. Marek Płaczek, prof. PŚ, mogę stwierdzić, że Autor:

- w swojej dysertacji skupił się na istotnym i aktualnym zagadnieniu w dziedzinie Inżynieria Mechaniczna, które ma szczególne znaczenie z perspektywy rozwoju technologii w obszarze aktywnego tłumienia drgań oraz potencjalnego wykorzystania układów piezoelektrycznych w nowych dziedzinach przemysłu, co może przynieść korzyści dla różnorodnych branż;
- sformułował jednoznacznie i poprawnie cel i tezę pracy doktorskiej, która jest unikatowa i nie przypomina mi żadnych znanych rozwiązań dostępnych w literaturze specjalistycznej;
- posiada aktualną wiedzę ogólną i specjalistyczną oraz umiejętności programistyczne i eksperymentalne, co z sukcesem wykorzystał do rozwiązania problem badawczego;
- uzyskał oryginalne wyniki badań i analiz, których rezultatem było między innymi opracowanie dwóch autorskich metod: pierwsza dotyczy syntezy układów piezoelektrycznych, a druga analizy układów z tłumieniem, wykorzystując podejście nieklasyczne;
- dokonał poprawnego procesu wnioskowania, a wnioski wyciągnięte z wyników badań są rzetelne i adekwatne do zebranych danych oraz odpowiadają na pytania badawcze.

Mimo drobnych niedoskonałości dysertacji oraz kilku kwestii, które mogą być przedmiotem dyskusji, uważam tę pracę za bardzo wartościową. Autor podjął aktualny problem badawczy i opracował autorską metodę rozwiązania tego problemu, wykorzystując nowoczesne narzędzia badawcze, co zaowocowało uzyskaniem oryginalnych wyników badań teoretycznych i eksperymentalnych. W opinii recenzenta zakładany cel pracy został osiągnięty, a teza udowodniona. Tym samym uważam, iż przedstawiona do oceny rozprawa, zgodnie z prawem określonym w ustawie z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023r., poz. 742) spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez obowiązujące przepisy prawne. Na tej podstawie wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie Kandydata do publicznej obrony.

Białystok, 08.05.2024

.....*Grzegorz Mieczkowski*.....

dr hab. inż. Grzegorz Mieczkowski, prof. PB