



Lublin, 03.01.2024 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Pana mgr inż. Rafała Muchowskiego pt.:
„Design and optimization of axial compressor with use of Multi-Fidelity approach”

1. Podstawa opracowania oceny

Recenzja rozprawy doktorskiej pana mgr inż. Rafała Muchowskiego pt.: „Design and optimization of axial compressor with use of Multi-Fidelity approach” wykonana została na podstawie zlecenia Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza zawartego w piśmie nr RM-530-28-01/2023 z dnia 22 listopada 2023 roku na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna z dnia 22 listopada 2023 roku. Przewód doktorski realizowany jest w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie: Inżynieria Mechaniczna zgodnie z wymaganiami określonymi w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 r. poz. 574 ze zm.).

2. Przedmiot opinii

Przedmiotem opinii jest rozprawa doktorska pana mgr inż. Rafała Muchowskiego pt.: „Design and optimization of axial compressor with use of Multi-Fidelity approach” przygotowana pod opieką promotora dr hab. inż. Andrzeja Majki, prof. uczelni oraz mgr inż. Wojciecha Bara – opiekuna przemysłowego, przedstawiciela MTU Aero Engines. Praca powstała w ramach programu doktoratów wdrożeniowych realizowanego we współpracy MTU Aero Engine Polska z Politechniką Rzeszowską i była współfinansowana z 3-ciej edycji programu Ministerstwa Edukacji i Nauki.

Rozprawa liczy 7 rozdziałów zawartych na 143 stronach i jest napisana w języku angielskim. Przed treścią merytoryczną pracy zamieszczono streszczenie w języku polskim i angielskim, podziękowania autora oraz wskazanie źródeł finansowania badań pracy, wykaz tabel i wykaz rysunków oraz wykaz najważniejszych oznaczeń.

W pierwszym rozdziale autor wprowadza do zakresu tematycznego pracy, przedstawiając podstawowe informacje o tendencjach rozwojowych silników turbinowych oraz wyzwaniach w projektowaniu sprężarek osiowych stosowanych w tych silnikach. Szczególny nacisk autor położył na zakres pracy statecznej sprężarki.

Drugi rozdział to analiza literatury stanowiąca wprowadzenie do problemu naukowego niniejszej pracy. Bardzo skrótowo autor przedstawił techniki modelowania sprężarek wskazując na ich możliwe wykorzystanie w optymalizacji konstrukcji. Wskazał, iż modele o różnej dokładności odwzorowania przepływu mogą być wykorzystane w różnych fazach projektowania, jednak do optymalizacji najczęściej używa się metod komputerowego modelowania mechaniki płynów na modelach trójwymiarowych. Przedstawił także wybrane przykłady wykorzystania różnych technik modelowania do optymalizacji konstrukcji sprężarek. Następnie opisał podejście do optymalizacji konstrukcji opartej na wykorzystaniu modeli o różnym poziomie dokładności – Multi-Fidelity. Autor wskazał prace, w których wykazano przydatność tej metody do analizy prostych maszyn przepływowych, takich jak sprężarki odśrodkowe. Całość przeglądu literatury autor podsumował wskazując pole do prac naukowych w zakresie wykorzystania



metody Multi-Fidelity do optymalizacji złożonej konstrukcji wielostopniowej sprężarki osiowej.

Trzeci rozdział to wskazanie celów i zakresu pracy oraz opis metodyki. Ponieważ jest to doktorat wdrożeniowy, autor przedstawia także cele wdrożeniowe stawiane przed niniejszą pracą.

Rozdział 4 to pierwszy rozdział opisujący wyniki prac realizowanych przez autora. Opisuje wyniki symulacji przepływu powietrza przez sprężarkę osiową uzyskane za pomocą dwóch metod – trójwymiarowej i dwuwymiarowej. Na początku rozdziału autor opisuje obiekt badań (wielostopniową sprężarkę osiową stanowiącą element konstrukcyjny turbowentylatorowego silnika produkowanego przez firmę MTU Aero Engines AG). Opis jest zredukowany do jednego schematycznego i nieczytelnego rysunku i całkowicie pozbawiony danych technicznych.

Pierwsza część prac obejmuje symulację trójwymiarową przepływu powietrza przez symetryczny wycinek kątowy zespołu sprężarkowego. Do badań wykorzystano metodykę i narzędzia opracowane przez MTU Aero Engines, co spowodowało znaczące ograniczenie szczegółowości opisu parametrów modelu. Celem prac w tej części była ocena możliwości opracowania uproszczonych modeli (modeli o mniejszej dokładności) jako komponentów podejścia Multi-Fidelity. Przeprowadzono trzy rodzaje badań: wpływu wielkości siatki obliczeniowej, wpływu rodzaju modelu turbulencji oraz wpływu uproszczenia geometrycznego modelu na dokładność odwzorowania charakterystyki sprężarki. W badaniu wpływu wielkości siatki przeprowadzono eksperymenty przy trzech prędkościach obrotowych zespołu (opisanych jako Low, Mid i High – bez wartości liczbowych) i 3 wielkościach siatki. W badaniach wyznaczano charakterystykę sprężarki (spręż w funkcji strumienia przepływu) oraz granicę pracy statecznej. Podobne analizy przeprowadzono dla 2 różnych modeli turbulencji. Trzecia część tych badań to analiza wpływu uproszczenia geometrii na jakość uzyskanych wyników oraz na czułość opracowanego modelu na zmiany geometryczne. Analizy te są wynikami pracy magisterskiej inż. Wojciecha Tulika realizowanej pod opieką doktoranta. Wynikiem prac analiz uproszczeń modeli trójwymiarowych był wniosek, że żadne z tych uproszczeń nie jest wystarczające do użycia go w opracowywanej metodzie optymalizacyjnej, przy czym autor nie wskazał kryteriów na podstawie których podjął taką decyzję.

Następnie autor przeprowadził prace nad modelem dwuwymiarowym. W tym celu wykorzystał metodę Streamline Curvature Method (SCM), wykorzystywaną już do tego celu przez innych autorów. Opracowany model SCM został skalibrowany zgodnie z wynikami prac modelowych 3D na modelu bazowym (uznanym przez autora za wzorcowy model o największej dokładności). Następnie autor przeprowadził test porównawczy wpływu zmian geometrii (dokładnie kąta kierownic wejściowej oraz dwóch kolejnych statorów) na osiągi sprężarki uzyskane zarówno z modelu uproszczonego (SCM) jak i dokładnego (3D fine). Badania przeprowadzono dla trzech prędkości obrotowych sprężarki oraz 6 kątów (zmiany kątów względem pozycji bazowej) 3 kierownic. Badania obejmowały obliczenia konstrukcji przy zmianie tylko jednego parametru geometrycznego względem konstrukcji bazowej. W badaniach tych autor wykazał bardzo wysoką korelację tendencji zmian analizowanych parametrów między dwoma typami modeli, a co za tym idzie dużą przydatność modelu SCM do dalszej części prac.

Rozdział 5 to opis opracowanej przez autora metody Multi-Fidelity do optymalizacji konstrukcji sprężarki osiowej oraz przykład jej wykorzystania. Autor do tej metody wybrał modele SCM jako modele o niskiej dokładności oraz modele 3D fine jako modele wysokiej dokładności. Opisał proponowaną metodę opartą na wyznaczeniu przestrzeni możliwych rozwiązań na podstawie aproksymacji wyników z ograniczonej grupy obliczeń dwoma typami modeli i na tej podstawie wyznaczenia rozwiązania optymalnego. Następnie zaproponował eksperyment polegający na wykorzystaniu opracowanej metody do poszukiwania optymalnego rozwiązania przy zmienności 3 kątów kierownic. W tej części opisał poszczególne kroki i przedstawił ich wyniki. Prace wykonał dla trzech prędkości obrotowych silnika, pokazując przydatność tej metody w szerokim spectrum działania silnika. Dla każdej z prędkości wyznaczył za pomocą opracowanej metody optymalny punkt konstrukcyjny a następnie zweryfikował jego jakość przeprowadzając obliczenia 3D.

Praca została podsumowana w rozdziale 6, gdzie autor zamieścił wnioski końcowe oraz rekomendację do dalszego zakresu prac.

Ostatni rozdział 7 zawiera wykaz literatury.



3. Ocena rozprawy

3.1. Problem badawczy

Obecnie jednym z głównych kierunków rozwoju maszyn jest zmniejszenie ich wpływu na środowisko naturalne. W przypadku zespołów napędowych, obejmuje to działania mające na celu obniżenie toksyczności spalin, zwiększenie wydajności energetycznej, wykorzystanie paliw odnawialnych oraz zastąpienie silników spalinowych napędem elektrycznym. W przypadku silników turbinowych, prace skupiają się głównie na podniesieniu sprawności procesów zachodzących w poszczególnych sekcjach silnika jak i ich wzajemnej współpracy.

Recenzowana praca znajduje się w tym właśnie nurcie, koncentrując się na zwiększeniu sprawności sekcji sprężarkowej silnika. Autor słusznie zauważył, że zagadnienie to jest bardzo skomplikowane ze względu na wielość czynników wzajemnie oddziałujących na proces przepływu powietrza przez tę sekcję. Konstrukcje sekcji sprężarkowych optymalizowane są już od wielu lat, więc opracowanie kolejnych ulepszeń jest niezwykle trudne. Znane i powszechnie stosowane techniki symulacji trójwymiarowej przepływu powietrza dają możliwość prowadzenia bardzo skomplikowanych analiz, są jednak kosztowne pod względem czasu i wykorzystania zasobów obliczeniowych.

Niniejsza praca stanowi próbę rozwiązania powyższego problemu, poprzez opracowanie metody bazującej na modelach o różnym stopniu dokładności a co za tym idzie „kosztowności” obliczeniowej do zidentyfikowania rozwiązania optymalnego pod kątem wskazanych kryteriów. Zaproponowana metoda jest autorskim dostosowaniem znanej metody do specyficznego zagadnienia optymalizacji wielostopniowej sprężarki osiowej.

Praca ta wpisuje się zatem w światowy trend optymalizacji konstrukcji silników turbinowych i pokrywa się z aktualnymi kierunkami prac naukowych. Podjęcie przez autora tematyki opiniowanej rozprawy uważam zatem za celowe. Oprócz oczywistych aspektów praktycznych, rozwiązanie postawionych w pracy zadań wymaga przeprowadzenia badań o charakterze poznawczym i opracowania metod badawczych zawierających elementy naukowe.

3.2. Cel i teza rozprawy

Autor postawił sobie dwa cele:

1. Określenie ograniczeń w wyznaczaniu sprawności i granicy pracy statecznej dla różnych poziomów złożoności modelu oraz dokładności modeli przepływu w szerokim zakresie warunków operacyjnych.
2. Opracowanie metody Multi-Fidelity do badania przestrzeni projektowej dla rozszerzonego zakresu operacyjnego, w tym przewidywania sprawności i granicy pracy statecznej dla sprężarki osiowej.

Autor nie określił też pracy.

Dla osiągnięcia w/w celów autor postanowił przeprowadzić serię badań symulacyjnych, na podstawie których opracuje metodę optymalizacji konstrukcji z użyciem modeli o różnym stopniu dokładności.

Takie podejście jest zgodne z metodami stosowanymi w pracach naukowych w analizowanej dziedzinie. Cele jednoznacznie wynikają ze zidentyfikowanych białych plam w stanie wiedzy. Cele podstawione są poprawnie.

3.3. Ocena merytoryczna pracy

Autor oparł całą pracę na badaniach symulacyjnych, stosując modele o różnym stopniu dokładności odwzorowania zjawisk zachodzących wewnątrz traktu przepływowego wielostopniowej sprężarki osiowej silnika turbinowego. Prace skoncentrowano na wyznaczeniu



sprawności sprężarki oraz granicy pracy statecznej, i te parametry stanowiły podstawę do porównywania wyników uzyskanych z różnych modeli.

Analizy dotyczą jednej konkretnej konstrukcji zestawu sprężarkowego, jednak w pracy nie zamieszczono żadnych szczegółowych opisów obiektu badań. Nie podano nawet jego parametrów użytkowych. Enigmatycznie podano, że jest to sprężarka opracowana przez firmę MTU Aero Engines AG. Takie podejście jest niezgodne ze standardami prac naukowych, a szczególnie prac doktorskich, obowiązujących w Polsce, ponieważ uniemożliwia odtworzenie eksperymentu i weryfikację wyników.

Pierwsza część badań obejmowała analizę wrażliwości dokładności modelu na odwzorowanie charakterystyki sprężarki w trzech punktach pracy. W tym celu porównano wyniki modelowania trójwymiarowego przepływu powietrza przy różnych wielkościach siatki obliczeniowej, przy różnych modelach turbulencji oraz przy różnej dokładności odwzorowania geometrii traktu przepływowego. Podstawą porównań były wyniki uzyskane za pomocą trójwymiarowego modelu bazowego, określonego jako „model o pełnej geometrii i siatce obliczeniowej zawierającej około 10 milionów komórek”. Model bazowy był kalibrowany na podstawie wyników eksperymentu na obiekcie rzeczywistym. Niestety, w pracy nie wspomniano ani o przebiegu, ani o wynikach tego eksperymentu, nie opisano także, na ile model bazowy oddaje zachowanie rzeczywistego obiektu (dokładność modelu bazowego).

Badania te wykazały wpływ jakości modelu na wyniki odwzorowania charakterystyki sprężarki. Wykazały także, że tego typu podejście może pozwalać na odwzorowanie działania sprężarki w szerokim zakresie jej prędkości obrotowych (także nie podanych w pracy, a jedynie oznaczonych jako niska, średnia i wysoka). Wyniki tych prac, mimo, że oparte na wartościach względnych, wzbogacają wiedzę w zakresie metodologii modelowania tego typu konstrukcji.

Druga część badań to analiza porównawcza możliwości poprawnego określenia tendencji zmian charakterystyki sprężarki przy zmianach geometrii wybranych jej komponentów (w tym przypadku kątów trzech kierownic) przez modele o różnym stopniu dokładności. Pierwsza grupa symulacji dotyczyła modeli trójwymiarowych. Przeprowadzono analizę dla modeli o różnym zakresie odwzorowania geometrii oraz kątach zmieniających się o $\pm 2^\circ$ w stosunku do konstrukcji bazowej (także nie opisanej w pracy). Należy dodać, że prace te nie były wykonane przez autora, a przez inż. Wojciecha Tulika w ramach pracy magisterskiej realizowanej pod opieką doktoranta. Druga grupa badań to analiza możliwości wykorzystania modelu dwuwymiarowego opartego o metodę Streamline Curvature Method (SCM). W tych badaniach zakres zmienności kątów zwiększono do $\pm 8^\circ$, przy czym nie dla wszystkich warunków pracy było możliwe uzyskanie wyników w całym zakresie. Badania te wykazały bardzo dobrą zgodność tendencji zmian sprawności dla uproszczonego modelu w stosunku do modelu bazowego.

Analizy przedstawione w pracy są bardzo ciekawe, obszerne i o racjonalnie zaplanowanym zakresie. Autor wykazał się wysoką wiedzą i umiejętnościami w zakresie modelowania. Eksperymenty symulacyjne przygotowano i przeprowadzono prawidłowo, wyciągając poprawne wnioski. W tej części autor wykazał się bardzo dobrym warształem naukowym. Wyniki tej części wskazują, że pierwszy cel pracy został zrealizowany.

Jednak głównym osiągnięciem pracy jest jej kolejna część, w której autor zaproponował własną metodę optymalizacji konstrukcji zespołu sprężarkowego, opartą na jednoczesnym wykorzystaniu modeli o różnej dokładności. Z poprzedniej grupy badań autor wytypował dwa modele jako podstawę metody: model bazowy określony jako „3D Fine” (jako model o dużej dokładności) oraz SCM (jako model o małej dokładności) i uzupełnił je metodą aproksymacji Co-Kriging. Wykonując ograniczoną liczbę symulacji obiema metodami, dzięki zastosowaniu metody aproksymacji, autor otrzymuje pełne pokrycie przestrzeni rozwiązań w zakładanym zakresie zmienności badanych parametrów. Dzięki temu może wytypować obszary rozwiązań, na których warto się skupić. Wykonując dalsze obliczenia w tym zakresie jest w stanie szybko zidentyfikować rozwiązania optymalne. To sprytne podejście może być wykorzystane przy optymalizacji z wieloma parametrami wejściowymi.

Działanie tej metody autor prezentuje na przykładowych obliczeniach optymalizacji sprawności zespołu sprężarki za pomocą zmiany kątów kierownic. Obliczenia przeprowadzone dla trzech prędkości obrotowych wykazały, że metoda pozwala na znalezienie punktów optymalnych w szerokim zakresie warunków pracy sprężarki. Uzyskane wyniki poprawy



sprawności zostały potwierdzone obliczeniami modelu 3D Fine. Potwierdziło to osiągnięcie drugiego celu pracy.

Całość pracy podsumowano wnioskami ogólnymi uzupełnionymi o rekomendowane dalsze zakresy prac badawczych.

Pracę należy uznać za poprawną.

Nasuwać się jednak następujące uwagi merytoryczne i pytania:

- 1) Autor nie podał opisu obiektu badań, co uniemożliwia weryfikację zaproponowanej metody. Informacje te powinny być uzupełnione na etapie obrony pracy.
- 2) Autor wielokrotnie odnosi się do oszczędności czasu i zasobów obliczeniowych, lecz ani w analizie literatury, ani w swoich badaniach nie podał ich wartości.
- 3) Na jakiej zasadzie wybrano model 3D Fine jako model bazowy?
- 4) Autor w pracy nie opisał stanowiska badawczego ani wyników prac na tym stanowisku, mimo że wykorzystuje takie wyniki jako wzorcowe do analizy modeli 3D (np. rysunek 4.11 i 4.12).
- 5) Jaka była dokładność odwzorowania rzeczywistych wyników badań przez model przyjęty jako bazowy? Czy badano zgodność tendencji zmian analizowanych wskaźników (sprawność, granica pracy statecznej) na zmianę parametrów konstrukcyjnych dla modelu bazowego względem konstrukcji rzeczywistej?
- 6) Dlaczego w docelowym algorytmie nie wykorzystano uproszczonych modeli 3D mimo iż udowodniono ich przydatność? Jakie były zatem kryteria wyboru modeli o niskiej lub średniej dokładności do przyjętej metody?
- 7) Między jakimi wielkościami liczone korelację w rozdziale 4.3.3?
- 8) Na jakiej zasadzie przyjęto stosunek 1:10 próbek z modelu 3D do modelu CSM?
- 9) Idea aproksymacji Co-Kriging w rozdziale 5.3.2 powinna być opisana znacznie szerzej. Z obecnego opisu nie można wywnioskować zasady jej działania.
- 10) Rysunek 5.9 wymaga szerszego wyjaśnienia. Dlaczego linia aproksymacji nie przechodzi przez punkty stanowiące jej podstawę?
- 11) Na stronie 122 autor podał, iż wykazano skuteczność metody nawet przy niższej jakości danych wejściowych. W jaki sposób to udowodniono, jeżeli współczynniki regresji są niskie (strona 120 i 121)?
- 12) Wniosek 1 w rozdziale 6.2 jest bezzasadny. W pracy nie znajdują się żadne dane, na podstawie których można ten wniosek udowodnić.

3.4. Ocena zastosowanego piśmiennictwa

W pracy autor odwołuje się do 61 pozycji literatury obejmujące 8 książek i monografii, 40 artykułów naukowych (w tym 10 konferencyjnych), 2 prace doktorskie i 1 pracę magisterską, 3 raporty, 2 dokumentacje techniczne oraz 5 stron internetowych. Sama liczba źródeł literatury, jak na pracę doktorską, jest dość niewielka. Należy jednak uznać ten zakres za wystarczający do uzasadnienia podjęcia tematu i prawidłowej realizacji pracy (metodyka). Cytowania publikacji wewnątrz tekstu wykonano prawidłowo. Opisy bibliograficzne pozycji literatury nie trzymają się jednak jednego standardu.

3.5. Ocena praktycznego zastosowania uzyskanych wyników pracy

Opracowana metoda optymalizacji konstrukcji może być bezpośrednio zastosowana przy projektowaniu zmian konstrukcyjnych i sterowania wielostopniową sprężarką osiową. Autor wykazał jej przydatność do tego zadania, udowadniając, że dzięki niej można znaleźć optymalne rozwiązanie w szerokim zakresie prędkości obrotowych. Ze względu na fakt, że obliczenia wykonano dla rzeczywistej konstrukcji (choć nie opisanej poprawnie w pracy) uzyskane wyniki mogą być bezpośrednio użyte.

3.6. Ocena edycji rozprawy

Objętość pracy jest uzasadniona z punktu widzenia potrzeb opisu przeprowadzonych



analiz literaturowych i wykonanych badań symulacyjnych. Układ pracy jest dość logiczny. Analiza literatury jest uporządkowana i jasno prowadzi do określenia celu i zakresu pracy. Wyraźnie wydzielono także części związane z poszczególnymi etapami badań symulacyjnych oraz z opracowaną metodyką optymalizacji. Wyniki badań opisano wystarczająco klarownie, choć szkoda, że nie posłużono się danymi rzeczywistymi, a wartościami względnymi (znormalizowanymi) do nieznanymi wartości odniesienia. Większość ilustracji i tabel jest czytelna i właściwie opisana.

Autor czasami używa dużych skrótów myślowych, prowadzących do trudności w zrozumieniu wyводу. Przykładem jest tu choćby rozdział 5.3.2 oraz wynikające z niego wykresy w rozdziale 5.4.

Język rozprawy jest zrozumiały i poprawny merytorycznie. Autor nie ustrzegł się jednak błędów o charakterze redakcyjnym i stylistycznym np.:

- 1) W języku angielskim jednostki podawane są po przecinku, a nie w nawiasie kwadratowym;
- 2) Str. 41, rozdział 3.1: jest „technical gaps” a powinno być „scientific gap”
- 3) Braki średników na końcu wypunktowań (np. str. 29, 30, 42 itd.).
- 4) Brak spacji przed nawiasem w nagłówkach rysunków 4.23 do 4.31.

4. Ocena ogólna pracy

Podejście autora do realizacji pracy świadczy o dobrej znajomości tematyki badań naukowych modelowania i optymalizacji wielostopniowych sprężarek osiowych. Przedstawione badania wykazują też jego duże umiejętności w posługiwaniu się narzędziami do modelowania oraz analizy wyników.

Najważniejszymi osiągnięciami pracy są:

- 1) Określenie wpływu uproszczeń modelu trójwymiarowego przepływu przez sprężarkę osiową na jakość uzyskiwanych wyników;
- 2) Określenie możliwości predykcji tendencji zmian parametrów użytkowych na zmiany konstrukcyjne przy użyciu modeli uproszczonych;
- 3) Opracowanie autorskiej metody optymalizacji konstrukcji sprężarki z wykorzystaniem metody Multi-Fidelity.

Uważam, że praca odpowiada wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim ze względu na poziom merytoryczny analiz i osiągnięcia poznawcze w zakresie rozpatrywanych problemów. Praca dowodzi, że autor posiadał odpowiedni zasób wiedzy i umiejętności do planowania i prowadzenia prac naukowych. Na szczególne uznanie zasługuje opracowanie praktycznej metody, która może być bezpośrednio wdrożona przez MTU Aero Engines AG. Wadami tej pracy są: brak opisu obiektu badań oraz parametrów i wyników definiujących zachowanie rzeczywistego obiektu – uniemożliwia to replikację eksperymentu i weryfikację wyników przedstawionych w pracy badań.

Opiniowaną rozprawę doktorską oceniam jako poprawną.

5. Wniosek końcowy

W związku z pozytywną oceną rozprawy doktorskiej mgra inż. Rafała Muchowskiego pt. „Design and optimization of axial compressor with use of Multi-Fidelity approach” uważam, że opiniowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie naukowej Inżynieria Mechaniczna, a także dowodzi umiejętności samodzielnego prowadzenia przez niego pracy naukowej. Opiniowana rozprawa spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie: Inżynieria Mechaniczna zgodnie z wymaganiami określonymi w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2022 r. poz. 574 ze zm.).

Upoważnia mnie to do postawienia wniosku o dopuszczenie mgra inż. Rafała Muchowskiego do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.