

Dr hab. inż. Andrzej Majka, prof. PRz
Katedra Inżynierii Lotniczej i Kosmicznej
Politechnika Rzeszowska
Al. Powstańców Warszawy 12, 35-029 Rzeszów
Tel.: +48 17 865 16 04
Andrzej.majka@prz.edu.pl
<https://kilik.prz.edu.pl/>

Rzeszów, 2026-05-21

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej

mgr inż. Wojciecha Plucińskiego

**nt. „Opracowanie metody symulacji działania obwodów elektromechanicznych
serwoworów i czujników położenia stosowanych w aplikacjach lotniczych z
uwzględnieniem wpływu obciążeń mechanicznych oraz temperatury na ich wydajność”
promotor: dr hab. inż. Krzysztof Tomczuk, prof. uczelni**

Podstawa formalna opracowania recenzji

Recenzję opracowano na prośbę Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Wrocławskiej, będącą konsekwencją Uchwały Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna (pismo o sygnaturze W10/RDND07/187/2025 z dnia 8.10.2025).

Wprowadzenie

Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest opracowanie i autorska weryfikacja metodyki symulacyjnej, służącej do modelowania zachowania obwodów elektromechanicznych serwoworów oraz czujników położenia w zaawansowanych aplikacjach lotniczych. Kluczowym walorem pracy jest kompleksowe ujęcie wpływu czynników zewnętrznych, w tym obciążeń mechanicznych oraz zmiennych warunków termicznych, na charakterystyki funkcjonalne badanych elementów. Praca, mająca wyraźny charakter badawczo-wdrożeniowy, stanowi istotny wkład w rozwój modelowania wielofizycznego, skutecznie integrując analizy elektromagnetyczne, mechaniczne i cieplne. Zastosowana metodyka,

łącząca rygorystyczne badania eksperymentalne z precyzyjnymi symulacjami numerycznymi, została zwalidowana na rzeczywistych obiektach badawczych, co nadaje wynikom rozprawy wysoką wiarygodność i wymierny potencjał aplikacyjny.

Ocena wyboru tematu rozprawy

Aktualność i znaczenie tematu: Tematyka rozprawy doktorskiej wpisuje się w kluczowe trendy rozwoju współczesnego lotnictwa, ze szczególnym uwzględnieniem paradygmatu More Electric Aircraft. Transformacja w kierunku systemów elektromechanicznych i elektrohydraulicznych, ściśle zintegrowanych z cyfrowym sterowaniem, stwarza ogromne pole do badań. Rozwój systemów klasy FADEC czy Active Clearance Control (ACC) generuje bezdyskusyjne zapotrzebowanie na zaawansowane przetworniki, których niezawodność w warunkach krytycznych stanowi fundament bezpieczeństwa lotu. W tym kontekście, opracowanie precyzyjnych metod modelowania i prognozowania zachowania serwowatorów oraz czujników położenia ma znaczenie o fundamentalnym charakterze aplikacyjnym.

Jednocześnie, postęp w konstrukcji silników lotniczych, ukierunkowany na radykalną poprawę sprawności i redukcję emisji, wymusza zaostrożenie wymagań środowiskowych dla komponentów pracujących w gondolach silników. Ekstremalne gradienty cieplne, wysokie temperatury oraz złożone obciążenia mechaniczne czynią tradycyjne, uproszczone modele projektowe niewystarczającymi. Podjęte w pracy wyzwanie, uwzględnienie silnie sprzężonych oddziaływań termicznych, mechanicznych i elektromagnetycznych, stanowi ambitną odpowiedź na aktualne wyzwania współczesnej inżynierii lotniczej.

Z perspektywy dyscypliny inżynieria mechaniczna oraz mechatronika, praca wnosi istotną wartość poprzez udane powiązanie zaawansowanej fizyki materiałów z zachowaniem złożonych układów wykonawczych. Z punktu widzenia przemysłu, zaproponowane podejście stanowi istotny krok naprzód w procesie projektowania i walidacji nowoczesnych systemów lotniczych, co czyni wybór tematu wysoce zasadnym i perspektywicznym.

Zasadność podjęcia tematu w ramach doktoratu: Podjęty temat w sposób znaczący wykracza poza rutynowe zadania inżynierskie. Autor nie ograniczył się do biernego wykorzystania dostępnych narzędzi komercyjnych, lecz podjął ambitną próbę rozszerzenia modeli teoretycznych o własne badania eksperymentalne, uwzględniające nieliniowe właściwości materiałów zależne od temperatury i stanu naprężenia. Takie podejście pozwoliło na rozszerzenie wiedzy aplikacyjnej i metodycznej w zakresie opisu zachowania ferromagnetyków w złożonych układach elektromechanicznych.

Warto podkreślić dojrzałą relację między problematyką naukową a potrzebami przemysłowymi. Autor skutecznie osadził wyzwania aplikacyjne w szerszym kontekście teoretycznym, dotyczącym ograniczeń istniejących modeli wielofizycznych. Takie podejście

jest właściwe dla rozpraw realizowanych w trybie doktoratu wdrożeniowego, łącząc sukces komercyjny z wysokim rygorem pracy naukowej.

Charakter pracy: Rozprawa ma charakter badawczo-wdrożeniowy, przy czym wartości poznawcze stanowią solidną bazę dla celów aplikacyjnych. Dominacja zagadnień praktycznych w procesie projektowania i walidacji komponentów jest w pełni uzasadniona profilem pracy. Należy jednak z pełnym przekonaniem zaznaczyć, że cele praktyczne zostały oparte na autorskich analizach wykraczających poza standardy inżynierskie. Przesunięcie proporcji w stronę aplikacji, typowe dla doktoratów wdrożeniowych, nie osłabia walorów naukowych pracy, lecz nadaje jej charakteru użytecznego i innowacyjnego. Wybór tematu w pełni spełnia rygorystyczne wymagania stawiane rozprawom doktorskim, świadcząc o wysokiej świadomości badawczej Autora.

Ocena merytoryczna rozprawy

Poprawność sformułowania celu, problemu i hipotez badawczych: Cel rozprawy został jasno sformułowany jako opracowanie autorskiej metodyki symulacji obwodów elektromechanicznych serwozaworów i czujników położenia, z uwzględnieniem sprzężonych oddziaływań termicznych i mechanicznych. Tak określony cel jest w pełni spójny z tematyką pracy oraz jej wdrożeniowym charakterem, jasno wskazując na koncentrację na zaawansowanym modelowaniu wielofizycznym. Cel ten, łącząc aspekty aplikacyjne z poznawczymi, stanowi solidny fundament rozprawy doktorskiej.

Problem badawczy, dotyczący wpływu ekstremalnych warunków środowiskowych na funkcjonalność przetworników, jest w pełni uzasadniony w kontekście wyzwań współczesnego lotnictwa. Autor słusznie skoncentrował się na przejściu od analizy jakościowej do ilościowego określenia parametrów pracy, co stanowi istotną wartość badawczą. Problem ten nie jest jedynie potrzebą inżynierską, lecz ambitnym wyzwaniem naukowym, wymagającym głębokiej integracji wiedzy z zakresu fizyki magnetyzmu i inżynierii materiałowej.

Sformułowane hipotezy badawcze trafnie odnoszą się do wpływu temperatury i naprężeń na charakterystyki magnetyczne stopu Fe-Ni oraz działanie przetworników. Hipotezy te są logicznie powiązane ze strukturą pracy i mogą być weryfikowane na podstawie zebranych danych eksperymentalnych oraz wyników symulacji. Należy jednak zauważyć, że mają one przede wszystkim charakter aplikacyjno-walidacyjny, a ich weryfikacja odnosi się głównie do skuteczności opracowanej metody symulacyjnej w określonych zakresach temperatury, naprężeń i konfiguracji badanych przetworników.

Stan wiedzy i identyfikacja luki badawczej: Przegląd literatury obejmuje szeroki zakres zagadnień: od serwonapędów lotniczych po zaawansowane metody modelowania numerycznego. Autor wykazuje się bardzo dobrą znajomością klasycznych opracowań oraz

aktualnych norm branżowych, tworząc kompleksowe tło teoretyczne. Zakres ten jest w pełni adekwatny do tematu i świadczy o głębokim przygotowaniu merytorycznym Autora.

W kontekście aktualności literatury, praca wykazuje się trafnym odniesieniem do standardów technicznych. Autor słusznie identyfikuje lukę badawczą polegającą na braku kompleksowych modeli wielofizycznych dla przetworników pracujących w warunkach rzeczywistych. Choć jest to wyzwanie o silnym podłożu aplikacyjnym, stanowi ono istotną barierę technologiczną, której pokonanie wypełnia lukę poznawczą w zakresie metodologii projektowania systemów o wysokiej niezawodności.

Autor skutecznie wypełnia tę lukę poprzez dostarczenie oryginalnych danych eksperymentalnych oraz ich implementację w modelach numerycznych. W pracy widoczne jest rozróżnienie między aspektem aplikacyjnym a naukowym, choć granica między luką poznawczą a potrzebą techniczno-wdrożeniową mogłaby zostać zarysowana bardziej jednoznacznie.

Metodyka badań: Zastosowana metodyka, łącząca badania eksperymentalne z zaawansowaną symulacją wielofizyczną, jest zasadna i dobrze dopasowana do celu rozprawy. Dane te wypełniają istotną lukę informacyjną, nieobecną w standardowych kartach katalogowych.

W zakresie modelowania numerycznego Autor wykorzystuje narzędzia o wysokim stopniu zaawansowania, w pełni adekwatne do skomplikowanej natury problemów wielofizycznych. Przyjęte założenia fizyczne są poprawne, a ewentualne uproszczenia stanowią przemyślany kompromis inżynierski, który nie obniża wiarygodności wyników. Spójność metod z hipotezami jest zachowana, co potwierdza wysoką jakość warsztatu badawczego.

Jakość badań eksperymentalnych i symulacyjnych: Badania eksperymentalne przeprowadzono z ogromną dbałością o detale, przy wykorzystaniu dedykowanych stanowisk badawczych. Opis procedur świadczy o wysokiej świadomości metrologicznej Autora oraz dbałości o pełną powtarzalność wyników. Procedury pomiarowe są wysoce adekwatne do badanych zjawisk.

Kluczowym punktem pracy jest walidacja modeli numerycznych, zakończona sukcesem. Uzyskana wysoka zgodność wyników symulacji z pomiarami (błąd na poziomie kilku procent) jest najlepszym dowodem na poprawność metodyki. Walidacja ta stanowi jeden z najmocniejszych i najbardziej przekonujących elementów rozprawy, dowodząc jej wysokiej wartości aplikacyjnej.

Oryginalność i wkład autora: Wkład Autora jest znaczący i posiada cechy oryginalności w zakresie autorskiej integracji nieliniowych charakterystyk materiałowych z zaawansowanymi modelami wielofizycznymi. Takie podejście wykracza poza standardową praktykę inżynierską, wnosząc nową jakość w proces analizy przetworników lotniczych. Praca stanowi udany przykład połączenia zaawansowanej wiedzy teoretycznej z wymogami praktyki

przemysłowej, co w kontekście doktoratu wdrożeniowego należy uznać za osiągnięcie o istotnej wartości naukowo-aplikacyjnej.

Uwagi szczegółowe do pracy

Rozdział 1 - Wprowadzenie: Rozdział ten w sposób kompetentny wprowadza czytelnika w kontekst tematyczny rozprawy, skutecznie motywując podjęte badania. Autor trafnie definiuje strategiczne znaczenie przetworników elektromechanicznych w nowoczesnych systemach lotniczych, precyzyjnie wskazując na ich krytyczną rolę w układach sterowania. Uzasadnienie wyboru tematu doskonale wpisuje się w aktualne trendy inżynierii lotniczej oraz rosnące wymagania środowiskowe, co nadaje pracy silny fundament aplikacyjny.

Problem badawczy został sformułowany w sposób odzwierciedlający realne wyzwania, przed którymi staje współczesne projektowanie. Autor umiejętnie łączy cele inżynierskie z naukowym rygorem, wskazując na potrzebę wypełnienia luki w zakresie modelowania wielofizycznego. Narracja rozdziału jest bardzo spójna, a rzetelne przedstawienie motywacji badań stanowi doskonały wstęp do dalszej części rozprawy, budując przejrzysty plan pracy.

Rozdział 2 - Zagadnienia teoretyczne i przegląd literatury: Rozdział teoretyczny zawiera wymagany zakres wiedzy z obszaru elektromagnetyzmu, mechaniki materiałów oraz mechatroniki. Autor odwołuje się do uznanych modeli fizycznych, poprawnie adaptując je do specyfiki badanych przetworników. Zakres przeglądu literatury jest adekwatny do tematyki pracy i tworzy właściwe tło merytoryczne dla dalszych analiz.

Analiza literaturowa obejmuje istotne prace dotyczące sprzężeń magnetomechanicznych i termomagnetycznych, co stanowi istotny wkład w zrozumienie nieliniowości zachowań materiałowych. Autor dokonuje wyboru podejścia modelowego, uzasadniając jego wybór w kontekście literatury przedmiotu i wskazując na ograniczenia modeli klasycznych. Wartościowym elementem rozdziału jest dyskusja nad zakresem stosowalności przyjętych metod obliczeniowych, co pozwala na precyzyjne umiejscowienie pracy na tle osiągnięć w dziedzinie modelowania wielofizycznego.

Ponadto, Autor odnosi się do problematyki walidacji wyników symulacji w oparciu o dostępne dane eksperymentalne, co stanowi istotną wartość dodaną. Tak sformułowany przegląd nie tylko porządkuje dotychczasowy stan wiedzy, ale również buduje logiczną argumentację na rzecz przyjętej ścieżki badawczej. Wykazana świadomość trudności w modelowaniu układów sprzężonych świadczy o przygotowaniu Autora do podjęcia wyzwań badawczych o wysokim stopniu złożoności. Rozdział ten stanowi rzetelną bazę dla oryginalnych ustaleń zawartych w pracy, potwierdzając słuszność przyjętej strategii badawczej w odniesieniu do współczesnych wyzwań inżynierii lotniczej.

Rozdział 3 - Metodyka: Rozdział metodyczny stanowi przejrzysty i kompletny opis procedur badawczych. Autor szczegółowo przedstawia przebieg badań eksperymentalnych oraz analiz

numerycznych, dbając o logiczną strukturę toku rozumowania. Wybór metodyki badawczej wykazuje wysoką spójność z postawionym celem pracy i umożliwia weryfikację sformułowanych hipotez.

W części eksperymentalnej Autor opisuje procedury pozwalające na wyznaczenie charakterystyk materiałowych w szerokim spektrum warunków termicznych i obciążeń mechanicznych. Świadczy to o wysokim poziomie świadomości metrologicznej oraz dbałości o jakość surowych danych wejściowych, co jest kluczowe dla wiarygodności modeli numerycznych. Z kolei w części obliczeniowej Autor wykorzystuje narzędzia o ugruntowanej pozycji w inżynierii systemów wielofizycznych. Przyjęte założenia modelowe, w tym sposób opisu nieliniowych zależności materiałowych, są poparte odpowiednią argumentacją fizyczną. Istotnym elementem rozdziału jest opis procesu walidacji wyników symulacji z danymi pomiarowymi, co stanowi kluczowy etap weryfikacji przyjętej metodyki. Autor krytycznie odnosi się do otrzymanej zbieżności wyników, co pozwala na obiektywną ocenę ograniczeń opracowanego modelu. Tak przeprowadzona procedura badawcza, łącząca rygor pomiarowy z poprawnością matematyczną symulacji, spełnia standardy wymagane od rozpraw doktorskich w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Całość rozdziału świadczy o posiadaniu przez Autora niezbędnego warsztatu badawczego oraz umiejętności rozwiązywania złożonych zadań inżynierskich w sposób systemowy.

Rozdział 4 - Praca badawcza: Rozdział ten stanowi merytoryczny rdzeń rozprawy, dokumentując wkład własny Autora poprzez szczegółową analizę wpływu czynników zewnętrznych na charakterystyki funkcjonalne przetworników. Jakość przeprowadzonych badań materiałowych stoi na wysokim poziomie naukowym. Zakres eksperymentów, precyzyjnie uwzględniający sprzężenie parametrów termicznych i mechanicznych z właściwościami magnetycznymi stopu Fe-Ni, jest w pełni adekwatny do założonych celów pracy i rzetelnie odnosi się do krytycznych warunków eksploatacyjnych komponentów lotniczych. Autor wykazuje się wymaganą biegłością metrologiczną oraz świadomością ograniczeń aparatury pomiarowej, co pozwala na krytyczną ocenę zebranych danych.

Badania systemów elektromechanicznych zaplanowano w sposób metodycznie poprawny, z wykorzystaniem dedykowanych stanowisk badawczych, co umożliwiło wysoką kontrolę parametrów wejściowych. Procedury pomiarowe opisano z wymaganą precyzją, a analiza danych została przeprowadzona z odpowiednią starannością, pozwalającą na wyeliminowanie wpływu zakłóceń. Kluczowym osiągnięciem rozdziału jest rygorystyczna walidacja modeli numerycznych. Wysoka zbieżność danych obliczeniowych z wynikami pomiarowymi potwierdza poprawność implementacji fizyki układów wielofizycznych oraz zasadność przyjętych uproszczeń materiałowych. Wyniki, choć skoncentrowane na konkretnych konfiguracjach, stanowią solidny dowód na skuteczność obranej metodyki badawczej. Wykazana przez Autora umiejętność interpretacji zaobserwowanych zjawisk nieliniowych

w warunkach rzeczywistych wykracza poza standardy analiz technicznych, nadając pracy charakter badawczy i potwierdzając jej rzetelność jako rozprawy doktorskiej.

Rozdział 5 - Aspekt wdrożeniowy: Rozdział ten w sposób jednoznaczny potwierdza wysoką użyteczność praktyczną opracowanych rozwiązań. Zaprezentowane podejście charakteryzuje się realnością techniczną i jest w pełni osadzone w specyficznych uwarunkowaniach przemysłu lotniczego. Autor w sposób przekonujący uzasadnia przydatność opracowanej metodyki jako skutecznego narzędzia wspomagającego proces projektowania, optymalizacji oraz walidacji komponentów elektromechanicznych. Skuteczność przedstawionych metod w redukcji cyklu rozwojowego oraz optymalizacji kosztów badań prototypowych stanowi istotny dowód na innowacyjność pracy.

Poziom dojrzałości technologicznej zaprezentowanych rozwiązań potwierdza, że praca wykracza poza ramy teoretycznego studium przypadku, stanowiąc realną odpowiedź na potrzeby nowoczesnych biur projektowych. Integracja wyników badań z zaawansowanymi algorytmami symulacyjnymi pozwala na znaczące ograniczenie ryzyka konstrukcyjnego. Autor umiejętnie wskazuje na skalowalność metodyki, co otwiera pole do jej implementacji w szerszej klasie systemów lotniczych. Tak zdefiniowany wdrożeniowy charakter pracy bezpośrednio przekłada się na podniesienie jakości procesu certyfikacji komponentów, czyniąc rozprawę dokumentem o dużej wartości aplikacyjnej, ściśle powiązaniem z aktualną praktyką inżynierską.

Rozdział 6 - Zakończenie: Rozdział końcowy syntetycznie podsumowuje przeprowadzone badania, trafnie akcentując najważniejsze osiągnięcia naukowe i techniczne rozprawy. Wnioski końcowe są w pełni spójne z przedstawionym materiałem dowodowym i stanowią bezpośrednią odpowiedź na postawione cele badawcze. Autor wykazuje się dużą dojrzałością badawczą, formułując konkluzje w sposób jednoznaczny, co pozwala na pełną ocenę wkładu pracy w rozwój dyscypliny. Sformułowane kierunki dalszych prac są zasadne, merytorycznie osadzone w aktualnych wyzwaniach inżynierii i wskazują na świadome podejście do rozwoju systemów elektromechanicznych.

Precyzja sformułowanych propozycji rozwojowych świadczy o zrozumieniu przez Autora konieczności rozdzielenia problemów o charakterze stricte naukowym od zadań inżynierskich, co jest kluczowe dla dalszej ewolucji badań w tym obszarze. Całość podsumowania stanowi logiczne zwieńczenie wyводу, potwierdzając wysoką spójność wewnętrzną pracy oraz jej znaczenie dla metodologii projektowania systemów lotniczych. Rozprawa, poprzez swoje rzetelne zakończenie, utwierdza w przekonaniu o posiadaniu przez Autora kompetencji badawczych niezbędnych do prowadzenia samodzielnych prac naukowych na najwyższym poziomie, spełniając tym samym rygorystyczne kryteria stawiane rozprawom doktorskim.

Uwagi krytyczne

Uwagi o charakterze zasadniczym: Istotne uwagi dotyczą warstwy metodologicznej, w szczególności sposobu doprecyzowania problemu badawczego oraz zakresu uogólnienia hipotez badawczych. Problem badawczy został zdefiniowany w silnym powiązaniu z potrzebą inżyniersko-wdrożeniową, jednak obejmuje także wyraźny komponent metodyczny, związany z brakiem predykcyjnych modeli pracy urządzeń EMID w skrajnych warunkach środowiskowych oraz ograniczonym dostępem do danych materiałowych dla miękkich magnetyków. O ile jego istotność aplikacyjna nie budzi wątpliwości, o tyle w rozprawie doktorskiej można oczekiwać wyraźniejszego wyodrębnienia luki poznawczej. Autor mógłby silniej zaakcentować, w jaki sposób wyniki badań wypełniają lukę w opisie i modelowaniu zjawisk wielofizycznych, a nie tylko odpowiadają na potrzebę optymalizacji określonej klasy komponentów. Częściowe przenikanie się zadania projektowego i wyzwania naukowego powoduje pewną nieostrość narracji badawczej, choć nie podważa zasadności podjęcia tematu ani wartości uzyskanych wyników.

W odniesieniu do części teoretycznej, rozdział dotyczący zjawisk w materiałach magnetycznych cechuje się nadmierną opisowością. Choć Autor wykazuje się znajomością klasycznych praw fizyki, wskazane byłoby przeprowadzenie głębszej syntezy krytycznej. Należałoby oczekiwać wyraźnego wskazania, dlaczego standardowe modele (np. Jilesa-Athertona) tracą swą precyzję w warunkach silnego sprzężenia termomechanicznego. Ograniczony zakres takiej analizy utrudnia pełną ocenę przesłanek teoretycznych, na których oparto konieczność wprowadzenia modyfikacji modelu. Hipotezy badawcze zostały sformułowane w sposób umożliwiający ich ilościową weryfikację w przyjętych zakresach temperatury, naprężeń i błędu modelowania. Ich ograniczeniem pozostaje jednak silne powiązanie z konkretnymi przypadkami aplikacyjnymi oraz z przyjętymi kryteriami dokładności modelu, co zawęża zakres ich uogólnienia poznawczego. W przyszłych pracach wskazane byłoby dążenie do dalszej kwantyfikacji parametrów fizycznych i kryteriów walidacyjnych, które określają zakres stosowalności sformułowanych hipotez.

Rozdział metodyczny mógłby zostać szerzej rozwinięty w zakresie formalizacji procedury badawczej. Autorowi zaleca się wyraźniejsze rozdzielenie harmonogramu prac od właściwych metod badawczych. W kontekście modelowania wielofizycznego warto byłoby wyraźniej doprecyzować specyfikę zastosowanego sprzężenia między analizami oraz wskazać konsekwencje przyjętego podejścia dla dokładności i zakresu stosowalności wyników. Rozszerzenie opisu o algorytmy wymiany danych między modułami MES oraz o formalną analizę źródeł niepewności pomiarowej i numerycznej stanowiłoby pożądane dopełnienie warsztatu badawczego. Choć w pracy przyjęto ilościowe pola tolerancji oraz kryteria zgodności modelu z eksperymentem, ich uzasadnienie metrologiczne oraz powiązanie z pełną analizą niepewności pomiarowej i numerycznej mogłoby zostać przedstawione szerzej. Pozwoliłoby

to bardziej jednoznacznie ocenić, czy obserwowane różnice między wynikami symulacji i pomiarów wynikają z ograniczeń modelu, rozrzutu eksperymentalnego, niepewności toru pomiarowego czy przyjętych uproszczeń numerycznych.

Uwagi szczegółowe: W warstwie szczegółowej należy zwrócić większą uwagę na spójność terminologiczną. Zamienne stosowanie pojęć takich jak „przenikalność” i „podatność” czy nieściśłości w nazewnictwie elementów wykonawczych wprowadzają pewien zamęt pojęciowy, który może prowadzić do błędnych interpretacji wyników przez czytelnika spoza wąskiej specjalizacji.

Z punktu widzenia numerycznego, przyjęte uproszczenia, w tym linearyzacja zależności materiałowych, wymagają szerszej dyskusji. Choć są one w pełni uzasadnione inżynierską efektywnością, ich wpływ na zakres uniwersalności metody nie został w wystarczającym stopniu oszacowany. Wskazane byłoby wykonanie syntetycznej analizy wrażliwości (np. w oparciu o planowanie eksperymentów numerycznych), która określiłaby wpływ owych uproszczeń na błąd końcowy. Działanie to pozwoliłoby na bardziej jednoznaczne zdefiniowanie „granic bezpieczeństwa” opracowanej metodyki symulacyjnej. Ponadto, w sekcji poświęconej narzędziom obliczeniowym informacje dotyczące dyskretyzacji przestrzeni, warunków brzegowych oraz kryteriów zbieżności mogłyby zostać przedstawione w sposób bardziej systematyczny dla wszystkich analizowanych przypadków.

Uwagi redakcyjne: Mają one charakter drugorzędny i nie wpływają na ocenę merytoryczną. Wskazane jest wyeliminowanie nielicznych powtórzeń między rozdziałami oraz ograniczenie opisowości na rzecz kondensacji treści w częściach wprowadzających. Skupienie wywodu na analizie własnych wyników badań poprawiłoby dynamikę narracji naukowej i przejrzystość końcowych wniosków.

Konkluzje i wniosek końcowy

Przedstawiona rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Wojciecha Plucińskiego dotyczy istotnej problematyki związanej z modelowaniem wielofizycznym przetworników elektromechanicznych w lotnictwie. Tematyka pracy wpisuje się w kluczowe kierunki rozwoju systemów More Electric Aircraft, odpowiadając na wymogi przemysłowe w zakresie podniesienia niezawodności komponentów pracujących w ekstremalnych warunkach cieplnych i mechanicznych.

Rozprawa posiada wyraźny charakter badawczo-wdrożeniowy. Do jej głównych atutów należy zaliczyć zakres przeprowadzonych badań własnych nad właściwościami materiałowymi oraz udaną integrację danych eksperymentalnych z symulacjami numerycznymi. Autor wykazał się biegłością w posługiwaniu się nowoczesnymi narzędziami inżynierskimi, co potwierdza jego przygotowanie do samodzielnej działalności badawczo-rozwojowej.

Należy jednocześnie wskazać na pewne ograniczenia metodologiczne, które powinny zostać uwzględnione przy ocenie zakresu naukowego wkładu pracy. Najważniejsze zastrzeżenia

dotyczą sposobu sformalizowania problemu badawczego oraz sposobu identyfikacji luki poznawczej, które w rozprawie zostały w dużej mierze utożsamione z wyzwaniem projektowymi. Sformułowane hipotezy zostały powiązane z mierzalnymi kryteriami weryfikacji, w szczególności z dopuszczalnym błędem odwzorowania wyników eksperymentalnych oraz określonymi zakresami temperatury i naprężeń. Ich charakter pozostaje jednak przede wszystkim aplikacyjno-walidacyjny, co sprawia, że wkład poznawczy pracy należy oceniać głównie przez pryzmat opracowanej metody modelowania i jej skuteczności w analizowanych przypadkach. Część teoretyczna, choć merytorycznie poprawna, ma miejscami charakter odtwórczy i tylko w ograniczonym zakresie wnosi pogłębioną krytykę ograniczeń stosowanych modeli fizycznych. Ponadto, rozdział metodyczny mógłby zostać szerzej rozwinięty w zakresie formalnej analizy źródeł niepewności oraz metrologicznego uzasadnienia przyjętej strategii walidacji. Chociaż Autor posługuje się ilościowymi kryteriami zgodności i polami tolerancji, ich powiązanie z niepewnością pomiarową, rozrzutem eksperymentalnym i niepewnością numeryczną mogłoby zostać przedstawione pełniej.

Wskazane ograniczenia nie obniżają zasadniczej wartości rozprawy, zwłaszcza w kontekście jej badawczo-wdrożeniowego charakteru. Praca wnosi oryginalny wkład aplikacyjny, oparty na rzetelnych danych pomiarowych i ich praktycznej implementacji, co jest istotne w kontekście doktoratu wdrożeniowego. Wkład ten, choć bliższy zaawansowanym badaniom aplikacyjnym niż podstawowym, posiada niewątpliwe znaczenie dla rozwoju metodologii projektowania systemów lotniczych.

Podsumowując, rozprawa spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim w dyscyplinie inżynieria mechaniczna pod względem zakresu badań i znaczenia praktycznego. Uważam jednocześnie, że podczas publicznej obrony Autor powinien szerzej odnieść się do kwestii metodologicznych i koncepcyjnych, w szczególności do zakresu weryfikacji hipotez, charakteru luki badawczej, uzasadnienia przyjętych pól tolerancji oraz granic stosowalności opracowanej metody symulacyjnej.

Biorąc pod uwagę istotność podjętej tematyki, zakres przeprowadzonych badań, oryginalność uzyskanych wyników oraz ich znaczenie aplikacyjne, stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Wojciecha Plucińskiego spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571). W związku z powyższym wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna o dopuszczenie Pana mgr inż. Wojciecha Plucińskiego do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.