

prof. ndzw dr hab. inż. Andrzej GRZĄDZIELA

Gdynia 03-08-2023 r.

Instytut Budowy i Eksploatacji Okrętów

Wydział Mechaniczno - Elektryczny

Akademia Marynarki Wojennej

OPINIA pracy doktorskiej

mgr inż. Artura Andrearczyka

p.t.

OKREŚLENIE CHARAKTERYSTYK PRZEPŁYWOWYCH I DYNAMICZNYCH UKŁADÓW WIRUJĄCYCH Z KOMPONENTAMI WYTWORZONYMI Z ZASTOSOWANIEM METOD TYPU „ADDITIVE MANUFACTURING”

Podstawa prawna oceny: uchwała nr. 58/2023 Rady Naukowej IMP PAN w Gdańsku z dnia 15 czerwca 2023 roku.

WPROWADZENIE

W ostatnich latach coraz bardziej widoczna w przemyśle i transporcie wydaje się dbałość o walidację projektowych obliczeń numerycznych. Zaawansowane oprogramowanie numeryczne dość dokładnie przewiduje własności i trwałość zaprojektowanych komponentów a nawet całych urządzeń jednak zagrożenia wynikające z technologii wytwarzania materiałów, ich obróbki termicznej, mechanicznej oraz kondycjonowania a także jakości wykonania w procesie produkcji niejednokrotnie negatywnie wpływają na oczekiwane rezultaty. Obecnie problemy te są rozwiązywane przez testy walidacyjne wykonywane w technologii szybkiego prototypowania na drukarkach 3D.

W latach 80-tych XX wieku po raz pierwszy opatentowano urządzenie do druku 3D, które zrewolucjonizowało metody szybkiego prototypowania. Z biegiem lat powstawały raz po

raz nowe technologie produkcyjne wykorzystujące materiały stałe, proszkowe i płynne. Uzyskiwane materiały posiadały własności zbliżone do produkcyjnych materiałów technologicznych stąd ich zastosowanie w procesie walidacji okazało się wysoce efektywne.

Wykorzystanie współczesnych narzędzi informatycznych do procesu projektowania, tworzenia i walidacji modeli oraz ich testowania na stanowiskach badawczych jest standardem w najlepszych ośrodkach badawczych. Dodatkowe badania własności materiałowych, procesów starzenia oraz oceny wpływu warunków środowiskowych czynią procedury badawcze wysoce efektywnymi i wiarygodnymi naukowo. Wszystkie z wymienionych aspektów zostały zawarte w ocenianej dysertacji. Przedstawione argumenty jednoznacznie wskazują na aktualność podjętego tematu pracy oraz możliwości utylitarnego wykorzystania jej rezultatów.

STRUKTURA PRACY

Praca składa się z ośmiu rozdziałów i bibliografii tworzących razem logiczną całość zawartą na 134 stronach.

Rozdział 1 jest wprowadzeniem, które uzasadnia podjęcia tematu dysertacji oraz prezentuje zakres przeprowadzonych prac badawczych.

W rozdziale 2 Autor dokonuje przeglądu literatury oraz oceny aktualnego stanu wiedzy. Prezentuje i szczegółowo omawia współcześnie stosowane technologie wytwarzania addytywnego oraz omawia wyniki badań wybranych materiałów. W podsumowaniu Autor przedstawia zastosowanie metod wytwarzania addytywnego w przemyśle, medycynie i transporcie.

Rozdział 3 to syntetyczne zdefiniowanie celu i zakresu rozprawy.

W rozdziale 4 Autor charakteryzuje narzędzia badawcze oraz zakres ich wykorzystania. Przedstawione zostają również oprogramowanie MES – Ansys oraz środowisko programowe LabView.

Właściwości materiałów konstrukcyjnych są zaprezentowane w rozdziale piątym. Autor przedstawia i analizuje wytrzymałość na rozciąganie materiałów M3 Crystal i M3 X. Przedstawione zostały wyniki testów z wykorzystaniem siatek Bragg'a oraz ocena wpływu warunków środowiskowych na własności fizyczne analizowanych materiałów.

Rozdział 6 charakteryzuje metodę budowania modelu CAD przy wykorzystaniu skanowania laserowego. Zaprezentowano na przykładach efekty działania programu

projektowego oraz rezultaty symulacji przepływu w sprężarce. W efekcie zaprezentowano rozkłady ciśnienia statycznego i entropii w kanałach wirnika i dyfuzora.

Wyniki badań eksperymentalnych zostały zawarte w rozdziale 7. Przedstawiono budowę stanowiska badawczego turbosprężarki oraz opisano proces wyważania wirnika. Kolejnym etapem były badania porównawcze charakterystyk przepływowych, analizy parametrów drganiowych oraz badania niszczące. Autor przedstawił również wyniki analiz projektowych i badań walidacyjnych turbosprężarki z tarczą o nowej geometrii.

Rozdział 8 przedstawia wnioski z pracy. Autor wskazuje osiągnięte cele oraz komentuje ich sposób utylitarnego wykorzystania. Przeprowadzono dyskusję nad wynikami, potwierdzono osiągnięte cele szczegółowe oraz wskazano na zakres przeprowadzonych prac.

Bibliografia dysertacji zawiera 156 pozycji literaturowych (w tym 12 współautorskich), aktualnych i ściśle związanych z obszarem naukowym pracy.

Pracę uzupełniają streszczenia w języku angielskim i polskim zawarte na wstępie pracy.

MOCNE STRONY PRACY

Praca jest pod względem edytorskim napisana jest starannie oraz logicznie. Układ pracy jest spójny i konsekwentny a wprowadzona charakterystyka udziału Autora we wszystkich obszarach badawczych jest bardzo precyzyjna. Większość prezentowanych graficznie wyników badań jest wysokiej rozdzielczości i posiadają one czytelne opisy osi a podpisy pod rysunkami są wyczerpujące i w języku polskim.

Struktura pracy jest typowa co znacząco ułatwia zapoznanie się z treścią merytoryczną. Analiza dostępnej wiedzy literaturowej jest trafna i wyczerpująca. Dyskusja nad prezentowanymi wynikami dobrze koresponduje z treścią dysertacji. Na uwagę zasługuje poprawne cytowanie wyników prac własnych co pozwoliło Autorowi syntetycznie i zwięźle zaprezentować rezultaty badań.

W pracy widoczny jest precyzyjny i logiczny plan przygotowania do badań. Dobór metod badawczych, narzędzi informatycznych, procedur pomiarowych, systemów diagnostycznych oraz wnioskowania multidyscyplinarnego są zrealizowane prawidłowo i bez zastrzeżeń. Takie podejście do osiągnięcia postawionych celów redukuje możliwość powstania błędów grubych oraz uzyskania rezultatów wątpliwych badawczo. Przeprowadzone analizy,

modele, badania walidacyjne oraz procesy projektowe wymagały od Autora doświadczenia praktycznego, wielu przygotowań technicznych oraz organizacyjnych a także umiejętności wykorzystania szerokiego spektrum narzędzi badawczych.

Na szczególną uwagę zasługuje bardzo szeroki zakres badań, które zostały wykonane z najwyższą starannością. Potwierdzeniem tego są prezentowane wyniki, które ze względów technologicznych nie zawsze odpowiadały charakterystykom wzorcowym, powszechnie znanym z literatury naukowej. Prowadzona krytyczna dyskusja oraz świadomość ograniczeń słusznie wskazują Autorowi potrzebę dalszych badań o szerszym zakresie, co zostało potwierdzone w treści dysertacji. Zrealizowane badania niszczące to najlepsza walidacja symulacji numerycznych a przeprowadzona analiza i sformułowane wnioski potwierdzają logiczne przygotowanie całego programu badawczego.

UWAGI KRYTYCZNE

Postęp w nauce jest wynikiem dyskusji i ścierania się odmiennych poglądów stąd też w każdej pracy dopatrzeć się można niedociągnięć czy dyskusyjnych założeń lub tez. W przypadku otrzymanej do recenzji rozprawy uwagi można podzielić na merytoryczne i redakcyjne.

Oдноśnie uwag merytorycznych to wątpliwości budzi brak jasno sprecyzowanej tezy lub hipotezy badawczej oraz celu głównego i celów szczegółowych, które potwierdziłyby słuszność przyjętych założeń.

Dość zaskakującym jest odstępstwo od stosowania jednostek SI w pracy. Często znaleźć można pojęcia g/cm^3 lub bar zamiast kg/m^3 i Pa – strony 29, 53, 58, 63, 66.

Na stronie 33 Autor wskazuje błędnie udział w badaniach wytrzymałościowych kmdra por. Krzysztofa Świątko z Uniwersytetu Morskiego w Gdyni, który faktycznie jest kierownikiem Laboratorium Podstaw Techniki Wydziału Mechaniczno – Elektrycznego Akademii Marynarki Wojennej.

Na stronie 42 Autor charakteryzuje badania w obszarze ujemnych temperatur wskazując na temperatury dodatnie od 10°C do 50°C .

Wątpliwości budzi również zadanie krawędziom modelu podziału na odcinki o wielkości 5 μm (str. 47) skoro dokładność wykonania struktury wirnika była na poziomie 8 μm – na to pytanie proszę o formalną odpowiedź Autora.

Chciałbym również uzyskać odpowiedź na pytanie czy obliczano numerycznie i badano modalnie częstość drgań własnych wirników z tarczami wirników sprężarki z aluminium i polimerów. Jakie wartości częstości drgań własnych uzyskano? Jak one korespondują z wynikami prezentowanymi na rysunkach 7.17 i 7.18?

Kolejne pytanie dotyczy pomiaru drgań. Ponieważ Autor przeprowadził analizę Order Tracking to chciałbym uzyskać informację w jaki sposób dokonano synchronizmu sygnałów?

Ostatnie pytanie dotyczy procedury pomiarowej w pomiarze drgań z zastosowaniem Order Tracking. Proszę o wyjaśnienie dlaczego nie wykonano badań w procesie wybiegu wirnika gdzie radykalnie redukują się zakłócenia wynikające z procesów roboczych w turbosprężarce?

Uwagi redakcyjne należałoby rozpocząć od formy graficznej dysertacji. Przyjęta konwencja dzielenia wyrazów oraz pozostawianie wiszących liter na końcach wierszów odbiega do standardów edytorskich większości publikacji naukowych, w tym zaleceń PWN. W pracy wielokrotnie zmieniany jest styl, praca pisana jest w stronie biernej ale zarówno w czasie przeszłym, teraźniejszym i przyszłym – patrz np. 25.

Autor kilkakrotnie używał pojęcia „ilość” zamiast „liczba”. Błędy takie można znaleźć na stronach 20, 48 – dwukrotnie oraz 63.

Kolejna z uwag dotyczy kwestii zaniechania publikacji wykazu skrótów i oznaczeń przyjętych w pracy. Na pewno nie ułatwia to czytelnikowi zrozumienie wszystkich pojęć, w tym anglojęzycznych.

Pomimo, że większość rysunków ma opisy i podpisy w języku polskim to część rysunków pozostawiono w oryginalnym języku angielskim bez wyjaśnień pojęć np. rysunki 2.3, 6.6, 6.7, 7.38, 7.41 i 7.42. Ponadto, część rysunków pozostawiono bez siatek co utrudnia analizę wyników np. rys. 5.3, 5.4, 5.11, 5.12, 6.5, 6.7, 6.12 itd.

PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Przedstawiona do recenzji praca OKREŚLENIE CHARAKTERYSTYK PRZEPŁYWOWYCH I DYNAMICZNYCH UKŁADÓW WIRUJĄCYCH Z KOMPONENTAMI WYTWORZONYMI Z ZASTOSOWANIEM METOD TYPU „ADDITIVE MANUFACTURING” niezależnie od przedstawionych uwag krytycznych i dyskusyjnych na pewno spełnia warunki stawiane pracom doktorskim w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych i dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna, świadczy o dużym i profesjonalnym wkładzie Autora w planowanie, realizację multidyscyplinarnych eksperymentów badawczych, umiejętność realizacji i wnioskowania z badań walidacyjnych a także wykorzystania narzędzi symulacji numerycznych.

Wnioskuje o dopuszczenie mgr inż. Artura Andrearczyka do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Biorąc pod uwagę jakość i zakres wykonanych badań stawiam wniosek o wyróżnienie dysertacji.

