

OCENA
rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Cadera
pt. „DOBÓR GEOMETRII WYPEŁNIENIA PROTOTYPÓW
WYTWARZANYCH PRZYROSTOWO Z POLIMERU ABS-M30”

Podstawa opracowania: pismo Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej prof. dr hab. inż. Jarosława Sępa na podstawie decyzji Rady Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa z dnia 11 maja 2016 roku.

1. Wprowadzenie

Doktorant w pracy podjął się tematyki dotyczącej doboru geometrii wypełnienia prototypów wytwarzanych przyrostowo z polimeru ABS-M30, która należy do grupy problemów bardzo ważnych poznawczo i użytkowo w obszarze budowy i eksploatacji maszyn związanym z prototypowaniem elementów konstrukcyjnych robotów inspekcyjnych.

Praca doktorska mgr inż. Macieja Cadera pozwoliła na opracowanie autorskiej metodyki Metody Szybkich Symulacji – MSS (ang. Rapid Simulations Method – RSM), która pozwala na szybki dobór geometrii wypełnienia prototypów wytwarzanych przyrostowo i została zbadana dla reprezentatywnego tworzywa ABS-M30 na podstawie przeprowadzonych badań wytrzymałościowych na próbkach o wymiarach normatywnych dla różnych struktur wypełnienia. Badania pozwoliły na opracowanie danych wejściowych do obliczeń i symulacji MES w programie ANSYS. Symulacje numeryczne Autor wykonał bazując na geometrii elementów chwytaka robota antyterrorystycznego. Dla porównania wyników symulacji z obiektem funkcjonalnym Autor zbudował dedykowane stanowisko badawcze na którym badał elementy wykonane metodą FDM z materiału

ABS-M30. Następnie wykonał porównanie wyników badań stanowiskowych i symulacyjnych z zastosowaniem opracowanej metodyki bazującej na analizie porównawczej obciążeń geometrii obiektów w środowisku numerycznym z rzeczywistymi odkształceniami przy wykorzystaniu digitalizacji optycznej.

2. Ocena pracy doktorskiej

Praca doktorska mgr inż. Macieja Cadera pt. „Dobór geometrii wypełnienia prototypów wytwarzanych przyrostowo z polimeru ABS-M30” obejmuje w sposób kompleksowy teoretycznie i doświadczalnie zagadnienia związane z określeniem wpływu geometrii wypełnienia modelu wytwarzanego przyrostowo na jego właściwości wytrzymałościowe i docelowo eksploatacyjne.

Rozprawa składa się ze 116 stron i jest podzielona na 8 rozdziałów. Bibliografia obejmuje 154 pozycje ze źródeł krajowych i zagranicznych, z których wszystkie zostały przywołane w tekście. Znakomita większość cytowań stanowi aktualne opracowania uwzględniające pozycje książkowe, podręczniki, publikacje naukowe, strony internetowe i normy przedmiotowe. Biorąc pod uwagę, że tematyka pracy dotyczy stosunkowo nowych zagadnień, wydaje się, że jej czytelność poprawiłoby wstawienie na początku opracowania spisu ważniejszych skrótów i oznaczeń, które są jednak rozwinięte w tekście właściwym.

Praca rozpoczyna się od wprowadzenia, w którym Autor określa miejsce technologii przyrostowych w nowoczesnych technikach wytwarzania. Następnie wykonana została analiza literatury odniesiona do określonych zastosowań metod szybkiego wytwarzania prototypów tzw. szybkiego prototypowania (ang. Rapid Prototyping – RP) w kontekście obszaru krajowego i światowego (rozdział 2). W wyniku przedstawionej analizy mgr inż. Maciej Cader w rozdziale trzecim sformułował tezę całości i zakres pracy.

W rozdziale czwartym przedstawione są wyniki badań laboratoryjnych wykonanych na próbkach o geometrii normatywnej, na elementach

rzeczywistych stosowanych do budowy manipulatora oraz zastawienia porównawcze wyników badań.

Rozdział piąty opisuje przebieg badań i analizę wyników symulacji opartych o metodę elementów skończonych wykonanych z zastosowaniem programu ANSYS. Badania te przeprowadził Autor również na próbkach normatywnych i modelach geometrycznych elementów chwytaka robota inspekcyjnego.

Rozdział szósty stanowi syntezę i analizę przeprowadzonych wcześniej badań laboratoryjnych i symulacyjnych których podsumowaniem jest zestaw wykresów określających rozkład procentowy błędów wynikających z badań próbek rzeczywistych i badań symulacyjnych tych próbek.

Rozdział siódmy stanowi podsumowanie i wnioski związane z realizowanym programem badań w aspekcie teoretycznym i użytkowym, które mogą stanowić podstawę do sformułowania kolejnych problemów badawczych.

Praca kończy się obszerną i aktualną bibliografią, której wszystkie pozycje mają odniesienia w tekście rozprawy. Struktura i układ bibliografii stanowi generalnie uporządkowany zbiór, jednak zdarzają się odstępstwa od schematu, szczególnie w pozycjach, których autorzy mają być może trudne do interpretacji nazwiska.

Autor rozprawy, mimo ogólnie jej wysokiej staranności nie ustrzegł się od drobnych błędów edycyjnych, które zaznaczyłem w tekście, które jednak nie mają zasadniczego wpływu na wartość merytoryczną. Dla przykładu:

- opisy wykresów rys. 1.1 i 1.4 zostawione zostały w języku angielskim, cały tekst rozprawy jest w języku polskim, stąd opisy w tym przypadku nie mają uzasadnienia merytorycznego czy edycyjnego (jak np. menu programowe w języku oryginalnym),

- brak opisu osi na rys. 1.2 czy 1.6,

- numer rysunku 4.27 i 4.28 pojawia się w rozdziale czwartym trzykrotnie i dwukrotnie,

- tabela nr 13 – błędnie wpisany termin Moduł Poissona, powinien być współczynniki Poissona, w pozostałej części tekstu rozprawy jest termin użyty poprawnie,

- numeracja tabel odbiega od przyjętego schematu numeracji rysunków i wzorów.

Charakter pracy dedykowany do uzyskania wyników analizy o wartości aplikacyjnej, spowodował, że Autor przedstawił przykłady rozwiązań badawczych wizualnie w sposób bardzo czytelny, jednak nie zawsze zgodny z zasadami opisu rysunkowego rozwiązań konstrukcyjnych (np. rys. 4.29 4.30). Można zauważyć, że jest to typowe podejście do przekazu informacji dla osób wywodzących się z praktyki przemysłowej, ponieważ doktorant jest zatrudniony w instytucie naukowym, jednak pracującym w wielu przypadkach na zasadach komercyjnych wdrożeń przemysłowych. Uzasadnieniem tego zjawiska jest również rozpowszechnienie systemów CAx opartych na wizualizacjach 3D, które również spowodowało odejście w wielu przypadkach od normatywów rysunkowych w kierunku szybkich wizualizacji.

Podobnie można odnieść się do niektórych fragmentów tekstu, gdzie Autor stosuje skróty myślowe bądź kolokwializmy, wynikające czasami z dowolnego tłumaczenia określeń anglojęzycznych np. str 5. „...technologii wytwarzania przyrostowego - TWP (ang. Additive Manufacturing AM.” Wynika to jednak z faktu, że nie istnieją na dzień dzisiejszy polskie normatywy dotyczące technologii przyrostowych, a normatywy międzynarodowe mają bardzo krótką historię lub są jeszcze w niektórych przypadkach w trakcie tworzenia. Biorąc to pod uwagę należy stwierdzić, że celowe byłoby opracowanie przez ekspertów z branży, być może również przy udziale Autora rozprawy, normatywów i terminologii krajowej.

Zasadnicza część merytoryczna pracy przedstawiona jest w rozdziałach 4, 5 i 6, gdzie Doktorant opisuje wyniki badań, analizuje je tworząc model badawczy pozwalający na realizację szybkich symulacji w oparciu o bazowe modele geometryczne 3D-CAD w odniesieniu do różnych struktur wewnętrznych. Opracowana metodyka pozwala praktycznie na znaczne przyspieszenie prac projektowych i wdrożeniowych i nie wymaga konstruowania skomplikowanych modeli numerycznych struktur wewnętrznych, trudnych obliczeniowo z punktu widzenia teorii symulacji opartych o metodę elementów skończonych (MES).

W tej części pracy Autor nie ustrzegł się od popełnienia drobnych błędów, które zaznaczyłem w tekście, nie wpływających jednak znacząco na wartość merytoryczną pracy. Brak tych błędów podniósłby jej czytelność, szczególnie dla osób, które nie są specjalistami w zakresie szybkiego prototypowania czy metod szybkich symulacji.

W rozdziale czwartym na podstawie uzyskanych rezultatów badań rozciągania próbek z litą-włóknistą geometrią wypełnienia wewnętrznego wytwarzanych w orientacji **poziomej** obserwujemy odkształcenie plastyczne a w przypadku rozciągania próbek z litą-włóknistą geometrią wypełnienia wewnętrznego wytwarzanych w orientacji **pionowej** mamy do czynienia ze zrywaniem kruchym. Autor nie uwzględnił tych zjawisk w analizie wyników wytrzymałościowych, co wymaga komentarza ze strony Doktoranta.

Badania doświadczalne i obliczenia symulacyjne przeprowadzone w dysertacji udowodniły w pełni słuszność przyjętych założeń i pozytywnie zweryfikowały tezę pracy, jednak formułowanie tezy w pracach o charakterze użytkowym wydaje się zbędne. Cel pracy został w pełni osiągnięty.

Przedstawione powyżej uwagi do pracy są często uproszczeniami mającymi mały wpływ na końcowe wyniki oraz ich weryfikację. Uwagi te po zaznaczeniu w tekście rozprawy przekazałem Autorowi.

Metodyka badań, modele badawcze oraz analiza otrzymanych wyników badań teoretycznych i eksperymentalnych stanowią oryginalny wkład Autora w dyscyplinę budowa i eksploatacja maszyn. Jednocześnie stwierdzam, że mimo drobnych uwag, właściwie o charakterze dyskusyjnych, wysoko oceniam poziom merytoryczny rozprawy, przede wszystkim ze względu na nowatorski i użytkowy charakter badań realizowanych przez Doktoranta ale również ze względu na intelektualny wkład Autora.

4. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę ocenę przedmiotowej rozprawy doktorskiej stwierdzam, że:

- teza pracy została sformułowana w sposób trafny,
- zakres spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim a jej struktura i układ formalny jest prawidłowy,
- treść rozprawy odnosi się do aktualnej wiedzy i w wielu elementach wnosi nowe treści,
- cele zasadnicze dysertacji zostały osiągnięte w zakresie przyjętym przez Doktoranta,
- ujęte w tezie pracy założenia Autora zostały uzasadnione,
- prezentowane wyniki uzyskano w poprawnym procesie badawczym,
- przyjęte w pracy założenia, metodyka i opracowane modele własne i mogą być podstawą do realizacji dalszych prac badawczych.

Doktorant w rozprawie podjął się ambitnego zadania, które z względów nie wyczerpuje całości zagadnień związanych z modelowaniem obciążeń elementów maszyn wytwarzanych w procesach przyrostowych. Powoduje to konieczność prowadzenia dalszych badań, a przedstawiona do oceny dysertacja stanowi punkt wyjściowy do opracowania danych dla symulacji numerycznych prototypów wytwarzanych np. metodami SLA (Stereolithography) czy SLS (Selective Laser Sintering).

Fakty te świadczą o kompetencjach Doktoranta w zakresie prowadzenia badań naukowych oraz wykazują Jego wiedzę i umiejętności praktyczne w dyscyplinie naukowej „Budowa i eksploatacja maszyn”, obejmującej zagadnienia objęte rozprawą.

Stwierdzam zatem, że praca mgr inż. Macieja Cadera pt.: *„Dobór geometrii wypełnienia prototypów wytwarzanych przyrostowo z polimeru ABS-M30”* (promotor: prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik) spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w rozumieniu ustawy „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14 marca 2003 roku, a Autor może być dopuszczony do jej publicznej obrony.

