



Bydgoszcz, 18 lutego 2022

prof. dr hab. inż. Dariusz Skibicki
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich
Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marcina Jamontta
pt. „Engineering and Inspection Problems Study for Turbine Guide Vane
Mechanical Component”

Podstawa wykonania recenzji

Podstawą wykonania niniejszej recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej, prof. dr hab. inż. Roberta Sitnika, nr RNDIM/521/26/2021, z dnia 20 grudnia 2021.

Ocena formalna rozprawy

Rozprawę poprzedza streszczenie w języku polskim i angielskim. Na jego podstawie można bez trudu zorientować się, czego dotyczy rozprawa i jakie osiągnięto w niej rezultaty. W pracy zamieszczono również słowa kluczowe oraz przejrzysty spis oznaczeń.

Rozdział 1 zawiera ciekawe wprowadzenie w tematykę podjętą w rozprawie, definicję obszaru badawczego oraz uzasadnienie podjęcia tematu badań. Autor klarownie wykazuje istnienie ważnych i do tej pory nierozwiązanych problemów technicznych i naukowych. Na tym tle, w rozdziale 2, autor precyzuje cele badawcze rozprawy. Rozdziały 3, 4 i 5 zawierają niezbędne do zrozumienia dokonania autora podstawy teoretyczne, opis użytych metod i narzędzi. W każdym z tych rozdziałów zawarta jest prezentacja rozwiązania zadań, analiza rezultatów oraz dyskusja rozwiązania. Rozdział 6 zawiera podsumowanie i wnioski. W rozdziale tym autor zamieścił także ocenę swojego wkładu w rozwój dyscypliny oraz zdefiniował kierunki kontynuacji badań.

Całość rozprawy liczy 91 stron. Autor powołał się na 114 źródeł literaturowych oraz stron internetowych. W przewarżającej części źródła można uznać za aktualne, ponieważ pochodzą z ostatnich 10 lat.

Podsumowując, strukturę rozprawy uważam za prawidłową. Zawarte w niej części zawierają wszystkie treści wymagane do prawidłowego przedstawienia dokonania naukowego autora.

Nieco krytycznie oceniam dbałość autora o komunikatywność tekstu rozprawy i jakość edytorską rysunków. Jako przykład niedociągnięć w tym zakresie mogą posłużyć następujące elementy rozprawy:

1. Rysunki na stronach 20 i 21 przedstawiają różnie zorientowane łopatki turbiny. Inna jest orientacja tych elementów na wykresach prędkości przepływu (Rys. 1.13), a inna na rysunku na którym definiuje się wielkość „throat” (Rys. 1.12). Różne położenia łopatek utrudniają odczytanie rysunków.
2. Na stronach 20 i 21 autor stosuje różne nazwy tego samego pojęcia lub tych samych wielkości. Na przykład, wydają mi się, że „2D throat” oznacza to samo co „linear throat”?
3. W tekście rozprawy brak jest odesłania do rys. 1.19.
4. Czasami niektóre definicje są niezrozumiałe dla czytelnika. Na przykład, co to znaczy “deformed „initial” shape” na str. 21. Czy kształt początkowy łopatki jest naprawdę zdeformowany?
5. Rys. 1.20 jest niezrozumiały. Wielkość „real error” powinna być zaznaczona jako wymiar głębokość otworu, a nie odcinek sugerujący istnienie w tym miejscu krawędzi.
6. Rys. 1.21 nie ilustruje problemu w zrozumiały sposób. Z czego wynika błąd pomiaru? Z błędnego miejsca pomiaru?
7. Zmienna Δz w tabeli 3.1 jest opisana niezrozumiale. Z rysunku nie widać, że chodzi o wymiar w kierunku osi z. Można się tego domyślić dopiero z późniejszej lektury tekstu.
8. W rozprawie są dwie tabele o oznaczeniu 3.1. Pierwsza występuje na stronie 41, a druga na stronie 44.
9. Algorytm przedstawiony na stronie 43 bardzo słabo koresponduje z algorytmem przedstawionym na rys. 3.1. Chyba, że rzeczywiście rysunek i opis dotyczą czegoś innego, ale nie wynika to z tekstu.
10. Rysunek 3.3 jest całkowicie niezrozumiały. Nie wiadomo co przedstawiają obiekty jak i nie wiadomo co symbolizują strzałki w obu kierunkach.
11. Rysunek 3.7 nie jest konieczny. Autor porównuje tylko dwie wartości, ale do tego nie potrzeba wykresu.
12. Na rys. 3.8 brak numeracji punktów. Bardzo utrudnia to zrozumienie kolejnego rysunku 3.9.
13. Na rys. 3.9 brak opisów osi. Można się tylko domyślać, że oś odciętych to numery punktów, a oś rzędnych to odległość w mm.
14. Nie wiadomo co opisuje rysunek 4.2. Nie wiadomo co z czym należy porównać, żeby zauważyć problem wymiany danych za pomocą plików neutralnych.
15. Rysunek 4.3 przedstawia algorytm, z którego niewiele wynika. W poszczególnych elementach schematu blokowego zapisano nazwy funkcji programu, z których czytelnik musi się domyśleć ich funkcjonalności.
16. W tabeli 4.1 nie widać skutków generowania pliku STEP z różnymi nastawami tolerancji. Jak rozumiem, taki miał być cel tej ilustracji.
17. Nie wiadomo co oznaczają strzałki „sections inside tolerance zone” na rysunku 5.3.
18. Wydaje się, że na rys. 5.14 na trzeciej parze trójkątów, linię kreskową naniesiono nie na tej krawędzi trójkąta.
19. Oznaczenie (t/a)L na rys. 5.15 jest początkowo trudne do zrozumienia.
20. Nie wiadomo co oznaczają szare obszary na rys. 5.19. Czy są to obszary skorygowane przez algorytm?

Ocena merytoryczna rozprawy

Rozprawa doktorska prezentuje dobrą ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Autor rozprawy rozumie zmianę paradygmatu dokumentacji technicznej w procesie projektowym i wytwórczym. Zdaje sobie sprawę z funkcji dokumentacji 2D i rozumie rolę dokumentacji 3D. Rozumie, jakie cechy powinna posiadać dokumentacja 3D, aby spełniała swoje zadania w procesie wytwórczym i kontroli jakości. Potrafi wykazać wiele niedoskonałości tych form dokumentacji i potrafi zdefiniować sposoby rozwiązania tych problemów.

Autor doskonale orientuje się we współczesnych narzędziach CAx służących inżynierom i naukowcom do rozwiązywania zagadnień projektowych i technologicznych. Ma także orientację co do światowych trendów w rozwoju komputerowego oprogramowania wspomagania pracy inżyniera. Autor ma świadomość, że proces projektowy maszyn musi i może uwzględniać nie tylko podstawowe wymogi wytrzymałościowe, technologiczne i eksploatacyjne, ale również zaawansowane kryteria wynikające np. z trudnych warunków pracy. Rozumie również wagę procesu projektowego. Wie, że decyzje konstruktora podjęte na tym etapie życia konstrukcji determinują cały cykl trwania konstrukcji, zwłaszcza mogą mieć poważny skutek finansowy.

Autor wykazuje się erudycją w zakresie zagadnień kontroli jakości, w tym szczególnie pomiarów maszynami współrzędnościowymi oraz za pomocą metody skanowania 3D.

Autor wykazał umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a mianowicie: potrafił dostrzec i sformułować problem w zakresie inżynierii mechanicznej, potrafił przeprowadzić analizę literatury w odniesieniu do obszaru jego zainteresowań naukowych, potrafił precyzyjnie sformułować cele rozprawy, zastosował odpowiednie narzędzia badawcze, poprawnie wyciągnął wnioski oraz był w stanie przedstawić wyniki swoich prac w formie publikacji naukowych.

W rozdziale 1 autor czytelnie przedstawił obiekt badań, jakim były łopatki prowadzące turbiny gazowej. Autor zapoznał czytelnika z problemami zapisu i transferu geometrii łopatek, problemami projektowania ze względu na wysoką temperaturę eksploatacji oraz zagadnieniami kontroli jakości, w tym szczególnie pomiaru cech geometrycznych tego typu części mechanicznych. Wydaje mi się, że autor, choć mam przekonanie, że zdaje sobie z tego sprawę, w swoich rozważaniach niedostatecznie podkreślił fakt ciągłego doskonalenia procesu wymiany danych pomiędzy systemami poprzez rozwój techniki Feature Recognition Systems. Prowadzi ona przecież do integracji pomiędzy grupami oprogramowania CAD-CAM (np. Inventor oraz MasterCAM) albo CAD-FEM (np. Inventor i Ansys). Ponadto należałoby zauważyć, że w systemach CAx pochodzących od jednego producenta problemy opisane przez Autora nie występują. Umieszczenie celów i wniosków sformułowanych w pracy na tle takiej szerszej perspektywy, spowodowałoby jeszcze większe przekonanie czytelnika o dużej wartości rozprawy.

W rozdziale 2 autor przedstawił cele rozprawy, a mianowicie: określenie sposobów deformacji łopatek turbin pod wpływem temperatury, opracowanie przepływu danych CAD bez utraty ważnych danych, optymalizację danych CAD w celu usprawnienia pomiaru na maszynach współrzędnościowych oraz zapewnienie większej dokładności pomiaru przy użyciu skanowania 3D. Są to bardzo pragmatyczne cele, którymi powinny cechować się prace naukowe o charakterze wdrożeniowym. Rozdział 2 kończy się sformułowaniem tezy pracy, która zakłada, że dokładność cech geometrycznych łopatek turbin może zostać zwiększona poprzez ciągłe dążenie do poprawienia jakości danych CAD oraz optymalizację kształtu modeli CAD. Teza logicznie wynika z postawionych celów. Można się jedynie zastanawiać, czy teza nie powinna być sformułowana jako pierwsza, a cele pracy nie powinny być jej konsekwencją.

Autor wykorzystuje odpowiednie narzędzia i metody. Dla przykładu, w rozdziale 3, w celu optymalizacji geometrii łopatek, autor umiejętnie posługuje się optymalizacyjnymi metodami numerycznymi z grupy metod bezgradientowych (metoda Powella) oraz gradientowych (metoda gradientu sprzężonego). Niestety, autor nie sprecyzował czy był wyłącznie użytkownikiem tych metod, czy też w jakiś sposób zaimplementował je numerycznie, np. stworzył własne środowisko. Jeśli był wyłącznie użytkownikiem, nie powiedział w jakim programie stosował te narzędzia. Ponadto, autor niepoprawnie opisał model matematyczny optymalizacji. Prawidłowo zdefiniowany model powinien składać się z trzech definicji: zmiennych decyzyjnych, funkcji celu i ograniczeń wytyczających obszar rozwiązań dobrych. Autor skupił się wyłącznie na opisie zmiennych decyzyjnych, za które uznał: przesunięcia w płaszczyźnie XY, odkształcenia w kierunku Z, obrót profilu oraz jego skurcz. Niestety, brak informacji o ograniczeniach, a co gorsza, brak jest informacji o funkcji celu. Co prawda na rys. 3.9 autor pokazuje na wykresie różnice współrzędnych punktów pomiarowych profilu przed i po optymalizacji. Można się tylko domyślać, że funkcją celu jest minimum sumy tych różnic. Inna kwestia, czy jest to wystarczająco dobra miara jakości rozwiązania, ale tego autor nie rozważa. Wyobrażam sobie, że lepszą funkcją celu byłaby funkcja związana nie tyle z geometrią łopatki, co z wpływem geometrii tego elementu konstrukcyjnego na parametry pracy turbiny. Nie jest to jednak zarzut w stosunku do autora, gdyż zdaję sobie sprawę z trudności określenia analitycznej postaci takiej funkcji.

Treść rozdziału 5 dowodzi umiejętności autora posługiwania się nowoczesnymi metodami pomiaru. Rozdział ten, podobnie jak każdy inny, autor kończy podsumowaniem. W tym miejscu mam jednak wątpliwości, czy zawsze słusznie autor używa pojęcia „dyskusja” na jego nazwanie. Punkt 5.1.4. ma ewidentnie charakter podsumowania, a nawet zawiera informacje typowe dla wstępu do rozdziału.

Rozprawę kończy rozdział 6, zawierający wnioski. Wartym podkreślenia wydaje mi się fakt, że na końcu rozprawy autor określił kierunki dalszych badań. Świadczy to, że jego praca nie jest dziełem zamkniętym, ale jak każda wartościowa i owocna praca naukowa, stanowi otwarcie nowych wątków badawczych.

Na podstawie listy cytowanych źródeł literaturowych można się przekonać, że autor posiada umiejętność komunikowania swoich dokonań naukowych w środowisku naukowym.

Przedmiotem rozprawy doktorskiej są oryginalne rozwiązania w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej.

Rozwiązania te polegają na kompleksowej optymalizacji modeli i danych CAD, z punktu widzenia procesów wytwórczych i kontroli jakości. Autor proponuje nowe rozwiązania w procesie projektowym, które mają na celu podniesienie dokładności wykonania łopatek turbin działających w wyjątkowo trudnych warunkach eksploatacji. Efektem proponowanych rozwiązań jest poprawa szeroko rozumianej jakości całego cyklu życia produktu.

Za oryginalne dokonania autora można uznać:

1. Określenie w punkcie 3.1.2 typów deformacji łopatek turbiny następujących w trakcie eksploatacji pod wpływem ciepła;
2. Zaprezentowany w punkcie 3.2.1 algorytm optymalizacyjny pozwalający na uzyskanie w procesie wytwórczym kształtu łopatki, który pod wpływem warunków eksploatacji uzyskuje cechy geometryczne zapewniające wydajną i niezawodną pracę;
3. Zidentyfikowane w podrozdziale 4.1. ograniczenia procesu wymiany danych pomiędzy systemami CAx, oraz przedstawienie w podrozdziale 4.2. własnego rozwiązania eliminującego te wady.

4. Opracowaną w punkcie 5.1.2 metodę optymalizowania ilości danych niezbędnych do prawidłowej kontroli jakości za pomocą współrzędnościowych maszyn pomiarowych. Metoda ta określa kryteria i sposób redukcji liczby węzłów definiujących krzywe b-spline, służące do wyznaczania punktów pomiarowych.
5. Opracowaną w punkcie 5.2. metodę korekty danych, będących wynikiem skanowania 3D elementów konstrukcyjnych. Metoda ta zawiera kryteria i algorytmy korygowania powierzchni skanowanego obiektu, w tym metody poprawy krzywizn powierzchni części maszyn.

Uważam, że przedstawione w rozprawie rozwiązania są oryginalne i ważne dla sfery gospodarczej.

Wniosek końcowy

Uważam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Marcina Jamontta pt. „Engineering and Inspection Problems Study for Turbine Guide Vane Mechanical Component” spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 187, ust. 1 i 2, ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o Szkolnictwie Wyższym.



prof. dr hab. inż. Dariusz Skibicki
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Politechnika Bydgoska