

dr hab. inż. Sławomir Spadło, prof. PŚk  
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn  
Katedra Metaloznawstwa i Technologii Materiałowych  
Politechnika Świętokrzyska w Kielcach  
e-mail: sspadlo@tu.kielce.pl

Kielce, dn. 28.02.2023 r.

### **Recenzja**

rozprawy doktorskiej mgr inż. Adam Olko

pt. „*Wpływ parametrów procesu wyważania wolnoobrotowego na dokładność wyznaczania niewyważenia resztkowego wybranych elementów wirujących silnika lotniczego*”

promotor pracy: prof. dr hab. inż. Andrzej Kawalec

promotorka pomocnicza dr inż. Anny Bazan

opiekun pomocniczy dr inż. Krzysztofa Raga

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej, Pana dr hab. inż., Andrzeja Burghardta prof. PRz, z dnia 30.11.2022 r. sygn. RM-530-06-03/2022

#### **1. Charakterystyka podjętej tematyki rozprawy doktorskiej**

Idea wyważania elementów maszyn wykonujących ruch obrotowy znana jest od lat, dotyczy bowiem wielu części składowych urządzeń mechanicznych wprawianych w ruch obrotowy. Zagadnienia wyważenia nabierają szczególnego znaczenia w sytuacjach, w których stawiane są bardzo wysokie wymagania co do jakości jej przeprowadzenia. Z taką sytuacją mamy do czynienia w przypadku maszyn wirnikowych w przemyśle lotniczym. Zagadnienia wyważenia stają się szczególnie istotne na etapie produkcji elementów silników przepływowych, w których uzyskanie i zapewnienie dokładności oraz powtarzalności pomiarów w szczególności w zadaniach, w których wymagania postawione są na bardzo wysokim poziomie stają się wyzwaniem naukowym. Zagadnienia badawcze związane z rozwiązaniem tak postawionych zadań nie były łatwe, wymagały uwzględnienia wielu czynników związanych z postawionym wymogiem rzeczywistego ich wdrożenia, w warunkach produkcyjnych.

Dodatkowym kryterium, bezpośrednio związanym z zaplanowanym finalnym wykorzystaniem uzyskanych wyników badań, były efekty ekonomiczne dla podmiotu gospodarczego wdrażającego wyniki badań. Z uwagi na postawione wymagania, dotyczące specyfiki prac badawczo-wdrożeniowych, praca musiała być realizowana w wymiarze naukowym, zawierającym elementy nowatorskie oraz poznawcze, a także elementy związane z bezpośrednim wdrożeniem wyników badań w warunkach przemysłowych. Biorąc pod uwagę fakt, że wdrożenie miało nastąpić w warunkach produkcyjnych, jako rzeczywiste i „pełnoskalowe” rozwiązanie przedmiotowego zagadnienia wymagało skorelowania zagadnień naukowych oraz prac charakterze wdrożeniowym.

Biorąc pod uwagę warunki konkursowe programu „Doktorat wdrożeniowy” dotyczące finalnego wskaźnika realizacji projektu – wdrożenia wyników badań naukowych, musiały one być ukierunkowane na realizacją aspektów użytecznych.

W ocenie recenzenta, realizacja prac badawczych w formule „doktoratu wdrożeniowego” nie była prostym przedsięwzięciem. Wymagała pełnej determinacji zarówno doktoranta jak również promotora, promotora pomocniczego oraz opiekuna pomocniczego. Potwierdzeniem, trafności wyboru tematyki badań naukowych jest zainteresowanie ich wdrożeniem producenta silników lotniczych Pratt & Whitney Rzeszów S.A.

W tym kontekście uważam, że praca mgr inż. Adama Olko dotycząca wyważania wolnoobrotowego wybranych elementów wirujących silnika lotniczego wpisuje się w ogólnoswiatowe kierunki badań, wnosząc wymierne korzyści poznawcze i użyteczne. Dlatego też uważam, że podjęty przez Autora pracy temat a także zakres pracy należy uznać za uzasadniony i bardzo aktualny, choć niełatwy do zrealizowania.

## **2. Charakterystyka zawartości pracy**

Recenzowana rozprawa doktorska, wraz z załącznikami, ma objętość 264 strony. Podzielona jest na 7 rozdziałów stanowiących zasadniczą część pracy oraz 6 załączników. Zawiera 57 tabel i 143 rysunki. Ponadto w pracy zamieszczono wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów oraz zestawienie bibliografii (180 pozycji). Praca zawiera wykaz oznaczeń stosowanych w rozprawie oraz streszczenie w języku polskim i angielskim.

W rozdziale 1. Doktorant scharakteryzował zagadnienia dotyczące wyważania, ze szczególnym uwzględnieniem wyważania elementów zespołów wirnikowych nowoczesnych napędów lotniczych. Autor przedstawia typowe sposoby wyważania oraz określa obszar tematyczny pracy.

Rozdział 2. dotyczy przeglądu i analizy dostępnej literatury. Rozdział został podzielony, w sposób logiczny mający na celu scharakteryzowanie trzech głównych obszarów dotyczących podjętej tematyki badawczej: obejmujących zagadnienia konstrukcyjne oraz wymagania techniczne dotyczące stanu niewyważenia elementów wirujących, charakterystyki procesu wytwarzania na dokładność kształtowo-wymiarową oraz cechy struktury geometrycznej powierzchni wytwarzanych elementów, metody i urządzenia badawcze stosowane do oceny jakości wyważenia.

W szczególności scharakteryzował on wymagania dotyczące wyważania wirników sztywnych – wyważanych dynamicznie w dwóch płaszczyznach, elementów tarczowych – wyważanych statycznie w jednej płaszczyźnie oraz wyważania wielopłaszczyznowego. Podał sposoby określenia wartości niewyważenia resztkowego dla różnych kryteriów oceny opisywanego parametru. Jako kryteria oceny dopuszczalnej wartości resztkowej wyrównoważenia przyjęto parametry drgań układu wyważanego, wartości sił w podporach (łożyskach), a także poziom hałasu wywołanego stanem niewyważenia.

W dalszej części rozdziału dokonano przeglądu sposobów korekcji niewyważenia oraz metod minimalizacji błędów montażowych na efekt wyważenia.

W kolejnych etapach przeglądu literatury poruszone zostały zagadnienia dotyczące drgań w układach wałów silników przepływowych, ze szczególnym uwzględnieniem współczesnych rozwiązań konstrukcyjnych układów dwuwałowych oraz ich wpływu na eksploatację płatowca. Analizy dotyczyły zarówno symulacji numerycznych, jak również badań eksperymentalnych. W opinii oceniającego wskazane było by przedstawienie analizowanych układów konstrukcyjnych w formie graficznej. Autor scharakteryzował materiały stosowane na elementy zespołów wirujących silników przepływowych z uwzględnieniem nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych, między innymi stopów tytanu.

Doktorant dokonał analizy wpływu procesów produkcyjnych, w tym niekonwencjonalnych technik wytwarzania, na dokładność kształtowo-wymiarową oraz cechy struktury geometrycznej powierzchni, ocenił ich wpływ na warunki pomiaru stanu niewyrównoważenia oraz pracy elementów wirujących w warunkach rzeczywistych. Scharakteryzował przyczyny powstawania składowych błędów niewyważenia oraz ocenę błędu całkowitego.

W podsumowaniu rozdziału Autor trafnie zauważa, że w dostępnej literaturze istnieją obszary dotyczące wyważania, które nie zostały w pełni przeanalizowane. Dotyczy to między innymi zagadnień wyważania z wykorzystaniem jednopłaszczyznowych wyważarek nieobrotowych, wyważania przedmiotów o dużej masie lub konstrukcji cienkościennych.

Kolejne zagadnienia dotyczą szczegółowych warunków wyważania, takich jak, sposób fundamentowania maszyny, warunków przeniesienia napędu na element wyważany, doboru parametrów wyważania, warunków smarowania i związanych z nimi dokładnościami pomiaru.

Przedmiotem rozważań były również zagadnienia dotyczące wpływu czynników związanych z warunkami eksploatacyjnymi wyważarki, np. dotyczących stabilizacji termicznej maszyny na dokładność wyważania.

Należy podkreślić, że w podsumowaniu rozdziału Doktorant wykorzystał szeroką wiedzę praktyczną uzyskaną podczas pracy zawodowej w Pratt&Whitney Rzeszów S.A.

W rozdziale 3. Autor, na podstawie analizy literatury oraz własnego doświadczenia zawodowego związanego z pracą w Pratt&Whitney Rzeszów S.A, trafnie określił cel, hipotezy i zakres pracy. Na uwagę zasługuje rozbudowany zakres pracy, uwzględniający budowę modeli analitycznych, wykonanie symulacji numerycznych oraz szeroko zakrojony program badawczy, w którym uwzględniono szereg istotnych, z punktu widzenia wyważania elementów wirujących silników przepływowych, czynników. Zaplanowany program badawczy obejmuje również aspekty aplikacyjne, których planowanym efektem było wdrożenie wyników badań do praktyki przemysłowej.

Rozdział 4 - Metodyka badań. Doktorant, w sposób szczegółowy scharakteryzował aparaturę badawczą, ze szczególnym uwzględnieniem charakterystyk wyważarek. Przedstawił metodykę oceny dokładności oraz powtarzalności wyników badań.

Rozdział 5 - Badania wstępne. Zawiera treść dotycząca budowy modeli fizycznych wału sztywnego oraz ich opisu matematycznego w nieruchomym układzie współrzędnych. Autor zastosował klasyczny opis dotyczący równowagi sił z uwzględnieniem sił bezwładności oraz równowagi momentów sił zewnętrznych działających na wirnik z uwzględnieniem momentów sił bezwładności. Dalszą analizę przeprowadzono dla przypadku wału wyważonego wykonującego ruch obrotowy ze stałym wektorem prędkości kątowej, który pokrywa się z osią obrotu wału – z. Uzyskano w ten sposób równania wiążące wektor krętu  $\mathbf{K}^A$  z tensorem współczynników bezwładności  $\mathbf{J}$  i prędkością kątową wału. W wyniku przeprowadzonej analizy sformułowano warunki wyważenia dynamicznego oraz statycznego.

W dalszej części analizy sformułowano warunki wyważania wirnika sztywnego poprzez korekcje masy w dwóch płaszczyznach, a w kolejnym podrozdziale wyważania jednopłaszczyznowego wirnika w postaci dysku.

W następnym podrozdziale zbudowano model opisujący ruch obrotowy wirnika sztywnego z niewyważaniem. Autor uzasadnił przyjęte do budowy modelu fizycznego uproszczenia. Dotyczyły one opisu cech sprężystych podpór oraz współczynników tłumienia wiskotycznego

występujących w podporach oraz w pasku napędowym. Rozwiązanie zagadnienia odwrotnego umożliwiło określenie położenia mas niewyrównoważenia resztkowego na podstawie analizy parametrów ruchu obrotowego wirnika. Uzyskano rozwiązanie postawionego zagadnienia początkowego w dziedzinie czasu. Trafna konstatacja dotycząca tłumienia w funkcji czasu składników związanych z częstością drgań własnych  $\lambda$  układu pozwoliła wyodrębnić część rozwiązania niezależną od warunków początkowych z zależną jedynie od częstości siły wymuszającej  $\omega$  wynikającej z niewyważenia wirnika. W wyniku przeprowadzonej szczegółowej analizy rozwiązania określono względne miary przemieszczeń w kierunku osi  $x$  oraz  $y$  w płaszczyznach obu analizowanych tarcz. Opracowany model umożliwia ilościową ocenę parametrów ruchu. Wnosi on ponadto informacje umożliwiające szerszą interpretację wyników badań eksperymentalnych wyważania.

W dalszej części rozdziału Doktorant dokonał analizy korzyści z zastosowania wyważarek nieobrotowych w porównaniu z wyważarkami odśrodkowymi. W sposób drobiazgowy scharakteryzował czynniki wpływające na proces wyważania. Obejmowały one między innymi warunki posadowienia wyważarki, wpływ czynników termicznych, warunków kontaktu rolka-czop, warunki smarowania, prędkość wyważania oraz stany nieustalone pracy wyważarki.

Rozdział 6. Badania zasadnicze – powtarzalność i dokładność wyważania obejmuje zagadnienia dotyczące analizy wyważania z wykorzystaniem wyważarki nieobrotowej. Autor charakteryzuje opracowane procedury badawcze mające na celu ilościową ocenę czynników opisanych w rozdziale 5. na wskaźniki niewyważenia. Finalnym efektem przeprowadzonych badań było uzyskanie charakterystyk ilościowych wiążących parametry oraz warunki pracy wyważarki na dokładność oraz powtarzalność uzyskiwanych wyników badań.

Rozdział 7. Podsumowanie, wnioski oraz elementy oryginalne pracy zawiera najistotniejsze wnioski z przeprowadzonych badań. Jego treść obejmuje szczegółowe rekomendacje związane z wdrożeniem, w warunkach przemysłowych, uzyskanych wyników badań.

Kończącą pozycję zasadniczej części rozprawy stanowi bibliografia.

### 3. Uwagi szczegółowe dotyczące pracy

Praca została przygotowana starannie pod względem redakcyjnym i językowym oraz graficznym, jednakże autor nie ustrzegł się pewnych nieścisłości, usterek o charakterze edycyjnym lub stylistycznym, a w szczególności:

1. Występuje niespójność w określeniach dotyczących wywołania wymaganej siły przenoszonej przez pasek przekładni pasowej. Autor używa czasem określenia naprężenie paska napędowego (np. w rozdziale Metodyka str. 77) a czasem napięcie paska napędowego – i kojarzonego z nim napinania paska w celu wywołania wymaganej, warunkami pracy przekładni pasowej, siły (sił) w pasku (np. w rozdziałach Badania wstępne str. 63, Badania zasadnicze oraz Wnioski). W innym miejscu opracowania np. na str. 91 pojawia się określenie siła naciągu paska. W rzeczywistych warunkach siła naciągu wywoływana jest w wyniku przemieszczenia elementów regulacyjnych (napinaczy) paska.
2. Autor dysertacji niekiedy cytuje dużą liczbę pozycji literaturowych bez szczegółowego odniesienia się do treści poruszanych tam zagadnień (str. 20, 31, ... 43, ... 55, 62, itd.). Pewne zmiany redakcyjne w tym zakresie przyczyniły by się do poprawy jakości odbioru tej pracy.
3. Zamiast pochodzącego z języka angielskiego słowa "specyfikacja" powinno używać się określenia "norma".
4. W tabelach 5.2 i 5.4 powinny być użyte, zgodnie z przyjętą konwencją w pracy, kropki a nie przecinki jako separatory części całkowitej i dziesiętnej liczb rzeczywistych. Warto jednak zauważyć, że w polskiej tradycji ortotypograficznej separatorem dziesiętnym jest przecinek (<https://sjp.pwn.pl/>)
5. Na wykresach biegunowych: rys. 6.35, 6.65, 6.66 i 6.67 siatka współrzędnych biegunowych mogłaby być bardziej kontrastowa, przez co odczyt wartości liczbowych z wykresu byłby łatwiejszy.
6. Na wykresach 6.36 oraz 6.37 – brak jest, dla przedziału prędkości obrotowej 100–300 obr/min, reprezentacji graficznej danych pomiarowych odpowiadających masie wprowadzającej niewyważenie 0.035 g.
7. Po analizie wyników wykonanych badań nasuwa się następujące pytanie. Dlaczego badania wpływu prędkości obrotowej na dokładność pomiarów nie zostały wykonane dodatkowo na wyważarce dwupłaszczyznowej, w sytuacji gdy prędkość obrotowa okazała się głównym parametrem, od którego zależą wyniki badań, w tym również dokładność wyznaczania niewyważenia resztkowego?

8. Wskazane było by zastosowanie, między innymi na rysunkach przedstawionych w załączniku D, odnośników i numeracji elementów składowych przedstawionego oprzyrządowania, ułatwiły by one opis jego budowy i zasady działania.
- Str. 17 Autor stwierdza, że „*Jednym z głównych parametrów podlegających sprawdzeniu są drgania mierzone w kilku wyznaczonych miejscach silnika.*” Jakie parametry drgań są mierzone, oraz jakie kryteria porównawcze stosowane są w ocenie „poziomu drgań”. „*Stosowane są działania aby zjawisko nie powtórzyło się*” – czy Autor ma na myśli zjawisko drgań jako takich, czy też ograniczenia do dopuszczalnego poziomu parametrów drgań (o które oceniający pyta powyżej).
- Str. 18 Jest „*Wykrycie takiego staniu wiąże się z wieloma krokami, do których należą:*” przykładowo sformułowanie mogło by być wyrażone w następującej formie: Zdiagnozowanie takiego staniu wiąże się z podjęciem wielu działań, do których należą:
- Str. 20 jest „*...odprężanie naprężeń wewnętrznych...*” powinno być „*...relaksacja naprężeń wewnętrznych...*”
- Str. 22 „*...położone na tym samym kącie...*” powinno być np. usytuowane w tym samym położeniu kątowym”
- Str. 28 jest „*wirnik powinien być podparty na poziomie swoich czopów*” – niejasne sformułowanie.
- Str. 31 jest „*niewyważanie momentowe jest w tolerancji*” powinno być – wartość niewyważania momentowego mieści się w granicach tolerancji.
- Str. 34-36 Określenie wymaganej dokładności wyważania w opisie powinno być zastąpione określeniem dopuszczalnej wartości niewyważenia resztkowego – określenia stosowanego przez Autora rozprawy w jej dalszej części.
- Str. 38-39 wał (wirnik) przewieszony (overhang shaft) – autor zastosował dosłowne tłumaczenie z języka angielskiego.
- Str. 42 jest „*...ciasne tolerancje...*” powinno być – zawężone pola tolerancji.
- Str. 42 jest „*...pod obciążeniem dynamicznym...*” powinno być – wywołane obciążeniem dynamicznym.
- Str. 65 jest „*...z piastę...*” powinno być piastą
- Str. 228 „*Przyrząd membranowy ... charakteryzuje się dużym zakresem rozszerzalności*” – czy Autorowi chodziło o zakres nastaw wymiarowych oprzyrządowania ?
- Str. 229 zamiast „*ciężaru*” należało użyć określenia - masa

#### 4. Ocena merytoryczna rozprawy

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska pt. „Wpływ parametrów procesu wyważania wolnoobrotowego na dokładność wyznaczania niewyważenia resztkowego wybranych elementów wirujących silnika lotniczego” została zrealizowana na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza w Rzeszowie i została napisana pod kierownictwem naukowym Pana prof. dr hab. inż. Andrzeja Kawalca z udziałem promotorki pomocniczej dr inż. Anny Bazan oraz opiekuna pomocniczego dr inż. Krzysztofa Raga.

Tytuł pracy w pełni odzwierciedla treści zawarte w przedmiotowej dysertacji i został sformułowany poprawnie.

W oparciu o analizę i wyniki badań określonych w literaturze Doktorant trafnie sformułował cel pracy, hipotezę i zakres pracy.

Dla osiągnięcia celów i udowodnienia tezy pracy Doktorant zrealizował bardzo szeroki zakres badań analitycznych oraz doświadczalnych.

Rozprawa doktorska mgr inż. Adama Olko ma charakter teoretyczno-eksperymentalny dotycząca badań oraz modelowania wyważania elementów zespołów wirnikowych silników przepływowych. Stanowi ona oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego.

Oceniając całościowo rozprawę należy stwierdzić, że układ pracy i wybór narzędzi oraz metodyki prowadzenia badań symulacyjnych oraz eksperymentalnych uważam za poprawny. Uzyskane wyniki stanowiły dane do przeprowadzonych przez Autora analiz dotyczących możliwości zastosowania wyważania wolnoobrotowego. Merytorycznie praca nie budzi zastrzeżeń. Porównanie wyników teoretycznych i uzyskanych w wyniku symulacji komputerowych charakteryzuje zbieżność jakościowa i ilościowa z wynikami prac eksperymentalnych, co świadczy o poprawności opracowanych modeli oraz dużej wiedzy, umiejętnościach badawczych, systematyczności rozważań, ich kompleksowości i rzetelności naukowej Autora. Temat rozprawy jest aktualny, a zawarty w niej materiał badawczy bogaty.

Dodatkowo Doktorant wykazał się znacznymi umiejętnościami z zakresu matematyki stosowanej poprawnie wykorzystując rachunek macierzowy w zakresie modelowania i implementacji oprogramowania dotyczącym zagadnień dynamiki zespołów wirnikowych w aspekcie opisu dotyczącego ich wyważania.

Ponadto Doktorant wykazał się umiejętnością planowania i przeprowadzenia badań eksperymentalnych oraz modelowych, oraz opracowania i merytorycznej analizy ich wyników. Na uwagę zasługuje fakt starannego i wiarygodnego przygotowania badań eksperymentalnych, które obejmowały badania wstępne obejmujące modelowanie matematyczne wyważania dla różnych konfiguracji geometrycznych elementów wirujących oraz szczegółową analizę czynników związanych z procesem wyważania, które obejmowały między innymi ocenę wpływu posadowienia wyważarki, kontaktu podpora wyważarki czop wału, warunków smarowania,



stanów przejściowych w warunkach jej uruchamiania a także stanu cieplnego związanego jej eksploatacją. Na podstawie analizy wyników badań wstępnych Doktorant opracował autorskie koncepcje badawcze przedstawione w części opracowania dotyczącej badań zasadniczych, które dotyczyły metodyki oceny powtarzalności oraz dokładności wyważania.

Dodatkowo Doktorant wykazał się wiedzą z obszaru modelowania metodą elementów skończonych, co pozwoliło mu przygotować adekwatne do przeprowadzonych testów eksperymentach modele symulacyjne.

Uważam, że uwagi zawarte w recenzji mogą być przedmiotem analiz w dalszej działalności badawczej i publikacyjnej Doktoranta. Podkreślam, że część uwag ma charakter pytań i sugestii do wykorzystania w przyszłości. Ponadto stwierdzam, że postawione w pracy teza badawcza jak i zdefiniowany cel badawczy zostały w pełni osiągnięte.

Wśród wielu publikacji dotyczących zagadnień wyważania zespołów wirnikowych silników lotniczych, mgr inż. Adam Olko potrafił znaleźć istotny, z punktu widzenia naukowego i utylitarnego, problem badawczy, który rozwiązał samodzielnie, przyczyniając się do rozwoju dyscypliny Inżynieria Mechaniczna.

Należy również zwrócić uwagę, że praca została wyłoniona w postępowaniu konkursowym w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy” i uzyskała już na etapie wstępnym pozytywne rekomendacje co do trafności zaproponowanej tematyki badawczej oraz potencjału wdrożeniowego.

Na uwagę zasługuje również fakt, że praca zrealizowana była w formule doktoratu wdrożeniowego i obejmuje prace badawczo-rozwojowe, mające na celu ich implementację techniczną przedmiotowego opracowania w warunkach przemysłowych. Wyniki opracowania stanowią przedmiot wdrożenia w Pratt & Whitney Rzeszów S.A.

Do oryginalnych osiągnięć pracy zaliczam:

1. Prawidłowo zaplanowane i przeprowadzone obszerne, wielokierunkowe badania modelowe oraz eksperymentalne dotyczące wyważania.
2. Opracowanie oprogramowania do wspomaganie analizy wyników niewyważenia z uwzględnieniem informacji o wartości niewyważenia resztkowego i jego położenia w przyjętym układzie odniesienia.
3. Wykazanie korzyści wynikających z wprowadzenie wyważania nieobrotowego, w analizowanych kategoriach elementów zespołów wirnikowych silników lotniczych, jako szczególnego przypadku wyważania wolnoobrotowego, zamiast wyważania na wyważarce odśrodkowej jednopłaszczyznowej do wyznaczania niewyważenia statycznego.

4. Utylitarny, oczekiwany przez przemysł lotniczy charakter wniosków wynikających z przeprowadzonych badań.
5. Wdrożenie rezultatów badań naukowych w przemyśle.

### **Ocena końcowa**

Przedstawione uwagi krytyczne nie podważają istotnej treści merytorycznej dysertacji ani nie umniejszają osiągnięć Doktoranta, który udowodnił, że posiada dużą wiedzę z zakresu zagadnień dotyczących wymagań konstrukcyjnych przepływowych silników lotniczych w szczególności w zakresie dotyczącym badania zespołów wirnikowych omawianych silników.

Stwierdzam, że treści oraz wyniki badań i sposób ich prezentacji poszerzają wiedzę w zakresie dotyczącym wyważania zespołów wirnikowych silników lotniczych, a tematyka rozprawy wpisuje się w nowoczesne kierunki badań w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna.

Należy podkreślić, iż zakres przeprowadzonych badań jest obszerny, a prezentacja wyników przejrzysta. Świadczy to o tym, że mgr inż. Adam Olko posiada umiejętność samodzielnego planowania i realizacji badań naukowych.

## 5. Wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej

Na podstawie § 4 pkt 29. ppkt 7. Uchwały w sprawie wprowadzenia zmian w Regulaminie Rad dyscyplin oraz ogłoszenia tekstu jednolitego Regulaminu, uchwała nr 49/2020 Senatu PRz z dnia 26 listopada 2020 r., **wniosuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.**

### Uzasadnienie

Doktorant spełnia wymagania formalne przywołanych powyżej przepisów, bowiem jest współautorem dwóch publikacji w czasopismach wyszczególnionych w załączniku do Komunikatu Ministra Edukacji i Nauki z dnia 1 grudnia 2021 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych (stanowiącym aktualną listę czasopism MEiN), które oceniane są na 140 pkt.:

1. K. Żurawski, P. Zurek, A. Kawalec, A. Bazan, A. Olko: Modeling of Surface Topography after Milling with a Lens-Shaped End-Mill, Considering Runout. *Materials* 2022, 15(3), 1188; <https://doi.org/10.3390/ma15031188>. (140 pkt. na aktualnej liście czasopism MEiN)
2. Bazan, A. Kawalec, T. Rydzak, P. Kubik, A. Olko: Determination of Selected Texture Features on a Single-Layer Grinding Wheel Active Surface for Tracking Their Changes as a Result of Wear. *Materials* 2021, 14(1), 6; <https://doi.org/10.3390/ma14010006>. (140 pkt. na aktualnej liście czasopism MEiN)

Na uwagę zasługuje również fakt wygłoszenia przez doktoranta dwóch referatów, tematycznie związanych z realizacją doktoratu wdrożeniowego, w ramach międzynarodowej konferencji metrologicznej „New trends in metrology” Lublin 2022. <https://konferencja-pum.pollub.pl>, [ntim\\_program\\_konferencji\\_aktualizacja.pdf](#) (pollub.pl) - informacja uzyskana na podstawie dostępu do strony internetowej konferencji w dniu 28.02.2023 r.

1. A. Olko, A. Kawalec, A. Bazan, T. Wanke, S. Laurentius: Porównanie dokładności i powtarzalności wyważarek podkrytycznej oraz nieobrotowej.
2. A. Olko, A. Kawalec, A. Bazan: Weryfikacja reakcji wyważarki wolnoobrotowej na zadane niewyważenie elementu obrotowego w rzeczywistym układzie: maszyna – oprzyrządowanie – wyważany wyrób (M-O-W)

W opinii oceniającego rozprawa porusza bardzo istotne współczesne zagadnienia, w przemyśle lotniczym, dotyczące wyważania elementów wirujących silników przepływowch. Cele pracy zostały zrealizowane na wysokim poziomie merytorycznym, a na szczególną uwagę zasługuje fakt, że wyniki prac zostały zaimplementowane w warunkach przemysłowych, ich wdrożenie potwierdzone zostało zaświadczeniem z dn. 28.09.2022 r. przez Pratt & Whitney Rzeszów S.A.

## 6. Wniosek końcowy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska **mgr inż. Adama Olko** jest interesującą pracą zrealizowaną w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy”. Wymiernym efektem pracy naukowej, stanowiącej główną część opracowania, oraz prac o charakterze badawczo-rozwojowym stanowi wdrożenie wyników badań w Pratt & Whitney Rzeszów S.A.

Wobec powyższego stwierdzam, że rozprawa doktorska pt. **„Wpływ parametrów procesu wyważania wolnoobrotowego na dokładność wyznaczania niewyważenia resztkowego wybranych elementów wirujących silnika lotniczego”** spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim, jest zrealizowana w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna. Stosownie do przepisów ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z dnia 30 sierpnia 2018 r. poz. 1668 z późniejszymi zmianami), upoważnia mnie do przedłożenia Radzie Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza w Rzeszowie wniosku o dopuszczenie mgr inż. Adama Olko do publicznej obrony.

