

---

dr hab. inż. Bartosz Gapiński  
Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych  
Instytut Technologii Mechanicznej  
Wydział Inżynierii Mechanicznej  
Politechnika Poznańska  
ul. Piotrowo 3  
60-965 Poznań  
tel.: +48 61 6653595  
e-mail: bartosz.gapinski@put.poznan.pl

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mateusza Wrzochala pt.**  
***OCENA WŁAŚCIWOŚCI METROLOGICZNYCH PRZEMYSŁOWYCH***  
***SYSTEMÓW POMIAROWYCH DRGAŃ ŁOŻYSK TOCZNYCH***

Promotor: prof. dr hab. inż. Stanisław Adamczak, dr h.c.

Promotor pomocniczy: dr inż. Paweł Zmarzły

**Podstawa opracowania recenzji:**

Pismo Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej numer MD-510/15/2020 z dnia 6 lipca 2020 r.

**1. Wprowadzenie**

Można powiedzieć, że od czasu wynalezienia koła, zagadnienia związane ze współpracą obracających się względem siebie elementów są podejmowane nieustannie na różnych płaszczyznach. Od wielu lat stosowane są w tym obszarze łożyska toczne, a najbardziej popularne z nich to łożyska kulkowe. Ich powszechność powoduje potrzebę, a wręcz konieczność poszukiwania rozwiązań poprawiających parametry eksploatacyjne wpływające na spadek oporów ruchu, redukcję hałasu i drgań oraz poprawiających szeroko pojętą wytrzymałość, co w efekcie końcowym przekłada się na żywotność, jakość i koszty użytkowania.

Jednym z istotnych aspektów podczas eksploatacji łożysk tocznych są drgania powstające podczas ruchu względnego pierścieni i kulek. Są one wypadkową wymiarów geometrycznych, odchyłek kształtu i falistości, a także mikrogeometrii powierzchni, a wartości te mają swoje źródło w procesie produkcyjnym. Drugim czynnikiem wpływającym na wartość drgań jest połączenie tych elementów powodujących powstanie złożonego układu o charakterze zależnym od elementów składowych. Proces produkcji powoduje występowanie losowości doboru poszczególnych elementów, a specyficzna budowa łożyska kulkowego objawia się zmiennością wartości drgań zależną od miejsca pomiaru. Wynika z tego kolejne utrudnienie powodujące niemożliwość wykonania łożyska, które mogłoby zostać uznane za wzorcowe. Zatem eliminuje



---

to możliwość weryfikacji poprawności pomiaru dla danego urządzenia na podstawie porównania z wartościami wzorcowymi w postaci obiektu referencyjnego. Dlatego nieodzowne są badania porównawcze pozwalające finalnie na wybór zgodnie z przyjętymi kryteriami najlepszego łożyska, lub urządzenia pomiarowego.

W związku z ciągle rosnącymi wymaganiami w stosunku do łożysk tocznych, wręcz niezbędna staje się możliwość prowadzenia kontroli w warunkach przemysłowych, często bezpośrednio na linii produkcyjnej. Niejednokrotnie wymóg ten dotyczy 100% produkowanych części. Z tego powodu konieczne jest, aby urządzenia pomiarowe zapewniały powtarzalność i odtwarzalność pomiaru na poziomie adekwatnym do zadania pomiarowego, przy zachowaniu czasu badania odpowiadającego taktowi linii produkcyjnej. Między innymi z tych powodów podjęta przez Doktoranta tematyka, związana z oceną przemysłowych systemów pomiarowych drgań łożysk tocznych pokazuje, jak szeroki i ciągle niezbadany jest to obszar.

W świetle przedstawionych zagadnień oraz uwzględniając doświadczenie Autora podjęcie tematu rozprawy należy uznać za trafne i w pełni uzasadnione, zarówno pod względem naukowym, jak i użytkowym. To wszystko sprawia, że praca poruszająca omawianą tematykę jest bardzo interesująca, a przy tym doskonale wpisuje się w całość prac prowadzonych przez zespół badawczy Politechniki Świętokrzyskiej specjalizujący się od wielu lat w szeroko pojętych badaniach łożysk tocznych.

## 2. Układ i obszar merytoryczny monografii

Recenzowana praca liczy 157 stron i składa się z 8 rozdziałów, w tym nienumerowanego wykazu literatury zawierającego 111 publikacji, 4 normy, 13 materiałów firm producenckich, 6 stron internetowych oraz 1 patent obejmujących tematycznie zakres pracy. Doktorant jest współautorem 5 spośród artykułów wymienionych w wykazie publikacji. W dysertacji zamieszczono również spis najważniejszych oznaczeń i skrótów stosowanych w rozprawie oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Praca poprzedzona jest spisem treści. Została do niej dołączona płyta CD zawierająca zbiór danych liczbowych, do których Autor odnosi się podczas analizy wyników z przeprowadzonych badań.

Rozdz. 1 – *Wprowadzenie* – Autor krótko wprowadza czytelnika w tematykę związaną z pomiarem drgań łożysk tocznych w warunkach przemysłowych. Przedstawia ogólną charakterystykę przemysłowych urządzeń do ich pomiaru oraz zasadę realizacji pomiaru i analizy wartości skutecznej drgań w niskim, średnim i wysokim paśmie częstotliwości. Wyjaśnia również istotność podjętych przez siebie prac badawczych.

Rozdz. 2 – *Aktualny stan wiedzy dotyczący pomiaru drgań łożysk tocznych* – w rozdziale tym zawarta została analiza literatury dotycząca zasad tworzenia modeli matematycznych drgań generowanych przez łożyska toczne. Doktorant szczegółowo przedstawił kolejne fazy powstawania modeli symulacyjnych oraz stan obecny pozwalający uwzględnić m.in. odchyłki kształtu, falistość i chropowatość elementów składowych łożyska. Następnie omówione zostały metody pomiaru drgań łożysk tocznych. Autor scharakteryzował syntetycznie możliwość oceny drgań za pomocą czujników do pomiaru przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia, wskazując na obszary ich zastosowań. Przedstawił również względne i bezwzględne metody pomiaru drgań za pomocą urządzeń stykowych i bezstykowych. W rozdziale tym można również znaleźć wykaz

---

parametrów oceny drgań łożysk tocznych z podziałem na amplitudowe, statystyczne oraz mieszane i specjalne. Zgodnie z tematyką pracy autor dysertacji przedstawił wybrane parametry pozwalające na ocenę właściwości metrologicznych przyrządów pomiarowych oraz omówił najnowsze światowe publikacje dotyczące zagadnienia diagnostyki łożysk tocznych, w tym użycia wibrometru laserowego. Rozdział wieńczy podsumowanie.

Rozdz. 3 – *Cel i sposób realizacji pracy* – wnikliwa analiza literatury zawarta w rozdziale 2 pozwoliła autorowi na sformułowanie celu pracy jakim było opracowanie koncepcji porównywania przemysłowych systemów pomiarowych drgań łożysk tocznych na podstawie ich charakterystyk metrologicznych oraz wybór stanowiska wzorcowego. Autor przedstawił również 6 celów pomocniczych, pozwalających na osiągnięcie zamierzonego efektu i uzyskanie odpowiedzi na postawioną w dysertacji tezę. W rozdziale tym Doktorant scharakteryzował również sposób realizacji celów pracy oraz zawarł informacje na temat publikacji, w których prezentował jej rezultaty.

Rozdz. 4 – *Przegląd rozwiązań konstrukcyjnych przemysłowych systemów pomiarowych drgań łożysk tocznych* – w zależności od podejścia producenta stosowane są różne rozwiązania konstrukcyjne. Jednak podstawowe elementy omawianych systemów występują zawsze i są to: zespół wrzeciona, zespół napędowy, zespół dociskowy, zespół czujnika, analogowy lub cyfrowy zespół przetwarzania danych. Oprócz prezentacji poszczególnych zespołów doktorant opisał cechy poszczególnych rozwiązań wskazując ich zalety i wady. Autor zaprezentował również modyfikacje systemów pomiarowych, wyposażanych na przykład w wibrometr laserowy, czy dodatkowy układ obciążenia badanego łożyska.

Rozdz. 5 – *Problematyka pomiarowa drgań łożysk tocznych* – parametry drganiowe łożysk zależą w znacznym stopniu od postaci geometrycznej poszczególnych jego elementów. W związku z tym autor omówił na wstępie proces wytwarzania oraz powstające w wyniku połączenia poszczególnych elementów łożyska niedokładności wymiarowe w skali makro i mikro. Powodują one, iż sposób montażu łożyska na stanowisku badawczym ma wpływ na uzyskiwane rezultaty. Autor dokonał pomiaru 50 łożysk, wykazując różnice pomiędzy uzyskanymi rezultatami w zależności od sposobu ich montażu. Następnie przebadął 12 łożysk w celu wykazania różnic wynikających z wyboru punktu pomiarowego na obwodzie pierścienia zewnętrznego. Rozdział 5 wieńczy analiza problemów metrologicznych związanych z porównywaniem systemów pomiarowych drgań łożysk tocznych. Wykonano ją na podstawie wyników uzyskanych dla serii pomiarów tego samego łożyska, z użyciem trzech różnych systemów pomiarowych.

Rozdz. 6 – *Badania porównawcze wybranych systemów pomiarowych drgań łożysk tocznych* – po krótkim wprowadzeniu Doktorant przedstawił charakterystykę trzech systemów pomiarowych, które użył do przeprowadzenia badań porównawczych. Następnie dokonał serii badań i analiz, które doprowadziły do wytypowania urządzenia wzorcowego. Zastosował w tym celu metodę najmniejszego rozstępu oraz metodę powtarzalności i odtwarzalności. Dokonał również odniesienia uzyskanych wartości, względem bezstykowego czujnika wzorcowego. Rozdział kończy porównanie badanych systemów pomiarowych względem wybranego spośród nich systemu wzorcowego.

Rozdz. 7 – *Podsumowanie i wnioski końcowe* – wieńczący pracę, został podzielony na wnioski ogólne oraz dotyczące badań eksperymentalnych. Wnioski ogólne Autor podzielił na 7 punktów i zawarł w nich podsumowanie przeprowadzonej analizy literatury oraz rozwiązań stosowanych



---

przez poszczególnych producentów omawianych systemów pomiarowych. Natomiast wnioski dotyczące zrealizowanych badań eksperymentalnych zawarł w 9 punktach powiązanych z przeprowadzonymi badaniami eksperymentalnymi oraz wyborem systemu wzorcowego. W rozdziale tym znalazły się również dalsze plany badawcze Autora.

### 3. Ocena rozprawy doktorskiej

Oceniana rozprawa doktorska jest zdecydowanie ciekawym i zawierającym wiele informacji dziełem. Przedstawiona treść pozwala pozytywnie ocenić wiedzę i doświadczenie Autora. Zaprezentowane wyniki badań odzwierciedlają, w ocenie czytającego, dużą liczbę przeprowadzonych badań i godzin poświęconych na analizę uzyskanych wyników. Analizując pracę odnosi się pozytywne i oczekiwane wrażenie, że Doktorant zna bardzo dobrze zagadnienie związane z badaniem drgań łożysk tocznych, ma świadomość realizowanych przez siebie badań i co najważniejsze potrafi wyciągać konkretne wnioski określające zalety i wady analizowanych rozwiązań. Świadczy to o dojrzałości naukowej Pana mgr. inż. Mateusza Wrzochala, co należy oceniać bardzo pozytywnie.

Analizując założenia rozprawy doktorskiej, wyrażone w postaci celu głównego i celów pomocniczych stwierdzam, że zostały one przez Autora zrealizowane. Opracowano zatem koncepcję porównywania przemysłowych systemów pomiarowych drgań łożysk tocznych, przeanalizowano dostępne rozwiązania i wskazano różnice konstrukcyjne mające wpływ na uzyskiwane wyniki badań, wskazano najważniejsze problemy metrologiczne związane z pomiarami drgań łożysk tocznych oraz oceną systemów do tego służących. Opracowano trzy procedury pozwalające na: porównanie systemów pomiarowych na podstawie serii pomiarów jednego łożyska, ocenę systemów pomiarowych w oparciu o wyniki drgań grupy łożysk oraz bezpośrednie porównanie uzyskanych wskazań względem czujnika wzorcowego. Procedury te pozwoliły na wybór systemu wzorcowego, a także analizę rozwiązań konstrukcyjnych w kontekście uzyskanych wyników pomiarów.

W dysertacji dokonano bardzo interesującego przeglądu literatury. Autor powołuje się na we właściwych miejscach na artykuły, książki, normy, materiały firm producenckich i strony internetowe. Ponadto powołania literaturowe są realizowane w sposób odpowiadający wymaganiom najlepszych światowych czasopism. Pozwala to na syntetyczne przedstawienie poszczególnych zagadnień i dowodzi znajomości materii u Autora. Wszystkie te aspekty niewątpliwie potwierdzają możliwości i umiejętności Doktoranta do prowadzenia badań naukowych i formułowania właściwych wniosków z nich płynących.

Poniżej przedstawiam bardziej szczegółowe uwagi krytyczne i polemiczne, dotyczące poszczególnych fragmentów dysertacji:

Spis ważniejszych oznaczeń – bardzo dobrze, że autor przedstawił ten wykaz, gdyż ułatwia on czytelnikowi poszukiwanie informacji na temat nie zawsze oczywistych symboli, tym bardziej, że użyto ich wiele i wykaz obejmuje ponad 7 stron. Dla łatwości poszukiwania można było jednak ułożyć oznaczenia w kolejności alfabetycznej.

Wprowadzenie (str. 15) – Autor w drugim zdaniu pisząc o łożyskach stwierdza, iż „elementy te często ulegają awarii”. Myślę, że określenie „często” jest zbyt jednoznaczne, lepiej

---

byłoby określić to, jako „relatywnie częstą przyczynę awarii” lub „najczęstszą przyczynę awarii”. Tym bardziej, że w wielu przypadkach uszkodzenie łożyska jest efektem długotrwałej lub niewłaściwej eksploatacji.

W tytule rozdziału 1.2 zabrakło słowa „pomiarowych” i powinien on brzmieć „...przemysłowych systemów pomiarowych drgań łożysk tocznych.” W treści tego rozdziału (str. 16) Autor pisze o urządzeniach manualnych stosowanych do weryfikacji odrzuconych wyrobów oraz do badań laboratoryjnych. Określenie „manualne” odnosi się raczej do suwmiarek, czy mikrometrów natomiast tu bardziej właściwe wydaje się być określenie tych urządzeń jako sterowanych ręcznie w odróżnieniu do urządzeń zautomatyzowanych, czy automatycznych.

Rysunek 1.2. „Czynniki konstrukcyjne definiujące...” – słowo „czynniki” korzystnie byłoby zamienić na „Elementy” lub „Podzespoły”.

W rozdziale 2.1 (str. 23) autor pisze: „Wśród nich można wymienić nadmierne błędy kształtu, niepożądaną chropowatość czy falistość...” – błędy kształtu, jak i chropowatość są naturalnymi cechami powierzchni. W zależności od zastosowania danego elementu wartości charakteryzujące poszczególne parametry mogą cechować się różnymi wartościami odchyłek. Oczywiście jest, że wzorcowy układ występowałby w przypadku obiektów o powierzchniach idealnych, jednak w praktyce jest to niemożliwe. Zatem lepiej byłoby napisać, że wspomniane parametry nie przekraczają co do wartości i postaci przyjętych tolerancji. Dalej na tej samej stronie Doktorant napisał „Podczas pracy łożysko toczne zmienia istniejące odchyłki ...”. Wartości i struktura powierzchni zaiste ulegają zmianie, jednak jest to efekt eksploatacji i zużycia, a nie „chęci” samego łożyska. I dalej w tym samym akapicie „Wytwórcze i eksploatacyjne niedoskonałości geometryczne wewnętrznych powierzchni łożyska ulegają ruchowi względnemu podczas jego pracy ...” – nie do końca rozumiem to stwierdzenie. Czy Autorowi chodziło o to, że podczas eksploatacji następuje ruch względny pierścieni i zmieniają się względem siebie położenia ekstremów m.in. odchyłek kształtu, czy o nierównomierne zużycie zależne od warunków eksploatacji? Podobne stwierdzenie można znaleźć na stronie 120.

W rozdziale 2.3 (str. 36) Autor podaje „Odbiorca jest zobowiązany zmierzyć drgania zakupionego łożyska...” wydaje się być to zapis zbyt restrykcyjny i prawdziwy jedynie w przypadku bardzo odpowiedzialnych połączeń. W praktyce przemysłowej użytkownicy montują zakupione łożyska bez ich dodatkowej kontroli, choćby z powodu niedysponowania stosowanymi urządzeniami pomiarowymi. Zatem raczej powinniśmy mówić o zaleceniach. W tym samym rozdziale (str. 37) można znaleźć stwierdzenie „... która z metod pozwoli na otrzymanie optymalnego wyniku pomiaru” – jak rozumieć w tym kontekście słowo „optymalny”?

W rozdziale 2.3.3. (str. 41) zapisano, że „Pomiar wibrometrem laserowym polega na porównaniu przez precyzyjny interferometr wiązki lasera generowanej przez urządzenie, z wiązką odbitą od obiektu drgającego”. Jest w tym zdaniu pewna nieścisłość, gdyż choćby zgodnie ze schematem (rys. 2.11) wiązka laserowa generowana jest przez urządzenie, następnie dzielona na wiązkę referencyjną oraz pomiarową, która jest odbijana przez przedmiot. Wówczas te dwie wiązki ulegają interferencji pozwalając na uzyskanie wyniku pomiaru.

W rozdziale 2.7 (str. 56) Autor omawiając zastosowanie wibrometru laserowego napisał, iż „Niezbędne są zatem badania dotyczące problemów związanych z oddziaływaniem wiązki lasera na powierzchnie zewnętrzne badanych łożysk...” Nasuwa się zatem pytanie jak Autor to rozumie, gdyż przy stosowanych do pomiaru mocach laserów trudno mówić o wpływie – czyli

---

oddziaływaniu – wiązki na badaną powierzchnię. Natomiast bardzo ważną i kłopotliwą kwestią jest uzyskanie, m.in. z powodu rozproszenia, danych pomiarowych z wiązki padającej na obiekt.

W rozdziale 3.3. (str. 60/61) Autor wspomina o użytej w pracy metodzie najmniejszego rozstępu i jej prezentacji na konferencji w 2018 roku. W dalszej części pracy metoda ta jest podstawą uzyskania części wyników dysertacji. Prosiłbym o wyjaśnienie jaki był wkład doktoranta w opracowanie tej metody i jej aplikacji w uzyskanie omawianych wyników.

W rozdziale 4.4 (str. 65) zawarto informację, iż wielkość obciążenia podczas badania zależy od typu i rozmiaru łożyska, a wartości te są zawarte w normach. Nie podano jednak jakich norm to stwierdzenie dotyczy.

W rozdziale 4.7 (str. 76) Doktorant stwierdza, iż ze względu na refleksyjność powierzchni łożyska, dla niektórych urządzeń bezstykowych istnieje problem z wykryciem punktu pomiarowego. Ze względu na wielość technik bezstykowych, należałoby uściślić, czy dotyczy to omawianych wibrometrów laserowych, gdyż „punkt pomiarowy” może być rozumiany w sposób bardzo szeroki.

W rozdziale 5.2 Autor zawarł syntetyczny opis procesu wytwarzania łożysk tocnych podając nawet wybrane parametry procesu obróbki cieplnej, jednak nie powołał się w tej materii na żadne źródła literaturowe. Nawet jeśli Autor posiada w tym obszarze szeroką wiedzę uważam, że warto było ją poprzeć cytowaniami. Można by wówczas uniknąć stwierdzeń takich jak „nadać obrabianym elementom maksymalną sztywność”, co jest stwierdzenie nieprecyzyjnym, a na stronie 79 tego rozdziału Doktorant stwierdza „... dogłębne dogłębienie poprawia jeszcze błędy kształtu ...” – proces ten raczej ma te błędy zniwelować do możliwie niewielkich wartości.

W rozdziale 5.3 (str. 83/84) przedstawiono wyniki względnego błędu średniej arytmetycznej. Uważam, że bardziej czytelne i oddziałujące na czytelnika byłoby przedstawienie tych danych w postaci 3 wykresów odpowiadających poszczególnym pasmom częstotliwości. Można było również pozostawić tabele, ale oznaczyć np. kolorystycznie wartości z poszczególnych przedziałów. Dało by to możliwość łatwego i szybkiego zorientowania się w udziale poszczególnych grup błędów.

W rozdziale 5.4 (str. 86-89) na rysunkach 5.5-5.8 przedstawiono wyniki pomiarów łożysk w różnych miejscach na obwodzie. Jak wynika z treści pracy, w każdym punkcie dokonywano 3 pomiarów – proszę o wyjaśnienie, czy na ww. wykresach przedstawione są wartości średnie dla tych 3 uzyskanych danych? Jeśli tak myślę, że cenne byłoby podanie rozrzutu tych wartości np. w postaci tak zwanych wąsów. Również w tym rozdziale zawarto tabelę 5.6 zawierającą wartości rozstępów wyników pomiarów drgań. W mojej ocenie wartości te korzystniej byłoby przedstawić za pomocą wykresu, co pozwoliłoby zdecydowanie szybciej odnaleźć wartości ekstremalne, a także umożliwiłoby zawarcie wartości dopuszczalnych przywołanych przez Autora na stronie 91.

W rozdziale 5.5. (str. 93-95) na rysunkach 5.9-5.11 przedstawiono wykresy obrazujące rozkład wyników wartości skutecznej drgań uzyskane dla serii 50 pomiarów za pomocą 3 różnych systemów pomiarowych. W mojej ocenie wykresy te powinny mieć skalę o tym samym zakresie zarówno w osi rzędnych, jak i odciętych. Pozwoliłoby to na bardziej obrazowe przedstawienie wyników i ukazanie ich zakresu oraz postaci rozkładu. Pewnym rozwiązaniem mogłoby być przedstawienie tych danych na wykresach zbiorczych odpowiadających poszczególnym pasmom

częstotliwości. W tym samym rozdziale (str. 98) w tabeli 5.11 zebrano wyniki testu porównania wartości średnich z uzyskanych populacji pomiarów poziomu drgań łożysk tocznych w wybranym paśmie - Autor mógł pokusić się o krótki komentarz do nich.

W rozdziale 6.3. (str. 107/108) przedstawiono wyniki pomiarów nieuszkodzonego łożyska dla trzech badanych systemów (rys. 6.3 i 6.4). Warto by rozważyć połączenie wykresów dla odpowiadających sobie częstotliwości, tak by możliwe było graficzne porównanie wartości uzyskanych dla awersu i rewersu badanego łożyska.

W rozdziale 6.4 (str. 112) autor wymienia 10 poddanych badaniom łożysk kulkowych. Korzystny byłby komentarz dlaczego wybrano takie właśnie typy i liczby łożysk.

W rozdziale 6.5 (str. 126) wskazano, iż druga harmoniczna częstotliwości obrotowej powstaje poza torem pomiarowym i miesza się z drganiami badanego łożyska, co ma wpływ na uzyskiwane rezultaty. Czy Autor znając dokładnie ten rodzaj zakłócenia rozważał jego filtrację? Dalej w tym samym rozdziale (str. 131) można znaleźć zapis „dodatkowo otrzymana dla systemu 1 najśłabsza wartość dokładności pomiarowej ...” wartość raczej może być najniższa lub najgorsza – określenie najśłabsza jest mało precyzyjna i trudna do jednoznacznej interpretacji. W tabelach 6.10 oraz 6.11 przedstawiono wyniki uzyskane za pomocą metody odniesienia do czujnika bezstykowego. Podobnie jak dla danych zawartych w rozdziale 5.3 uważam, że bardziej przejrzysta byłaby ich prezentacja w postaci wykresów porównawczych.

W dysertacji znalazły się również drobne błędy gramatyczne i edycyjne, jednak dla porządku wymieniam kilka przykładów:

- Str. 20 – „W paśmie częstotliwości niskim ...” - raczej „W niskim paśmie częstotliwości ...”.
- Rys. 2.1. „e) ruch kątowy płaszczyźnie poziomej, f) ruch kątowy płaszczyźnie pionowej” – powinno być „w płaszczyźnie poziomej” oraz „w płaszczyźnie pionowej”.
- Str. 23 – „...podczas instalacji z zespole maszyny.” – raczej „w zespole maszyny”.
- Str. 23 – „Siły wewnętrzne powstają w skutek zmiennych w czasie, odkształceń sprężystych w stykach kulka – bieżnia ...” – raczej „w punktach styku” lub „w miejscach styku”.
- Str. 27 – „W pozycji [60] proponowany został..” – raczej „zapropozowany został”.
- Str. 34 – „Widoczne na rysunku 2.7a i 2.7b ...” – powinno być 2.7b oraz 2.7c.
- Str. 46 – „... w celu wykrywania początkowych faz uszkodzenia łożysk tocznych. do skutecznej” – fragment „do skutecznej” jest zbędny.
- Str. 53 – „Poruszane są więc problemy mające charakter ogólny, podstawowy i użyteczny głównie ...” – słowo „podstawowy” jest w tym miejscu niepotrzebne.
- Str. 57 – „... badania porównawcze przemysłowych systemów pomiarowych drgań łożysk tocznych mogą okazać cenną wskazówką...” – powinno być „... mogą okazać się cenną ...”.
- Str. 73 – „... wskazówka dokładnie ustala określoną wartość, ...” – powinno być „... na podstawie wskazania wskazówki możliwe jest określenie dokładnej wartości ...”.
- Tabela 5.7 – co oznaczają niewymienione wcześniej skróty LB, MB i HB?
- Str. 101 – „... wyników pomiarów uzyskanych na różnych systemach ...” – powinno być „...za pomocą różnych systemów ...”.
- Str. 108 – autor odnosi się do rys. 6.2a i 6.3a zamiast do 6.3a i 6.4a.
- Str. 138 i 140 „...badane na systemie...” – powinno się używać „...badane za pomocą systemu...”.

- 
- Doktorant w pracy nie zawsze konsekwentnie stosuje zapis kursywą odpowiednich symboli.

Autor nie ustrzegł się również skłonności do personifikacji stosowanych przez siebie urządzeń pomiarowy – oto kilka przykładów:

- Str. 17 – „... system posiada ...” powinno być „... system jest wyposażony ...”.
- Str. 25 – „... nie istnieją łożyska wzorcowe, zdolne do przeprowadzenia procedury wzorcowania ...” – łożyska nie mogą być zdolne, mogą umożliwiać przeprowadzenie określonych procedur.
- Str. 25 – „Model przewidywał częstotliwości...” – raczej „... umożliwiał przewidywanie ...”.
- Str. 62 – „... żadne ze znanych urządzeń nie stosuje takiego rozwiązania...” – raczej „... nie zostało ono zastosowane w żadnym z urządzeń ...”.
- Str. 130 – „Wiązka lasera rejestrowała drgania łożyska ...” – raczej „... umożliwiała rejestrację ...”.
- Str. 144 – „... którego wybrane charakterystyki metrologiczne ostatecznie wytypowały na system wzorcowy ...” – raczej „... wybrane charakterystyki metrologiczne pozwoliły na wybranie jako system wzorcowy ...”.

Doktorant miejscami używa również określeń potocznych, które raczej nie powinny być stosowane w rozprawie doktorskiej – oto kilka przykładów:

- Str. 18 – „Za uzgodnieniem producenta i odbiorcy ...” – raczej „Zgodnie z uzgodnieniami pomiędzy ...”.
- Str. 30 (i dalsze) – Autor określa bieżnię bez uszkodzeń jako „zdrową” – jest to określenie stosowane i zrozumiałe, choć w rozprawie doktorskiej wydaje się być zbyt potoczne.
- Str. 71 (i dalsze) „... dodatkowy ruch czujnika ... umożliwiający jego odejście od pozycji roboczej ...” - myślę, że zamiast określenia odejście bardziej trafne było by „odsunięcie” lub „przesunięcie”. Odejście jest bardziej właściwe dla istot żywych.

Oceniając stronę edytorską należy podkreślić, że praca napisana została bardzo starannie, poprawnym językiem polskim. Wykazane powyżej drobne nieścisłości nie umniejszają jej wysokiego poziomu, a mają jedynie charakter porządkowy. Rysunki wykonane są ze staranności i stanowią bardzo dobre uzupełnienie prezentowanych treści.

#### 4. Wnioski

Mimo uwag krytycznych i zasygnalizowanych problemów ujętych w niniejszej recenzji stwierdzam, że Autor przedstawił koncepcję naukową co dowodzi, że opanował podstawy metodologii i metodyki pracy badawczej, niezbędne do prowadzenia badań. Oceniana dysertacja jest dziełem obszernym, zawierającym szereg informacji na temat przemysłowych systemów pomiarowych drgań łożysk tocznych i metod oceny ich właściwości metrologicznych. Praca napisana jest w sposób jasny i przejrzysty, co wynika m.in. z właściwego ułożenia treści, przejrzystego podziału poszczególnych rozdziałów na podrozdziały, a także bogatego i ciekawego materiału graficznego.

Dobór i analiza bibliografii jest adekwatna do omawianych zagadnień. Uporządkowanie i przeprowadzona analiza obszaru tematycznego, mimo zawartych wyżej uwag dowodzą, że



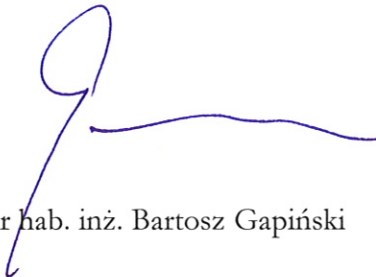
---

Autor opanował szeroki zakres wiedzy w sposób, który umożliwia mu korzystanie z niej we właściwy sposób i pozwoli na rozwijanie własnej działalności badawczej. Podjęta tematyka badawcza jest żywa i aktualna i została wybrana w sposób trafny, a jej zakres spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Dysertacja w wielu elementach wnosi treści nowe, a cele pracy zostały osiągnięte w zakresie przyjętym przez Autora. Rozpatrywana rozprawa należy do dyscypliny Inżynieria Mechaniczna w dziedzinie nauk Inżynieryjno – Technicznych i zdaniem recenzenta stanowi istotny wkład w jej rozwój.

## 5. Podsumowanie

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Mateusza Wrzochala pt.: Ocena właściwości metrologicznych przemysłowych systemów pomiarowych drgań łożysk tocznych, spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym (Dz. U. z 2017, poz. 1789 t.j. ze zm.) i może być dopuszczona do publicznej obrony.

Poznań, 04 września 2020 r.



dr hab. inż. Bartosz Gapiński