

Warszawa, dn. 06.03.2022 r.

prof. dr hab. inż. Adam Woźniak  
Politechnika Warszawska  
Wydział Mechatroniki  
Instytut Metrologii i Inżynierii Biomedycznej  
ul. św. A. Boboli 8, 02-525 Warszawa  
tel.: 22 234 8756, fax: 22 849 0395  
e-mail: [Adam.Wozniak@pw.edu.pl](mailto:Adam.Wozniak@pw.edu.pl)

**Recenzja**  
**Rozprawy doktorskiej mgra inż. Łukasza Goryckiego**  
**pt. „Ocena wpływu parametrów konstrukcyjnych i dokładności wykonania bieżni**  
**łożysk tocznych na ich moment oporowy”**

Promotor rozprawy:

Podstawa opracowania recenzji:

dr hab. inż. Włodzimierz Makiela, prof. PŚk  
pismo Dyrektora naukowego dyscypliny inżynieria  
mechaniczna – dra hab. inż. Sławomira Błasiaka, prof. PŚk  
z dnia 11 stycznia 2022 r. (MAA-510/01/2022)

### 1. Skrócona charakterystyka zawartości rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgra inż. Łukasza Goryckiego ujęta jest w pięciu rozdziałach o objętości wynoszącej (wraz z streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz wykazem literatury, tablic i ilustracji oraz najważniejszych skrótów i oznaczeń) łącznie 155 stron.

Rozdział 1 obejmuje jedynie wprowadzenie do zagadnienia ilościowego badania wpływu wybranych parametrów łożysk tocznych na wartość momentu tarcia tocznego (momentu oporowego), podkreślając znaczenie tej relacji dla doboru właściwego łożyska do odpowiedniego zastosowania. W rozdziale tym wskazano również literaturę opisującą znane modele w tym zakresie.

W rozdziale 2 sformułowano tezę rozprawy w brzmieniu: „*Istotny wpływ na wartości momentu oporowego łożysk tocznych mają parametry konstrukcyjne i technologiczne, takie jak współczynnik opasania, kąt pracy, bicie, odchyłka okrągłości i falistość bieżni dotychczas nie uwzględnione w modelach obliczeniowych momentu oporowego*”. W rozdziale tym przedstawiono również cel pracy oraz jej zakres.

Rozdział 3 zawiera omówienie istniejącego stanu wiedzy, ze szczególnym uwzględnieniem znanych modeli momentu tarcia tocznego łożysk tocznych. W rozdziale tym podano definicje poszczególnych parametrów potencjalnie wpływających na moment tarcia tocznego łożysk, przedstawiono ogólną postać autorskiego modelu oraz omówiono podstawowe parametry i narzędzia statystyczne służące do weryfikacji zaproponowanego modelu.

W rozdziale 4 przedstawiono skrócone opisy stanowisk badawczych zastosowanych do badania parametrów łożysk. Wśród opisanych stanowisk można znaleźć stanowisko do pomiaru drgań i oceny wad i uszkodzeń łożysk, stanowisko do pomiarów momentu tarcia tocznego, stanowisko do pomiaru chropowatości, falistości i okrągłości elementów konstrukcyjnych łożysk, stanowisko do pomiaru luzu



oraz stanowisko do pomiaru bicia. W rozdziale tym przedstawiono również wyniki pomiaru wartości poszczególnych parametrów przy użyciu wymienionych stanowisk dla kilku grup badanych łożysk.

Najważniejszym i najobszerniejszym rozdziałem (80 stron) jest rozdział 5. W rozdziale tym przedstawiono szereg wyników badań, które poddane zostały analizie statystycznej w celu wyznaczenia najlepszego modelu określającego wpływ parametrów łożyska na wartość ich momentu tarcia tocznego. Rozdział zawiera również podsumowanie, w którym Doktorant zreasumował swoje osiągnięcia naukowo-badawcze zamieszczone w pracy.

Zamieszczona w kolejnym, nienumerowanym rozdziale bibliografia zawiera 98 pozycji bibliograficznych w wydawnictwach książkowych, artykułach w czasopiśmie i materiałach konferencyjnych oraz norm, stron internetowych i raportów badawczych. Z wymienionych i cytowanych w rozprawie opublikowanych artykułów naukowych mgr inż. Łukasz Gorycki jest współautorem 5, głównie w języku angielskim, co świadczy o znaczeniu prowadzonych przez Doktoranta badań i istotnym wkładzie w naukę światową.

## **2. Znaczenie podjętych badań**

Wysokie wymagania dotyczące jakości oraz niezawodności masowo produkowanych urządzeń, w tym urządzeń mechanicznych, wymuszają ciągły rozwój modelowania oraz metod pomiarowych służących do weryfikacji zaproponowanych modeli. Znajomość relacji łączącej parametry konstrukcyjne i technologiczne oraz parametry fizyczne części maszyn i urządzeń produkowanych w przemyśle motoryzacyjnym, lotniczym, AGD i w każdym innym jest koniecznością, gdy chodzi o ich jakość i niezawodność. Łożyska toczne są podstawowym elementem konstrukcyjnym wszędzie tam, gdzie mamy do czynienia z przenoszeniem obciążenia w obracających się elementach maszyn. Od początku istnienia idei elementów tocznych, a potem łożysk tocznych, podstawowym celem było zminimalizowanie momentu tarcia tocznego.

W tym świetle Doktorant podjął się ważnego, a zarazem trudnego zadania, jakim jest przeprowadzenie badań pozwalających na ustalenie wpływu parametrów konstrukcyjnych i dokładności wykonania elementów łożysk tocznych na wartość momentu tarcia tocznego. Intencją Doktoranta było użycie otrzymanych wyników badań w celu opracowania nowego modelu umożliwiającego predykcję momentu tarcia tocznego na podstawie wartości parametrów konstrukcyjnych i dokładnościowych takich, jak: współczynnik opasania, kąt pracy, bicie, odchyłka okrągłości oraz falistość.

Według mojej oceny zarówno cele, jak i tezy pracy, zostały określone prawidłowo, a ich realizację z pewnością należy uznać za ważną zarówno z naukowego, jak i utylitarne punktu widzenia. Na uwagę zasługuje jasna metodologicznie koncepcja rozprawy, oparta na analizie problematyki oraz badaniach doświadczalnych kilku grup łożysk tocznych w celu skonstruowania możliwie najlepszego modelu. Doktorant w swojej pracy dokonał próby identyfikacji najważniejszych składników modelu



poprzez przeprowadzenie szeregu rozbudowanych analiz statystycznych. Taka jasna metodologicznie koncepcja rozprawy z pewnością zasługuje na uznanie.

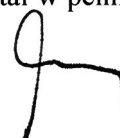
### 3. Szczegółowa ocena rozprawy

Dokonując analizy poszczególnych części rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Łukasza Goryckiego, można wyróżnić najważniejsze osiągnięcia Doktoranta zarówno natury poznawczej, jak również praktycznej. Do osiągnięć poznawczych należy zaliczyć próbę opracowania nowego modelu liniowego uwzględniającego parametry takie, jak: współczynnik opasania, kąt pracy, bicie, odchyłka okrągłości oraz falistość. Przeprowadzono również szereg badań doświadczalnych, które przyniosły wiele obserwacji dotyczących ich wpływu na moment tarcia tocznego badanych łożysk. Utylitarny charakter mają niewątpliwie krytyczne wnioski dotyczące jakości i możliwości zastosowania opracowanego modelu.

Biorąc pod uwagę wymienione efekty rozprawy, potwierdzające naukowy charakter prowadzonych badań w zakresie badań doświadczalnych, modelowania i wnioskowania, wyrażam pozytywną opinię o pracy doktorskiej Pana mgra inż. mgra inż. Łukasza Goryckiego. Można uznać, że przedstawione zadania badawcze zostały zrealizowane przy użyciu prawidłowych, z naukowego punktu widzenia, metod analizy i badań. Recenzowana rozprawa potwierdza wystarczający stopień teoretycznej wiedzy ogólnej autora w zakresie dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna.

Oceniając pozytywnie recenzowaną pracę, chciałbym przedstawić kilka uwag polemicznych i krytycznych.

1. Przeprowadzone w rozprawie badania poprzedziło sformułowanie tezy rozprawy w brzmieniu: *„Istotny wpływ na wartości momentu oporowego łożysk tocznych mają parametry konstrukcyjne i technologiczne, takie jak współczynnik opasania, kąt pracy, bicie, odchyłka okrągłości i falistość bieżni dotychczas nie uwzględnione w modelach obliczeniowych momentu oporowego”*. Można mieć wątpliwości, czy tak postawiona teza odnosząca się do wszystkich wymienionych parametrów w gruncie rzeczy została udowodniona. Niewątpliwie przeprowadzono i udokumentowano szereg badań doświadczalnych wpływu wszystkich wymienionych parametrów na wartość momentu tarcia tocznego badanych łożysk. Jednak w rozdziale podsumowującym uzyskane wyniki (rozdział 5.7) jednoznacznie wskazano, że wśród parametrów mających wpływ na wartość tarcia tocznego badanych łożysk jest obciążenie osiowe, współczynnik opasania oraz luz. W podsumowaniu nie odniesiono się do pozostałych parametrów takich, jak: kąt pracy, bicie, odchyłka okrągłości i falistość.
2. Cel pracy sformułowany następująco: *„Celem pracy było przeprowadzenie badań pozwalających na ustalenie wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych na wartość momentu oporowego w łożyskach tocznych kulkowych oraz uwzględnienie tego wpływu w postaci ilościowej w modelu matematycznym przeznaczonym do obliczenia momentu oporowego”* również nie został w pełni



osiągnięty. Opracowano różne odmiany modelu liniowego zawierającego różne składowe (równania od 5.1 do 5.9), jednak formułując wnioski (str. 133) Doktorant sam stwierdził, że „w oparciu o przeprowadzone pomiary eksperymentalne oraz analizę wyników należy przyjąć, że nie da się stworzyć istotnego liniowego modelu matematycznego wyznaczającego wartość momentu oporowego w łożyskach tocznych 620, zależnego od wybranych parametrów” i dalej (w podsumowaniu, str. 140) „Powyższe badania potwierdziły, jak trudno jest stworzyć dokładny model matematyczny pozwalający na wyznaczenie teoretycznych wartości momentu oporowego w łożyskach tocznych kulkowych”. W świetle powyższych stwierdzeń pozostawiam otwarte pytanie: czy teza i tytuł rozprawy nie zostały zakresłone zbyt ambitnie?

3. Centralnym elementem pracy jest zaproponowany w rozdziale 3.3 (str. 25) liniowy model tarcia tocznego łożysk. Nie wskazano jednak jakichkolwiek przesłanek pozwalających czytelnikowi zrozumieć, dlaczego przyjęto właśnie model liniowy.

Oprócz przedstawionych uwag polemicznych, w pracy dostrzegam także szereg usterek terminologicznych, nieścisłości, braków, pomyłek i błędów literowych. Przedstawiam tylko ważniejsze z nich.

1. W pracy zamieszczono wykaz oznaczeń i skrótów, co potencjalnie ułatwia czytelnikowi czytanie pracy poprzez właściwe przypisanie definicji parametrów do użytego symbolu. Niestety wykaz sporządzono niestarannie. Nie wiadomo, wg jakiego klucza uszeregowano oznaczenia (z pewnością niealfabetycznie), a opisy symboli są zdawkowe.
2. Brak jakiegokolwiek konsekwencji w stosowaniu znaków interpunkcji. Nawet w obrębie jednej strony tytułu rozdziałów, opisy tabel czy podpisy pod rysunkami czasami zakończone są kropką, a czasami nie.
3. Na str. 20 brak jest równania (3.7).
4. W pracy zamieszczono nieczytelne rysunki (np. rys. 4.12, 4.14, 4.16, 4.17), które oprócz istotnych wykresów zawierają nieistotne fragmenty techniczne oprogramowania. Są też rysunki (jak rys. 4.4) zawierające wykresy trudne do interpretacji, gdyż nie oznaczono, czym są poszczególne linie. Rysunki złożone z kilku odrębnych przypadków nie są oznaczane odrębnymi literami „a), b)”. Brak też odpowiedniego podpisu poszczególnych przypadków. Wiele rysunków zawierających wykresy (np. 5.5, 5.6, 5.9, 5.10) ma błędnie opisane wartości na osiach (te same wartości występują dwukrotnie). Są też wykresy, których osie pozbawione są jednostek miary (np. rys. 5.2 i 5.3). Niektóre rysunki (np. rys. 4.8, 4.9, 4.10) nie są przywoływane w tekście rozprawy, co każe wątpić w ich przydatność.
5. Podobnie wiele tabel prezentujących wyniki badań, np. okrągłości i falistości, pozbawionych jest jednostek miary (tab. 4.12 i 4.13). Doktorant nie panuje nad liczbą miejsc znaczących prezentowanych wyników. Np. niektóre wyniki w tab. 4.12 podawane są z rozdzielczością 0,1 nm!



6. W wielu miejscach w pracy mylone są pojęcia metrologiczne: błąd - odchyłka.
7. „Dokładność” jest pojęciem jakościowym, a nie ilościowym. Autor na str. 43 podaje, że urządzenie umożliwia pomiar „z dokładnością do 0,001 mm”. O jaki parametr ilościowy tu chodzi?

W pracy znaleziono wiele błędów literowych, językowych i edytorskich. Ogólne wrażenie jest takie, że praca przygotowana jest nieco niestarannie. Mam nadzieję, że Doktorant w przyszłości podejdzie do słowa pisanego z większą dbałością, szczególnie jeżeli myśli o dalszych opracowaniach lub publikacjach.

#### 4. Ocena końcowa rozprawy

Rozprawa doktorska mgra inż. Łukasza Goryckiego dotyczy w istocie badania i modelowania momentu tarcia tocznego badanych łożysk. Postawiony problem naukowy ma duże znaczenie poznawcze i praktyczne. Sposób jego rozwiązania zaproponowany w rozprawie potwierdza umiejętności Doktoranta w zakresie samodzielnego podejmowania i rozwiązywania zadań naukowych. Wartość merytoryczną uzyskanych wyników oceniam pozytywnie, choć otrzymany model nie w pełni spełnia oczekiwania Doktoranta.

Potwierdzeniem znaczenia dorobku naukowego Doktoranta jest współautorstwo cytowanych w rozprawie 5 publikacji naukowych.

**Na podstawie powyższych stwierdzeń uwzględniając również znaczący dorobek publikacyjny Doktoranta, wyrażam opinię, że przedstawiona rozprawa doktorska mgra inż. Łukasza Goryckiego pt. „Ocena wpływu parametrów konstrukcyjnych i dokładności wykonania bieżni łożysk tocznych na ich moment oporowy” spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 r. w dyscyplinie inżynieria mechaniczna i tym samym wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.**

