

PROF. MAREK MORZYŃSKI

Poznan University of Technology,  
 Division of Virtual Engineering, Jana Pawla II 24,  
 PL 60-965 Poznań, Poland  
 Tel.: +48-61-665 2778  
 Fax: +48-61-665 2618  
 Email: [Marek.Morzynski@virtual.edu.pl](mailto:Marek.Morzynski@virtual.edu.pl)



Prof. Marek Morzynski · PUT · Jana Pawla II 24 · 60-965 Poznań · Poland

Poznań, 26.05.2023r.

### *Recenzja dorobku dra inż. Stanisława Strzeleckiego w postępowaniu w sprawie wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego*

Opinia sporządzona została w związku pismem p. przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej, prof. dr hab. inż. Ewy Majchrzak, RDIMe.532.2.2022, z dnia 29.03.2023 r. informującym, o powołaniu na recenzenta w postępowaniu habilitacyjnym przez Radę Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej uchwałą z dnia 29 marca 2023 roku. Recenzję wykonano w oparciu o dokumenty dołączone do w.w. pisma.

## **Sylwetka Habilitanta**

Dr inż. Stanisław Strzelecki ukończył Wydział Mechaniczny Politechniki Łódzkiej w 1968r. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w 1977r. na podstawie rozprawy, „Wpływ ciśnienia zasilania na charakterystyki dynamiczne łożyska perycykloidalnego”. Jak wynika z załączonej dokumentacji znakomita większość działalności naukowej dra inż. Stanisława Strzeleckiego dotyczy łożysk ślizgowych przy czym były to zarówno badania eksperymentalne, prace wdrożeniowe w przemyśle jak i modelowanie numeryczne. Zakres tych badań obejmuje zjawiska przepływowe w różnych reżimach pracy, termiczne, elastosprężyste, jak i kwestie stabilności komponentów łożyska ślizgowego. W całym okresie działalności naukowej habilitanta udzielał się on jako pracownik naukowo-dydaktyczny, konsultant przemysłowy i konstruktor.

## **Osiągnięcie naukowe kandydata**

### **Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego:**

*Monografia: „Łożyska ślizgowe identyfikacja charakterystyk pracy wielopowierzchniowych hydrodynamicznych łożysk poprzecznych”*

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 7 06 2023  
 RDJMe 532.2.2023  
 nr ..... zał. ....

## Analiza przedstawionych publikacji

Najważniejszą z przedstawionych publikacji jest wydana przez Wydawnictwo Politechniki Śląskiej w 2021r. monografia dra Stanisława Strzeleckiego, „Łożyska ślizgowe identyfikacja charakterystyk pracy wielopowierzchniowych hydrodynamicznych łożysk poprzecznych.”

Wydawnictwo Politechniki Śląskiej znajduje na liście Komunikatu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 29 września 2020 r. w sprawie wykazu wydawnictw publikujących recenzowane monografie naukowe, na podstawie art. 267 ust. 3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85, 374, 695, 875 i 1086).

Monografia dra Stanisława Strzeleckiego omawia poprzeczne łożyska ślizgowe, które w przeciwieństwie do najbardziej znanych i najczęściej stosowanych łożysk o przekroju cylindrycznym, charakteryzują się kilkoma powierzchniami ślizgowymi, które mogą być stałe lub wahliwe. Dodatkowo przekrój panewki zmienia się w kierunku poprzecznym, rozważane są zjawiska statyczne i dynamiczne, tuleje pływające, a także wpływ doprowadzenia i odprowadzenia strumienia oleju. Uwzględnienie wszystkich tych czynników powoduje, że rozwiązanie problemu nie jest zadaniem trywialnym.

Badanie tego typu łożysk wydaje się szczególnie istotne w ostatnim czasie, ze względu na konstrukcję lekkich i wysilonych maszyn i urządzeń. Ponadto, postęp w dziedzinie techniki wytwórczych i inżynierii materiałowej umożliwia stosowanie łożysk o bardziej złożonej konstrukcji. Stąd zarówno badania wielopowierzchniowych łożysk jak i wypracowanie metod estymacji warunków ich pracy, jakie przedstawiono w monografii, jest istotne.

Przedstawiana tu monografia składa się z 18 rozdziałów i bibliografii.

We wstępie autor przedstawia motywację stosowania i badania łożysk posiadających budowę bardziej złożoną niż powszechnie znane hydrodynamiczne łożyska cylindryczne. Mówi o zaletach łożysk wielopowierzchniowych i posiadających zarys niekołowy. Omawia istniejące badania światowe, a także prowadzone w Katedrze, której był pracownikiem. Autor mówi o problemach konstrukcyjnych i parametrach jakie muszą być uwzględnione przy obliczaniu tego typu łożysk i niewielką dostępność oprogramowania uwzględniającego wszystkie wymagane aspekty obliczeń.

W rozdziale drugim autor przybliży elementy modelu obliczeniowego, jaki jest niezbędny do konstruowania łożysk. Wskazuje, iż oprócz równań Reynoldsa, określających rozkład ciśnienia w łożysku konieczne jest uwzględnienie nieizotermiczności analizowanych zjawisk, charakterystyk statycznych i dynamicznych, zmiennej lepkości, czy uwzględnienia warunków napływu i wypływu oleju z łożyska. Dla łożysk wysokoobrotowych konieczne jest ponadto uwzględnienie turbulencji w obszarze filmu olejowego i wzięcia pod uwagę wpływu turbulencji i lepkości na stateczność rozpatrywanego układu. Autor omawia badania w zakresie wymienionych wyżej zjawisk a także badania wpływu sposobu zasilania łożyska, zjawisk zachodzących w kieszeniach smarnych, sprzężenia termoeleastrohydrodynamicznego, określanego jako TEHD. W kolejnych podrozdziałach autor omawia badania w dziedzinie nieidealnej pracy łożyska, wynikającej np. z przekoszenia czopa i panewki czy rozmieszczenia łożysk na długości wału.

W rozdziale trzecim autor przedstawia klasyfikację łożysk wielopowierzchniowych. Omówione są przykłady zastosowania tego typu łożysk i parametry ich pracy.

Rozdział czwarty omawia cele jakie postawił sobie autor. Są nimi z jednej strony zbudowanie modelu łożyska wielopowierzchniowego, sformułowanie programu umożliwiającego jego numeryczną symulację, z drugiej strony opracowanie koncepcji nowych konstrukcji łożysk ślizgowych z segmentami o różnej geometrii. Autor rozważa tu szczegółowo parametry i zjawiska jakie zamierza wziąć pod uwagę przy opracowaniu metody symulacji.

W rozdziale piątym przedstawiono model geometryczny rozważanego łożyska hydrodynamicznego i omówiono jego parametry.

Rozdział szósty wprowadza klasyczne równania teorii smarowania wraz z sprzężonymi równaniami energii dla adiabatycznego modelu filmu smarnego. Jednocześnie przedstawiona jest zastosowana metoda rozwiązania numerycznego postawionego problemu (metoda różnic skończonych). W kolejnych podrozdziałach omówiona jest struktura macierzowa wynikająca z dyskretyzacji i numeryczny sposób rozwiązywania układu równań algebraicznych liniowych (metoda ADI), wraz z podaniem szczegółów metod iteracyjnych, użytych w obliczeniach. W kolejnym podrozdziale przedstawiono użyte w modelu warunki brzegowe. Omówiono także sposób uwzględnienia turbulencji w równaniu Reynoldsa.

Rozdział siódmy poświęcony jest równaniom opisującym rozkład ciepła w dwuwymiarowym filmie olejowym a także sposobowi uwzględnienia zmian temperatury panewki i powierzchni czopa, wynikających z przewodzenia ciepła. Przyjęta procedura odniesiona jest do opracowanego programu. Ponadto przedstawiony jest schemat iteracyjny zastosowany w procesie obliczeń. W podrozdziale 7.5 przedstawione są wyniki obliczeń statycznych dla różnych wariantów geometrii łożyska.

Rozdział ósmy poświęcony jest wyznaczeniem statycznej równowagi układu czop-panewka dla łożysk cylindrycznych i wahlowych.

Rozdział dziewiąty jest poświęcony stabilności dynamicznej układu czop-panewka. Omówiona jest odpowiedź układu na niewielkie zaburzenie środka czopa. Do obliczeń wykorzystano znajomość współczynników sztywności i tłumienia filmu smarnego łożyska hydrodynamicznego. W podrozdziale 9.1 sformulowano macierzowy problem stateczności i wyznaczono jego wartości własne. Wyniki rozwiązania tak sformulowanego problemu przedstawionego w kolejnym podrozdziale omawiając obszary stateczności prostego wirnika symetrycznego pracującego w łożyskach 3-powierzchniowych. W tym samym podrozdziale wyniki stateczności osiągnięte dla wirnika symetrycznego 3-powierzchniowego łożyska poddane zostały szczegółowej analizie.

Rozdział dziesiąty omawia możliwe do zastosowania formy geometryczne panewek wielopowierzchniowych i ich wpływ na formę filmu olejowego. Rozpatrywane są panewki wielopowierzchniowe z ciągłym i nieciągłym zarysem.

Rozdział jedenasty kontynuuje rozważania nad formą geometrycznym panewek, przy czym rozpatrywane tutaj są panewki wielopowierzchniowe, które posiadają różne geometrie w poszczególnych segmentach. Autor wskazuje, że współczesne maszyny sterowane numerycznie umożliwiają uzyskanie kształtów geometrycznych wymaganych przez konstrukcję. Do projektowania tak złożonego łożyska autor wykorzystuje swój, przedstawiony wcześniej, program obliczeniowy. Jego zastosowanie pozwala na wyznaczanie charakterystyk statycznych i dynamicznych wielopowierzchniowych łożysk nowej konstrukcji a ponadto umożliwia wyznaczanie obszarów stateczności tego typu

łożysk. Optymalizacja polega na przeszukaniu zbioru panewek o zwiększającej się liczbie segmentów. Wyniki odniesione są do odpowiadających łożysk cylindrycznych. W symulacjach badane są między innymi kąty statycznego położenia równowagi, maksymalna temperatura filmu olejowego, opory ruchu czopa i przepływu smaru a także współczynniki sztywności i tłumienia łożyska.

W rozdziale dwunastym autor wskazuje możliwe zastosowania praktyczne opisanych wcześniej geometrii łożysk. Podkreśla, korzystne z punktu widzenia eksploatacji, parametry łożysk wielopowierzchniowych, na które wskazuje symulacja numeryczna. Podobne sugestie rozciąga na wielopowierzchniowe łożyska wahliwe, przedstawiając sugerowane modyfikacje. Analogiczne zmiany konstrukcyjne zostały zaproponowane w następnym podrozdziale, dla łożysk z panewką pływającą. Sugestie ulepszeń panewek pływających są przedmiotem zgłoszenia patentowego autora.

W rozdziale trzynastym autor koncentruje się na sprężystym odkształceniu łożyska ślizgowego. Zakłada się że całkowita odkształcenia dotyczą panewki, czop pozostaje natomiast nieskończenie sztywny. Obciążeniami są zarówno ciśnienie pochodzące od filmu olejowego jaki jego temperatura. Symulacje dotyczą łożysk stałych i wahlwych.

Rozdziale czternastym opisane zostało szczegółowo eksperymentalne wyznaczenie temperatury łożyska wrzeciennika szlifierki. Pomiaru te porównano na wykresach z symulacją łożyska o parametrach zgodnych z zastosowanymi w eksperymencie. Wskazano na zbliżone wartości eksperymentalne i uzyskane na drodze symulacji numerycznej.

Rozdział piętnasty opisuje kolejny eksperyment, mający na celu zbadanie wpływu przekoszenia czopa łożyska na parametry jego pracy. Analizowano kąty położenia statycznego czopa, grubość filmu smarnego, rozkłady ciśnienia w kierunku wzdłużnym i poprzecznym i temperatury filmu olejowego. Na podstawie przedstawionych badań eksperymentalnych i symulacji sformułowano wytyczne dotyczące diagnostyki łożysk turbozespołów.

Rozdział szesnasty przedstawia badania eksperymentalne łożysk, w których występują silne i zmienne obciążenia dynamiczne. Jako obiekt badań wykorzystano igłowarkę. Przedmiotem badań był tor środka czopa, wynikający ze zmiennego, dynamicznego obciążenia. W obliczeniach porównano zastosowanie łożyska cylindrycznego i dwupowierzchniowego. Na podstawie wniosków wynikających z obliczeń zaproponowano zmiany konstrukcyjne łożyska. Zmiany te zostały wdrożone do produkcji.

Rozdział siedemnasty zawiera uwagi uzupełniające, dotyczące programu symulacyjnego rozwijanego przez autora.

W Podsumowaniu, stanowiącym rozdział osiemnasty, autor podkreśla zalety stosowania rozwiniętego przez niego oprogramowania w konstrukcji zaawansowanych typów łożysk. Wskazuje zarówno konstrukcje zbudowane z pomocą jego symulacji jaki potencjalnie dalsze zastosowania rozwiniętego oprogramowania.

Pracę zamyka bibliografia i streszczenie.

## **Inna istotna działalność naukowa**

Oprócz omówionej wyżej monografii autor prezentuje listę 28 artykułów naukowych

opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora. Dotyczą one w znakomitej większości zjawisk zachodzących w łożyska ślizgowych. Jak wynika z bibliografii i cytowań w omawianej tu monografii stanowią one istotny jej element. Do listy publikacji dołączyć należy 20 opublikowanych i recenzowanych materiałów konferencyjnych a także dwa rozdziały w monografiach innych wydawnictw. Oprócz artykułów poświęconych łożyskom ślizgowym autor publikował wyniki prac związane z innymi projektami ich wdrożeniami. Ponadto uczestniczył w 163 konferencjach zagranicznych i 119 konferencjach krajowych. Na wielu z tych konferencji był członkiem komitetu organizacyjnego.

7 prac autora było cytowanych w czasopismach indeksowanych przez Web of Science, 33 cytowania zawiera baza Scopus, indeks h wg. bazy Scopus wynosi 4.

Istotną część działalności autora stanowią prace o charakterze konstrukcyjnym i wdrożeniowym. Autor wymienia pięć projektów, których wyniki były publikowane w czasopismach o zasięgu międzynarodowym i krajowym. Osobnym aspektem tej działalności są trzy przyznane patenty.

Z przedstawionego zestawienia wynika aktywna, międzynarodowa działalność naukowa habilitanta, znajdująca odbicie w publikacjach, projektach i wdrożeniach.

## **Ocena osiągnięcia naukowego**

Podsumowując punkty, jakie wymienia autor opisując swoje osiągnięcie naukowe, można stwierdzić, że za najważniejsze osiągnięcie uważa on swoje rozważania na temat łożysk wielopowierzchniowych i nieciągłych a także wnioski dotyczące praktycznych rozwiązań konstrukcyjnych tego typu łożysk. Najistotniejszym elementem jego osiągnięcie jest procedura numeryczna umożliwiająca symulację i prognozowanie właściwości konstrukcji.

Należy zgodzić się z autorem, że numeryczna procedura umożliwiająca obliczanie rozkładów ciśnienia i temperatury w łożysku ślizgowym o dowolnym w zarysie geometrycznym, uwzględniająca odkształcenia panewki, umożliwiająca wyznaczenie toru środka czopa i jego stabilności zarówno dla przypadku statycznego jaki dynamicznego jest ważnym osiągnięciem naukowym. Podkreślić należy, że za osiągnięcie należy uznać nie tyle rozwiązanie samych równań Reynoldsa, sprzężonych z zagadnieniem termicznym czy elastycznym a napełnienie systemu odpowiednimi danymi, takimi jak np. współczynniki sprężystości i tłumienia, umiejętność zastosowania odpowiednich warunków brzegowych dla przepływu oleju czy uwzględnienie geometrii odkształcanego wału. Oprócz równań różniczkowych, metody ich dyskretyzacji i rozwiązania wynikających równań algebraicznych niezbędna jest duża wiedza i doświadczenie w doborze współczynników i parametrów wynikających z warunków pracy łożyska. Ten element pracy uznać należy za najważniejszy. Zdając sobie sprawę z trudności przeprowadzenia eksperymentu, walidację obliczeń numerycznych należy uznać za stosunkowo ograniczoną a zgodność wyników eksperymentalnych i symulacji ma charakter raczej jakościowy. Wydaje się jednakże, że nawet jakościowa informacja o zjawiskach w łożysku ślizgowym jest właściwa do wyciągania odpowiednich wniosków konstrukcyjnych. Ta właśnie praktyczna implementacja symulacji numerycznej stanowi o istotnym walorze pracy.

Podsumowując ocenę osiągnięcia naukowego dr Stanisława Strzeleckiego stwierdzić należy, iż stanowi ono istotny wkład w zrozumienie mechaniki i projektowanie łożysk ślizgowych.

## **Dorobek dydaktyczny, popularyzatorski i w zakresie współpracy międzynarodowej**

Dr inż. Stanisław Strzelecki prowadził aktywną współpracę z wieloma uniwersytetami. Jak wynika z załączonych danych odwiedził on 37 różnych uniwersytetów, w większości reprezentujących znaczący poziom naukowy. Ponadto składał również wizyty w zagranicznych zakładach przemysłowych, głównie w Niemczech i Japonii. W wykazie wskazane są nazwy zakładów i charakter ich produkcji, jednakże tylko w kilku przypadkach określono cele wizyty. W przypadku wizyt i współpracy z krajowymi zakładami przemysłowymi wizyty związane były z projektami, których listę zamieszczono, jak również z udziałem w zespołach eksperckich i doradczych. W trakcie swojej działalności zawodowej dr inż. Stanisław Strzelecki odbył kilka krótkich staży zagranicznych i krajowych. Dłuższy staż naukowy to praca w Tokyo University, w latach osiemdziesiątych. Dr Strzelecki doskonali również swoje kwalifikacje na kursach poświęconych technikom komputerowym, programowaniu, doskonaleniu umiejętności językowych i zagadnieniom branżowym.

Działalność dydaktyczna doktora Strzeleckiego obejmuje klasyczne Podstawy Konstrukcji Maszyn, do których przygotował skrypty a wykłady prowadził również w języku angielskim.

## **Dorobek w zakresie konstrukcji, opracowań technologii i przemysłowym**

Autor wymienia 46 projektów, konstrukcji i opracowań technologii, które prowadził dla różnych zakładów przemysłowych. Tematyka tych projektów jest wysoce zróżnicowana i nie ogranicza się jedynie do problematyki łożyskowania. Zakres tych projektów rozciąga się od przyrządów lub stanowisk pomiarowych do elementów przekładni, sprzężarek czy dużych konstrukcji spawanych.

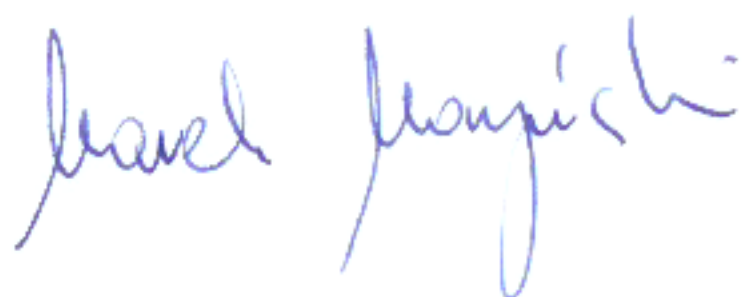
## **Wniosek końcowy**

Na podstawie analizy działalności naukowo-badawczej oraz aktywności w dziedzinie przemysłowej, można stwierdzić, iż habilitant posiada istotne osiągnięcia w dziedzinie rozwiązywania praktycznych problemów konstrukcyjnych. Obszarem jego ekspertyzy i kompetencji są łożyska ślizgowe. W oczywisty sposób największym dorobkiem habilitanta są liczne projekty konstrukcji wykonane dla przemysłu.

Przedstawiana tu monografia, liczne publikacje oraz referaty konferencyjne świadczą, że dr Stanisław Strzelecki, oprócz kompetencji w dziedzinie projektowania przejawia dużą ciekawość naukową i z sukcesem rozwiązuje złożone problemy teoretyczne. Wykorzystuje przy tym zaawansowane metody symulacyjne, które sam rozwija i programuje i sprawnie posługuje się eksperymentem. Przedstawiona tu monografia stanowi istotny wkład w zrozumienie mechaniki i projektowanie łożysk ślizgowych, tym samym jest osiągnięciem naukowym o znacznym wkładzie w rozwój dyscypliny Mechanika.

Z analizy przedstawionych dokumentów wynika także iż dr Stanisław Strzelecki wykazuje się istotną aktywnością naukową realizowaną w wielu uczelniach i instytucjach naukowych, zwłaszcza zagranicznych.

Habilitant, jak wskazano w szczegółowej analizie powyżej, spełnia więc wymagania stawiane w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85, 374, 695, 875, 1086, z 2021 r. poz. 159) i Ustawie z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669, z 2019 r. poz. 39, 534, z 2020 r. poz. 695, 875, 1086), stąd wynik recenzji jest **pozytywny** a przedstawiony dorobek może być podstawą do ubiegania się dra inż. Stanisława Strzeleckiego o stopień naukowy doktora habilitowanego.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Marek Janowski', written in a cursive style.