

AUTOREFERAT

Przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych, w szczególności określonych w art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki

Dr inż. Jakub Łagodziński
Instytut Maszyn Przepływowych
Zakład Diagnostyki i Automatyki Urządzeń Przepływowych
ul. Wólczańska 219/223
90-924 Łódź

Łódź, kwiecień 2019

Spis treści

I.	Imię i Nazwisko	3
II.	Posiadane dyplomy, stopnie naukowe.....	3
III.	Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	3
IV.	Osiągnięcia naukowe.....	3
A)	Tytuł osiągnięcia naukowego	3
B)	Opis publikacji będącej osiągnięciem naukowym	4
	1. Omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania	4
V.	Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych	15
A)	Wykaz innych (niewchodzących w skład osiągnięcia wymienionego w pkt 4) opublikowanych prac naukowych:	15
	1. Monografie, rozdziały w książkach, doktorat.....	15
	2. Publikacje inne (niewchodzące w skład osiągnięcia wymienionego w punkcie IV) z wykazu czasopism naukowych posiadających współczynnik wpływu Impact Factor albo wyróżnionych w bazie Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z latami ich wydania ...	16
	3. Publikacje inne (niewchodzące w skład osiągnięcia wymienionego w punkcie IV) z wykazu czasopism naukowych nieposiadających współczynnika wpływu Impact Factor (IF), zgodnie z latami ich wydania.....	19
	4. Wykaz doniesień konferencyjnych.....	23
	5. Podsumowanie dorobku publikacyjnego.....	23
VI.	Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz informacja o współpracy międzynarodowej habilitanta	24
A)	Kierowanie międzynarodowymi i krajowymi projektami badawczymi oraz udział w takich projektach	24
B)	Zrealizowane oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne	27
C)	Otrzymane nagrody i wyróżnienia	27
D)	Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych	27
E)	Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie	28
F)	Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego.....	29
G)	Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki	29
VII.	Podsumowanie dorobku i osiągnięć naukowo-badawczych habilitanta	30

I. Imię i Nazwisko

Jakub Łagodziński

II. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

- 2006 – dyplom ukończenia studiów magisterskich specjalności: Systemy, Maszyny i Urządzenia Energetyczne na kierunku: Mechanika i Budowa Maszyn Wydziału Mechanicznego Politechniki Łódzkiej. Praca dyplomowa zatytułowana: „Projekt rezerwowej pompy zasilającej blok 360 MW” , promotor - dr inż. Jerzy Staniszewski.
- 2009 – dyplom uzyskania stopnia naukowego, doktora nauk technicznych w zakresie Budowa i Eksploatacja Maszyn, nadany uchwałą Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Łódzkiej na podstawie przedstawionej rozprawy doktorskiej pt. „Niekonwencjonalne Konstrukcje Układów Mechanicznych Wspomagane Polem Magnetycznym”. Promotor – prof. dr hab. inż. Dorota Kozanecka. Recenzenci: prof. dr hab. inż. Zdzisław Gosiewski, prof. dr hab. inż. Władysław Kryłłowicz, (załącznik nr 1).

III. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- Lata 2007/2009 – ½ etatu na stanowisku asystenta w Instytucie Maszyn Przepływowych Politechniki Łódzkiej.
- Od 01.01.2010 r. - cały etat na stanowisku adiunkta w Instytucie Maszyn Przepływowych Politechniki Łódzkiej.

IV. Osiągnięcia naukowe

A) Tytuł osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. Nr 65, poz. 595 ze zm.) stanowiące podstawę ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora habilitowanego wskazuję:

monografię habilitacyjną pt. „Łożyska foliowe w maszynach przepływowych”

B) Opis publikacji będącej osiągnięciem naukowym

- Autor: dr inż. Jakub Łagodziński,
- Rok wydania: 2019,
- Tytuł: Łożyska foliowe w maszynach przepływowych,
- Seria wydawnicza: Monografie Politechniki Łódzkiej,
- ISBN 978-83-7283-987-9, 172 strony. (załącznik nr 4).
- Recenzenci: prof. dr hab. inż. Krzysztof Jóźwik, prof. dr hab. inż. Romuald Rządkowski.

1. Omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Odwołania w nawiasach kwadratowych [] odnoszą się do wybranych publikacji wyszczególnionych w dalszych rozdziałach tego autoreferatu.

Wprowadzenie

Postęp cywilizacyjny niesie za sobą rozwój nowych technologii, a także metod modelowania złożonych zjawisk fizycznych. Nowoczesne materiały konstrukcyjne i nowe technologie wytwarzania sprawiają, że budowa współczesnych maszyn i urządzeń staje się w coraz większym stopniu nauką interdyscyplinarną wymagającą zaangażowania wiedzy specjalistów z wielu dziedzin. Różnorodność ich rzeczywistych realizacji powoduje, że analiza zjawisk towarzyszących eksploatacji jest trudna i złożona.

Poszukiwania nowatorskich rozwiązań maszyn o specjalnych wymaganiach technologicznych spowodowały, między innymi, wzrost zainteresowania konstruktorów technologią nietypowego podparcia wirujących wałów maszyn. Łożyska i podpory, w konstrukcji których wykorzystuje się zasadę działania lub medium robocze nietypowe dla danej dziedziny zastosowań nazywane są łożyskami lub podporami niekonwencjonalnymi.

Łożyska to części maszyn umożliwiające względny ruch dwóch elementów. W każdej maszynie przepływowej wirnik podparty jest w łożyskach, których zadaniem jest ograniczenie promieniowego lub osiowego przemieszczenia wałów w ruchu obrotowym. Podczas ruchu maszyny, pojawia się szereg obciążeń wirnika

wywołanych oddziaływaniem czynnika roboczego, niewyważeniem czy obciążeniem zewnętrznym. Podstawowym zadaniem łożyskowania maszyny przepływowej jest więc również umożliwienie przeniesienia obciążeń. Ponadto łożyska mają znaczący wpływ na stabilność ruchu rotora, co jest szczególnie ważne w przypadku eksploatacji maszyn wysokoobrotowych.

Podstawowa klasyfikacja łożysk, ze względu na sposób przeniesienia obciążenia, pozwala wyróżnić ich następujące rodzaje:

- łożyska toczne,
- łożyska ślizgowe, smarowane medium ciekłym,
- łożyska ślizgowe, smarowane medium gazowym,
- łożyska niekonwencjonalne (np. magnetyczne).

Większość rozwiązań konstrukcyjnych stosowanych w dużych przemysłowych turbinach, pompach czy sprężarkach sprowadza się do zastosowania łożysk smarowanych olejem, w których film smarny tworzy się samoczynnie w czasie ruchu wirowego czopa w panwi w następstwie oddziaływania zjawisk hydrodynamicznych.

Łożyska konwencjonalne sprawdzają się w większości istniejących już rozwiązań konstrukcyjnych, jednakże od pewnego czasu w rozwoju techniki zaobserwować można wyraźną tendencję do zwiększania częstości obrotów maszyn przepływowych. Przeważnie prawidłowość ta spowodowana jest względami ekonomicznymi, bowiem wiąże się ze zwiększaniem wydajności maszyny przy jednoczesnym zmniejszaniu gabarytów konstrukcji.

Ponadto, dynamiczny rozwój energetyki rozproszonej powoduje wzrost zainteresowania maszynami o relatywnie małych mocach, a więc i zmniejszonych wymiarach. Chęć zwiększenia efektywności maszyn energetycznych, polepszenia ich sprawności oraz nowoczesne rozwiązania napędów mikroturbinowych generują zapotrzebowanie na nowoczesne systemy podparcia. Rotor maszyny wysokoobrotowej podparty w konwencjonalnych łożyskach smarowanych olejem implikuje znaczący wzrost strat tarcia hydrodynamicznego i wzrost ryzyka wystąpienia drgań samowzbudnych (utrata stabilności ruchu) oraz awarii związanych z podwyższonym poziomem drgań, czy po prostu ze zużyciem łożysk. Z tego względu zastosowanie w takich warunkach pracy łożyskowania konwencjonalnego jest często wysoce problematyczne lub wręcz niemożliwe do zrealizowania.

Wraz z rozwojem nowych technologii oraz pojawianiem się nowych materiałów konstrukcyjnych możliwe stało się zastosowanie łożysk wykorzystujących nietypowe media robocze lub niekonwencjonalne zasady działania. Zaczęto wykorzystywać łożyskowanie, w którym np. wał jest zawieszony w polu magnetycznym lub w którym jako medium smarne łożysk wykorzystuje się gazowe lub ciekłe medium robocze maszyny przepływowej.

Takie niekonwencjonalne łożyska często projektowane są indywidualnie dla konkretnej maszyny i są w stanie poprawnie funkcjonować w określonym rozwiązaniu technicznym maszyny o specjalnych wymaganiach. Stosuje się je przeważnie tam, gdzie zastosowanie tradycyjnych, powszechnie znanych rozwiązań układu podparcia wirującego wału maszyny jest utrudnione lub wręcz niemożliwe. Te specjalne wymagania technologiczne związane z funkcjonowaniem nowoczesnych maszyn przepływowych często wykluczają możliwość stosowania oleju jako czynnika roboczego łożysk i w konsekwencji prowadzą do dynamicznego rozwoju technologii bezolejowych (ang. „*oil-free*” *technology*).

Ważne miejsce w rozwoju tej technologii zajmują łożyska smarowane gazowym (ściśliwym) medium roboczym. Poszczególne rozwiązania techniczne związane z rozwojem i aplikacjami łożysk gazowych dla wirnikowych maszyn przepływowych zależą od ich przeznaczenia, obrotów nominalnych, mocy, a także od rodzaju medium roboczego wykorzystywanego w obwodzie przepływu maszyny. Gazowe łożyska foliowe, od wielu lat są rozwijane w wielu jednostkach naukowych na świecie, zainteresowanych ich wdrożeniem do zastosowań w przemyśle.

Również w Instytucie Maszyn Przepływowych Politechniki Łódzkiej (dalej przywoływany jako IMP PŁ), w laboratorium Zakładu Diagnostyki i Automatyki Urządzeń Przepływowych od wielu lat prowadzone są prace badawcze związane z rozwojem szeroko pojętych niekonwencjonalnych systemów łożyskowania maszyn przepływowych o specjalnych wymaganiach technologicznych.

Przykładem mogą tutaj być aerodynamiczne łożyska gazowe, które, podobnie jak łożyska hydrodynamiczne, nie wymagają zasilania czynnikiem roboczym pod ciśnieniem. łożyska te są ciekawą alternatywą w konstrukcji małych, wysokoobrotowych maszyn. Ciśnienie w filmie gazowym takiego łożyska wytwarzane jest na skutek względnego ruchu panwi i czopa łożyskowego w obszarze zbieżnej szczeliny pomiędzy powierzchniami tych elementów.

Ciągły i sztywny film gazowy w łożyskach uzyskuje się przy wysokich prędkościach wirowania czopów łożyskowych i dlatego obszarem, gdzie stosuje się aerodynamiczne łożyska gazowe są maszyny charakteryzujące się bardzo wysokimi wartościami częstości obrotów.

Skutkuje to możliwością budowy małych wysokoobrotowych maszyn przepływowych w układzie tzw. hermetycznym, tzn. maszyn, w których nie ma potrzeby wyprowadzania wirującej końcówki wału z korpusu oraz stosowania niezbędnych w klasycznym układzie uszczelnień pomiędzy wnętrzem korpusu a atmosferą oraz odrębnych układów smarowania łożysk i związanych z tym układem uszczelnień. Z punktu widzenia eksploatacji maszyna przepływowa zbudowana zgodnie z tą koncepcją konstrukcyjną pozwala wyeliminować szereg kłopotliwych i zawodnych elementów. Maszyny takie mają mniejsze wymiary, mniejszą masę i są tańsze w budowie.

Warunkiem koniecznym realizacji takich konstrukcji jest opanowanie technologii projektowania i budowy niekonwencjonalnych wysokoobrotowych łożysk aerodynamicznych charakteryzujących się wysoką niezawodnością oraz akceptowalnymi, z punktu widzenia dynamiki ruchu wysokoobrotowego systemu wirującego małej maszyny przepływowej, właściwościami dynamicznymi. Podstawowym problemem związanym z zastosowaniem niekonwencjonalnego czynnika roboczego dla łożysk nośnych maszyny jest realistyczna ocena ryzyka eksploatacyjnego związanego z niezawodnością i pewnością jej działania w różnych warunkach funkcjonowania.

Niekonwencjonalne łożyska nośne mogą być powodem szeregu ograniczeń i trudności eksploatacyjnych związanych z ich poprawnym funkcjonowaniem. Wymagają one zastosowania specjalnych rozwiązań technicznych i wiarygodnej metodyki projektowania dla zapewnienia wymaganej pewności ruchu. Prawidłowa ocena ryzyka eksploatacyjnego związanego z budową bezolejowych maszyn przepływowych wymaga doświadczenia oraz wiedzy i zrozumienia zasad determinujących poprawne działanie poszczególnych jej elementów. Ocena taka wymaga także zgromadzenia wiedzy związanej z realizacją odpowiednich badań eksperymentalnych prototypów w laboratorium i w warunkach zbliżonych do rzeczywistej eksploatacji. Prowadzone w IMP PŁ badania teoretyczne i eksperymentalne wysokoobrotowych niekonwencjonalnych układów łożyskowych wskazują jednoznacznie, że realną i, co ważne, relatywnie tanią alternatywą w

wyborze łożyskowania pewnej grupy maszyn przepływowych są foliowe łożyska aerodynamiczne.

Cel i zakres prowadzonych badań

Badania nad łożyskami foliowymi rozpocząłem praktycznie zaraz po obronie doktoratu. Miało to związek z realizowanymi w moim zespole zadaniami projektu kluczowego, prowadzonego przez IMP PAN w Gdańsku. Prowadzone zadania wymagały m.in. opracowania konstrukcji hermetycznego turbogeneratora z łożyskami bezolejowymi. Jeden z planowanych wariantów konstrukcji zakładał użycie łożysk foliowych do podparcia jego rotora. Niestety na etapie wstępnych założeń projektu okazało się, że turbina parowa nie będzie dysponować wystarczającym momentem rozruchowym, aby przezwyciężyć moment tarcia w łożyskach. Ostatecznie, turbogenerator powstał jako maszyna ORC z łożyskami aerostatycznymi zasilanymi gazową fazą czynnika roboczego, jednak łożyska foliowe okazały się na tyle obiecującym i perspektywicznym kierunkiem rozwoju, że zapoczątkowano niezależne od pierwotnego źródła inspiracji prace badawcze. Prowadzone przeze mnie badania nad łożyskami foliowymi kontynuowały kilkudziesięcioletnią tradycję badań nad różnymi typami łożysk gazowych w IMP PŁ. Dotychczas, na przestrzeni wielu lat, w laboratoriach instytutu powstały udane konstrukcje szybkoobrotowych wrzecion, wiertarek i mikroturbin, w których wirniki podparto w łożyskach aerostatycznych lub wielosegmentowych z wahlwie podpartymi panewkami. Coraz szerszy wachlarz zastosowań łożysk foliowych i stopień zaangażowania różnych jednostek badawczych na całym świecie w rozwój tych niekonwencjonalnych podpór stał się inspiracją dla stworzenia bazy wiedzy na temat sposobów ich wytwarzania i implementowania w maszynach przepływowych. Znajomość technologii łożysk foliowych uważana jest za domenę nielicznych przedsiębiorców na świecie, głównie w Korei Południowej i Stanach Zjednoczonych, zatem dużym osiągnięciem byłby rozwój tej technologii w Polsce.

Program prowadzonych przeze mnie badań eksperymentalnych nad łożyskami foliowymi obejmował przede wszystkim eksperymentalne analizy właściwości eksploatacyjnych łożysk promieniowych i osiowych. Osobną dziedziną gromadzonej wiedzy był obszar modelowania numerycznego sprężystej struktury folii i filmu gazowego. Samo modelowanie właściwości łożysk foliowych jest zagadnieniem trudnym i jak do tej pory modelowano elementy składowe w sposób niezależny.

Kolejnym etapem, postrzeganym w perspektywie przyszłościowej będzie opracowanie sprzężonego modelu, zawierającego film gazowy i strukturę podatnych folii, uwzględniający na zasadzie superpozycji wzajemne interakcje między tymi elementami.

Ze względu na trudności w modelowaniu tych niekonwencjonalnych podpór, podstawowa wiedza na temat łożysk foliowych jest głównie gromadzona na drodze eksperymentalnej. W swojej pracy badawczej przeprowadziłem szereg eksperymentów mających na celu wyznaczenie pewnych właściwości łożysk jak również prześledzenie unikalnych zjawisk obecnych podczas ich pracy. Na przestrzeni kilku lat zostało zbadanych przeze mnie wiele cech eksploatacyjnych i szczegółów konstrukcyjnych. Poniżej wyszczególniłem i krótko scharakteryzowałem badane zagadnienia:

- Wpływ procedur technologicznych jak sposób wykonania elementów składowych łożysk, powłok przeciwтарыowych jakimi pokryto powierzchnie czopów i folii nośne [B1]. Sama technologia wykonania folii została usprawniona, przy czym uwagę skupiono na takich szczegółach jak np. sposób osadzenia folii w zamkach tulei, czy dobór metody zgrzewania, dający w efekcie optymalny kształt segmentu łożyska osiowego, sprzyjający powstawaniu stabilnego filmu gazowego.
- Praca łożysk pod silnym obciążeniem, przy wydzielaniu znacznych ilości ciepła i przyspieszonym zużyciu powłok ochronnych. W tym celu zbudowałem stanowisko z wrzecionem elektrycznym, na czopie którego mocowałem tuleję łożyska promieniowego lub tarczę łożyska osiowego, a następnie przykładając znaczne obciążenie (rzędu kilkudziesięciu N) [A6]. W takiej konfiguracji mierzono moment tarcia i dokonywano wizualnej oceny procesu stopniowej degradacji powierzchni folii nośnej. W warunkach znacznych obciążeń określono fizyczne możliwości tych niekonwencjonalnych podpór. Wyznaczono również mapy mocy dyssypowanej przez badane łożyska.
- Zjawisko niestabilności termicznej mające charakter dodatniego sprzężenia zwrotnego i mogące w krótkim czasie doprowadzić do zniszczenia łożyska. Dla zaobserwowania tego zjawiska, w kontrolowanych warunkach doprowadzono do przeciążenia promieniowego łożyska foliowego o zwiększonym wcisku. Proces powstawania tego zjawiska został przeze mnie zbadany i dokładnie

udokumentowany, a także zostały wytypowane jego początkowe symptomy. W czasie jego rejestracji pomocna była m.in. kamera termowizyjna.

- Rozwój filmu gazowego w czasie rozruchu łożyska, oraz wyznaczenie grubości szczeliny łożyskowej i rozkładu ciśnienia w czasie wirowania czopa wału. W tym celu skonstruowałem specjalną tuleję posiadającą precyzyjne czujniki optyczne przemieszczenia (o rozdzielczości $\pm 0,2 \mu\text{m}$), mierzące pośrednio grubość szczeliny powietrznej poprzez pomiar ugięcia folii sprężystej. Tuleja zawierała również przyłączy z otworkiem pomiarowym w folii nośnej dla pomiaru ciśnienia wewnątrz filmu gazowego. W wyniku tych badań stwierdzono np., że proces powstawania filmu gazowego zachodzi trójetapowo, a z kolei w trakcie badań nad ciśnieniem wewnątrz szczeliny łożyskowej najbardziej interesujący okazał się fakt wystąpienia podciśnienia po stronie przeciwnej do kierunku przyłożonego obciążenia.
- Rozwiązanie usprawniające łożysko promieniowe, polegające na wprowadzeniu folii pośredniej pomiędzy istniejącą folię nośną i sprężystą. W wyniku badań okazało się, że taka modyfikacja zwiększa współczynnik nośności jednostkowej, przeciwdziała osiadaniu folii nośnej pomiędzy uwypukleniami folii sprężystej, zmniejsza moment tarcia w podporze, przez co powoduje dyssypowanie mniejszej ilości ciepła strat (nawet o 25% mniej), a tym samym zwiększa margines stabilności termicznej łożyska.
- Właściwości sprężysto – tłumiące zespołu podatnych folii. Badania te przeprowadzono na zbudowanym w tym celu stanowisku badawczym z utwierdzonym nieruchomym czopem, na którym tuleję wzbudzano wymuszeniem harmonicznym. Taka konfiguracja pozwoliła na wyeliminowanie wpływu filmu gazowego. Wpływ uformowanego sztywnego filmu gazowego pominąłem z dwóch powodów. Uformowany ciągły film gazowy w czasie normalnej pracy łożyska ma wysoką, o rząd większą sztywność i jako składnik układu szeregowego dwóch elementów sprężystych (gaz – struktura folii) w praktyce w bardzo niewielkim stopniu wpływa na dynamikę łożyska. O zachowaniu dynamicznym zespołu wirującego maszyny decydują więc właściwości dynamiczne zespołu współpracujących elastycznych folii łożysk nośnych maszyny. Drugim powodem jest fakt, że problematyka analiz numerycznych filmu gazowego łożysk aerostatycznych i aerodynamicznych została już wielokrotnie publikowana w wielu publikacjach pracowników IMP PŁ. Jednym z ciekawszych

przykładów takich publikacji jest praca doktorska dr inż. Elizy Tkacz [PROM1], która szczegółowo analizuje to zagadnienie również z uwzględnieniem nietypowej geometrii filmu gazowego łożyska foliowego. W oparciu o otrzymane wyniki opracowałem i zweryfikowałem model numeryczny [A9][B7] podatnej struktury folii, który po odpowiednim nastrojeniu z powodzeniem może być zastosowany w złożonych modelach numerycznych dynamiki rotorów wysokoobrotowych maszyn przepływowych.

- Właściwości eksploatacyjne prototypowej dmuchawy promieniowej. W laboratorium zbudowałem prototyp dmuchawy z łożyskami foliowymi, napędzany silnikiem synchronicznym z magnesami z magnesami trwałymi, zasilany falownikiem. Jest to maszyna – demonstrator technologii bezolejowego łożyskowania wysokoobrotowego, w którym wykorzystano wieloletnie doświadczenie zebrane przeze mnie podczas badań eksperymentalnych i analiz numerycznych związanych z konstrukcją i technologią wykonywania łożysk foliowych maszyn przepływowych. Na tak skonstruowanym stanowisku zbadałem zachowanie się rotora podpartego w zaprojektowanych łożyskach, jego dynamikę w szerokim zakresie prędkości obrotowej, a także siły wywołane oddziaływaniem przepływającego powietrza na wirnik dmuchawy. Dla zrealizowania tego ostatniego zadania, wykorzystując charakterystykę podatności wzdłużnych łożysk foliowych opracowałem i przetestowałem system szacowania siły osiowej w maszynie, działający w czasie rzeczywistym. Na stanowisku badawczym dokonałem również, w warunkach kontrolowanych, do zamierzonego przekroczenia nośności łożyska osiowego i tym samym do jego zniszczenia. Zniszczenie łożyska, jakkolwiek będące zdarzeniem niekorzystnym, ujawniło jeszcze jedną zaletę łożysk foliowych – jego zdolność do ograniczania rozmiaru uszkodzeń. W opisywanym zdarzeniu uszkodzeniu uległ tylko pakiet folii łożyska osiowego, a pozostałe elementy maszyny zostały nienaruszone. Taka cecha z j. angielskiego nazywana jest jako „soft failure” i jest bardzo pożądana z punktu widzenia eksploatacji maszyn wirnikowych.

Wykorzystując swoją wiedzę i doświadczenie w dziedzinie projektowania i badań łożysk foliowych prowadziłem kilka zadań badawczych prowadzonych na zlecenie zewnętrznych ośrodków badawczych. Zadania badawcze miały na celu opracowanie optymalnego rozwiązania łożyskowania w oparciu o łożyska foliowe w oparciu o

specyficzne warunki pracy maszyny wyszczególnione przez zamawiającego [PB6], [PB7], [PB9].

Doświadczenie zdobyte w ramach badań nad łożyskami foliowymi zaowocowało podjęciem jeszcze bardziej ambitnego zadania jakim jest opracowanie rozwiązania łożyskowania wirnika turbosprężarki wspomaganej elektrycznie (ang. electric assisted turbocharger) [PB10]. Od lutego 2019r. jestem kierownikiem zespołu prowadzącego przemysłowy projekt badawczy obejmujący m.in. opracowanie technologii łożyskowania foliowego dla prędkości 200 tys. obr/min, projekt techniczny maszyny, symulacje numeryczne nośności łożysk, wytrzymałości wału i jego dynamiki oraz wykonanie prototypu i testy laboratoryjne w warunkach eksploatacyjnych. Ostatnim etapem pracy będzie współpraca z kontrahentem we wdrożeniu rozwiązania do produkcji seryjnej. Projekt badawczy jest prowadzony na zlecenie międzynarodowej firmy działającej w obszarze zaawansowanych technologii lotniczych i sportów motorowych (ze względu na zawarte porozumienie o poufności, nie mogę przedstawić więcej szczegółów).

Opis monografii habilitacyjnej

Prezentowana monografia (załącznik nr 4), będąca głównym osiągnięciem naukowym habilitanta, stanowi podsumowanie doświadczeń naukowych zebranych przeze mnie w trakcie realizacji wieloletnich prac związanych z rozwojem foliowych łożysk gazowych wirników maszyn przepływowych. Przedstawione zostały specyficzne aspekty konstrukcyjne i technologiczne umożliwiające czytelnikowi zrozumienie złożoności zasad funkcjonowania tych pozornie prostych w budowie łożysk wzdłużnych i poprzecznych.

Głównym naukowym akcentem monografii jest prezentacja podstaw teoretycznych oraz autorskich procedur badawczych, obliczeniowych i eksperymentalnych, które wykorzystałem do budowy unikatowej, prototypowej dmuchawy z foliowymi łożyskami poprzecznymi i wzdłużnymi smarowanymi powietrzem atmosferycznym.

W pracy uwzględniłem również rys historyczny i genezę tych niekonwencjonalnych rozwiązań technicznych podpór łożyskowych z uwzględnieniem podziału na kolejne generacje konstrukcyjne łożysk foliowych i pokazaniem istotnych różnic w budowie każdej kolejnej generacji, a także wpływie konstrukcji na uzyskiwane charakterystyki funkcjonowania.

Poszczególne rozdziały mojej monografii przedstawiają w sposób chronologiczny rozwój i przebieg badań teoretycznych i eksperymentalnych, które doprowadziły do opracowania własnej, autorskiej metodyki obliczania i projektowania foliowych łożysk gazowych oraz pozwoliły na opanowanie nisko-kosztowych technologii ich wytwarzania. Obejmują one:

- Klasyfikacje łożysk gazowych i wyjaśnienia związane z praktycznym funkcjonowaniem łożysk zasilanych - aerostatycznych i samodiałających – aerodynamicznych.
- Wprowadzenie do konstrukcji gazowych łożysk foliowych obejmujące zagadnienia związane z ich budową i zasadą działania oraz procesem produkcyjnym elementów składowych łożysk foliowych. Zobrazowałem tu główny obszar zastosowań łożysk tego typu w rozwiązaniach przemysłowych i dokonałem, na podstawie literatury broszur firmowych i stron internetowych zagranicznych wytwórców, przeglądu wybranych konstrukcji bezolejowych maszyn przepływowych funkcjonujących w przemyśle.
- Omówienie materiałów służących do wytwarzania łożysk foliowych i, co ważniejsze, stosowanych powłok pokrycia powierzchni współpracujących. Są to bardzo istotne zagadnienia w technologii budowy łożysk foliowych, ponieważ determinują one żywotność podpory łożyskowej i straty mechaniczne w trakcie rozruchu, a w trakcie normalnej pracy oraz decydują o możliwościach funkcjonowania łożysk w określonym medium roboczym i w określonym zakresie temperatur.
- Opis szerokiego spektrum wykonanych przeze mnie badań eksperymentalnych łożysk foliowych. Została zbadana m.in. nośność podpór promieniowych i osiowych, poddano analizie proces formowania się filmu gazowego w szczelinie łożyskowej, a także zmierzono rozkłady ciśnienia wewnątrz filmu przy różnych warunkach obciążenia i prędkości obrotowej czopa.
- Procesy modelowania foliowych łożysk gazowych opisano w kolejnej części monografii. Przedstawiono w niej modele numeryczne symulujące zachowanie się sprężystej struktury folii, które zostały zweryfikowane przez porównanie ich wyników z badaniami eksperymentalnymi.
- Osobny rozdział prezentuje konstrukcję zaprojektowanej i zbudowanej od podstaw przeze mnie, prototypowej dmuchawy promieniowej, której wirnik

podparto w opracowanych na podstawie przeprowadzonych badań i analiz łożyskach foliowych. Zawiera on także zarejestrowane wyniki badań dynamiki ruchu rotora oraz pokazuje nowatorską koncepcję wykorzystania podatności łożyska foliowego do estymacji wartości obciążeń oddziałujących na rotor w trakcie funkcjonowania maszyny.

Zgromadzona w monografii wiedza jest bardzo istotna z naukowego punktu widzenia, ale także wnosi wiele informacji niezwykle ważnych w zastosowaniach i eksploatacji łożysk foliowych. W literaturze technicznej związanej z funkcjonowaniem i aplikacjami foliowych łożysk gazowych w maszynach przepływowych uwidacznia się wyraźny deficyt wiedzy związanej z praktyczną, zweryfikowaną eksperymentalnie metodyką ich projektowania i szczegółami budowy. Dlatego uzasadnione jest stwierdzenie, że monografia i zawarte w niej informacje stanowią znaczące uzupełnienie wiedzy przeznaczonej dla inżynierów i badaczy, którzy mając na uwadze wady i zalety tego rozwiązania technicznego zdecydują się na aplikację foliowych łożysk gazowych w maszynach przepływowych, w których ze względu na specyfikę pracy nie mogą być wykorzystane tradycyjne łożyska.

Podsumowanie osiągnięć

Efektom mojej działalności naukowo-badawczej i moim wkładem w rozwój dyscypliny Budowa i Eksploatacja Maszyn jest:

- Wyznaczenie granicznych możliwości stosowania technologii łożyskowania foliowego,
- Wprowadzenie do klasycznego rozwiązania dodatkowej folii pośredniej, która istotnie zwiększa nośność łożyska i jednocześnie zwiększa marginesy stabilności termicznej,
- Przeprowadzenie i zarejestrowanie zjawiska niestabilności termicznej z uchwyceniem jego wczesnych symptomów,
- Opracowanie metody pomiaru siły osiowej maszyny przepływowej działającego w czasie rzeczywistym,
- Przeprowadzenie w warunkach kontrolowanych procesu zniszczenia silnie obciążonego łożyska osiowego dmuchawy przepływowej, które udowodniło skłonności łożysk foliowych do tzw. „soft failure”,

- Przeprowadzenie i zarejestrowanie procesu formowania się filmu gazowego w łożysku poprzecznym,
- Zarejestrowanie rozkładu obwodowego ciśnienia w łożysku promieniowym podczas jego pracy,
- Opracowanie metody wyznaczania globalnych współczynników sztywności i tłumienia poprzecznego łożyska foliowego,
- Opracowanie wiarygodnego modelu numerycznego sprężystej struktury foliowej.

V. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych

A) Wykaz innych (niewchodzących w skład osiągnięcia wymienionego w pkt. 4) opublikowanych prac naukowych:

Pełne referencje do artykułów cytujących moje publikacje z części Publikacje z wykazu czasopism naukowych posiadających współczynnik wpływu Impact Factor (IF) zamieściłem w załączniku 8 Osiągnięcia publikacyjne potwierdzone na Web of Science.

1. Monografie, rozdziały w książkach, doktorat

- M1. **Łagodziński, J.**, Niekonwencjonalne Konstrukcje Układów Mechanicznych Wspomagane Polem Magnetycznym, Rozprawa Doktorska, Politechnika Łódzka, 2009r.
- M2. Z. Kozanecki, D. Kozanecka, P. Klonowicz, **J. Łagodziński**, M. Gizelska, E. Tkacz, K. Miazga, A. Kaczmarek. Monografia pt.: *Bezolejowe Maszyny Przepływowe Małej Mocy*. Praca zbiorowa pod redakcją prof. dr hab. inż. Zbigniewa Kozaneckiego. Wydawnictwa Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk 2014 – współautor

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu rozdziałów 2.3.4-5, 2.4.2-3, 4.1.2, 5.1.2-3, 5.3. Ponadto brałem udział w przeglądzie literatury brałem i w zgromadzeniu materiałów pomocniczych do monografii oraz przy jej końcowej edycji. Mój udział procentowy szacuję na 20%.

2. Publikacje inne (niewchodzące w skład osiągnięcia wymienionego w punkcie IV) z wykazu czasopism naukowych posiadających współczynnik wpływu Impact Factor albo wyróżnionych w bazie Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z latami ich wydania

- A1. **Łagodziński, J.**, Kozanecki, Z., Tkacz, E., Miazga, K. 2014 *Oil-Free Bearings for Hermetic High-Speed Turbomachinery*. Journal Of Vibration Engineering & Technologies (wcześniej: Advances in Vibration Engineering). Krishtel Emaging Solutions IF=0.290 (2013) MNiSW 15pkt

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na przygotowaniu modeli geometrycznych i opracowaniu modelu numerycznego. Przeprowadziłem obliczenia i zebrałem dane z symulacji. Brałem udział w przeglądzie literatury, opracowaniu i analizie wyników oraz w opracowaniu dyskusji wniosków. Mój udział procentowy szacuję na 20%.

- A2. **Łagodziński J.**, Kozanecka D., Kozanecki Z. (2011) *Active magnetic damper in a power transmission system*, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, Journal Elsevier, No 16 (2011), pp. 2273-2278. www.elsevier.com/locate/cnsns_1567. IF=2.569 (2014) MNiSW 40pkt

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na przygotowaniu modeli geometrycznych i opracowaniu modelu numerycznego. Przeprowadziłem obliczenia i zebrałem dane z symulacji. Następnie przeprowadziłem weryfikację modelu na stanowisku badawczym. Brałem udział w przeglądzie literatury, opracowaniu i analizie wyników oraz w opracowaniu dyskusji wniosków. Mój udział procentowy szacuję na 30%.

- A3. **Łagodziński J.**, Kozanecki Z., Tkacz E., Miazga K. *Theoretical and experimental investigations of oil-free bearings and their application in diagnostics of high-speed turbomachinery* Key Engineering Materials Vol. 588 (2014) pp 302-309 Online available since 2013/Oct/11 at www.scientific.net (2014) Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.588.302 IF=0.21 (2014) MNiSW 8pkt

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na przygotowaniu modeli geometrycznych i opracowaniu modelu numerycznego. Przeprowadziłem obliczenia i zebrałem dane z symulacji. Brałem udział w przeglądzie literatury, opracowaniu i analizie wyników oraz w opracowaniu dyskusji wniosków. Mój udział procentowy szacuję na 25%.

- A4. Kryllowicz W, Magiera R, **Łagodziński J**, Sobczak, K Liskiewicz, G, *Aerodynamical and Structural Design of the Diagonal Blower and Its Numerical and Experimental Validation* Advances in Vibration Engineering Volume: 2 Issue: 5 Pp. 459-468 (2014), IF=0.1531 (2014) MNiSW 8pkt

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na przygotowaniu modeli geometrycznych i opracowaniu modelu numerycznego. Przeprowadziłem obliczenia i zebrałem dane z symulacji. Brałem udział w przeglądzie literatury, opracowaniu i analizie wyników oraz w opracowaniu dyskusji wniosków. Mój udział procentowy szacuję na 15%.

- A5. **Łagodziński J.**, Kozanecka D., Kozanecki Z., Tkacz E., *Experimental Research Of Oil-Free Support Systems To Predict The High-Speed Rotor Bearing Dynamics*, International Journal of DYNAMICS and Control, Springer Berlin Heidelberg (2014), DOI 10.1007/s40435-014-0074-9, Article 8 pages. Online available since March 19, 2014. **IF=0.321 (2014)**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na przygotowaniu modeli geometrycznych, opracowaniu modelu numerycznego i zbudowaniu stanowiska badawczego, na którym przeprowadziłem testy weryfikujące model numeryczny. Brałem udział w przeglądzie literatury, opracowaniu i analizie wyników oraz w opracowaniu dyskusji wniosków. Mój udział procentowy szacuję na 25%.

- A6. Kozanecki, Z., **Łagodziński, J.**, Tkacz, E., Miazga, K., *Performance of thrust airfoil bearing for oil-free turbomachinery*, Journal of Vibrational Engineering and Technologies 6(1),8 2018 Volume: 6 Issue: 1 DOI: 10.1007/s42417-018-0001-z IF=0.615 (2018) MNiSW 8pkt

Mój wkład w przygotowanie publikacji polegał na współudziale w przygotowaniu metodyki przeprowadzenia badań. Konsultowałem i brałem udział przy

projektowaniu stanowiska wykorzystanego do opisanych badań doświadczalnych. Wspólnie z innymi autorami przygotowałem przegląd literatury. Przygotowałem prezentację wyników w formie tabelarycznej i graficznej. Brałem udział w opracowaniu i analizie wyników oraz w opracowaniu dyskusji wniosków i edycji pracy. Przygotowałem publikację do druku oraz prowadziłem korespondencję z edytorami i recenzentami. Mój udział procentowy szacuję na 60%.

- A7. Tkacz E., Kozanecki Z.; **Łagodzinski J.**, *Solenoid Actuator for a Cam less Control System of the Piston Engine Valve*. Edited by: Awrejcewicz, J.; Szewczyk, R.; Trojnacki, M.; et al. *Mechatronics: Ideas For Industrial Applications*, Book Series: *Advances in Intelligent Systems and Computing* Volume: 317 Pages: 141-148 Published: 2015 **IF=0.123** (2015)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zoptymalizowaniu konstrukcji prototypu za pomocą modelu numerycznego. brałem udział przy projektowaniu stanowiska wykorzystanego do opisanych badań doświadczalnych jak i w samych badaniach. Brałem udział w opracowaniu i analizie wyników oraz przygotowaniu dyskusji wniosków. Przygotowałem prezentację wyników w formie tabelarycznej i graficznej. Mój udział procentowy szacuję na 33%.

- A8. **Łagodziński, J.**, Z. Kozanecki, E. Tkacz, D. Kozanecka, *A Self-Acting Gas Journal Bearing with a Flexibly Supported Foil - Numerical Model of Bearing Dynamics*, *International Journal Of Structural Stability And Dynamics* Vol. 17 Issue: 5 DOI: 10.1142/S0219455417400120 opublikowano: czerwiec 2017 **IF=1.028 (2015) MNiSW 25pkt**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał weryfikacji modeli numerycznych. Brałem udział w przeglądzie literatury, opracowaniu i analizie wyników oraz w opracowaniu dyskusji wniosków. Przygotowałem publikację do druku oraz prowadziłem korespondencję z edytorami i recenzentami. Mój udział procentowy szacuję na 25%.

- A9. Kozanecki, Z; Kozanecka, D; **Łagodzinski, J.**; Tkacz, E, *Numerical and Experimental Investigations of Oil-Free Support Systems to Predict High-Speed*

Rotor Bearing Dynamics, Journal Of Vibration Engineering & Technologies Vol. 3 Issue: 6 pp. 759-768 IF=0.12 (2015) MNiSW 8pkt

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na weryfikacji modeli numerycznych. Brałem udział przy projektowaniu stanowiska wykorzystanego do opisanych badań doświadczalnych jak i w samych badaniach. Wziąłem udział w przeglądzie literatury, opracowaniu i analizie wyników oraz w opracowaniu dyskusji wniosków. Mój udział procentowy szacuję na 25%.

A10. Kozanecki, Z., **Łagodziński, J.**, Tkacz, E., Miazga, K. *High-speed Hermetic Turbogenerator With A Hybrid Bearing System*, Journal Of Vibrational Engineering And Technologies 6(1),8 2018 Volume: 6 Issue: 4 pp. 325-331 DOI: 10.1007/s42417-018-0042-3 IF=0.615 (2018) MNiSW 8pkt

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na przygotowaniu modeli geometrycznych, opracowaniu modelu numerycznego i zbudowaniu stanowiska badawczego, na którym przeprowadziłem testy weryfikujące model numeryczny. Brałem udział w przeglądzie literatury, opracowaniu i analizie wyników oraz w opracowaniu dyskusji wniosków. Mój udział procentowy szacuję na 25%.

3. Publikacje inne (niewchodzące w skład osiągnięcia wymienionego w punkcie IV) z wykazu czasopism naukowych nieposiadających współczynnika wpływu Impact Factor (IF), zgodnie z latami ich wydania

B1. **Łagodziński J.**, Kozanecki Z., Miazga K., Tkacz E., 2011, *Investigations of Coating Materials for Air-Foil Bearings*, Ciepłne Maszyny Przepływowe nr 140 s. 149-156, IMP PŁ, Łódź, 2011. **MNiSW 1pkt**

Mój wkład w przygotowanie publikacji polegał na współudziale w przygotowaniu metodyki przeprowadzenia badań. Konsultowałem i brałem udział przy projektowaniu stanowiska wykorzystanego do opisanych badań doświadczalnych. Wspólnie z innymi autorami przygotowałem przegląd literatury. Brałem udział w opracowaniu i analizie wyników oraz w opracowaniu dyskusji wniosków i edycji pracy. Mój udział procentowy szacuję na 25%.

- B2. **Łagodziński J.**, Kozanecki Z., Kozanecka D., Tkacz E, *Niekonwencjonalne Bezolejowe Łożyska Wysokoobrotowe Turbogenerators Dła Obiegu ORC*, Ciepne Maszyny Przepływowe nr 144, IMP PŁ, Łódź, 2013. **MNiSW 1pkt**

Mój wkład w przygotowanie publikacji polegał na współudziale w przygotowaniu metodyki przeprowadzenia badań. Konsultowałem i brałem udział przy projektowaniu stanowiska wykorzystanego do opisanych badań doświadczalnych. Dokonałem weryfikacji modeli numerycznych. Wspólnie z innymi autorami przygotowałem przegląd literatury. Przygotowałem prezentację wyników w formie tabelarycznej i graficznej. Brałem udział w opracowaniu i analizie wyników oraz w opracowaniu dyskusji wniosków i edycji pracy. Mój udział procentowy szacuję na 33%.

- B3. **Łagodziński J.** Kozanecki Z., *Magnetic Thrust Bearing for the ORC High – Speed Microturbine Solid State Phenomena Vol. 198 (2013) pp 348-353* Online available since 2013/Mar/11 at www.scientific.net © (2013) Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/www.scientific.net/SSP.198.348 **MNiSW 10pkt**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zoptymalizowaniu konstrukcji prototypu za pomocą modelu numerycznego. brałem udział przy projektowaniu stanowiska wykorzystanego do opisanych badań doświadczalnych jak i w samych badaniach. Brałem udział w opracowaniu i analizie wyników oraz przygotowaniu dyskusji wniosków. Przygotowałem prezentację wyników w formie tabelarycznej i graficznej. Przygotowałem publikację do druku oraz prowadziłem korespondencję z edytorami i recenzentami. Mój udział procentowy szacuję na 60%.

- B4. **Łagodziński J.**, Gizelska M., Kozanecka D., Kozanecki Z., *Estimation of External Forces in the Rotating System with an Active Magnetic Suspension Solid State Phenomena Vol. 199 (2013) pp 21-26* Online available since 2013/Mar/18 at www.scientific.net © (2013) Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/www.scientific.net/SSP.199.21 **MNSiW 10pkt**

Mój wkład w przygotowanie publikacji polegał na współudziale w przygotowaniu metodyki przeprowadzenia badań. Konsultowałem i brałem udział przy projektowaniu stanowiska wykorzystanego do opisanych badań

doświadczalnych. Wspólnie z innymi autorami przygotowałem przegląd literatury. Brałem udział w opracowaniu i analizie wyników oraz w opracowaniu dyskusji wniosków i edycji pracy. Mój udział procentowy szacuję na 25%.

- B5. **Łagodziński, J.**, Miazga, K., Musiał, *Application of a compliant foil bearing for the thrust force estimation in the single stage radial blower*. Ciepłne Maszyny Przepływowe nr 145 s. 87-88, IMP PŁ, Łódź, (2014). **MNiSW 1pkt**

Mój wkład w przygotowanie publikacji polegał na współudziale w przygotowaniu metodyki przeprowadzenia badań. Brałem udział przy projektowaniu stanowiska wykorzystanego do opisanych badań doświadczalnych jak i w samych badaniach. Wziąłem udział w opracowaniu i analizie wyników oraz przygotowaniu dyskusji wniosków. Przygotowałem prezentację wyników w formie tabelarycznej i graficznej. Przygotowałem publikację do druku oraz prowadziłem korespondencję z edytorami i recenzentami. Mój udział procentowy szacuję na 50%.

- B6. **Łagodziński, J.**, Tkacz, E., Kozanecka, D., Kozanecki, Z., *Oil free bearing development for high-speed turbomachinery in distributed energy systems – dynamic and environmental evaluation*. Ciepłne Maszyny Przepływowe nr 145 s. 87-88, IMP PŁ, Łódź, (2014). **MNiSW 1pkt**

Mój wkład w przygotowanie publikacji polegał na współudziale w przygotowaniu metodyki przeprowadzenia badań. Brałem udział przy projektowaniu stanowiska wykorzystanego do opisanych badań doświadczalnych jak i w samych badaniach. Zweryfikowałem modele numeryczne. Wziąłem udział w opracowaniu i analizie wyników oraz przygotowaniu dyskusji wniosków. Mój udział procentowy szacuję na 25%.

- B7. Tkacz E., Kozanecka D., Kozanecki Z., **Łagodziński J.**, *Oil-free bearing development for high-speed turbomachinery in distributed energy systems – dynamic and environmental evaluation*. Open Engineering. Volume 5, Issue 1 pp.343-348, ISSN (Online) 2391-5439, DOI: 10.1515/eng-2015-0044, September 2015 **MNiSW 11pkt**

Mój wkład w przygotowanie publikacji polegał na współudziale w przygotowaniu metodyki przeprowadzenia badań. Brałem udział przy projektowaniu stanowiska

wykorzystanego do opisanych badań doświadczalnych jak i w samych badaniach. Zweryfikowałem modele numeryczne. Wziąłem udział w opracowaniu i analizie wyników oraz przygotowaniu dyskusji wniosków. Mój udział procentowy szacuję na 25%.

- B8. **Łagodziński J.**, Miazga K., Musiał I. *Application of a compliant foil bearing for the thrust force estimation in the single stage radial blower*. Open Engineering. Volume 5, Issue 1, pp. 287-292 ISSN (Online) 2391-5439, DOI: 10.1515/eng-2015-0032, August 2015 **MNiSW 11pkt**

Mój wkład w przygotowanie publikacji polegał na współudziale w przygotowaniu metodyki przeprowadzenia badań. Brałem udział przy projektowaniu stanowiska wykorzystanego do opisanych badań doświadczalnych jak i w samych badaniach. Wziąłem udział w opracowaniu i analizie wyników oraz przygotowaniu dyskusji wniosków. Przygotowałem prezentację wyników w formie tabelarycznej i graficznej. Przygotowałem publikację do druku oraz prowadziłem korespondencję z edytorami i recenzentami. Mój udział procentowy szacuję na 50%.

Publikacje przed doktoratem

- PD1.J. Łagodziński Modelowanie pola magnetycznego metodą elementów skończonych w układzie detekcji ruchu suwaka wzmacniacza hydraulicznego Ciepłe Maszyny Przepływowe 131/2007 ISSN 0137-2261 **MNiSW 1pkt**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zoptymalizowaniu konstrukcji prototypu za pomocą modelu numerycznego. Zaprojektowałem stanowisko wykorzystane do opisanych badań doświadczalnych jak również przeprowadziłem same badania, na podstawie których opracowałem wyniki. Przygotowałem prezentację wyników w formie tabelarycznej i graficznej. Przygotowałem publikację do druku oraz prowadziłem korespondencję z edytorami i recenzentami. Była to moja samodzielna publikacja.

- PD2. Łagodziński, J. *Modelling of magnetic fields with the finite element method in machine diagnostic systems* (2009) Solid State Phenomena, 147-149, pp. 155-160. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.147-149.155 **MNSiW 10pkt**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zoptymalizowaniu konstrukcji prototypu za pomocą modelu numerycznego. Zaprojektowałem stanowisko wykorzystane do opisanych badań doświadczalnych jak również przeprowadziłem same badania, na podstawie których opracowałem wyniki. Przygotowałem prezentację wyników w formie tabelarycznej i graficznej. Przygotowałem publikację do druku oraz prowadziłem korespondencję z edytorami i recenzentami. Była to moja samodzielna publikacja.

PD3. Kozanecki Z., **Łagodzinski J.**, Kozanecka D., *Failure diagnosis of the gas compressor diaphragm vane*, DIAGNOSTYKA' 4(52)/2009 pp. 65-71 **MNiSW**
4pkt

Mój wkład w przygotowanie publikacji polegał na współudziale w przygotowaniu metodyki przeprowadzenia badań. Konsultowałem i brałem udział przy projektowaniu stanowiska wykorzystanego do opisanych badań doświadczalnych. Opracowałem i zweryfikowałem model numeryczny. Brałem udział w badaniach doświadczalnych. Wziąłem udział w opracowaniu i analizie wyników oraz przygotowaniu dyskusji wniosków. Przygotowałem prezentację wyników w formie tabelarycznej i graficznej. Przygotowałem publikację do druku oraz prowadziłem korespondencję z edytorami i recenzentami. Mój udział procentowy szacuję na 40%.

4. Wykaz doniesień konferencyjnych

Dokładny wykaz doniesień konferencyjnych zawarty jest w załączniku 6.

5. Podsumowanie dorobku publikacyjnego

W tym podpunkcie przedstawiłem całościowe zestawienie mojego dorobku publikacyjnego wraz z jego oceną parametryczną. Dane liczbowe zawarte zostały w tabeli 1.

Tabela 1. Podsumowanie dorobku publikacyjnego

Rok	Ilość publikacji		Doniesienia konferencyjne	Punkty MNiSW	Punkty IF	Cytowania z JCR	
	Wszystkie	Z listy JCR				Wszystkie	Bez autocytowań
Łącznie przed doktoratem							
2006-2009	3	0	4	8	0	0	0
Po doktoracie							
2010-2019	18	10	29	179	6,044	24	18
RAZEM	21	10	33	187	6,044	24	18

- Sumaryczny Impact Factor według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania: **6,044**;
- Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science: **24**; (**18 bez autocytowań**)
- Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS): **3**;
- Liczba cytowań publikacji według bazy Scopus: **40 (31 bez autocytowań)**;
- Indeks Hirscha według bazy Scopus: **5**;
- Suma punktów MNiSW: **187**.

VI. Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz informacja o współpracy międzynarodowej habilitanta

A) Kierowanie międzynarodowymi i krajowymi projektami badawczymi oraz udział w takich projektach

W ramach pracy naukowej brałem lub biorę aktualnie udział w 12 projektach, zarówno krajowych, jak i międzynarodowych oraz finansowanych w ramach funduszy europejskich z Europejskiego Funduszu Społecznego z programu Program Operacyjny Kapitał Ludzki. Przed doktoratem byłem wykonawcą dwóch projektów. Po uzyskaniu stopnia doktora jestem kierownikiem badań w jednym projekcie oraz

byłem kierownikiem trzech zadań w trzech projektach i jednego grantu z Funduszu Młodych Naukowców Na Wydziale Mechanicznym Politechniki Łódzkiej, zgodnie ze szczegółowym wykazem:

PB1. Projekt badawczy własny nr N N504 4505 33 pt: *System diagnostyczny układu wirującego maszyny z aktywnym łożyskowaniem magnetycznym* – projekt pod kierunkiem prof. Doroty Kozaneckiej, zakończony w 2010r. – **wykonawca projektu,**

PB2. Projekt badawczy pt: „*Soupape électromagnétique CAMLESS*”, prowadzonym w ramach umowy między Politechniką Łódzką a koncernem motoryzacyjnym PSA Peugeot Citroen (2012). Celem projektu było opracowanie bezkrzywkowego, elektromagnetycznego systemu sterowania zaworami silnika spalinowego. – **wykonawca projektu**

PB3. Projekt kluczowy nr POIG.01.01.02-00-016/08 pt. „Modelowe kompleksy agroenergetyczne jako przykład kogeneracji rozproszonej opartej na lokalnych i odnawialnych źródłach energii” W IMP PŁ wykonano prace nad zadaniem 5.5.: ”Badania eksperymentalne i prace projektowe zespołów łożysk, uszczelnień, wirników wysokoobrotowych oraz korpusów mikroturbiny”. Lider projektu: IMP PAN. Realizacja projektu w latach 2008-2013. - **wykonawca projektu.**

PB4. Projekt strategiczny NCBiR, Zadanie Badawcze Nr 4 pt. „Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych” Blok Tematyczny 1 - Siłownie poligeneracyjne, zadanie pt: ”Realizacja wysokoobrotowego hermetycznego turbogenerатора o mocy około 80 kW dla obiegu ORC z czynnikiem roboczym MDM”. Projekt współfinansowany przez NCBiR zgodnie z umową nr SP/E/4/65786/10 z dnia 28 maja 2010. Konsorcjum: IMP PAN - Energa. Realizacja projektu w latach 2012-2015. - **wykonawca projektu**

PB5. Prace badawcze na mocy porozumienia techniczno – badawczego między Airbus Helicopters Polska sp. z o.o. a Politechniką Łódzką. Udział w projekcie pt: „*Flexible couplings prototype development and horizontal transmission tests*” (2015 – do chwili obecnej) - **wykonawca projektu**

PB6. Projekt kluczowy nr POIG.01.01.02-00-016/08 pt. „Modelowe kompleksy agroenergetyczne jako przykład kogeneracji rozproszonej opartej na lokalnych i odnawialnych źródłach energii” W ramach ww. projektu kluczowego wykonano

w 2013r. zadanie pt: „Projekt, wykonanie, montaż i testy stanowiska do badań grubości filmu gazowego w poprzecznym łożysku foliowym w warunkach rozruchu i eksploatacji” – **kierownik zadania**,

PB7. Program Badań Stosowanych I/A6/6/2012 pt: „Wykorzystanie materiałów termoelektrycznych do poprawy stabilności termicznej systemów łożyskowania wirników szybkoobrotowych”. W ramach tego projektu, w 2014r wykonano zadanie pt: „Opracowanie technologii wykonania oraz badania gazowych łożysk foliowych” – **kierownik zadania**,

PB8. Grant wewnętrzny z Funduszu Młodych Naukowców na Wydziale Mechanicznym Politechniki Łódzkiej pt. „*Badania eksploatacyjne dmuchawy promieniowej łożyskowanej foliowo*” (2015) - **kierownik grantu**,

PB9. Projekt nr 2016/21/D/ST8/01711 pt. „Badania i modelowanie procesów antywibracyjnych występujących w łożyskach wysokoobrotowych o zmiennej geometrii”, finansowany w latach 2017-2020 ze środków NCN - usługa badawcza zatytułowana „Opracowanie technologii wytwarzania folii ślizgowej łożyska o zmiennej geometrii” (2018) - **kierownik zadania**,

PB10. Projekt przemysłowy „*Air foil bearings development and industrialization support*“, obejmujący opracowanie technologii łożyskowania foliowego dla prędkości 200 tys. obr/min, projekt techniczny, symulacje numeryczne, wykonanie i testy eksploatacyjne oraz wdrożenie do produkcji seryjnej. Kontrahent - międzynarodowa firma z branży automotive/aerospace (poufne). Luty 2019 – do chwili obecnej – **kierownik projektu**.

Przed doktoratem

- *Développement d'un palier magnétique a commande numérique pour transmission arrière d'un hélicoptère* - bilateralna umowa na pracę naukowo – badawczą pomiędzy IMP PŁ a EADS Eurocopter realizowana w latach 2005-2007 - **wykonawca projektu**,
- *Simulations théoriques et essais expérimentaux du système «reed-switch»* - bilateralna umowa na pracę naukowo – badawczą pomiędzy IMP PŁ a EADS Eurocopter realizowana w roku 2007 - **wykonawca projektu**.

B) Zrealizowane oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne

Dokładny wykaz oryginalnych osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych i technologicznych został zawarty w załączniku nr 7.

C) Otrzymane nagrody i wyróżnienia

NAGR1. II nagroda w ogólnopolskim konkursie „Młodzi innowacyjni” na najlepszą pracę doktorską organizowaną przez Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów w Warszawie, 23 marca 2010.

NAGR2. Nagroda - Wyróżnienie pracy doktorskiej przez Dziekana – 2010.

NAGR3. Nagroda Rektora PŁ za osiągnięcia w pracy naukowej i dydaktycznej w latach 2009-2018, Łódź, wielokrotnie (za lata 2009, 2011, 2013, 2014, 2015, 2017, 2018,): **razem 7,**

Nagrody przed doktoratem:

- Dyplom im. Prof. Ludwika Mullera na XXXV Ogólnopolskim Sympozjum „Diagnostyka maszyn” w Węgierskiej Górze w 2008r, będącym wyróżnieniem najlepszego referatu wśród młodych naukowców.

D) Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych

Recenzowałem 1 referat zgłoszony na konferencję oraz 6 manuskryptów zgłoszonych do publikacji w różnych czasopismach naukowych zgodnie z wykazem poniżej:

REC1.Wierzcholski K.Miszczak A. *Temperature and Adhesion Influence on the Cylindrical Microbearing Operating Parameters*, **referat** wygłoszony na konferencji Mechatronic Systems And Materials (2012)

REC2.Żywica G., Kiciński J. The influence of selected design and operating parameters on the dynamics of the steam micro-turbine, **manuskrypt** w Central European Journal of Engineering (2014)

REC3.Bagiński P., Żywica G. The influence of temperature on dynamics of the rotor - foil bearing system, **manuskrypt** w Transactions of the IFFM (2016)

- REC4. Przybyłowicz P., Near-critical Behavior Of An Elastic Rotating Shaft Stabilized By Electromagnetic Actuators, **manuskrypt** w International Journal of Stability and Dynamics (2016)
- REC5. Adamowicz M., Żywica G., *Advanced gas turbines health monitoring systems*, **manuskrypt** w kwartalniku Diagnostyka (2018)
- REC6. Bagiński P., Żywica G. Determination Of The Lift-off Speed In Foil Bearings Using Various Measurement Methods **manuskrypt** w Mechanics and Mechanical Engineering (2018)
- REC7. Breńkacz Ł., Żywica G., Bogulicz M., Dynamic performance analysis of the rotor of a 30 kW ORC microturbine considering properties of aerodynamic gas bearings **manuskrypt** w Mechanics and Mechanical Engineering (2018)

E) Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie

Jestem współautorem dziewięciu ekspertyz, głównie dotyczących maszyn przepływowych dużej mocy:

- EXP1. Kryłłowicz W. **Łagodziński J.**, Beczkowski J. Analiza wytrzymałościowa wentylatora spalin, 2012
- EXP2. Kozanecki Z., Kryłłowicz W., **Łagodziński J.** Projekt koncepcyjny doświadczalnego stanowiska rozdrabniania biomasy dla celów spalania w kotłach energetycznych zlecniodawca: firma ŚWIĄTEK w Bydgoszczy (2012)
- EXP3. Kozanecki Z., Tkacz E. **Łagodziński J.** Andrzej Kaczmarek *Soupape Électromagnétique Camless*, zlecniodawca: PSA Peugeot Citroen, Listopad 2012
- EXP4. Kozanecki Z., Tkacz E. **Łagodziński J.** ,Projekt i wykonanie kompletu smarowanych cieczą roboczą łożysk ślizgowych hermetycznego turbogenerators ORC. Zlecniodawca: Turboservice sp. z o.o. , 2015
- EXP5. Kozanecki Z., **Łagodziński J.**, Papierski A. Ekspertyza Uszkodzeń Koła Wirnikowego Pierwszego Stopnia Kompresora 1C01 z Instalacji Hydrokraking, zlecniodawca: PKN Orlen Płock, lipiec 2017
- EXP6. **Łagodziński J.**, Magiera R., Analiza dynamiki rotora mieszarki WCMO-1050, zlecniodawca: Seco Warwick Świebodzin, styczeń 2018

EXP7. **Łagodziński J.**, Magiera R., Numeryczna analiza dynamiki wirnika mieszarki pieca pit Hindalco Indie, zleceniodawca: Seco Warwick Świebodzin, kwiecień 2018

EXP8. Współautorstwo ekspertyz przed doktoratem:

- Kozanecki Z., Najdecki S., **Łagodziński J.** Opinia techniczna dotycząca funkcjonowania pompy hermetic cnpk 200-360 na instalacji ekstrakcji aromatów w PKN ORLEN, 2006
- Kozanecki Z., **Łagodziński J.**, Więckowski S. Ekspertyza uszkodzenia łopatek diafragmy sprężarki dresser-rand i sprawdzenie poprawności koncepcji modernizacji na podstawie modelu obiektu, zleceniodawca: EuroPolGaz, lipiec 2008

F) Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego

PROM1. Dr inż. Eliza Tkacz, 2013-2015, „*Dynamika poprzecznego łożyska gazowego z podatnie podpartą folią*”, Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny – promotor pomocniczy

G) Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki

- Kierownik Przedmiotu Technologie i Maszyny Energetyczne II (Wydział Mechaniczny, kierunek Energetyka, studia pierwszego stopnia, niestacjonarne),
- Udział w 5 kursach i szkoleniach doskonalących umiejętności z zakresu dydaktyki, modelowania numerycznego i diagnostyki maszyn,
- W latach 2011 – 2016 Koordynator PŁ ds. praktyk studenckich w firmie Dalkia/Veolia Łódź,
- Członek Komisji dydaktycznej ds. Kierunku Energetyka – od 2017,
- Opiekun 18 prac inżynierskich i 6 magisterskich; trzy prace podopiecznych studentów zostały nagrodzone:
- I Nagroda dla inż. Ewy Wojtarkowskiej w konkursie na najlepszą pracę inżynierską o tematyce energetycznej organizowany przez Dalkię Łódź oraz Politechnikę Łódzką (2014)
- Wyróżnienie pracy mgr inż. Piotra Zielińskiego w Konkursie ŁRF SNT-NOT na najlepszą pracę magisterską w PŁ (2017)

- Nagroda Currana – Wernera dla mgr inż. Sebastiana Dziomdziory (2018)

VII. Podsumowanie dorobku i osiągnięć naukowo-badawczych habilitanta

Pełnie zestawienie osiągnięć w pracy naukowo-badawczej i wdrożeniowej habilitanta zawierają tabele 2 – 4.

Tabela 2. Dorobek naukowy

Lp.	Dorobek naukowy	Liczba		
		przed doktoratem	po doktoracie	Razem
1.	Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)	0	10	10
2.	Publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych lub krajowych, innych niż znajdujące się w bazie (JCR)	3	8	11
4.	Autorstwo/współautorstwo prac opublikowanych w monografiach polskojęzycznych	0	2	2
6.	Aktywny udział w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych	4	29	33
7.	Wygłoszone referatów na międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych	4	17	21
8.	Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych	0	7	7
	Dorobek naukowy razem	11	72	84

Tabela 3. Dorobek wdrożeniowy

Lp.	Dorobek wdrożeniowy	Liczba		
		przed doktoratem	po doktoracie	Razem
9.	Zrealizowane oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne	2	10	12
10.	Opracowania zbiorowe, katalogi zbiorów, dokumentacja prac badawczych i ekspertyz	6	29	35
11.	Kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z naukowcami z innych ośrodków polskich i zagranicznych oraz we współpracy z przedsiębiorcami	0	1	1
12.	Kierowanie zadaniami w projektach badawczych	0	3	3
	Dorobek wdrożeniowy razem	8	43	51

Tabela 4. Pozostałe osiągnięcia

Lp.	Pozostałe osiągnięcia	Liczba		
		przed doktoratem	po doktoracie	Razem
13.	Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze promotora pomocniczego	-	1	1
14.	Wykonane ekspertyzy	2	7	9
15.	Kierowanie międzynarodowymi i krajowymi projektami badawczymi oraz udział w takich projektach	2	9	11
16.	Otrzymane nagrody i wyróżnienia	2	8	10
17.	Nagrody i wyróżnienia podopiecznych studentów	0	3	3

*Jakub
Łagodziński*