

Dr inż. Jacek I Łubiński

Politechnika Gdańska

Wydział Mechaniczny

Katedra Konstrukcji Maszyn i Pojazdów

AUTOREFERAT

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

Gdańsk, marzec – lipiec 2017

SPIS TREŚCI

1. IMIĘ I NAZWISKO	3
2. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE Z PODANIEM NAZWY, MIEJSCA ROKU ICH UZYSKANIA ORAZ TYTUŁU ROZPRAWY DOKTORSKIEJ	3
3. INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH	3
4. WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA* WYNIKAJĄCEGO Z ART. 16 UST. 2 USTAWY Z DNIA 14 MARCA 2003R. O STOPNIACH NAUKOWYCH I TYTULE NAUKOWYM ORAZ O STOPNIACH I TYTULE W ZAKRESIE SZTUKI(DZ. U. NR 65, POZ. 595 ZE ZM.):	4
A) TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO/ARTYSTYCZNEGO	4
B) OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO/ARTYSTYCZNEGO WW. PRACY/PRAC I OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW WRAZ Z OMÓWIENIEM ICH EWENTUALNEGO WYKORZYSTANIA	6
5. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH	32
A) DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWO-BADAWCZA PROWADZONA PRZED DOKTORATEM.....	32
B) DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWO-BADAWCZA PROWADZONA PO DOKTORACIE.....	35
C) POZOSTAŁA DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWO-BADAWCZA	38
D) PUBLIKACJE W PRZYGOTOWANIU LUB ZŁOŻONE W WYDAWNICTWACH	41
E) ZREALIZOWANE ORYGINALNE OSIĄGNIĘCIA PROJEKTOWE, KONSTRUKCYJNE I TECHNOLOGICZNE	42
F) UDZIELONE PATENTY MIĘDZYNARODOWE I KRAJOWE	45
G) SUMARYCZNY <i>IMPACT FACTOR</i> WEDŁUG LISTY JOURNAL CITATION REPORTS (JCR), ZGODNIE Z ROKIEM OPUBLIKOWANIA:	45
H) LICZBA CYTOWAŃ PUBLIKACJI WEDŁUG BAZY WEB OF SCIENCE (WoS)	45
I) INDEKS HIRSCHA WEDŁUG BAZY WEB OF SCIENCE (WoS):.....	45
J) KIEROWANIE MIĘDZYNARODOWYMI I KRAJOWYMI PROJEKTAMI BADAWCZYMI ORAZ UDZIAŁ W TAKICH PROJEKTACH	46
K) MIĘDZYNARODOWE I KRAJOWE NAGRODY ZA DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWĄ	47
L) WYGŁOSZENIE REFERATÓW NA MIĘDZYNARODOWYCH I KRAJOWYCH KONFERENCJACH TEMATYCZNYCH	48
6. DOROBEK DYDAKTYCZNY I POPULARYZATORSKI ORAZ INFORMACJA O WSPÓŁPRACY MIĘDZYNARODOWEJ HABILITANTA	48
A) UCZESTNICTWO W PROGRAMACH EUROPEJSKICH ORAZ INNYCH PROGRAMACH MIĘDZYNARODOWYCH I KRAJOWYCH	48
B) UDZIAŁ W KOMITETACH ORGANIZACYJNYCH MIĘDZYNARODOWYCH I KRAJOWYCH KONFERENCJI NAUKOWYCH.....	49
C) OSIĄGNIĘCIA DYDAKTYCZNE I W ZAKRESIE POPULARYZACJI NAUKI LUB SZTUKI.....	49
D) CZŁONKOSTWO W MIĘDZYNARODOWYCH I KRAJOWYCH ORGANIZACJACH ORAZ TOWARZYSTWACH NAUKOWYCH.....	50
E) OPIEKA NAUKOWA NAD STUDENTAMI.....	50
F) STAŻE W ZAGRANICZNYCH I KRAJOWYCH OŚRODKACH NAUKOWYCH LUB AKADEMICKICH	50
G) WYKONANE EKSPERTYZY LUB INNE OPRACOWANIA NA ZAMÓWIENIE	52
H) RECENZOWANIE PUBLIKACJI W CZASOPISMACH MIĘDZYNARODOWYCH I KRAJOWYCH.....	53
I) INNE OSIĄGNIĘCIA, NIE WYMIENIONE WCZEŚNIEJ	53

1. Imię i Nazwisko

Jacek Igor Łubiński

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe z podaniem nazwy, miejsca roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- 2002 **Uzyskanie stopnia doktora w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie naukowej „budowa i eksploatacji maszyn”.** Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny. Tytuł rozprawy doktorskiej: *Badanie samowzbudnych drgań wywołanych tarciami w styku wybranych materiałów ceramicznych*. Promotor pracy - prof. dr hab. inż. Antoni Neyman.
- 1994 **Uzyskanie tytułu magistra inżyniera.** Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, kierunek Budowa Maszyn. Praca dyplomowa magisterska „Wyznaczanie momentu bezwładności silnika spalinowego metodą podwójnego wybiegu”. Promotor prof. dr hab. inż. Marian Cichy
- 1989 **Ukończenie III Liceum Ogólnokształcące w Gdyni** im. Marynarki Wojennej PRL (obecnie im. Marynarki Wojennej RP), klasa o profilu matematyczno-fizycznym z wykładowym językiem angielskim

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 2002-aktualnie **Adiunkt w Katedrze Konstrukcji Maszyn i Pojazdów** (wcześniej *Katedra Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn*), Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska.
- 1995-2002 **Asystent w Katedrze Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn**, Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska.
- 1994-1995 **Asystent w Katedrze Techniki Ciepłej**, Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska.
- 1993-1994 **Asystent stażysta w Katedrze Techniki Ciepłej**, Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska.

4. Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki(Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego

Jako osiągnięcie naukowe wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.) wskazuję jednotematyczny cykl publikacji zatytułowany:

„Studia nad wpływem właściwości mechanicznych otoczenia modelowego skojarzenia tribologicznego na przebieg i rezultaty eksperymentu laboratoryjnego z tarciem ślizgowym”.

Cykl ten tworzy autorska monografia habilitacyjna [A1] oraz 11 publikacji uzupełniających [A2-A12] wyszczególnionych w wykazie umieszczonym poniżej. Przedstawione publikacje stanowią własne osiągnięcia badawczo-naukowe dotyczące rozwoju metod doświadczalnego badania tarcia ślizgowego w zakresie suchym i granicznym oraz wpływu czynników występujących w otoczeniu modelowego skojarzenia ciernego na przebieg i wynik tego eksperymentu. Treść i główne wyniki badań zostały opisane w przewodniku w punkcie **4b** niniejszego autoreferatu.

Wybrane publikacje wchodzące w skład cyklu:

- A1. **Łubiński J. (100%): Wpływ wybranych właściwości maszyny badawczej na wyniki eksperymentu tribologicznego z tarciem ślizgowym.** Monografia nr 163, ISBN 978-83-7348-703-1, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej 2017, s. 152
- A2. **Łubiński J. (50%), Śliwiński P.,** Multi Parameter Sliding Test Result Evaluation for The Selection of Material Pair for Wear Resistant Components of a Hydraulic Motor Dedicated for Use With Environmentally Friendly Working Fluids. Solid State Phenomena, 2015, Vol. 225 , nr. 225, s.115-122
- A3. **Łubiński J. (50%),** Grymek S., Druet K., Olszewski H., Dynamics Conscious Approach to Tribometer Design and Tribo-testing, Key Engineering Materials [ISSN: 1662-9795] -Vol. 490., (2012), s.90-96
- A4. **Łubiński J. (55%),** Olszewski H., Olszewski A.: Wielomasowy dyskretny model tribometru do symulacyjnych badań dynamicznych charakterystyk tarcia. Tribologia. Teoria i Praktyka 2010, nr 6, s. 69-78
- A5. **Łubiński J. (50%),** Druet K., Olszewski A., Neyman A., Sikora J.: A Multi Rig Screening Test for Thin Ceramic Coatings in Bio-Tribological Applications. Journal of Biomechanics 2010, Vol.43, supp. 1, p. 552, (JCR IF 2,463, supl.)
- A6. **Łubiński J. I. (100%),** Improved validation of sliding friction characteristics by auxiliary vibration measurement, Lubricants, materials and lubrication engineering : 16th International Colloquium Tribology; January 15 - 17, 2008 in Stuttgart/Ostfildern, Germany / TAE, Ed. Wilfried J. Bartz - Ostfildern: Tech. Acad. Esslingen, 2008

- A7. Olszewski H., **Łubiński J. (50%)**, Badania symulacyjne samowzbudnych drgań wywołanych tarcie modelu tribometru PT-3, 'Teoria maszyn i mechanizmów' ed. red. Wojnarowski J., Adamiec-Wójcik I., Wydział Budowy Maszyn i Informatyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku Białej, Polski Komitet Teorii Maszyn i Mechanizmów przy Komitecie Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk. Bielsko-Biała, Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej, 2008, s.239-246, rozdział w monografii
- A8. **Łubiński J.I. (33%)**, **Łubiński T.**, Druet K., Układ pomiarowy oporów tarcia, szczególnie do urządzeń o próbkę obrotowej dociskanej osiowo do przeciwpółki, PL 196463, Decyzja UP RP z 15.05.2007, (rozwiązanie wdrożone i obecnie użytkowane).
- A9. **Łubiński J. I. (100%)**, Friction induced vibration in annular rotating sliding contact, 15th International Colloquium Tribology: book of synopses 2006, Stuttgart/Ostfildern, Germany, January 17-19, 2006. Ed. Wilfried J. Bartz - Ostfildern: Tech. Acad. Esslingen, 2006
- A10. **Łubiński J. I. (100%)**, Dynamic analysis of the test stand – the key to a successful sliding friction testing, Proceedings of the World Tribology Congress III, Washington D.C., U.S.A., 2005
- A11. **Łubiński, J.I. (55%)**, Druet, K. Grymek, Sz. Postacie samowzbudnych drgań ciernych podczas tarcia ślizgowego przejawem właściwości dynamicznych tribometru, Tribologia. Teoria i Praktyka 2003, nr 4, s. 301-314
- A12. **Łubiński J. (50%)**, Druet K., Neyman A.: Wpływ cech konstrukcyjnych stanowiska badawczego na proces tarcia ślizgowego. Pr. Nauk. Inst. Konstr. i Eksp. Masz. P. Wroc., 2002 nr 87, Konferencje nr 27 s. 208-213 XXV Jubileuszowa Szkoła Tribologiczna "Tribologia na progu trzeciego tysiąclecia", Łądek-Zdrój, 23-26 września 2002 r

Oświadczenia współautorów publikacji, potwierdzające ich indywidualny wkład w powstanie dorobku zostały umieszczone w załączniku 6.

b) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Przedmowa

Prezentowany syntetyczny opis najważniejszych publikacji jest podsumowaniem moich wieloletnich badań własnych i doświadczeń zgromadzonych podczas realizacji prac w zakresie tribologii oraz projektowania, rozwoju i realizacji nowych konstrukcji tribometrów w korelacji z metodyką eksperymentu tribologicznego (tribometologii). Dla ułatwienia orientacji w przedstawionym materiale wszystkie publikacje i pozostałe prace zostały oznaczone odpowiednimi symbolami literowymi poprzedzającymi ich numer, zgodnie ze opisem umieszczonym poniżej:

- [A..]** - jednotematyczny zbiór publikacji odnoszący się do ocenianego osiągnięcia naukowego,
- [B..]** - pozostałe publikacje związane z tribologią,
- [P..]** - patenty,
- [G..]** - granty i inne projekty badawcze,
- [W..]** – zrealizowane oryginalne osiągnięcia projektowe i wdrożenia
- [E..]** - ekspertyzy.

Dla ułatwienia analizy dorobku autora spis prac dodatkowo umieszczono w oddzielnym załączniku 4 dołączonym do wniosku.

Cel naukowy prowadzonych badań

Tribometr może być traktowany jako środowisko, w którym odbywa się eksperyment tribologiczny. Istnienie wpływu tego środowiska na wynik prowadzonego doświadczenia jest znane są od dawna i wiadomo, że może on powodować trudności w uzyskaniu zadowalających rezultatów pracy badawczej. Jako przykład skoordynowanych działań będących konsekwencją tej świadomości i próbę poprawy powtarzalności eksperymentów tribologicznych podawany jest program VAMAS, zainicjowany przez kraje G7 w latach 80-ych XX wieku. Jednym z osiągnięć tego przedsięwzięcia jest uzyskanie dowodów na możliwość występowania bardzo dużych rozrzutów wyników mierzonego współczynnika tarcia w pozornie jednakowych warunkach eksperymentu tribologicznego. Zarejestrowany rozrzut mieści się w przedziale od około 0,1 do około 1,2. Taki wynik trudno uznać za stan akceptowalny.

Ponieważ zarówno materiały tworzące skojarzenie ślizgowe, rodzaj smarowania oraz wartości zadawanych wymuszeń były, w przypadku wszystkich testów, nominalnie identyczne, należy przypuszczać, że przyczynami rozrzutów były różnice w otoczeniu skojarzenia ślizgowego. To bezpośrednie otoczenie stanowi sam tribometr, w którym odbywa się doświadczenie. Jego struktura, cechy poszczególnych elementów i interakcje między elementami stają się więc ważnymi czynnikami decydującymi o rozrzucie wyników pomiarów. Przykładem istotnego wpływu wzajemnego tarcia i maszyny są drgania cienne, mogące przyjmować różne formy i oddziaływać na warunki eksperymentu oraz sam pomiar.

W odniesieniu do prowadzonych przez autora badań doświadczalnych i symulacyjnych, analiz, prac projektowych oraz dociekań literaturowych można mówić o kilku ważnych, wzajemnie powiązanych celach, które dotyczą różnych obszarów tribologii oraz budowy i eksploatacji maszyn. Bazę dla pracy stanowią wieloletnie i szerokie własne badania tribologiczne oraz doświadczenia związane z konstruowaniem i optymalizacją tribometrów.

Na najbardziej fundamentalnym poziomie, szczególnie dla tribologii, cel naukowy został zdefiniowany jako **próba osiągnięcia postępu w zakresie powtarzalności i odtwarzalności eksperymentu tribologicznego z tarcieniem ślizgowym w zakresie bez znaczącego udziału efektów hydrodynamicznych i elastohydrodynamicznych przy wykorzystaniu laboratoryjnych urządzeń badawczych**. Przeprowadzone badania dotyczą wprost układów ze stykiem konforemnym płaskim i ruchu jednokierunkowego, chociaż osiągnięte wyniki w pewnym zakresie, pośrednio dotyczą również innych konfiguracji węzła tarcia i charakterystyki ruchu względnego. W sensie technicznym i praktycznym dla instrumentarium doświadczalnych badań tribologicznych cel został sformułowany jako praca nad **rozwojem narzędzi i metod prowadzenia eksperymentu tribologicznego z tarcieniem ślizgowym** w warunkach opisanych powyżej dla szerokiego zakresu prędkości ruchu względnego i obciążeń. Skutkiem tak sformułowanych kierunków badań stał się w konsekwencji cel związany z **identyfikacją właściwości stanowiska badawczego** w zależności od jego parametrów mechanicznych, które wynikają z postaci konstrukcyjnej. W rezultacie wyłonił się kolejny cel badawczy tj. osiągnięcie postępu w zakresie **zrozumienia i kontroli interakcji między stanowiskiem badawczym do badań tarcia i procesem tarcia wywoływanym w badanym skojarzeniu ślizgowym**. W praktyce takie założenie badawcze ukierunkowało pracę na identyfikację zachowania stanowiska

badawczego w różnych stanach pracy i ustalenia potencjalnego wpływu na tarcie. Przyjęto założenie, że tarcie ślizgowe między dwiema powierzchniami zależy od faktycznych wymuszeń na tych powierzchniach. Zazwyczaj zakłada się pełną zgodność sił i prędkości ruchu względnego z przyjętymi podczas przygotowania eksperymentu. Ten stan może zostać zakłócony przez zjawiska będące reakcją stanowiska na wywołane tarcia, co wywołuje zmianę wymuszeń i błędne wyniki pomiarów podczas doświadczenia. Jako obiekt i jednocześnie narzędzie przeprowadzonych badań wybrano tribometry z rodziny PT, wykorzystując niektóre unikatowe cechy tych maszyn, jednak intencją autora było uzyskanie rezultatów o charakterze ogólnym.

W konsekwencji podjęcia zadania identyfikacji właściwości samego stanowiska badawczego wyznaczony został następny ważny cel badawczy polegający na **rozwoju metodyki badań symulacyjnych interakcji między tarcie wywoływanym w tribometrze i tribometrem**, który jest maszyną, podobnie jak każda maszyna użytkowa wykorzystywana w przemyśle, czy przez konsumentów indywidualnych.

Zasadnicza komplikacja opisywanych zagadnień wynika z faktu wzajemnego powiązania wpływów tarcia wywoływanego w celach badawczych na tribometrze i odpowiedzi (z możliwością wpływu zwrotnego) tribometru na wywoływane tarcie. Pomimo znanego faktu istnienia wpływu układu mechanicznego z tarcie na skutki tego tarcia, nadal często **badania tribologiczne prowadzone są przy milczącym założeniu braku istotnego znaczenia tego wpływu w przypadku tribometru**. Taki stan rzeczy łatwo wytłumaczyć, ponieważ próba uwzględnienia oddziaływania maszyny oznacza de facto konieczność skierowania „wektora” uwagi na stanowisko i jego zachowanie maszyny jednocześnie z pierwotnym zjawiskiem tj. tarcie. Jest oczywiste, że podejmowanie w każdym przypadku badań tribologicznych dodatkowych badań interakcji tarcia z tribometrem jest niepraktyczne, a nawet mogłoby spowodować zaniechanie podjęcia wielu ważnych i interesujących tematów naukowych.

Wczesne doświadczenia autora, gromadzone przed uzyskaniem stopnia doktora oraz w trakcie realizacji pracy doktorskiej, doprowadziły do przekonania o powszechnym występowaniu opisywanych problemów. W zależności od szczególnych uwarunkowań badawczych, wpływ wzajemnego oddziaływania tribometr – skojarzenie cierne na wynik eksperymentu może być pomijalny lub decydujący o powodzeniu przedsięwzięcia. Poprawa zrozumienia opisywanych zespołów zjawisk stanowi krok w kierunku uzyskania kontroli nad nimi.

W konsekwencji autor prowadził swoje dociekania z pełną świadomością trudności i złożoności zagadnienia, co wymusiło określenie pewnego zakresu badań i wyboru tematyki dla realizowanego etapu dociekań. Z uwagi na fakt, iż cały przedstawiony nurt dociekań naukowych wywodzi się z badań samowzbudnych drgań ciernych (SDC) kwestia ta stanowi istotną część zakresu zrealizowanych prac.

W ramach przyjętego celu ogólnego można przyjąć następujące zakresy tematyczne opisujące cele szczegółowe:

1. Rozwój metod projektowania tribometrów i eksperymentu tribologicznego poprzez połączenie wyników analizy danych doświadczalnych z badań tarcia, szczegółowego modelowania maszyny (CAD) i analiz jej właściwości (MES). Do metody należy również zaliczyć możliwość „dostrojenia” stanowiska do zadania w oparciu o znajomość jego

- charakterystyk i dane ze wstępnych badań. Podobnie można takie dane wykorzystać podczas ustalania zakresu wymuszeń umożliwiającego prowadzenie doświadczeń bez występowania zakłóceń takich jak drgania wywołane tarciami [A1, A5, A10].
2. Wzbogacenie i udoskonalenie metod nadzoru nad przebiegiem eksperymentu (głównie dzięki odpowiednim pomiarom podczas badań) w celu umożliwienia wykrywania występujących zakłóceń i późniejszej oceny ich skutków w konsekwencji trwania procesu tarcia; Istotną kwestią mieszczącą się w zakresie tego celu jest unikanie i/lub eliminacja zakłóceń w czasie prowadzonych testów [A1, A6, A7, A8, A11, A12].
 3. Rozwój metod obróbki i interpretacji danych pomiarowych uzyskanych w trakcie eksperymentu tribologicznego (np. poprzez odrzucenie z przebiegu testowego części, podczas których zarejestrowano i zidentyfikowano istotne zakłócenia) [A1, A3, A9].
 4. Rozwój techniki badań tribologicznych poprzez wykorzystanie jednoczesnych badań wielostanowiskowych oraz wielokryterialnej oceny wyników do oceny przebiegu i skutków procesu tarcia ślizgowego. [A1, A2, A4]. Można tu mówić o projektowaniu eksperymentów tribologicznych w zależności od wymagań postawionych w konkretnym zadaniu badawczym lub badawczo – rozwojowym.

Można w uproszczeniu stwierdzić, że przeważająca część wykonanych prac ma pozwolić na uzyskanie metod i narzędzi do kontroli nad pozornie trywialnymi zagadnieniami – **zachowania prawidłowej geometrii kontaktu ślizgowego, rozkładu obciążenia i prędkości ruchu względnego podczas doświadczeń z tarciami ślizgowymi**. Ponadto znaczna część wykonanych badań stanowiła próbę minimalizacji znaczenia przypadkowego wpływu właściwości stanowiska badawczego i postaci skojarzenia ślizgowego na uzyskane wyniki doświadczenia. Szczególnie w przypadku zadań polegających na ocenie charakterystyk tribologicznych pewnego zestawienia materiałów w wybranych warunkach smarowania. Tego typu podejście stanowi również cenne narzędzie w przypadku zadań doboru materiałów na skojarzenia ślizgowe z zadanej grupy i przy z góry określonych wartościach wymuszeń.

Jako szczegółowe cele badawcze w zakresie prac laboratoryjnych przyjęto:

- poznanie właściwości jednej klasy maszyn badawczych na przykładzie tribometrów serii PT;
- identyfikację stanów pracy maszyny z towarzyszeniem SDC i parametrów drgań występujących w systemie tribologicznym złożonym ze skojarzenia ślizgowego dwóch próbek ceramicznych (Al_2O_3) w tribometrze PT;
- ocenę wpływu maszyny w różnych stanach pracy na uzyskiwane wyniki pomiarów;
- identyfikację wpływu wybranych parametrów dynamicznych maszyny na rejestrowane drgania i pomiary siły (współczynnika) tarcia;
- identyfikację stopni swobody decydujących o wadze wpływu SDC na rejestrowany proces;
- identyfikację postaci ruchu elementów maszyny badawczej podczas realizacji eksperymentu tribologicznego polegającego na pomiarze tarcia w różnych warunkach wymuszeń.

- badania na wielu różnych stanowiskach i w różnych konfiguracjach geometrycznych takich samych skojarzeń materiałowych i smarowych w celu oceny ich ogólnej charakterystyki tribologicznej lub wielu skojarzeń materiałów i smarów w celu selekcji najlepszego zestawu.

Dzięki zgromadzonym danym i wynikom analiz możliwe było podjęcie realizacji ważnych celów szczegółowych odnoszących się do kompleksowych metod obróbki i interpretacji pomiarów:

- opracowanie kryteriów przydatności pomiaru współczynnika (siły) tarcia do interpretacji procesu z uwzględnieniem zidentyfikowanych wpływów stanowiska na pomiar oraz opracowanie metodyki wykorzystania tych kryteriów podczas tworzenia doświadczalnych charakterystyk tarcia ślizgowego;
- opracowanie funkcyjnych opisów charakterystyki tarcia na podstawie zweryfikowanych wyników pomiarów przy wykorzystaniu dostępnych metod aproksymacji wielomianowej i sztucznych sieci neuronowych;

Ważnym etapem podjętych badań była synteza wcześniejszych etapów umożliwiająca realizację przyszłościowego celu polegającego na:

- budowie modelu wirtualnego tribometru klasy PT do badań symulacyjnych tarcia, z uwzględnieniem właściwości dynamicznych i możliwością modyfikacji parametrów w zależności od konfiguracji maszyny badawczej.

Jednocześnie realizowany był temat badań równoległych w wielu różnych środowiskach badawczych (różne tribometry, geometria skojarzenia ciernego), w wyniku czego możliwe było:

- opracowanie podstaw metodyki i realizację praktycznych tribologicznych zadań badawczych umożliwiających szybką i popartą danymi ilościowymi oraz jakościowymi selekcję materiałów konstrukcyjnych na ekstremalnie obciążone skojarzenia ślizgowe w wyspecjalizowanych aplikacjach np. implantów stawowych, maszyn hydraulicznych i innych.

Ważnym elementem w całości wykonanych zadań są odniesienia do możliwości wykorzystania metod diagnostyki wibroakustycznej jako narzędzia do identyfikacji stanu skojarzenia ciernego w trakcie eksperymentu tribologicznego z tarcie ślizgowym. Włączenie narzędzi tego typu do instrumentarium eksperymentu tribologicznego pozwoli na opracowanie i sprawdzenie metodyki wykorzystania pomiarów i analizy drgań dla poprawy powtarzalności oraz odtwarzalności eksperymentu tribologicznego z tarcie ślizgowym.

Syntetyczne wyniki badań i najważniejsze elementy opublikowanych prac

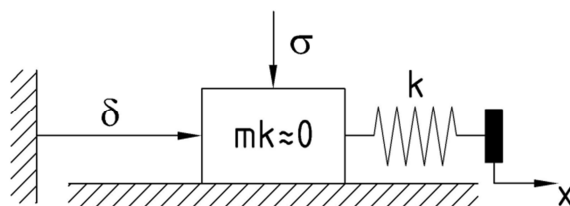
Najobszerniejszą publikacją będącą podsumowaniem dotychczasowych prac przeprowadzonych przez autora jest monografia [A1]. Pozycja ta stanowi obszerne podsumowanie doświadczeń i aktualnego stanu wiedzy związanego z interakcją między ślizgowym skojarzeniem dwóch ciał a jego otoczeniem rozumianym jako maszyna, w której tarcie jest wywoływane. Publikacja zawiera 12 rozdziałów, w których omówiono stan wiedzy w zakresie związanym z wiodącą tematyką podjętych badań, zakres zagadnień wybranych przez autora do prac badawczych i rozwojowych oraz przedstawiono wyniki badań doświadczalnych, symulacji i prac nad modelowaniem tribometru wraz ze skojarzeniem ciernym. Ważną częścią pracy są opisy stosowanych metod i wyniki zaawansowanej obróbki danych pomiarowych, które stały się podstawowym elementem innowacyjnej interpretacji pomiaru tribologicznego ze wspomaganiami przez rejestrację i analizę drgań. Jako uzupełnienie opracowania monograficznego wybrano 11 publikacji uzupełniających [A2-A12].

W prezentowanej monografii [A1], w kolejnych rozdziałach opisano koncepcję badań, metody wykorzystane do realizacji zadań badawczych oraz przedstawiono reprezentatywne przykłady wyników. W początkowym rozdziale zamieszczono wstęp, który odnosi się do ogólnej problematyki powtarzalności i odtwarzalności eksperymentu tribologicznego.

Rozdział drugi stanowi szeroko zakrojone opracowanie przeglądowe dotyczące badań doświadczalnych tarcia ślizgowego w styku płaskim z odniesieniem do historii oraz najnowszej literatury krajowej i światowej. Szczególną uwagę poświęcono w tej części publikacji interakcji między badanym zjawiskiem – tarcie – a stanowiskiem badawczym. Omówiono też zagadnienie teoretycznie doskonałej maszyny badawczej oraz ograniczeń wynikających z technicznych możliwości realizacji urządzenia do badań tribologicznych.

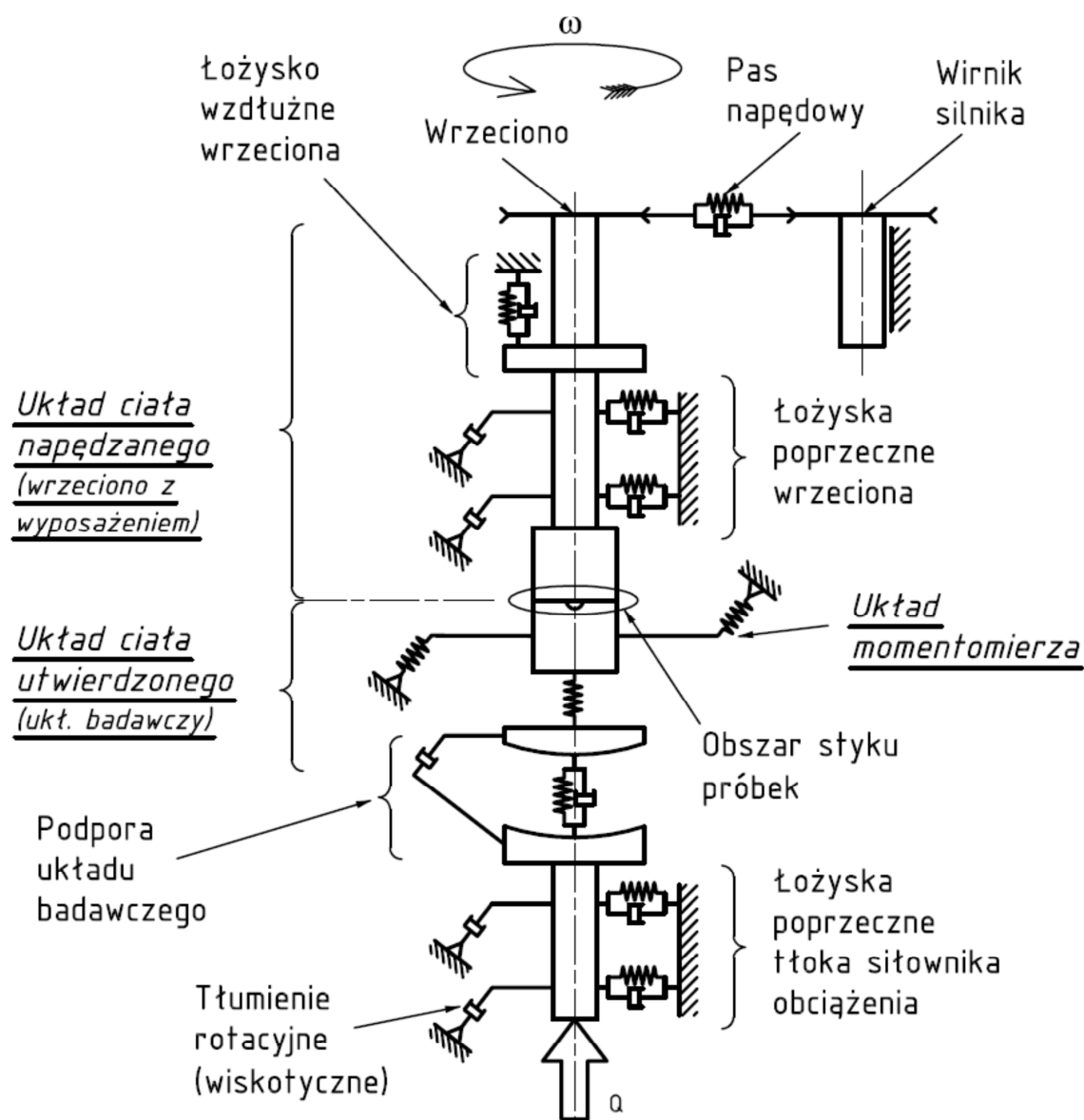
W kolejnym, trzecim rozdziale omówione są zagadnienia związane z rolą modelu tribometru w eksperymentalnych badaniach tarcia ślizgowego. Rozdział czwarty zawiera syntetyczne podsumowanie stanu wiedzy na tematy odnoszące się do fundamentalnych prac związanych z doświadczalnym wyznaczaniem wartości siły tarcia (współczynnika tarcia) oraz próbami opracowania użytecznych modeli procesu tarcia. Wskazane są również przykłady interakcji tarcia – stanowisko oraz obszary, które, w opinii autora wymagały uzupełnienia w drodze badań naukowych. Podsumowanie aktualnego stanu wiedzy stanowi punkt wyjścia dla ogólnej charakterystyki pracy przedstawionej w rozdziale piątym. Jako centralny dla przeprowadzonych prac stawiany jest problem niezadowalającego poziomu powtarzalności i odtwarzalności eksperymentu w tribologii. Wskazana jest grupa zagadnień związanych z charakterystyką dynamiczną tribometru, wpływem wyzwalanego tarcia na tribometr i skutków tego wpływu dla wyniku eksperymentu i interpretacji tego wyniku. W rozdziale szóstym opisane są szczegółowo stanowiska badawcze wykorzystywane w opisywanych pracach ze szczególnym wyróżnieniem podstawowych właściwości dynamicznych głównych elementów strukturalnych tych maszyn tj. sztywności i częstotliwości oraz postaci drgań własnych kompletnych głowic badawczych. Elementy wcześniejszych opracowań związanych z wpływem charakterystyk tych stanowisk i ich

modyfikacji na przebieg eksperymentu prezentowano m.in. w pracach [A5, A8, A12]. Jedno z kluczowych rozwiązań technicznych w układzie pomiaru momentu tarcia, opisane w monografii [A1] jest przedmiotem wdrożonego i stale użytkowanego patentu [A10].



Rys. 1. Model doskonałej maszyny do badania tarcia ze skończoną sztywnością podparcia stycznego [A1]

Kolejny, siódmy rozdział traktuje o szczegółowych analizach kluczowych podzespołów tribometrów PT związanych z wyznaczaniem ich charakterystyk bezwładnościowo – sztywnościowych oraz drgań własnych. W tej części pracy przedstawiona jest autorska koncepcja metody uproszczenia struktury maszyny na potrzeby prowadzonej analizy oraz późniejszych prac związanych z budową modelu stanowiska przeznaczonego do badań symulacyjnych. Kluczowym zagadnieniem realizowanym w tej części pracy jest identyfikacja elementów i podzespołów istotnych dla przebiegu eksperymentu z tarcie ślizgowym oraz określenie ich przynależności do grup ciał przynależnych do układów dwóch ciał kluczowych dla całego procesu: próbki ruchomej i próbki utwardzonej ślizgających się po sobie. Podejmowany jest trudny problem istniejący w tribologii – reprezentatywności modelu układu z tarcie i optymalnego uproszczenia modelu w stosunku do układu rzeczywistego. Znany z literatury model doskonałej maszyny do badania tarcia (*Rice J.R., Ruina A.L.: Stability of steady frictional slipping. J. Appl. Mech. 1983*) o charakterze pojedynczego ciała (**rys. 1**) jest konfrontowany z modelem kinematycznym stanowisk Tribometr PT (**rys. 2**). W wyniku przeprowadzonych analiz z wykorzystaniem narzędzi CAD i metody elementów skończonych zidentyfikowano najważniejsze właściwości kluczowych podzespołów tych maszyn tj. częstotliwości i postaci drgań własnych swobodnych oraz sztywności podparcia poszczególnych mas. W toku tej części pracy prowadzono również analizy wpływu warunków brzegowych w modelowaniu układu bryłowymi elementami skończonymi na wyniki symulacji. Pozwoliło to również na zgromadzenie dodatkowego doświadczenia i danych związanych z potencjalnym wpływem charakterystyk sztywności łożysk hydrostatycznych w rzeczywistej maszynie na przebieg i postacie ruchu całego systemu.



Rys. 2. Schemat tribometru serii PT potraktowanego jako układ elementów bezwładnych oraz podpór odkształcalnych z tłumieniem [A1].

W rozdziale ósmym zawarty jest opis metodyki wykonanych badań tribologicznych z wykorzystaniem pomocniczym technik diagnostyki wibroakustycznej. Charakterystyczną cechą wykonanych prac jest fakt iż badano jednocześnie tarcie w eksperymentalnym skojarzeniu ślizgowym oraz tribometr, na którym wykonywano badania. Tego typu podejście jest unikalne na skalę światową. Zarówno materiał, który zastosowano do wykonania próbek tworzących skojarzenie ślizgowe jak i smar zostały tego względu dobrane w taki sposób, aby zmienność ich właściwości w czasie badań (szczególnie w czasie samego biegu testowego) była jak najmniejsza. W szczególności Zastosowana ceramika tlenkowa o bardzo wysokiej twardości (Al_2O_3 spiekane swobodnie z proszku), po poddaniu odpowiedniej obróbce wykańczającej, mogła być użytkowana do prowadzonych testów przy braku zauważalnych zmian jakości i struktury powierzchni trących. Jednocześnie bardzo wysoki moduł sprężystości tego materiału gwarantował pomijalnie mały wpływ odkształceń próbek w wyniku obciążeń przykładanych do próbek w czasie testów. Jednocześnie można w odniesieniu do eksperymentalnego skojarzenia

ślizgowego mówić o przynajmniej częściowym spełnieniu wymagania badawczego *ceteris paribus*, co miało podstawowe znaczenie w przypadku próby rejestracji zachowania układów stanowiska pod wpływem wywoływanego tarcia.

W rozdziale opisane są kluczowe dla pracy metody identyfikacji postaci drgań w układzie badawczym oraz klasyfikacja stanów tego układu ze względu na rodzaj występujących drgań. Przedstawiono cechy sygnałów w różnych stanach i skorelowane z nimi zmiany w mierzonym przebiegu sił tarcia w funkcji wymuszeń. Dzięki wielokanałowej rejestracji drgań i późniejszej analizie widmowej i amplitudowej prowadzonej łącznie z pomiarem wymuszeń oraz momentu tarcia (przeliczanego na obwodową siłę tarcia na czole próbki) zidentyfikowane zostały zależności między drganiami i mierzonymi wartościami sił tarcia. Opisane zostały stany, w których tarcie powoduje wzbudzenie drgań tarciovych, co zmienia przebieg procesu tarcia i mierzone wartości tarcia, oraz inne stany, w których drgania nie mają na proces tarcia wpływu widocznego pod postacią zmian mierzonych wartości sił tarcia. Częstkowe wyniki badań opisanych przekrojowo w tej części pracy były również publikowane we wcześniejszych pozycjach [A7, A8, A9, A11]. Wyniki poczynionych w ramach tego etapu prac badawczych miały ważne znaczenie dla późniejszych prac związanych z doskonaleniem metodyki wyznaczania charakterystyk tarcia ślizgowego z uwzględnieniem właściwości stanowiska badawczego i jego odpowiedzi na badane tarcie. Tę dużą część przeprowadzonych prac opisano w rozdziale dziewiątym. W odróżnieniu od wcześniejszych etapów badań w podstawowym schemacie przebiegu testowego najważniejszą częścią był stan stacjonarny procesu osiąganym przy stałych nominalnych parametrach wymuszenia. Dzięki wcześniejszym obserwacjom ustalono, że w przypadku wystąpienia drgań widmo i amplituda są zależne od warunków wymuszenia tj. siły przykładanej przez układ obciążający skojarzenie ślizgowe oraz prędkości ślizgania zadawanej jako prędkość obrotowa wrzeczona stanowiska badawczego. Okres przebiegu testowego został dobrany w taki sposób, aby umożliwić pomiar zadowalającej jakości i uzyskać zbiory danych o odpowiedniej objętości przy minimalizacji wpływu efektów cieplnych i innych zależnych od czasu pracy skojarzenia ślizgowego. Pośród parametrów badanych były, oprócz wartości wymuszeń, również zmieniane w kontrolowany sposób parametry dynamiczne wybranych podzespołów stanowiska badawczego. W układach wprowadzano zmieniane w kontrolowany sposób bezwładności i sztywności, dzięki czemu możliwe było ocenienie istotności tych wpływów. Przeprowadzono też porównanie wpływu globalnych właściwości stanowiska prowadząc identyczne doświadczenia na podobnych, lecz nie identycznych tribometrach PT-1 i PT-3. Uzyskane wyniki pozwoliły na ocenę istotności wpływu poszczególnych cech konstrukcyjnych stanowiska, takich jak np. charakterystyki drgań własnych układu próbki napędzanej, czyli łożyskowanego hydrostatycznie wrzeczona maszyny z wyposażeniem. Zbiór zgromadzonych danych został poddany wielowątkowej analizie ukierunkowanej na wyznaczenie ufunkcjonowanej charakterystyki sił tarcia w funkcji wymuszeń – prędkości ślizgania i obciążenia – przy uwzględnieniu wpływu właściwości stanowiska badawczego. Większość badań w tej fazie prac wykonano w ramach projektu badawczego realizowanego pod moim kierownictwem [G10]. Wykorzystano dwie metody aproksymacji danych: wielomianową i z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych. Ze względu na możliwość wstępowania

znacznych zmienności współczynnika tarcia w zależności od wymuszeń, ze szczególną uwagą realizowane były prace wykorzystujące drugą z wymienionych metod. To zagadnienie było zgłębiane w ramach kierowanego przeze mnie osobnego programu badawczego finansowanego ze środków budżetowych **[G4]**. Osiągnięte zostały interesujące wyniki w zakresie budowy charakterystyk tarcia w zadanej dziedzinie wymuszeń, które mają istotne znaczenie dla interpretacji pomiarów oraz ich późniejszego wykorzystania w innych dziedzinach nauki i techniki. W intencji autora osiągnięcie postępu w tej dziedzinie jest ważne we wszelkich zadaniach związanych z modelowaniem układów z tarciami. Takie prace realizowane są w dziedzinie mechaniki teoretycznej, ale również w technice, podczas projektowania hamulców czy sprzęgieł ciernych. W każdej z tych dziedzin występuje zapotrzebowanie na model tarcia. W prostych zadaniach model klasyczny Coulomba – de Amontonsa nadal daje zadowalające wyniki, jednak stały trend w technice do zwiększania obciążeń jednostkowych, ograniczania masy, kosztów produkcji i eksploatacji wymusza zwiększanie dokładności obliczeń modelowych. Eksperymenty tribologiczne dostarczają danych wsadowych dla wszelkich działań w tym zakresie, więc rozwój metod pozwalających na dostarczenie użytkownikom zweryfikowanych, matematycznie wygodnych w użyciu „map” tarcia jest obiecującym kierunkiem rozwoju zarówno nauki, jak i techniki.

W ramach przyjętego zakresu badań stwierdzono, że przy nieznacznej zmienności współczynnika tarcia w funkcji wymuszeń aproksymacja wielomianowa daje zadowalające rezultaty przy stosunkowo prostej postaci funkcji. Zwiększanie stopnia wielomianu nie daje poprawy jakości uzyskanego wyniku ze względu na znany efekt „fałdowania” powierzchni funkcji w zakresie zbioru danych. W przypadkach silniejszej zmienności wartości pomiarów tarcia w dziedzinie wymuszeń algorytmy wykorzystujące sztuczne sieci neuronowe mają znaczną przewagę i pozwalają uzyskać dobre odwzorowanie zbioru danych pomimo znacznych fluktuacji wartości w niektórych zakresach wymuszeń. Postać zapisu matematycznego uzyskanej funkcji aproksymacyjnej jest znacznie bardziej złożona niż w przypadku aproksymacji wielomianowej, jednak nie stanowi to istotnej przeszkody dla wykorzystania tej funkcji w praktyce.

W rozdziale dziesiątym zawarty jest opis autorskiej metody analizy i interpretacji wyników pomiarów sił tarcia na stanowiskach z rodziny PT przy wybranej geometrii styku ślizgowego. W opinii autora jest to jeden z najważniejszych wyników przeprowadzonych prac. W metodzie tej wykorzystywane są łącznie wszystkie wcześniejsze doświadczenia i umiejętności uzyskane w wyniku prac modelowych, symulacyjnych, pomiarów i obróbki wyników, a także rozwoju metod interpretacji pomiarów, w szczególności wibroakustycznych w otoczeniu eksperymentu tribologicznego. Krytycznie ważna obserwacja, opisana w rozdziale ósmym, dotycząca istnienia stanów pracy układu z drganiami ciernymi, przy którym obserwowana jest pozorna redukcja tarcia ślizgowego została tu wykorzystana jako element analizy danych pomiarowych **[A6, A7, A11]**. Zidentyfikowana zależność między amplitudą drgań w kierunku normalnym do płaszczyzny kontaktu ślizgowego, częstotliwością głównej harmonicznej drgań oraz obserwowanymi zmianami w mierzonej wartości sił tarcia pozwoliła na opracowanie kryteriów klasyfikacji danych pomiarowych w zależności od trybu pracy układu z tarciami. Dzięki

zidentyfikowaniu stanów, w których dochodzi do zmiany konfiguracji kontaktu ślizgowego w wyniku występowania ruchu precesyjnego oraz określeni ilościowych parametrów obserwowanych w sygnałach pomiarowych odpowiadających różnym stanom pracy stanowiska, możliwe stało się prowadzenie oceny pomiarów w zupełnie nowy sposób. Badacz uzyskuje dzięki niej możliwość kontroli nad właściwym przyleganiem czoł próbek w czasie badań. Wykorzystanie pomiaru wibracyjnego pozwala na gromadzenie informacji o tym parametrze w czasie trwania testu lub ocenę *ex post* na etapie obróbki danych pomiarowych. Kryterium przylegania czoł próbek umożliwia odrzucenie w całości lub częściowo danych zarejestrowanych podczas testów, w których wystąpiły niepożądane stany pracy stanowiska badawczego. Innym potencjalnym zastosowaniem opisanej metody oceny chwilowych warunków eksperymentu tribologicznego jest optymalizacja przebiegu testów np. poprzez taki dobór przebiegu wymuszeń aby zminimalizować niekorzystne efekty związane z reakcją stanowiska na tarcie. W rozdziale dziesiątym przedstawiono rezultaty w postaci globalnych charakterystyk tarcia ślizgowego aproksymowanego z punktowych pomiarów w stanach stacjonarnych w szerokim zakresie obciążenia i prędkości ślizgania. Porównano charakterystyki uzyskane w wyniku aproksymacji zbiorów pomiarowych nie analizowanych ze względu na stany pracy układu badawczego oraz ze zbiorów poddanych pomocniczej analizie klasyfikacyjnej z wykorzystaniem kryteriów opartych na pomiarze parametrów drgań towarzyszących tarcu ślizgowemu. Wynikiem są charakterystyki znacznie różniące się od siebie. Można tu mówić o kompleksowej eliminacji szkodliwego wpływu niepożądanych postaci ruchu w obrębie tribometru, w konsekwencji reakcji na badane tarcie. Zaprezentowane rozwiązanie jest obowiązujące dla opisywanej klasy tribometrów, jednak wykorzystana metodyka może być zastosowana do dowolnej maszyny, zarówno badawczej jak i użytkowej. Można tu mówić o innowacyjnym wykorzystaniu technik diagnostyki wibroakustycznej do wspomagania eksperymentu tribologicznego. Kolejny, jedenasty, rozdział zawiera opis najświeższych, wstępnych wyników prac badawczych poszerzających instrumentarium wykorzystywane do nadzoru nad eksperymentem tribologicznym z tarcem ślizgowym o pomiar akustyczny. Przedstawione są wyniki analizy widmowej dźwięku emitowanego przez skojarzenie ślizgowe podczas testów z bardzo dużymi naciskami powierzchniowymi (powyżej 100 MPa). Dzięki wcześniejszej szczegółowej identyfikacji charakterystyk drgań własnych podzespołów tribometru możliwe było określenie prawdopodobnej postaci drgań oraz elementu, który znajduje się w stanie rezonansu oraz postaci drgań obecnych w systemie. Tego typu interpretacja nie byłaby możliwa bez wcześniejszej identyfikacji charakterystyk drgań własnych tribometru PT. Uzyskane wyniki pozwalają planować dalsze badania nad wykorzystaniem rejestracji sygnałów akustycznych do identyfikacji stanu badanego skojarzenia ślizgowego podczas badań na tribometrze. W skojarzeniu z analizą modalną maszyny i po doświadczalnej weryfikacji wyników tej analizy z wykorzystaniem wielokanałowego pomiaru drgań mechanicznych możliwe będzie stosowanie łatwodostępnych technik rejestracji i analizy dźwięku do nieinwazyjnego, poszerzonego nadzoru nad eksperymentem tribologicznym. Największą potencjalną zaletą przyszłościowej metody jest całkowity brak inwazyjności. Pomocniczy pomiar odbywa się bezstykowo, więc nie ma żadnego wpływu na badany proces tarcia. Ponadto brak konieczności wiązania elementów aparatury ze stanowiskiem umożliwi zastosowanie tego samego zestawu do rejestracji dźwięku

na wielu stanowiskach, w zależności od potrzeb. Obecnie rozważane są również możliwości rejestracji w powietrzu (mikrofonami) lub w cieczy smarującej (hydrofonami), w zależności od uwarunkowań zadania badawczego.

Jednym z ważnych rezultatów syntezy wcześniejszych prac jest zdyskretyzowany model tribometru z rodziny PT opisany w rozdziale dwunastym, który pozwala na badania symulacyjne interakcji tribometru i tarcia przy dużej elastyczności doboru parametrów stanowiska oraz funkcyjnego opisu charakterystyki tarcia w węźle testowym. Bazą dla modelu były dane zgromadzone w procesie modelowania bryłowego elementów i podzespołów tribometru PT z wykorzystaniem technik CAD oraz analizy przeprowadzone z wykorzystaniem MES. Model powstał w środowisku Matlab® Simulink® i ma strukturę dyskretną. Jest zbudowany ze sztywnych elementów skończonych połączonych elementami sprężysto – tłumiącymi [A3]. Na potrzeby opracowania modelu przeprowadzono m.in. szczegółowe obliczenia tłumienia i sztywności łożysk hydrostatycznych występujących w tribometrach PT. W modelu, który powstawał wieloetapowo, zaimplementowano wyniki wielu wcześniejszych zadań, dzięki którym możliwe było przeprowadzenie dyskretyzacji i uproszczenia struktury do postaci, która pozwala na realizację symulacji z użyciem ogólnodostępnych komputerów osobistych. Opisany model jest więc w dużej mierze wynikiem sumy doświadczeń zgromadzonych w toku badania tarcia, samowzbudnych drgań ciernych, analizy stanowiska badawczego oraz optymalizacji jego konstrukcji. Jednym ze szczególnie rozbudowanych elementów narzędzia symulacyjnego jest sam model tarcia, w którym zastosowano oryginalny algorytm pozwalający na wprowadzenie dowolnego, funkcyjnego opisu charakterystyki siły tarcia w zależności od wymuszeń, a także mechanizmy detekcji przechodzenia układu ślizgowego między ruchem i spoczynkiem, wraz z detekcją zwrotu ruchu. Ta ostatnia funkcjonalność jest szczególnie ważna w przypadku wszelkich prób symulacji i analizy ruchu zmiennego typu stick – slip, drgań harmonicznym czy chaotycznym. Przewidywany jest dalszy rozwój modelu w kierunku oceny możliwości jego uniwersalizacji tzn. opracowania metodyki adaptacji do reprezentowania innych stanowisk badawczych o podobnej ogólnej kinematyce.

Rozdział trzynasty stanowi syntetyczne podsumowanie przewidywanej kontynuacji badań opisanych we wcześniejszych częściach monografii [A1]. Jako najważniejszy i całkowicie nierozpoznany temat autor wskazuje pomiary drgań układu próbki napędzanej w pobliżu końcówki wrzeczona tribometru. Postępujący rozwój techniki pomiarowej pozwala obecnie na tego typu pomiary w stosunkowo łatwy sposób. Skorelowanie wyników wykonanych jednocześnie pomiarów drgań układu próbki utwierdzonej oraz układu próbki napędzanej jest naturalnym kierunkiem kontynuacji prac nad rozwojem modelu stanowiska i optymalizacją jego stopnia uproszczenia w stosunku do obiektu rzeczywistego. Wykorzystanie wyników pomiarów wykonanych w poszerzonym zakresie pozwoli podwyższyć użyteczność modelu jako narzędzia pomocniczego do analizy rezultatów pomiarów. Przewidywana poprawa reprezentatywności zdyskretyzowanego, wielomasowego modelu tribometru PT pozwoli na zrealizowanie jego potencjału również jako narzędzia wspomagającego projektowanie prac badawczych.

W ramach założeń leżących u podstawy przedstawionych prac wybrano jako obiekt badany materiały o wysokim module sprężystości i odporności na zużycie, dzięki czemu możliwe było zminimalizowanie wpływu odkształcalności i zużycia próbek podczas badań. Obecnie, po zrealizowaniu dużego etapu badań przewidywane jest podjęcie kontynuacji kierunku badawczego w odniesieniu do zadań związanych z materiałami o mniejszej twardości, wytrzymałości i odporności na zużycie w warunkach testu z tarciem ślizgowym. Pozwoli to na uwzględnienie udziału w istotnym stopniu między innymi wpływu obecności tzw. ciała trzeciego w skojarzeniach ślizgowych o konforemnej geometrii styku, np. w hamulcach ciernych. Transformacja materiałów pary ciernej w produkty zużycia o właściwościach odmiennych niż właściwości materiału pierwotnego wprowadzają do układu zmiany w trakcie tarcia, co może zmieniać warunki współpracy ciał w wyniku „pojawiania się” między powierzchniami ślizgowymi dodatkowego elementu. Ocena wpływu tych zjawisk na eksperyment tribologiczny z tarciem ślizgowym przy uwzględnieniu oddziaływania tribometru na warunki eksperymentu będzie stanowić kolejny etap w poszukiwaniach metod poprawy powtarzalności i odtwarzalności w tribologii.

Ostatni, czternasty rozdział stanowi obszerne podsumowanie całokształtu przeprowadzonych badań i innych prac. W rozdziale omówiono szczegółowo stan realizacji zamierzeń poczynionych na początku pracy. Każdy z celów został przywołany i krytycznie oceniony ze wskazaniem jego znaczenia dla całości zrealizowanych badań oraz ukierunkowaniem dalszych poszukiwań naukowych. Całość zamyka ogólna ocena osiągniętych wyników, ich znaczenia dla tribologii oraz własnych planów badawczych autora. Z uwagi na genezę całości prac tj. wczesne badania nad samowzbudnymi drganiami ciernymi podsumowanie również odnosi się do tej kwestii, która we wszelkich zagadnieniach związanych z tarciem ślizgowym musi być uwzględniana. Odpowiednio szczegółowa analiza pozwala na stwierdzenie, że drgania o różnym charakterze i skali są zawsze obecne podczas tarcia. Ta konstatacja wskazuje na istotność drgań dla eksperymentu tribologicznego w ogóle, a szczególnie z tarciem ślizgowym, co zostało ujęte w następującej formie w zakończeniu monografii [A1]:

„Kontrola nad drganiami towarzyszącymi badaniom tarcia ślizgowego bez znaczącej ingerencji w konstrukcję tribometru może się odbywać przez zmianę wymuszeń lub odpowiednie dostosowanie konfiguracji stanowiska do warunków badań. **W przypadku konstruowania nowej maszyny, przy znajomości zależności między badanym tarciem i odpowiedzią maszyny, możliwe jest zaprojektowanie stosownej charakterystyki przez dobór odpowiednich sztywności, tłumienia i rozkładu mas oraz kontrolę liczby stopni swobody.** Kontrola nad drganiami ciernymi w tribometrze, w odróżnieniu od hamulca, może oznaczać osiągnięcie jednego z dwóch przeciwstawnych celów: unikania drgań (zapobiegania ich wzbudzeniu) lub celowego wywoływania drgań. W drugim przypadku możliwe jest wręcz wyznaczanie charakterystyki tarcia na podstawie analizy obserwowanych drgań ciernych lub na zasadzie kryterium wzbudzenia drgań albo ich braku, co może być interesującym nowym wątkiem w rozwoju badań tarcia i zużywania.”

Dwie spośród przedstawionych publikacji [A2, A4] odnoszą się do wątku moich prac badawczych związanego z wykorzystaniem równoległych badań skojarzeń tribologicznych na wielu różnych testerach w celu określenia jakościowych i ilościowych charakterystyk tarcia i zużycia podczas doboru skojarzeń materiałów w różnych warunkach smarowania. Te przykładowe prace mają podobny cel jak pozostałe: poprawę jakości i użyteczności wyników eksperymentu tribologicznego. Stosowana jest jednak odmienna metoda, polegająca na wspólnej interpretacji wielu różnych testów o różnej geometrii skojarzenia i realizowanych w różnych systemach mechanicznych (tribometrach) dla tego samego skojarzenia materiałów i smarów. W przypadku każdej z odmian testów przyjmowane są inne kryteria oceny, wynikające ze specyfiki geometrii styku i konstrukcji maszyny. Metoda daje interesujące możliwości selekcji materiałów tribologicznych spośród grupy o nieznanym właściwościach. Wykorzystanie wielokryterialnej, punktowej oceny dla każdej grupy różnych odmian testów w odniesieniu do każdego z badanych skojarzeń tribologicznych pozwala na selekcję skojarzenia o najlepszych właściwościach. Dzięki wykorzystaniu wielu różnych konfiguracji testu i maszyn możliwe jest, w przypadku zadań typu 'screening test', czyli selekcji spośród grupy, poszerzenie bazy danych do wnioskowania i uniknięcie błędnej oceny spowodowanej przeważającym wpływem cech jednej z konfiguracji lub jednego ze stanowisk badawczych. Niepożądanym wpływem może być zarówno wada przetwornika wielkości fizycznych jak i skomplikowana odpowiedź stanowiska na wywoływane tarcie, na przykład w postaci samowzbudnych drgań ciernych.

Możliwości wykorzystania wyników badań

Prace naukowe prowadzone przeze mnie lub z moim udziałem były w większości związane z realizacją eksperymentów mających na celu wyznaczenie charakterystyk tribologicznych w modelowym skojarzeniu ciernym. Wszelkie zadania tego typu zawierały również element związany z rozwojem instrumentarium laboratoryjnego. Każdorazowo przygotowanie do nowego zadania poprzedzone było analizą wcześniejszych doświadczeń i przygotowaniem urządzenia do konkretnych wymagań bieżącego zadania. Takie podejście zaowocowało szeregiem wdrożonych prac związanych z modernizacją i optymalizacją wykorzystywanych maszyn, np. tribometrów PT i TPZ.

Wymiernym efektem moich badań związanych z rozwojem eksperymentu tribologicznego i praktycznym wykorzystaniem osiągnięć naukowych są publikacje [A1-A6, A8-A10]. Inne formy publikacji obejmują w zakresie tej części mojej działalności naukowej artykuły i referaty konferencyjne spośród których można wyodrębnić kilka szczególnych wątków tematycznych:

- technika (metody) pomiarów tarcia i zużycia w skojarzeniach ślizgowych [B8, B12, B17, B24],
- rozwój technik obróbki i interpretacji danych pomiarowych w tribologii [B11, B25],
- badania samowzbudnych drgań ciernych, szczególnie w odniesieniu do wyniku eksperymentu tribologicznego z tarciem ślizgowym [B18, B26].

Jednym z ważnych rezultatów prac związanych z prowadzonymi przeze mnie badaniami jest patent [P6], który został wdrożony i jest w ciągłym użyciu w stanowiskach badawczych PT, dzięki czemu przyczynia się do sukcesu w realizacjach kolejnych przedsięwzięć badawczych. Doświadczenie zdobyte podczas pracy naukowej nad zagadnieniami związanymi z tribologią oraz konstruowaniem, budową, optymalizacją i modernizacją tribometrów w naturalny sposób umożliwiło mi udział w wielu grantach badawczych, w których wspomniane doświadczenia stanowiły mój istotny wkład do realizacji różnorodnych zadań. Oprócz dwóch grantów własnych, w których pełniłem rolę kierownika [G4, G10], pełniłem rolę wykonawcy lub głównego wykonawcy odpowiedzialnego za realizację części badań tribologicznych. Zadania te mogłem podejmować **dzięki doświadczeniu zdobytemu w toku prac związanych z podjętymi własnymi tematami badawczymi**, w tym głównie opisywanymi jako moje osiągnięcie naukowe. Spektrum tematyki projektów badawczych, w których realizacji brałem udział jest, w mojej ocenie, **potwierdzeniem uniwersalnego znaczenia podjętej przeze mnie tematyki rozwoju eksperymentu tribologicznego w budowie maszyn, inżynierii materiałów konstrukcyjnych, inżynierii łożyskowania i innych branżach**. Moje osobiste doświadczenia, oprócz grantów, w których pełniłem funkcję kierownika, zawierają takie tematy jak:

- badania tribologiczne materiałów ceramicznych w postaci monolitycznej i cienkich powłok ukierunkowane na osiągnięcie określonej charakterystyki tarcia i zużycia [G7, G8],
- badania z dziedziny inżynierii materiałowej nad biomateriałami, stopami tytanu czy stopami metali lekkich obrabianymi laserowo w warunkach kriogenicznych [G13, G14, G15],

- dobór materiałów na skojarzenia ślizgowe w inżynierii łożyskowania i hydraulice siłowej, w szczególności w odniesieniu do układów smarowanych cieczami o bardzo małej lepkości i słabych własnościach smarnych [G2, G3, G5, G6, G9, G11, G12],

Innym wymiernym efektem wynikającym z prowadzonych przeze mnie badań i doświadczenia w zakresie tribologii doświadczalnej jest wiele wdrożeń w następujących dziedzinach:

- rozwój i optymalizacja tribometrów z rodziny PT, w tym prace przystosowawcze konieczne do realizacji nietypowych zadań badawczych [W2, W4, W7-W11, W13],
- rozwój tribometru o ruchu posuwisto – zwrotnym TPZ-1 [W12, W14]; pierwsza z wymienionych prac [W12] została zrealizowana z wykorzystaniem unikatowych przetworników, w których zastosowano optykę laserową, skonstruowanych specjalnie na potrzeby badań samowzbudnych drgań ciernych na tribometrach PT,
- rozwój konstrukcji łożysk ślizgowych, w tym ciężkich łożysk o dużych średnicach (do 1350 mm) stosowanych w maszynach do przeróbki rud metali nieżelaznych [W1, W3, W5].

W konsekwencji prowadzenia badań nad tarciem ślizgowym, techniką eksperymentu tribologicznego czy doświadczalnym wyznaczaniem charakterystyk tribologicznych innowacyjnych materiałów nabyłem umiejętności i doświadczenia, dzięki którym mogłem podjąć się udziału w realizacji wielu zadań o charakterze ekspertyz na zamówienie partnerów przemysłowych [E1 – E5, E9, E17, E26]. W każdym z wymienionych zadań konieczne było oryginalne podejście do analizy wstępnej i realizacji zadania, każdorazowo też w pracy niezbędne było **uwzględnienie czynnika wpływu otoczenia skojarzenia ślizgowego na przebieg i wynik procesu tarcia, co wiąże się wprost z główną tematyką realizowanych przeze mnie badań naukowych.**

Najważniejsze oryginalne elementy prezentowanego cyklu publikacji oraz wkład osiągnięcia naukowego w dyscyplinę budowa i eksploatacja maszyn:

Cel naukowy został zrealizowany dzięki połączeniu technik z wielu dziedzin, w tym **rejestracji i analizy drgań mechanicznych** (*diagnostyka wibroakustyczna*), **modelowania bryłowego części i podzespołów maszyn** (*CAD, MES*), **dyskretyzacji modelu bryłowego ciągłego do modelu bryłowego dyskretnego** (*metoda sztywnych elementów skończonych – SES*) i wykorzystania tego modelu do budowy **wielomasowego modelu symulacyjnego**. W przypadku tego modelu uzyskano możliwość odwzorowania charakterystyki rozkładów bezwładności, sztywności i tłumienia tribometru PT oraz wprowadzania wieloparametrowych zestawów danych do symulacji, z funkcyjną zmianą współczynnika tarcia włącznie (w zależności od obciążenia i prędkości ruchu względnego). Badania symulacyjne na opisanym modelu są kontynuowane w celu zgromadzenia doświadczenia niezbędnego do podjęcia próby uogólnień w odniesieniu do innych stanowisk badawczych, tak aby ułatwić rozpowszechnienie wyników badań własnych. Osiągnięcia związane z budową modeli i ich działaniem publikowano we wcześniejszych pracach [A4, A7].

Istotnym elementem oryginalnym i niespotykanym w ogólnodostępnej literaturze branżowej jest **poszerzenie metodyki eksperymentu tribologicznego o jednoczesne wykorzystanie** charakterystyk dynamicznych maszyny badawczej, pomiaru drgań (metod diagnostyki wibroakustycznej) oraz analizy parametrów drgań łącznie z parametrami rejestrowanego procesu tarcia co pozwala na osiągnięcie wyników lepszych jakościowo i ilościowo. Zastosowanie opisanych dodatkowych zabiegów umożliwia, między innymi, ocenę **warunków przylegania próbek, które mogą zostać zmienione (zakłócone) w niektórych stanach pracy maszyny** w konsekwencji wzbudzenia drgań ciernych.

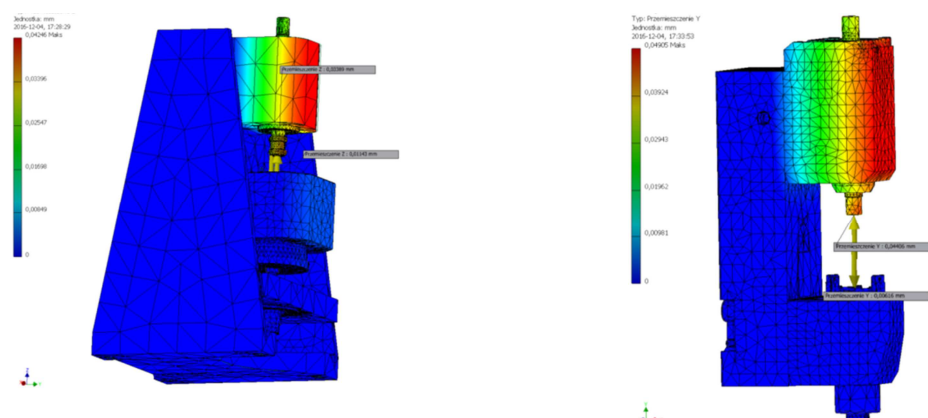
Jest to kluczowy wynik, który udało się uzyskać w trakcie przeprowadzonych przekrojowych prac – **metoda oceny eksperymentu tribologicznego ze względu na zakłócenia mogące pojawiać się samoistnie podczas jego trwania**. Metoda jest oparta o analizę właściwości stanowiska badawczego w sensie układu bezwładnościowo – sprężysto – tłumiącego oraz o rejestrację i analizę drgań towarzyszących wywoływanemu podczas eksperymentu tarcia ślizgowemu. Przeprowadzone w trakcie opisywanych prac badania miały charakter znacząco odbiegający od typowych prac związanych z pomiarami sił tarcia wywoływanych w procesie ślizgania w tym sensie, że **wraz z badaniem tego procesu prowadzono rozpoznanie właściwości wykorzystywanego stanowiska badawczego**.

Dzięki gruntownemu wykształceniu w kierunku konstruowania maszyn i znacznemu doświadczeniu w wykonywaniu praktycznych zadań w tej branży (włącznie z nadzorem autorskim nad realizacją i uruchomieniem projektowanego produktu) mogłem wprowadzić do swojej działalności elementy związane z projektowaniem tribotesterów. Ważnym osiągnięciem wynikającym z mojej pracy jest, w konsekwencji, wzbogacenie **metod projektowania tribometrów o wykorzystanie technik komputerowych do analizy wpływu przyjętych rozwiązań projektowanego urządzenia na podatność na wzbudzenie drgań tarciovych w**

wyniku interakcji z badanym procesem tarcia oraz ich związku z zadanymi parametrami wymuszeń. Tę samą metodykę można wykorzystać na zasadzie inżynierii odwrotnej do analiz istniejących maszyn i oceny ich działania ze względu na podatność na opisywane zakłócenia w eksperymencie z tarcie ślizgowym. Niezależnie więc od statusu maszyny badawczej zastosowanie metodyki drobiazgowego opisu budowy tribometru ze zwróceniem szczególnej uwagi na **cechy mechaniczne i dynamiczne** ma podstawowe znaczenie zarówno na etapie projektowania, jak i w trybie modernizacji/modyfikacji już istniejącego obiektu. Ten obszar był do tej pory, w opinii autora, niedostatecznie rozpoznany pomimo ścisłego powiązania przebiegu i wyniku eksperymentu tribologicznego z wpływem właściwości dynamicznych stanowiska badawczego, szczególnie pod postacią samowzbudnych drgań ciernych. Przedstawione podejście ma charakter uniwersalny dla budowy i eksploatacji maszyn ponieważ może być stosowane nie tylko przez badaczy z obszaru tribologii, ale również konstruktorów wszelkich maszyn i urządzeń, w których występuje tarcie ślizgowe.

Uzyskana w wyniku przeprowadzonych badań poprawa zrozumienia znaczenia właściwości dynamicznych tribometru będzie ułatwieniem podczas adaptacji tribometrów do nietypowych zadań np. w drodze projektowania nowych układów badawczych. Świadomość charakteru ruchu elementów (na przykład w ramach odkształceń sprężystych uchwytów próbek) może umożliwić projektantom optymalizację konstrukcji ze względu na kryterium charakterystyki drgań i uzyskanie kontroli nad procesem, a więc eliminacji zakłóceń pewnej klasy z otoczenia eksperymentu tribologicznego. Pomimo niezbędnego z praktycznych względów ograniczenia przez autora rozważań do jednej klasy tribometrów **osiągnięte wyniki mają charakter uniwersalny i mogą zostać z powodzeniem wykorzystane do analiz związanych z dowolną inną maszyną do badań tarcia i zużycia.**

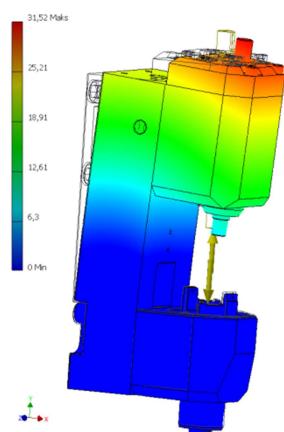
Jako przykłady rezultatów przeprowadzonych analiz przedstawiono wyniki oceny porównawczej sztywności głowic badawczych stanowisk PT-1 i PT-3 (Rys. 1), które zostały wykorzystane w etapach pracy związanych z modelowaniem matematycznym stanowiska.



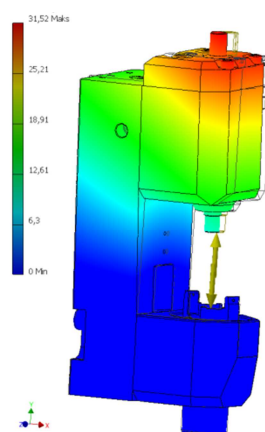
Rys. 1 Odkształcenie pionowe głowic tribometrów PT w osi wrzeciona pod działaniem siły 10 kN.
Odkształcenia: Tribometr PT-1 (po lewej) $\Delta l=0,045\text{mm}$, Tribometr PT-3 (po prawej) $\Delta l=0,052\text{mm}$.

Inną, ważną częścią wyników była, przeprowadzona na tych samych modelach, analiza obliczeniowa charakterystyk drgań własnych. Jako szczególnie istotne przedstawiono wyniki

(Rys. 3 – Tribometr PT-1, Rys. 2 – Tribometr PT-3) odnośnie postaci drgań, które mogą wpływać na odległość między końcówką roboczą wrzeciona a siłownikiem obciążenia, ponieważ odkształcenie w tym kierunku mogłoby powodować zmiany obciążenia powierzchni w badanym styku ślizgowym.

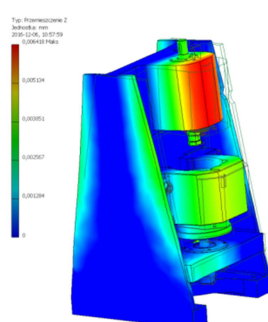


I postać drgań, giętna, $f_1 = 221\text{Hz}$

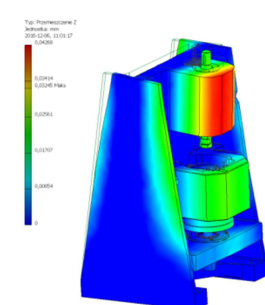


II postać drgań, giętno - skrętna, $f_2 = 282\text{Hz}$

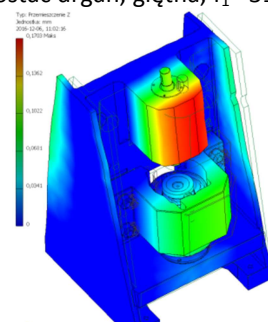
Rys. 2 Drgania własne głowicy Tribometru PT-3. Postacie wywołujące zmiany położenia próbek w kierunku normalnym do powierzchni styku.



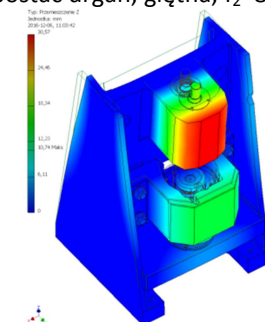
I postać drgań, giętna, $f_1 = 31,6\text{Hz}$



II postać drgań, giętna, $f_2 = 85,2\text{Hz}$



III postać drgań, giętno – skrętna, $f_3 = 153\text{Hz}$

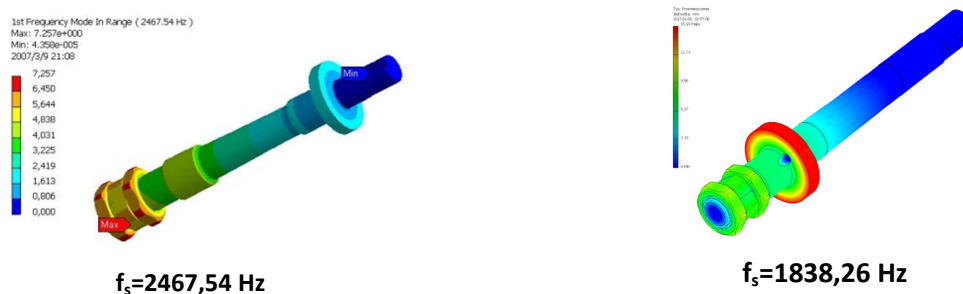


IV postać drgań, giętna, $f_4 = 191\text{Hz}$

Rys. 3 Drgania własne głowicy Tribometru PT-1. Postacie wywołujące zmiany położenia próbek w kierunku normalnym do powierzchni styku.

Analizy symulacyjne na modelu globalnym zostały uzupełnione o analizy poszczególnych podzespołów, których przykładowym wynikiem są obliczone wartości częstotliwości drgań własnych skrętnych układów wrzecion tribometrów PT-3 i PT-1 (Rys. 4). Wskazane postaci drgań własnych mają kluczowe znaczenie dla eksperymentu z tarcie ślizgowe ponieważ

wystąpienie tej postaci drgań powoduje makroskopową fluktuację prędkości ślizgania w skojarzeniu badanym, co jest z definicji niepożądane.



Rys. 4. Skrętna postać drgań własnych wrzecion: Tribometr PT-3 $f_s=2467,54$ Hz (po lewej), Tribometr PT-1 $f_s=1838,26$ Hz (po prawej)

Jednym z najważniejszych elementów oryginalnych w całości prac jest **wprowadzenie elementów technik diagnostyki opartej na rejestracji i analizie drgań oraz sygnałów akustycznych w połączeniu z normalnie rejestrowanymi parametrami pracy układu z tarcie (obciążenia i siły tarcia)**. Diagnostyka maszyn bazująca na pomiarach i analizie drgań jest obecnie powszechna w przemyśle. Stosuje się ją również w wielu zadaniach naukowych i badawczo – rozwojowych. W układach tocznych (łożyskach) i przekładniach zębatych korzysta się powszechnie z cykliczności sygnałów, która wynika wprost z cech konstrukcyjnych. W łożysku tocznym znane są takie parametry jak liczba elementów tocznych w koszyku i przybliżona prędkość obrotowa koszyka, co pozwala określić częstotliwość sygnału pochodzącego od przejścia kolejnych elementów przez strefę obciążoną w łożysku. Podobnie w przekładni zębatej, znana jest liczba zębów w każdym z kół oraz znane są prędkości obrotowe każdego z kół, a dzięki stałości przełożenia wiadome są relacje między częstościami kołowymi wałów w przekładni. W układach ślizgowych, z reguły, nie ma takich ściśle określonych cech, z wiązanych z cyklicznością działania. Zawsze jednak tarcie ślizgowe jest wyzwalane w jakimś układzie, maszynie, która posiada charakterystykę rozkładu masy, sztywności i tłumienia, które decydują o częstotliwościach drgań własnych. W przypadku występowania drgań podczas tarcia ślizgowego w maszynie (na przykład tribometrze), charakterystyki tych drgań będą związane z charakterystyką drgań własnych i wymuszonych tej maszyny. Jednocześnie, charakterystyka tarcia ślizgowego, która jest jednocześnie odpowiedzialna za mechanizm przekazywania energii między powierzchniami trącymi i rozpraszania energii w ruchu względnym tych powierzchni, będzie miała wpływ na występowanie drgań oraz na ich przebieg. Stąd wynika potencjał poznawczym dobrze rozpoznanej charakterystyki drgań własnych maszyny i odpowiedzi na wymuszenia w postaci sił tarcia. Dzięki tak postawionemu zagadnieniu możliwe jest **innowacyjne wykorzystanie pomiaru i analizy drgań towarzyszących tarcu jako elementu analizy eksperymentu tribologicznego**.

Analizy konstrukcyjne i symulacyjne (rozpoznanie charakterystyki maszyny) zostały skorelowane z doświadczeniami laboratoryjnymi. Nowatorskie podejście pozwoliło na **identyfikację postaci ruchu w czasie doświadczenia, która ma wpływ na warunki styku i wymuszenia badawcze**. Na podstawie tych danych opracowano **niestosowaną dotychczas metodą oceny zachowania**

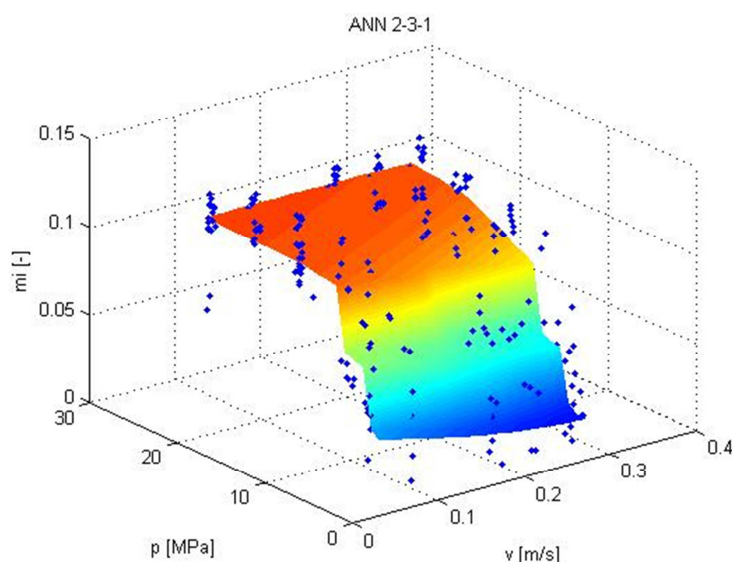
prawidłowych warunków próby. Uzyskano narzędzie pozwalające na opracowanie klasyfikatorów, bazujących na przebiegach zmierzonych parametrów, do identyfikacji pomiarów jako przeprowadzonych zgodnie z założeniami lub nie. Na przykład ze względu na prawidłowe przyleganie czoł próbek. Narzędzie zastosowano pod postacią **oryginalnej metody budowania funkcyjnej charakterystyki tarcia ślizgowego z wykorzystaniem danych pomiarowych, których analiza jest wzbogacona o ocenę stanu systemu podczas pomiaru, szczególnie pod względem występujących drgań.** Parametrami kluczowymi dla prowadzonej oceny są obecność drgań i ich obraz widmowy oraz amplituda drgań normalnych.

Metoda polega na zastosowaniu następującej sekwencji kroków oceny sygnału i późniejszego wykorzystania zbioru po klasyfikacji **[A1]**:

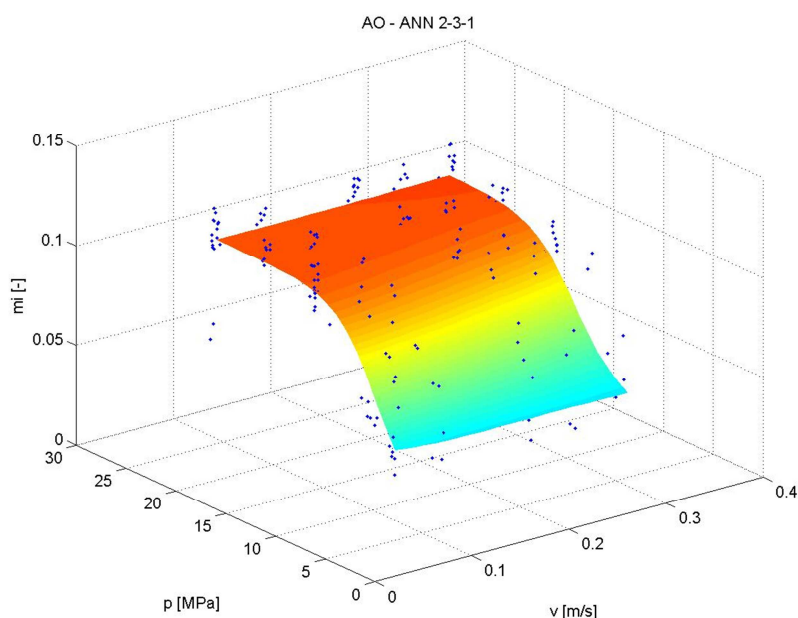
- 1) Wyznaczenie uśrednionej wartości współczynnika tarcia z wybranego segmentu pomiaru. Możliwe jest wykorzystanie zarówno przebiegu w stanie ustalonym, jak i krótkiego fragmentu w stanie nieustalonym.
- 2) Analiza widmowa przebiegu przyspieszeń stycznego (w ruchu obrotowym) i normalnego (w ruchu translacyjnym) zarejestrowanych w układzie badawczym maszyny.
- 3) Analiza amplitudy drgań stycznych (prędkość) i normalnych (przemieszczenie) zarejestrowanych w układzie badawczym maszyny.
- 4) Określenie stanu systemu ze względu na drgania:
 - a) brak drgań,
 - b) obecność drgań o wysokiej częstotliwości,
 - c) obecność drgań o niskiej częstotliwości.
- 5) Ocena amplitudy drgań normalnych i porównanie do wartości kryterialnej x_{gr} . Przypisanie do kategorii stanu styku w skojarzeniu ślizgowym:
 - a) amplituda poniżej x_{gr} – przyleganie próbek prawidłowe,
 - b) amplituda powyżej x_{gr} – brak prawidłowego przylegania próbek.
- 6) Decyzja o włączeniu pomiaru do zbioru jako prawidłowego lub odrzuceniu jako nieprawidłowego. Spełnienie kryteriów obecności drgań o niskiej częstotliwości i kryterium przekroczenia amplitudy granicznej powoduje wyłączenie pomiaru ze zbioru do dalszej analizy.
- 7) Zapis skorygowanego zbioru pomiarów punktowych po przeprowadzeniu oceny wszystkich punktów pomiarowych.
- 8) Aproksymacja funkcyjna skorygowanego zbioru danych.

Dla ilustracji przedstawiono porównanie charakterystyki ogólnej tarcia aproksymowanej siecią neuronową ze zbioru punktów pomiarowych bez dodatkowej oceny wpływu stanu pracy stanowiska (Rys. 5) oraz po przeprowadzeniu tej analizy i odrzuceniu punktów pomiarowych zarejestrowanych w stanie zakłóconej konfiguracji kontaktu ślizgowego (Rys. 6). **Widoczne znaczące różnice między przedstawionymi charakterystykami potwierdzają użyteczność opracowanej oryginalnej metodyki prowadzenia eksperymentu tribologicznego,** która znajduje obecnie zastosowanie do oceny wyników pomiarów realizowanych w Laboratorium Tribologicznym Katedry Konstrukcji Maszyn i Pojazdów. Interesującą cechą opisaną metody jest możliwość jej zastosowania do retroanalizy badań archiwalnych. Przy znanych cechach

konstrukcyjnych tribometru, na którym w przeszłości przeprowadzono badania istnieje możliwość przeprowadzenia współcześnie odpowiednich analiz właściwości stanowiska oraz pomocniczych pomiarów w celu identyfikacji stanów pracy stanowiska i ich cech widocznych w zarejestrowanych sygnałach. Z tą wiedzą można **ponownie przeanalizować wcześniejsze wyniki i ocenić ich poprawność, a nawet wyciągając zupełnie nowe wnioski bez konieczności powtarzania całego programu badań.**

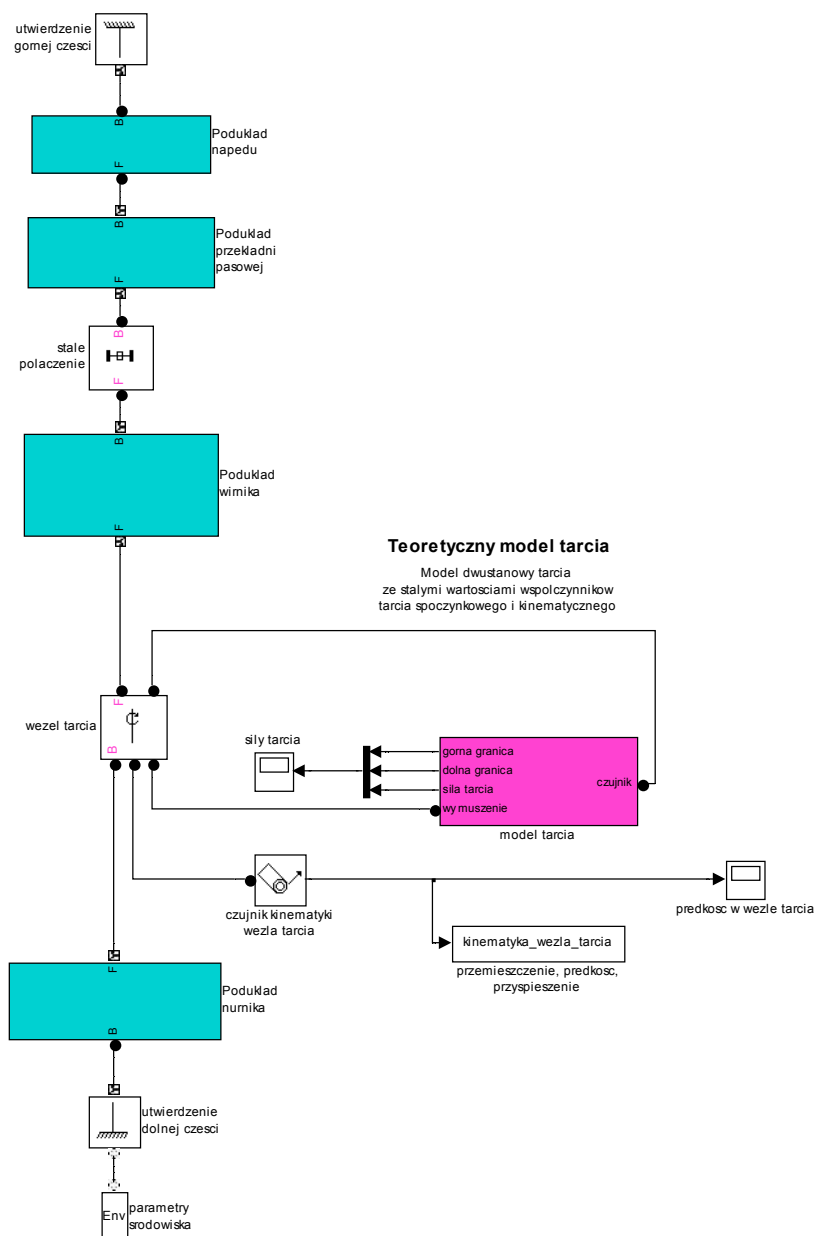


Rys. 5. Niekorygowana charakterystyka ogólna tarcia aproksymowana z wykorzystaniem sieci neuronowej. Materiał – Al_2O_3 w skojarzeniu jednoimiennym, smar – olej parafin., tribometr PT-3



Rys. 6. Korygowana charakterystyka ogólna tarcia aproksymowana z wykorzystaniem sieci neuronowej. Materiał – Al_2O_3 w skojarzeniu jednoimiennym, smar – olej parafin., tribometr PT-3

Kolejnym, oryginalnym elementem jest hybrydowy model stanowiska Tribometr PT (Rys. 7) badawczego przeznaczony do symulacyjnych badań tarcia ślizgowego z uwzględnieniem właściwości dynamicznych wszystkich istotnych elementów stanowiska badawczego, począwszy od skojarzenia ślizgowego, poprzez układy podpierające i napędowe, a na korpusie skończywszy. Obiecujące wyniki przeprowadzonych dotychczas symulacji oraz ciągły rozwój modelu (jako kontynuacja dotychczasowych badań) stanowią kroki w kierunku wprowadzenia tego narzędzia jako elementu bieżącej analizy wyników pomiarów tarcia ślizgowego i oceny prawidłowości wykonanych pomiarów tarcia ślizgowego oraz aproksymacji charakterystyki tarcia w zakresie wymuszeń stosowanych podczas badań laboratoryjnych.



Rys. 7. Model tribometru PT

Na podstawie doświadczeń zgromadzonych przez autora w ramach przedstawionych badań można stwierdzić, że samowzbudne drgania cierne (SDC) są zjawiskiem nieodłącznie towarzyszącym tarcu ślizgowemu z kontaktem bezpośrednim dwóch ciał trących (bez filmu

hydrodynamicznego). Nawet przy braku zauważalnej manifestacji makroskopowej, w mikrokontaktach mogą występować w praktycznie każdym punkcie styku. Jeżeli zaliczyć do nich drgania mikronierówności podczas kontaktów wierzchołków i po wyjściu ze strefy kontaktu, to należy przyjąć, że SDC występują w każdym z wymienionych typów skojarzeń ślizgowych. Można nawet zaryzykować stwierdzenie, że dla wyników pomiarów tarcia istotna jest zaangażowana jednocześnie objętość lub masa systemu w odniesieniu do jego objętości/masy całościowej, lub przynajmniej elementów w bezpośrednim sąsiedztwie powierzchni trących. Częstotliwość drgań samowzbudnych jest z definicji ściśle związana z częstotliwością drgań własnych obiektu lub układu drgającego. Największe częstotliwości drgań własnych będą dotyczyły najmniejszych struktur; Mikronierówności będą mogły na przykład drgać w paśmie wysokich ultradźwięków, ze względu na małą masę i relatywnie bardzo dużą sztywność. Podobny zakres będą miały drgania sprężyste powierzchni styku. W miarę oddalania się od powierzchni styku zwiększa się masa układu zaangażowana w proces i zmniejsza relatywna sztywność, więc częstotliwości drgań własnych będą przesuwaly się w kierunku pasma o niższych wartościach. W takim ujęciu można postulować prawdopodobne istnienie pewnej nie do końca opisanej formy rezonansu w układzie z tarciem. Możliwe jest, że drgania w obszarach najbliższych powierzchni ślizgających się wzajemnie stanowią źródło energii dla drgań całych elementów i podzespołów, które są rejestrowane jako makroskopowe, będące formą rezonansu między wymuszeniem oscylacyjnym pochodzącym bezpośrednio od powierzchni tarcia. Jako przyczynę, albo warunek występowania takiego rezonansu wymienia się na przykład odpowiednią zależność współczynnika tarcia i prędkości ślizgania, czyli emergencyjną cechę systemu dwóch ciał w odpowiednich warunkach. Jednak, niezależnie od obserwowanej makroskopowej charakterystyki tarcia (współczynnika tarcia) zawsze będzie ona wypadkową bardzo licznych zjawisk w mikroskali występujących na powierzchni, z których każde ma charakter dynamiczny, co wynika ze skali i znacznych prędkości ruchu względnego. Zwiększanie pasma rejestracji drgań prowadzi do identyfikacji kolejnych składowych harmonicznnych o znacznych energiach w zakresie coraz wyższych częstotliwości.

Przytoczone przykładowe wyniki, odnoszące się do jednej tylko klasy maszyn badawczych wskazują, że charakterystyki drgań własnych poszczególnych podzespołów znajdują swoją manifestację w widmie SDC w zależności od warunków wymuszenia i kompozycji skojarzenia ślizgowego (materiał – smar) oraz innych czynników, na przykład temperatury. Ze zgromadzonego doświadczenia można wysnuć następującą hipotezę, która będzie wymagała dokładniejszego zbadania jako rozwinięcie badań wcześniejszych.

Należy przypuszczać, że podczas tarcia ślizgowego w maszynie może dojść do kaskadowego rezonansu, zaczynającego się na powierzchniach ślizgowych i rozprzestrzeniającego się na kolejne elementy jako rezonans subharmoniczny. Taka koncepcja nawiązuje do propozycji stref sąsiadujących w ciele będącym w styku tarciovym i ułożonych równolegle do powierzchni styku przedstawionej przez Balua (Blau P.: The significance and use of the friction coefficient. Tribol. Int. 2001, 34, 585–591), tworzących „stos tarciovyy” (ang. *friction stack*). Spośród wyróżnionych czterech stref:

- 1) strefa ścinania płynu rozdzielającego ciała,
- 2) strefa oddziaływania nierówności i warstw przylegających do powierzchni ciała,

- 3) strefa odkształceń sprężystych i plastycznych w objętości ciała,
- 4) strefa otoczenia eksperymentu (materiał próbek nie ulegający znaczącym odkształceniom w wyniku tarcia oraz dalsze części układu, czyli cała maszyna, w której zachodzi tarcie), dla eksperymentów przedstawionych w niniejszej pracy największe znaczenie będą miały strefy 2, 3 i 4, z uwagi na brak tarcia płynnego.

Do udowodnienia tego przypuszczenia autor planuje dalsze badania, które będą bezpośrednim wynikiem przedstawianych obecnie wyników, obejmujące pomiary drgań i emisji akustycznej w różnych pasmach częstotliwości oraz analizy sygnałów ukierunkowanej na wykazanie wzajemnych powiązań między drganiami w obrębie mikronierówności, powierzchni traktowanej jako ciało odkształcalne, próbki i dalej elementów chwytowych i kolejnych części maszyny. Relacje w tym łańcuchu mają charakter zwrotny tzn. tarcie na powierzchni powinno zależeć wprost od lokalnych warunków (prędkość, obciążenie, temperatura) 'mierzonych' w obszarze tarcia, które są zależne od oddziaływania na strefę tarcia ze strony maszyny. Przebieg tarcia powinien zwrotnie oddziaływać na maszynę (na przykład w formie drgań), a ta z kolei na warunki tarcia.

Najważniejszym, **perspektywicznym efektem oryginalnym** przedstawionych badań i analiz powinny być **zmiany w podejściu do przygotowania eksperymentu z tarciem ślizgowym**. Ustalanie **zakresu obciążeń i prędkości oraz konfiguracji stanowiska** przed badaniami obecnie odbywa się, zazwyczaj, z domyślnym traktowaniem stanowiska jako układu realizującego wprost zadane wymuszenia. Nie uwzględnia się wpływu na wynik elementów występujących pomiędzy ostoją i badanym skojarzeniem dwóch powierzchni ślizgających się po sobie. Obecność tych elementów dla samego procesu toczącego się na powierzchni nie powinna mieć znaczenia, ponieważ zależy on od lokalnych warunków w obrębie strefy styku, a uchwyty próbek i układ napędowy nie zmieniają fizyki zjawisk w tym obszarze. Uwzględnienie możliwości wystąpienia drgań ciernych w trakcie eksperymentu i znajomość odpowiedzi stanowiska na tarcie w różnych zakresach wymuszeń i przy różnych charakterystykach tarcia może przyczynić się do uzyskania kontroli nad tymi zjawiskami podczas badań. Będzie to oznaczało kontrolę nad jednym z ważnych zakłóceń wewnętrznych występujących w tribometrze, co powinno przyczynić się do poprawy jakości wyników pomiarów. Jako jakość należy rozumieć powtarzalność wyników i odtwarzalność w środowisku różnych układów mechanicznych (tribometrów). Eksperyment tribologiczny prowadzony z rejestracją i analizą drgań w świadomie wybranych punktach maszyny badawczej będzie mógł być interpretowany również w kontekście efektów jakie mogą wynikać z wystąpienia SDC. Taka pomocnicza interpretacja umożliwi badaczowi lepszą ocenę, tego czy zakładane wymuszenia (prędkość ślizgania i obciążenia) oraz konfiguracja kontaktu ślizgowego w trakcie eksperymentu odpowiadały założeniom.

W ramach osiągnięcia naukowego miała miejsce również realizacja tematu badań równoległych w wielu różnych środowiskach badawczych (różne tribometry, geometria skojarzenia ciernego). Ta część badań była prowadzona jako uzupełnienie głównego nurtu związanego ze szczegółowym rozpoznaniem cech środowiska badawczego. Uzyskany został oryginalny wynik w postaci opracowania podstaw metodyki i realizacji praktycznych tribologicznych zadań badawczych umożliwiających szybką i popartą danymi ilościowymi oraz jakościowymi selekcję

materiałów konstrukcyjnych na ekstremalnie obciążone skojarzenia ślizgowe w wyspecjalizowanych aplikacjach np. implantów stawowych, maszyn hydraulicznych i innych. W dalszych etapach badań zostanie podjęta praca związana ze zintegrowaniem wyników z obu nurtów badawczych w celu poszerzenia bazy dla oceny odpowiedzi stanowiska na wymuszane tarcie oraz opracowania metod minimalizacji indywidualnego wpływu stanowiska jednego typu na rezultaty badań doświadczalnych dzięki jednoczesnemu badaniu na stanowiskach wielu typów, o różnej strukturze.

Kolejnym skutkiem lepszego poznania wpływu środowiska i występujących w nim drgań na eksperyment z tarciem ślizgowym może być zmiana podejścia do projektowania tribometrów i ich wyposażenia. Badania nad hamulcami ciernymi, omówione na początku pracy, wskazują na związek między współczynnikiem tarcia (charakterystyką w funkcji wymuszeń), właściwościami dynamicznymi układu i drganiami. O ile w przypadku hamulców ciernych zazwyczaj dąży się do eliminacji drgań ciernych, o tyle w odniesieniu do tribometrów takie podejście nie musi być regułą. Kontrola nad drganiami towarzyszącymi badaniom tarcia ślizgowego bez znaczącej ingerencji w konstrukcję tribometru może się odbywać przez zmianę wymuszeń lub odpowiednie dostosowanie konfiguracji stanowiska do warunków badań. **W przypadku konstruowania nowej maszyny, przy znajomości zależności między badanym tarciem i odpowiedzią maszyny, możliwe jest zaprojektowanie odpowiedniej charakterystyki przez dobór odpowiednich sztywności, tłumienia i rozkładu mas oraz kontrolę liczby stopni swobody.** Kontrola nad drganiami ciernymi w tribometrze, w odróżnieniu od hamulca, może oznaczać osiągnięcie jednego z dwóch przeciwstawnych celów: unikania drgań (zapobiegania ich wzbudzeniu) lub celowego wywoływania drgań. W drugim przypadku możliwe jest wręcz wyznaczanie charakterystyki tarcia na podstawie analizy obserwowanych drgań ciernych lub na zasadzie kryterium wzbudzenia drgań, albo ich braku, co może być ciekawym, nowym wątkiem w rozwoju badań tarcia i zużycia.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

a) działalność naukowo-badawcza prowadzona przed doktoratem

Po ukończeniu w 1989r. Liceum Ogólnokształcącego nr III im. Marynarki Wojennej PRL w Gdyni (obecnie im. Marynarki Wojennej RP) i zdaniu egzaminów wstępnych z II lokatą rozpocząłem studia na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej (kierunek Budowa Maszyn).

W trakcie studiów magisterskich rozwijałem zainteresowania związane z ich kierunkiem. Jednym z moich głównych zainteresowań była zawsze motoryzacja. Jako posiadacz zabytkowego samochodu Renault 10 (rocznik 1968) samodzielnie wykonywałem naprawy i utrzymywałem go w eksploatacji przez cały okres studiów, pomimo trudności w dostępie do części zamiennych. Zajęcie to dawało mi też możliwość wykorzystywania i weryfikacji na bieżąco ważnych umiejętności i wiedzy nabywanych w toku studiów.

W czasie studiów odbyłem również praktykę zagraniczną w ośrodku związanym z motoryzacją tj. w Göteborg Volvo Truck Center (1991), gdzie zapoznawałem się z nowoczesną techniką badań i eksploatacji silników spalinowych oraz podwozi samochodów ciężarowych.

W późniejszym okresie zainteresowałem się zagadnieniami związanymi z ekologicznym wykorzystaniem energii w gospodarce. Dzięki funkcjonowaniu na Politechnice Gdańskiej programu Tempus, finansowanego ze środków UE, miałem możliwość uczestniczenia w fakultatywnych zajęciach związanych z energetyką i ekologią prowadzonych w języku angielskim przez wykładowców z różnych ośrodków europejskich. M.in. ukończyłem kurs pt. *Environmentally Friendly Energy*, którego kierownikiem był dr inż. A. Szajner, obecnie prezes Bałtyckiej Agencji Poszanowania Energii. Kontynuacją tych zainteresowań były wyjazdy na wakacyjne staże zagraniczne do Atomic Energy Authority (AEA), Harwell Laboratories w Wielkiej Brytanii (1992), gdzie uczestniczyłem w pracach związanych z zastosowaniem anemometrii laserowej do rejestracji pól prędkości czynnika w komorze spalania pracującego silnika spalinowego. W trakcie opisywanego stażu zapoznałem się z wieloma interesującymi, zaawansowanymi metodami pomiarowymi stosowanymi w badaniach doświadczalnych związanych z przepływami gazów, zawiesin w gazach oraz z zagadnieniami konwekcyjnej wymiany ciepła. Szczególnie interesujące dla mojej późniejszej działalności było zdobycie wiedzy i doświadczenia z metodami pomiarowymi wykorzystującymi światło do precyzyjnego określania lokalizacji ciał takich jak aerozole o rozmiarach rzędu mikrometrów. Również wykorzystanie laserów jako źródeł światła, które można wykorzystać do pomiarów położenia stało się w późniejszym okresie pomocne w mojej praktyce laboratoryjnej. Między innymi wykorzystanie elementów tej techniki umożliwiło opracowanie i wdrożenie bezstykowych przetworników momentu obrotowego i siły całkowicie odpornych na działanie silnych drgań występujących na obiekcie poddawany pomiarom [W10, W11]. Podobną technologię wykorzystano również podczas prac rozwojowych związanych z tribometrem do badań w prostoliniowym ruchu posuwisto – zwrotnym TPZ-1, dla którego opracowano bezstykowy przetwornik zużycia do pomiaru w czasie rzeczywistym [W12].

Kolejny wyjazd miał charakter obozu naukowego organizowanego przez duńską gminę Storstroem w miejscowości Nykøbing Falster (1993), gdzie uczestnicy z całej Europy zajmowali się rozpoznaniem i oceną problematyki związanej z ochroną środowiska, szczególnie poprzez

racjonalizację zużycia energii. Ważnym tematem obozu był również zrównoważony rozwój regionu. Dzięki możliwości kontaktu z osobami zaangażowanymi w ochronę środowiska i propagowanie idei zrównoważonego rozwoju zyskałem świadomość istotności tych zagadnień dla współczesnej techniki i nauki, których rola we wspomnianych dziedzinach jest obecnie kluczowa. W swojej późniejszej karierze, po doktoracie, zgromadzone doświadczenia mogłem wykorzystać uczestnicząc w pracach badawczych, które miały bezpośredni związek z odnawialnymi źródłami energii i ochroną cieków wodnych [G3, G6], wykorzystaniem bezpiecznych dla środowiska cieczy roboczych w systemach hydrauliki siłowej [G2, G12], a nawet z bezpieczeństwem ekologicznym eksploatacji złóż węglowodorów [G1].

W trakcie piątego roku studiów zostałem zatrudniony w Katedrze Techniki Ciepłej Wydziału Mechanicznego PG na stanowisku asystenta stażysty i rozpocząłem realizację mojej pracy magisterskiej pt. *„Wyznaczanie momentu bezwładności silnika spalinowego metodą podwójnego wybiegu”*, której promotorem był prof. dr hab. inż. Marian Cichy. Projekt dyplomowy dotyczył badań eksperymentalnych silnika spalinowego i łączył się z podstawowym profilem naukowym ówczesnej Katedry Silników Spalinowych i Sprężarek, którą kierował wówczas promotor mojej pracy. Praca była wprost zgodna z moimi zainteresowaniami i jednocześnie stanowiła bardzo dobre wprowadzenie w ówczesne realia i metodykę badań laboratoryjnych na Politechnice Gdańskiej. Ze względu na zasadę pomiaru wykonanie badań wymagało zapoznania się z podstawami procesów tribologicznych występujących w silnikach spalinowych, instrumentarium i procedurami pomiarowymi z wykorzystaniem przetworników analogowo – cyfrowych oraz obróbką komputerową sygnałów cyfrowych. Zdobyte doświadczenie wykorzystywałem później wielokrotnie w praktyce zawodowej i rozwijałem podczas przygotowywania, realizacji i opracowywania rozmaitych doświadczeń tribologicznych, głównie z tarciem ślizgowym.

W roku 1994 obroniłem na ocenę bardzo dobrą pracę magisterską, po czym odbyłem finansowany ze środków programu EU „TEMPUS” dwumiesięczny staż w City University w Londynie pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Jana Stąsieka, który prowadził wówczas w tej instytucji badania związane z wymianą ciepła i pomiarami pól temperatury opartymi na wykorzystaniu ciekłych kryształów oraz zaawansowanej obróbki obrazu. Drugim ważnym obszarem zainteresowań badawczych profesora była wówczas wymiana ciepła w ośrodkach aktywnych optycznie np. w gazach tworzących ładunek roboczy w cylindrze silnika wewnętrznego spalania. Ten obszar badawczy był zgodny z moimi wcześniejszymi doświadczeniami zainteresowaniami związanymi z silnikami spalinowymi i motoryzacją, co skłoniło mnie do przyjęcia propozycji pracy na stanowisku asystenta w Katedrze Techniki Ciepłej, gdzie pogłębiałem swój zasób wiedzy w dziedzinach termodynamiki, wymiany ciepła oraz ciepłownictwa, wentylacji i ekologicznych aspektów energetyki ciepłej.

Równoległe z pracą naukową i dydaktyczną rozwijałem współpracę z podmiotami przemysłowym. Jako przykład mogę wymienić zadanie wykonane dla firmy Hydromech S.A. z Lublewa k. Gdańska, która w ówczesnym czasie specjalizowała się w produkcji narzędzi ręcznych z napędem hydraulicznym przeznaczonych dla górnictwa węgla kamiennego. Unikatową cechą asortymentu oferowanego przez firmę było stosowanie silników o dużej trwałości w warunkach zasilania emulsją oleju w wodzie, normalnie wykorzystywaną jako

medium w siłownikach podtrzymujących strop w tzw. górniczych obudowach kroczących. Owocem tej współpracy była ręczna przecinarka taśmowa z napędem hydraulicznym w wykonaniu iskrobezpiecznym. Urządzenie otrzymało nazwę HPT-95, zostało opatentowane, a jego różne wersje rozwojowe są użytkowane i produkowane do dziś.

Po roku pracy w Katedrze Techniki Ciepłej otrzymałem propozycję zmiany miejsca zatrudnienia w obrębie Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej, którą przyjąłem i odtąd pracowałem w Katedrze Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn (obecnie, po reorganizacji jednostek naukowych na Wydziale Mechanicznym PG, Katedrze Konstrukcji Maszyn i Pojazdów).

Trafiając do zespołu zajmującego się inżynierią łożyskowania, tribologią oraz budową i eksploatacją maszyn miałem możliwość zaangażowania się w zróżnicowaną działalność, zarówno naukową, jak i konstrukcyjną oraz ekspercką, związaną z doradztwem przemysłowym w zakresie analizy awarii, modernizacji istniejących urządzeń oraz projektowania nietypowych struktur nośnych i maszyn m.in. dla przemysłu wydobywczego ropy naftowej.

Od samego początku moja praca naukowa w katedrze polegała na jednoczesnym wykonywaniu zadań związanych z badaniami eksperymentalnymi tarcia ślizgowego oraz konstrukcją i eksploatacją maszyn. Oba zakresy tematyczne wymagały stałego rozwoju znajomości współczesnej tribologii, warsztatu konstruktorskiego, umiejętności w zakresie pomiaru, gromadzenia, obróbki i interpretacji sygnałów odwzorowujących przebieg parametrów fizycznych podczas badań. Dzięki udziałowi w grantach badawczych, m.in. prowadzonych przez doc. O. Olszewskiego i dr-a inż. K. Drueta, związanymi z badaniami tribologicznymi ceramiki maszynowej, a później drgań wywołanych tarcieniem rozwinąłem zainteresowania, które zaowocowały moimi późniejszymi badaniami nad wpływem tribometru na eksperyment z tarcieniem. Celem tych projektów było pogłębienie wiedzy zarówno na temat zachowania materiałów ceramicznych w warunkach tarcia ślizgowego, jak i zależności związanych z wpływem drgań ciernych na obserwowane opory tarcia i zużycie.

W tym samym czasie rozpocząłem pracę nad ustawicznym rozwojem i modernizacją maszyn badawczych wykorzystywanych w laboratorium Katedry Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn (obecnie Konstrukcji Maszyn i Pojazdów). W procesie tym miałem możliwość łączenia doświadczeń zarówno w dziedzinie badań doświadczalnych, hydrauliki siłowej, elektrotechniki, elektroniki, techniki komputerowej i innych w odniesieniu do układów obecnych w maszynach.

W ramach pracy dydaktycznej rozpocząłem prowadzenie zajęć z przedmiotów „Grafika inżynierska” oraz „Podstawy Konstrukcji Maszyn”. Będąc asystentem zacząłem wygłaszać pierwsze referaty na konferencjach naukowych takich jak Jesienna Szkoła Tribologiczna, czy Insycont. Angażowałem się również w projekty badawczo-rozwojowe i ekspertyzy realizowane dla przemysłu. Zadania te stawały się stopniowo coraz trudniejsze i ambitniejsze, dzięki czemu podnosiłem swoje kwalifikacje i poszerzałem doświadczenie zawodowe z pożytkiem dla pracy naukowej i dydaktycznej.

W swojej pracy zawodowej miałem również możliwość uczestniczenia w dużych projektach związanych z gospodarką morską. W roku 1995 stałem się członkiem zespołu złożonego z pracowników Katedry Mechaniki i Wytrzymałości Materiałów, Katedry Konstrukcji Maszyn i Pojazdów oraz PPZrIG Petrobaltic (obecnie Lotos-Petrobaltic S.A.) pod kierownictwem

prof. E. Wittbrodta. Celem powołania zespołu było przeprowadzenie kompleksowych analiz obliczeniowych oraz zaprojektowanie konstrukcji nośnej platformy głowicowej (nazwanej później PG-1) stanowiącej element wyposażenia niezbędny do zagospodarowania złoża ropy i gazu. Konstrukcja była innowacyjna ponieważ jako podstawowe założenia konstrukcyjne przyjęto wykorzystanie w możliwie dużym zakresie typowych rur stosowanych w wiertnictwie, połączeń ciernych napiętych wstępnie między głównymi elementami konstrukcyjnymi oraz przeprowadzenie montażu z wykorzystaniem typowych statków do obsługi platform wiertniczych i platformy wiertniczej typu slot. Wymienione założenia miały za zadanie opracowanie rozwiązania efektywnego kosztowo w porównaniu z typowymi rozwiązaniami, które wymagają prefabrykacji bardzo dużych elementów na lądzie i użycia bardzo drogiego w eksploatacji sprzętu specjalistycznego, takiego jak barki pełnomorskie i dźwigi pływające o dużej nośności.

Zadanie obliczeniowe i konstrukcyjne zostało zrealizowane i prototypowy obiekt wprowadzono do eksploatacji w roku 1999. Opisany zespół uczestniczył również w nadzorze i gromadzeniu doświadczeń związanych z eksploatacją unikatowej konstrukcji. W czasie eksploatacji doszło do losowej awarii, której skutki były oceniane i usuwane przy udziale zespołu. Obiekt PG-1 po kilkukrotnej przebudowie jest nadal eksploatowany i stanowi niezbędny element zagospodarowania złoża ropy naftowej i gazu w polskiej strefie ekonomicznej na Bałtyku.

W 1998 roku otworzyłem przewód doktorski pt. *„Badania doświadczalne drgań samowzbudnych wywołanych tarciem w styku wybranych materiałów ceramicznych”*, którego promotorem został Prof. A. Neyman. Tematyka mojej pracy wynikała w znacznym zakresie z wcześniejszego doświadczenia wyniesionego z badań, w których realizacji uczestniczyłem wcześniej. Zachęcony przez promotora złożyłem wniosek w konkursie o grant promotorski, co zostało uwieńczone sukcesem w postaci uzyskania w roku 1999 wsparcia finansowego z KBN. Dzięki uzyskanym funduszom mogłem zrealizować mój pierwszy znaczący projekt naukowy wymagający przeprowadzenia zarówno prac technicznych (modernizacja stanowiska badawczego i przygotowanie materiałów badawczych), organizacyjnych (przygotowanie zamówień, zarządzanie wykonawstwem, nadzór finansowy) jak i naukowych (planowanie eksperymentów, realizacja, obróbka danych pomiarowych i interpretacja wyników badań). Dzięki doświadczeniom z pierwszego zrealizowanego projektu badawczego, który pozwolił mi na zapoznanie się z realiami prowadzenia prac naukowych na Politechnice Gdańskiej, udało mi się w późniejszym okresie z sukcesem przystąpić dwukrotnie do konkursów na granty badawcze własne i realizację dwóch samodzielnych projektów jako kierownik.

Publiczna obrona mojej rozprawy doktorskiej odbyła się 19 września 2002 roku na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej

b) Działalność naukowo-badawcza prowadzona po doktoracie

Obiecujące rezultaty będące wynikiem realizacji mojego grantu promotorskiego stały się podstawą do dalszych badań nad relacją między właściwościami stanowiska badawczego a przebiegiem i wynikiem doświadczeń z tarciem ślizgowym. Tematyka ta wywodzi się z badań charakterystyk tribologicznych ceramiki maszynowej w warunkach jednokierunkowego

ślizgania, a później samowzbudnych drgań ciernych, których występowanie jest częste w niektórych skojarzeniach ślizgowych materiałów ceramicznych. Za szczególnie istotne dla wspomnianych relacji tribometr – skojarzenie badawcze uznałem zagadnienia dotyczące charakterystyki rozkładu bezwładności, sztywności i tłumienia w maszynie badawczej oraz wpływu odpowiedzi maszyny wymuszanej badanym tarcie na uzyskiwany wynik eksperymentu. W tym kierunku zmierzały prace zrealizowane przez zespół pod moim kierownictwem w ramach grantu uzyskanego po doktoracie w wyniku wygranego konkursu ogłoszonego przez KBN [G10].

Kolejnym ważnym etapem w moich badaniach nad interakcjami między tarcie w badanym skojarzeniu ślizgowym i tribometrem była realizacja drugiego kierowanego przeze mnie projektu po sukcesie autorskiego wniosku złożonego na konkurs KBN. Tym razem praca koncentrowała się na zagadnieniach związanych z analizą wyników eksperymentu tribologicznego z uwzględnieniem wcześniejszych wyników badań, przy wykorzystaniu zaawansowanych metod obróbki danych pomiarowych [G4].

Od początku swojej działalności naukowo-badawczej zajmuję się projektowaniem, realizacją i rozwojem eksperymentu tribologicznego w warunkach tarcia ślizgowego. W głównym nurcie moich dotychczasowych zainteresowań badawczych mieści się tarcie ślizgowe suche, technicznie suche, mieszane i graniczne w styku konforemnym oraz skoncentrowanym, zarówno w ruchu jednokierunkowym, jak i posuwisto – zwrotnym. Dzięki dużemu doświadczeniu związanemu z rozwojem maszyn i metod badawczych stosowanych w tribologii wielokrotnie uczestniczyłem w zadaniach polegających na kompleksowych badaniach wywodzących się z różnych dziedzin, jednak wymagających w pewnej części wykonania badań na uniwersalnym tribometrze. Wszelkie prace tego typu miały charakter poszukiwań o znaczeniu podstawowym w sensie tribologicznym tj. pomiaru tarcia i/lub zużycia wybranych skojarzeń ciernych (ślizgowych) w pewnym zakresie wymuszeń.

Znaczenie badań laboratoryjnych typu wyznaczania charakterystyk oporów tarcia i towarzyszącego tarcia zużycia jest bardzo duże nie tylko w tribologii, ale i wielu innych dziedzinach nauki i techniki. W czasie mojej dotychczasowej pracy naukowej miałem wiele okazji do współpracy z badaczami koncentrującymi swoje wysiłki na inżynierii łożyskowania (doc. dr inż. O. Olszewski, dr hab. inż. A. Olszewski, prof. dr hab. inż. M. Wasilczuk, dr inż. M. Wodtke, dr inż. R. Gawarkiewicz), inżynierii materiałowej (prof. dr hab. inż. A. Zieliński, dr hab. inż. W. Serbiński, dr inż. M. Jażdżewska, dr inż. B. Majkowska, dr inż. K. Zasińska, dr hab. inż. R. Jendrzewski – IMP PAN), inżynierii ekologicznych środków smarowych na bazie wody (prof. dr hab. inż. M.W. Sułek – Instytut Chemii Przemysłowej, Warszawa), czy hydrauliki siłowej (prof. dr hab. inż. A. Balawender, dr hab. inż. P. Śliwiński). W każdym wymienionym przypadku zadania naukowego na pewnym etapie pojawiała się konieczność przeprowadzenia badań doświadczalnych modelowego skojarzenia ślizgowego w warunkach testu na uniwersalnym tribometrze. Zawsze w takich sytuacjach miałem do czynienia z zagadnieniem oceny oporów tarcia, oceny odporności na zużycie, a niekiedy z zagadnieniem oceny właściwości smarnych substancji stosowanej w tym charakterze.

W każdym przypadku konieczny był przemyślany dobór warunków w jakich miał się odbywać eksperyment tribologiczny (typ tribometru, rodzaj styku – skoncentrowany/konforemny,

warunki smarowania, kształt powierzchni styku, obciążenia, prędkość ruchu względnego, i inne parametry). Każdorazowo konieczna była analiza właściwości materiałów przeznaczonych do badań, która była poszerzona o badania rozpoznawcze mające umożliwić określenie maksymalnych obciążeń i prędkości w warunkach planowanego testu. W przypadku zadań osadzonych w inżynierii materiałowej nie ma możliwości precyzyjnego określenia przed wykonaniem doświadczenia tribologicznego takich parametrów jak na przykład maksymalne naciski na powierzchni roboczej skojarzenia ślizgowego przy których materiał jest w stanie spełniać swoją funkcję.

Zadania związane z rozwojem konstrukcji silników hydraulicznych wymagały podejścia polegającego na porównaniu wielu skojarzeń twardych materiałów w warunkach smarowania cieczami o małej lepkości. Nie istnieją typowe testy umożliwiające jednoznaczne wskazanie odpowiedzialny sposób które z materiałów dostępnych do zastosowania w konkretnym rozwiązaniu konstrukcyjnym spełnią w największym stopniu wymagania twórcy nowego rozwiązania pod względem tribologicznym. W takich zadaniach stosowałem podejście wielowątkowe tj. równoległe badania tych samych skojarzeń materiał – smar – materiał na różnych stanowiskach i przy różnych geometriach kontaktu. Taki wielostanowiskowy sposób badań pozwalał na ocenę porównawczą projektowanych węzłów tarcia nie tylko ze względu na wartości wymuszeń, ale również w odniesieniu do środowiska eksperymentu tribologicznego rozumianego jako maszyna, w której jest wywoływane tarcie.

Każdorazowo, niezależnie od zadania, niezbędne było przeprowadzenie prac związanych z rozwojem posiadanych stanowisk badawczych, w szczególności serii PT, które dzięki takiemu ciągłemu procesowi zmian są zgodne z bieżącym stanem rozwoju techniki laboratoryjnej w tribologii. W trakcie mojej pracy realizowałem osobiście i w zespołach prace projektowe i nadzorowałem wykonawstwo wraz z uruchomieniem w obrębie wszystkich układów składających się na użytkowane przeze mnie maszyny badawcze.

W swojej pracy wielokrotnie spotykałem się z problemami powtarzalności i odtwarzalności doświadczeń laboratoryjnych z tarcie ślizgowym. Mogę stwierdzić, że w niektórych przypadkach zasięg tych doświadczeń był międzynarodowy ponieważ miałem możliwość uczestniczenia w programie badawczym skojarzenia materiałowego ceramika – metal przeznaczonego na ekstremalnie obciążone węzły ślizgowe, które w części polegały na porównaniu rezultatów z badań przeprowadzonych w laboratorium w Europie zachodniej z badaniami przeprowadzonymi w Politechnice Gdańskiej [W4, E2 – E5].

W takich przypadkach potwierdzała się teza o znaczącym i niedostatecznie rozpoznanym wpływie stanowiska badawczego (tribometru) na przebieg i wyniki eksperymentów z tarcie ślizgowym. Charakterystyka stanowiska nie jest w tym przypadku obojętna, a jednak metodyka oceny jej wpływu na wynik pracy badawczej nie jest dostatecznie rozwinięta.

Jednym z rezultatów moich osobistych wysiłków ukierunkowanych na zmianę tej sytuacji jest nie stosowana wcześniej metoda oceny jednej z postaci tego wpływu dla maszyn klasy PT. W rozwiązaniu tym można mówić o mariażu klasycznej techniki prowadzenia eksperymentu tribologicznego i metod diagnostyki wibroakustycznej, dzięki czemu uzyskuje się możliwość poprawy kontroli nad wywoływanym procesem oraz nowe narzędzie do interpretacji wyników pomiarów.

Korzystając z doświadczeń nabytych podczas realizacji własnych tematów badawczych miałem możliwość przeprowadzenia badań drgań stanowiska badawczego MWO wykorzystywanego do badań zmęczeniowych cienkościennych panewek łożysk ślizgowych. Celem badań była kontrola stanu pracy nadkrytycznej w stosunku do rezonansu, co było warunkiem zachowania właściwych wymuszeń w układzie wał – panewka (prof. dr hab. inż. J. Sikora, dr inż. W. Majewski). W przytoczonej pracy możliwe było wykorzystanie wprost doświadczenia i aparatury badawczej związanych z badaniami drgań ciernych i stanów pracy stanowiska badawczego podczas eksperymentu tribologicznego.

Szczegółowe zestawienie dorobku uzyskanego po doktoracie zamieszczono w załączniku 4 dołączonym do wniosku.

c) Pozostała działalność naukowo-badawcza

Od początku swojej pracy w jednostce naukowo – badawczej kierowałem się założeniem otwartego podejścia do nowych wyzwań i szerokiego pojmowania możliwości zaangażowania inżyniera mechanika w różnorodne tematy. Podczas stażu podyplomowego w City University w Londynie miałem możliwość zapoznania się z mottem tamtejszego Wydziału Mechanicznego: „Nothing moves without mechanics” i to stwierdzenie stało się dla mnie inspiracją. Dzięki takiemu podejściu miałem możliwość uczestniczenia w wielu przedsięwzięciach związanych z wieloma dziedzinami działalności naukowo – badawczej i technicznej, wymagających zastosowania elementów metody naukowej.

Poprzez prowadzenie ustawicznego rozwoju tribometrów, opracowywanie i realizację nowych rozwiązań konstrukcyjnych w zakresie części mechanicznej jak i elektryczno – elektronicznej przez cały okres swojej pracy naukowej przyczyniałem się do utrzymania na wysokim poziomie technicznym laboratorium tribologicznego i inżynierii łożyskowania Katedry Konstrukcji Maszyn i Pojazdów Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej. Moje zaangażowanie pozwoliło mi na udział w takich przedsięwzięciach jak badania tarcia ślizgowego w warunkach prostoliniowego ruchu posuwisto – zwrotnego [B17, B20, B21, B23, B24], głównie w przypadku zadań wywodzących się z inżynierii materiałowej. Badania naukowe zrealizowane z moim udziałem w laboratorium mojej macierzystej Katedry z reguły wymagały przeprowadzenia przygotowań stanowiska wraz z opracowaniem adaptacji układu badawczego, wykonania nowych elementów, montażu i uruchomienia stanowiska oraz opracowania programu badań. W konsekwencji każde zadanie badawcze stawiało się również zadaniem projektowym konstrukcyjnym z konieczną realizacją projektu.

Jednym z obszarów mojego zaangażowania naukowego, oprócz tribologii jest Inżynieria Mechaniczno – Medyczna. Obecnie w moim dorobku znajdują się głównie liczne prace dyplomowe stopnia inżynierskiego i magisterskiego, z których dotychczas rezultaty dwóch stały się podstawą do uzyskania ochrony patentowej [P2, P3]. W ostatnim czasie zaangażowałem się w badania właściwości mechanicznych ścięgien i pionierskie prace związane z projektowaniem implantów metalowych do zespalania zerwanych ścięgien o małych przekrojach w kończynach

górnych. Obecnie trwają badania właściwości mechanicznych na ścięgnaach zwierzęcych oraz pierwsze próby wykonania prototypów implantów. Prace są ukierunkowane na opracowanie technologii pilotażowej i dalsze badania kliniczne.

W latach 2008 – 2013 byłem zaangażowany w międzywydziałową współpracę związaną z innowacyjną inwestycją realizowaną na Wydziale Elektroniki i Telekomunikacji Politechniki Gdańskiej. Zadanie polegało na opracowaniu koncepcji i późniejszym nadzorze nad realizacją projektu oraz wdrożeniem do eksploatacji zaawansowanego laboratorium wizualizacji przestrzennej. W wyniku wstępnych analiz oraz kwerend zagranicznych (Wielka Brytania, Holandia, Belgia), zespół, w którym uczestniczyłem opracował koncepcję instalacji z uwzględnieniem aktualnego stanu nauki i techniki; Uwzględniono również konieczność przewidzenia potencjału rozwojowego związanego z planowanymi badaniami. Moją rolą było nadzorowanie zadań z branży mechanicznej i konstrukcyjnej, między innymi w zakresie urządzeń do symulacji chodu osoby wykorzystującej narzędzia rzeczywistości wirtualnej z tzw. pełnym zanurzeniem. Najciekawszą częścią zrealizowanego projektu jest wielkogabarytowa (największa w Europie) instalacja typu CAVE, czyli pomieszczenie o kształcie sześciianu o boku ponad 3 metry. Ściany pomieszczenia są jednocześnie ekranami, na których odbywa się projekcja obrazu z projektorów o wysokiej rozdzielczości. Dzięki zastosowaniu zaawansowanych technik wizualizacji 3D uczestnik symulacji może odbierać rzeczywistość wirtualną generowaną przez system komputerowy jak obiekty rzeczywiste. Instalacja jest wykorzystywana do kształcenia studentów w zakresie wizualizacji 3D i rzeczywistości wirtualnej, a także do badań i rozwoju technik programistycznych związanych z tą dziedziną elektroniki i informatyki [B28, B29]. Obecnie z laboratorium korzystają również ośrodki naukowe i inne z otoczenia gospodarczego uczelni. Między innymi Laboratorium Kryminalistyki. Przewidywana jest współpraca z zespołami zajmującymi się medycyną, psychologią oraz zakładami przemysłu metalowego i elektromaszynowego.

W latach 2013- 2016 uczestniczyłem jako główny wykonawca w projekcie badawczo – rozwojowym związanym z opracowaniem zaawansowanych narzędzi stosowanych w wiertnictwie do przeciwdziałania szkodliwym skutkom pęcznienia skał ilastych w otworach poszukiwawczych i eksploatacyjnych. [P1, G1]. Projekt był związany z szeroko rozumianym rozwojem prac poszukiwawczych i technik zagospodarowania złóż węglowodorów, szczególnie na dużych głębokościach i w warunkach geologicznych wymagających stosowania specjalnych zabiegów w celu zwiększenia wydajności złoża, np. szczelinowania hydraulicznego. W toku realizacji projektu opracowano koncepcję innowacyjnego narzędzia, które jest hybrydą dwóch innych narzędzi otworowych tj. tzw. *'guide shoe'* oraz *'reamer tool'*. Jestem jednym z trzech głównych autorów patentu (30% udziału). Technologia wiertnicza wymaga, aby po wywierceniu otworu w skale i wycofaniu świdra zaopatrzyć otwór okładzinę zbudowaną z ciągłej kolumny rur, które są skręcane z odcinków na powierzchni i zapuszczane do otworu. W celu przeciwdziałania erupcji z otworu jest on wypełniony płuczką (zawiesziną sproszkowanych skał w wodzie). Jeżeli w górotworze są skały ilaste będą one chłoniąc wodę z płuczki i pęcznieć zamykając światło otworu. Innowacyjne narzędzie – Protektor Przeciw Pęcznieniu Iłom – ma

zastosowanie jako element prowadzący kolumnę rur okładzinowych w surowym otworze, wyposażony w specjalne zestawy ostrzy oraz dysz płuczkowych, dzięki czemu może łatwo skrawać pęczniące ility do postaci rozdrobnionych wiórów. Skutkiem działania protektora jest poprawiona geometria otworu przy łatwej ewakuacji nadmiarowego materiału skalnego, co jest krytycznie ważne podczas późniejszej fazy cementowania przestrzeni między górotworem i rurą okładzinową w celu uszczelnienia połączenia. Projekt jest po udanych badaniach prototypu, w trakcie patentowania i opracowywania technologii produkcji seryjnej.

W latach 2014 – 2015 brałem udział jako jeden z inicjatorów i wykonawców zarazem w inicjacji prac z zakresu diagnostyki wibroakustycznej w układach napędowych wiroplątów [E6, E7]. Praca wyniknęła z prowadzonych przez firmę Airbus Helicopters poszukiwań partnerów w obrębie jednostek naukowo – badawczych w celu rozwinięcia współpracy. Zrealizowana praca doprowadziła do nawiązania wielokierunkowych kontaktów między jednostkami w Polsce oraz firmą AH z centralą w Marignane, Francja. Jedną z późniejszych konsekwencji współpracy było opracowanie projektu związanego z przystosowaniem stanowiska do badania zmęczeniowego łożysk ślizgowych przy wirującym wektorze obciążenia do pracy z łożyskami tocznymi i rejestracji sygnałów drganiowych oraz akustycznych podczas badań nad metodami detekcji i oceny uszkodzeń w układach napędowych śmigłowców. Istotnym zyskiem z realizacji omawianego zadania było zacieśnienie współpracy z wiodącymi ośrodkami krajowymi m.in. AGH, Kraków w zakresie szeroko rozumianej diagnostyki maszyn z wykorzystaniem rejestracji i analizy drgań oraz hałasu.

W ramach prowadzonej przeze mnie działalności naukowo-badawczej zajmowałem się często pracami z pogranicza inżynierii materiałowej i tribologii. Obie te dziedziny w wielu obszarach ściśle ze sobą współgrają, szczególnie w przypadku zagadnień związanych z oporami tarcia powierzchniowego oraz z kontrolą zużycia skojarzeń ślizgowych.

d) Publikacje w przygotowaniu lub złożone w wydawnictwach

1. Jendrzewski R., Łubiński J., Śliwiński G., Wear resistance enhancement of Al6061 alloy by laser dispersing of carbide powders, *Journal of Materials Processing Technology*, 35 pkt, (IF 2.236, 2014)
2. Jendrzewski R., Łubiński J., Śliwiński G., Laser dispersed carbide powders in Ti-6Al-4V alloy for wear resistance enhancement, *Applied Surface Science* 35 pkt, (IF 2.711, 2014)
3. Łubiński J., Vibration monitoring in sliding contact as a tool to determine its friction modes, *Tribology International*, 35 pkt., (IF 1.936, 2014)
4. Bolewski Ł, Szkodo M., Łubiński J., Solving impacts of clay swelling in the drilling industry. The concept of an innovative type of reamer guide shoe tool, *SPE DRILLING & COMPLETION*, 20 pkt, (IF 0.461, 2014)
5. Łubiński J.I., Druet K., The Application of Vibration Recording and Analysis in Tribological Research on Sliding Friction, *Applied Condition Monitoring*, Vol. 10, red. Anna Timofiejczuk et al: *ADVANCES IN TECHNICAL DIAGNOSTICS*, 978-3-319-62041-1, Springer (rozdział w monografii), 5 pkt.
6. Grymek S., Łubiński J.I., Flow properties of connected pneumatic components, *Acta Mechanica et Automatica*, 14 pkt.

e) Zrealizowane oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne

Od momentu realizacji mojej pracy dyplomowej wykonywanej na Politechnice Gdańskiej ściśle współpracowałem z wieloma podmiotami w otoczeniu gospodarczym, zarówno bezpośrednio w regionie Pomorza, jak i w innych regionach kraju oraz z firmami zagranicznymi. W swojej pracy nigdy nie ograniczałem się wyłącznie do zakresu tematyki wybranej przeze mnie jako wiodąca w moich badaniach naukowych, dzięki czemu miałem możliwość zdobycia szerokiego doświadczenia w kontaktach z różnymi gałęziami przemysłu. W licznych przypadkach miałem możliwość łączenia doświadczeń akademickich i pogłębionej wiedzy z zakresu fizyki działania maszyn i urządzeń z umiejętnościami czysto inżynierskimi oraz współpracy z ludźmi zatrudnionymi w przemyśle na stanowiskach związanych z produkcją, eksploatacją i utrzymaniem ruchu oraz nadzorem technicznym.

firmami o międzynarodowej renomie realizując liczne prace o charakterze użytkowym. Jestem autorem lub współautorem **28** wdrożeń związanych z projektowaniem i eksploatacją maszyn, w tym tribometrów, oraz ustrojów nośnych do zastosowań typu off-shore w poszukiwaniu i wydobywaniu ropy naftowej, a także wyposażenia platform wiertniczych typu jack – up. Uczestniczyłem również, jako konstruktor i autor nadzorujący realizację zadań projektowych w pracach związanych z rozwojem zaawansowanych układów pomiarowych wykorzystywanych w instalacjach petrochemicznych na całym świecie.

Najważniejsze zrealizowane osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne wykonane po uzyskaniu stopnia doktora:

1. Moja działalność związana z tribologią wymagała przeprowadzenia wielu prac związanych z zagadnieniami projektowymi, konstrukcyjnymi i mechatronicznymi w odniesieniu do maszyn badawczych. Większość zadań z tej grupy wiązała się z maszynami należącymi do rodziny tribometrów PT [W6-W11, W13], jednak każdorazowo doświadczenia zdobyte w kolejnych wdrożeniach były również wykorzystywane do rozwoju innych maszyn np. tribometru TPZ-1 o ruchu posuwisto – zwrotnym. , [W2, W12, W14, A1, A12].
2. Wraz z zespołem wdrożyłem program oceny stanu technicznego, optymalizacji technik eksploatacji oraz badań młynów do rozdrabniania materiału skalnego oraz opracowałem projekt zmodernizowanych łożysk hydrodynamicznych (w trakcie wdrożenia) w KGHM Polska Miedź S.A (2008-2016), [W1, W5, B2, B15]. Zadania w tej samej branży, w zakresie oceny wytrzymałości młynów rurowych wykonywałem również na zlecenie MAKRUM S.A., Polska, Bydgoszcz [W25].
3. Jestem również współautorem wielu wdrożeń o charakterze konstrukcyjnym. Do najważniejszych z nich można zaliczyć udział w wielu projektach związanych z przebudową i modernizacją platform wiertniczych oraz systemów pomocniczych użytkowanych przez LOTOS Petrobaltic S.A (2009-2015), [W16 – W18, W26]. Wcześniejsze moje autorskie i współautorskie wdrożenia w tej branży miały miejsce

przed uzyskaniem stopnia doktora i były związane głównie z prototypową platformą głowicową PG-1, której późniejsza eksploatacja zaowocowała wieloma ekspertyzami [W35-W39].

4. Prowadzę regularną współpracę z firmą Federal-Mogul Bimet S.A., Polska, Gdańsk w zakresie rozwiązywania nietypowych problemów związanych z modernizacją i eksploatacją maszyn do obróbki taśm bimetalowych na panewki cienkościenne łożysk ślizgowych [W15, W24].
5. Uczestniczę jako konsultant zewnętrzny ds. w pracach prowadzonych przez globalną firmę Fluenta A.S. (Norwegia, W. Brytania) związanych z rozwojem przemysłowych ultradźwiękowych przepływomierzy stosowanych w instalacjach petrochemicznych na całym świecie [W19-W23].

Wybrane wdrożenia związane z zagadnieniami tribologicznymi, w tym rozwojem tribometrów:

(po uzyskaniu stopnia doktora, w odwróconym porządku chronologicznym):

- W1. Olszewski A., **Łubiński J.**, Olszewski O., Mazur K., Paduszyński J., Guzman B. i inni: Analiza łożyskowania młynów oraz określenie sposobów ich modernizacji. 2015-2016. Projekt nowego łożyskowania młynów kulowych mielenia rudy wykonany na zlecenie KGHM Polska Miedź. Projekt w trakcie wdrażania przez KGHM.
- W2. Wittbrodt E., **Łubiński J.**, Olszewski A., Olszewski H.: Wdrożenie metodyki badania stanu technicznego i prognozowania trwałości młynów rudy. 2008. Wyniki prac wdrożone w KGHM Polska Miedź S.A.
- W3. **Łubiński J. (50%)**, Majewski W., Adaptacja głowicy stanowiska MWO do badań panewek z polimerową powłoką przeciwzatarciową BIMET S.A. 2016
- W4. **Łubiński J. (100%)**, Projekt skojarzenia ślizgowego oraz adaptacja układu badawczego tribometru PT-3 do badań skojarzeń ślizgowych stal – DLC (powłoka na powierzchni stali łożyskowej) w styku płaskim do badań przy ekstremalnie wysokich naciskach powierzchniowych, Schaeffler GmbH. Niemcy, 2014
- W5. Wittbrodt E., **Łubiński J. (25%)**, Olszewski A., Olszewski H.: Wdrożenie metodyki badania stanu technicznego i prognozowania trwałości młynów rudy z uwzględnieniem zużycia tribologicznego i zmęczeniowego. 2008. Wyniki prac wdrożone w KGHM Polska Miedź S.A.
- W6. **Łubiński J. (40%)**, Druet K., Gliwiński J., Łuczywo J., Modernizacja układu zadawania obciążenia i smarowania Tribometru PT-1, 2005
- W7. **Łubiński J. (100%)**, Projekt adaptacji układu badawczego stanowiska Tribometr PT-2 do badań odporności na zużycie warstw kompozytowych wykonanych technologią multipleksowego kształtowania struktury na stopach aluminium, praca w ramach grantu badawczego prof. W. Serbińskiego, 2004

- W8. **Łubiński J. (40%)**, Druet K., Gliwiński J., Łuczywo J., Modernizacja układu zadawania obciążenia Tribometru PT-3, 2004
- W9. **Łubiński J. (40%)**, Druet K., Gliwiński J., Łuczywo J., Modernizacja układu zadawania obciążenia i smarowania Tribometru PT-2, 2004
- W10. **Łubiński J. (40%)**, Druet K., Gliwiński J., Łuczywo J., Modernizacja układu pomiarowego momentu tarcia tribometru PT-1, 2004
- W11. **Łubiński J. (40%)**, Druet K., Gliwiński J., Łuczywo J., Modernizacja układu pomiarowego momentu tarcia tribometru PT-3, 2004
- W12. **Łubiński J. (40%)**, Druet K., Gliwiński J., Innowacyjny optoelektroniczny przetwornik zużycia działający w czasie rzeczywistym do zastosowania w tribometrze o ruchu posuwisto-zwrotnym TPZ-1, 2004
- W13. **Łubiński J. (100%)**, Projekt adaptacji układu badawczego stanowiska Tribometr PT-2 do badań odporności na zużycie stopów metali lekkich po powierzchniowej obróbce laserowej w warunkach kriogenicznych, praca w ramach grantu badawczego prof. W. Serbińskiego, 2003
- W14. **Łubiński J. (40%)**, Druet K., Grymek S., Projekt modernizacji Tribometru TPZ-1 ze stabilizacją prędkości względnej w ruchu posuwisto – zwrotnym, 2003

Pełną listę najważniejszych zrealizowanych osiągnięć wdrożeniowych zamieszczono w załączniku 4.

f) udzielone patenty międzynarodowe i krajowe

Jestem autorem lub współautorem **5** patentów krajowych, a **1 europejskie zgłoszenie patentowe** oczekuje na ostateczne zatwierdzenie. Jeden z wymienionych patentów i zgłoszeń patentowych **[P6]** jest ściśle związany z prowadzonymi przeze mnie pracami nad rozwojem eksperymentu tribologicznego. Rozwiązanie to, pozwalające na poprawę jakości pomiaru momentu tarcia, zostało wdrożone w maszynach tribometr PT i jest stale eksploatowane przyczyniając się do powodzenia wielu zadań badawczych. Zgłoszenie Patentu Europejskiego **[P1]** powstało w wyniku budowy i realizacji badań prototypu narzędzia otworowego do prac wiertniczych, w szczególności podczas poszukiwań złóż ropy i gazu.

Wykaz patentów i zgłoszeń patentowych w odwróconym porządku chronologicznym po uzyskaniu stopnia doktora (w nawiasie podano udział procentowy autora)

- P1. **Łubiński J. (30%)**, Szewczuk P., Bolewski Ł., Szkodo M., Karpiński B., Kmiec M., Antoszkiewicz M., Drilling tool, Zgłoszenie patentowe europejskie nr 15460053.0-1605 wykonane w ramach grantu Protektor Przeciw Pęczniejącym Iłom 2015 (**rozwiązanie wykonane jako prototyp i przetestowane w warunkach rzeczywistych odwiertów, obecnie przygotowywane do produkcji seryjnej**)
- P2. **Łubiński J. (50%)**, Czonstke P., Stanowisko o zmiennej konfiguracji jego kształtu do rehabilitacji i fizykoterapii, zwłaszcza kręgosłupa z możliwością wykorzystania go do diagnostyki kardiologicznej. (P. 220709), 2014
- P3. **Łubiński J. (50%)**, Gusowski B., Urządzenie samobieżne do transportu osób niepełnosprawnych wraz z wózkiem inwalidzkim po pochyłości, zwłaszcza na schodach. (P. 221434), 2014
- P4. Olszewski A., **Łubiński J.I. (50%)**: Urządzenie do odzysku ciepła zwłaszcza w obrotowych suszarkach bębnowych. Zgłoszenie patentowe nr P.391435, 2011.
- P5. **Łubiński J. (50%)**, Dorsz P., Przecinarka oscylacyjna zwłaszcza do pracy w warunkach zagrożenia wybuchem. wzór użytkowy, uzyskana ochrona Ru 66650, 2011
- P6. **Łubiński J.I. (33%)**, Łubiński T., Druet K., Układ pomiarowy oporów tarcia, szczególnie do urządzeń o próbkę obrotowej dociskanej osiowo do przeciwpróbkki, PL 196463, Decyzja UP RP z 15.05.2007, (rozwiązanie wdrożone i obecnie użytkowane)

g) sumaryczny impact factor według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania:

Impact factor = **(3,41)**

h) liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS)

Liczba cytowań na dzień 30.06.2017 wynosi wg Web of Science: **2**. Wg Google Scholar **50**.

i) indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS):

Indeks Hirscha wg Web of Science = **1**

Indeks Hirscha wg Google Scholar = **5**

j) kierowanie międzynarodowymi i krajowymi projektami badawczymi oraz udział w takich projektach

Po uzyskaniu stopnia doktora brałem udział w **15** projektach badawczych, z czego w **2** przypadkach byłem kierownikiem projektu, a w **4** głównym wykonawcą. W przeważającej większości wymienione projekty są związane wprost lub pośrednio z zagadnieniami tribologicznymi i wymagały wykonania znacznego zakresu prac badawczych polegających na doświadczeniach laboratoryjnych z tarciem ślizgowym [**G2, G3, G4, G5, G6, G7, G8, G10, G11, G13-G15**]. W projektach tych odpowiadałem za przygotowanie i realizację oraz analizę i interpretację wyników eksperymentów laboratoryjnych z tarciem ślizgowym. Były to badania polegające zarówno na wyznaczaniu charakterystyki oporów tarcia, przebiegu zużycia oraz trwałości modelowych skojarzeń ślizgowych. W dwóch przypadkach realizowane zadanie polegało na opracowaniu metody selekcji skojarzeń materiałowych optymalnych z punktu widzenia wymagań konstrukcyjnych dla wysokoobciążonych elementów silników hydraulicznych przy zastosowaniu różnych środków smarowych [**G2, G12**]. Wyniki przygotowanych i zrealizowanych przeze mnie eksperymentów przyczyniły się do skonstruowania i wprowadzenia do produkcji i sukcesu rynkowego silników hydraulicznych nowej generacji. Urządzenia te zostały zaprojektowane do pracy z czynnikami roboczymi o małej lepkości, w tym czystej wody, przy zachowaniu wysokiej trwałości.

Udział oraz kierowanie projektami badawczymi po uzyskaniu stopnia doktora

- G1. Narzędzie otworowe – Protektor przeciw pęczniejącym iłom. Projekt NCBiR nr BG1/PPPI w programie „Blue Gas”. 2013 – 2016, **główny wykonawca, (kier. M. Szodo)**
- G2. Nowe opracowanie hydraulicznych maszyn satelitarnych do napędów z cieczami ekologicznymi oraz cieczami niepalnymi. Projekt NCBiR LIDER 35/102/L-2/10, 2011-2014. **wykonawca, (kier. P. Śliwiński)**
- G3. Nowe ekologiczne łożysko foliowe smarowane wodą – metodyka projektowania i badania doświadczalne prototypów. Projekt badawczy rozwojowy NR03-0036-10/2010 finansowany przez NCBiR, 2010-2013, **wykonawca, (kier. A. Olszewski)**
- G4. Empiryczna weryfikacja modelu dynamicznego tribometru wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych do kompleksowej analizy wyników eksperymentu tribologicznego. Projekt badawczy własny KBN N504 411737, 2009-2012, **kierownik J. Łubiński**.
- G5. Badania teoretyczne i doświadczalne wielopowierzchniowych łożysk hydrodynamicznych podpartych na czaszy kulistej. Projekt badawczy KBN N502 040 32/3013, 2007-2009, **wykonawca, (kier. M. Wodtke)**
- G6. Charakterystyki pracy ekologicznych łożysk foliowych poprzecznych smarowanych wodą z uwzględnieniem wpływu przetarcia powłoki łożyskowej. Projekt KBN 1683/T007/2005/29, 2007-2009, **wykonawca, (kier. A. Olszewski)**
- G7. Badania właściwości tribologicznych modyfikowanych powłok DLC w warunkach smarowania wodą i roztworem NaCl. Projekt badawczy nr N504479934 finansowany przez KBN, zakończony, 2007-2010, **główny wykonawca, (kier. A. Neyman)**

- G8. Poszukiwanie niskotarciowych skojarzeń z cienkimi powłokami ceramicznymi, przeznaczonych na węzły ślizgowe. Projekt badawczy Nr 1485/T07/2004/27. 2004-2007, **główny wykonawca, (kier. A. Neyman)**
- G9. Badania pęknięć zmęczeniowych w panwiach hydrodynamicznych łożysk poprzecznych-estymatory wytrzymałości zmęczeniowej warstw ślizgowych. Projekt badawczy KBN nr 4T07B 029 28, 2005-2007. **wykonawca, (kier. J. Sikora)**
- G10. Badanie wpływu własności dynamicznych stanowiska badawczego na odtwarzalność eksperymentu tribologicznego. Projekt badawczy KBN nr 4T07C 010 27, 2004-2007, **kierownik J. Łubiński.**
- G11. Analiza właściwości tribologicznych wybranego bezsmarowego materiału łożyskowego w warunkach mikrooscylacji stycznych w płaskim skojarzeniu ślizgowym. projekt badawczy KBN nr 4T07B 063 28, 2007, **wykonawca, (kier. R. Gawarkiewicz)**
- G12. Badania rozwojowe hydraulicznych silników i pomp satelitowych o małych objętościach roboczych zasilanych wodą, emulsją i olejem, 2010, projekt rozwojowy nr R0300103, **wykonawca, (kier. A. Balewender)**
- G13. Wpływ obróbki laserowej w warunkach kriogenicznych na właściwości użytkowe stopów aluminium stosowanych w konstrukcji silników spalinowych, grant promotorski - Igor Skalski, 2007, **wykonawca, (promotor W. Serbiński)**
- G14. Multipleksowa technologia kształtowania mikrostruktury i właściwości warstw kompozytowych na stopach aluminium, Grant KBN 3T08C 008 27 2004, **wykonawca, (kier. W. Serbiński)**
- G15. Laserowa modyfikacja mikrostruktury i właściwości użytkowych warstwy wierzchniej stopów Al.-Si o temperaturze kriogenicznej. 2003, projekt badawczy KBN 7T08C 003 20, **wykonawca, (kier. W. Serbiński)**

k) międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową

- a) odznaczony Medalem Srebrnym Za Długoletnią Służbę, przyznany przez Prezydenta RP, 2015
- b) Nagroda zespołowa drugiego stopnia Rektora Politechniki Gdańskiej za szczególne osiągnięcia w pracy organizacyjnej, 2014.
- c) Wyróżnienie w konkursie NOT Mistrzowie Techniki Pomorza za Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej, 2014
- d) Odznaczony Brązowym Krzyżem Zasługi przyznany przez Prezydenta RP, 2006.

I) wygłoszenie referatów na międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych

Łącznie wygłosiłem **24** referaty na konferencjach naukowych, w tym **7** referatów na zagranicznych konferencjach międzynarodowych (USA, Niemcy, Wielka Brytania, Japonia). Starałem się uczestniczyć w najważniejszych polskich konferencjach związanych z tematyką szeroko pojętej tribologii. Regularnie brałem udział w krajowych konferencjach takich jak: Inżynieria Łożyskowania, Sympozjon PKM, Jesienna Szkoła Tribologiczna, czy Polioptymalizacja i Komputerowe Wspomaganie Projektowania. Moje zainteresowania związane z pomiarami i analizą drgań znalazły odzwierciedlenie w udziale w krajowych konferencjach międzynarodowych: International Congress on Technical Diagnostic oraz International Conference on Condition Monitoring of Machinery in Non-Stationary Operations. Uczestniczyłem też w seminariach i warsztatach tribologicznych.

Zagraniczne konferencje międzynarodowe o zasięgu światowym - wystąpienie z referatem (po uzyskaniu stopnia doktora):

1. International Tribology Conference, Hiroshima 2011, **Japonia**
2. Lubricants, Materials and Lubrication Engineering. 16th International Colloquium Tribology, Stuttgart/Ostfildern, 2008, **Niemcy**.
3. Automotive and Industrial Lubrication : 15th International Colloquium Tribology, Wilfried J. Bartz – Stuttgart/Ostfildern, 2006, **Niemcy**.
4. iCAT 2008: Advanced Tribology 2008, 2nd International Conference, 2008, **Singapur**
5. World Tribology Congress III, Washington D.C., 2005, **U.S.A.**
6. **Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz informacja o współpracy międzynarodowej habilitanta**
- a) **Uczestnictwo w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych i krajowych**

Czynnie uczestniczyłem w programie ERASMUS, w ramach którego odbyłem wizyty w następujących uczelniach:

1. **Wielka Brytania, University of Warwick, Coventry.** Kwerenda naukowo – techniczna związana z przygotowaniem na Wydziale Elektroniki i Telekomunikacji inwestycji 'Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej', Wyjazd finansowany z funduszy UE, 7 dni, październik 2009
2. **Portugalia, Universidade Da Beira Interior, Covilha.** Wygłoszenie wykładów nt. nowoczesnych metod projektowania (3D CAD i MES) dla studentów wydziału lotniczego. Wyjazd finansowany z funduszy UE, 7 dni, kwiecień 2005,.

3. **Szwecja, Vaxjo University, Vaxjo.** Wygłoszenie wykładów nt. projektowania badań i eksploatacji łożysk ślizgowych. Wyjazd finansowany z funduszy UE, 7 dni, grudzień 2005.

b) Udział w komitetach organizacyjnych międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych

Brałem udział w przygotowaniu i prowadzeniu ogólnopolskiej konferencji naukowej:

1. Członek komitetu organizacyjnego ogólnopolskiej konferencji „XXXV Jesienna Szkoła Tribologiczna”, Gdańsk 2016.

c) osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki lub sztuki

1. Jestem autorem i głównym koordynatorem przedmiotu Modelowanie w Projektowaniu, który został uruchomiony dla studentów kursu magisterskiego na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej w 2007r. Na potrzeby tego przedmiotu opracowałem autorski program zajęć.
2. Biorę aktywny udział w rozwoju dydaktycznej bazy laboratoryjnej głównie poprzez ustawiczny rozwój instrumentarium do badań tribologicznych, które jest wykorzystywane do zajęć praktycznych z zakresu Podstaw Konstrukcji Maszyn np. do demonstracji przebiegu zatarcia w skojarzeniu ślizgowym.
3. Prowadzę następujące zajęcia dydaktyczne:
 - a. Machine Design – wykład dla kierunku Energy Technologies w języku angielskim.
 - b. Podstawy Konstrukcji Maszyn – ćwiczenia dla kierunku Mechatronika i Budowa Maszyn.
 - c. Podstawy Konstrukcji Maszyn – laboratorium dla kierunku *Mechatronika, Budowa Maszyn* oraz *Inżynieria Mechaniczno-Medyczna*.
 - d. Podstawy Konstrukcji Maszyn – projektowanie dla kierunków *Mechatronika* oraz *Budowa Maszyn*.
 - e. Grafika Inżynierska – dla kierunków *Mechatronika, Budowa Maszyn* oraz *Zarządzanie i Inżynieria Produkcji*.
 - f. Komputerowe modelowanie 3D – wykład i laboratorium komputerowe.
 - g. Metodologia Pracy Zespołowej – seminarium projektowe dla kierunku *Inżynieria Mechaniczno-Medyczna*.
4. Aktywnie i regularnie uprawiam amatorsko karate Kyokushin w klubie „Kyokushin” w Gdyni. Pełnię w tym klubie funkcję wiceprezesa. Jako posiadacz stopnia uczniowskiego (4 kyu) uczestniczę w prowadzeniu zajęć karate zarówno dla dorosłych jak i dla dzieci. Współorganizuję działanie klubu i staram się popularyzować trening sztuk walki jako rekreacji o zrównoważonym wpływie na organizm.

5. Współpracuję z kadrą dydaktyczną III LO w Gdyni i działającego przy nim Gimnazjum nr 24 (Zespół Szkół Ogólnokształcących nr 1 im Marynarki Wojennej RP w Gdyni) w zakresie organizacji wykładów na Politechnice Gdańskiej dla uczniów w wieku gimnazjalnym.

d) Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych

Członek Polskiego Towarzystwa Tribologicznego.

e) opieka naukowa nad studentami

1. Byłem promotorem **37** ukończonych prac dyplomowych (17 inżynierskich i 20 magisterskich) i recenzentem **56** (38 inżynierskich i 18 magisterskich). Trzy spośród zakończonych prac zaowocowały zgłoszeniami patentowymi i przyznaną ochroną opracowanych rozwiązań. W jednym przypadku zadanie rozwiązane w ramach pracy stanowi część prac nad projektowanym innowacyjnym elementem osprzętu pojazdu do usuwania odpadów z pojemników („śmieciarki”).
2. Obecnie jestem zaangażowany w studencki projekt grupowy prowadzony na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej związany z zastosowaniem ogniw fotowoltaicznych do napędu pojazdu elektrycznego.
3. Regularnie współpracuję ze studentami zrzeszonymi w Kołach Naukowych działających na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej, między innymi związanymi z projektami Pneumobil i EcoCar, w których realizowane są prace projektowe i wykonawcze ‘bolidów’ startujących w rozgrywanych cyklicznie zawodach międzynarodowych.

f) staże w zagranicznych i krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich

1. **Portugalia, Universidade Da Beira Interior, Covilha.** Wygłoszenie wykładów nt. nowoczesnych metod projektowania (3D CAD i MES) dla studentów wydziału lotniczego. Wymiana doświadczeń w zakresie prowadzenia prac badawczych związanych lotnictwem oraz metod nauczania. Wyjazd finansowany przez fundusz UE, 7 dni, kwiecień 2005,.
2. **Szwecja, Vaxjo University, Vaxjo.** Wygłoszenie wykładów nt. projektowania badań i eksploatacji łożysk ślizgowych. Nawiązanie współpracy w zakresie rozwoju metod badawczych łożysk ślizgowych. Wyjazd finansowany przez fundusz UE, 7 dni, grudzień 2005.
3. **Wielka Brytania, University of Warwick, Coventry.** Kwerenda naukowo – techniczna związana z przygotowaniem na Wydziale Elektroniki i Telekomunikacji inwestycji ‘Laboratorium Zanurzonej Wizualizacji Przestrzennej’, Wyjazd finansowany przez fundusz UE, 7 dni, październik 2009

4. **Japonia, Tokyo University of Science, Tokyo.** Wizyta na zaproszenie uniwersytetu (laboratorium badawcze tribologiczne i inżynierii łożyskowania), 2 dni, listopad 2011.

g) wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie

W trakcie mojej pracy naukowej na Politechnice Gdańskiej wykonałem samodzielnie lub w zespołach ponad **40** różnego rodzaju ekspertyz i opracowań dla takich firm jak: ALSTOM, KGHM Polska Miedź S.A., PKN ORLEN S.A., ABB, Siemens, LOTOS S.A., PPIEZRiG Petrobaltic S.A., PGNiG, Unilever Polska, EDFPolska, Iglotex, Stocznia Remontowa S.A., Lubiana S.A.. Dotyczyły one głównie zagadnień tribologicznych, oraz konstrukcji i eksploatacji maszyn wraz z technologią wykonania. Ponadto jako powołany biegły wykonywałem również ekspertyzy dla Sądu RP, Urzędu Celnego oraz towarzystw ubezpieczeniowych (Hestia, Warta). Opracowywałem również również opinie o innowacyjności.

Wykonane ekspertyzy dotyczące zagadnień tribologicznych
(po uzyskaniu stopnia doktora, w odwróconym porządku chronologicznym)

- E1. Gliwiński J., **Łubiński J.**, Łubniewski M., Łuczywo J., Krzysztofowicz K., Wasilczuk M., Study of the wear and wear particles of the broken beater of KF2000F Freezer, 2017. Unilever Polska S.A., Praca wykonana na zlecenie Unilever Polska S.A., Gdańsk
- E2. **Łubiński J.**, Łuczywo J., Gliwiński J., Wasilczuk M., Seizure of DLC coated steel vs steel in comparison with Al-bronze and leaded Sn-bronze versus steel in sliding contacts Stage 4, 2015, Praca wykonana na zlecenie Schaeffler GmbH. Niemcy
- E3. **Łubiński J.**, Łuczywo J., Gliwiński J., Wasilczuk M., DLC coated steel vs steel sliding contacts testing in comparison with Al-bronze and leaded Sn-bronze versus steel, 2015, Praca wykonana na zlecenie Schaeffler GmbH. Niemcy
- E4. **Łubiński J.**, Łuczywo J., Gliwiński J., Wasilczuk M., DLC coated steel vs steel sliding contacts testing Stage 2, 2015, Praca wykonana na zlecenie Schaeffler GmbH. Niemcy
- E5. **Łubiński J.**, Łuczywo J., Gliwiński J., Wasilczuk M., DLC coated steel vs steel sliding contacts testing Stage 1 – Preliminary tests, 2015, Praca wykonana na zlecenie Schaeffler GmbH. Niemcy
- E6. **Łubiński J.**, Olszewski A., Haras J., Krzysztofowicz K.: Ekspertyza techniczna wałów głównych napędowych na pochylniach Kanału Elbląskiego. 2013. Praca wykonana na zlecenie RZGW w Gdańsku.
- E7. **Łubiński J.**, Olszewski A.: Ekspertyza konstrukcji i stanu technicznego napędu rollera rehowego, napędu rollera sztagowego oraz wózka fałowego na sztag s/y "Running on Waves". 2010. Praca wykonana na zlecenie na zlecenie SMT Europe.
- E8. **Łubiński J.**, Druet K., Olszewski A.: Assessment of the causes of spindle failure in the Fidra BT 8555/15 CNC milling centre. 2010. Praca wykonana na zlecenie na zlecenie wykonana na zlecenie Lubiana S.A. na użytek arbitrażu międzynarodowego
- E9. Druet K., **Łubiński J.**, Jarzembowski M., Porównawcze badania tribologiczne wybranych smarów plastycznych, 2008, Praca wykonana na zlecenie na zlecenie firmy Avanti, Polska, Kolbudy

- E10. **Łubiński J.**, Olszewski O., Łubniewski M.: Ocena stanu przekładni napędu wysięgu i haków dźwigu pływającego REM 220. 2008. Praca wykonana na zlecenie Stoczni Remontowej S.A., Polska, Gdańsk
- E11. Olszewski O., Olszewski A., Gawarkiewicz R., **Łubiński J.**: Ekspertyza awarii łożysk maszyny wyciągowej szybu RII przedział południowy w KHGM Polska Miedź. ZG Rudna. Część 1 i 2. 2005. Ekspertyza wykonana na zlecenie ABB Automation Technologies AB, Szwecja.
- E12. Olszewski A., Olszewski O., **Łubiński J.**, Dąbrowski L., Analiza uszkodzeń łożysk wzdłużnych przekładni BE63S zespołu kompresora propylenowego K-801 i przekładni BE50S zespołu kompresora propylenowego K-802, 2002, Praca wykonana na zlecenie PKN Orlen S.A.

Pełną listę wykonanych ekspertyz zamieszczono w załączniku 4.

h) recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych

Jestem recenzentem następujących czasopism zagranicznych z listy JCR:

- 1) PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART J-JOURNAL OF ENGINEERING TRIBOLOGY, (IF=0,907), Od 2013 roku, recenzja jednego artykułu

Ponadto recenzowałem artykuły zamieszczone w czasopiśmie Tribologia oraz referaty konferencyjne. Wszystkie recenzowane artykuły dotyczyły zagadnień tribologicznych.

i) Inne osiągnięcia, nie wymienione wcześniej

1. Ukończyłem liczne kursy doszkalające, z których najważniejsze to:
 - a. Kursy związane z wykorzystaniem programów wspomagania komputerowego CAD, 3DCAD, MES itp.(NX, Inventor, Ansys, Design Space).
 - b. Kurs obsługi oprogramowania pomiarowego (LabVIEW i DASYlab).
 - c. Kursy i szkolenia związane z budową, programowaniem i sterowaniem robotów (KUKA).
 - d. Warsztaty Naukowo – Techniczne: Belzona – Innowacja w technice z seminarium pomorskiego oddziału Polskiego Towarzystwa Materiałoznawczego
2. W latach 1994-1998 byłem sekretarzem Rady Wydziału Mechanicznego.
3. W czasie mojej pracy zawodowej na Politechnice Gdańskiej Komisja ds. Nauczycieli Akademickich każdorazowo oceniała moją pracę naukowo-dydaktyczną na ocenę bardzo dobrą.
4. Zostałem wybrany Elektorem Uczelnianego Kolegium Elektorów oraz Wydziałowego Kolegium elektorów z ramienia adiunktów w roku 2016.
5. Aktualnie jestem członkiem Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej z ramienia adiunktów oraz członkiem Wydziałowej Komisji ds. Nagród.

TABELARYCZNE PODSUMOWANIE DOROBKU			
	Przed doktoratem	Po doktoracie	Razem
Publikacje w czasopismach zawartych w bazach Journal Citation Reports - lista A MNiSW	0	2	2
Publikacja w recenzowanym czasopiśmie krajowym lub zagranicznym wymienionym w wykazie ministra – lista B MNiSW	7	21	28
Autorstwo monografii lub podręcznika akademickiego	0	1	1
Autorstwo rozdziału w monografii w języku polskim	0	2	2
Wygłoszone referaty na zagranicznych konferencjach naukowych o zasięgu światowym	3	7	10
Wygłoszone referaty na międzynarodowych i krajowych konferencjach w Polsce	2	17	19
Pozostałe recenzowane publikacje i materiały konferencyjne	6	5	11
Patenty i zgłoszenia patentowe (w tym wdrożone)	1 (1)	6 (1)	7 (2)
Liczba cytowań według bazy a) Web of Science b) Google Scholar	0 0	WoS=2 GSch=50	WoS=2 GSch=50
Indeks Hirscha według bazy: a) Web of Science b) Google Scholar	0 0	H _{WoS} =1 H _{GSch} =5	H_{WoS}=1 H_{GSch}=5
Sumaryczny impact factor publikacji naukowych według listy Journal Citation Reports	0	(3,41)	IF=(3,41)
Organizacja konferencji naukowych	0	1	1
Udział w grantach badawczych (w tym kierownik)	3	15 (2)	18
Ekspertyzy	2	43	45
Wdrożenia przemysłowe	2	26	28
Pozostałe prace niepublikowane	4	15	19