



Politechnika Wroclawska

Wydział Mechaniczny

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Tribologii

Autoreferat - Piotr Kowalewski

Załącznik 3

AUTOREFERAT

Piotr Kowalewski

Wrocław 25.04.2019

Spis treści

1. DANE OSOBOWE	3
2. POSIADANE DYPLOMY I STOPNIE NAUKOWE	3
3. PRZEBIEG PRACY ZAWODOWEJ W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH	4
3.1 TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO	4
3.2 AUTOR, TYTUŁ, ROK WYDANIA, NAZWA WYDAWNICTWA, RECENZENCI WYDAWNICZY	4
3.3 OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO WW. PRACY I OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW WRAZ Z OMÓWIENIEM ICH EWENTUALNEGO WYKORZYSTANIA	5
3.3.1 PRZEPROWADZONE BADANIA ORAZ UZYSKANE WYNIKI	8
3.3.2 WNIOSKI	11
3.3.3 WPŁYW NA DYSCYPLINĘ NAUKOWĄ	15
4. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO – BADAWCZYCH	16
4.1 DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWO-BADAWCZA PRZED UZYSKANIEM STOPNIA DOKTORA	16
4.2 DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWO-BADAWCZA PO UZYSKANIU STOPNIA DOKTORA	17
4.3 PODSUMOWANIE OSIĄGNIĘĆ W ZAKRESIE NAUKOWO-BADAWCZYM I DYDAKTYCZNYM	21

1. Dane osobowe

1. Imię i nazwisko: Piotr Kowalewski
2. Stopień naukowy: doktor nauk technicznych
3. Miejsce i adres zatrudnienia:

Politechnika Wroclawska
Wydział Mechaniczny
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Tribologii
ul. Ignacego Łukasiewicza 7/9
50-371 Wrocław
tel. +48 71 320 40 53,
nr ORCID: 0000-0003-2216-5706,
adres e-mail: piotr.kowalewski@pwr.edu.pl

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

Magister inżynier - 09 lipca 2003 r.

Politechnika Wroclawska,
Wydział Mechaniczny,
Kierunek: Automatyka i Robotyka,
Specjalność: Inżynieria biomedyczna,
Temat pracy magisterskiej: „Inteligentna proteza dłoni – projekt zręcznego chwytaka biomanipulatora”, praca wyróżniona nagrodą Rektora Politechniki Wroclawskiej oraz drugim miejscem w konkursie im. Prof. Romana Sobolskiego na najlepszą pracę dyplomową w roku 2002/2003.
Promotor: dr inż. Andrzej Wołczowski (Katedra Cybernetyki i Robotyki Politechniki Wroclawskiej), Recenzent: prof. dr hab. inż. Romuald Będziński (Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra).

Doktor nauk technicznych - 12 marca 2008.

Politechnika Wroclawska,
Wydział Mechaniczny, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn,
Specjalność: Budowa i eksploatacja maszyn,
Temat rozprawy doktorskiej: „Modelowanie tarcia w endoprotezie stawu kolanowego” (wyróżnienie Rady Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wroclawskiej),
Promotor: prof. dr hab. inż. Wojciech Wieleba (Politechnika Wroclawska, Wrocław),
Recenzenci: prof. dr hab. inż. Monika Gierzyńska-Dolna (Politechnika Częstochowska),
prof. dr hab. inż. Eugeniusz Rusiński (Politechnika Wroclawska).

3. Przebieg pracy zawodowej w jednostkach naukowych

05.05.2008 -30.09.2008 - **Asystent naukowy – pełny etat**

Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny,
Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn,

01.10.2008 -28.02.2009 – **Asystent naukowo-dydaktyczny – pełny etat**

Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny,
Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn

01.12.2009 – 30.09.2014 - **Adiunkt – pełen etat**

Dolnośląska Wyższa Szkoła Przedsiębiorczości i Techniki w Polkowicach

01.03.2009 – do dziś – **Adiunkt naukowo-dydaktyczny – pełny etat**

Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny,
Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, od 2017 Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i
Tribologii. Od 1.11.2018 r. – zastępca kierownika Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn i
Tribologii.

3.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe, stanowiące podstawę do wszczęcia postępowania habilitacyjnego, wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.), przedstawiam monografię pt.:

„Tarcie polimerów termoplastycznych w warunkach złożonego ruchu”

3.2 Autor, tytuł, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy

Autor: **Piotr Kowalewski**

Tytuł: **Tarcie polimerów termoplastycznych w warunkach złożonego ruchu**

Rok wydania: **2019**

Nazwa wydawnictwa: **Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB w Radomiu**

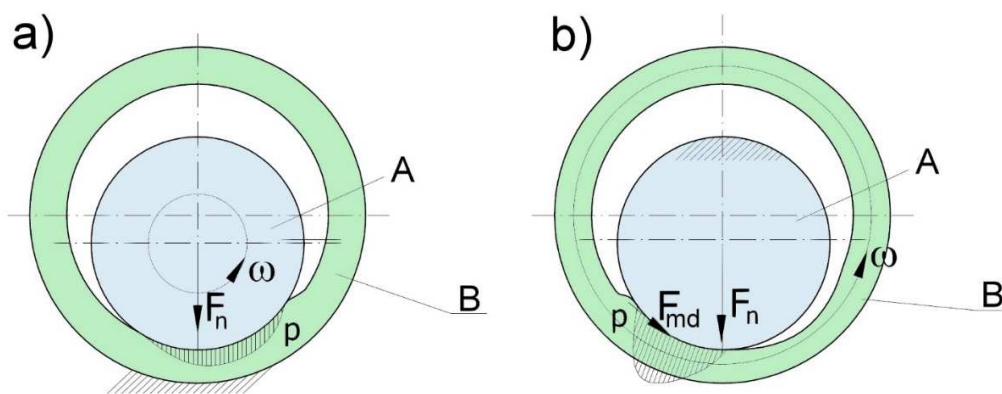
Recenzenci wydawniczy:

prof. dr hab. inż. Stanisław Krawiec, Politechnika Wroclawska,

dr hab. inż. Magdalena Niemczewska-Wójcik, prof. PK, Politechnika Krakowska

3.3 Omówienie celu naukowego ww. pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Tworzywa sztuczne ze względu na swoje dobre właściwości tribologiczne, takie jak samosmarowność, niski współczynnik tarcia po stali czy odporność na zużycie, oraz łatwość przetwórstwa znajdują szerokie zastosowanie w budowie maszyn, a w szczególności w układach łożyskowych i uszczelnieniach^{1,2}. Najczęściej analizie podlegają zjawiska tarcia występujące w skali mikro lub na poziomie molekularnym. Tribologia ślizgowych materiałów polimerowych dotyczy prawie wyłącznie zjawisk związanych z mechaniczno-adhezyjnymi oddziaływaniami stykających się mikronierówności na powierzchniach elementów trących. Stan obciążenia elementów polimerowych ma zazwyczaj charakter bardzo złożony, dotyczy to również elementów łożyskowych. Konstrukcje nowoczesnych układów łożyskowych i uszczelnień stają się coraz bardziej skomplikowane, a elementy ślizgowe pracują w złożonych warunkach ruchowych. W wielu przypadkach dochodzi do znacznego odkształcania materiału, a co więcej odkształcenie to ma charakter zmienny. Przykład stanowią łożyska ślizgowe zintegrowane z korpusem lub kołami zębatymi. W tego typu elementach może dochodzić do deformowania polimeru w miejscu styku nawet kilka tysięcy razy na minutę. Ilustrację wpływu złożonych warunków ruchowych na przebieg deformacji polimeru można przedstawić na przykładzie typowego łożyska ślizgowego z polimerową panewką (rys. 1)



Rys. 1 Schematy dwóch odmiennych sposobów pracy panewki polimerowej. a) praca z nieruchomą panewką i ruchomym wałem, b) praca z ruchomą panewką i nieruchomym wałem. A - metalowy wał, B - polimerowa panewka³

W zależności od sposobu przemieszczania się elementów węzła tarcia w stosunku do miejsca styku, obciążenie polimerowej panewki może mieć charakter statyczny lub dynamiczny (zmienny). W zależności od tego czy obrót względem wypadkowej siły obciążającej F_n wykonuje panewka czy wał, polimer będzie odkształcany w całkowicie różny sposób. W przypadku nieruchomej, względem siły obciążającej F_n , panewki polimerowej (rys. 1 a), podlega ona jedynie obciążeniu statycznemu. Odkształcenie polimeru spowodowane jest naciskiem wału. Oczywiście mogą występować zmiany wartości obciążenia panewki

¹ Lawrowski Z., *Tribologia: tarcie, zużywanie i smarowanie*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2009.

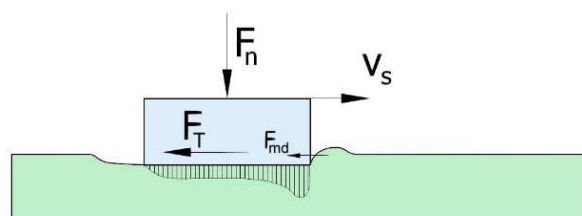
² Wieleba W., *Bezobsługowe łożyska ślizgowe z polimerów termoplastycznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013.

³ Kowalewski P. *Tarcie polimerów termoplastycznych w warunkach złożonego ruchu*, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji - PIB, Wrocław 2019.

oraz drgania ale nie mają one wpływu na kierunek działania siły. Odształcenie polimerowej panewki może zmieniać się również w czasie pracy na skutek pełzania. Również zużycie tribologiczne polimeru wpływa na zmiany w rozkładzie nacisków pomiędzy panewką i wałem. Następstwem tych zjawisk jest jedynie powolna zmiana wyężenia materiału polimerowego.

Zupełnie innym obciążeniom podlega polimer w drugim przypadku (rys 1 b). Panewka znajduje się w ciągłym ruchu względem siły obciążającej F_n , powoduje to ciągłe przemieszczanie się miejsca styku względem polimerowej panewki. Polimer w tym przypadku podlega cyklicznym obciążeniom. Ponieważ tworzywa sztuczne - w przeciwieństwie do materiałów metalicznych charakteryzują się znacznie większą histerezą odkształceniową^{4, 5}, energia zużyta na odkształcenie materiału na skutek przemieszczania się łańcuchów polimerowych jest rozpraszana. W omawianym przypadku powstaje opór tarcia związany z makrodeformacją materiału polimerowego F_{md} (rys. 1 b). Ilość rozproszonej w ten sposób energii zależy od własności mechanicznych materiału^{4, 6}, a w szczególności od jego cech lepkosprężystych⁵. Warunki kinematyczne, np. prędkość odkształcenia polimeru (zależna od prędkości obrotowej panewki) mają decydujące znaczenie dla ilości rozpraszanej energii^{7, 8}.

W elementach ślizgowych, w których występuje ruch liniowy, również może dochodzić do powstawania oporów związanych z makrodeformacją materiału polimerowego. W każdym przypadku w którym obszar styku przemieszcza się względem elementu polimerowego dochodzi do jego dynamicznego deformowania. Jeżeli element, po którym następuje poślizg, wykazuje własności plastyczne lub lepkosprężyste, to znaczna część energii zużyta na deformowanie materiału zostaje rozproszona. Symboliczne przedstawienie składowej oporu ruchu na skutek makrodeformacji materiału F_{md} zilustrowano na schemacie (rys. 2).



Rys 2. Schemat powstawania składowej makrodeformacyjnej siły tarcia F_{md} , na skutek przemieszczania punktu styku po powierzchni materiału lepkosprężystego³

W literaturze tribologicznej można znaleźć prace zwracające uwagę na wpływ kinematyki elementów ślizgowych na proces tarcia. Lawrowski zdefiniował pojęcia tzw. „odwróconej” i „mieszanej pary tarcia”¹. O tym czy para trąca jest określana mianem „prostej” czy „odwróconej” decyduje to czy ruch względem

⁴ Ferry J.D., *Lepkosprężystość polimerów*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1965.

⁵ Erhard G., *Physical Properties – Characteristic Values – Test Methods and Procedures, Designing with plastics*, 101–173, Hanser Publications, Monachium, 2006.

⁶ Wieleba W., *Analiza procesów tribologicznych zachodzących podczas współpracy kompozytów PTFE ze stalą*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002.

⁷ Krzypow D.J., Rimnac C.M., *Cyclic steady state stress–strain behavior of UHMW polyethylene*, *Biomaterials* 21 (2000), 2081–2087.

⁸ da Costa Mattos H.S., Reis J.M.L., de Medeiros L.G.M.O., Monteiro A.H., Teixeira S.C.S., Chaves E.G., *Analysis of the cyclic tensile behaviour of an elasto-viscoplastic polyamide*, *Polymer Testing* 58 (2017), 40–47

punktu styku wykonuje twardszy czy bardziej miękki element. Niestety brak jest analizy wpływu rodzaju pary trącej na zjawiska i procesy tribologiczne, szczególnie w przypadku polimerów termoplastycznych dla których kinematyka obciążenia ma kluczowe znaczenie dla ich deformacji. Znane teorie tarcia suchego nie uwzględniają makrodeformacji materiału polimerowego w trakcie złożonego ruchu elementów węzła tarcia. Istniejące modele opisujące makrodeformację tworzywa sztucznego w trakcie tarcia dotyczą wyłącznie elastomerów^{9, 10}.

Dodatkowo należy zauważyć, że odkształcenie elementu polimerowego nie jest tak proste do wyznaczenia jak w przypadku elementów wykonanych z tradycyjnych materiałów konstrukcyjnych jakimi są metale. Lepkosprężyste własności polimerów powodują, że deformacja polimeru zależna jest nie tylko od obciążenia ale również od czasu jego trwania. Można zatem stwierdzić, że:

kinematyka odkształcenia termoplastycznego elementu ślizgowego ma decydujący wpływ na występujące zjawiska tribologiczne przebieg procesu tarcia.

Spośród wszystkich grup tworzyw sztucznych polimery termoplastyczne w największym stopniu wykazują własności lepkoelastyczne. Termoplasty stanowią też najliczniejszą grupę materiałów polimerowych stosowanych na elementy ślizgowe maszyn. Analizę występujących zjawisk i procesów tribologicznych w warunkach złożonego ruchu elementów trących utrudnia fakt, że własności mechaniczne polimerów termoplastycznych są silnie uzależnione od temperatury^{11, 12}. Temperatura pracy jest zatem czynnikiem decydującym o właściwościach tribologicznych termoplastycznych elementów ślizgowych pracujących w warunkach złożonego ruchu.

Przedstawione zagadnienia w zakresie termoplastycznych materiałów ślizgowych nie były do tej pory przedmiotem dociekań naukowych. Chociaż w literaturze można znaleźć prace opisujące opór histerezy, dotyczą one jedynie materiałów elastomerowych, które charakteryzują się dużym zakresem odkształceń sprężystych. W przypadku polimerów termoplastycznych odkształcenia wywołane nawet chwilowym obciążeniem zanikają z opóźnieniem (zjawisko retardacji odkształceń), co istotnie wpływa na tarcie podczas przemieszczania punktu styku po powierzchni elementu polimerowego, nawet z niewielką prędkością.

Przeprowadzony przeze mnie przegląd literatury wykazał również iż istnieje wiele niezbadanych zjawisk związanych z kinematyką przemieszczania elementów węzła tarcia. Złożoność ruchów jakie mogą wykonywać względem siebie współpracujące ciernie elementy jest bardzo duża. Część z nich została usystematyzowana i przebadana. Chociaż zbadane są takie przypadki kinematyczne jak tarcie ślizgowe, tarcie toczne i toczno-ślizgowe, to w skojarzeniach metal-polimer brak jest wyraźnego rozróżnienia pomiędzy prostą, a odwróconą parą tarcia. Pracami, w których najlepiej został zbadany i opisany wpływ

⁹ Greenwood J.A., Tabor D., *The Friction of Hard Sliders on Lubricated Rubber: The Importance of Deformation Losses*, Proceedings of the Physical Society 71 (1958), 989–1001.

¹⁰ Persson B.N.J., *On the theory of rubber friction*, Surface Science 401 (1998), 445–454.

¹¹ Żuchowska D., *Polimery konstrukcyjne: wprowadzenie do technologii i stosowania*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.

¹² Brinson H.F., Brinson L.C., *Polymer Engineering Science and Viscoelasticity*, Springer, Boston 2015.

złożonego ruchu na tarcie materiałów termoplastycznych są prace dotyczące tarcia endoprotez stawu kolanowego^{13, 14}.

Na podstawie powyższych rozważań stwierdziłem, że wpływ warunków ruchowych, własności mechanicznych materiału oraz temperatury pracy są czynnikami wpływającymi znacząco na opory ruchu termoplastycznych elementów ślizgowych. Analiza literatury z zakresu tribologii polimerów nie dała odpowiedzi jak wymienione czynniki wpływają na proces tarcia i w jakim stopniu wpływają na wartość występujących oporów ruchu w złożonych kinematycznie warunkach.

Celem moich prac naukowo-badawczych opisanych w monografii i przedstawionych do oceny w ramach postępowania habilitacyjnego było:

- Zbadanie wpływu występowania przemieszczania punktu styku po powierzchni elementu polimerowego na tarcie termoplastów w skojarzeniu metal-polimer.
- Analiza wpływu prędkości przemieszczania punktu styku po powierzchni elementu polimerowego na wartość składowej siły tarcia związanej z makrodeformacją termoplastu.
- Analiza wpływu prędkości przemieszczania punktu styku po powierzchni elementu polimerowego na wartość składowej mechaniczno-adhezyjnej siły tarcia w skojarzeniu metal-polimer.
- Zbadanie wpływu kierunku poślizgu względem kierunku przemieszczania punktu styku na wartość oporów tarcia w skojarzeniu metal-polimer.
- Zbadanie wpływu temperatury na składową makrodeformacyjną i składową mechaniczno-adhezyjną siły tarcia polimerów termoplastycznych podczas złożonego ruchu współpracujących elementów.
- Analiza oraz wybór parametrów modelu opisującego tarcie podczas złożonego ruchu toczno-ślizgowego.
- Analiza wpływu wybranych własności mechanicznych ciała lepkosprężystego na wartość składowej makrodeformacyjnej siły tarcia.
- Zbadanie wpływu złożonego ruchu elementów trących na wielkość powierzchni styku i rozkład nacisków w obszarze styku.

3.3.1 Przeprowadzone badania oraz uzyskane wyniki

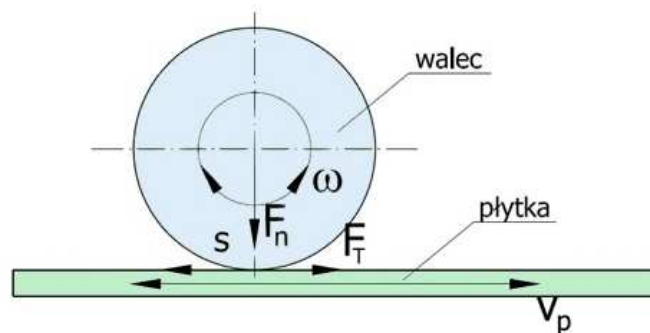
Realizacja postawionych celów badawczych wymagała przeprowadzenia badań tribologicznych, mechanicznych (wytrzymałościowych) i numerycznych. Określenie w sposób jednoznaczny wpływu parametrów kinematycznych elementów węzła tarcia na opory ruchu wymagało przeprowadzania badań tribologicznych w szerokim zakresie warunków kinematycznych. Wyznaczanie składowych siły tarcia

¹³ Schwenke T., Borgstede L.L., Schneider E., Andriacchi T.P., Wimmer M.A., *The influence of slip velocity on wear of total knee arthroplasty*, *Wear* 259 (2005), 926–932.

¹⁴ McGloughlin T.M., Kavanagh A.G., *Wear of ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) in total knee prostheses: A review of key influences*, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine* 214 (2000), 349–350.

przeprowadzono drogą eliminacji i porównania uzyskanych wartości dla poszczególnych stanów kinematycznych.

Określenie zależności pomiędzy prędkością poślizgu i prędkością deformowania polimeru, a wartościami występujących oporów ruchu wymagało opracowania autorskiej metody badawczej oraz wytypowania węzła tarcia umożliwiającego niezależne zadawanie parametrów kinematycznych, w czasie współpracy ciernej. Analiza prac dotyczących tarcia w różnych warunkach kinematycznych^{14, 15, 16} wykazała, że badania podczas tarcia toczno-ślizgowego pozwalają na niezależne definiowanie prędkości poślizgu oraz prędkości deformowania polimeru. W celu przeprowadzania badań tribologicznych zastosowano skojarzenie materiałowo-geometryczne stalowy walec - polimerowa płytka, którego schemat został przedstawiony na rys. 3.



Rys.3 Schemat kinematyczny węzła tarcia toczno-ślizgowego przyjętego w badaniach tribologicznych³

Niezależny ruch liniowy płytki oraz obrotowy walca pozwala na dowolne zadawanie prędkości poślizgu i prędkości deformowania polimeru. Niezależność składowych kinematycznych nie była jednoznaczna z możliwością niezależnego pomiaru składowych tarcia. Siła tarcia F_T stanowi zawsze jedną, wypadkową wartość, więc wyznaczenia wartości poszczególnych składowych siły tarcia możliwe było na drodze eliminacji mierzonych sił tarcia w poszczególnych wariantach kinematycznych.

W zastosowanym układzie kinematycznym węzła tarcia, poprzez niezależne zadawanie prędkości przesuwu płytki - v_p i prędkości kątowej walca - ω , możliwe było ustalanie prędkości sumarycznego poślizgu s i prędkości przemieszczania punktu styku po powierzchni elementu polimerowego v_p (prędkości deformacji polimeru/prędkości przesuwu). Sumaryczną wartość prędkości poślizgu s w punkcie styku jest zależna od prędkości kątowej walca ω i liniowej płytki v_p :

$$s = \omega \cdot r - v_p \quad (1)$$

gdzie:

ω - prędkość kątową walca,

v_p - prędkość przesuwu płytki,

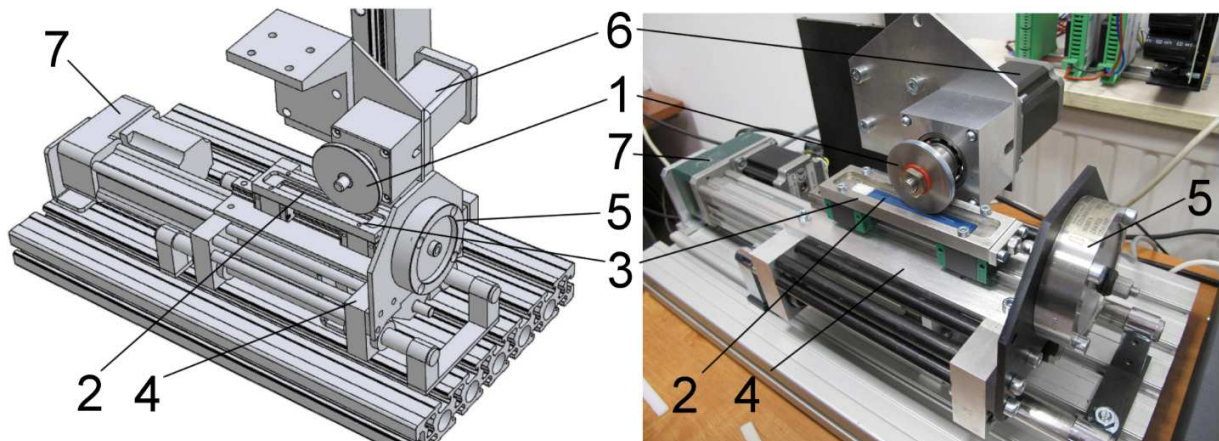
s - poślizg sumaryczny między trącymi elementami,

r - promień walca.

¹⁵ Putignano C., Reddyhoff T., Dini D., *The influence of temperature on viscoelastic friction properties*, Tribology International 100 (2016), 338–343.

¹⁶ Quaglioni V., Dubini P., *Friction of polymers sliding on smooth surfaces*, Advances in Tribology 2011 (2011).

W celu realizacji badań tribologicznych w warunkach tarcia toczno-ślizgowego niezbędne było opracowanie i zbudowanie stanowiska badawczego. Urządzenie przedstawione na rys. 4. zostało zaprojektowane i wykonane w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn i Tribologii Politechniki Wrocławskiej. Wykorzystana w badaniach wersja urządzenia jest efektem wieloletnich prac konstrukcyjnych oraz doświadczeń uzyskanych podczas prac badawczych na wcześniejszych prototypach. Koncepcja kinematyczna urządzenia oraz sposób pomiaru siły tarcia zostały opatentowane pod nr PL 214201 i nazwą „Urządzenie do badania tarcia w złożonym ruchu toczno-ślizgowym”.



Rys. 4 Model 3D oraz zdjęcie testera tribologicznego do badań tarcia w złożonym ruchu toczno-ślizgowym, 1 – stalowy walec, 2 – polimerowa płytka, 3 – górny wózek, 4 – dolny wózek, 5 – czujnik siły, 6 – silnik krokowy napędzający walec, 7 – siłownik elektryczny z silnikiem krokowym i przekładnią³

W ramach eksperymentu wykonano pomiary oporów ruchu przy różnych wartościach prędkości przesuwu v_p i prędkości kątowej ω . Prędkość przesuwu płytki, czyli prędkość deformacji polimeru - v_p , oraz wartość sumarycznego poślizgu s , wynikały z przyjętego planu eksperymentu, w ramach którego zastosowano sześć stałych wartości poślizgu sumarycznego s ($0 \div 50$ mm/s) przy jedenastu różnych wartościach prędkości deformacji polimeru v_p ($-50 \div 50$ mm/s). W sumie dla każdego badanego skojarzenia analizie poddano 60 różnych przypadków ruchowych.

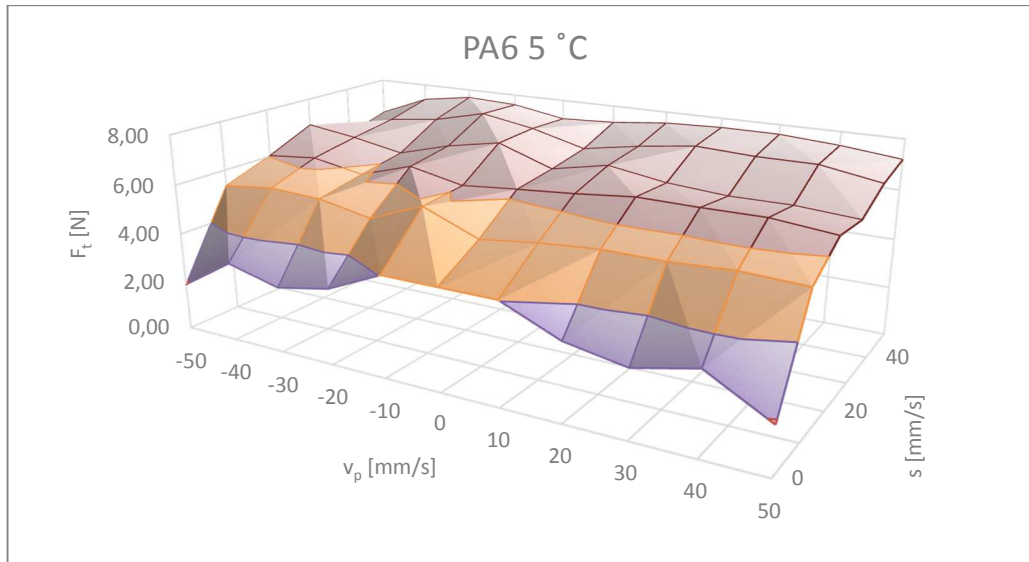
Badania tribologiczne przeprowadzono dla czterech typowych polimerów ślizgowych podczas współpracy ze stalą C45 (1.0503) w stanie znormalizowanym. Na podstawie analizy literatury^{2, 11, 17, 18} dotyczącej własności mechanicznych i tribologicznych tworzyw termoplastycznych stosowanych na elementy ślizgowe w różnych temperaturach do badań wybrano:

- PE-UHMW - polietylen o ultra wysokim ciężarze cząsteczkowym,
- PTFE - politetrafluoroetylen,
- PA6 - poliamid,
- POM - polioksymetylen.

¹⁷ Rymuza T., *Tribologia polimerów ślizgowych*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1986.

¹⁸ Ziemiański K., *Zastosowanie tworzyw sztucznych w budowie maszyn: Wybrane zagadnienia*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1995.

Uzyskane wyniki wartości siły tarcia dla poszczególnych przypadków kinematycznych pozwoliły na przeprowadzenie dalszych analiz. Przykładowe wyniki sumarycznej siły tarcia F_T uzyskane dla skojarzenia stal C45 – PA6 w temperaturze 5°C przedstawiono w postaci wykresu przestrzennego na rys. 5.



Rys. 5 Wykres przestrzenny siły tarcia F_T w zależności od warunków kinematycznych ruchu toczno-ślizgowego (s – poślizg sumaryczny, v_p – prędkość przesuwu), dla skojarzenia: stal C45 – PA6 w temperaturze 5°C³

Dla przyjętej przestrzeni stanów kinematycznych można było wyróżnić kilka charakterystycznych przypadków:

I - Czyste toczenie. Walec metalowy toczył się po płytce bez poślizgu $s=0$.

II - Poślizg przy przemieszczaniu punktu styku po powierzchni elementu polimerowego bez rotacji, $\omega=0$. Nieruchomy walec ślizgał się po polimerowej płytce. Dla tego przypadku, prędkość poślizgu równa była prędkości przesuwu $s=v_p$.

III - Poślizg bez przemieszczania punktu styku po powierzchni elementu polimerowego, $v_p=0$. Jedynie walec wykonywał ruch obrotowy, płytka polimerowa była nieruchoma. W tym przypadku nie dochodziło do dynamicznych zmian w odkształcaniu polimerowej płytki.

Wymienione charakterystyczne przypadki stanów kinematycznych i zmierzone dla nich wartości siły tarcia, pozwoliły na wyznaczenie poszczególnych składowych oporu ruchu. Jedną z wyznaczonych składowych siły tarcia była składowa mechaniczno-adhezyjna siły tarcia podczas występowania makrodeformacji polimeru. Jak wykazano deformacja dynamiczna polimeru wpływa na wartość składowej mechaniczno-adhezyjnej.

3.3.2 Wnioski

Przeprowadzone badania tribologiczne oraz analiza otrzymanych wyników wykazały wpływ złożonego ruchu elementów węzła tribologicznego na występujące tarcie. Występowanie przemieszczania punktu styku po powierzchni elementu polimerowego związane jest z dwoma zjawiskami:

- występowaniem oporu ruchu związanego z makrodeformacją elementu polimerowego - F_{md} ,
- zmianą wartości składowej mechaniczno-adhezyjnej siły tarcia - F_{m-a} .

Eksperyment przeprowadzony w warunkach tarcia toczno-ślizgowego pozwolił na wyznaczenie wartości składowej makrodeformacyjnej F_{md} siły tarcia, w zależności od prędkości przemieszczania punktu styku po powierzchni elementu polimerowego v_p . Uzyskane wyniki dla różnych skojarzeń materiałowych i temperatury pracy wykazały znaczący wpływ składowej makrodeformacyjnej na sumaryczną wartość siły tarcia. W tabeli 1 przedstawiono wyliczone udziały procentowe składowej makrodeformacyjnej siły tarcia w całkowitej sile tarcia.

Tabela 1 Procentowy udział składowej makrodeformacyjnej F_{md} w całkowitej wartości siły tarcia podczas przemieszczania punktu styku i braku rotacji walca. Dane uśrednione dla wszystkich wartości prędkości v_p^3 .

Materiał	5°C	20°C	40°C
PE-UHMW	28,7	39,9	30,2
PA6	46,4	22,4	35,0
POM	35,9	27,0	29,2
PTFE	31,3	36,6	35,0
	[%]	[%]	[%]

Należy zauważyć że przeprowadzone badania wykazały bardzo wyraźnie, iż składowa makrodeformacyjna siły tarcia stanowi znaczącą część w całkowitych oporach ruchu węzłów tribologicznych. W analizowanym węźle tarcia (płytko-walec) składowa makrodeformacyjna stanowiła nawet 46% całkowitej siły tarcia (przypadek: PA6 w temperaturze 5°C). Średnia wartość składowej makrodeformacyjnej wynosiła natomiast 33% (1/3), co również stanowi znaczący udział w oporach ruchu. W świetle uzyskanych wyników należy stwierdzić, iż: **zastosowanie odwróconej pary tarcia lub każdego innego rodzaju węzła tarcia, w którym występuje przemieszczanie punktu styku po powierzchni elementu termoplastycznego, wymaga uwzględnienia oporu występującego na skutek makrodeformacji materiału.**

Badania tribologiczne wykazały również, że wraz ze wzrostem prędkości przemieszczania punktu styku opór makrodeformacyjny zmienia się wg powtarzalnego schematu. Początkowo następuje spadek, a następnie wzrost oporu ruchu, co jest prawdopodobnie efektem sumowania się siły powstałej przy deformowaniu materiału lepkosprężystego oraz siły tarcia powodowanej mikropoślizgami deformacyjnymi.

Analiza danych materiałowych oraz wyników badań tribologicznych pozwoliły mi na wyznaczenie pewnej zależności. Mianowicie, duży wpływ na wartość składowej makrodeformacyjnej siły tarcia F_{md} mają własności mechaniczne materiału. Najmniejsze wartości oporu ruchu związane z makrodeformacją polimeru odnotowano dla materiałów o małym module sprężystości podłużnej (PE-UHMW i PTFE). Ocena wpływu temperatury również pozwoliła mi na stwierdzenie, że wraz ze wzrostem temperatury węzła tarcia spada wartość składowej makrodeformacyjnej siły tarcia. Wynika to z faktu, że dla termoplastów temperatura wpływa silnie na ich własności mechaniczne, a więc pośrednio na wartość F_{md} .

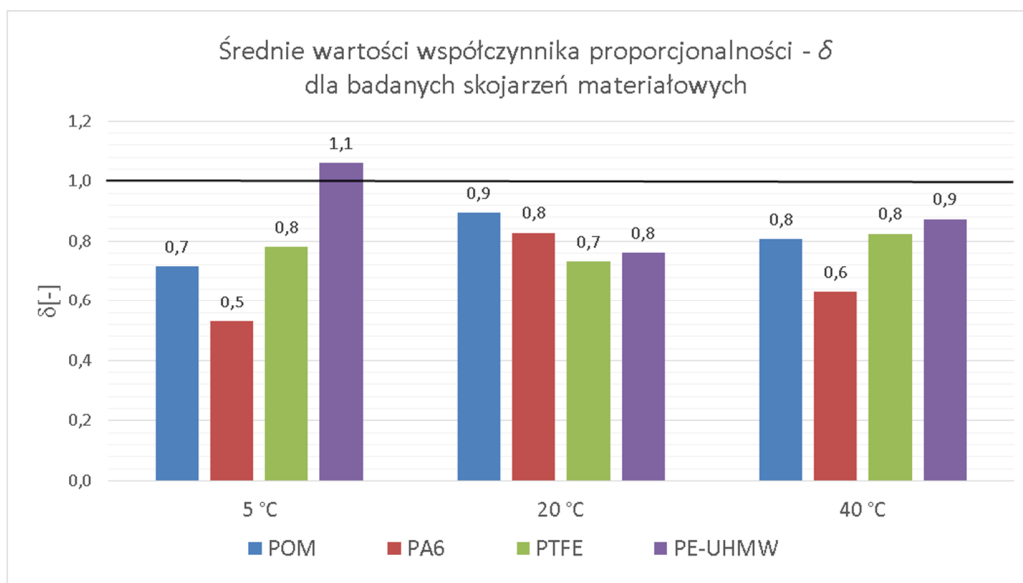
Analiza oraz zestawienie różnic w wartościach siły tarcia wyznaczonych dla poszczególnych przypadków kinematycznych pozwoliły mi również na wyznaczenie wartości składowej mechaniczno-adhezyjnej sumarycznych oporów ruchu F_{m-a} . Odkryłem, że wartość składowej mechaniczno-adhezyjnej siły tarcia jest zależna od temperatury oraz stanu fizycznego tworzywa. Dla tworzyw pracujących powyżej ich temperatury zeszklenia (PE-UHMW i PTFE) najmniejsze wartości składowej mechaniczno-adhezyjnej siły tarcia odnotowano w temperaturze 20°C. Natomiast dla tworzyw znajdujących się w stanie wymuszonej

elastyczności (PA6, POM) najmniejsze wartości składowej mechaniczno-adhezyjnej występują w podwyższonej temperaturze (40°C).

Podobna zależność jest również zauważalna w wartościach średnich siły tarcia ze wszystkich stanów kinematycznych. Zestawienie wspomnianych wartości pozwoliło mi na stwierdzenie, że krytyczna jest zależność temperatury pracy węzła tarcia w stosunku do temperatury zeszklenia T_g danego polimeru termoplastycznego. Dla polimerów w stanie wymuszonej elastyczności ($T < T_g$) takich jak POM i PA6, najmniejsze wartości średniej siły tarcia można odnotować dla najwyższej z uwzględnionych w badaniach temperatur, tj. 40°C. Termoplasty pracujące powyżej swojej temperatury zeszklenia, jak PE-UHMW, PTFE, w temperaturze 40°C wykazują z kolei największe opory ruchu. W przypadku tych tworzyw najmniejsze wartości średnie siły tarcia występowały w temperaturze 5°C (dla PTFE 5 i 20°C).

Chcąc porównać wyznaczone wartości składowych mechaniczno-adhezyjnych siły tarcia dla przypadku odwróconej i prostej pary tarcia zdefiniowałem **współczynnik proporcjonalności** – δ . Wyraża on stosunek składowej mechaniczno-adhezyjnej podczas tarcia z przemieszczaniem punktu styku względem materiału polimerowego do składowej mechaniczno-adhezyjnej siły tarcia podczas stacjonarnego styku. Wyznaczona wartość współczynnika δ dla zbadanych przeze mnie przypadków skojarzeń materiałowych wskazuje wyraźnie, że złożony ruch elementów węzła tarcia wpływa istotnie na składową mechaniczno-adhezyjną siły tarcia.

Na podstawie przeprowadzonych badań i obliczeń wyznaczone zostały szczegółowe charakterystyki zależności współczynnika δ w zależności od prędkości przemieszczania punktu styku po powierzchni elementu polimerowego v_p . Wyznaczone charakterystyki współczynnika δ od prędkości przesuwu, dla różnych skojarzeń i temperatur, pozwalają na wyliczenie oporu ruchu projektowanych węzłów tarcia. Na wykresie przedstawionym na rys. 6 zamieszczone zostały średnie wartości współczynnika δ dla różnych temperatur i skojarzeń materiałowych. Można zauważyć, że dla większości przypadków złożony ruch elementów węzła tarcia zmniejsza wartość składowej mechaniczno-adhezyjnej siły tarcia ($\delta < 1$), choć nie jest to regułą (PE-UHMW w temperaturze 5°C).



Rys. 6 Zestawienie średnich wartości współczynnika proporcjonalności δ dla różnych wartości temperatury i rodzajów skojarzenia materiałowego³

Współczynnik δ może być stosowany do opisu tarcia węzłów tribologicznych pracujących w warunkach złożonych pod względem kinematycznym.

Chcąc zbadać również wpływ ruchu elementu stalowego, analizie poddałem prędkość i kierunek rotacji stalowego walca na tarcie w warunkach toczno-ślizgowych. Dla przypadków kinematycznych w których występowała dodatkowo rotacja walca wprowadziłem współczynnik proporcjonalności δ' . Jest on wyznaczany analogicznie do współczynnika δ z tym, że uwzględnia kinematykę elementu stalowego. Dalsze analizy występujących zależności pomiędzy wyliczonymi współczynnikami (δ'/δ) wskazały, że również kierunek rotacji ma wpływ na wartość składowej mechaniczno-adhezyjnej siły tarcia. Uzyskane wartości pozwoliły mi stwierdzić, że dla większości badanych przypadków rotacja bez względu na kierunek zmniejsza tarcie. Aczkolwiek dla PTFE i częściowo PA6 rotacja przeciwbieżna może zwiększać udział składowej mechaniczno-adhezyjnej w stosunku do braku rotacji. Wprowadzone współczynniki są uniwersalne i mogą być stosowane do opisu tarcia dowolnego węzła tribologicznego pracującego w warunkach złożonego ruchu.

Podsumowując, przeprowadzone badania tribologiczne jednoznacznie wykazały wpływ złożonych warunków ruchowych na występujące charakterystyki tarcia. Można również stwierdzić, że **deformacja materiału powstająca na skutek przemieszczania punktu styku po powierzchni elementu polimerowego wpływa niezależnie na wartości składowej makrodeformacyjnej F_{md} i składowej mechaniczno-adhezyjnej siły tarcia F_{m-a}** . Znalezienie optymalnych wartości prędkości obydwu elementów węzła tarcia pozwala na redukcję występujących oporów ruchu.

Przeprowadzenie badań tribologicznych pozwoliło na wyznaczenie zależności pomiędzy występującym tarcie a parametrami kinematycznymi, nie pozwoliło jednak na dokładne określenie przyczyn występujących zależności. Potwierdzenie wpływu własności mechanicznych polimeru na wartość poszczególnych składowych siły tarcia wymagało przeprowadzania dodatkowych badań, w ramach których przeprowadziłem analizy pełzania i wyznaczyłem za pomocą autorskiej procedury parametry ciała lepkosprężystego Voigta-Kelvina dla badanych termoplastów. Analizując wyznaczone doświadczalnie wartości parametrów mechanicznych badanych termoplastów i średnie wartości składowej makrodeformacyjnej F_{md} odkryłem pewne zależności pomiędzy tymi parametrami. Dla tworzyw, które pracowały powyżej temperatury zeszklenia T_g (PE-UHMW, PTFE), średni opór makrodeformacyjny był wprost proporcjonalny do wartości czasu retardacji odkształceń t_{ret} . Natomiast dla polimerów w stanie wymuszonej elastyczności tj. poniżej temperatury zeszklenia POM i PA6, średnia wartość składowej makrodeformacyjnej siły tarcia była odwrotnie proporcjonalna do czasu retardacji odkształceń. Czas retardacji (opóźnienia) odkształceń - t_{ret} , jest definiowany jako stosunek lepkości η do modułu sprężystości postaciowej (Kirchoffa) G :

$$t_{ret} = \frac{\eta}{G} \quad (2)$$

Podsumowując, **istnieje zatem wyraźna zależność pomiędzy wartością oporu ruchu związanego z makrodeformacją elementu polimerowego, a parametrami materiałowymi (lepkosprężystymi) polimerów termoplastycznych.**

Kolejnymi badaniami uzupełniającymi dokonania w ramach przedstawianego do oceny osiągnięcia naukowego były badania numeryczne potwierdzające zakładane zmniejszenie wielkości powierzchni styku na skutek przemieszczania styku po powierzchni elementu polimerowego. W celu określenia zmian wielkości powierzchni styku wykonano symulacje numeryczne w oparciu o metodę elementów

skończonych. Analiza uzyskanych danych pozwala stwierdzić, że przemieszczanie punktu styku po powierzchni elementu polimerowego zmniejsza wielkość powierzchni styku oraz wpływa na rozkład nacisków w obszarze styku. Obliczenia numeryczne wykazały, że dla polietylenu w temperaturze 20°C, zmniejszenie powierzchni styku wynosi nawet 27%. Występujący rozkład nacisków na powierzchni styku w przypadku złożonego ruchu elementów trących jest niesymetryczny i może znacząco wpływać na sumaryczną wartość oporu ruchu.

3.3.3 Wpływ na dyscyplinę naukową

Przeprowadzone badania wykazały jednoznacznie, że przemieszczanie punktu styku zarówno względem elementu polimerowego jak i elementu stalowego ma wpływ na występujące opory ruchu. Wartości prędkości poszczególnych elementów trących względem punktu styku mają różny wpływ na sumaryczną siłę tarcia, co daje możliwość znalezienia optymalnych wartości parametrów kinematycznych węzła tarcia. Praca węzła tarcia w warunkach złożonego ruchu pozwala na redukcję występujących oporów ruchu. Wnioski z przeprowadzonych badań i wyznaczone charakterystyki mogą stanowić podstawę do konstruowania nowego rodzaju łożysk ślizgowych.

Istniejące teorie tarcia suchego, a szczególnie teorie mechaniczno-molekularne zakładają, że występujące tarcie jest efektem oddziaływań adhezyjnych oraz mechanicznych pomiędzy mikronierównościami powierzchni trących. Te klasyczne teorie tarcia nie uwzględniają oporów ruchu wynikających z makrodeformowania materiału. Rewidując założenia mechaniczno-adhezyjnych teorii tarcia w przypadku współpracy ciernej elementów lepkosprężystych poruszających się ruchem złożonym należy uwzględnić jeszcze składową związaną z makrodeformacją materiału F_{md} . Uzupełniając wartość występującej siły tarcia według molekularno-mechanicznej teorii tarcia Kragielskiego^{1, 19, 20, 21, 22} o składową makrodeformacyjną, można zapisać:

$$\mu = (\mu_a + \mu_d)\delta + \mu_{md} \quad (3)$$

Współczynnik δ w odniesieniu do znanych teorii tarcia można traktować jako współczynnik korekcyjny występującego złożonego ruchu elementów trących na składową molekularno-mechaniczną.

Studia nad tarcieniem polimerów termoplastycznych w warunkach złożonego ruchu oraz analiza uzyskanych wyników z badań tribologicznych oraz badań uzupełniających pozwalają na sformułowanie kilku refleksji ogólnych. Są one pewnego rodzaju podsumowaniem podjętej tematyki badawczej na tle szeroko rozumianej tribologii.

Przede wszystkim, należy stwierdzić, że zagadnienia związane z rodzajem oraz złożonością ruchu są uwzględniane podczas badań tribologicznych w sposób niewystarczający. Mimo, że ruch złożony występuje powszechnie nie tylko w przyrodzie, ale również w technice. Należy z większą starannością określać stan kinematyczny węzła tarcia podczas jego analizy oraz w trakcie badań tribologicznych.

¹⁹ Kragelsky I.V., Alisin V., *Friction wear lubrication: Tribology handbook*, Elsevier, Frankfurt 2016.

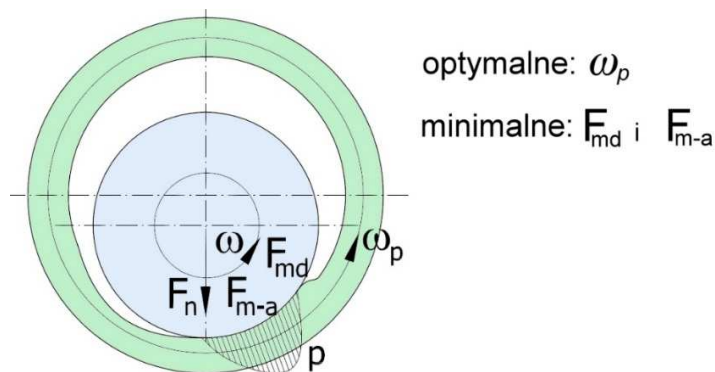
²⁰ Kragielski I. V., *Trenije i iznos*, Maszynostrojenie (1968), Moskwa 1968.

²¹ Hebda M., Wachal A., *Tribologia*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1980.

²² Nosal S., *Tribologia: wprowadzenie do zagadnień tarcia, zużycia i smarowania*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2016.

Różnorodność występujących ruchów w elementach współpracujących ciernie oraz możliwość ich łączenia nasuwa refleksję, że znane dobrze rodzaje tarcia, jak tarcie ślizgowe czy tarcie toczne, są tylko szczególnymi przypadkami w wielowymiarowej przestrzeni możliwych stanów kinematycznych. Oczywiście zbadanie tarcia we wszystkich stanach kinematycznych jest niemożliwe i nie ma praktycznego sensu, ale należy mieć świadomość ich istnienia.

Analiza składowych siły tarcia, w zależności od parametrów ruchowych poszczególnych elementów węzła tarcia pozwala zakładać, że możliwe jest zredukowanie występujących oporów ruchu poprzez odpowiednią konstrukcję łożyska. Zastosowanie układu z ruchomą (niezależną) panewką polimerową oraz przy odpowiednim doborze prędkości obrotowej wału, kierunku i prędkości rotacji panewki pozwoli na zminimalizowanie występujących oporów ruchu oraz zużycia. Na podstawie wyznaczonych danych można wyliczyć, że dla łożyska z poliamidową panewką, rotującą współbieżnie z określoną prędkością, w temperaturze 40°C, można zredukować opory ruchu o ponad 20% w porównaniu do tarcia przy braku ruchu panewki. Schemat kinematyczny takiego łożyska przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7 Koncepcja łożyska „PolimeroDynamicznego” z ruchomą panewką

Analizując opory ruchu występujące w zaproponowanym łożysku, można dostrzec analogie do łożyska hydrodynamicznego, dla którego również występuje optymalna prędkość obrotowa, eliminująca tarcie mieszane i minimalizująca opory hydrodynamiczne. W przedstawionym koncepcyjnym łożysku, prędkość obrotowa (w tym przypadku panewki polimerowej) również będzie silnie wpływała na wartość momentu tarcia. Wartość ta będzie zależna od obydwu składowych siły tarcia: makrodeformacyjnej i mechaniczno-adhezyjnej, które również zależą od własności „lepkościowych” tworzywa. Występująca analogia wnosi o nazwanie takiej konstrukcji „łożyskiem PolimeroDynamicznym”.

4. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

4.1 Działalność naukowo-badawcza przed uzyskaniem stopnia doktora

W trakcie studiów na kierunku Automatyka i Robotyka Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej brałem udział w pracach kół naukowych: Kole Naukowym „Mars Society” oraz w Międzywydziałowym Kole Naukowym Biomechaników. W czasie studiów realizowałem praktyki w firmach produkcyjnych, m.in. w Świdnickiej Fabryce Pomp (dawnej ŚWUP), oraz w firmie LfC w Zielonej

Górze, zajmującej się konstruowaniem i produkcją implantów kręgosłupowych. W ramach współpracy z tą firmą opracowałem projekt gwoźdźnia śródszpikowego do zespolenia kości długich. Studia magisterskie o specjalności inżynieria biomedyczna ukończyłem w 2003 r., broniąc pracę magisterską pod tytułem: „*Inteligentna proteza dłoni – projekt zręcznego chwytaka biomanipulatora*”, którą realizowałem pod opieką dr inż. Andrzeja Wołczowskiego. Praca została wyróżniona nagrodą Rektora Politechniki Wrocławskiej, oraz zajęła exequo II-gie miejsce w konkursie im. Prof. Romana Sobolskiego na najlepszą pracę dyplomową w roku 2002/2003. Po studiach magisterskich kontynuowałem naukę na studiach doktoranckich. Badania prowadziłem pod opieką dr hab. inż. Wojciecha Wieleby, który był i jest moim mentorem w dziedzinie tribologii oraz badań polimerów. Ponieważ moje zainteresowania naukowo-badawcze znajdowały się na pograniczu tribologii i inżynierii biomedycznej rozpocząłem badania nad zjawiskami tarcia występującymi w endoprotezach, czego efektem był szereg prac w tym zakresie^{23, 24}. Rozwijając swoje zainteresowania tribologią opracowałem metodę pomiaru różnicowego składowych sił tarcia, którą opisałem w pracach. W trakcie studiów doktoranckich brałem udział w kilku pracach badawczych dla przemysłu polegających m.in. na opracowaniu zmian konstrukcyjnych granulatora UG 1600 MSL²⁵ oraz badaniami nad amortyzatorem ciernym stosowanym w układach jezdnych wagonów kolejowych²⁶.

W ramach realizowanych własnych prac badawczych wraz z prof. Wojciechem Wielebą opracowałem koncepcję nowego stanowiska do badań tarcia w złożonym ruchu toczno-ślizgowym. Po uzyskaniu finansowania grantu promotorskiego udało mi się zbudować prototyp stanowiska badawczego i przeprowadzić zasadnicze badania do opracowania modelu tarcia endoprotezy stawu kolanowego. Wyniki m.in. tych badań oraz analiz numerycznych przedstawiłem w rozprawie doktorskiej pt.: „*Modelowanie tarcia w endoprotezie stawu kolanowego*”. Pracę zrecenzowaną przez Panią prof. dr hab. inż. Monikę Gierzyńską-Dolną oraz Pana prof. dr hab. inż. Eugeniusza Rusińskiego obroniłem 12 marca 2008 r. Decyzją Rady Naukowej Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej praca moja została wyróżniona.

4.2 Działalność naukowo-badawcza po uzyskaniu stopnia doktora

Zaraz po obronie doktoratu tj. od 5 maja 2008 r. zostałem pracownikiem Zakładu Podstaw Konstrukcji Maszyn i Tribologii na stanowisku asystenta, a 1. marca 2009 r. zostałem mianowany na stanowisko adiunkta. Wyniki uzyskane w trakcie badań nad modelem tarcia endoprotezy stawu kolanowego, a mianowicie wpływ kinematyki elementów trących oraz wpływ własności mechanicznych materiału trącego na własności tribologiczne, skłoniły mnie do dalszego badania procesów tarcia układów o złożonej kinematyce. Kontynuowałem również badania nad wyznaczeniem oporów ruchu oraz zużycia elementów węzłów trących za pomocą metody elementów skończonych. W ramach prowadzonych prac

²³ Kowalewski P., *Tribology characteristics of polymeric bio-material PE-UHMW*, 1st Students' Scientific Conference of Biomechanics. Bio-Mech-Young, Szklarska Poręba, 27-30 May 2004, Oficyna Wydawnicza PWr., Wrocław 2004, 45-46.

²⁴ Kowalewski P., Wieleba W., *Sliding polymers in the joint alloplastic*, Archives of Civil and Mechanical Engineering 7(4) 2007, 107-119.

²⁵ Capanidis D., Dudziński W., Kowalewski P., Wieleba W., Woźniak J., *Opracowanie zmian konstrukcyjnych elementów roboczych granulatora UG 1600 MSL firmy MeWa zwiększających efektywność jego eksploatacji*, Raporty Inst. Konstr. Eksp. Masz. PWroc. 2004, Ser. SPR nr 12.

²⁶ Capanidis D., Kowalewski P., Olejnik Z., Wieleba W., Woźniak J., *Badania właściwości tribologicznych wybranych skojarzeń materiałowych o styku rozłożonym i skoncentrowanym podczas ich tarcia bez smarowania w ruchu posuwisto-zwrotnym*, Raporty Inst. Konstr. Eksp. Masz. PWroc. 2006, Ser. SPR nr 23.

naukowo-badawczych udało mi się opracować modele numeryczne standardowych węzłów tribologicznych oraz łożysk polimerowych^{27, 28}.

W ramach swojej działalności naukowo-badawczej realizowałem wiele badań we współpracy z ośrodkami w kraju i zagranicą. Przykładami badań tribologicznych, które realizowałem są:

- badania odporności na zużycie stali po obróbce laserowej (we współpracy z Wydziałem Elektroniki Politechniki Wrocławskiej oraz Instytutem Matematyki i Fizyki Uniwersytetu Techniczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy)²⁹,
- badania z Center of Earth Sciences oraz Institute of Combustion Problems (Almaty, Kazachstan) dotyczące własności tribologicznych kompozytów hydroxyapatyt-tytan³⁰,
- badania tarcia statycznego skojarzeń stal-grafit ekspandowany w ramach współpracy z Politechniką Poznańską³¹,
- wyznaczenie statyczno-kinetycznych charakterystyk tarciovych kompozytów polimerowych w ramach współpracy badań z Instytutem Technologii Eksploatacji w Radomiu^{32, 33},
- badania warstwy wierzchniej za pomocą mikroskopii skaningowej³⁴ (we współpracy z Powder Metallurgy Institute, National Academy of Sciences of Belarus oraz Uniwersytetem Zielonogórskim).

Kinematyka węzła tarcia była przedmiotem moich zainteresowań również w ramach realizowanego projektu badawczego pt.: „*Badania wpływu wybranych parametrów na opory tarcia podczas rozruchu polimerowo-metalowych par ślizgowych*” finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (Projekt Badawczy Nr N N504 405735)²⁸.

W latach 2010-2011 brałem udział jako główny wykonawca w projekcie badawczym pt. „*Optymalizacja odbudowy ubytku próchnicowego*” realizowanym na Uniwersytecie Medycznym we Wrocławiu. Swoją wiedzę w zakresie wpływu dynamicznego odkształcania polimerowych elementów trących poszerzyłem w ramach realizacji badań finansowanych z programu „*Młoda Kadra*”. W ramach tego projektu zbadałem podstawowe zjawiska występujące w polimerowych węzłach tarcia, w których punkt styku ulega przemieszczaniu³⁵. Uczestniczyłem również w pracach rozwojowych w ramach Programu Operacyjnego - Innowacyjna Gospodarka, biorąc udział w opracowaniu procesu wytwarzania medycznych

²⁷ Kowalewski P., *Numeryczna analiza rozkładów nacisku występujących w standardowych węzłach tribologicznych* Tribologia 41 (6) 2010, 39-47.

²⁸ Wieleba W., Capanidis D., Kowalewski P., Paszkowski M., Ptak A. M., *Badania wpływu wybranych parametrów na opory tarcia podczas rozruchu polimerowo-metalowych par ślizgowych*, Raporty Inst. Konstr. Eksp. Masz. PWroc. 2011, Ser. SPR nr 48.

²⁹ Łęcka K., Antończak A., Kowalewski P., Trzciniński M., *Wear resistance of laser-induced annealing of AISI 316 (EN 1.4401) stainless steel*, Laser Physics 28 (9) 2018, 1-8.

³⁰ Mamaeva A., Kenzhegulov A., Kowalewski P., Wieleba W., *Investigation of hydroxyapatite-titanium composite properties during heat treatment*, Acta of Bioengineering and Biomechanics 19(4) 2017, 161-169.

³¹ Rewolińska A., Kowalewski P., Perz K., Paczkowska M., *A study of static friction in reciprocating movement of sliding pair steel-expanded graphite*, Tribologia 47 (6) 2016, 131-138.

³² Pawelec Z., Kowalewski P., *Statyczno-kinetyczne charakterystyki tarciovych kompozytów polimerowych zawierających zdyspergowany politetrafluoroetylen*, Tribologia (2) 2015, 115-124.

³³ Pawelec Z., Kowalewski P., *Właściwości mechaniczne i współczynnik tarcia statycznego kompozytów metalopolimerowych przeznaczonych do regeneracji układów przewodnicowych obrabiarek skrawających*, Tribologia 44 (3) 2013, 97-108.

³⁴ Feldshtein E., Kowalewski P., Dyachkova L., *Studying the surface layers of products using a low-vacuum scanning electron microscope*, Journal of Surface Investigation : X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques 8 (6) 2014, 1258-1264.

³⁵ Kowalewski P., *Badania tarcia polimerowych elementów ślizgowych z ruchomym punktem styku*, Raporty Inst. Konstr. Eksp. Masz. PWroc. 2013, Ser. SPR nr 73.

implantów kostnych przygotowywanych na indywidualne zamówienie we współpracy z Centrum Innowacyjnych Rozwiązań Biomedycznych.

Znaczną część moich zainteresowań naukowo-badawczych w obszarze tribologii stanowią prace nad konstrukcjami urządzeń badawczych. Efektem prac prowadzonych w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn i Tribologii są patenty oraz funkcjonujące urządzenia do badań tribologicznych, min. urządzenie do badań tarcia w złożonym ruchu toczno-ślizgowym^{36, 37}, urządzenie do badania tarcia lin i plecionek^{38, 39}, urządzenie do badania tarcia badania przegubów smarowanych w ruchu wahadłowym⁴⁰, czy urządzenia do badania tarcia w niskiej temperaturze^{41, 42}.

Poza badaniami elementów maszyn sporą część obszaru moich naukowo-badawczych zainteresowań stanowi biotribologia. W ramach współpracy z Kliniką Chirurgii Urazowej i Ortopedii 4-go Wojskowego Szpitala Klinicznego podjąłem się analizy zużycia tribologicznego panewek stawu biodrowego. Współpraca ta zaowocowała publikacjami opisującymi własności tribologiczne bio-polimerów ślizgowych oraz wpływem ich eksploatacji w warunkach in-vivo na ich właściwości ślizgowe^{43, 44}. W ramach prac prowadzonych we współpracy z Akademią Górniczo-Hutniczą brałem udział w opracowywaniu konstrukcji nowej generacji implantów biodegradowalnych do osteosyntezy kości^{45, 46}. Współpracując z Uniwersytetem Medycznym we Wrocławiu realizowałem również badania dotyczące analizy numerycznej nowych wypełnień ubytków próchnicowych oraz oceny wartości siły retencji cylindrycznych zaczepów teleskopowych protez stomatologicznych⁴⁷. Swoje zainteresowania naukowe związane z inżynierią biomedyczną realizuję również poprzez prace badawcze nad opracowania konstrukcji nowego rodzaju dynamicznego gwoźdźcia śródszpikowego w firmie Yuton.

³⁶ Kowalewski P., Wieleba W., Leśniewski T., *Stanowisko do badań tribologicznych w złożonym ruchu cyklicznym toczno-ślizgowym*, Tribologia 38(2) 2007, 303-311.

³⁷ Kowalewski P., Wieleba W., Patent: PL 214201, *Urządzenie do badania tarcia w złożonym ruchu toczno-ślizgowym*, Zgłosz. nr 382893 z 11.07.2007. Opubl. 28.06.2013.

³⁸ Brończyk A. M., Kowalewski P., *Wpływ siły naciągu włókien polimerowych na opory tarcia*, Tribologia (5) 2015, 9-16.

³⁹ Brończyk A. M., Kowalewski P., Wieleba W., *Urządzenie do badania tarcia włókien i plecionek*. Zgłosz. pat. nr P 415423 z 21.12.2015.

⁴⁰ Capanidis D., Kowalewski P., Leśniewski T., Paszkowski M., Wieleba W., *Rola badań tribologicznych w aspekcie zwiększania trwałości i niezawodności eksploatacyjnej maszyn i urządzeń użytkowanych w Zagłębiu Miedziowym*, Zeszyty Naukowe Dolnośląskiej Wyższej Szkoły Przedsiębiorczości i Techniki. Studia z Nauk Technicznych (4) 2015, 47-64.

⁴¹ Ptak A. M., Wieleba W., Kowalewski P., *Analysis of the phenomenon of adhesion at low temperature*, 20th International Symposium on Surfactants in Solution : SIS 2014, Coimbra, Portugal, 22-27 June 2014, 540-540.

⁴² Ptak A. M., Wieleba W., Kowalewski P., Capanidis D., *Wpływ wilgotności i temperatury powietrza na współczynnik tarcia statycznego wybranych par ślizgowych metal-polimer*, Tribologia 42 (5) 2011, 181-188.

⁴³ Kowalewski P., Ptak A. M., Wodzisławski W., *The surface analysis of a retrieved PE-UHMW acetabular cups*, 20th International Symposium on Surfactants in Solution : SIS 2014, Coimbra, Portugal, 22-27 June 2014, 391-391.

⁴⁴ Jasiński R., Kowalewski P., Litwin A., Paszkowski M., *Wpływ zużycia zmęczeniowego PE-UHMW stosowanego na panewki endoprotez na jego własności tribologiczne*, Tribologia 44 (2) 2013, 95-102.

⁴⁵ Będziński R., Filipiak J., Jankowski L., Kowalewski P., Pezowicz C., Stróżyk P., *Opracowanie projektów przewidzianych implantów*, Raporty Inst. Konstr. Eksp. Masz. PWroc. 2012, Ser. SPR nr 36.

⁴⁶ Będziński R., Wall A., Chłopek J., Kowalewski P.: Patent: PL 215705, *Zestaw do stabilizacji złamania kości miednicy*, Zgłosz. nr 387064 z 19.01.2009. Opubl. 31.01.2014.

⁴⁷ Dąbrowa T., Wieleba W., Więckiewicz W., Kowalewski P.: *Ocena wartości siły retencji cylindrycznych zaczepów teleskopowych we wstępnej fazie użytkowania protez*, Magazyn Stomatologiczny 1 2018, 56-58.

Efektem licznych badań i prac konstrukcyjnych w obszarze inżynierii biomedycznej są patenty dotyczące stentów wieńcowych^{48, 49}, implantu do stabilizacji złamań⁵⁰ oraz zgłoszenie patentowe hybrydowego elementu ślizgowego do implantów stawu⁵¹.

W ramach swojej działalności naukowej podjąłem się recenzowania kilkunastu prac naukowych w czasopismach o zasięgu krajowym jak i międzynarodowym, m.in. Tribologia, Acta of Biomechanics and Bioengineering, Open Engineering, Advances in Materials Science czy Vacuum.

W maju 2015 r. przebywałem na stażu w ramach programu współpracy naukowo-badawczej w Shakarim State University w Semey (Kazachstan) co zaowocowało nawiązaniem współpracy z ośrodkami naukowymi w Kazachstanie, m.in., Institute of Atomic Energy oraz East Kazakhstan State Technical University.

Chcąc propagować wiedzę z zakresu tribologii wśród studentów i doktorantów w styczniu 2016 r. zainicjowałem założenie koła naukowego TRIBO (tribo.pwr.edu.pl), którego jestem opiekunem do dziś. Działalność koła zgromadziła w swoich szeregach wielu ambitnych studentów i pozwoliła na realizację ciekawych projektów, takich jak projekt DREAM (Drilling Experiment for Asteroid Mining), którego celem było zbadanie procesów wiercenia w warunkach kosmicznych na pokładzie rakiety suborbitalnej. Projekt został zrealizowany i wziął udział w międzynarodowym programie, koordynowanym przez Europejską Agencję Kosmiczną (ESA), o nazwie REXUS (Rocket Experiments for University Students). W ramach swoich kompetencji pełniłem funkcję opiekuna merytorycznego (endorsing profesor) w projekcie, który zakończył się sukcesem po wykonaniu lotu suborbitalnego 15 marca 2017 r. W efekcie kolejnego projektu studenckiego NFN (New Fiction Node), realizowanego pod moją opieką w ramach koła TRIBO, opracowana i przebadana została koncepcja nowoczesnego hybrydowego materiału ślizgowego do zastosowania w endoprotezach, która zaowocowała zgłoszeniem patentowym.

Ponieważ kinematyka elementów trących jest bardzo często bagatelizowana w analizach tribologicznych, we wszystkich pracach naukowych z którymi miałem do czynienia zwracałem szczególną uwagę na to zagadnienie. Efektem rozważań nad kinematyką elementów trących był szereg publikacji naukowych oraz referatów wygłoszonych na konferencjach krajowych i zagranicznych. Miedzy innymi na 5. Światowym Kongresie Tribologicznym w Turynie (WTC 2013 - World Tribology Congress)^{52, 53}, 20. Międzynarodowym Sympozjum "Surfactants in Solution" w Coimbrze (2014 r. - International Symposium

⁴⁸ Będziński R, Grygier D., **Kowalewski P.**, Patent: PL 210204, *Stent wieńcowy wewnętrzny*, Zgłosz. nr 376038 z 4.07.2005, Opubl. 30.12.2011.

⁴⁹ Będziński R, Grygier D., **Kowalewski P.**, Patent: PL 210205, *Stent wieńcowy wewnętrzny*, Zgłosz. nr 376039 z 4.07.2005, Opubl. 30.12.2011.

⁵⁰ Będziński R., Wall A., Chłopek J., **Kowalewski P.**, Patent: PL 215705, *Zestaw do stabilizacji złamania kości miednicy*, Zgłosz. nr 387064 z 19.01.2009, Opubl. 31.01.2014.

⁵¹ **Kowalewski P.**, Ptak A. M., Michalska Ż., Zgłoszenie patentowe: *Hybrydowy element ślizgowy do implantu stawu*, nr P 425931 z 15.06.2018.

⁵² **Kowalewski P.**, Wieleba W., Capanidis D., *The experimental methods of measuring and calculating friction in knee endoprosthesis*, WTC 2013 : 5th World Tribology Congress, Torino, Italy, 8-13 September, 2013

⁵³ Wieleba W., Dobrowolska A. M., **Kowalewski P.**, Ptak A., *Influence of friction parameters on the mechanical properties of surface layer of some polymers*, WTC 2013 : 5th World Tribology Congress, Torino, Italy, 8-13 September, 2013.

on Surfactants in Solution)^{41, 43, 54, 55} czy na 7. Międzynarodowej Konferencji Koloidów w Sitges 2017 r. (7th International Colloids Conference)^{56, 57}.

Podsumowując, we wszystkich pracach naukowo-badawczych dotyczących tarcia polimerów termoplastycznych dostrzegałem znaczący wpływ złożoności występującego ruchu oraz lepkości sprężystości materiałów polimerowych na występujące zjawiska. Moje obserwacje utwierdziły mnie w przekonaniu, że duże znaczenie dla procesu tarcia ma kinematyka elementów trących i mogąca pojawić się makrodeformacja elementu trącego. Aby dokładniej zbadać zaobserwowane zjawiska podjąłem się przeprowadzania analiz literaturowych oraz wykonania badań, których celem było dokładne zbadanie procesu tarcia polimerów termoplastycznych w warunkach złożonego ruchu. Uzyskane wyniki oraz wnioski opisałem w monografii i stanowią one osiągnięcie naukowe, które przedstawiam do oceny w ramach procedury habilitacyjnej.

4.3 Podsumowanie osiągnięć w zakresie naukowo-badawczym i dydaktycznym

1. Byłem członkiem komitetów organizacyjnych na 2 konferencjach naukowych o zasięgu krajowym.
2. Po uzyskaniu stopnia doktora uczestniczyłem w 15 konferencjach naukowych krajowych i 3 zagranicznych, wygłaszając referaty oraz prezentując plakaty.
3. Recenzowałem ponad dwadzieścia artykułów naukowych w takich czasopismach jak Tribologia, Open Engineering, Acta of Bioengineering and Biomechanics, Advances in Material Science czy Vacuum.
4. Uczestniczyłem aktywnie, po uzyskaniu stopnia doktora, w 11 projektach badawczych.
5. W 2014 i 2017 roku uzyskałem indywidualną nagrodę Rektora Politechniki Wrocławskiej w uznaniu wyróżniającego wkładu w działalność uczelni.
6. W 2015 roku byłem na stażu zagranicznym w Shakarim State University w Semey (Kazachstan).
7. Brałem udział w konsorcjach badawczych z firmami, takimi jak: Yuton Sp. z o.o., Scanway Sp. z o.o., Elektroluber Sp. z o.o., Nobo Solutions S. A.
8. Od 2014 r. jestem członkiem Wydziałowej Komisji Hospitacyjnej na kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej.
9. Od 2007 r. jestem aktywnym członkiem Polskiego Towarzystwa Tribologicznego.
10. Jestem inicjatorem powstania (2016 r.) i opiekunem Studenckiego Koła Naukowego TRIBO, działającego przy Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej.
11. Byłem opiekunem naukowym projektu DREAM - Drilling Experiment for Asteroid Mining.
12. Biorę aktywny udział w procesie dydaktycznym prowadząc liczne wykłady oraz zajęcia projektowe i laboratoryjne w ramach wszystkich kierunków studiów prowadzonych przez Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej oraz na Studiach podyplomowych. W latach 2009 – 2016 pracowałem w Dolnośląskiej Wyższej Szkole Przedsiębiorczości i Techniki w Polkowicach (od 2016 - Uczelnia Jana Wyżykowskiego) na stanowisku adiunkta gdzie przygotowywałem i prowadziłem liczne kursy dydaktyczne.

⁵⁴ Wieleba W., Dobrowolska A., **Kowalewski P.**, Ptak A.M., *The influence of surface geometrical structure of steel on the static friction coefficient of thermoplastic polymer material*, SIS 2014, Coimbra, Portugal, 22-27 June 2014, 177-177.

⁵⁵ **Kowalewski P.**, Dobrowolska A., Samoraj M., *The influence of lubricating solutions on metal implants friction surface*, SIS 2014, Coimbra, Portugal, 22-27 June 2014, 547-547.

⁵⁶ **Kowalewski P.**, Paszkowski M., *Studies of the influence of temperature and lubricant properties under slide-roll friction*, 7th International Colloids Conference, 18-21 June 2017, Sitges, Barcelona, Spain.

⁵⁷ Ptak, A., **Kowalewski P.**, Paszkowski M., *Investigation of the effect of temperature and the type of lubricant to the coefficient of static friction*, 7th International Colloids Conference, 18-21 June 2017, Sitges, Barcelona, Spain.

13. Byłem promotorem około 50 prac dyplomowych.
14. Jestem promotorem pomocniczym czterech doktorantów.
15. Jestem członkiem Komisji Rewizyjnej Polskiego Towarzystwa Tribologicznego (funkcja z wyboru).
16. Opracowałem oraz prowadzę stronę internetową z materiałami dydaktycznymi dla studentów (kowalewski.edu.pl).

Szczegóły dotyczące dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej i krajowej zostały przedstawione w załączniku nr 6.

Tabela 2 Zestawienie liczbowe artykułów w czasopismach naukowych, monografii oraz rozdziałów w monografiach i opracowaniach zwartych bez materiałów konferencyjnych, przed i po uzyskaniu stopnia doktora

Rodzaj publikacji	Liczba publikacji	
	przed uzyskaniem stopnia doktora	po uzyskaniu stopnia doktora
Artykuły naukowe w czasopismach z Listy Filadelfijskiej	1	4
Artykuły naukowe w czasopismach punktowanych MNiSW	6	31
Artykuły naukowe indeksowane w bazie <i>Web of Science</i>	1	3
Artykuły naukowe indeksowane w bazie <i>Scopus</i>	1	5
Artykuły naukowe w pozostałych czasopismach	0	1
Autorstwo monografii	0	1
Rozdziały w monografiach i opracowaniach zwartych	1	2
Liczba publikacji międzynarodowych	7	20
Liczba publikacji krajowych	7	37
łącznie liczba publikacji	14	57

Tabela 3 Zestawienie liczbowe referatów, streszczeń, komunikatów, wystąpień na międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych, przed i po uzyskaniu stopnia doktora

Rodzaj konferencji	Forma prezentacji	Liczba prezentacji	
		przed uzyskaniem stopnia doktora	po uzyskaniu stopnia doktora
Krajowa	plakat	2	5
	prezentacja	2	11
Międzynarodowa	plakat	1	6
	prezentacja	1	3
łącznie liczba publikacji		6	25

Tabela 4 Zestawienie liczbowe cytowań publikacji wg baz: Web of Science, Scopus oraz Google Scholar przed i po uzyskaniu stopnia doktora (bez autocytaowań)

Baza cytowań	Liczba cytowań	
	przed uzyskaniem stopnia doktora	po uzyskaniu stopnia doktora
Web of Science	0	15
Scopus	0	5
Indeks Hirscha na podstawie bazy Web of Science	0	2

Tabela 5 Zestawienie liczbowe wykonanych recenzji artykułów w czasopiśmie naukowych, przed i po uzyskaniu stopnia doktora

Rodzaj czasopisma	Liczba recenzji	
	przed uzyskaniem stopnia doktora	po uzyskaniu stopnia doktora
Ze wskaźnikiem Impact Factor (IF)	0	4
Bez wskaźnika Impact Factor (IF)	0	17
łącznie liczba recenzji	0	21

Tabela 6 Sumaryczne zestawienie kryteriów osiągnięć wnioskodawcy - dr inż. Piotra Kowalewskiego po uzyskaniu stopnia doktora, Wg Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 01.09.2011 r. w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego

I.p.	Kryterium według §3 p.4, §4 i §5	TAK (liczba)/BRAK
1.	Publikacje naukowe w czasopismach z bazy Journal Citation Reports (JCR)	TAK (3)
2.	Zrealizowane oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne	TAK (3)
3.	Udzielone patenty: a) międzynarodowe b) krajowe	TAK a) (0) b) (4)
4.	Wynalazki oraz wzory użytkowe i przemysłowe, które zostały wystawione na międzynarodowych lub krajowych wystawach lub targach	BRAK
5.	Monografie, publikacje naukowe w czasopismach innych niż znajdujące się w bazie JCR	TAK (31)
6.	Opracowania zbiorowe, katalogi zbiorów, dokumentacja prac badawczych, ekspertyzy	TAK (20)
7.	Sumaryczny <i>impact factor</i> według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania:	TAK (4.882)
8.	Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS), bez autocytowań	TAK (15)
9.	Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS)	TAK (2)
10.A	Kierowanie projektami badawczymi: a) międzynarodowymi b) krajowymi	TAK a) (0) b) (1)
10.B	Udział w projektach badawczych: a) międzynarodowych b) krajowych	TAK a) (0) b) (11)
11.	Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową	TAK (1)
12.	Wygłoszenie referatów na tematycznych konferencjach a) międzynarodowych b) krajowych	TAK a) (3) b) (13)
13.	Uczestnictwo w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych i krajowych	TAK (6)
14.	Aktywny udział w konferencjach naukowych: a) międzynarodowych b) krajowych	TAK a) (3) b) (15)
15.	Udział w komitetach organizacyjnych konferencji naukowych: a) międzynarodowych b) krajowych	TAK a) (0) b) (2)
16.	Otrzymane nagrody i wyróżnienia inne niż wymienione wyżej	TAK (2)
17.	Udział w konsorcjach i sieciach badawczych	TAK (5)
18.	Kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z: a) naukowcami z innych ośrodków polskich, b) naukowcami z ośrodków zagranicznych, c) przedsiębiorcami, innymi niż wymienione wyżej	BRAK
19.	Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism	BRAK
20.A	Członkostwo w międzynarodowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych a) ogółem b) w tym z wyboru	BRAK
20.B	Członkostwo w krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych a) ogółem b) w tym z wyboru	TAK a) (2) b) (1)
21.	Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki	TAK (13)
22.	Opieka naukowa nad studentami	TAK (56)
23.	Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze:	TAK

	a) opiekuna naukowego b) promotora pomocniczego	a) (0) b) (4)
24.	Staże w ośrodkach naukowych lub akademickich a) zagranicznych b) krajowych	TAK a) (1) b) (0)
25.	Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie	TAK (11)
26.	Udział w zespołach eksperckich i konkursowych	TAK (1)
27.	Recenzowanie projektów: a) międzynarodowych b) krajowych	BRAK
28.	Recenzowanie publikacji w czasopismach: a) międzynarodowych b) krajowych	TAK a) (5) b) (16)
29.	Inne osiągnięcia	TAK (3)
	Łącznie liczba spełnionych kryteriów (29 punktów + 2 podpunkty):	26/31 (84%)

Szczegółowy opis osiągnięć naukowo-badawczych przedstawiono na podstawie kryteriów zdefiniowanych w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 r., art. 3 pkt 4 w obszarze nauk technicznych, art. 4 określający kryteria oceny w zakresie osiągnięć naukowo-badawczych dla wszystkich obszarów wiedzy oraz art. 5 w zakresie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej we wszystkich obszarach wiedzy (Dz. U. nr 19, poz. 1165) i znajduje się on w kolejnych załącznikach wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego.



.....
Piotr Kowalewski