



POLSKIE TOWARZYSTWO TRIBOLOGICZNE
członek International Tribology Council

XLIII Ogólnopolska Konferencja

Jesienna Szkoła Tribologiczna

9-12 września 2025

Poznań-Dolsk

STRESZCZENIA REFERATÓW

(w kolejności według programu konferencji)



POLSKIE TOWARZYSTWO TRIBOLOGICZNE
członek International Tribology Council

XLIII Ogólnopolska Konferencja

Jesienna Szkoła Tribologiczna

9-12 września 2025

Poznań-Dolsk

SESJA DLA MŁODYCH NAUKOWCÓW



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WPLYW KRZEMIONKI PŁOMIENIOWEJ NA WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE
I TRIBOLOGICZNE CIECZY MAGNETOREOLOGICZNYCH**

Barbara Drenda ¹, Marcin Szczęch ¹, Wojciech Horak ^{1*}

**¹AGH University of Krakow, Faculty of Mechanical Engineering and
Robotics, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków**

**Adres korespondencyjny: e-mail: horak@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: Ciecz magnetoreologiczna, wytwarzanie cieczy MR, właściwości reologiczne, właściwości tribologiczne

Streszczenie

Ciecze magnetoreologiczne (MR) to zawiesiny cząstek ferromagnetycznych w cieczy nośnej, których właściwości reologiczne ulegają odwracalnej zmianie pod wpływem pola magnetycznego. Umożliwia to ich zastosowanie m.in. w tłumikach drgań, sprzęgłach czy zaworach sterowanych. Istotnym ograniczeniem w eksploatacji cieczy MR jest ich skłonność do sedymentacji, wynikająca z różnicy gęstości fazy stałej i ciekłej. W celu poprawy stabilności stosuje się dodatki strukturotwórcze, takie jak krzemionka płomieniowa (ang. *fumed silica*), która poprzez tworzenie przestrzennej mikrostruktury ogranicza opadanie cząstek. Zwiększa to stabilność układu i nadaje mu cechy tiksotropowe, jednak jej ilość musi być ograniczona z uwagi na wymóg niskiej lepkości w warunkach bez pola magnetycznego. Oprócz właściwości reologicznych, równie istotne są właściwości tribologiczne, wpływające na skuteczność smarowania i odporność na zużycie. W pracy przedstawiono wyniki badań reologicznych i tribologicznych cieczy MR zawierających mikrocząstki żelaza karbonylkowego oraz krzemionkę płomieniową jako stabilizator. Celem analizy było określenie optymalnego składu cieczy z uwzględnieniem minimalizacji współczynnika tarcia i zachowania pożądaných parametrów reologicznych bez pola magnetycznego.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WPLYW OGRANICZONEGO SMAROWANIA BIODEGRADOWALNYM
CZYNNIKIEM NA PRACĘ ŁOŻYSKA RUFOWEGO STATKU**

**Agnieszka Barszczewska ^{1*}, Wojciech Litwin ¹, Michał Wodtke ¹,
Jacek Frost ¹**

**¹ Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa,
ul. Narutowicza 11/12 80-233 Gdańsk**

**Adres korespondencyjny: e-mail: agnieszka.barszczewska@pg.edu.pl*

Słowa kluczowe: hydrodynamiczne łożyska ślizgowe, termiczne uszkodzenie łożyska, awaria smarowania łożysk pochwy wału śrubowego, czynniki smarne na bazie wody.

Streszczenie

Łożyska ślizgowe pochwy wału śrubowego smarowane biodegradowalnymi środkami smarnymi zyskują na popularności w nowoczesnej żegludze ze względu na konieczność ograniczania emisji zanieczyszczeń do wód morskich. Mimo niewątpliwych zalet ekologicznych, rozwiązania te wciąż budzą wątpliwości dotyczące ich trwałości i niezawodności. W ramach przeprowadzonych badań eksperymentalnych odwzorowano warunki pracy polimerowego łożyska rufowego, które uległo uszkodzeniu na rzeczywistym statku. Na podstawie danych eksploatacyjnych zaprojektowano i zbudowano stanowisko badawcze w skali 1:3, umożliwiające odtworzenie zjawisk prowadzących do awarii. Wyniki badań wykazały, że łożysko przy ograniczonym przepływie biodegradowalnego czynnika smarnego, nawet poniżej przyjętej w eksploatacji wartości dopuszczalnej, pracowało bez nadmiernego wzrostu temperatury przez założony okres czasu. W przypadku braku przepływu czynnika smarnego, łożysko nie jest w stanie wystarczająco skutecznie oddawać ciepła przez ścianki, ponieważ polimerowa panew, działając jak izolator (niski współczynnik przewodności cieplnej), ogranicza przepływ ciepła do otoczenia. W wyniku tego zjawiska dochodzi do szybkiego wzrostu temperatury w łożysku oraz przedwczesnego uszkodzenia powierzchni ślizgowej. W przeprowadzonych badaniach udało się uchwycić początkową oraz końcową fazę degradacji łożyska. Potwierdzono, że proces zużycia zaobserwowany w eksperymencie przebiegał w identyczny sposób jak na statku.



POLSKIE TOWARZYSTWO TRIBOLOGICZNE
członek International Tribology Council

**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**OCENA PRZYDATNOŚCI ŚWIATŁOWODOWYCH TECHNIK POMIAROWYCH
DO OCENY JAKOŚCI POWIERZCHNI KOMPONENTÓW MECHANICZNYCH**

**Grzegorz Orlicki ^{1*}, Karolina Rychert ², Kacper Cierpiak ³, Jacek Łubiński ¹,
Małgorzata Szczerska ³**

**¹Zakład Konstrukcji Maszyn i Inżynierii Medycznej, Wydział Inżynierii
Mechanicznej i Okrętownictwa, Politechnika Gdańska, Polska**

² GUT Optica Student Chapter, Politechnika Gdańska, Polska

³Katedra Metrologii i Optoelektroniki, Politechnika Gdańska, Polska

**Adres korespondencyjny: e-mail: grzorlic@pg.edu.pl*

Słowa kluczowe: czujnik światłowodowy, uczenie maszynowe, ocena jakości powierzchni,

Streszczenie Systemy tribologiczne, w których występuje tarcie ślizgowe są narażone na zmienne parametry robocze i zużycie. Jednym ze skutków funkcjonowania takich systemów jest zmiana topografii powierzchni w wyniku zużycia, co przekłada się na jakość funkcjonowania skojarzenia ślizgowego, a w zastosowaniach praktycznych ma wpływ na trwałość i niezawodność maszyn. Możliwość nadzorowania maszyn w czasie rzeczywistym stanu powierzchni narażonych na zużycie tribologiczne otwiera drogę obsługi opartej na rzeczywistym stanie maszyny (condition-based maintenance), a co za tym idzie redukcji kosztów utrzymania. Realizacja tak postawionego zadania wymaga, w wielu przypadkach, stosowania przetworników o możliwie najmniejszych wymiarach, co jest jedną z cech wyróżniających światłowody. Metody optyczne znane są również z odporności na wpływ pola elektromagnetycznego i również z wysokiej dokładności pomiarowej. Wstępne badania skupiały się na otrzymaniu zbioru danych z czujnika światłowodowego i porównaniu ich z pomiarami wykonanymi za pomocą profilometru optycznego, by ocenić możliwość opracowania modelu do klasyfikacji chropowatości powierzchni z wykorzystaniem uczenia maszynowego.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WPLYW TARCIA GENEROWANEGO PRZEZ STANOWISKO BADAWCZE NA
REJESTROWANĄ CHARAKTERYSTYKĘ CIERNEGO TŁUMIKA DRGAŃ
SKRĘTNYCH UKŁADU NAPĘDOWEGO POJAZDU CIĘŻAROWEGO**

**Michał Tomasz Formela ^{1*}, Jacek Łubiński ²,
Adrian Pluto-Prondziński ², Michał Purkiewicz ²**

**¹Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa,
ul. Gabriela Narutowicza 11/12, 80-229 Gdańsk;
Eaton Truck Components sp. z o.o., ul. 30 Stycznia 55, 83-110 Tczew**

*²Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa,
ul. Gabriela Narutowicza 11/12, 80-229 Gdańsk*

**Adres korespondencyjny: e-mail: michal.formela@pg.edu.pl*

Słowa kluczowe: tłumik drgań, charakterystyka cierna, stanowisko badawcze, pomiar tarcia

Przeprowadzono badania mające na celu ocenę wpływu tarcia ślizgowego generowanego przez układ pomiarowy na dokładność rejestrowanej charakterystyki ciernego tłumika drgań skrętnych zintegrowanego z tarczą sprzęgła głównego układu napędowego pojazdu ciężarowego. W badaniach wykorzystano specjalnie zaprojektowaną tarczę pomiarową, która odwzorowywała sztywność oraz zakres przemieszczenia kątownego rzeczywistego tłumika, nie wprowadzając jednocześnie dodatkowego tarcia do układu. Pomiary wykonano pod obciążeniem, w warunkach odtwarzających procedury testowe stosowane przy pomiarze charakterystyk tłumików. Umożliwiło to wydzielenie momentu tarcia generowanego wyłącznie przez stanowisko badawcze. Dodatkowo stwierdzono, że późniejsza korekcja danych pomiarowych, oparta na eliminacji wpływu sztywności skrętnej stanowiska, może powodować dodatkowy błąd w odczycie histerezy momentu tarcia tłumika. Na podstawie przeprowadzonej analizy sformułowano zalecenia dotyczące interpretacji danych oraz modyfikacji konstrukcyjnych stanowisk pomiarowych stosowanych w pomiarach tarcia elementów układów napędowych. Prace badawcze przeprowadzono w ramach projektu realizowanego w Szkole Doktorskiej Wdrożeniowej, we współpracy z Eaton Truck Components sp. z o.o.



POLSKIE TOWARZYSTWO TRIBOLOGICZNE
członek International Tribology Council

**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**BADANIA ZUŻYCIOWE OGNIW ŁAŃCUCHOWYCH W WIELOCZYNNIKOWYM
ŚRODOWISKU DEGRADACYJNYM – METODYKA I STANOWISKO BADAWCZE**

Mateusz Wójcicki ^{1*}, Andrzej Norbert Wieczorek ²

**¹ Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Zakład Maszyn i Urządzeń, ul.
Pszczynska 37, 44-101 Gliwice**

*² Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki
Przemysłowej, Akademicka 2A, 44-100 Gliwice*

**Adres korespondencyjny: e-mail: mwojcicki@komag.eu andrzej.n.wieczorek@polsl.pl*

Słowa kluczowe: synergia, łańcuch ogniowy, zużycie, poprawa trwałości

Streszczenie W referacie przedstawiono metodykę badań zużycia ogniw łańcuchowych pracujących w złożonym, wieloczynnikowym środowisku degradacyjnym, uwzględniającym m.in. działanie czynników abrazyjnych, chemicznych oraz dynamicznych. Opisano zaprojektowane i zbudowane stanowisko badawcze umożliwiające symulację rzeczywistych warunków eksploatacyjnych, z możliwością kontrolowanego doboru parametrów obciążenia nominalnego i dynamicznego, ścierniwa mineralnego oraz obecności czynników korozyjnych. Przedstawiono również założenia metodyczne prowadzenia badań, procedury pomiarowe oraz metody oceny zużycia. Wyniki uzyskane w trakcie wstępnych testów potwierdzają przydatność zaproponowanej metodyki i stanowiska badawczego do analizy szybkości zużywania się przegubów łańcuchów przenośnikowych w trudnych warunkach eksploatacyjnych. Opracowane podejście może być wykorzystane zarówno w badaniach naukowych, jak i w procesie projektowania bardziej odpornych systemów napędowych.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WŁAŚCIWOŚCI POWŁOK Z AZOTKU CHROMU W SYSTEMACH
TRIBOLOGICZNYCH SMAROWANYCH SZTUCZNĄ KRWIĄ**

Krystyna Radoń-Kobus ^{1*}, Monika Madej ¹

**¹ Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn,
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce**

**Adres korespondencyjny: e-mail: kradonkobus@tu.kielce.pl*

Słowa kluczowe: powłoki diamentopodobne, powłoki CrN, sztuczna krew, tribologia

Streszczenie: W niniejszej pracy zbadano właściwości tribologiczne oraz mechaniczne powłok z azotku chromu (CrN oraz CrN/DLC) nakładanych na stal 316L w środowisku sztucznej krwi. Za pomocą platformy Step6 wyposażonej w mikrotwardościomierz zbadano twardość materiałów metodą instrumentalnej indentacji. Tensjometr optyczny posłużył do określenia zwilżalności materiałów. Testy tarciovo-żużyciowe przeprowadzono przy użyciu tribometru TRB³. Odbyły się one w ruchu obrotowym w skojarzeniu kula-tarcza. Kule o średnicy 6mm zostały wykonane ze stali nierdzewnej 420-C. Testy wykonano w warunkach tarcia technicznie suchego oraz ze smarowaniem sztuczną krwią o pH=7,4 (środowisko neutralne) oraz o pH=7,1 (środowisko zakwaszone) w temperaturze 39°C przy obciążeniu 1 N. Za pomocą mikroskopu interferometryczno-konfokalnego zbadano zużycie par trących przy powiększeniu x20. Zastosowanie powłoki DLC wpłynęło na obniżenie wartości współczynnika tarcia odpowiednio o 83% dla tarcia technicznie suchego, o 62% dla tarcia ze smarowaniem neutralną sztuczną krwią, a o 69% dla tarcia ze smarowaniem kwaśną sztuczną krwią. Pomimo zwiększenia współczynnika tarcia powłoki CrN, jej zastosowanie przyczyniło się także do ograniczenia zużycia materiałów.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WPLYW PARAMETRÓW OSADZANIA NA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE
POWŁOK DLC**

Szymon Drabik ^{1*}, Monika Madej ²

**¹ Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Mechatroniki i Budowy
Maszyn, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce**

*² Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn,
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce*

**Adres korespondencyjny: e-mail: sdrabik@tu.kielce.pl*

Słowa kluczowe: DLC, PACVD, tarcie, zużycie, X38CrMo16

Streszczenie

W artykule przedstawione zostały wyniki badań właściwości tribologicznych powłok diamentopodobnych, DLC (Diamond-Like Carbon) uzyskanych w procesach PACVD (chemicznego osadzania z fazy gazowej wspomaganego plazmą). Docelowo powłoki te mają być stosowane na formy wtryskowe do termoplastów w celu zwiększenia czasu ich eksploatacji. Powłoki osadzano na próbkach ze stali X38CrMo16 o grubości 5 mm i średnicy 40 mm. Celem badań było określenie wpływu parametrów osadzania powłok na ich właściwości tribologiczne. Zmienianymi parametrami były: czas osadzania w zakresie od 1 h do 4 h oraz moc od 50 W do 150 W. Badania tarciovo-zużyciowe wykonano w skojarzeniu kula-tarcza w ruchu posuwisto-zwrotnym, przy obciążeniach 3 N, 5 N oraz 10 N. Ślady zużycia obserwowano na mikroskopie konfokalnym przy powiększeniu 20 - krotnym. Wyniki badań tribologicznych wskazały, że w każdej z zastosowanych powłok uzyskano mniejszy współczynnik tarcia w porównaniu do próbki bez pokrycia. Najlepsze parametry tribologiczne uzyskano dla powłoki nakładanej przez 4 h przy mocy 100 W. W tym przypadku współczynnik tarcia był o 50% mniejszy, a wskaźniki zużyciowe, a mianowicie maksymalna głębokość wytarcia o 80% mniejsza w porównaniu do próbki referencyjnej.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**OCENA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNYCH NOWATORSKICH
SAMOSMAROWNYCH MATERIAŁÓW HYBRYDOWYCH NA PRZYKŁADZIE
KOMBINACJI Ti6Al7Nb–PE**

Martyna Kielb ^{1*}, Piotr Kowalewski ¹, Anita Ptak ¹

**¹Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny,
ul. I. Łukasiewicza 5, 50-371 Wrocław**

**Adres korespondencyjny: e-mail: martyna.kielb@pwr.edu.pl*

Słowa kluczowe: materiały hybrydowe, polimery, polietylen, stop Ti6Al7Nb, współczynnik tarcia, zużywanie

W wielu zastosowaniach technicznych, zwłaszcza tam, gdzie smarowanie jest utrudnione lub niemożliwe, istnieje potrzeba stosowania materiałów ślizgowych, które łączą niskie opory tarcia z odpowiednią wytrzymałością mechaniczną. Tradycyjne rozwiązania często nie spełniają tych wymagań w sposób kompleksowy, dlatego coraz większe znaczenie zyskują materiały hybrydowe o budowie funkcjonalnej. Prezentowane badania odpowiadają na te wyzwania, koncentrując się na nowatorskim materiale, który znajduje potencjalne zastosowanie w wielu branżach, w których elementy mechaniczne pracują we wzajemnym kontakcie i narażone są na intensywne zużycie. Dotyczy to m.in. przemysłu motoryzacyjnego, lotniczego, kosmicznego, maszynowego czy robotyki, gdzie kluczowe znaczenie ma trwałość komponentów oraz skuteczne ograniczenie tarcia bez konieczności stosowania klasycznych środków smarujących.

W pracy przedstawiono wyniki badań tribologicznych zaprojektowanego materiału hybrydowego, wpasowującego się w wyżej wspomniane kryteria. Swoją budowę opiera on na strukturze nośnej (matrycy), wykonanej z komponentu odpornego na promieniowanie, wypełnionej drugim komponentem, zapewniającym korzystne parametry ślizgowe. W badaniu wykorzystano kombinację stopu tytanu Ti6Al7Nb w postaci skafoldu i polietylenu.

Idea zakłada, że matryca przesycona materiałem polimerowym o dobrych właściwościach ślizgowych będzie miała zdolność do aktywnego tworzenia warstwy smarnej w miejscu kontaktu ciernego, co pozwoli ograniczyć zużycie w warunkach pracy bez smarowania. Rolą materiału polimerowego byłoby zatem zastąpienie środka smarnego w miejscach, gdzie jego dostarczenie tradycyjnymi metodami jest utrudnione bądź niemożliwe. Podczas współpracy cierniej na powierzchnię tarcia przenoszona jest część polimeru z przestrzeni skafoldu. Wytworzony w ten sposób film polimerowy redukuje tarcie i zużycie, a tworzywo pełni rolę stopniowo uwalnianego środka smarnego.

Praca opisuje wyniki badań współczynnika tarcia, wyznaczone podczas współpracy materiału hybrydowego ze stopem aluminium 7075-T6 w skojarzeniu pin-on-disc w warunkach tarcia technicznie suchego. Ocenie poddano także intensywność zużycia oraz mikrotwardość hybrydy. Wyniki porównano z próbkami referencyjnymi materiału matrycy i wypełnienia.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**POTENCJAŁ TRIBOLOGICZNY I REOLOGICZNY EKOLOGICZNYCH
SMARÓW SFORMUŁOWANYCH NA BAZIE OLEJU RZEPAKOWEGO I
NANORUREK WĘGLOWYCH**

**Magdalena Skrzypek^{1*}, Łukasz Wojciechowski¹, Jacek Różański²,
Sławomir Boncel², Rafał Jędrysiak², Adam Marek², Szymon Ruczka², Jarosław Kałużny¹**

¹Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu,
ul. Piotrowo 3, 61-139 Poznań,

²Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej,
ul. Berdychowo 4, 60-965 Poznań,

³Politechnika Śląska, Wydział Chemiczny/Centrum Elektroniki Organicznej i
Nanohybrydowej (CONE), ul. Krzywoustego 4, 44-100 Gliwice

*Adres korespondencyjny: e-mail: magdalena.skrzypek@doctorate.put.poznan.pl

Słowa kluczowe: olej rzepakowy, nanorurki węglowe, smary hybrydowe, zużycie

Streszczenie

Współczesna technika (w tym tribologia) poszukuje alternatywnych rozwiązań dla środków smarowych opartych na produktach rafinacji ropy naftowej lub syntezy organicznej. W artykule zaproponowano taką alternatywę w postaci formułacji prostych smarów hybrydowych z olejem rzepakowym jako fazą ciekłą oraz nanorurkami węglowymi (CNT) jako triboaktywnym zagęszczaczem. Właściwości przeciwzużyciowe oraz przeciwzatarciowe określano na podstawie zmodernizowanego, czterokulowego testu C wg ISO 20623, a wyznaczone wartości MWSD (średnia średnica skaz) oraz LNSL (największe obciążenie niezacierające) wskazały na pozytywny wpływ dodatku CNT. Było to szczególnie widoczne dla stężeń 0,5 i 1% (wag.) w zakresie średnich obciążeń (800-1200 N) dla których redukcja MWSD wyniosła nawet 50% w stosunku do referencji (komercyjny, łożyskowy smar litowy). Nie wykazano natomiast pozytywnego wpływu dodatku CNT na właściwości przeciwzatarciowe (dodatek 2 % wag. wpłynął nawet na obniżenie parametru LNSL). Ślady zużycia poddano badaniom SEM i EDS w celu identyfikacji mechanizmów zużywania oraz zachowania CNT w warunkach tarcia. W części reologicznej przeanalizowano zmiany dynamiczne opracowanych smarów w funkcji częstości ścinania, wyznaczając lepkość zespoloną η^* , moduł zachowawczy G' oraz moduł stratny G'' . Analiza tych parametrów umożliwiła ocenę właściwości sprężystych i lepko-plastycznych badanych układów.

Wyniki części reologicznej potwierdziły potencjał formułacyjny układów typu olej rzepakowy/CNT oraz wskazały na istotny wpływ komponentów lepkości zespolonej na funkcję ochroną (przeciwzużyciową) proponowanych smarów.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**DOBÓR PRZEŁOŻEŃ ZE WZGLĘDU NA TRWAŁOŚĆ PRZEKŁADNI ŚLIMAKOWEJ W
SYSTEMIE WSPOMAGANIA UKŁADU KIEROWNICZEGO O DWÓCH ZĘBNIKACH
PRACUJĄCYCH NA WSPÓLNEJ LISTWIE ZĘBATEJ**

Jakub Franiasz* ^{1,2}, Jarosław Bujak ^{1,2}, Tomasz Machniewicz ², Marcin Szczęch ²

1 Nexteer Automotive Poland Sp. z o.o., ul. Towarowa 6, 43-100 Tychy

**2 Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Inżynierii
Mechanicznej i Robotyki, ul. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków**

**Adres korespondencyjny: e-mail: jakub.franiasz@nexteer.com*

Słowa kluczowe: EPS, układ kierowniczy, ślimacznicza, tarcie

Streszczenie: Dynamiczny rozwój rynku motoryzacyjnego pociąga za sobą konieczność wdrażania innowacyjnych rozwiązań technologicznych. Systemy wspomagania układów kierowniczych są dziś standardowym wyposażeniem pojazdu, a ich trwałość zwykle przewyższa zdefiniowany okres użytkowania samego pojazdu. W tym referacie przytoczony jest innowacyjny system wspomagania układu kierowniczego o dwóch zębnikach pracujących na wspólnej listwie zębatej (rozwiązanie chronione patentem międzynarodowym). Poruszono problematykę ustalenia przełożeń pomiędzy poszczególnymi węzłami łańcucha kinematycznego układu kierowniczego, w szczególności zwracając uwagę na ślimacznice przenoszącą moment wspomagający z silnika na kolejne elementy systemu. Ślimacznicza wykonana z poliamidu zapewnia bardzo dobre właściwości pracy ze względu na hałas, drgania oraz komfort kierowania pojazdem, natomiast wrażliwość tegoż materiału na redukcję własności mechanicznych wynikająca z pracy w podwyższonej temperaturze stanowi istotny problem podczas procesu projektowania całego systemu wspomagania. W referacie ukazany jest wpływ doboru przełożenia na przyrost ciepła wynikający z tarcia pary kinematycznej ślimak – ślimacznicza w odniesieniu do parametrów obciążenia oraz prędkości obrotowej.



POLSKIE TOWARZYSTWO TRIBOLOGICZNE
członek International Tribology Council

XLIII Ogólnopolska Konferencja

Jesienna Szkoła Tribologiczna

9-12 września 2025

Poznań-Dolsk

MATERIAŁY I TECHNOLOGIE



POLSKIE TOWARZYSTWO TRIBOLOGICZNE
członek International Tribology Council

**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**ANALIZA WŁAŚCIWOŚCI MIKROMECHANICZNYCH I TRIBOLOGICZNYCH
UTWARDZONEGO STOPU CYRKON-NIOB**

Sławomir Zimowski ^{1*}, Tomasz Moskalewicz ^{1,2}, Wojciech Pawlak ³

¹Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie,
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, ¹Wydział Inżynierii Mechanicznej
i Robotyki, ²Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej
³Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, ul. Żeromskiego 116,
90-924 Łódź

**Adres korespondencyjny: e-mail: zimowski@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: stop cyrkon-niob, utlenianie w plazmie, odporność na zużycie

Streszczenie W pracy skoncentrowano się na analizie wpływu parametrów obróbki stopu cyrkon-niob (Zr-2,5Nb), poddanego procesowi utleniania w plazmie wyładowania jarzeniowego w trzech temperaturach: 480°C, 580°C oraz 680°C, na właściwości mechaniczne, takie jak twardość, moduł sprężystości, odporność na zarysowanie oraz intensywność zużycia przez tarcie utwardzonego stopu. Twardość i moduł sprężystości utwardzonej warstwy wierzchniej stopu Zr-2,5Nb wyznaczono w testach indentacyjnych, adhezję warstwy określono metodą zarysowania przy użyciu diamentowego wgłębnika Rockwella, natomiast właściwości tribologiczne zbadano podczas tarcia w ślizgowym styku niesmarowanym z twardą kulą Al₂O₃. Wyniki badań wykazały, że temperatura procesu utleniania w plazmie wyładowania jarzeniowego ma istotny wpływ na właściwości stopu Zr-2,5Nb. Wzrost temperatury obróbki prowadzi do zwiększenia twardości i odporności na uszkodzenia mechaniczne obrobionego stopu. W przypadku najwyższej temperatury procesu (680°C) zaobserwowano znaczącą poprawę właściwości tribologicznych utwardzonego stopu Zr-2,5Nb, w tym zmniejszenie intensywności zużycia ściernego, a zwłaszcza adhezyjnego w warunkach tarcia. Wyniki badań wskazują, że proces utleniania w plazmie wyładowania jarzeniowego jest skuteczną metodą poprawy właściwości eksploatacyjnych stopów cyrkonu. Utwardzona warstwa wierzchnia stopu Zr-2,5Nb charakteryzuje się dużą odpornością na zużycie, co predysponuje do zastosowań w przemyśle jądrowym, biotribologii oraz innych dziedzinach wymagających odporności na ścieranie i korozję w trudnych warunkach pracy.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WPLYW NACISKU JEDNOSTKOWEGO NA WSPÓLCZYNNIK TARCIA
WYBRANYCH ELASTOMERÓW STOSOWANYCH W TECHNOLOGII DRUKU 3D**

Wojciech Wieleba ^{1*}, Mariusz Opalka ¹

**¹Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, 50-370 Wrocław,
Wybrzeże Wyspiańskiego 27**

**Adres korespondencyjny: e-mail: wojciech.wieleba@pwr.edu.pl*

Słowa kluczowe: współczynnik tarcia, elastomery, druk 3D, tarcie mieszane

Streszczenie Technologia druku 3D jest obecnie szeroko wykorzystywana w produkcji prototypów maszyn i urządzeń, a także do napraw maszyn wykonywanych w warunkach polowych. W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu nacisku jednostkowego na współczynnik tarcia dla dwóch elastomerów o różnej twardości, które współpracowały ślizgowo z elementem stalowym (ANSI 316L) w ruchu posuwisto-zwrotnym. Tego typu ruch odzwierciedla warunki w jakich pracują uszczelnienia w układach hydraulicznych np. siłownikach. Do badań wybrano termoplastyczny elastomer poliuretanowy TPU (50ShA) i termoplastyczny poliestrowy elastomer TPEE (40ShD). Próbkę została wykonana technologią FDM, przy wypełnieniu materiałem polimerowym 100%. Badania prowadzono przy różnym nacisku jednostkowym w warunkach tarcia mieszanego tj. w obecności oleju hydraulicznego (Orlen Oil Hydrol L-HM/HLP 68) lub wody. Stwierdzono, że współczynnik tarcia, zarówno statyczny jak i kinetyczny, rośnie wraz z zwiększaniem nacisku jednostkowego, a następnie nieznacznie maleje. W przypadku tarcia statycznego większe wartości współczynnika tarcia zaobserwowano dla TPU ($\mu_{stat}=0,16-0,26$, olej), natomiast najmniejsze dla TPEE ($\mu_{stat}=0,12-0,13$, olej). W przypadku tarcia kinetycznego większe wartości współczynnika tarcia zaobserwowano dla TPU ($\mu_{kinet}=0,1-0,19$, woda), natomiast najmniejsze dla TPEE ($\mu_{stat}=0,09-0,10$, olej). Analizując wyniki badań można stwierdzić, że mniejsze opory tarcia zarówno w obecności wody jak i oleju wykazywał TPEE. Może to wynikać m.in. z jego większej twardości (96 ShA) w porównaniu z TPU (50 ShA), co przyczynia się do mniejszej odkształcalności w obszarze styku współpracujących elementów.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WPLYW SPOSOBU DRUKU ELEMENTÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH PLA
NA ZUŻYCIE TRIBOLOGICZNE I WYBRANE WSKAŹNIKI
WYTRZYMAŁOŚCI MATERIAŁÓW**

Albert Lewandowski ^{1*}

**¹Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Nauk Inżynieryjno-Technicznych,
ul. Licealna 9, 65-417 Zielona Góra**

**Adres korespondencyjny: e-mail: a.lewandowski@iim.uz.zgora.pl*

Słowa kluczowe: druk 3D, tworzywa sztuczne PLA, zużycie tribologiczne, stereometria powierzchni, wytrzymałość materiałów.

Streszczenie

Celem publikacji jest przedstawienie wyników badań nad wpływem pozycji druku 3D elementów z tworzywa PLA na ich zużycie tribologiczne, oraz wybrane wskaźniki wytrzymałości materiału, takie jak wytrzymałość na rozciąganie. W pierwszej części artykułu zostały przedstawione podstawowe wiadomości na temat druku elementów z tworzyw sztucznych PLA. W drugiej części publikacji zaprezentowano wyniki badań właściwości polilaktydu (PLA), wykorzystując próbki od pięciu producentów: FiloAlfa, Elegoo, DevilDesign, Das Filament oraz Polyterra. FiloAlfa to producent z Włoch, DevilDesign pochodzi z Polski, Das Filament z Niemiec, natomiast Elegoo i Polyterra — z Chin. Wszystkie próbki zostały wykonane ze standardowego PLA, z wyjątkiem próbek Elegoo, które wytworzono z wzmocnionego materiału RAPID PLA+. Tworzywo to cechuje się lepszymi właściwościami fizyczno-mechanicznymi w porównaniu do zwykłego PLA. Badania zostały przeprowadzone w dwóch etapach. W pierwszym etapie zbadano wskaźniki wytrzymałości materiałów na rozciąganie. W drugim etapie przeprowadzono badania tribologiczne z wykorzystaniem testera T-05. Węzeł tarcia utworzono z próbek wykonanych metodą druku 3D w różnych pozycjach oraz przeciwpróbek ze stali C45. Próbki poddano procesowi tarcia w obecności oleju bazowego SN-150. Dodatkowo przeprowadzono analizę stereometrii powierzchni w obszarze śladu zużycia próbek wykonanych z tworzywa PLA po zakończeniu badań tribologicznych. Wyniki potwierdziły wpływ orientacji próbek podczas druku 3D na ich zużycie tribologiczne oraz na zmiany parametrów stereometrii powierzchni.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WPLYW ZUŻYCIA OSTRZA SKRAWAJĄCEGO NA WYBRANE WSKAŹNIKI
STANU WARSTWY WIERZCHNIEJ**

Mariusz Jenek ¹

*¹Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Inżynierii
Mechanicznej, ul. Prof. Z. Szafrana 4, 65-516 Zielona Góra*

**Adres korespondencyjny: m.jenek@iim.uz.zgora.pl*

Słowa kluczowe: zużycie ostrza, warstwa wierzchnia, stale proszkowe, PCBN

W artykule przedstawiono wyniki badań zużycia ostrza z regularnego azotku boru (PCBN) przy toczeniu stali konwencjonalnych oraz proszkowych o różnym składzie chemicznym w stanie umocnionym. Podczas badań skrawania rejestrowano siły skrawania oraz określano wskaźniki geometryczne zużycia ostrza. Po procesie skrawania dokonano oceny stanu stereometrycznego oraz umocnienia warstwy wierzchniej obrobionych próbek. Przeprowadzono również analizę powierzchni na mikroskopie skaningowym oraz profilografometrze optycznym. Otrzymane wyniki wykazały odmienne zużycie ostrzy dla poszczególnych materiałów obrabianych a także zróżnicowanie właściwości warstwy wierzchniej obrobionych elementów. Uzyskane wyniki pozwoliły na ocenę wpływu zużycia ostrza na wybrane wskaźniki warstwy wierzchniej obrobionych elementów oraz ustalenie jego trwałości ze względu na wymagany stan warstwy wierzchniej.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

ODPORNOŚĆ NA ZUŻYCIE MATERIAŁÓW CERMETALICZNYCH NA BAZIE TYTANU Z DODATKIEM hBN

Maciej Łuszcz^{1*}, Remigiusz Michalczewski¹, Andrzej Snarski-Adamski^{1,2}

**¹Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Eksploatacji, ul. K.
Pułaskiego 6/10, Radom 26-600**

*² Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Inżynierii Produkcji, ul. Akademicka 13, 20-
950 Lublin*

**Adres korespondencyjny: e-mail: maciej.luszcz@itee.lukasiewicz.gov.pl*

Słowa kluczowe: kompozyty tytanowe, spiekanie SPS, twardość, cermet

Streszczenie: Kompozyty tytan – dwuborek tytanu spiekane metodą iskrowo – plazmową charakteryzują się doskonałymi właściwościami tribologicznymi w ruchu ślizgowym, jednak w ruchu oscylacyjnym wykazują dużą podatność na zużycie zmęczeniowe i wykruszenia. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań odporności na zużycie materiałów kompozytowych Ti/TiB₂ z różną zawartością dodatku heksagonalnego azotku boru. Badania tribologiczne wykonano z wykorzystaniem stanowiska SRV. Na podstawie obserwacji mikroskopowych opisano mechanizm zużywania materiału kompozytowego pracującego w parze ciernej z przeciwpróbką z azotku krzemu. Wzrost zawartości hBN w kompozycie powodował spadek twardości próbki. Sprawdzone wpływ temperatury spiekania na kompozyt zawierający 5 i 15% wagowych hBN pod kątem twardości oraz zużycia ściernego w ruchu oscylacyjnym. Przeprowadzone badania pozwoliły na wykonanie analizy porównawczej zużycia oraz powiązania z nim zjawisk tribologicznych zachodzących w parze ciernej w trakcie pracy w warunkach ruchu oscylacyjnego.



POLSKIE TOWARZYSTWO TRIBOLOGICZNE
członek International Tribology Council

**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

TRIBOLOGICAL BEHAVIOR OF Fe₈₆B₁₄ METALIC GLASS RIBBONS

Wojciech Łoński^{1*}, Tymon Warski², Łukasz Hawelek²,

Maciej Łuszcz¹, Remigiusz Michalczewski¹

**¹Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Eksploatacji, ul. K.
Pułaskiego 6/10, Radom 26-600**

**² Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych ul. Sowińskiego
544-100 Gliwice**

**Adres korespondencyjny: e-mail: Wojciech.losnki@itee.lukasiewicz.gov.pl*

Słowa kluczowe: Szkło metaliczne, anizotropia, współczynnik tarcia

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki prac nad zachowaniem tribologicznym cienkich, metalowych taśm amorficznych. Taśmy o składzie stopowym Fe₈₆B₁₄ wytworzone zostały techniką szybkiego chłodzenia ze stanu ciekłego poprzez odlewanie na wirujący miedziany bęben. Proces taki pozwala na błyskawiczne zestalenie stopu i blokuje zajście procesów krystalizacji. Badania tribologiczne wykonano z wykorzystaniem Nanotribometru NTR2 firmy CSM Instruments w warunkach osuszanego powietrza, metodą kula - tarcza w ruchu oscylacyjnym. Do analizy śladu wytarcia zastosowano interferometrię światła zielonego. Uzyskany materiał przejawia anizotropowe zachowanie tribologiczne. Dotyczy to różnic pomiędzy stroną taśmy stykającą i niestykającą się z miedzianym bębniem w procesie wytwarzania, jak i pomiędzy kierunkami równoległym i prostopadłym do kierunku odlewania taśmy. Otrzymane rezultaty sugerują możliwość zastosowania amorficznych materiałów metalowych w miejscach o wymaganej wysokiej odporności tribologicznej.



POLSKIE TOWARZYSTWO TRIBOLOGICZNE
członek International Tribology Council

XLIII Ogólnopolska Konferencja

Jesienna Szkoła Tribologiczna

9-12 września 2025

Poznań-Dolsk

MOTORYZACJA



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**STRUKTURA KONSTRUKCYJNA PRZEKŁADNI ZĘBATYCH POWER SHIFT I
JEJ OCENA W ASPEKCIE PRZENOSZONYCH OBCIĄŻEŃ**

Jan Zwolak ^{1*}, Marek Martyna ²

¹Uniwersytet Rzeszowski

² *Liugong Dressta Machinery, Stalowa Wola*

*Adres korespondencyjny: e-mail: jzwolak@ur.edu.pl

Słowa kluczowe: przekładnia power shift, sprzęgła mokre, koła zębate

Streszczenie

W pracy przedstawiono numeryczną analizę wytrzymałościową kół zębatach występujących w dwóch przekładniach nr 1 i nr 2, o jednakowej liczbie przełożeń (każda przekładnia ma sześć stopni przełożeń). Rozpatrywano naprężenia kontaktowe boku zęba oraz naprężenia zginające u podstawy zęba. Przekładnia nr 1 zbudowana jest z dwunastu kół zębatach, z dwóch sprzęgieł kierunkowych S_F i S_R , trzech sprzęgieł biegowych S_1 , S_2 , S_3 oraz z pięciu wałów. Sprzęgła kierunkowe S_F i S_R zintegrowane są odpowiednio z kołami zębatymi z_1 i z_2 . Natomiast sprzęgła biegowe S_1 , S_2 , S_3 z kołami zębatymi z_6 , z_9/z_{10} , z_8 .

Przekładnia nr 2 składa się z dziewięciu kół zębatach, z dwóch sprzęgieł kierunkowych S_F i S_R , trzech sprzęgieł biegowych S_1 , S_2 , S_3 oraz z czterech wałów. Integracja sprzęgieł S_F i S_R występuje odpowiednio z kołami zębatymi z_1 i z_2 . Sprzęgła biegowe S_1 , S_2 , S_3 są zespolone z kołami zębatymi z_9 , z_7 , z_8 . Sprzęgła kierunkowe, jak i sprzęgła biegowe w obydwu przekładniach są sprzęgłami mokrymi wielotarczowymi pracującymi w środowisku olejowym.

W numerycznej analizie wytrzymałościowej kół zębatach występujących w rozpatrywanych przekładniach wyznaczano naprężenia kontaktowe boku zęba oraz naprężenia zginające u podstawy zęba, stosując optymalizację ze względu na przyjęte kryteria, których w autorskim programie komputerowym aktualnie jest dziesięć. Do wzorów na naprężenia kontaktowe i na naprężenia zginające wprowadzono odpowiednio wartości liczbowe $\sigma_{H \lim}$ i $\sigma_{F \lim}$, które zostały wyznaczone doświadczalnie na stanowisku badawczym w układzie mocy krążącej. Otrzymane wyniki odniesiono do poszczególnych kół zębatach występujących w rozpatrywanych przekładniach oraz do właściwości warstwy wierzchniej czynnych powierzchni ewolwentowych uzyskanych przy stosowaniu dwóch metod obróbki wykończeniowej (szlifowanie, wiórkowanie) kół zębatach.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**KATASTROFALNE ZUŻYCIE TARCZ HAMULCOWYCH SAMOCHODU
OSOBOWEGO - STUDIUM PRZYPADKU**

**Janusz Krawczyk*, Przemysław Krawczyk, Łukasz Frocisz,
Piotr Matusiewicz, Rafał Dziurka**

**¹AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki
Przemysłowej, Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków**

**Adres korespondencyjny: e-mail: jkrawcz@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: zużycie, korozja, żeliwo, tarcza hamulcowa

Najnowsza norma Euro 7 w Unii Europejskiej ogranicza również emisję pyłów powstających przy ścieraniu się opon i tarcz hamulcowych. Praca dotyczy analizy materiałów używanych na tarcze hamulcowe oraz mechanizmy ich zużycia. Dokonano studium przypadku odnoszącego się do wyłączenia tarcz hamulcowych z dalszego użytku w wyniku ich zużycia zagrażającego bezpieczeństwu eksploatacji samochodu osobowego.

Badane tarcze zostały wykonane z dobrej jakości żeliwa szarego z grafitem płatkowym i osnową perlityczną. Natomiast klocki hamulcowe wykonano z ceramiki cyrkonowej.

W warstwie wierzchniej badanych tarcz hamulcowych wykryto produkty utleniania Fe, zanieczyszczenia pochodzące z materiału klocków hamulcowych i sól drogową, co pozwala wysnuć wniosek, że główną przyczyną zużycia była korozja selektywna (grafitowa), która w panujących warunkach klimatycznych w Polsce przerodziła się w intensywną korozję tarcz hamulcowych. Tarcze hamulcowe na tylnej osi w mniejszym stopniu odpowiadają za hamowanie. Powoduje to mniejsze zużycie ściernych produktów utleniania, które przekraczając wartość krytyczną ulegają wykruszaniu w postaci dużych płatów (rys. 1).



Rys. 1. Przedmiot badań – zużyta tarcza hamulcowa

Wsparcie finansowe w ramach subwencji 2025 AGH w Krakowie wniosek nr 14760



POLSKIE TOWARZYSTWO TRIBOLOGICZNE
członek International Tribology Council

**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**BADANIE INTENSYWNOŚĆ GENERACJI CZĄSTEK DO ATMOSFERY
Z RÓŻNYCH TYPÓW OPON SAMOCHODOWYCH**

Wojciech Tarasiuk ^{1*}, Rafał Dąbrowski ¹, Mariusz Liszewski ²

¹Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny, ul. Wiejska 45A

²ML-Tech M. Liszewski Sp.k., Grądy-Woniecko 79/312, 18-312 Rutki-Kossaki

**Adres korespondencyjny: e-mail: w.tarasiuk@pb.edu.pl*

Słowa kluczowe: nano-cząstki, mikro-cząstki, opony, zużycie, badania

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych dotyczących intensywności generacji cząstek zużycia do atmosfery z różnych typów opon samochodowych (opony letnie i zimowe; opony o różnych nośnościach). Do badań przyjęto obciążenie dla typowego pojazdu samochodowego o masie 1200 kg. Próbkę stanowiły wycięte fragmenty opon, które zostały wklejone w specjalny uchwyt umożliwiający zamontowanie jej na tribometrze. Przeciw-próbkę stanowił dysk stalowy. Badanie przeprowadzono na stanowisku typu pin-on-disc (RTC-5000) wyposażonym w komorę umożliwiającą odseparowanie badanej pary cieiernej od zewnętrznych czynników, do której dostarczane było oczyszczone powietrze. Na wylocie z komory umieszczono spektrometry (optyczny i elektronowy), które umożliwiły pomiar cząstek zużycia w zakresie od 0,01 do 10 μm .

Badanie pokazało różnice w intensywności generacji cząstek zużycia do atmosfery z opon o różnym przeznaczeniu (letnia-zimowa; różne nośności).



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WPLYW SIŁY HAMOWANIA NA INTENSYWNOŚĆ GENERACJI CZĄSTEK DO
ATMOSFERY Z SAMOCHODOWYCH KLOCKÓW HAMULCOWYCH**

Wojciech Tarasiuk ^{1*}, Michał Kalinowski ¹, Mariusz Liszewski ²

¹Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny, ul. Wiejska 45A

²ML-Tech M. Liszewski Sp.k., Grądy-Woniecko 79/312, 18-312 Rutki-Kossaki

**Adres korespondencyjny: e-mail: w.tarasiuk@pb.edu.pl*

Słowa kluczowe: hamowanie, samochodowe klocki hamulcowe, cząstki zużycia

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych dotyczących wpływu siły hamowania na intensywność generacji cząstek zużycia z klocków hamulcowych. Do badań przyjęto warunki zbliżone do panujących podczas eksploatacji typowych pojazdów samochodowych w warunkach jazdy miejskiej i pozamiejskiej. Przyjęto obciążenie o wartościach: 50, 100 i 150 N. Czas generacji cząstek zużycia odpowiadał intensywnemu hamowaniu z prędkości 50, 70 i 90 km/h. Badanie przeprowadzono na stanowisku typu pin-on-disc (RTC-5000) wyposażonym w komorę umożliwiającą odseparowanie badanej pary ciernej od zewnętrznych czynników, do której dostarczane było oczyszczone powietrze. Na wylocie z komory umieszczono spektrometry (optyczny i elektronowy), które umożliwiły pomiar cząstek zużycia w zakresie od 0,01 do 10 μm .

Uzyskane wyniki posłużyły do wyznaczenia matematycznych zależności umożliwiających prognozowanie intensywności generacji cząstek zużycia w procesie hamowania dla samochodowych materiałów stosowanych na klocki hamulcowe w zależności od obciążenia i prędkości przy jakiej dochodzi do hamowania.



POLSKIE TOWARZYSTWO TRIBOLOGICZNE
członek International Tribology Council

**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WPLYW CHROPOWATOŚCI TARCZY NA EMISJĘ CZĄSTEK ZUŻYCIA Z PARY
CIERNEJ TRZPIEŃ-TARCZA**

Yurii Tsybrii^{1*}, Oleksii Nosko¹

*¹Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa,
ul. Narutowicza 11/12, Gdańsk 80-233, Polska*

** e-mail: yurii.tsybrii@pg.edu.pl*

Słowa kluczowe: chropowatość, tarcza hamulcowa, zużycie, emisja cząstek zużycia

Hamulce są drugim największym źródłem zanieczyszczania środowiska cząstkami stałymi spowodowanym samochodami i pierwszym wśród niespalinowych. Biorąc pod uwagę wzrost na drogach państw europejskich samochodów elektrycznych i wprowadzeniem normy EURO7, która ogranicza zużycie materiałów hamulcowych samochodów na kilometr jazdy, badanie emisji cząstek z hamulców samochodów do środowiska jest aktualnym naukowym kierunkiem. Na te zjawisko mają wpływ parametry hamowania (prędkość poślizgu i ciśnienie w styku ślizgowym), skład pierwiastkowy elementów pary czarnej oraz geometria układu hamowania, czemu było poświęcone wiele badań. Jednak wpływ takiego ważnego parametru jak chropowatość powierzchni tarczy hamulcowej jest zazwyczaj pomijany. W ramach działania naukowego był zbadany wpływ zmiany poziomu chropowatości tarczy hamulcowej na emisję cząstek zużycia do środowiska. Para cierna została zrealizowana w postaci stalowa taca – trzpień z klocku hamulcowego. Testy były wykonane dla czterech różnych poziomów chropowatości i trzech materiałów hamulcowych: niskometalowego, ceramicznego, bezazbestowego organicznego. Analiza wyników ujawniła wzrost koncentracji emitowanych cząstek zużycia o wielkości 10 nm – 10 µm ze zwiększeniem poziomu chropowatości. Przy czym, dla niskometalowego materiału wzrost intensywności emisji cząstek ze zwiększeniem chropowatości tarczy od Ra0.1 do Ra3.2 wynosił 3.7, dla ceramicznego – 1.45, dla bezazbestowego organicznego – 3.45 razy. Praca została wsparta przez Narodowe Centrum Nauki [projekt 2023/51/D/ST8/01635] i Program „Inicjatywa doskonałości – uczelnia badawcza” [projekt 1/1/2022/IDUB/I3b/Ag].



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**ZMNIEJSZENIE EMISJI CZĄSTEK ZUŻYCIA Z HAMULCÓW POJAZDÓW
W KIERUNKU SPEŁNIENIA NORMY EURO 7**

Oleksii Nosko ^{1*}, Yurii Tsybrii ¹

¹ *Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa,
G. Narutowicza 11/12, 80-222 Gdańsk*

** e-mail: oleksii.nosko@pg.edu.pl*

Słowa kluczowe: hamulec pojazdu, cząstki zużycia, ekologiczność transportu, EURO 7

Emisja cząstek zużycia z hamulców pojazdów do atmosfery jest zauważalnym źródłem zanieczyszczenia środowiska. W Polsce w 2019 roku wskaźnik zgonów spowodowanych zanieczyszczeniem powietrza wynosił 95 na 100 000 mieszkańców. Europejska norma EURO 7 z 2035 roku wprowadza ograniczenie 3 mg cząstek zużycia emitowanych z hamulców samochodu na km jego eksploatacji. Rozpatrzono podstawowe charakterystyki cząstek zużycia, w tym: intensywność emisji, rozkład wielkości, kształt, gęstość, porowatość, skład pierwiastkowy, toksyczność, oraz wpływowe warunki tarcia, w tym: temperatura, prędkość poślizgu i ciśnienie kontaktowe. Przedstawiono metodykę liczenia i zbierania cząstek zużycia opartą na wykorzystaniu komory aerodynamicznej. Opisano sprzęt do analizy cząstek o wielkości od 1 nm do 10 μm , w tym: optyczny spektrometr do pomiaru cząstek, spektrometr do pomiaru cząstek względem ich mobilności elektrycznej, impaktor kaskadowy do pomiaru i zbierania cząstek względem ich średnicy aerodynamicznej. Przeanalizowano przeszkody utrudniające dokładną ocenę emisji cząstek zużycia — wydajność pobierania cząstek zużycia przez komorę aerodynamiczną oraz dokładność pomiaru temperatury styku ślizgowego. Zaproponowano innowacyjne rozwiązania w celu pokonania powyższych przeszkód. Wprowadzenie tych rozwiązań do przemysłu motoryzacyjnego ułatwi adaptację producentów hamulców do normy EURO 7 poprzez opracowanie nowych materiałów ciernych przyjaznych dla środowiska i/lub optymalizację istniejących materiałów i układów ciernych. Praca została wsparta przez Narodowe Centrum Nauki [projekt 2023/49/B/ST8/01979].



POLSKIE TOWARZYSTWO TRIBOLOGICZNE
członek International Tribology Council

XLIII Ogólnopolska Konferencja

Jesienna Szkoła Tribologiczna

9-12 września 2025

Poznań-Dolsk

SMAROWANIE



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WYTWARZANIE CIECZY MAGNETYCZNYCH Z UŻCIEM WYBRANYCH
CIECZY NOŚNYCH**

Yuliia Tarasevych ¹, Wojciech Horak ¹, Marcin Szczęch ^{1*}

**¹AGH University of Krakow, Faculty of Mechanical Engineering and
Robotics, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków**

**Adres korespondencyjny: e-mail: szczech@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: Ciecz magnetyczna, ferrociecz, ciecz EFH1, lepkość, olej estrowy, olej silikonowy

Streszczenie

Ciecze magnetyczne to materiały zawierające cząstki magnetyczne zawieszone w cieczy nośnej, których właściwości reologiczne można kontrolować za pomocą zewnętrznego pola magnetycznego. W zależności od rozmiaru cząstek rozróżnia się ferrociecze (FF), zawierające nanocząstki, oraz ciecze magnetoreologiczne (MRF), oparte na cząstkach mikrometrycznych. Znajdują one zastosowanie m.in. w amortyzatorach, sprzęgłach i hamulcach sterowanych, czujnikach, głośnikach, uszczelnieniach, środkach smarnych oraz w medycynie. Skuteczność tych cieczy w dużej mierze zależy od rodzaju cieczy nośnej i stabilności układu.

W niniejszej pracy przedstawiono procedurę otrzymywania cieczy magnetycznych na bazie ferrocieczy cieczy EFH1, z zastosowaniem różnych cieczy nośnych: oleju węglowodorowego L-AN 15, oleju turbinowego TU 32, oleju estrowego POE i silikonowego. Proces otrzymywania cieczy magnetycznych obejmował odpowiednie etapy parowania i mieszania. W przypadku oleju POE i silikonowego zastosowano dodatkowo surfaktant PB-139. Wyniki wykazały, możliwość otrzymania ferrocieczy z wykorzystaniem wskazanych cieczy bazowych, przy czym zaobserwowano również tendencję do tworzenia aglomeratów cząstek, które mogą stanowić nawet do 58% masy. Charakterystykę właściwości otrzymanych ferrocieczy przeprowadzono za pomocą pomiarów reologicznych oraz analizy rozkładu wielkości cząstek z wykorzystaniem techniki DLS.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**OCENA WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNYCH SKOJARZENIA
TOCZNO-ŚLIZGOWEGO Z ZASTOSOWANIEM SZTYFTU SMARNEGO**

Henryk Bąkowski^{1*}, Przemysław Marzec², Wioletta Cebulski³

**^{1,3}Politechnika Śląska, Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej, ul.
Kraśńskiego 8, 40-019, Katowice**

²*Polyform sp. z o.o., Pszczyńska 167c, Wyry 43-175*

**Adres korespondencyjny: e-mail: henryk.bakowski@polsl.pl*

Słowa kluczowe: smar stały, smar sojowy, smar grafitowy, dwusiareczek molibdenu

Streszczenie

W artykule przedstawiono wpływ środków smarnych na właściwości tribologiczne układu koło-szyna, tj. skojarzenia toczno-ślizgowego. W określonych warunkach eksploatacyjnych zaobserwowano pozytywny wpływ smarowania tego węzła tarcia. Takie informacje są niezwykle cenne dla właścicieli taboru, pracowników odpowiedzialnych za eksploatację i utrzymanie torów, ponieważ pomagają w podejmowaniu decyzji o smarowaniu lub jego braku na konkretnych odcinkach torów. Smarowanie pozwala na oszczędności finansowe poprzez wydłużenie trwałości obręczy koła i szyny, a także poprzez dłuższe okresy między reprofilacją zestawów kołowych, co znacznie obniża koszty eksploatacji. W badaniach wykorzystano trzy rodzaje smarów stałych: smar sojowy, dwusiareczek molibdenu i smar grafitowy. W artykule przedstawiono wyniki badań tribologicznych ww. skojarzenia oraz powierzchni tarcia z wykorzystaniem mikroskopii i analizy topografii. Zastosowanie smarów stałych do smarowania obrzeży kół kolejowych pozwala na zmniejszenie kosztów związanych z reprofilacją lub wymianą kół. Badania smarów stałych zostały wykonane zgodnie z wymaganiami określonymi w normie PN-EN 15427-2-1:2022, Załącznik H.



POLSKIE TOWARZYSTWO TRIBOLOGICZNE
członek International Tribology Council

**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WPLYW INKORPORACJI WODY NA WŁAŚCIWOŚCI TERMOREOLOGICZNE
SMARU ZAGĘSZCZANEGO NADZASADOWYM SULFONIANEM WAPNIA**

Ewa Barglik ¹, Maciej Paszkowski ^{2*}, Agnieszka Skibińska ¹

¹ Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Lubicz 25A, 31-503 Kraków

² Politechnika Wrocławska, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Układów
Mechatronicznych, ul. Łukasiewicza 7/9, 50-371 Wrocław

*Adres korespondencyjny: e-mail: maciej.paszkowski@pwr.edu.pl

Słowa kluczowe: smar sulfonianowy, reologia

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu temperatury w zakresie od 20 do 180 °C na wybrane właściwości reologiczne smaru sulfonianowego wytworzonego na bazie mineralnej, zanieczyszczonego wodą o udziale masowym wynoszącym od 1 do 50%. Syntezę smaru plastycznego stanowiącego materiał badawczy przeprowadzono z wykorzystaniem pakietu Lubrizol 86GR (Lubrizol, Wickliffe, USA). Smar plastyczny po dodaniu wody poddawano procesowi homogenizacji. Badania reologiczne wykonano z użyciem reometru rotacyjnego Anton Paar MCR, pracującego w układzie płytko-płytko, przy stałej wysokości szczeliny pomiarowej wynoszącej 1 mm. W trakcie eksperymentu używano płytki piaskowanej celem zredukowania wpływu poślizgu smaru przy ścianie na wyniki pomiarów. Przeprowadzono badania reologiczne w warunkach przepływu ustalonego oraz z wykorzystaniem testów dynamiczno-oscylacyjnych. Wyznaczono krzywe płynięcia przy narastającym gradiencie prędkości ścinania w zakresie od 0,01 do 100 s⁻¹, celem oceny stabilności struktury zagęszczacza podczas przepływu, po inkorporacji wody przez smar sulfonianowy. Ponadto wykonano badania reologiczne przy zmiennej amplitudzie odkształcenia i określono zmiany zakresu liniowej lepkości (LVR) kompozycji smarowych. Dodatkowo zbadano właściwości tiksotropowe smarów z wykorzystaniem testów trójjinterwałowych (3ITT).



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**ZMIANY WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI SMARU SULFONIANOWEGO POD
WPŁYWEM WODY**

Ewa Barglik^{1*}, Agnieszka Skibińska¹, Maciej Paszkowski²

**¹Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy, Wydział, Lubicz
25A, Kraków**

² Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, ul. Łukasiewicza 7/9, 50-371 Wrocław

**Adres korespondencyjny: e-mail: barglik@inig.pl*

Słowa kluczowe: smary sulfonianowe, woda, właściwości fizykochemiczne

Smary sulfonianowe, które charakteryzują się doskonałymi parametrami eksploatacyjnymi - wysoką temperaturą kroplenia, dobrą stabilnością mechaniczną i strukturalną, odpornością na działanie wody, wysoką stabilnością termooksydacyjną oraz dobrymi właściwościami przeciwkorozyjnymi, znajdują szerokie zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu. Smary podczas eksploatacji narażone są na kontakt z wodą: wilgoć w środowisku, chłodziwa na bazie wody, praca w obecności pary wodnej itp.

Woda może wpływać na właściwości smarów podczas eksploatacji. Określenie punktu, w którym smar z wemulgowaną wodą traci swoje właściwości pozwala na określenie warunków krytycznych dla pracy tego rodzaju smarów w ciężkich warunkach eksploatacyjnych.

Przedmiotem badań był handlowy kompleksowy smar wapniowy na bazie nadzasadowego sulfonianu wapnia. Celem pracy było zbadanie jak inkorporacja wody wpływa na właściwości tego smaru. Oceniono zmiany parametrów, takich jak: penetracja po ugniataniu według PN-ISO 2137, klasa konsystencji według NLGI, stabilność mechaniczna według PN-C-04144, oraz stabilność strukturalną jako skłonność do wydzielania oleju ze smaru według PN-V-04047 oraz DIN 51817, odporność na działanie wody metodą dynamiczną PN-ISO 11009 i metodą statyczną, odporność na utlenianie według PN-C-04143 i ASTM D 8206, właściwości przeciwkorozyjne ASTM D 130 a także przeciwrdzewne według PN-ISO 11007.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**BADANIE REOLOGICZNYCH WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYCJI SMAROWYCH
SPORZĄDZONYCH NA BAZIE WOSKU PSZCZELEGO I OLEJU
MINERALNEGO**

Grzegorz Wszelaczyński^{1*}

¹Advanced Automatic Lubrication Systems S. A.

ul. Emilii Plater 25-27, 59-220 Legnica

**Adres korespondencyjny: e-mail: g.w@aals.pl*

Słowa kluczowe: smar plastyczny, воск pszczeli, reologia

Streszczenie

W niniejszym opracowaniu przeanalizowano, w jaki sposób zmiana procentowego udziału wosku pszczelego w smarze plastycznym wpływa na właściwości reologiczne otrzymanego smaru, zarówno w zakresie liniowej, jak i nieliniowej lepkości. Wosk pszczeli zastosowano jako zagęszczacz do sporządzenia kompozycji smarowej (smaru plastycznego). Do badań wykorzystano wosk pszczeli oraz olej mineralny MOBIL DTE Excel 32. W trakcie eksperymentów zastosowano dwa rodzaje testów oscylacyjnych: przemiatanie amplitudy odkształcenia oraz przemiatanie częstotliwości. Pierwszy z testów umożliwia ocenę stabilności mikrostruktury smaru plastycznego, w kontekście odpowiedzi materiału na siły ścinające, przy zmiennej amplitudzie i stałej częstotliwości. Natomiast test przemiatania częstotliwości, prowadzony przy stałym odkształceniu i niskich częstotliwościach, pozwala na ocenę struktury materiału w zakresie liniowej lepkości. Do realizacji pomiarów wykorzystano reometr rotacyjny Physica Anton-Paar MCR 101 w konfiguracji stożek–płytki.



POLSKIE TOWARZYSTWO TRIBOLOGICZNE
członek International Tribology Council

XLIII Ogólnopolska Konferencja

Jesienna Szkoła Tribologiczna

9-12 września 2025

Poznań-Dolsk

ŁOŻYSKOWANIE



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

SPECJALNE ŁOŻYSKA TOCZNE W BUDOWIE MASZYN I URZĄDZEŃ

Michał Styp-Rekowski ^{1*}, Maciej Matuszewski ¹, Marcin Gołąbczak ²

**¹ Politechnika Bydgoska, Wydział Zarządzania,
al. S.Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz**

² Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, ul. Stefanowskiego 1/15, 90-537 Łódź

***Adres korespondencyjny: m.styprekowski@wp.pl**

Słowa kluczowe: łożysko toczne, specjalne łożysko toczne, nośność łożyska, trwałość łożyska, opory ruchu łożyska.

Streszczenie: W artykule wyszczególniono cechy, które powodują, że łożysko toczne przyjmuje się jako specjalne. Zaprezentowano także relacje między cechami konstrukcyjnymi łożysk, a najistotniejszymi ich cechami użytkowymi. Bez znajomości tych relacji efektywne zastosowanie łożysk specjalnych jest praktycznie niemożliwe. Przedstawiono wybrane przykłady takich łożysk porównując ich cechy konstrukcyjne i eksploatacyjne z cechami łożysk standardowych. Przedstawiono ponadto zastosowania, w których użycie łożysk standardowych można uznać za niewłaściwe ze względu na spełnianie przez nie funkcje, przy czym przykłady dotyczą sytuacji, w których łożyska standardowe są niepotrzebnie „zbyt dobre” lub „niedostatecznie dobre”. W obydwóch przypadkach użycie łożysk specjalnych jest technicznie i ekonomicznie uzasadnione. Wytwarzanie specjalnych łożysk tocznych stało się możliwe i ekonomicznie uzasadnione dzięki coraz szerzej wdrażanym elastycznym systemom wytwarzania (FMS).



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WPLYW POZYCJI PODPARCIA WAHLIWYCH SEGMENTÓW NA PARAMETRY
DZIAŁANIA HYDRODYNAMICZNEGO ŁOŻYSKA WZDŁUŻNEGO**

Michał Wodtke ^{1*}, Michał Wasilczuk ¹

**¹ Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa,
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk**

**Adres korespondencyjny: e-mail: michal.wodtke@pg.edu.pl*

Słowa kluczowe: smarowanie hydrodynamiczne, łożysko wzdluzne, podarcie symetryczne, podarcie niesymetryczne

Streszczenie

Dla zapewnienia prawidłowego działania, wahliwe segmenty łożysk hydrodynamicznych muszą zostać podparte w sposób zapewniający możliwość dopasowania nachylenia ich powierzchni ślizgowej do warunków wymuszeń, tj. obciążenia i prędkości. Duży wpływ na parametry pracy ma pozycja podparcia, która wpływa na kształt szczeliny smarowej, a tym samym na parametry działania całego łożyska.

W referacie przedstawiono wyniki badań wpływu położenia podparcia wahlwych segmentów na parametry działania hydrodynamicznego łożyska wzdluznego. Analizom poddano dwa przypadki lokalizacji podparcia segmentów, które najczęściej spotykane są w praktycznych zastosowaniach: podarcie symetryczne w kierunku ślizgania (łożyska dwukierunkowe) i niesymetryczne (łożyska jednokierunkowe). Badania obejmowały pomiary stanowiskowe oraz analizy teoretyczne z wykorzystaniem zaawansowanych technik obliczeniowych. Analiza uzyskanych wyników wskazuje na odmienne parametry pracy łożysk związane z kształtem szczeliny smarowej oraz związanymi z nim rozkładami temperatury oraz ciśnienia w łożysku. Łożyska w zależności od położenia wahlwego podparcia wykazały także odmienne straty tarcia.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**ANALIZA WŁAŚCIWOŚCI ŁOŻYSKA POCHWY WAŁU W ZALEŻNOŚCI OD
ZASTOSOWANEGO ŚRODKA SMAROWEGO**

Jacek Frost ^{1*}, Michał Wodtke ¹, Wojciech Litwin ¹

**¹Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa,
ul. Gabriela Narutowicza 11/12 80-233 Gdańsk**

**Adres korespondencyjny: e-mail: jacfrost@pg.edu.pl*

Słowa kluczowe: hydrodynamiczne łożysko ślizgowe, środki smarne przyjazne środowisku, łożyska okrętowe, symulacje komputerowe

Streszczenie: W pracy zaprezentowano wyniki badań doświadczalnych poprzecznego łożyska hydrodynamicznego smarowanego olejem mineralnym oraz kilkoma olejami uznawanymi za przyjazne dla środowiska. Celem eksperymentu było określenie różnic w właściwościach łożyska w wyniku zmiany czynnika smarnego oraz zebranie danych niezbędnych do dalszej analizy symulacyjnej.

Wyniki badań doświadczalnych zostały wykorzystane do zweryfikowania poprawności działania modelu teoretycznego badanego obiektu. Model opracowano z wykorzystaniem metod numerycznych. W modelu uwzględniono przepływ oleju w szczelinie smarowej i rowkach smarujących oraz przepływ ciepła w elementach łożyska, tj. panewce i wale. Wykonano badania wrażliwości modelu z uwagi na przyjęty podział modelowanego obszaru zadania oraz na przyjęte do analiz warunki brzegowe. Wynikiem obliczeń były m. in. pozycja równowagi wału dla zadanych warunków działania układu (prędkości i obciążenia), rozkład temperatury w elementach i filmie smarnym oraz rozkład ciśnienia hydrodynamicznego.

Wybrane parametry fizyczne olejów użytych do smarowania łożyska, tj. lepkość w funkcji temperatury oraz gęstość, które są niezbędne do przeprowadzenia wiarygodnych analiz obliczeniowych, były przedmiotem osobnych badań doświadczalnych.

Przeprowadzone badania, zarówno eksperymentalne jak i teoretyczne, posłużyły do szczegółowej analizy zjawisk w łożysku w zależności od zastosowanej cieczy smarującej. Szczególnie ważne było ujawnienie różnic w parametrach działania łożyska (tj. minimalna grubość filmu oraz rozkłady temperatury i ciśnienia hydrodynamicznego) dla smarowania olejem mineralnym i olejami przyjaznymi dla środowiska. Uzyskane wyniki badań zestawiono i porównano co pozwoliło na ocenę wpływu zastosowanego środka smarnego na parametry działania układu.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**KSZTAŁTOWANIE WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNYCH WĘGLOWYCH
MATERIAŁÓW ŁOŻYSKOWYCH**

Andrzej POSMYK* Jerzy MYALSKI Hanna MYALSKA-GŁOWACKA****

* Silesian University of Technology, Faculty of Transport and Aviation Engineering, Krasińskiego 8 Str., 40-019 Katowice, Poland

** Silesian University of Technology, Faculty of Material Engineering, Krasińskiego 8 Str., 40-019 Katowice, Poland

Streszczenie: Pierwsze łożyska ślizgowe wykonywano z, zawierającego węgiel, drewna i smarowano tłuszczami zwierzęcymi. Później wytwarzano łożyska ze stopów metali z dodatkiem grafitu. Obecnie stosuje się też materiały węglowe, ale w postaci węgla szklistego. Materiały wyjściowe wywierają istotny wpływ na właściwości przyszłych kompozytów. Możliwościom kształtowania właściwości tribologicznych łożyskowych materiałów węglowych jest poświęcony zgłaszany referat.

W pracy zostaną przedstawione wyniki badań kompozytów umacnianych węglem szklistym wytwarzanym z różnych prekursorów przekształcanych w węgiel szklisty o wymaganych właściwościach tribologicznych.

Do badań wybrano żywicę fenolowo-formaldehydową oraz stosowane przed wiekami materiały pochodzenia naturalnego tj. drewno, węgiel drzewny i brykiety węglowe oraz bawełnę.

Kompozyty przebadano tribologicznie na testerze T-11 w warunkach tarcia suchego, przy różnych naciskach jednostkowych (1, 1,5, 2 MPa) i stałej drodze tarcia 5000 m. Partnerem było żeliwo GJL-250. Badania wykazały, że rodzaj zastosowanego prekursora ma wpływ na współczynnik tarcia i zużycie. Zróżnicowanie właściwości wynika z różnych mechanizmów zużywania. Rodzaj prekursora wpływa na stabilizację współczynnika tarcia i zmniejsza zużycia kompozytów współpracujących z trzpieniem żeliwnym. Obecność węgla szklistego obniża temperaturę w węźle tarcia w porównaniu z wykorzystywanym w skojarzeniach ślizgowych - tekstolitem (materiał porównawczy). Dzięki zastosowaniu różnych prekursorów węglowych możliwe jest uzyskanie kompozytów spełniających określone wymagania związane z obciążeniem i prędkością poślizgu.



POLSKIE TOWARZYSTWO TRIBOLOGICZNE
członek International Tribology Council

XLIII Ogólnopolska Konferencja

Jesienna Szkoła Tribologiczna

9-12 września 2025

Poznań-Dolsk

POWŁOKI



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**ANALIZA MECHANIKI KONTAKTU UKŁADÓW POWŁOKA-PODŁOŻE PRZY
UŻYCIU TECHNIKI INDENTACJI SFERYCZNYM WGLĘBNIKIEM**

Marcin Kot ^{1*}, Major Łukasz ², Jurgen Lackner ³

**¹Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Mechanicznej
i Robotyki, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków**

² *Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN, Ul. Reymonta 25, 30-059 Kraków*

³ *Joanneum Research; Laserzentrum Leoben; Austria*

**Adres korespondencyjny: e-mail: kotmarc@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: cienkie powłoki, mechanika kontaktu, naprężenia stykowe,

Streszczenie

Cienkie powłoki nakładane wieloma technikami, w tym PVD, są obecnie powszechnie stosowane praktycznie we wszystkich branżach przemysłu. Wiele z nich pracuje w warunkach dużych obciążeń stykowych, które prowadzą do destrukcji układów powłoka-podłoże. Wciąż dużym problemem jest odpowiednie zaprojektowanie takiego układu ze względu na małą odporność na pękanie powszechnie stosowanych powłok ceramicznych i węglowych. Poszukuje się więc coraz to lepszych rozwiązań głównie poprzez modyfikację struktury powłoki jak i odpowiednie przygotowanie podłoża. W pracy przedstawione zostaną wyniki modelowania MES takich układów, wpływu geometrii kontaktu oraz właściwości mechanicznych powłoki i podłoża na rozkład naprężeń w styku skoncentrowanym. Przedstawiona zostanie także procedura analizy wyników badań eksperymentalnych przy użyciu mikro-nanoindentacji i sferycznych wglębników o różnej geometrii. Połączone wyniki modelowania oraz badań eksperymentalnych mogą być przydatnym narzędziem dla konstruktorów przy doborze odpowiedniej rozwiązania dla elementów na których mają być naniesione powłoki.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE WIELOWARSTWOWYCH POWŁOK Cr/CrN
NA PODŁOŻU STALOWYM W ODNIESIENIU DO ICH MIKROSTRUKTURY**

Jolanta Krupa ^{1*}, Sławomir Zimowski ¹

**¹Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział
Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków**

**Adres korespondencyjny: e-mail: krupa@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: powłoki Cr/CrN, właściwości nanomechaniczne, mikroudarnowe zmęczenie

Streszczenie Azotek chromu (CrN) to materiał szeroko stosowany w inżynierii powierzchni ze względu na wysoką twardość, odporność na zużycie i korozję. W porównaniu do innych azotków metali przejściowych, powłoki z CrN wyróżniają się ponad to stabilnością chemiczną, jednak ich kruchość ogranicza zastosowanie w warunkach dynamicznego obciążenia. Jednym ze sposobów poprawy ich odporności na zużycie jest projektowanie powłok wielowarstwowych, np. Cr/CrN, lub kompozytowych.

W prezentowanej pracy badaniom poddano jednowarstwową powłokę CrN oraz wielowarstwowe powłoki Cr/CrN o zróżnicowanej architekturze warstwowej. Analizie poddano ich mikrostrukturę, skład chemiczny oraz właściwości mechaniczne (twardość H, moduł sprężystości E), a także odporność na zarysowanie i mikroudarność. Szczególną uwagę poświęcono wpływowi struktury wielowarstwowej na odporność na pękanie, która zależy od proporcji H i E. Strukturę powłok oraz podłoża zbadano także metodą dyfrakcji rentgenowskiej (XRD). Wyniki badań wskazują na obecność faz CrN oraz Cr₂N zarówno w pojedynczej powłoce azotku chromu, jak i wielowarstwowych powłokach azotek chromu/chrom. Wraz ze wzrostem liczby warstw intensywność sygnału fazy Cr₂N w kierunku [300] maleje, co oznacza, że zmniejsza się wielkość krystalitów Cr₂N.

Wyniki wykazały, że odpowiednio zaprojektowana struktura warstwowa powoduje poprawę zarówno twardości, jak i odporności na uszkodzenia mechaniczne. Korelacja pomiędzy parametrami mechanicznymi a strukturą powłok wskazuje na istotną rolę grubości i sekwencji warstw w kształtowaniu właściwości użytkowych.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

OCENA WPŁYWU DODATKU METANOSULFONIANU 1-BUTYLO-3-METYLOIMIDAZOLIOWEGO DO CHŁODZIWA NA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE POWŁOKI TiAlN

Joanna Kowalczyk ^{1*}, Monika Madej ¹, Marcin Kowalski ²

¹Politechnika Świętokrzyska elnia/firma, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

*² Politechnika Warszawska Filia w Płocku, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii
al. Stanisława Jachowicza 2, 09-402 Płock*

**Adres korespondencyjny: e-mail: jkowalczyk@tu.kielce.pl*

Słowa kluczowe: metanosulfonian 1-butylo-3-metyloimidazoliowy, chłodziwo, powłoka TiAlN, zużycie

Streszczenie W artykule określono wpływ dodatku cieczy jonowej - metanosulfonianu 1-butylo-3-metyloimidazoliowej do chłodziwa na właściwości tribologiczne stali HS6-5-2C z powłoką TiAlN. Badania tarciovo-zużyciowe przeprowadzono na testerze tribologicznym pracującym w skojarzeniu kula-tarcza w ruchu ślizgowym przy obciążeniu 10 N. Do badań zastosowano tarcze ze stali HS6-5-2C bez powłoki i z powłoką TiAlN oraz kule ze stali 100Cr6. Jako środka smarowego użyto chłodziwa bez i z dodatkiem 5% cieczy jonowej - metanosulfonianu 1-butylo-3-metyloimidazoliowej. Mikroskop skaningowy posłużył do określenia składu chemicznego, a mikroskop konfokalny do przeprowadzenia analizy struktury geometrycznej próbek przed oraz po testach tribologicznych. Uzyskane wyniki badań wskazały, że dodatek cieczy jonowej metanosulfonianu 1-butylo-3-metyloimidazoliowej do chłodziwa wpłynął na zmniejszenie współczynnika tarcia o ponad 4%, zużycia liniowego ponad 22% oraz szerokości śladu wytarcia o ponad 6%.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE POWŁOK PEO WYTWORZONYCH NA
ULTRALEKKIM STOPIE MAGNEZU WE WSPÓŁPRACY Z TWORZYWAMI
SZTUCZNYMI**

Mateusz Niedźwiedź ^{1*}, Marek Bara ¹, Joanna Korzekwa ¹

**¹Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych,
Instytut Inżynierii Materiałowej, 40-007 Katowice, ul. Bankowa 12**

**Adres korespondencyjny: 41-205 Sosnowiec, ul. Żytnia 10; e-mail:
mateusz.niedzwiedz@us.edu.pl*

Słowa klucz: powłoki tlenkowe, tribologia, utralekki stop magnezu, plazmowe utlenianie elektrolityczne

W artykule przedstawiono wyniki badań tribologicznych powłok tlenkowych wytworzonych metodą plazmowego utleniania elektrochemicznego (PEO) na utralekkim stopie magnezu LA141. Powłoki uzyskano przy zastosowaniu identycznych parametrów procesu, wykorzystując prostokątny przebieg napięcia oraz alkaliczny elektrolit trójskładnikowy. Proces prowadzono przy stałych warunkach: szczytowa gęstość prądu 15 A/dm², czas utleniania 12 minut, częstotliwość impulsów 1800 Hz, co pozwoliło na uzyskanie jednorodnych powłok ochronnych. Oceny właściwości tribologicznych dokonano przy użyciu testera T-17 w warunkach tarcia technicznie suchego, w ruchu posuwisto-zwrotnym. Jako przeciwpróbki zastosowano cztery tworzywa: PEEK, PEEK-HPV, T5W oraz T7W. Oprócz badań tribologicznych przeprowadzono również profilografometryczne pomiary topografii powierzchni powłok przed i po testach, co umożliwiło analizę charakteru zużycia. Badania pozwoliły na ocenę odporności na zużycie oraz wpływu rodzaju materiału przeciwpróbki na współczynnik tarcia i mechanizmy zużycia. Badania uzupełniono o pomiary grubości powłoki oraz jej obrazowanie mikroskopowe. Wyniki badań potwierdzają wpływ rodzaju materiału przeciwpróbki na właściwości tribologiczne badanych powłok



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**BADANIE ODPORNOŚCI ZUŻYCIOWEJ POWŁOK AAO/IF-WS₂
WE WSPÓŁPRACY ZE STAŁĄ I CERAMIKĄ**

**Marek Bara^{1*}, Joanna Korzekwa¹, Mateusz Niedźwiedz¹, Krzysztof
Cwynar²**

**¹Uniwersytet Śląski w Katowicach, Instytut Inżynierii Materiałowej,
41-500 Chorzów ul. 75 Pułku Piechoty 1a**

**²Uniwersytet Śląski w Katowicach, Instytut Chemii,
40-006 Katowice ul. Szkolna 9**

**Adres korespondencyjny: e-mail: marek.bara@us.edu.pl*

Słowa kluczowe: powłoka AAO, smar stały IF-WS₂, zużycie, opory ruchu

Streszczenie

Celem niniejszej pracy jest określenie wpływu modyfikacji powłoki AAO fulerenopodobnym smarem stałym IF-WS₂ na właściwości tribologiczne skojarzenia ślizgowego powłoka AAO/IF-WS₂ – stal 1.4401 oraz powłoka AAO/IF-WS₂ – ZrO₂. Powłoki AAO (anodic aluminum oxide) wytworzono na stopie aluminium EN AW-6060 metodą elektrochemiczną, stosując stałe parametry wytwarzania dla wszystkich próbek. Z użyciem technologii sonikacji przeprowadzono modyfikację powłok nanoproshkiem dwusiarczku wolframu (IF-WS₂). Testy tribologiczne przeprowadzono na testerze T-01 dla skojarzenia kulka–tarcza. Badania prowadzono w warunkach tarcia technicznie suchego dla ruch obrotowego.

Wyniki badań wykazały, że zastosowanie smaru stałego IF-WS₂ do modyfikacji, przyczyniło się do zmniejszenia siły tarcia w początkowym etapie testów oraz znacznego zmniejszenia zużycia powłok AAO. W pracy zostaną przedstawione rezultaty testów tarciovo-zużyciowych oraz wyniki badań chropowatości powłok AAO/IF-WS₂, przeprowadzone przed i po teście tribologicznym. Wyniki testów tarciovoych zostaną uzupełnione o badania mikroskopowe oraz analizę statystyczną.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WIELOWARSTWOWE POWŁOKI NA BAZIE TiN, CrN, TiCrN DO ZASTOSOWAŃ
W OBRÓBCE SKRAWANIEM I PROCESACH FORMOWANIA**

Daniel Toboła ^{1*}, Ben Beake ², Łukasz Maj ³, Tomasz Liskiewicz ⁴

¹ Sieć Badawcza Łukasiewicz – Krakowski Instytut Technologiczny,
ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków

² Micro Materials Ltd., Willow House, Yale Business Village, Ellice Way, Wrexham, LL13 7YL, UK

³ Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Polskiej Akademii Nauk,
ul. Reymonta 25, 30-059 Kraków

⁴ Department of Engineering, Manchester Metropolitan University, Manchester M15 6BH, UK

*Adres korespondencyjny: e-mail: daniel.tobola@kit.lukasiewicz.gov.pl

Słowa kluczowe: wielowarstwowe powłoki PVD, zużycie, zmęczenie powierzchniowe

W ostatnich latach obserwowany jest nieustanny rozwój w zakresie powłok odpornych na zużycie oraz charakteryzujących się unikatowymi właściwościami, umożliwiającymi stałe poszerzanie zakresu ich zastosowań. Jednym z atrybutów, które mogą posiadać wielowarstwowe powłoki nanostrukturalne jest ich wysoka twardość, co mogłoby czynić je idealnymi w zastosowaniach m.in. na narzędzia skrawające czy też narzędzia do obróbki plastycznej na zimno. Są to procesy które zachodzą przy bardzo dużych naciskach powierzchniowych, w niekorzystnych warunkach tarcia granicznego, co może skutkować dużym zużyciem i przedwczesną awarią narzędzi. W wielu przypadkach dla minimalizacji zużycia obok wysokiej twardości ważne jest uzyskanie ze strony powłoki odpowiedniego poziomu sprężystości i tolerancji na odkształcenia. Uwzględniając powyższe kwestie przeprowadzono serię badań, ze szczególnym uwzględnieniem właściwości tribologicznych oraz powierzchniowej odporności na zmęczenie dla wybranych wariantów wielowarstwowych powłok PVD. Wszystkie powłoki o strukturze nanowarstwowej wykazały zwiększoną odporność na zużycie w porównaniu do powłoki TiN, przy czym najlepsze odpowiedzi na zużycie i mikrouderzenia określono dla wielowarstwowej powłoki na bazie Cr/CrN – która charakteryzowała się również najwyższymi wartościami współczynników H/E i H^3/E^2 .

Podziękowania:

Badania zrealizowano w ramach projektu nr INNOGLOBO/II/60/CoatTool4.0-2023 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz częściowo z projektu nr 6024/33 w ramach subwencji otrzymanej z Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.



POLSKIE TOWARZYSTWO TRIBOLOGICZNE
członek International Tribology Council

XLIII Ogólnopolska Konferencja

Jesienna Szkoła Tribologiczna

9-12 września 2025

Poznań-Dolsk

SESJA

11 września, godz. 10:15-12:00



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**MOŻLIWOŚCI NAPISANIA ARTYKUŁU Z TRIBOLOGII PRZY UŻYCIU
PROGRAMUSZTUCZNEJ INTELIGENCJI**

Andrzej POSMYK* Aleksander POSMYK**

* Politechnika Śląska, Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej, Krasińskiego 8, 40-019
Katowice, Poland

Słowa kluczowe: właściwości tribologiczne, możliwości, pisanie artykułu, sztuczna
inteligencja, ChatGPT,

Streszczenie: W raporcie OPI PB „Nauka w Polsce w 2023”, podano, że „w 2021 roku w Polsce funkcjonowało 7370 ośrodków badawczo-rozwojowych, z czego 4% w szkolnictwie wyższym. W 2021 roku ośrodki te zatrudniały 305 tys. osób. Połowa pracowników była zatrudniona w przedsiębiorstwach, a 40% w uczelniach, z czego 73% na etatach badawczych. Większość z tych osób jest zobowiązana do publikowania wyników ich prac w punktowanych czasopismach.

Zatrudnieni w polskich uczelniach muszą opublikować rocznie 122 tysiące artykułów (4 sloty na 4 lata). w czasopismach krajowych oraz w zagranicznych indeksowanych w WEB of Science lub Scopus.

Na zebranie materiałów do napisania wyżej punktowanego artykułu potrzeba w naukach technicznych wykonać badania trwające średnio 2 lata. Podczas przygotowania badań jest wykonywany przegląd literatury. Szerszy przegląd oznacza więcej zebranych informacji. Badania kończą się opracowaniem i interpretacją wyników. To wszystko wymaga „inteligentnego działania” i czasu, a pracownik naukowy uczelni chcąc mieć pozytywną ocenę okresową musi napisać dwa artykuły z tych badań lub zrobić w rok, to co średnio trwa dwa lata. Takie warunki zachęcają pracowników do korzystania z pomocy dotychczasowych zdobyczy nauki.. Obecne technologie, sztuczna inteligencja, oferują też pomoc na etapach pisania artykułów. Na rynku są dostępne programy wykorzystujące sztuczną inteligencję. W tym artykule zostanie podjęta próba uzyskania informacji na temat jakie są możliwości napisania artykułu naukowego z tribologii przy pomocy wybranego programu sztucznej inteligencji.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**OCENA WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH
STOSOWANYCH W STOMATOLOGII**

**Katarzyna Piotrowska^{1*}, Monika Madej¹, Michał Paulo²,
Joanna Wysokińska-Miszcuk²**

**¹Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Mechatroniki i Budowy
Maszyn, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce**

**²Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Wydział Lekarsko-Dentystyczny, ul. Chodźki 6,
20-093 Lublin, Poland;**

***Adres korespondencyjny: e-mail: kpawelec@tu.kielce.pl**

Słowa kluczowe: dental composites; surface texture; wettability; friction; wear

Streszczenie

Ocenie poddano właściwości materiałów kompozytowych stosowanych do wypełnień stomatologicznych. Przedstawiono wyniki badań struktury geometrycznej powierzchni, zwilżalności oraz parametrów tribologicznych. Próbkę o grubości 2,5 mm wykonano poprzez nakładanie kolejnych warstw po 0,5 mm, z których każdą naświetlano lampą w trybie pełnej mocy (400 mW/cm²) przez 10 sekund z odległości <1 mm. Badaniami objęto pięć materiałów: dwa typu flow – kompozyt bioaktywny na bazie fosforanu wapnia oraz nanokompozyt SiO₂/szkło stomatologiczne – oraz trzy kompozyty konwencjonalne: nano-hybrydowy z wypełniaczem szklano-cyrkonowym, hybrydowy szkło-krzemionkowy oraz materiał na bazie wypełniacza krzemowo-cyrkonowego. Wyniki badań zwilżalności wykazały, że nanokompozyt SiO₂/szkło stomatologiczne cechował się właściwościami hydrofilowymi i najmniejszymi kątami zwilżania sztuczną śliną o pH 5.8 i 6.8 spośród wszystkich próbek. W przypadku kompozytów konwencjonalnych odnotowano najwyższe wartości kątów zwilżania, wskazujące na charakter hydrofobowy. Analiza parametrów tribologicznych wykazała, że materiały miały zbliżone wartości współczynników tarcia w zakresie 0.85 – 0.97, przy czym dla kompozytu krzemowo-cyrkonowego zarejestrowano najmniejszy współczynnik tarcia, ale jednocześnie najwyższe zużycie objętościowe. Obserwacje mikroskopowe potwierdziły, że materiały typu flow charakteryzowały się największą odpornością na zużycie. Wyniki sugerują, że ocena materiałów kompozytowych do wypełnień stomatologicznych powinna uwzględniać zarówno współczynnik tarcia, jak i intensywność zużycia, zwłaszcza w obszarach narażonych na wysokie obciążenia okluzyjne.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**ANALIZA ZMIAN CECH TRIBOLOGICZNYCH POWIERZCHNI PROTEZ
ZĘBOWYCH PODCZAS ZJAWISKA BRUKSIZMU**

**Jakub Rutkowski¹, Janusz Musiał^{2*}, Adam Troszyński³, Serhij
Horiashchenko⁴**

¹ *Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Wydział Mechatroniki, ul. Kopernika 1, 85-074
Bydgoszcz*

² *Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Wydział Mechatroniki, ul. Kopernika 1, 85-074
Bydgoszcz*

³ *Politechnika Bydgoska, Wydział Inżynierii Mechanicznej, al. Kaliskiego 7, 85-796
Bydgoszcz*

⁴ *Khmelnytskyi National University, Faculty of Engineering, Transport and Architecture,
11 Instytutska St., Khmelnytsky, 29016 Ukraine*

**janusz.musial@ukw.edu.pl*

Słowa kluczowe: PMMA, topografia powierzchni, zużycie tribologiczne, bruksizm.

Streszczenie

Celem referatu jest przedstawienie wyników analizy zmian właściwości tribologicznych powierzchni protez zębowych wykonanych z polimetakrylanu metylu (PMMA) w warunkach symulowanego bruksizmu. Zjawisko to, charakteryzujące się mimowolnym zgrzytaniem i zaciskaniem zębów, prowadzi do intensywnego obciążenia układu stomatognatycznego oraz przyspieszonego zużycia elementów protetycznych. Badania przeprowadzono w układzie sworzeń–tarcza (pin-on-flat) przy użyciu tribometru MFT-5000, który umożliwił odwzorowanie ruchów ślizgowych typowych dla bruksizmu. Analizie poddano parametry tarcia, intensywność zużycia ściernego oraz zmiany topografii powierzchni, ze szczególnym uwzględnieniem chropowatości i deformacji mikroskopowych. Uzyskane wyniki wskazują na istotne różnice w zachowaniu materiału protetycznego w zależności od warunków obciążeniowych i czasu oddziaływania. Przeprowadzone badania mają istotne znaczenie dla optymalizacji doboru materiałów w protetyce stomatologicznej oraz wydłużenia okresu użytkowania protez w grupie pacjentów z bruksizmem.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WYKORZYSTANIE METOD ANALIZY OBRAZU DO MODELOWANIA ZŁÓŻ
GRANULARNYCH JAKO OŚRODKA ŚCIERNEGO**

Magdalena Lemecha ^{1*}, Krzysztof Ligier ², Oleksandr Vrublevskiy³,

**¹Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk
Technicznych, ul. M. Oczapowskiego 11, 10-719 Olsztyn**

**Adres korespondencyjny: e-mail: magdalena.lemecha@uwm.edu.pl*

Słowa kluczowe: modelowanie EDEM zużycia ściernego, geometria złóż granularnych, analiza obrazu

Streszczenie

W artykule przedstawiono nowe podejście do modelowania złóż granularnych, jako ośrodków ściernych poprzez zastosowanie zaawansowanych metod analizy obrazu. Celem badań było opracowanie dokładnego odwzorowania kształtu ziaren materiału granularnego na podstawie obrazów rzeczywistych próbek, co umożliwi bardziej realistyczne modelowanie procesów zużycia ściernego w środowisku symulacyjnym EDEM. Zużycie ściernie stanowi nieunikniony proces eksploatacyjny, który jest trudny do jednoznacznego przewidzenia i identyfikacji, dlatego jego dokładne badanie ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia niezawodności i trwałości elementów maszyn. Dzięki pozyskanym danym opracowano szczegółowe, trójwymiarowe reprezentacje cząstek ściernych, które zostały zaimplementowane w symulacjach numerycznych. Kalibracja modelu zużycia opierała się na danych empirycznych, co pozwoliło na zwiększenie precyzji prognozowania zużycia materiałów narażonych na zużycie ściernie. Metoda ta może znaleźć zastosowanie w optymalizacji procesów zużycia urządzeń służących do transportu materiałów sypkich, przenośników czy elementów roboczych maszyn narażonych na zużycie ściernie.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WYKORZYSTANIE METODYKI „DIGITAL TWIN” DO ROZSZERZENIA
ANALIZY PROCESU ZUŻYWANIA ŚCIERNEGO**

Krzysztof Ligier^{1*}, Magdalena Lemecha¹, Oleksandr Vrublevskiy¹

**¹Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk Technicznych,
ul Oczapowskiego 11, 10-719 Olsztyn**

**Adres korespondencyjny: e-mail: krzysztof.ligier@uwm.edu.pl*

Słowa kluczowe: zużycie ścierne, metoda DEM, digital twin.

Streszczenie

W pracy przedstawiono model symulacyjny skojarzenia typu „gumowe-koło- suche ścierniwo” jako cyfrowego bliźniaka tribometru T-07. Do modelowania wykorzystano metodę elementów dyskretnych DEM, a wyniki zużycia uzyskane z modelu zweryfikowano empirycznie. Przeanalizowano możliwość uzupełnienia wyników empirycznych o wyniki pozyskane z modelu cyfrowego, takie jak: energia kinetyczna i prędkość cząstek ściernych, rozkład ilości cząstek ściernych i zużycia w obszarze styku.



POLSKIE TOWARZYSTWO TRIBOLOGICZNE
członek International Tribology Council

XLIII Ogólnopolska Konferencja

Jesienna Szkoła Tribologiczna

9-12 września 2025

Poznań-Dolsk

SESJA PLAKATOWA



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**ZĘBY AKRYLOWE STOSOWANE W REKONSTRUKCJACH PROTETYCZNYCH
– BADANIA TRIBOLOGICZNE**

Łukasz Bojko

**AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej
i Robotyki, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków**

**Adres korespondencyjny: e-mail: lbojko@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: protezy, zęby akrylowe, struktura, tarcie, zużycie

Polimery akrylowe stosowane są u pacjentów z rozległymi brakami zębowymi lub bezzębnymi z powodu przeciwwskazań miejscowych i ogólnych lub ograniczeń finansowych do zastosowania metody zaopatrzenia implantoprotetycznego. Istnieje zatem potrzeba ulepszania tradycyjnych metod rehabilitacji protetycznej z zastosowaniem udoskonalonych materiałów i procedur technologicznych. W warunkach przekazywania obciążeń czynnościowych i konieczności oceny oddziaływania konstrukcji na układ stomatognatyczny, istotnymi kryteriami są: prawidłowe mikrostruktury wytworzonych konstrukcji oraz kontekst biotribologiczny, które decydują o odporności na zużycie w kontakcie zębów przeciwstawnych.

Celem opracowania jest ocena zębów akrylowych wykorzystywanych do protez ruchomych na podstawie badań tribologicznych i mikrostrukturalnych.

Próbki do badań wykonano z zębów akrylowych wytworzonych przez różnych producentów. Badania tribologiczne wykonano na maszynie czterokulowej Roksana Machine Works z zastosowaniem węzła tarcia kula - 3 krążki. Analizy mikrostrukturalne wykonano na skaningowym mikroskopie elektronowym Hitachi S3400N.

Wykonane badania pozwoliły na wyznaczenie współczynników tarcia oraz odporności na zużycie wynikającej z kontaktu zębów akrylowych i naturalnych w środowisku sztucznej śliny oraz na ocenę warstwy wierzchniej zębów akrylowych przed i po procesie zużycia.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE PAR CIERNYCH Z POWŁOKĄ A-C:H:W W
WARUNKACH TARCIA MIESZANEGO Z ZASTOSOWANIEM OLJEÓW SAE
5W30**

Maciej Daszykowski^{1*}, Sylwia Daszykowska², Janusz Lubas²

**¹ Politechnika Rzeszowska, Szkoła doktorska PRz, al. Powstańców Warszawy
12, 35-959 Rzeszów**

*² Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, al. Powstańców Warszawy
8, 35-959 Rzeszów*

**Adres korespondencyjny: e-mail: joris154@gmail.com*

Słowa kluczowe: powłoka a-C:H:W, tarcie, zużycie, olej 5W30, para cierna

Streszczenie: W pracy został przedstawiony wpływ materiałów z powłoką a-C:H:W na właściwości tribologiczne par ciernych pracujących w węzłach ciernych o styku konforemnym i niekonforemnym. Do smarowania obszaru styku par ciernych zastosowano olej silnikowy 5W30 nowy oraz po eksploatacji w pojeździe samochodowym. Powłoka a-C:H:W została wytworzona metodą PVD na elementach stalowych AISI 4337. Dla badań tribologicznych wykorzystano dwa testery tribologiczne: tester czterokulowy T-02 i tester typu rolka-kłosek T-05. Wyniki badań wykazały istotny wpływ wytworzonej powłoki a-C:H:W na mierzone parametry współpracy pary cierniej jak współczynnik tarcia, temperaturę i zużycie materiałów par ciernych. W badaniach stwierdzony również znaczny wpływ na warunki tarcia w parach ciernych w zależności od stanu oleju smarujące (olej nowy i po eksploatacji). Pary cierne z powłoką a-C:H:W wykazują znacznie większą odporność na procesy zacierania w porównaniu do par z wykorzystaniem próbek z stali AISI 4337, przy czym powłoka a-C:H:W znacząco wpływa na intensyfikację procesów zużycia stopu żelazkowego.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WPŁYW PARAMETRÓW STRUKTURY GEOMETRYCZNEJ POWIERZCHNI PO
OBRÓBCE STRUMIENIOWO ŚCIERNEJ NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI
TRIBOLOGICZNE**

Andrzej Dzierwa

**Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, al.
Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów**

**Adres korespondencyjny: e-mail: adzierwa@prz.edu.pl*

Słowa kluczowe: współczynnik tarcia, zużycie, struktura geometryczna powierzchni

Streszczenie Struktura geometryczna powierzchni odgrywa kluczową rolę w inżynierii mechanicznej, wpływając na wydajność, niezawodność i trwałość komponentów a jej wpływ na właściwości tribologiczne części maszyn jest przedmiotem licznych badań naukowych. W niniejszej pracy badania tribologiczne przeprowadzono przy użyciu testera tribologicznego typu kulka-tarcza. W badaniu tym tarcze wykonane ze stali 42CrMo4 o twardości 40 ± 2 HRC współpracowały z kulą wykonaną z węgliku wolframu o twardości 72 ± 2 HRC. Obróbką wykańczającą powierzchni tarcz była obróbka strumieniowo-ścierna. Proces przeprowadzono w ten sposób aby uzyskać wartości parametru S_q zbliżone do $5 \mu m$. Natomiast pozostałe parametry struktury geometrycznej powierzchni tarcz były różne. Badania przeprowadzono w warunkach tarcia suchego. W trakcie badań rejestrowano wartości siły tarcia natomiast po badaniach określano wielkość zużycia tarcz przy użyciu interferometru światła białego Talysurf CCI Lite. Stwierdzono, że struktura geometryczna powierzchni ma istotny wpływ na właściwości tribologiczne w warunkach tarcia suchego. Badania pozwoliły również na zidentyfikowanie istotnych zależności między parametrami struktury geometrycznej powierzchni a parametrami tribologicznymi.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**ANALIZA ZUŻYCIA ELEMENTÓW SPRĘŻAREK CHŁODNICZYCH WSKUTEK
NIEODPOWIEDNIEGO SMAROWANIA WĘZŁÓW RUCHOWYCH**

Kasper Górny, Przemysław Tyczewski ^{1*}

**¹ Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu,
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań**

**Adres korespondencyjny: e-mail: przemyslaw.tyczewski@put.poznan.pl*

Słowa klucz: Sprężarka chłodnicza, czynnik chłodniczy, uszkodzenia

Abstrakt

Sprężarka pracująca bez oleju bardzo szybko ulega uszkodzeniu. Wykonano test zużycia rzeczywistej sprężarki, w którym zatarcie węzłów tarcia nastąpiło na skutek bardzo małej ilości oleju. Po analizie optycznej powierzchni tarcia zauważono, iż największemu zniszczeniu uległ węzeł czop – panewka tłoka. Brak oleju na powierzchniach ślizgowych doprowadził do szczepień adhezyjnych materiałów w węźle ruchowym. Występujące siły międzycząsteczkowe spowodowały wyrywanie materiału, na powierzchni panewki można zaobserwować bardzo duże ubytki i powstałe bruzdy. Podstawowe parametry chropowatości uległy kilkukrotnemu zwiększeniu.

Wykonany test pracy sprężarki bez oleju potwierdza, że urządzenie te musi mieć odpowiednie smarowanie. Przeprowadzony test pokazał szybkie tempo zniszczenia węzłów tarcia, co z kolei doprowadziło do bardzo szybkiego uszkodzenia sprężarki. W trakcie testu monitorowano parametry pracy układu w celu znalezienia wcześniejszych oznak możliwości zniszczenia sprężarek. Takim sygnałem może być pomiar poboru mocy, który jego nagły wzrost może zapobiec zniszczeniu powierzchni sprężarek chłodniczych.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**OBRÓBKA LASEROWA ŻELIWA SZAREGO PROWADZĄCA DO ZWIĘKSZENIA
ODPORNOŚCI NA PROCESY ZUŻYCIOWE**

Grzegorz Kinal^{1*},

**¹Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu,
Pl. Marii Skłodowskiej-Curie 5; 60-965 Poznań**

**Adres korespondencyjny: grzegorz.kinal@put.poznan.pl*

Słowa kluczowe: żeliwo, tarcze hamulcowe, obróbki powierzchniowe

Streszczenie w języku polskim, 120-200 słów, czcionka Times New Roman, rozmiar 12, interlinia 1,5, tekst wyjustowany, wszystkie marginesy po 2,5 cm.

W artykule zaprezentowano badania efektów laserowej obróbki cieplnej wykonanych dla żeliwa w odniesieniu do tradycyjnego azotowania gazowego prowadzące do zwiększenia odporności na procesy zużyciowe przez zwiększenie twardości. Obróbkę laserową prowadzono z wykorzystaniem lasera molekularnego molekularnym CO₂ TRUMPF TLF 2600t o maksymalnej mocy wiązki równej 2600 [W] i rozkładzie gęstości mocy TEM₀₁. Laser znajduje się w Laboratorium Technik Laserowych Politechniki Poznańskiej. Efekty obróbki laserowej oraz jej wpływ na własności i strukturę zbadano przez pomiary mikrotwardości i obserwację mikroskopową z wykorzystaniem mikroskopii optycznej. Badania wykazały wyższość prowadzonego stopowania laserowego nad hartowanie laserowym oraz zwróciły uwagę na występowanie mogących występować wad gdy obróbka prowadzona jest temperaturze otoczenia. Badania zaprezentowano na tle badań przez wykorzystanie tradycyjnych obróbek powierzchniowych takich jak azotowanie gazowe żeliwa przeznaczonego na tarcze hamulcowych.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WPLYW ODCZYNU GLEBOWEJ MASY ŚCIERNEJ NA NAPRĘŻENIA
WARSTWY ŚCIERANEJ**

Marcin Kowalewski ^{1*}, Łukasz Konat ², Jerzy Napiórkowski ¹,

**¹Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk
Technicznych, ul. Michała Oczapowskiego 11, 11-041 Olsztyn**

**²Politechnik Wrocławska, Wydział Mechaniczny, ul. Smoluchowskiego 25
50-370 Wrocław**

**Adres korespondencyjny: e-mail:marcin.kowalewski@uwm.edu.pl*

Słowa kluczowe: glebowa masa ścierna, odczyn gleby, naprężenia, warstw wierzchnia, Hardox 500

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących wpływu odczynu chemicznego glebowej masy ścierniej na wartość naprężeń w warstwie ścieranej oraz intensywność zużycia materiałów. Jako materiał ścierny wykorzystano glebę lekką w postaci piasku luźnego. Do badań przygotowano dwa warianty gleby o różnej wartości pH: 3,7 pH (gleba bardzo kwaśna) oraz 7,1 pH (gleba zasadowa). Materiałem użytym do badań była stal odporna na zużycie ściernie Hardox 500. Proces tarcia odbywał się na stanowisku laboratoryjnym typu „wirująca misa”. Badanie polegało na badaniu próbek na różnych dystansach od $5 \cdot 10^3$ m do $5 \cdot 10^4$ m z interwałem co $5 \cdot 10^3$ m. Na podstawie analizy stanu naprężeń w warstwie ścieranej stwierdzono, że w glebie bardzo kwaśnej naprężenia wzrastały wraz ze zwiększaniem drogi tarcia, natomiast w środowisku zasadowym następował ich stopniowy spadek. Zużycie było znacząco większe w środowisku gleby bardzo kwaśnej i kształtowało się na poziomie 0,76 g po tarcu na dystansie $5 \cdot 10^4$ m. W przypadku gleby zasadowej zaś na tej samej drodze tarcia uzyskano znacznie niższe wartości zużycia to jest 0,46 g. Uzyskane wyniki z badań wskazały wpływ odczynu gleby na procesy zużyciowe oraz wartości naprężeń warstwy wierzchniej materiałów użytkowanych w kontakcie ze glebową masą ścierną.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**OCENA WŁAŚCIWOŚCI ZUŻYCIOWYCH OKŁADZIN HAMULCÓW
ROWEROWYCH**

Kowalewski Marcin*, Lemecha Magdalena, Napiórkowski Jerzy

**Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk Technicznych
ul. Oczapowskiego 2, 10-719 Olsztyn**

**Adres korespondencyjny: e-mail: marcin.kowalewski@uwm.edu.pl*

Słowa kluczowe: klocek hamulcowy, skład chemiczny, zużycie, badania laboratoryjne.

W kontekście bezpieczeństwa użytkowania rowerów istotną rolę odgrywają hamulce, a szczególnie materiały stosowane do produkcji klocków. Jednym z głównych problemów jest potrzeba dostosowania trwałości klocków do różnorodnych warunków eksploatacyjnych, takich jak zmienne warunki atmosferyczne i różne rodzaje nawierzchni drogowych. Celem pracy jest ocena zużycia klocków stosowanych w hamulcach tarczowych. Do badań wybrano trzy rodzaje klocków o zróżnicowanych właściwościach tj. metaliczne, półmetaliczne i organiczne. Badania zostały przeprowadzone przy użyciu stanowiska badawczego tribotester T-20 typu kula-tarcza. Wykorzystana została metoda badania typu bez perforacji powłoki. Średnice kraterów mierzono pod mikroskopem oceniając średnicę krateru narzędziami pomagającymi określić wymiar w oprogramowaniu komputerowym. Badania przeprowadzono podczas tarcia suchego i w obecności ścierniwa. W zależności od środowiska procesów tarcia uzyskano znaczne różnice odporności na zużycie. W przypadku tarcia technicznego suchego zużycie klocka na bazie organicznej było kilkakrotnie większe w stosunku do zużycia klocka metalicznego. W przypadku tarcia w obecności ścierniwa zużycie poszczególnych rodzajów klocków kształtowało się na takim samym poziomie wartości.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

ZUŻYCIE TRIBOKOROZYJNE STALI 316L W ŚRODOWISKU ALKALICZNYM

Marcin Kowalski^{1*}, Joanna Kowalczyk², Monika Madej², Arkadiusz Stachowiak³

¹Politechnika Warszawska, Filia w Płocku, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii, ul. Łukasiewicza 17, 09-400 Płock

²Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

³Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

**Adres korespondencyjny: e-mail: marcin.kowalski2@pw.edu.pl*

Słowa kluczowe: tribokorozja, zużycie, roztwór zasadowy

Streszczenie

Tribokorozja, czyli połączony efekt zużycia mechanicznego i korozji elektrochemicznej, stanowi poważne wyzwanie w zastosowaniach inżynierskich obejmujących stale nierdzewne. Niniejszy artykuł analizuje zużycie tribokorozyjne stali nierdzewnej 316L w środowisku alkalicznym, szczególnie w roztworach boranowych, podkreślając wpływ potencjału elektrochemicznego na degradację materiału.

Testy tribokorozji przeprowadzono w tribometrze posuwisto-zwrotnym z kulą Al_2O_3 o średnicy 6 mm jako przeciwpróbką i przyłożonym obciążeniem 2,7N. Wybrane warunki elektrochemiczne do testów tribokorozji to dwa potencjały, w warunkach katodowych -0,9 V (MSE) i anodowych -0,5 V (MSE) stali w roztworze boranowym. Czas trwania wszystkich testów wynosił 30 minut, a długość śladu zużycia wynosiła 5 mm.

Wyniki wyraźnie pokazują efekt synergii zużycia i korozji. Zużycie tribokorozyjne w warunkach anodowych jest znacznie wyższe niż w warunkach katodowych.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**BADANIE WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNYCH SMARÓW PLASTYCZNYCH
ZAWIERAJĄCYCH WOSK PSZCZELI**

Tadeusz Leśniewski ^{1*}

**¹Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw
Konstrukcji Maszyn i Układów Mechatronicznych, Wybrzeże Stanisława
Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław**

**Adres korespondencyjny: e-mail: tadeusz.lesniewski@pwr.edu.pl*

Słowa kluczowe: smar plastyczny, wosk pszczeli, tarcie, zużywanie

Streszczenie

W pracy przedstawiono, wyniki badań tarcia i zużywania czterech smarów (kompozycji smarnych) na bazie wosku pszczelego z olejem hydraulicznym ISO 32. Badania zrealizowano przy wykorzystaniu dwóch testerów: standardowego aparatu czterokulowego przy częściowym zastosowaniu wytycznych normy PN-76/C-04147 służącego do ocena skuteczności działania otrzymanych smarów na podstawie granicznego obciążenia zużycia G_{oz} oraz na testerze kulka-tarcza do określenia charakterystyk tribologicznych w przyjętych obszarach wymuszeń. Podano wyniki skaz zużycia kulek oraz wyniki obserwacji przebiegów siły tarcia oraz śladów zużycia wykorzystanych tarcz ze stali C45 współpracujących z kulkami ze stali Cr100. Przedstawiono wyniki wpływu zmiany procentowego udziału wosku pszczelego w smarze plastycznym na charakterystyki tribologiczne węzła trącego. Testy w każdym etapie i dla każdego punktu pomiarowego były zawsze powtarzane minimum pięciokrotnie. Wyniki opracowano statystycznie przy poziomie ufności 95% stosując test t-Studenta.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**ANALIZA ZUŻYCIA ENDOPROTEZ STAWU BIODROWEGO
TYPU METAL-METAL WYKONANYCH ZE STOPU CO28CR6MO
NA PODSTAWIE BADAŃ STANOWISKOWYCH**

Michał Libera^{1*}, Tomasz Wiśniewski², Łukasz ŁAPAJ³

*¹Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu,
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań*

*²Sieć Badawcza Łukasiewicz-Poznański Instytut Technologiczny,
ul. Ewarysta Estkowskiego 5, 61-755 Poznań*

*³Ortopedyczno-Rehabilitacyjny Szpital Kliniczny im. W. Degi UM w Poznaniu
ul. 28 Czerwca 1956 nr 135/147, 61-545 Poznań*

**Adres korespondencyjny: e-mail: michal.libera@put.poznan.pl*

Słowa klucz: endoprotezy typu metal-metal, zużycie

Streszczenie: W niniejszej pracy analizowano zagadnienie zużycia tribologicznego komponentów endoprotezy stawu biodrowego o powierzchniach typu metal-metal. Przeprowadzono badania tribologiczne z wykorzystaniem symulatora SBT.01, który odtwarza ruchy zginania i prostowania oraz obciążenia typowe dla stawu biodrowego człowieka w trakcie chodzenia. Testowane endoprotezy wykonane były z wysokowęglowego stopu kobaltu, chromu i molibdenu (Co28Cr6Mo).

Eksperyment obejmował dziewięć różnych konfiguracji zestawienia „głowa-panewka”, odmiennych pod względem wartości kątów antetorsji głowy oraz antewersji panewki. Pozostałe parametry geometryczne, takie jak kąt inklinacji i szyjkowo-trzonowy, ustawiano jednakowo w każdym przypadku. Konkretnie wartości kątów ustalono na podstawie obrazów uzyskanych z tomografii komputerowej pacjentów po zabiegu wszczepienia endoprotezy. Uzyskane wyniki pozwoliły opracować zależności między masą zużytych elementów a współczynnikiem tarcia w funkcji kątów antetorsji głowy oraz antewersji panewki.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**OCENA POTENCJALNYCH WŁAŚCIWOŚCI UŻYTKOWYCH POWIERZCHNI
POWŁOK AZOTKOWYCH STOSOWANYCH W TECHNICIE MEDYCZNEJ**

**Magdalena Niemczewska-Wójcik^{1*}, Danuta Owczarek¹, Monika Madej²,
Piotr Niesłony³, Michał Jakubowicz⁴**

¹Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków

²Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Kielce

³Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Opole

⁴Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Poznań

*Adres korespondencyjny: e-mail: magdalena.niemczewska-wojcik@pk.edu.pl

Słowa kluczowe: biomateriały, inżynieria powierzchni, powłoki azotkowe, pomiary stykowe, topografia powierzchni, parametry tekstury powierzchni, właściwości użytkowe

Streszczenie

Przedmiotem badań i analiz są wybrane powłoki azotkowe (TiN, CrN, ZrN) osadzone na podłożu stali chirurgicznej AISI 316L, mające zastosowanie w technice medycznej na elementy trące, m.in. w stomatologii oraz chirurgii. Przygotowane w procesie technologicznym elementy w kształcie walca (o zróżnicowanej charakterystyce powierzchni warstwy wierzchniej – dwa rodzaje ukształtowania, tj. powierzchnie polerowane i powierzchnie piaskowane), poddano badaniom topografii powierzchni przy wykorzystaniu stykowej metody pomiaru. Powierzchniami bazowymi były powierzchnie elementów bez pokrycia, czyli AISI 316L. Celem badań była charakterystyka potencjalnych właściwości użytkowych powierzchni badanych powłok azotkowych i porównanie ich z właściwościami powierzchni bazowych. Otrzymane wyniki analizy topografii powierzchni pokazały, że elementy polerowane, w porównaniu do piaskowanych, cechowała znacząco mniejsza chropowatość powierzchni (określona przez S_q , S_p , S_v , S_{sk} , S_{ku}), przy czym najmniejsze wartości uzyskano dla powłoki CrN. W przypadku powierzchni piaskowanych, najmniejsze wartości uzyskano dla powłoki TiN. Analiza profilu powierzchni pokazała nieco odmienne wyniki – dla elementów polerowanych najmniejszą chropowatość uzyskano dla powłoki ZrN, a dla elementów piaskowanych była to powierzchnia AISI 316L. Mniejsza chropowatość przekłada się na większe zużycie adhezyjne, a większa chropowatość – na zużycie ścierne. Weryfikacja wyników nastąpi w drodze badań tarciovo-zużyciowych.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WPLYW RODZAJU SMAROWANIA NA OPORY RUCHU W NARCIARSTWIE
BIEGOWYM**

Anita Ptak ^{1*}, Marek Orawiec ¹

**¹Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny,
ul. I. Łukasiewicza 5, 50-371 Wrocław**

**Adres korespondencyjny: e-mail: anita.ptak@pwr.edu.pl*

Słowa kluczowe: tarcie, smary, narciarstwo biegowe, ślizgi nart, fluor

W pracy dokonano oceny wpływu środków smarnych na właściwości tribologiczne ślizgów nart biegowych z uwagi na zakaz stosowania preparatów fluorowych wprowadzonego przez FIS i IBU od sezonu 2023/24. W badaniach porównano tradycyjne smary zawierające fluor oraz nowe preparaty wolne od tego dodatku. Zakres analiz obejmował wyznaczenie współczynników tarcia statycznego i kinetycznego w różnych temperaturach, ocenę hydrofobowości powierzchni (kąty zwilżania) oraz charakterystykę topografii ślizgów z wykorzystaniem profilometru optycznego i skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM).

Uzyskane wyniki wykazały, że wszystkie smary znacząco obniżają wartości współczynników tarcia względem ślizgu nienasmarowanego. Preparaty fluorowe charakteryzowały się lepszymi właściwościami tribologicznymi, zwłaszcza w zakresie redukcji tarcia i zwiększania hydrofobowości. Z kolei smary bezfluorowe skuteczniej wygładzały powierzchnię ślizgów, przyczyniając się do zmniejszenia oporów ruchu w wyższych temperaturach. Uzyskane zależności wskazują, że redukcja tarcia w warunkach zmiennej temperatury zależy nie tylko od charakteru warstwy smarnej, lecz również od zdolności powierzchni do kontrolowania filmu wodnego w strefie kontaktu. Wyniki te mogą stanowić podstawę do dalszego modelowania procesów tarcia ślizg–lód oraz do optymalizacji składu chemicznego i struktury środków smarnych pod kątem połączenia wysokiej skuteczności z wymogami środowiskowymi.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WPLYW DODATKU BIEWĘGLA Z KUKURYDZY
NA ZMIANY CHARAKTERYSTYK TRIBOLOGICZNYCH
MINERALNYCH SMARÓW PLASTYCZNYCH**

**Paweł Radulski ^{1*}, Jarosław Molenda ¹, Rafał Kozdrach ¹, Monika
Łożyńska¹, Karolina Dziosa ¹, Monika Makowska ¹**

**¹Sieć Badawcza Łukasiewicz Instytut Technologii Eksploatacji, Centrum
Biogospodarki i Ekoinnowacji, ul. Kazimierza Pułaskiego 6/10, Radom**

**Adres korespondencyjny: e-mail: pawel.radulski@itee.lukasiewicz.gov.pl*

Słowa kluczowe: biowęgiel, smary plastyczne, graniczne obciążenie zużycia, graniczny nacisk zatarcia, obciążenie zacierające

Streszczenie W pracy zbadano możliwość wykorzystania biowęglu z kukurydzy jako dodatku do mineralnych smarów plastycznych. Analizy spektroskopowe wykazały, że materiał uzyskany w czasie pirolizy w temperaturze 500°C zawiera więcej grup tlenowych, które poprawiają właściwości tribologicznych smarów, oraz charakteryzuje się korzystniejszą strukturą grafitopodobną niż biowęgiel uzyskany w temperaturze 700°C. Biowęgiel wprowadzono do smaru mineralnego o klasie konsystencji NLGI II w ilości 1, 3 i 5%, a wyniki porównano ze smarem komercyjnym zawierającym grafit oraz ze smarem bazowym pozbawionym dodatków smarnych. Na testerze T-02 zbadano właściwości przeciwwużyciowe oraz przeciwwzatarciowe kompozycji smarowych. Stwierdzono, że graniczne obciążenie zużycia dla smaru, do struktury którego wprowadzono 3% biowęglu było wyższe o 21% w stosunku do smaru bazowego i o 144% wyższe od wartości tego parametru uzyskanego dla smaru zmodyfikowanego 3% grafitu. Smar z dodatkiem biowęglu charakteryzował się wyższym obciążeniem zacierającym niż smar, w którym jako dodatek zastosowano grafit. Wprowadzenie 5% dodatku do struktury smaru spowodowało wzrost parametru p_{oz} o 184% w stosunku do wartości uzyskanej dla smaru bazowego i o ok. 10% w stosunku do wartości tego parametru uzyskanego dla smaru zmodyfikowanego grafitem. Uzyskane wyniki potwierdzają, że biowęgiel z kukurydzy przy wyższych stężeniach może zastępować grafit w smarach plastycznych, zwiększając odporność na zatarcie oraz poprawiając właściwości przeciwwużyciowe.



POLSKIE TOWARZYSTWO TRIBOLOGICZNE
członek International Tribology Council

**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

ANALIZA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNYCH PAR GRAFITOWYCH PAKUNKÓW PLECIONYCH-STAL STOPOWA W WARUNKACH SUCHYCH I WILGOTNYCH

Aleksandra Rewolińska ^{1*}, Łukasz Wojciechowski ¹

**¹Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, ul.
Piotrowo 3, 60-965 Poznań**

**Adres korespondencyjny: e-mail: aleksandra.rewolinska@put.poznan.pl*

Słowa kluczowe: grafit ekspandowany, grafit naturalny, pakunki plecione, stal stopowa

Streszczenie

Materiały grafitowe znacząco poprawiają właściwości tribologiczne pakunków plecionych szeroko stosowanych w technice uszczelniania. Jednak w literaturze brakuje szczegółowych badań na temat współpracy grafitowych materiałów ze stalowymi powierzchniami oraz wpływu środowiska wodnego na mechanizmy tarcia i zużycia. Tymczasem skojarzenia te często pracują w środowisku wodnym. Szczególnie istotne jest zrozumienie zjawiska tworzenia się warstwy grafitu na powierzchni stali i jego wpływu na właściwości tribologiczne.

Celem pracy była ocena właściwości tribologicznych pakunków plecionych zawierających grafit naturalny oraz grafit ekspandowany we współpracy ze stalą stopową, zarówno w warunkach suchych, jak i wilgotnych. Badania przeprowadzono z użyciem testera typu blok–pierścien. Zachowanie cierne analizowano na podstawie zmierzonych wartości momentu tarcia oraz obliczonego współczynnika tarcia. Uzyskane wyniki wykazały, że zarówno rodzaj zastosowanego materiału grafitowego, jak i warunki pracy, mają istotny wpływ na zjawiska tribologiczne. Pakunki z dodatkiem grafitu ekspandowanego charakteryzowały się niższymi wartościami współczynnika tarcia niż zawierające grafit naturalny. W warunkach suchych współczynnik tarcia był wyższy niż w warunkach wilgotnych dla obu materiałów. Obecność wody obniżała temperaturę pary ciernej, jednak przyczyniała się do intensyfikacji zużycia badanych próbek. Ilość grafitu osadzonego na powierzchni stali zależała zarówno od rodzaju zastosowanego grafitu, jak i od warunków pracy. Przeprowadzone badania dostarczyły nowych informacji na temat mechanizmów tarcia i zużycia wybranych kombinacji materiałów w środowisku suchym i wilgotnym, co może mieć istotne znaczenie dla praktycznych zastosowań inżynierskich w technice uszczelniania.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**WPLYW WIELKOŚCI ZIARNA NA ZUŻYCIE ŚCIERNE I EROZYJNE POWŁOKI
POLIURETANOWEJ**

Justyna Sokolska ^{1*}

**¹Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, ul. Łukasiewicza 5, 50-371
Wrocław**

**Adres korespondencyjny: e-mail: justyna.sokolska@pwr.edu.pl*

Słowa kluczowe: zużycie ścierne, zużycie erozyjne, powłoka poliuretanowa, wielkość ziarna

W pracy zbadano zużycie ścierne oraz erozyjne powłoki poliuretanowej o twardości 70 ShD oraz grubości 3 mm, naniesionej na podłoże w postaci blachy stalowej S235 o grubości 3 mm. Zużywanie przeprowadzono w obecności ścierniwa w postaci elektrokorundu Al_2O_3 o pięciu różnych wielkościach ziaren: F70, F90, F120, F150, F220, co pozwoliło na określenie wpływu wielkości ziarna na zużycie ścierne i erozyjne powłoki poliuretanowej. Wykazano nieliniową zależność zużycia ściernego i erozyjnego od wielkości ziarna. Dodatkowo przeprowadzono analizę struktury geometrycznej oraz obrazów mikroskopowych powierzchni po badaniu, aby opisać mechanizm zużywania ściernego i erozyjnego badanej powłoki. W przypadku zużywania ściernego dominującym mechanizmem jest skrawanie, natomiast w zużywaniu erozyjnym przeważa pękanie, a następnie wykruszanie materiału, co wynika z wysokiej twardości i niskiej elastyczności badanego materiału.



**XLIII Ogólnopolska Konferencja
Jesienna Szkoła Tribologiczna
9-12 września 2025, Dolsk**

**ZUŻYCIE TRIBOKOROZYJNE STALI AISI 420 W SOKU Z CEBULI
PRZY MAŁYCH NACISKACH**

**Tomasz Kiczek^{1,2*}, Arkadiusz Stachowiak^{3*}, Agata Bieńczak^{1*}, Dariusz
Ulbrich^{3*}, Wiesław Zwierzycki^{3*}**

**¹ Sieć Badawcza Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny,
ul. Ewarysta Estkowskiego 6, 61-755 Poznań,**

**² Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej, ul. Piotrowo 3,
60-965 Poznań**

**³ Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu,
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań**

**adres korespondencyjny: arkadiusz.stachowiak@put.poznan.pl*

Słowa kluczowe: tribokorozja, stal AISI 420, sok z cebuli

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań odporności na tribokorozję stali AISI 420 w soku z cebuli. Badania stanowią jeden z etapów doboru materiału do wykonania noża do cięcia cebuli. Głównym celem badań było wskazanie optymalnych warunków obróbki cieplnej dla zminimalizowania zużycia tribokorozyjnego. Testy tribokorozyjne wykonano na stanowisku z węzłem modelowym ball-on-plate stosując małą siłę nacisku 1.7 N (symulacja warunków eksploatacji noża do cięcia cebuli). Badania wykonano dla 2 wariantów obróbki cieplnej stali AISI 420 po hartowaniu: odpuszczanie średnie w temperaturze 400°C, odpuszczanie niskie w temperaturze 200°C. Stwierdzono, że największą twardość (około 54HRC) zapewnia odpuszczanie w niskiej temperaturze. Większą odpornością na tribokorozję w soku z cebuli przy małych naciskach cechują się jednak próbki stali AISI 420 o trochę niższej twardości (około 51HRC) uzyskane w wyniku odpuszczania średniego.