

Krzysztof WIERZCHOLSKI

TRIBOLOGICZNE ASPEKTY BIONIKI

TRIBOLOGICAL ASPECTS OF BIONICS

Słowa kluczowe:

biomimetyka, adhezja, biotribologia, tribobiomimetyka

Key words:

bio-mimetics, adhesion, bio-tribology, tribo-bio-mimetics

Streszczenie

Bionika jest nauką wskazującą zasady działania systemów technicznych, których charakterystyka jest zbliżona do charakterystyki żywych organizmów. Niniejsza praca przedstawia tribologiczne aspekty bioniki. Uzasadnienie niniejszych rozważań bierze podstawę z następujących stwierdzeń:

- świat biologii jest częścią świata fizyki, dlatego prawa mechaniki oraz tribologii mogą być także stosowane w systemach żywych organizmów.
- w procesie ewolucji, żywe systemy znajdujące się w ruchu wykształciły narządy uzyskujące minimalną albo maksymalną wartość siły tarcia. W technice mamy łożyska (wymagana minimalna wartość siły tarcia) oraz sprzęgła, hamulce (pożądana maksymalna siła tarcia).
- znajdujemy różnorodne powiązania budowy zespołu tkanek u zwierząt i roślin z jednej strony oraz technicznych urządzeń z drugiej strony dotyczących między innymi zawiesznień, podparć, spoin i tym podobnych.

WPROWADZENIE

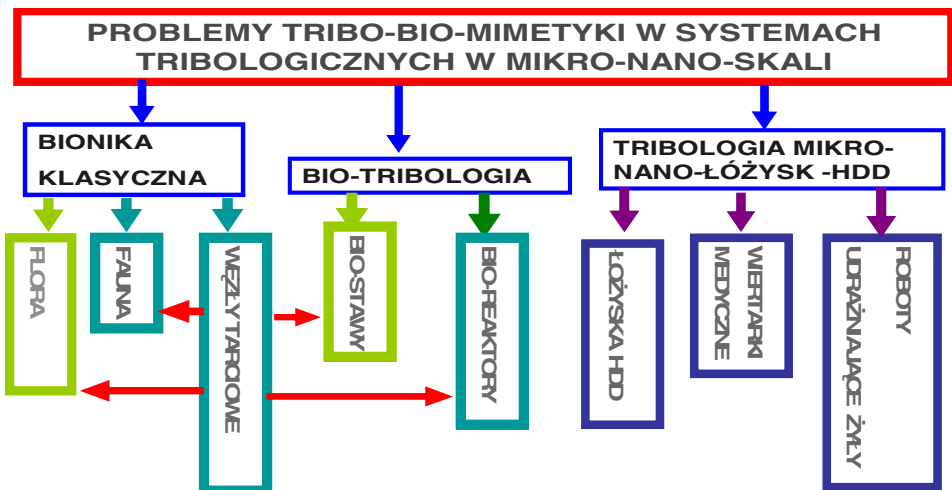
Bionika czyli biomimetyka pochodzi od greckiego słowa bios – życie i mimesis – naśladować. Jest to interdyscyplinarna nauka badająca budowę i zasady działania organizmów żywych oraz ich adaptowanie między innymi w budowie maszyn i tribologii. Niniejszy artykuł zajmuje się problemami bioniki związanymi z poznawaniem i wykorzystywaniem procesów sterujących działaniem organizmów żywych w tribologii.

Opracowania nowych rozwiązań tribologicznych dzięki bionice pozwala na zmniejszenie przypadkowości w badaniach naukowych oraz umożliwia generowanie nowych połączeń tarciovych w budowie maszyn. Tribobiomimetykę charakteryzują sformułowania [L. 5]:

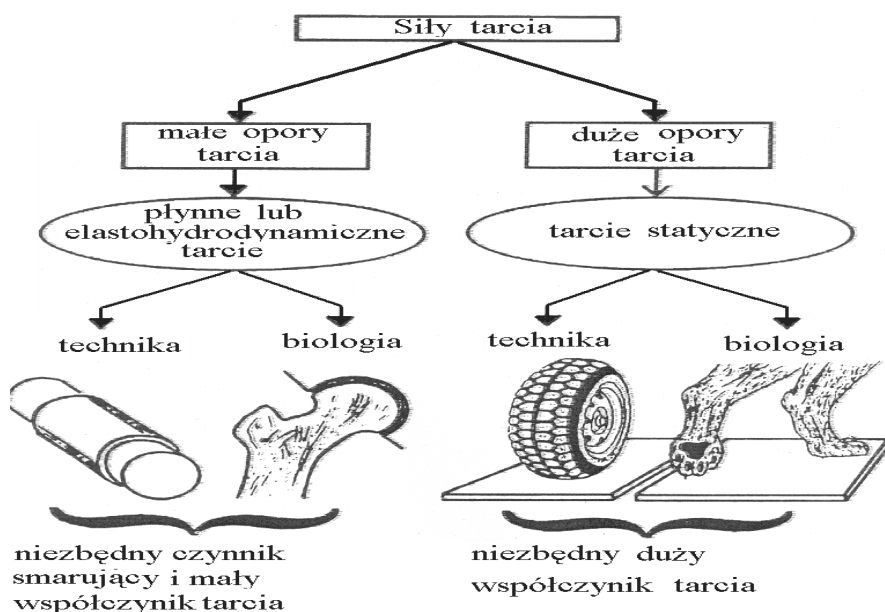
- tribobiomimetyka to nauka na pograniczu tribologii i bioniki,
- tribobiomimetyka zajmuje się rozwiązywaniem zagadnień tribologicznych na podstawie analizy struktury i funkcjonowania organizmów żywych,
- tribobiomimetyka wskazuje zasady działania systemów tribologicznych, których charakterystyka jest zbliżona do charakterystyki żywych organizmów

Problemy bioniki w systemach biologiczno-mechanicznych oraz występowanie minimalnych oraz maksymalnych sił tarcia w tribologii i biologii ilustruje **Tab. 1** oraz **Rys. 1**.

Tabela 1. Ilustracja problemów tribobiomimetyki
Table 1. Presentation of tribo-bio-mimetic problems



Tribobiomimetyka jako nauka czerpie zasady funkcjonowania systemów technicznych, o charakterystyce działania zbliżonej do funkcjonowania mechanizmów fauny i flory. Większość z tych mechanizmów działa na zasadzie tarcia w makro-, mikro-, a nawet nanoskali. W tej dziedzinie rozpatruje się połączenia stawowe oraz bioreaktory. Bioreaktory są to urządzenia do hodowli komórek i tkanek w ściśle określonych i kontrolowanych warunkach.



Rys. 1. Mały i duży współczynnik tarcia w tribologii i biologii [L. 1]

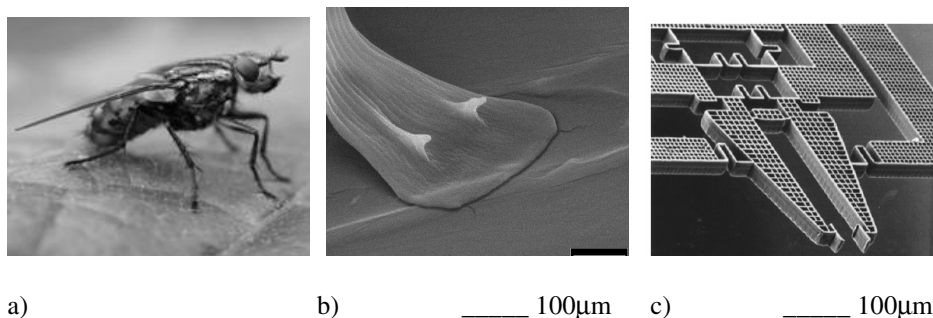
Fig. 1. Small and large friction coefficients in tribology and biology [L. 1]

Zastosowania tribobiomimetyki prowadzą między innymi do problemów smarowania mikrołożysk występujących w twardej dyskach komputerowych, w wiertarkach medycznych, a także w mikrorobotach udrażniających warstwy sklerotyczne w żyłach.

TRIBOLOGIA ADHEZYJNYCH SYSTEMÓW INTELIGENTNYCH

Mikromanipulatory i mechanizmy przyczepności

Rysunek 2 obrazuje zdolność przyczepności do podłoża nogi owada. Cechę tę ilustrują rysunki **Rys. 2a, 2b**. Omawianą zdolność przyczepności wykorzystano przy budowie mikromanipulatora. Ten fakt pokazuje **Rys. 2c**.



Rys. 2. Przyczepność do podłoża: a) owad, b) noga owada [L. 2], c) mikro-manipulator [L. 6]

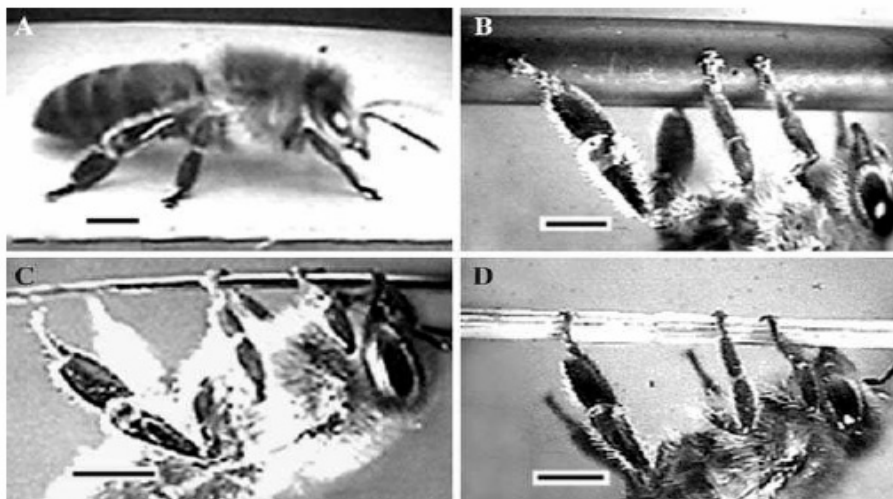
Fig. 2. Adherence to the basis: a) insect, b) insect leg [L. 2], c) micro-manipulator [L. 6]

Rysunek 3 obrazuje chód pszczół (**Rys. 3 I**) oraz kształty sześciu nóg pszczoły (**Rys. 3 II**) umożliwiające przyczepność zarówno do powierzchni płaskich, jak również do powierzchni zakrzywionych. Pszczoła może chodzić po powierzchniach elementów pionowo ustawionych, przemieszczać się po powierzchniach odwróconych a więc chodzić kończynami ustawionymi do góry.

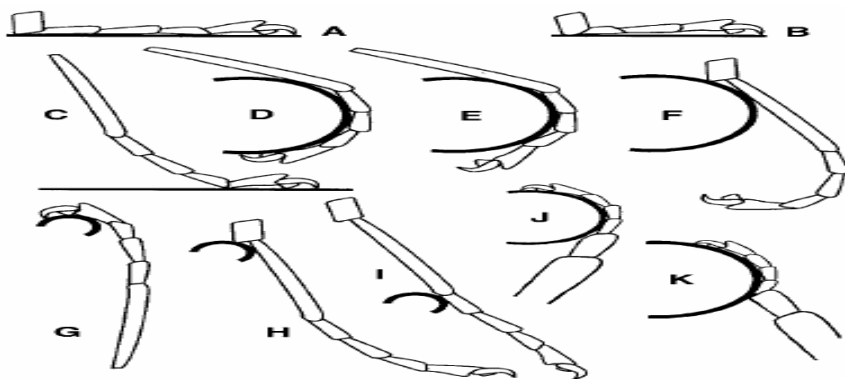
Na **Rys. 4** przedstawiono pazur chrząszcza oraz nanoprzekładnię. W obu przypadkach przyczepności mamy do czynienia z siłami tarcia w mikro- i nanoskali.

Na **Rys. 5** przedstawiono sposób przyczepności kończyn chrząszcza, muchy, pająka do podłoża, co umożliwia szczecina zapewniająca zwiększone siły tarcia z podłożem.

I.

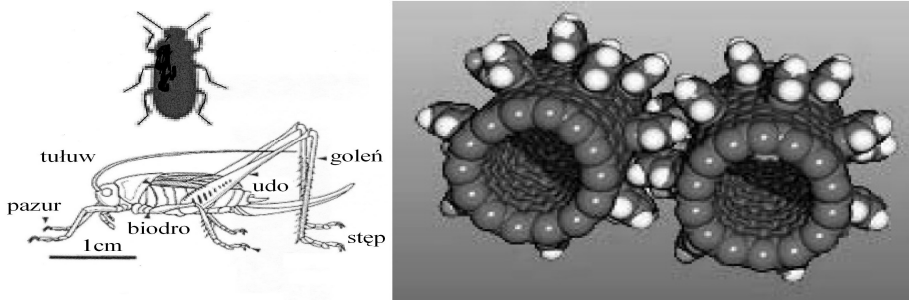


II.



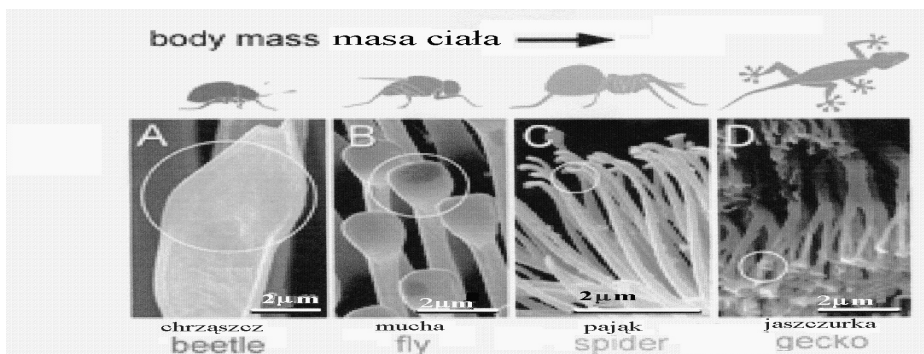
Rys. 3. Mechanizmy nóg pszczoły i ich przystosowanie do poruszania się. Fragment I: Ruch A) na płaskiej powierzchni, B)) na prętach o średnicy 3 mm, C) na prętach o średnicy 0,4 mm, D) na prętach o średnicy 1 mm [L. 4] Zaznaczony odcinek na rysunkach ma długość 2 mm. Fragment II: Kończyny pszczoł dostosowane do wskazanych ruchów

Fig. 3. Mechanisms of bee legs and their movement accommodation. Part I: a) on the flat surface, b) on the rods with 3 mm diameter, c) on the rods with 0.4 mm diameter, d) on the rods with 1 mm diameter [L. 4] Bar denotes two millimeters. Fragment II: Bee legs adapted to the indicated motions



Rys. 4. Nanoprzekładnia skonstruowana na wzór pazura insekta [L. 4, 6]

Fig. 4. Nano-gear constructed after the example of the insect claw [L. 4, 6]



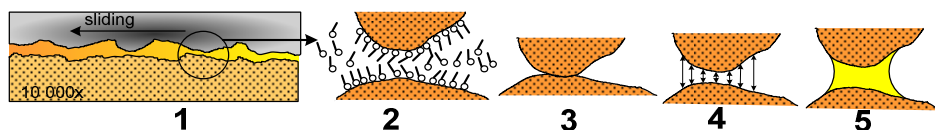
Rys. 5. Szczecina na kończynach: A – chrząszcza, B – muchy, C – pająka, D – jaszczurki [L. 4]

Fig. 5. Bristle on the legs: A – beetle, B – fly, C – spider, D – gecko [L. 4]

Adhezja w mikrołożyskach

Zjawiska tribologiczne zachodzące pomiędzy: kończynami pszczoły, muchy, pająka a podłożem oraz zjawiska w mikropołączeniach tych kończyn z tułowiem porównuje autor ze zjawiskami tarciovymi występującymi w badanych mikrołożyskach. Poruszany problem stanowi próbę przeniesienia oraz podpatrzenia udoskonalonej specyfiki mikrotarcia przez tysiące lat ewolucji u owadów na problemy dotyczące specyficznego smarowania mikrołożysk odmiennego od klasycznej hydrodynamiki. Mikrołożyska, w których średnica wałka ma około 1 mm są systemami

adhezyjnymi. Podstawowym współczynnikiem materiałowym w hydrodynamicznej teorii smarowania jest lepkość dynamiczna oleju. Lepkość dynamiczna jest siłą tarć wewnętrznych występujących pomiędzy przemieszczającymi się molekułami czynnika smarującego mnożona przez jednostkę czasu. Lepkość dynamiczna oleju na skutek sił adhezji w super cienkich warstwach rośnie wykładniczo po grubości filmu wraz ze zbliżaniem się do powierzchni. Można więc założyć, że lepkość dynamiczna oleju w super cienkich filmach jest sumą lepkości klasycznej η (niezmieniającej się po grubości filmu) uzupełnionej lepkością η_{ah} wytworzoną przez siły adhezji oraz lepkością η_{kh} wywołaną na skutek sił kohezji zmieniającej się po grubości filmu. Lepkość dynamiczna generuje ciśnienie hydrodynamiczne [L. 3, 6, 7]. Ciśnienie całkowite jest sumą ciśnienia hydrodynamicznego klasycznego powstałego przy klasycznej lepkości oleju η oraz dodatkowo ciśnienia przedstawionego na **Rys. 7** powstałego na skutek sił adhezji **Rys. 6**.



Rys. 6. System adhezyjny łożysk ślizgowych: 1 – nanochropowatość, 2 – adsorpcja, 3 – sprężyste oraz hipersprężyste deformacje warstwy wierzchniej, 4 – siły Van der Waalsa, 5 – siły kapilarne

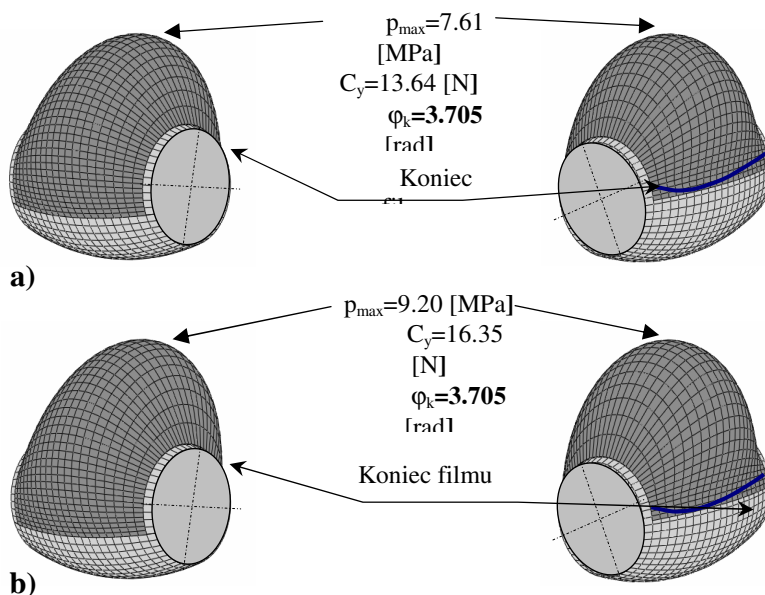
Fig. 6. Adhesion systems in sidle bearings: 1 – Nano-roughness, 2 – adsorption, 3 – elastic and hyper-elastic deformations of the surface, 4 – Van der Waals forces, 5 – capillary forces

Trend badawczy z zakresu mikrołożysk podyktowany jest rozwiązaniami konstrukcyjnymi par ciernych występujących w mikro- i nanosilnikach, miroturbinach, mikrorobotach, mikronarzędziach chirurgicznych, w twardych dyskach komputerowych przy jednoczesnym silnym zapotrzebowaniu na możliwość sterowania parametrami tribologicznymi mikrołożysk ślizgowych w trakcie ich eksploatacji. Przeważająca większość awarii mikromechanizmów jest spowodowane nieuwzględnieniem w konstrukcjach sił adhezji. Adhezja zwiększa wartości ciśnienia, ale jednocześnie zwiększa wartości sił tarcia korzystną dla łożyska, a niekorzystną dla sprzęgła. Siłę tarcia wyznacza wzór:

$$F = \frac{\eta v S}{h} + \mu p S \quad (1)$$

gdzie: η – lepkość dynamiczna cieczy, h – wysokość warstwy cieczy, p – ciśnienie, v – prędkość liniowa, S – powierzchnia tarcia i docisku, μ – współczynnik tarcia.

$a = 0.001$ [m], $a_1 = 0.0008$ [m], $L_{p1} = b_p/a = 1$, $\eta = 0.030$ [Pas], $\omega = 754$ [1/s], $p_o = 5.655$ [MPa]



Rys. 7. Rozkłady ciśnienia hydrodynamicznego w szczelinie mikrołożyska o parabolicznym kształcie czopa. Rysunek po lewej stronie przedstawia początek natomiast po prawej stronie uwidacznia koniec rozkładu ciśnienia; a) rozkłady ciśnienia bez uwzględnienia wpływu adhezji na lepkość oleju, b) rozkłady ciśnienia z uwzględnieniem wpływu adhezji na lepkość oleju

Fig. 7. Hydrodynamic pressure distributions in slide micro-bearing gap with parabolic shape of the journal. On the left side is visible origin and on the right side noticeable the end of the pressure distribution; a) pressure distributions without influence of the adhesion force on the oil viscosity, b) pressure distributions including influence of the adhesion force on the oil viscosity

WNIOSKI

Nowe, doskonalsze rozwiązania węzłów tribologicznych znajdujemy w biomechanice i dlatego coraz częściej powinniśmy się z nimi zapoznawać i starać się je naśladować.

Acknowledgement

This paper was supported by the Polish Ministerial Grant 3475/B/T02/2009/36 in years 2009–2012.

Autor pragnie wyrazić podziękowanie Prof. S.Pytko za cenne uwagi w trakcie pisania pracy.

Literatura

1. Nachtigall W.: Reibungskraefte in belebten Welt. Tribologie-Schmierungstechnik, 1, 1994, pp. 3–10.
2. Nachtigall W.: Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Springer Verlag, Berlin 1998.
3. Pytko S., Wierzcholski K.: Analytical Biobearing Calculation for Experimental Dependencies Between Shear Rate and Synovial Fluid Viscosity. Proceedings of International Tribology Conference in Yokohama, 1995, 3, pp. 1975–1980.
4. Scherge M., Gorb S.N.: Biological Micro-and Nano-tribology. Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York – London, 2000.
5. Ungethüm M., Winkler-Gniewek W.: Tribologie in Medizin. Expert Verlag, Tribologie und Schmierungstechnik, 1990, 5, pp. 268–277.
6. Wierzcholski K.: Bio and slide bearings: their lubrication by non-Newtonian fluids and application in non conventional systems. Vol. III: Tribology process for chondrocytes, human joint and micro-bearing, Monograph (pp. 1–129), Published by Krzysztof Wierzcholski, Gdansk University of Technology, Gdańsk 2006–2007.

Recenzent:
Stanisław PYTKO

Summary

Bionics indicates the main principles of the technical systems that are similar to the characteristics of living organisms. This paper presents tribological aspects of bionics. The reason for such considerations is supported in following statements:

- **The biological world is a part of the physical world; therefore, the rules of mechanics and tribology can also be applied to living systems.**

- **In the evolutionary process, living motion systems become optimised to minimise friction at one end of the system, while maximising it at the other end. For example in technical world, we have bearings (small frictions) and couplings (large friction desired).**
- **The biological diversity of technical applications is immense. Attachment structures are found in a great variety among animals and plants on the one hand, and technical devices, on the other hand, include various sorts of barbs, hooks, suction cups, and sticky pads. They operate by the use of various non-Newtonian liquids, elastic and hypo-elastic materials, and molecular adhesion forces.**