



Organizator:
Politechnika Warszawska
Instytut Techniki Wytwarzania

Przewodniczący:
Lucjan Dąbrowski
ld@meil.pw.edu.pl
http://snoe.meil.pw.edu.pl

Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych

SNOE

Artykuły naukowe z 2015 r.

Patronat naukowy: SEKCJA PODSTAW TECHNOLOGII KOMITETU BUDOWY MASZYN POLSKIEJ AKADEMII NAUK

Bio-Inspiracja w rozwiązywaniu problemów technicznych

Bio-Inspiration in technical problems solving

ADAM RUSZAJ*

DOI: 10.17814/mechanik.2015.12.544

Żadna maszyna czy proces zaprojektowane przez inżynierów nie dorównuje doskonałości organizmów żywych, które stworzyła Natura w procesie ewolucji. Bardzo prężny rozwój technologii wymusza poszukiwanie nowych racjonalnych rozwiązań. Dlatego inżynierowie coraz częściej szukają inspiracji do rozwiązywania problemów technicznych w otaczającym nas środowisku naturalnym. Pomost pomiędzy rozwiązaniami spotykanymi w przyrodzie a techniką tworzy dziedzina wiedzy nazywana „bioniką”. W artykule przedstawiono wybrane zastosowania osiągnięć „bioniki” w technice i określono ogólne kierunki dalszych prac w tym zakresie.

SŁOWA KLUCZOWE: bioinspiracja, sztywność, struktura powierzchni, wytrzymałość zmęczeniowa.

Any machine-tool or process designer by engineers is not as excellent as alive organisms, which manufactured the Nature in evolution process. Very intensive technology development encourages engineers for looking for new original solutions. Because of this fact engineers very often are looking for inspiration in natural surroundings. The bridge between solutions occurring in natural surroundings and technique create the area of knowledge named the “bionic”. In the paper the chosen applications of bionic achievements in technical area are presented. The general directions of further works in this area are also presented.
KEYWORDS: bioinspiration, stiffness, surface structure, fatigue strength, wear resistance.

Wprowadzenie

Bionika (od greckiego bios - życie i mimesis – naśladować); to interdyscyplinarna nauka badająca budowę i zasady działania organizmów żywych z punktu widzenia możliwości ich adaptacji w technice: np. w projektowaniu urządzeń i procesów technicznych na wzór organizmów żywych [1, 2, 3].

W literaturze występują również inne nazwy tej dziedziny: biomimetyka, biomimikra, inżynieria bioniczna. Człowiek od początku swojego istnienia podpatrywał zjawiska występujące w przyrodzie i starał się je wykorzystać. Obecnie rozwiązania występujące w przyrodzie adoptowano w: budownictwie, architekturze, budowie maszyn, lotnictwie, automatyce, mechatronice, elektronice, informatyce, energetyce, inżynierii biomedycznej, inżynierii chemicznej, medycynie oraz mikro i nanotechnologiach. Innymi słowy niemal w każdej sferze naszego życia podlegamy wpływowi przyrody. Inżynierowie podpatrując i modelując rozwiązania natury starają się doskonalić własne rozwiązania konstrukcyjne czy procesowe (układy wentylacyjne czy klimatyzacyjne, kształt struktury poszycia samolotów, statków czy samochodów, struktura i kształt wielu urządzeń i maszyn, wytwarzanie energii, urządzenia i systemy informatyczne, układy sterowanie, mechatronika, specjalne materiały, struktura warstwy wierzchniej, itp. [1, 2, 3]. Czasem trudno uświadomić sobie związki pomiędzy „technologią maszyn” czy „inżynierią produkcji” a rozwiązaniami wypracowanymi przez Naturę. Otóż zgodnie z definicją, jaką podaje Encyklopedia PWN, maszyną jest: urządzenie techniczne zawierające mechanizm lub zespół połączonych ze sobą mechanizmów, służące do przetwarzania energii lub wykonywania określonej pracy mechanicznej; z energetycznego punktu widzenia maszyna jest przetwornicą energii przekształcającą w energię mechaniczną inny jej rodzaj. [http://creationism.org.pl]. Czy biomolekularne systemy w świetle powyższej definicji są maszynami? Oczywiście tak. Potwierdzają to biochemicy. Żywa komórka może być przedstawiona, jako fabryka zawierająca skomplikowaną sieć połączonych linii montażowych, każda z nich złożona jest z układu białkowych maszyn. Dlaczego możemy nazywać białka montażowe tkwiące u podstaw komórkowych funkcji maszynami? Ponieważ dokładnie tak jak maszyny zbudowane przez ludzi do efektywnego działania w makro-

* Prof. dr hab. inż. Adam Ruszaj (ruszaj@mech.pk.edu.pl), Politechnika Krakowska

skopowym świecie, te montażowe białka zawierają precyzyjnie zintegrowane ruchome części w skali mikro i nano. Stąd nasuwa się przypuszczenie, że badania doskonałych „maszyn białkowych” mogą stymulować rozwiązania w maszynach budowanych przez człowieka. Tym bardziej, że w coraz większym zakresie dążymy do miniaturyzacji naszych wyrobów. Dobrym przykładem są: Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS) oraz Nano-Electro-Mechanical Systems (NEMS) [4]. Należy sobie również uświadomić, że oddziaływanie osiągnięć bioniki na współczesnego człowieka jest szersze niż sfera doskonalenia rozwiązań technicznych. Bionika zbliża współczesnego człowieka do środowiska naturalnego, uczy go zrozumienia i szacunku dla rozwiązań wypracowanych przez Naturę, uświadamia mu, że nie jest „panem i władcą środowiska naturalnego, ale stanowi jego element. Bionika integruje również interdyscyplinarne środowiska naukowe i inżynierskie bo racjonalne korzystanie z rozwiązań Natury wymaga pracy zespołowej i współpracy różnych specjalistów (inżynier, informatyk, chemik, fizyk, biolog, lekarz itp.). Bionika daje również nowe argumenty do ochrony i szacunku dla ukształtowanego przez „Naturę” środowiska naturalnego, które jest dla naszej cywilizacji źródłem inspiracji i wiedzy. Dewastując środowisko naturalne niszczymy nieodwracalnie część **nas samych** oraz **część informacji**, które moglibyśmy wykorzystać w rozwoju nauki i techniki a w konsekwencji naszej cywilizacji [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Metodologia prowadzenia badań

Obecnie nie ma jeszcze opracowanej ogólnej metodyki wprowadzania rozwiązań ze sfery przyrody (środowiska naturalnego) do techniki tak jak np. opracowano metodykę badań doświadczalnych oraz statystycznego opracowania wyników. Ale prace o charakterze metodologicznym i metodycznym są prowadzone [np.1, 2, 3] i odnotowujemy dynamiczny rozwój w tym zakresie. Ponadto w pracach dotyczących rozwiązywania konkretnych problemów też zwykle znajdują się aspekty metodyczne rozwiązywania tego konkretnego problemu [7].

W inspirowanym biologicznie projektowaniu obiektów, procesów czy materiałów można wyróżnić dwa podstawowe przypadki [15]:

- A. Sformułowany został problem od strony technicznej i poszukuje się racjonalnego rozwiązania z uwzględnieniem inspiracji czy pomysłu na rozwiązanie problemu w przyrodzie.
- B. Wyizolowano zachodzący w przyrodzie proces lub zidentyfikowano interesujące rozwiązanie konstrukcyjne lub materiał o specjalnych właściwościach i poszukuje się zastosowania w sferze techniki.

Analiza literatury wskazuje, że obecnie przypadek „A” częściej występuje w praktyce. Przypadek „B” występował częściej na wcześniejszych etapach rozwoju człowieka. Szczególnie człowiek pierwotny, ściśle uzależniony od natury i jej kaprysów starał się ją wykorzystywać i naśladować. Dziś każda dziedzina naszego życia, w coraz większym stopniu pozostaje pod wpływem „Natury” ponieważ coraz bardziej doceniamy wzorce, które powstały w wyniku ewolucji. W przypadku „A” problem rozwiązujemy w następujących etapach [1, 7, 15]:

1. Techniczne sformułowanie problemu.
2. Sformułowanie problemu z uwzględnieniem aspektów przyrodniczych (zbiologizowanie problemu).
3. Poszukiwanie biologicznych rozwiązań (literatura, internet, dyskusje ze specjalistami, burza mózgów).
4. Zdefiniowanie biologicznego rozwiązania problemu.
5. Sformułowanie zasad transformacji rozwiązań zidentyfikowanych w przyrodzie do sfery technicznej.
6. Zastosowanie tych zasad w praktyce.

Każdy z wyżej wymienionych etapów należy realizować niezwykle starannie i w interdyscyplinarnym zespole ponieważ można popełnić trudne do wyeliminowania błędy. Mogą one wynikać z:

- zbytniego uproszczenia problemu,
- pochopny (bez wnikliwej analizy) a w konsekwencji niewłaściwy wybór analogii przyrodniczej,
- nieprawidłowe sformułowanie zasad transferu analogii przyrodniczej do sfery techniki.
- nieprawidłowa realizacja zasad transferu do praktyki itp.

Obszary zastosowań bioniki

Z danych literaturowych wynika, że w przyrodzie istnieje około: 55 000 gatunków ssaków, ryb 31 000, ptaków 10 000, gadów ok 8 800 a owadów 1 000 000 oraz ok. 300 000 gatunków roślin. Każdy z tych organizmów ukształtował w wyniku ewolucji swoje własne rozwiązania, które potencjalnie możemy wykorzystać. A jak to kształtuje się w praktyce?. W celu odpowiedzi na to pytanie przeprowadzono analizę literatury specjalistycznej (~218 artykułów) oraz patentów pod kontem tematyki prac badawczych [5, 11] Wśród badanych publikacji źródłem inspiracji były: owady (46), ssaki (28), ryby (20), ptaki (11) oraz gady (9).. Prace dotyczyły bioinspiracji w obszarze materiałów, ruchu, funkcji i zachowań oraz czujników i znajdowały się na etapie koncepcji, badań, prototypu oraz produktu finalnego. Przeprowadzono również analizę patentów z zakresu innowacji bionicznych w USA w okresie 1976 – 2006. Analizę przeprowadzono zgodnie z „Teorią rozwiązywania innowacyjnych problemów (TRIZ) [11]. W badanym okresie najwięcej patentów powstało w obszarze chirurgii. Z analizy wynika również, że bionika jest przydatna do rozwiązywania problemów technicznych dotyczących projektów konstrukcyjnych, procesowych i informatycznych). Ten bardzo ogólny podział powinien być w miarę rozwoju badań uszczegóławiany. Należy podkreślić, że istotnie rośnie liczba patentów od 1/rok w latach 1977 - 2000 do 16 w roku 2006.

Przykłady zastosowań

Zastosowania bioniki są niezwykle różnorodne i dotyczą prawie wszystkich obszarów działalności inżynierskiej: od budownictwa, logistyki transportu, informatyki przez specjalistyczne zastosowania w przemyśle lotniczym, motoryzacyjnym, medycznym do technologii maszyn a szczególnie

projektowania lekkich, sztywnych i wytrzymałych elementów, strukturyzowania powierzchni w celu zwiększenia odporności na zużycie i wytrzymałości zmęczeniowej do procesów wytwarzania (metody przyrostowe, cięcie, szlifowanie czy wiercenie). Problemy są bardzo złożone i częściowo zostały omówione w [1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18].

Firma Mercedes zaprezentowała bioniczny samochód: wzorowany na rybie "boxfish" - występującej w Morzu Czerwonym pośród raf koralowców i tropikalnej flory (Rys.1).



Rys. 1. Tropikalna ryba "boxfish" – występująca w Morzu Czerwonym o współczynniku oporu ruchu zaledwie 0,06, którą wykorzystano, jako model do budowy bionicznego samochodu.

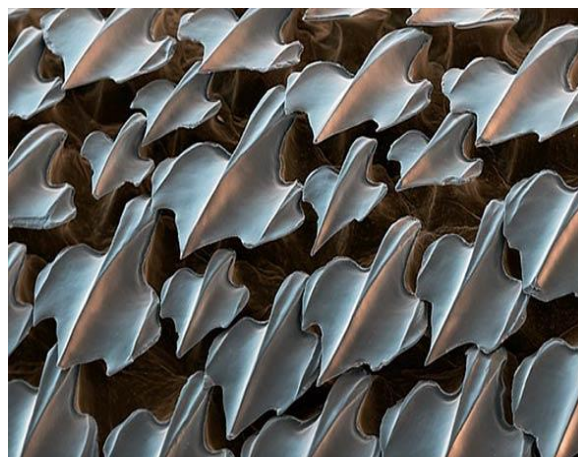
[motogazeta.moje auto.pl/Premiery/Rybo-Mercedes]

Dodatkowo zastosowano w nim oszczędny i ekologiczny silnik diesla z technologią SCR (selektywnej redukcji katalitycznej). Efektem współpracy biologów z inżynierami jest lekkie i opływowe nadwozie z rekordowym współczynnikiem oporu powietrza C_d 0.19 (Rys.2).



Rys. 2. Samochód bioniczny o wymiarach: długość 4,24 metra, szerokość 1,82 m, wysokość 1,59 m, rozwija zaś prędkość maksymalną 190 km/h. [motogazeta.moje auto].pl/Premiery/Rybo-Mercedes]

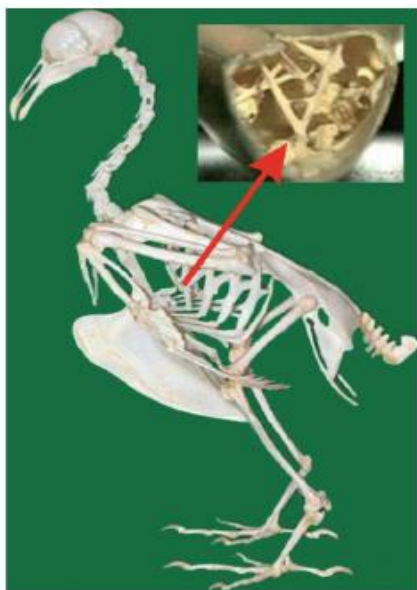
Lufthansa włączyła się do badań powłok mających zmniejszyć opór samolotów pasażerskich [Lotnictwo cywilne, 17 lutego 2013, www.altair.pl]. Fragmenty dwóch jej Airbusów A340 zostaną pokryte powłoką naśladującą skórę rekina. Jeśli przez silne szkło powiększające obejrzymy powierzchnię skóry rekina, łatwo dostrzeżemy, że jest pokryta delikatnymi łuskami (Rys. 3). Na łuskach jest wiele leżących blisko siebie równoległych rowków, biegnących wzdłuż ciała zwierzęcia. Specjaliści od hydrodynamiki, na podstawie szeregu doświadczeń wykonanych w basenach badawczych, stwierdzili, że rowki te zmniejszają opór, jaki stawia woda opływająca rybę. Dzięki owym wyłobieniom rekin pływa bardzo szybko, zaoszczędzając sporo energii [6].



Rys. 3. Model skóry rekina [www.bing.com, 6]

Bionika zajmuje się również modelowaniem systemów i procesów biologicznych człowieka. Jest to niezbędne dla budowy np. sztucznych organów. Badania funkcjonowania i modelowanie działania organizmu człowieka są niezbędne do racjonalnego rozwoju medycyny i inżynierii biomedycznej. Dzięki badaniom dr Miguela Angelo L. Nicolesisa opracowano kontrolowany umysłem egzozszkielet. Sygnały z mózgu wysyłane są do komputera wielkości telefonu komórkowego (np. przyłączonego do pasa). Z kolei komputer steruje pracą silników uruchamiających stawy. Ubrany w taki egzozszkielet Juliano Pinto (piłkarz z porażeniem czterokończynowym) kopną piłkę rozpoczynając mistrzostwa świata w piłce nożnej w Brazylii [18].

Projektowanie konstrukcji lekkich i sztywnych jest obecnie jednym z ważniejszych trendów rozwojowych w konstrukcji maszyn [3]. Inspirację do poszukiwania racjonalnych rozwiązań daje bionika [1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 14]. Poniżej przedstawiono na rysunkach wybrane organizmy, które stanowiły inspirację do poszukiwania racjonalnych rozwiązań konstrukcyjnych.



Rys. 4. Szkielet gołębia stanowi jedynie 8-9% całkowitej masy; przekrój kości wewnątrz pusty z widocznymi usztywnieniami poprzecznymi [3]

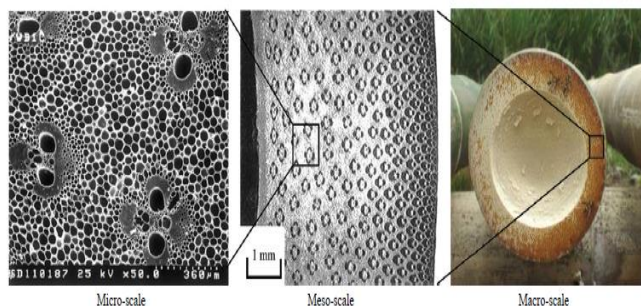
Na podstawie analizy wybranych (np. z Rys. 4 – 9) struktur projektowanie elementu odbywa się zwykle w następujących etapach: wytypowanie struktury bionicznej, modelowanie struktury metodą elementów skończonych, budowa modelu (zwykle metodami przyrostowymi), badania modelu, wprowadzenie poprawek i wykonanie gotowego wyrobu. Wyrób zwykle charakteryzuje się większą sztywnością oraz mniejszym ciężarem w stosunku do wyrobów projektowanych tradycyjnie. Szczegółowe przykłady takich rozwiązań przedstawiono poniżej na Rys. 10 – 12].



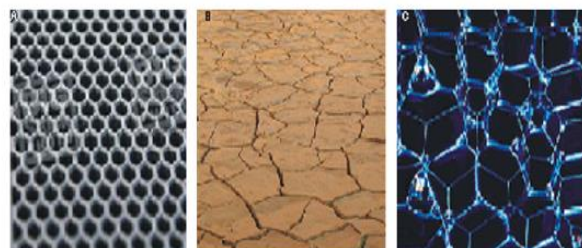
Rys.5. Drzewo z szeroko rozłożonymi gałęziami; mimo rozwidleń kolejnych gałęzi nie występują obszary spiętrzenia naprężeń [3]



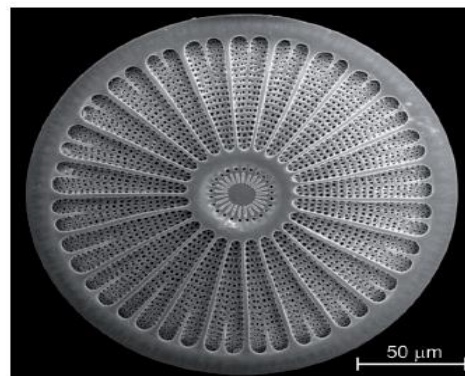
Rys. 6. Bambus pomimo wysmukłej i lekkiej budowy odznacza się bardzo dużą stabilnością i sztywnością [3]



Rys. 7. Struktura bambusa w różnych skalach [19]



Rys. 8. Struktura plastra miodu skopiowana w naturze oraz w inżynierii bionicznej [10]



Rys. 9. Okrzemka (Arachnoidiscus) z oryginalną geometryczną strukturą porów [3]



Rys. 10. Bioniczny model elementu lotniczego wykonany odlewaniem metodą wytapianego modelu [20]



Rys. 11. Bioniczny model ramy samolotu; struktura umacniająca została wykonana frezowaniem NC [20]

a)



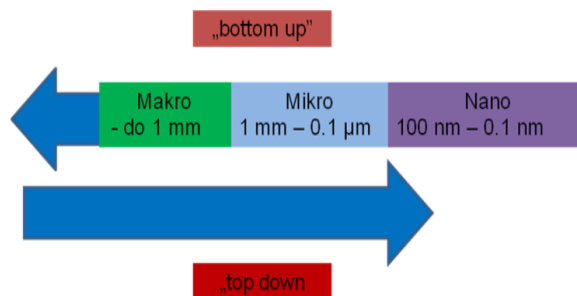
b)



Rys. 12. Element wykonany w sposób tradycyjny (a) oraz inspirowany biologicznie (b) [13]

Obserwuje się również inspirowane bionicznie zmiany w procesach wytwarzania. Natura wytwarza

obiekty stosując podejście „bottom up”; zaczynając od tworzenia nanoobiektów, aby następnie w procesach samoorganizacji i samoreplikacji budować mikro i makrosystemy (Rys.13).



Rys.13. Granice wymiarowe nano, mikro i makroobiektów w aspekcie strategii wytwarzania. „bottom up” i top down”

Stosowana przez „Naturę” strategia „bottom up” była inspiracją do opracowania i dynamicznego rozwoju metod przyrostowych (Rys.14). Obecnie można uzyskać rozdzielczość wykonywanych elementów czy struktur rzędu kilku mikrometrów (np. Selekttywne spiekanie laserowe, Stereolitografia itp. do kilku nanometrów (Polimeryzacja wielofotonowa).)



Rys. 14. Schemat wytwarzania metodami przyrostowymi [4].

Prowadzone są również badania inspirowanych biologicznie procesów szlifowania, wiercenia, formowania, strukturyzowania warstwy wierzchniej oraz specjalnych procesów przyrostowych występujących w przyrodzie[6, 15, 16, 17]

Podsumowanie

Dotychczasowe osiągnięcia bioniki są bardzo obiecujące i potwierdzone badaniami, prototypami oraz wdrożeniami w pełni dopracowanych rozwiązań w wielu obszarach techniki. Należy się również spodziewać, że w obszarze technologii maszyn czy inżynierii produkcji będą kontynuowane badania, szczególnie w zakresie projektowania zespołów obrabiarek czy innych urządzeń, oraz specjalnych procesów wytwarzania. Przewiduje się również intensyfikację badań w zakresie: ograniczenia emisji CO₂, niekonwencjonalnych źródeł energii, rozwoju systemów informatycznych oraz inżynierii biomedycznej.

LITERATURA

1. Samek A., Bionika – wiedza przyrodnicza dla inżynierów, Wydawnictwa AGH, Kraków 2010.
2. Tkacz E., Borys P., Bionika, WNT, Warszawa, 2006.
3. Oczos K.E., Kawalec A., Kształtowanie metali lekkich, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
4. Ruszaj A., Skoczypiec S., Wyszyński D., Lipiec P., Wybrane aspekty zastosowania mikro i nanotechnologii w procesach wytwarzania, Inżynieria Maszyn, 4, 7-18, 2011.
5. Lurie-Luke E., Product and technology innovation: What can biomimicry inspire, *Biotechnology Advances* 32 (2014), 1494-1505.
6. Shu L.H., Ueda K., Chiu I., Cheong H., Biologically inspired design, *CIRP Annals – Manufacturing Technology* 60 (2011), 673-693.
7. Grigorian M., Biomimicry and theory of Structures – Design Methodology Transfer from Trees to Moment Frames, *Journal of Bionic Engineering* 11 (2014) 638-648.
8. Zhao L., Chen W., Ma J., Yang Y., Structural bionic design and experimental verification of a machine tool column, *Journal of Bionic Engineering Suppl.* (2008), 46-52.
9. Mill F., Sherlock A., Biological analogies in manufacturing, *Computers in industry* 43 (2000) 153-160.
10. Quin S., Gaughran W., Bionics-an inspiration for intelligent manufacturing and engineering, *Robotics and computer – integrated manufacturing* 26 (2011) 620-632.
11. Walter L., Isenmann R., Moehrle M.G., Bionic in patents – semantic based analysis for the exploitation of bionic principles in patents, *Procedia Engineering* 9(2011) 620-632.
12. Zhao L., Ma J., Chen W., Guo H., Lightweight Design and verification of Gantry Machining Centre Crossbeam Based on Structural Bionic, *Journal of Bionic Engineering* 8 (2011) 201 – 206.
13. Emmelmann C., Sander P., Kranz J., Wycisk E., Laser additive Manufacturing and Bionic, Redefining Lightweight Design, *Physics Procedia* 12(2011) 364-368.
14. Li B., Hong J., Liu Z., Stiffness design of machine tool structures by a biologically inspired topology optimization method, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2014.03.005>.
15. Linke B.S., Moreno J., New Concept for bio-inspired grinding, *Journal of Manufacturing Processes* 19 (2015) 73 – 80.
16. Chen Z., Lu S., Song X., Zhang H., Yang W., Zhou H., Effects of bionic units on the fatigue wear of gray iron surface with different shapes and distributions, *Optics & Laser Technology* 66 (2015) 166-174.
17. Lu J., Yang CH., Zhang L., Feng A., Jang Y., Mechanical Properties and Microstructure of Bionic Non-Smooth Stainless Steel Surface by Laser Multiple Processing, *Journal of Bionic Engineering* 6 (2009) 180 – 185.
18. Michio Kakau, Przyszłość umysłu – Dążenie nauki do zrozumienia i udoskonalenia naszego umysłu (tytuł oryginalny: The future of the mind – The scientific Quest to understand , enhance and unpower the ind), Prószyński Media. Sp. Z. oo, Warszawa 2014].
19. Ling Zhao, Jianfeng Ma, Ting Wang, Denghai Xing; Lightweight Design of Mechanical Structures based on Structural Bionic Methodology; *Journal of Bionic Methodology* 7 Suppl. (2010) 224 – 231.
20. Ling Zhao, Jianfeng Ma, Ting Wang, Denghai Xing; Lightweight Design of Mechanical Structures based on Structural Bionic Methodology; *Journal of Bionic Methodology* 7 Suppl. (2010) S 224 – S231].