

# Bionika w rozwoju urządzeń pomiarowych

## Bionic in measurement equipment development

ADAM RUSZAJ \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.471

Urządzenia pomiarowe odgrywają podstawową rolę w procesach produkcyjnych w pomiarach wielkości geometrycznych wyrobów. Systemy pomiarowe są również niezbędne w automatach i robotach w celu realizacji zaprogramowanych zadań. Rozwój dowolnego systemu pomiarowego może w wielu przypadkach być stymulowany przez rozwiązania wypracowane przez naturę w procesie ewolucji organizmów żywych (zwierząt i roślin). Przykłady takich bioinspiracji zostały przedstawione w artykule.

**SŁOWA KLUCZOWE:** bionika, sztywność, odkształcenia, zużycie, odporność na drgania

*Measurement systems play basic role in production processes for products geometry measurements. Measurements systems are also applied in automats or robots in order to fulfill programmed tasks. Development of any measurement systems in many cases can be stimulated by solutions worked out by the Nature in evolution process of alive organisms (animals and plants). Examples of such bioinspirations are presented in the paper.*  
**KEYWORDS:** bionic, stiffness, distortions, wear, vibration resistivity

Urządzenia pomiarowe są podstawowym elementem niezbędnym do realizacji produkcji elementów maszyn, urządzeń i narzędzi. Z ich wykorzystaniem dokonuje się pomiarów międzyoperacyjnych oraz pomiarów gotowego wyrobu w celu oceny zgodności jego wymiarów rzeczywistych z założonymi. Takie pomiary często wykonuje się na uniwersalnych współrzędnościowych maszynach pomiarowych (WMP). W zautomatyzowanych i zrobotyzowanych systemach produkcyjnych oraz autonomicznych robotach do realizacji specjalnych zadań (np. badania i obserwacje zjawisk w warunkach niebezpiecznych dla człowieka) do poprawnego ich funkcjonowania konieczne są specjalistyczne pomiary różnych wielkości (np.: przemieszczenia, prędkości, przyspieszenia, odkształcenia czy siły). Wspomniane urządzenia czy systemy pomiarowe osiągnęły już bardzo wysoki poziom rozwoju. Dlatego w wielu przypadkach jedynym racjonalnym kierunkiem ich dalszego doskonalenia jest skorzystanie z osiągnięć bioniki, czyli dziedziny wiedzy ukierunkowanej na badania organizmów żywych (roślin i zwierząt) w celu zastosowania w technice biorozwiązań powstałych w wyniku trwającego wiele milionów lat procesu ewolucji [1–5].

### Metodyka wprowadzania rozwiązań bionicznych

Projektowanie bioniczne zwykle jest realizowane w następujących etapach [2, 5]: 1. Sformułowanie celu technicznego. 2. Analiza struktur biologicznych, materiałów lub procesów w celu wyodrębnienia i oceny modelu biologicznego, który może być wzorcem do poszukiwania rozwiązania celu technicznego z punktu 1.3. Modelowanie matematyczne problemu technicznego z wykorzystaniem modelu biologicznego. 4. Zbudowanie modelu fizycznego (procesu, zespołu czy struktury). 5. Badania doświadczalne

modelu fizycznego. 6. Ocena modelu fizycznego – decyzja o budowie prototypu.

### Sugestie rozwiązań bionicznych w systemach pomiarowych

Podstawowe źródła niedokładności pomiarów na WMP to: trójosiowy system prowadnic (odkształcenia, luzy, błędy prostokątowości, prostoliniowości i skrzywienia), system pomiarowy (błędy wzorców, błędy justowania), system stykowy obejmujący błędy głowicy pomiarowej (rozrzut wskazań, stabilność punktu styku, błąd skanowania, droga przełączania), błędy końcówki pomiarowej (sztywność, błędy kształtu, ugięcie), sterowanie (błędy interpolacji, błędy dyskretyzacji), oprogramowanie (algorytmy, struktura programu), mierzony element (cechy powierzchni, masa elementu), warunki zewnętrzne (drgania, temperatura). Z wstępnej analizy wymienionych źródeł błędów pomiarów na WMP oraz rozwiązań bionicznych zastosowanych w projektowaniu lekkich i sztywnych elementów lotniczych czy zespołów, korpusów, portali precyzyjnych obrabiarek skrawających wynika, że istnieje możliwość zwiększenia dokładności pomiarów przez zwiększenie sztywności, zmniejszenie masy, zmniejszenie odkształceń korpusów stacjonarnych i ruchomych oraz zwiększenie odporności na drgania (zakłócenie zewnętrzne). Inspiracją do działań mających na celu uzyskanie tych efektów była analiza i modelowanie struktury korony drzew, liści drzew lub kwiatów (np. lilii wodnej), pędów bambusa, trzciny, traw czy kaktusa meksykańskiego [2–5]. W każdej z wymienionych struktur można zidentyfikować elementy w skali makro i mikro decydujące o ich wysokich właściwościach mechanicznych. Elementy zwiększające wskaźniki wytrzymałościowe zwykle umożliwiały zmniejszenie masy oraz zwiększenie odporności na drgania. Dodatkowym wzorem do zwiększenia odporności na drgania były struktury dziobów tukana i dzięcioła, posiadające dobre właściwości tłumienia drgań. Dzięki temu drgania powstające podczas uderzenia dziobem nie przenoszą się na cały organizm ptaka. Stosując przedstawioną metodologię i odpowiednie wzory biologicznych rozwiązań, uzyskano dla bionicznych konstrukcji w stosunku do konstrukcji standardowych (konwencjonalnych): zwiększenie wytrzymałości o 53–124%, sztywności o 21–43%, zmniejszenie masy o 3–43%, zmniejszenie odkształceń o 16–44% [5].

Oczywiście wielkość obciążeń dynamicznych w procesie obróbkowym jest zdecydowanie większa niż w procesie pomiarowym nawet elementów o bardzo dużej masie. Ale intuicyjnie można przypuszczać, że bioinspiracje w konstrukcji WMP i innych urządzeń pomiarowych mogą zainicjować istotne udoskonalenia prowadzące do zmniejszenia błędów (niepewności) pomiaru. Jeżeli nawet zwiększanie sztywności korpusów i odporności na drgania (kinematyki) końcówki pomiarowej (położenie pomiarowe) jest wystarczające z punktu widzenia obecnych praktycznych zastosowań, to na pewno zmniejszenie masy może być źródłem efektów ekonomicznych. Kolejnym ważnym zagadnieniem jest odporność na zużycie współpracujących elementów. Analiza struktur powierzchni występujących w przyrodzie wykazała, że w organizmach żywych nie

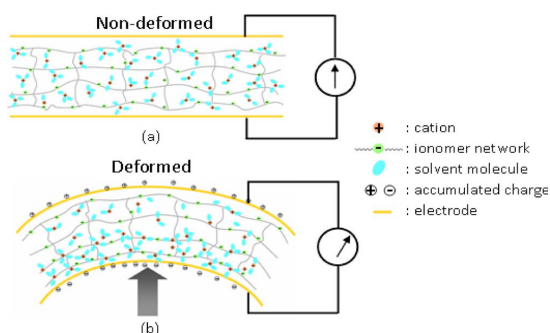
\* Prof. dr hab. inż. Adam Ruszaj (ruszaj@mech.pk.edu.pl) – Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji Politechniki Krakowskiej

występują „gładkie powierzchnie”. Struktura powierzchni organizmów żywych jest dostosowana do warunków życia organizmu. Struktura skóry rekina czy tuńczyka zapewnia małe opory pływania; struktura skrzydeł motyla zwiększa siłę ciągu, prędkość i sterowność oraz zmniejsza głośność lotu; struktura skrzydeł (prążki), głowy i tułowia (występy i wgłębienia) żuka gnojowego powoduje, że pomiędzy korpus żuka a glebę dostaje się powietrze i woda. Dzięki temu pojawia się efekt smarowania prowadzący do zmniejszenia oporów ruchu żuka w glebie oraz zmniejszenia prawdopodobieństwa uszkodzenia powłoki.

Wzorując się na strukturach występujących na skrzydłach, tułowiu i głowie żuka gnojowego wykonano laserowo różne struktury (prążki, wypukłości i wgłębienia) na powierzchniach próbek z żeliwa szarego i przeprowadzono ich badania zmęczeniowe [6]. Wszystkie próbki o strukturze bionicznej charakteryzowały się zwiększoną odpornością na zużycie zmęczeniowe (niektóre nawet o ~53%) w stosunku do próbek z powierzchnią gładką. Zastosowanie struktury bionicznej na powierzchniach elementów stalowych również istotnie poprawia ich właściwości mechaniczne oraz zwiększa odporność na zużycie [7]. Zastosowanie bioinspiracji w WMP i innych urządzeniach pomiarowych oraz robotach może zmniejszyć niepewność pomiaru wyrobu lub położenia zespołów robota przez poprawę właściwości struktur mechanicznych, zwiększenie odporności na drgania oraz zmniejszenie zużycia powierzchni elementów współpracujących.

### Specjalne zagadnienia pomiarowe

Pomiar, monitorowanie lub identyfikacja położenia, siły czy odkształceń są niezbędne do poprawnej pracy wielu urządzeń lub robotów. Inspiracją biologiczną do opracowania czujnika do pomiaru siły była obserwacja zachowania się komórek – czujników dotykowych na skórze pędu ogórka określającego kierunek wzrostu rośliny. Mechanizm zachowania się komórek ogórka zrealizowano w płytkach jak na rys. 1. Charakterystyczne dla tych materiałów jest gromadzenie się ładunków elektrycznych na powierzchni płytki pod wpływem odkształcenia.



Rys. 1. Zasada wykrywania odkształceń w płytce wykonanej z Ionic Metal Polymer Composite – IMPC: a) płytka nieodkształcona; natężenie prądu  $I = 0$ , b) płytka odkształcona; natężenie prądu  $I > 0$  [8]

Wykorzystując przedstawioną zasadę powstawania ładunku i przepływu prądu w odkształconych próbkach, opracowano czujnik do pomiaru sił 3D ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) [8].

W przemyśle kosmicznym powstają urządzenia (struktury) mechaniczne, których odkształcenia muszą być monitorowane podczas ryzykownych operacji w przestrzeni kosmicznej (np. wysuwanie czy ustawianie paneli słonecznych, anten itp.). Podobne potrzeby mogą zaistnieć w warunkach ziemskich: laboratoria gdzie występują zagrożenia dla człowieka lub inne trudnodostępne dla człowieka miej-

scach (np. kopalnie). Szczególnie ważny jest taki pomiar w strukturach, które mogą być uszkodzone przez zmiany temperatury, wibracje oraz zużycie zmęczeniowe. Mierzenie i monitorowanie odkształceń jest konieczne również w robotach, narzędziach i innych strukturach, bo daje to możliwość odpowiedniej reakcji (np. zmiana parametrów pracy, itp.) Bardzo pożądane są tutaj naklejane czujniki odkształcenia. Inspiracją do zaprojektowania nowej generacji takich czujników były badania budowy i zachowania owadów [9]. U owadów (np. mucha) czujnikiem odkształcenia jest jama pod skrzydłem w kształcie dzwonu. Jej kształt zmienia się wraz z obciążeniem skrzydła muchy. Na zmianę kształtu jamy reagują komórki znajdujące się pod nabłonkiem. Reagują one na odkształcenie nawet o wielkości 1 nm. Wzorując się na scharakteryzowanym powyżej układzie biologicznym opracowano czujniki, w których na podstawie zmiany kształtu otworu można wnioskować o wielkości odkształceń a po stosownym wyskalowaniu można również oszacować wielkość sił. Precyzję działania takiego czujnika można zwiększyć stosując kilka odpowiednio rozmieszczonych otworów. Czujniki tego typu znalazły już zastosowanie w sprzęcie kosmicznym [9].

Najbardziej zaawansowane są czujniki położenia i prędkości (kontroli ruchu), które powstały na podstawie odwzorowania pracy systemu położenia występującego u ssaków (również człowieka). Mięśnie przemieszczając np. kończyny wywierają nacisk na receptory rozłożone wokół narządów ruchu oraz elementów szkieletu. Receptory reagują również na przemieszczanie się powierzchni stawowych. Receptory przesyłają informacje do mózgu i dzięki temu jesteśmy świadomi położenia naszego ciała. Zmysł orientacji ułożenia własnego ciała nazywa się „kinestezją” (tzw. czucie głębokie). Czujnik położenia oparty na układzie kinestezji jest obecnie stosowany do badań podstawowych zagadnień kontroli ruchu np. kończyn człowieka, modelowania i projektowania protez utraconych części ciała, (jako czujnik, który komunikuje się z układem sterowania – motor control system – głosowo) [10]. Inne zastosowania inżynierskie są w przygotowaniu (np. sterowanie systemem ruchu protezy (motor control system) nie głosowo, ale odpowiednio przetworzonym sygnałem myślowym).

### LITERATURA

1. Lurie-Luke E. "Product and technology innovation: What can biomimicry inspire". *Biotechnology Advances*. Vol. 32 (2014): pp. 1494–1505.
2. Shu L.H., Ueda K., Chiu I., Cheong H. "Biologically inspired design". *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. Vol. 60 (2011): pp. 673–693.
3. Quin S., Gaughran W. "Bionics an inspiration for intelligent manufacturing and engineering". *Robotics and computer – integrated manufacturing*. Vol. 26 (2011): pp. 620–632.
4. Ruszaj A. „Bioinspiracja w rozwiązywaniu problemów technicznych”. *Szkola Naukowa Obróbkę Erozyjnych – Artykuły naukowe z 2015 r. Mechanik*. R. 12 (2015): s. 255–260.
5. Ruszaj A. „Bioinspiracje w projektowaniu konstrukcji lekkich”. *Mechanik*. R. 2 (2016): s. 88–92.
6. Chen Z., Lu S., Song X., Zhang H., Yang W., Zhou H. "Effects of bionic units on the fatigue wear of grey iron surface with different shapes and distributions". *Optics & Laser Technology*. Vol. 66 (2015): pp. 166–174.
7. 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*. Vol. 6 (2009): pp. 180–185.
8. Wang J., Sato H., Xu Ch., Taya M. "Bioinspired design of tactile sensors based on Flemion". *Journal of Applied Physics*. Vol. 105, 083515 (2009): pp. 1–7.
9. Vincent J.F.V., Clint S.E. Menon C. "Biomimetics of Campaniform Sensilla: Measuring Strain from Deformation of Holes". *Journal of Bionic Engineering*. Vol. 4 (2007): pp. 63–76.
10. Jaax K.N., Hannaford B. "Mechatronic Design of an Actuated Biomimetic Length and Velocity Sensor". *IEEE Transactions on Robotics and Automation*. Vol. 20, No. 3 (2004): pp. 390–398.