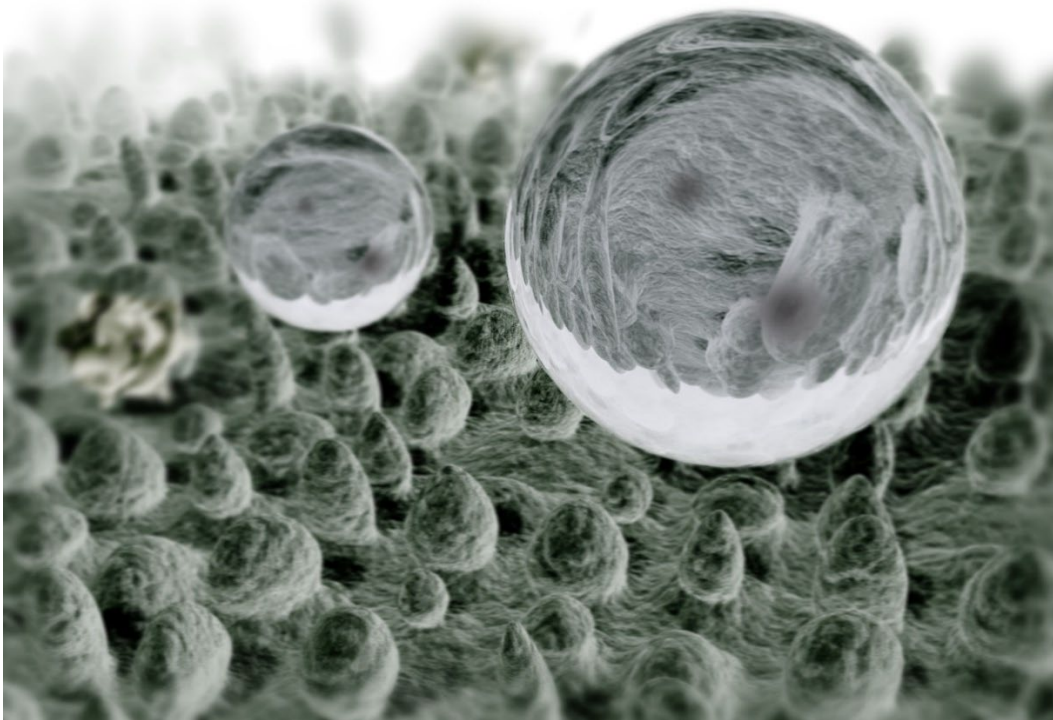


# BIOMIMETYKA – NIECODZIENNY SPOSÓB NA ROZWÓJ NOWYCH TECHNOLOGII.

Paweł Kostyra



## Wstęp.

Przez tysiące lat człowiek starał się obserwować naturę i korzystać z jej rozwiązań nieustannie pnąc się na kolejne poziomy rozwoju cywilizacyjnego.

Jednak z czasem ludzie zaczęli w znaczący sposób modyfikować istniejące w przyrodzie struktury, tworząc na ich podstawie nowe syntetyczne materiały, które znalazły zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, medycynie jak i życiu codziennym, zmieniając oblicze wielu społeczeństw.

Pomimo wielu korzyści płynących z nowych odkryć naukowych i rozwiązań inżynierskich okazało się, że to co miało być dobrodziejstwem stało się przysłowiową Puską Pandory.

Tony plastiku i substancji toksycznych zaczęły zalewać świat unicestwiając wiele gatunków roślin i zwierząt. Na skutek zmian w środowisku pojawiły się nowe choroby bezpośrednio zagrażające ludziom, a wraz ze zmianą klimatu wzrosła ilość do tej pory nie spotykanych na taką skalę katastrof naturalnych.

W związku z tym wielu naukowców i inżynierów rozpoczęło poszukiwanie nowych rozwiązań, które mogłyby przynajmniej zmniejszyć szybkość zachodzących zmian w środowisku naturalnym i wyeliminować potencjalne zagrożenia będące wynikiem jego degradacji.

Jednocześnie zaczęto dokonywać zmian w technologii. I tu o dziwo z pomocą przyszła sama natura.

## Biomimetyka.

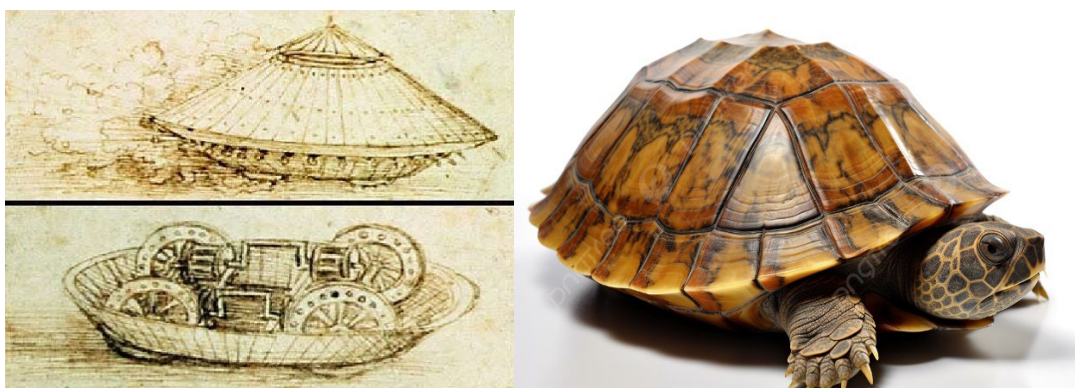
Biomimetyka jest najdynamiczniej rozwijającą się interdyscyplinarną dziedziną nauki, która opiera się na podpatrywaniu, analizowaniu, imitacji bądź bezpośredniemu kopiowaniu konkretnych struktur fizycznych lub związków chemicznych występujących w przyrodzie.



Jej początki sięgają czasów starożytnej Grecji, gdzie w micie o Dedalu i Ikarze ludzie starali się naśladować ptaki. Jednak prawdziwym prekursorem w tej dziedzinie był Leonardo Da Vinci, który znacząco wyprzedził swoje czasy konstruując różnego rodzaju maszyny w oparciu o struktury występujące w przyrodzie.



*Maszyna latająca Leonarda i skrzydło nietoperza.*



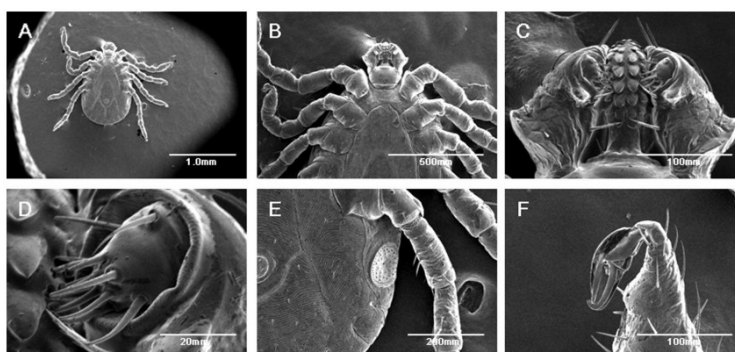
*Czołg Leonarda i karapaks żółwia.*



*Helikopter Leonarda i przekrój muszli.*

Prawdziwa rewolucja w Biomimetyce dokonała się w 1931 roku w Niemczech, po opracowaniu przez Ernsta Ruska pierwszego mikroskopu elektronowego, dzięki któremu wielu badaczy mogło wejść w mikro świat całkowicie zmieniając ich sposób postrzegania otaczającej rzeczywistości.

O ile klasyczna mikroskopia optyczna umożliwiała identyfikację cech morfologicznych i anatomicznych mikroorganizmów to dopiero mikroskopia skaningowa ujawniła, że pozornie proste struktury w rzeczywistości posiadają bardzo złożoną budowę.



Obecnie, dzięki zaawansowanym narzędziom badawczym, Biomimetyka funkcjonuje w skali makro, mikro i nano, obejmując różnego rodzaju obszary nauki, począwszy od klasycznej biologii, chemii, fizyki poprzez matematykę, informatykę, inżynierię, a skończywszy na biochemii, biotechnologii i medycynie.

### **Mimikra i Bionika.**

Mimikra i Bionika są pojęciami ściśle związanymi z Biomimetyką, gdyż opisują one zarówno rozwiązania funkcjonujące w biologii jak i możliwość ich adaptacji do potrzeb człowieka.

Mimikra jest zjawiskiem dość powszechnie występującym w naturze i polega na upodabnianiu się niektórych gatunków do innych np. jadowitych lub trujących, głównie w celu odstraszenia drapieżników lub jak to ma się w przypadku pewnych owadów zdobycia pożywienia.

Wbrew pozorom ten rodzaj przystosowania jest zjawiskiem stosunkowo złożonym, gdyż wiele organizmów oprócz cech anatomicznych potrafi również imitować sygnały chemiczne ludzko podobne do zapachów innych gatunków, kolor i struktury geometryczne, które przypominają np. oczy drapieżnika skutecznie lub wytwarzać elementy anatomiczne np. niby głowa, które skutecznie odstraszą potencjalnych wrogów.

Sztuka ukrywania się dotyczy również zmiany barwy ciała na skutek zmienności otoczenia, co można zaobserwować na przykładzie kameleonów i ośmiornic.



*Liściec choć jest owadem to swoją budową oraz ruchami przypomina liść drzewa, co czyni go wręcz niewidocznym dla potencjalnych drapieżników.*



*Przykład mimikry geometryczno-barwnej. Motyl imituje oczy sówki, co skutecznie odstrasza mniejsze ptaki.*



*Niegroźny Lancetogłów (po lewej) mleczny wzorem upodabnia się do niezwykle jadowitego przedstawiciela zdradnicowatych Koralówki arlekin.*



*Gąsienica imitująca głowę węża.*



*Mimikra barwna wywołana kolorem otoczenia – kameleon i ośmiornica.*

Najlepszym przykładem technologicznego wykorzystania zjawiska mimikry jest produkcja siatek kamuflażowych dla wojska, mundurów lub maskowanie pojazdów wojskowych w tym samolotów.



*Przykłady maskowania obiektów i sprzętu wojskowego.*

Bionika jest działem inżynierii, który analizuje budowę i zasady działania organizmów żywych w celu adaptacji wybranych elementów w projektach technicznych.

Wdrażanie tego typu rozwiązań najlepiej obrazuje biocybernetyka, gdzie na podstawie obrazowania ludzkich kończyn, a także analizy ruchu zwierząt konstruuje się bioprotezy, które podłączone do układu nerwowego pacjenta imitują ruchy utraconych rąk czy nóg.

Obecnie, na podstawie modeli biologicznych naukowcy starają się również opracować sztuczne mięśnie, zaawansowane sieci neuronowe czy syntetyczne analogi ludzkich zmysłów.



*Protezy kończyn górnych.*

Bionika znalazła zastosowanie nie tylko w medycynie, ale również w architekturze, robotyce i wielu innych gałęziach inżynierii.



*Przykład zastosowania Bioniki w architekturze.*



*Bionika w przemyśle lotniczym.*

Jak widać, zdolność człowieka do podpatrywania natury stała się motorem rozwoju technologicznego na trwałe zmieniając oblicze inżynierii.

Pojawia się jednak pytanie: Jak przełożyć struktury biologiczne na praktyczne rozwiązania techniczne?

### **Obserwacja ruchu.**

Istotą rzeczy jest fakt, że otaczające nas środowisko nie jest układem statycznym. Wszystkie jego elementy ulegają ciągłym przemianom, natomiast wszechobecny ruch stanowi podstawę życia, gdyż generuje nieustający obieg materii.

Ludzkie oko ma ograniczone zdolności postrzegania zjawisk, które zachodzą niezwykle szybko lub niezmiernie wolno, ale dzięki odpowiednim instrumentom możemy zarejestrować tego typu procesy zbierając wiedzę na temat ich mechanizmu i dynamiki, a także innych czynników im towarzyszących.

Na tej podstawie można przeprowadzić szczegółową analizę zarejestrowanego ruchu w celu uzyskania danych, które można będzie wykorzystać w projektach inżynierskich.



Na przykład koliber uderza skrzydłami od 22 do 78 razy na sekundę. Przy czym bardzo ciekawą jest motoryka jego ruchu. Ten mały ptak w ułamku sekundy potrafi zmienić kierunek lotu po czym zawisnąć w powietrzu jak helikopter, aby napić się nektaru z kielich kwiatu. Zdziwiająca precyzja tego zwierzęcia zainspirowała specjalistów od awiacji, aby bliżej przyjrzeć się aspektom mechanicznym lotu kolibra.

W tym celu, aby zwizualizować mechanikę pracy skrzydeł ptaka użyli oni ultraszybkich kamer wykonujących zdjęcia z szybkością od 500 do 1000 klatek na sekundę.



*Ultraszybkie kamery firmy iX Cameras, które umożliwiają wykonywanie ultraszybkich zdjęć w warunkach naturalnych. (dystrybucja w Polsce, SHIM-POL. A.M. Borzymowski, E. Borzymowska-Reszka, A. Reszka Sp. J.)*

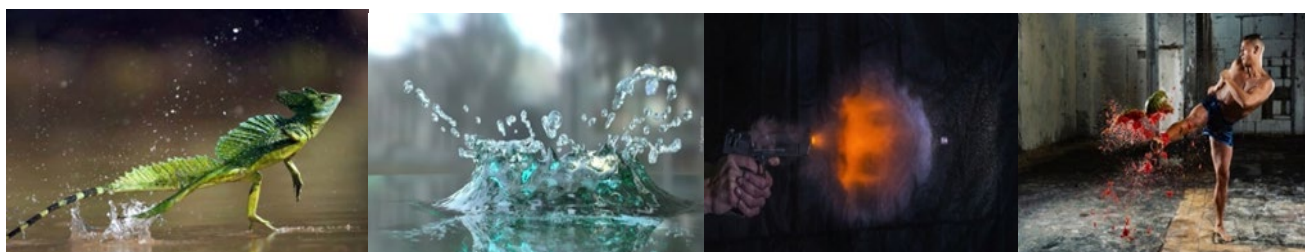


Zdjęcia poklatkowe poszczególnych faz lotu kolibra umożliwiły inżynierom stworzenie bionicznego modelu na podstawie, którego w dalszym etapie rozpoczęto pracę nad stworzeniem ultralekkiego drona o wyjątkowych właściwościach lotnych, łączących ze sobą cechy samolotu i helikoptera.



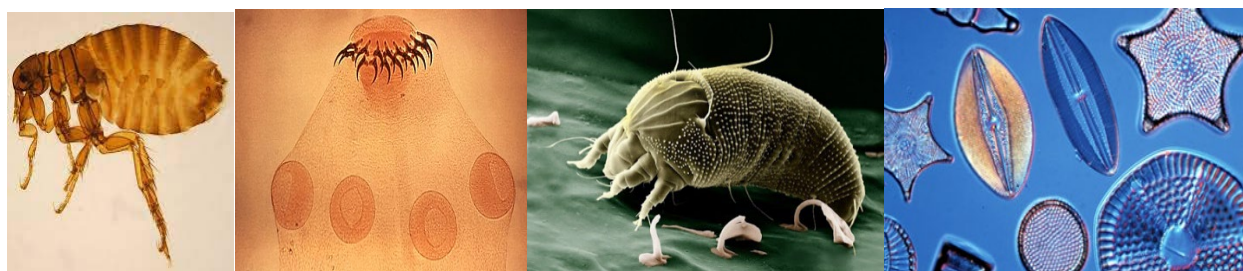
*Bioniczny model ptaka.*

Obecnie tego typu rejestracja obrazów stała się podstawowym narzędziem w badaniach z zakresu fizyki i mechaniki ruchu w różnego rodzaju układach biologicznych, jak również fizyki płynów, balistyki, testów zderzeniowych, lotnictwa i sportu.



Wraz z rozwojem mikroskopii analiza materiału filmowego zaczęła być również wykorzystywana do badań mikro świata, który ujawnił szereg zaskakujących przystosowań mikroorganizmów do różnych, często ekstremalnych warunków środowiskowych.

Odkryto szereg struktur, które w przybliżeniu wykazywały niezwykłą złożoność i unikalną konstrukcję ujawniającą do tej pory nieznanne mechanizmy zapewniające przetrwanie tym organizmom w różnych ekosystemach czasem nieprzyjaznych dla innych gatunków.



*Obraz mikroskopowy pchły, roztocza, głowy (skoleksu) tasiemca i okrzemków.*

W wyniku wnikliwych obserwacji stwierdzono, że w przyrodzie istnieją pewne rozwiązania fizyczne, które znacząco odbiegają od obowiązujących założeń teoretycznych. Na przykład niektóre gatunki np. mrówek mogą unieść ciężar o masie nawet 50 razy cięższy od ich wagi ciała. To tak jakby 100 kg człowiek dźwigał 5 tonowy ładunek.

Niewielkie pchły mogą skakać na wysokość ok 20 cm pokonując odległość nawet do jednego metra.

Biorąc pod uwagę rozmiary tych stawonogów można zadać szereg pytań dotyczących budowy ich kończyn pod kątem pneumatyki i hydrauliki siłowej.



W przyrodzie można znaleźć również gatunki, których szczególne właściwości umożliwiają im zasiedlanie niezwykle ekstremalnych ekosystemów, które są zabójcze dla innych organizmów, np. pewne gatunki krewetek, małży czy krabów żyją w pobliżu podmorskich kominów wulkanicznych w środowisku niezwykle kwaśnym o wysokiej temperaturze dochodzącej do 400°C, na głębokości, gdzie ciśnienie osiąga 100 barów.



*Ślimak wulkaniczny, którego muszla pokryta jest żelazem, który może żyć w pobliżu kominów hydrotermalnych, gdzie temperatura dochodzi do 400°C*

Od strony inżynierskiej, patrząc na tego typu przystosowania wiele z nich można by było przełożyć na unikalne rozwiązania techniczne w zakresie konstrukcyjnym jak i materiałowym.

Obecnie dzięki badaniom fizycznym i modelowaniu matematycznemu okazało się, że wiele konstrukcji występujących w przyrodzie posiada o wiele większą wytrzymałość mechaniczną, elastyczność czy lepkość w porównaniu z syntetycznymi materiałami otrzymywanymi przez człowieka. To skłoniło wielu badaczy do weryfikacji szeregu teorii i rozpoczęciem badań nad tworzeniem kopii struktur naturalnych.



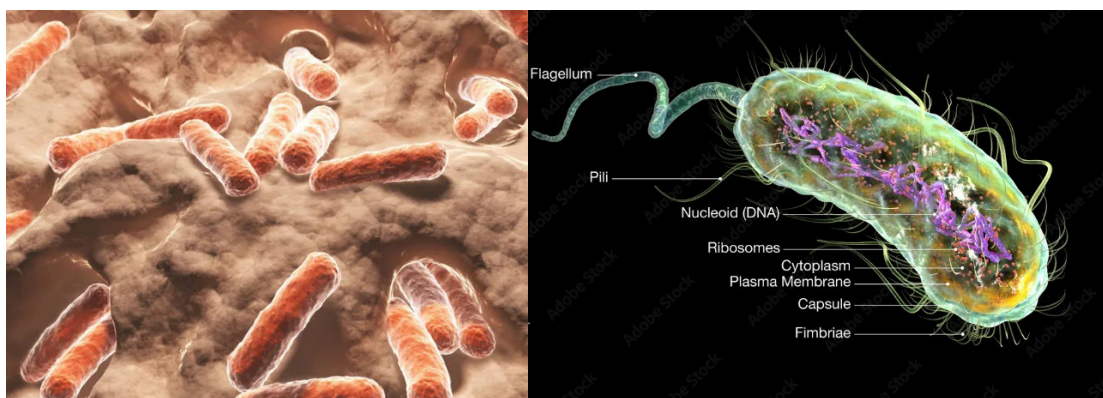
Źródło: <https://mlodytechnik.pl/eksperymenty-i-zadania-szkolne/wynalazczosc/29897-o-egzoszkieletach-odrobine-wiecej>

Przykładem takiego projektu technicznego jest egzozkielet, który powstał na bazie analizy zewnętrznego pancerza stawonogów i został dostosowany do anatomii człowieka. Jak widać pozwala on na znaczne zwiększenie siły fizycznej bez nadmiernego obciążania układu mięśniowego. W przyszłości tego typu urządzenia mogą stanowić rozwiązanie dla osób z trwałym uszkodzeniem narządu ruchu lub po paraliżu na skutek przerwania rdzenia kręgowego.

Niezwykle interesującą rzeczą jest to, że wyżej opisane zjawisko mimikry nie dotyczy tylko wyłącznie różnych gatunków roślin i zwierząt, ale również konkretnych związków chemicznych.

Liczne badania nad patogennością wielu gatunków bakterii i wirusów wykazały, że mają one zdolność do syntezy pewnego rodzaju białek, które są niezwykle podobne do białek komórek eukariotycznych. Określono ją jako mimikrę molekularną.

Ogólnie rzecz biorąc mimikra molekularna jest sposobem na oszukanie przez bakterie komórek gospodarza, aby bezkarnie wniknąć do ich wnętrza i zmienić szlaki metaboliczne, co często prowadzi do apoptozy, czyli śmierci komórek. Proces przebiega odmiennie w zależności od gatunku mikroorganizmu i jest dość skomplikowany, a szczegółowe informacje na ten temat można znaleźć w fachowej literaturze. Upraszczając, bakteria wytwarza białko lub inny czynnik, który posiada podobną budowę aminokwasową bądź polisacharydową, analogiczną strukturę lub identyczne fragmenty z białkiem gospodarza. Układ immunologiczny, który powinien natychmiast zniszczyć obce antygeny nie widzi komórek bakterii, które przyłączając się do błony komórkowej destabilizują jej układ i wnikają do cytoplazmy. Co gorsza w niektórych przypadkach może dochodzić tzw. reakcji krzyżowych, gdy przeciwciała nie tylko atakują komórki bakteryjne, ale zaprogramowane na analogiczny antygen zaczynają niszczyć komórki gospodarza, prowadząc do chorób autoimmunologicznych.



Znajomość procesów molekularnych stanowi podstawę bioinżynierii, której zadaniem jest stosowanie takich technik genetycznych, które pozwalają na konstruowanie związków biologicznie czynnych, które mogłyby wchodzić w interakcje z komponentami błonowymi bakterii prowadząc do śmierci komórki, bądź tworzenie syntetycznych antygenów, które jednoznacznie mogłyby znakować komórkę danego patogenu, aby była rozpoznawalna dla układu immunologicznego bez tworzenia reakcji krzyżowych.

Obecnie stosowane metody pozwalają nam na ustalenie sekwencji DNA lub RNA, które kodują łańcuch aminokwasowy danego białka bakteryjnego. Na tej podstawie w obrębie struktury kwasów nukleinowych genetycy mogą dokonywać modyfikacji kwasów nukleinowych poprzez wstawianie lub wycinanie poszczególnych genów, uzyskując białka o unikalnych właściwościach chemicznych.

Celem tych operacji jest wykorzystanie mimikry molekularnej do tworzenia cząsteczek, które mogłyby destabilizować układ błony komórkowej bakterii lub wniknąć do ich cytoplazmy doprowadzając do procesu apoptozy.



*Struktura białka.*

Innym podejściem do problemu jest bezpośrednia analiza właściwości białek bakteryjnych, a konkretnie ich struktury w obrębie określonych domen aktywnych lub strukturalnych odpowiedzialnych za określone funkcje biologiczne.

Aspekt tego typu badań jest o tyle ważny, że mikroorganizmy mają niezwykle właściwości adaptacyjne i w bardzo krótkim czasie są w stanie wytworzyć mechanizmy, które skutecznie rozkładają substancje obce, np. antybiotyki, co stanowi poważny problem epidemiologiczny, gdyż wiele dostępnych leków po prostu nie działa.

W przypadku bezskuteczności syntetycznych związków chemicznych, które nie tylko nie niszczyły patogenów, ale dodatkowo wywoływały efekt cytotoksyczny, zaczęto ponownie szukać rozwiązań w naturze. Zauważono, że krótki łańcuch aminokwasów tzw. peptydów może w zaskakujący sposób wpływać na metabolizm wielu wirusów i bakterii. Co więcej okazało się, że na podstawie analizy tych krótkich łańcuchów aminokwasowych można prowadzić bardzo szczegółowe badania struktury przestrzennej całych białek.

I tak narodziła się nowa dziedzina nauki zwana peptydomiką, która specjalizuje się w analizie związków nisko cząsteczkowych zawartych w cytoplazmie, tkance lub całym organizmie.

Peptydy budzą duże nadzieje wśród badaczy, gdyż występują one naturalnie i wykazują silne działanie przeciwustrojowe jak i cytostaticzne.

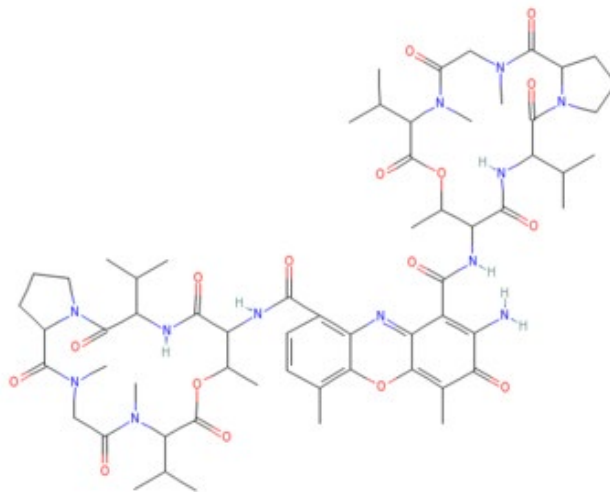
Szereg tego typu substancji zostało wyizolowanych np. ze skóry żab *Bombina variegata* (*bombinina*) lub *Xenopus laevis* (*ksenopsyna*) lub tkanek ćmy (*cekropiny*) ja i innych gatunków zwierząt i roślin.



*Bombina variegata* / *Xenopus laevis*

Obecnie peptydy nie są wyłącznie pozyskiwane ze źródeł naturalnych.

Większość laboratoriów farmaceutycznych stara się tworzyć peptydy syntetyczne, których zadaniem nie ma być tylko walka z drobnoustrojami, ale również skuteczne niszczenie komórek nowotworowych.



Daktynomycyna – struktura leku peptydowego. Źródło: Wikipedia.

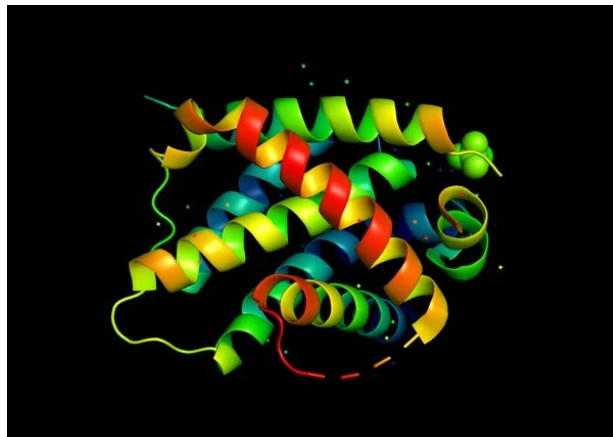
Pierwsza analiza białek opierała się głównie na dwuwymiarowej elektroforezie żelowej, gdzie próbka była rozdzielana w polu elektrycznym pod kątem masy i ładunku.

Obecnie proteomika jak i peptydomika dysponuje niezwykle zaawansowanym instrumentarium pozwalającym na rozdzielenie i analizę bardzo skomplikowanych mieszanin białek i peptydów.

Metodyka obejmuje techniki oparte na spektroskopii w podczerwieni z transformacją Furiera lub widmem Ramana, spektroskopię UV-VIS, magnetyczny rezonans jądrowy (NMR) czy metody fluorescencyjne.

Rozdział i detekcja modyfikacji post translacyjnych białek jak i sekwencjonowanie peptydów wykonywane są przy użyciu technik chromatograficznych takich jak: chromatografia cieczowa HPLC, chromatografia cieczowa sprzężona ze spektrometrią mas LCMSMS, technologia laserowej jonizacji/desorpcji próbki wspomaganą matrycą z analizatorem czasu przelotu (MALDI-TOF MS) jak również zaawansowane techniki elektroforetyczne typu: elektroforeza kapilarna.

Ogólnie rzecz biorąc ilość zbieranych danych w połączeniu z modelowaniem matematycznym umożliwia bardzo dokładną analizę strukturalną białek i peptydów i ich obrazowanie z wykorzystaniem specjalistycznego obrazowania 3D.



*Struktura białka 3D*

Techniki badawcze.



*Elektroforeza żelowa 2D / Elektroforeza kapilarna*



*Spektrometr UV-VIS, UV-1900i /Mikroskop AIRsight w zestawie ze spektrofotometrem IRTrace-100 (FTIR + Raman) japońskiej firmy Shimadzu.  
(dystribucja w Polsce, SHIM-POL. A.M. Borzymowski, E. Borzymowska-Reszka, A. Reszka Sp. J.)*



*Spektrometr Maldi 7090 TOF-MS / Maldi 8030 japońskiej firmy Shimadzu.  
(dystribucja w Polsce, SHIM-POL. A.M. Borzymowski, E. Borzymowska-Reszka, A. Reszka Sp. J.)*



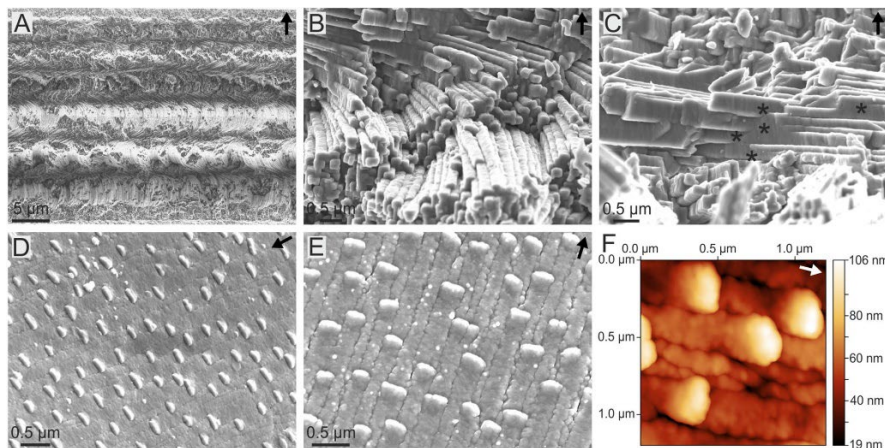
*LCMS 8060 NX japońskiej firmy Shimadzu.  
(dystribucja w Polsce, SHIM-POL. A.M. Borzymowski, E. Borzymowska-Reszka, A. Reszka Sp. J.)*

## Biomimetyka w inżynierii materiałowej.

Wszystkie organizmy żywe wykształciły w drodze ewolucji szereg przystosowań, które nie opierają się wyłącznie na budowie anatomicznej, ale przede wszystkim konstrukcji powłok i struktur zewnętrznych i wewnętrznych szkieletowych. Dokładna analiza mikroskopowa różnego rodzaju materiału biologicznego wykazała niezwykłą złożoność badanych próbek.

Okazało się, że pozornie jednolite elementy w rzeczywistości składają się z szeregu mniejszych komponentów, których specyficzne ułożenie nadaje całej strukturze niezwykłą wytrzymałość mechaniczną przy stosunkowo małej masie.

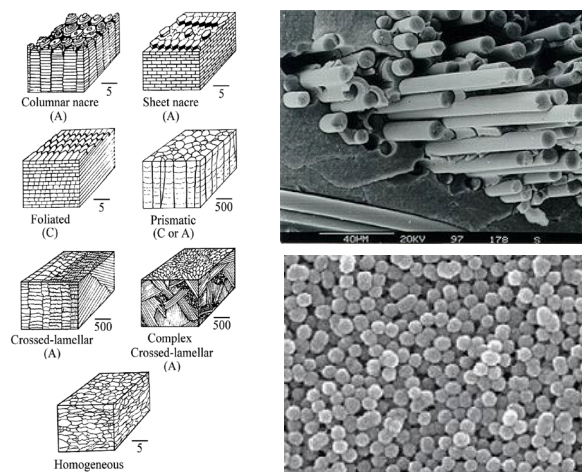
Przykładem takich konstrukcji są różnego rodzaju muszle ślimaków, które charakteryzują się zupełnie odmienną budową.



*Mikroskopowy obraz muszli różnych gatunków ślimaków.*

Okazało się również, że poszczególne płytki są ruchome, a pomiędzy nimi znajdują się filamenty białkowe, które stanowią element scalający. Dzięki takiemu rozwiązaniu w trakcie uderzenia, ułożone jedna na drugiej płytki zaczynają się przesuwac, co prowadzi do rozproszenia energii kinetycznej, co w ostateczności chroni muszlę mięczaka przed zniszczeniem.

Struktura fizyczna muszli jak również budowa karapaksu żółwi zainspirowała inżynierów do konstrukcji materiałów kompozytowych, które znalazły zastosowanie w przemyśle samochodowym, lotniczym i budownictwie.



*Po lewej stronie różne prawej budowa syntetycznych*

*struktury masy perłowej, po kompozytów.*

Fizyka wody przez dekady nastęrczała badaczom wiele problemów, związanych głównie z oporami cieczy, które były głównym powodem rosnących kosztów transportu morskiego.

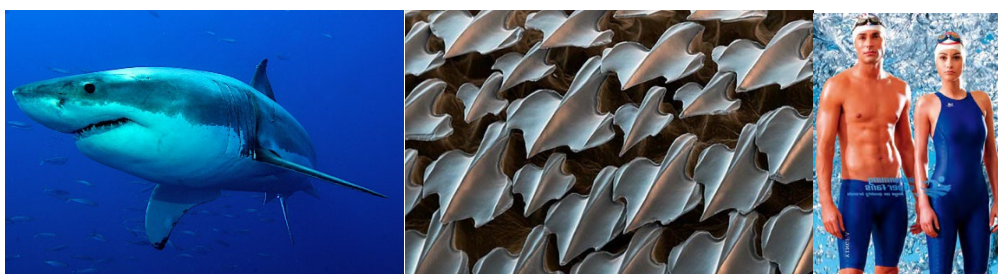
Dlatego też wiele laboratoriów rozpoczęło intensywne prace związane z opracowaniem powłok i materiałów, które w znaczący sposób poprawiłyby własności hydrodynamiczne jednostek morskich poprzez zmniejszenie oporów wody, co w efekcie miało dać znaczne oszczędności w zużyciu paliwa.

Istotny przełom w tych badaniach przyniosła biomimetyka, a właściwie obserwacja ruchu rekinów i budową liści kwiatów lotosu.

Rekiny są dość niezwykłymi stworzeniami o unikanej dynamice ruchu. Potrafią one rozwijać prędkość do 74 km/h i schodzić na głębokość do 150 m. Przy czym najciekawszy jest to, że rekiny potrafią gwałtownie przyspieszyć jak i zmienić kierunek, co nie jest możliwe w przypadku jednostek pływających stworzonych przez ludzi.

Dokładna analiza hydrodynamiczna poruszania się tych ryb wykazała, że woda w kontakcie ze skórą rekina stawia stosunkowo niewielki opór. Wyjaśnieniem tego zjawiska okazał się obraz mikroskopowy, który wykazał, że skóra zwierzęcia pokryta jest specyficznymi ukształtowanymi łuskami, które niwelują wyżej wspomniany opór wody i nadają unikalne własności hydrodynamiczne rekinów.

Na tej podstawie opracowano materiał, który imitował skórę ryby zwiększając prędkość pływającego człowieka.



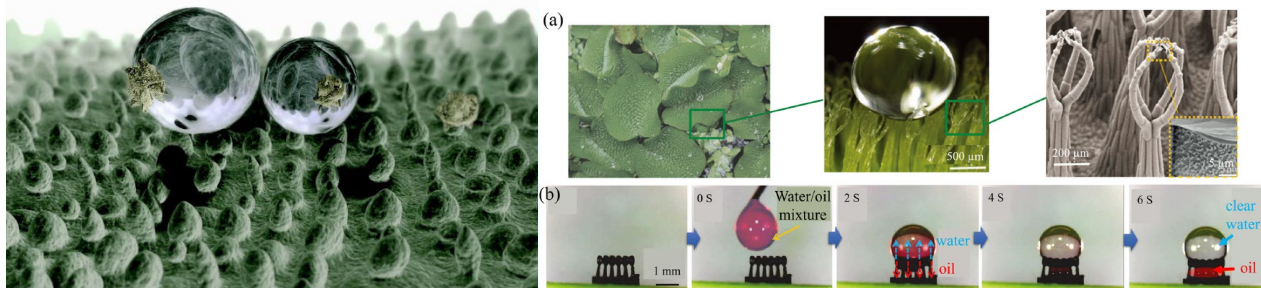
*Mikroskopowy obraz łuski rekina / kombinezon o strukturze skóry rekina.*

Obecnie tym rozwiązaniem zainteresował się również przemysł lotniczy. Firma Airbus zamierza pokryć swoje samoloty typu Airbus A340 powłoką zmniejszającą opory aerodynamiczne opartą na budowie rekinich łusek.

Kolejnym zagadnieniem, które zafrapowało naukowców był problem hydrofobowości. Co prawda przemysł tworzyw sztucznych stworzył szereg materiałów o tej własności, ale ich wytrzymałość mechaniczna i parametry fizyczne uniemożliwiały wykorzystanie we wszystkich gałęziach przemysłu. Celem stało stworzenie super hydrofobowego materiału z którego można by było stworzyć konkretne elementy lub napylić nim inne powierzchnie.

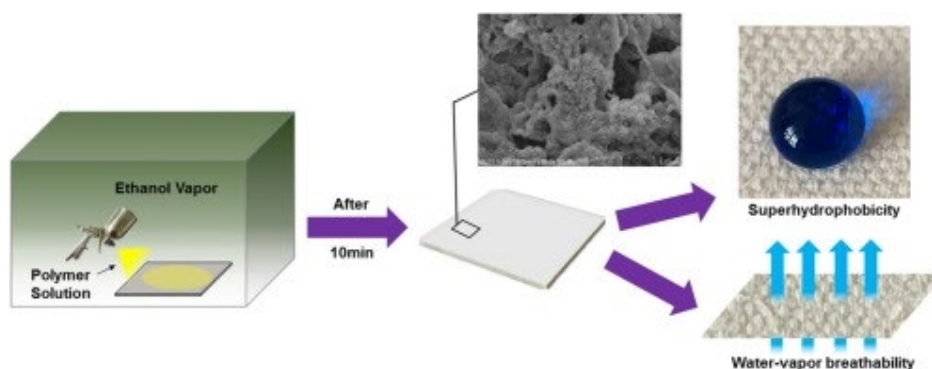
Podczas obserwacji liści kwiatów lotosu zauważono pewne interesujące zjawisko. Otóż, spadające krople wody na powierzchni liścia przyjmowały idealnie sferyczny kształt i nie rozplýwały się na jego powierzchni. Początkowo sądzono, że powodem zatrzymywania wody może być warstwa wosku lub innych chemicznych, jednak nie tłumaczyło to zachowania się kropli wody.

Po obserwacjach mikroskopowych odkryto, że na powierzchni liścia znajdują się specyficzne struktury, które minimalizują powierzchnię kontaktu kropli wody z jego powierzchnią.

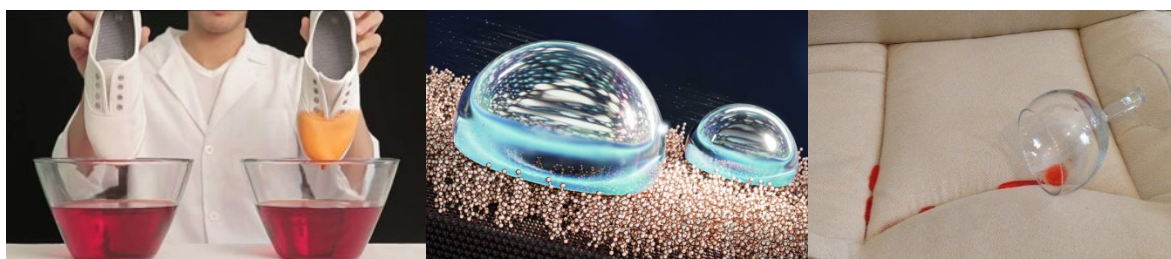


*Struktura powierzchni liścia kwiatu lotosu / struktury fizyczne zapewniające hydrofobowość.*

Superhydrofobowość kwiatu lotosu zainspirowała wielu chemików do stworzenia substancji, która w podobny sposób zatrzymywała wodę na powierzchni dowolnego materiału. Po wielu próbach oddało się uzyskać materiał oparty na bazie związków fluorowanych i rozpuszczalnikach organicznych. Problem polegał na tym, że tego typu powłoki były toksyczne i cechowały się stosunkowo małą wytrzymałością mechaniczną. Z czasem opracowano neutralne materiały kompozytowe z których uzyskano tkaniny jak i roztwory płynne, którymi można było pokryć różnego rodzaju elementy.



*Proces uzyskiwania oddychającego superhydrofobowego materiału (Źródło: Elsevier, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300944016308165>)*

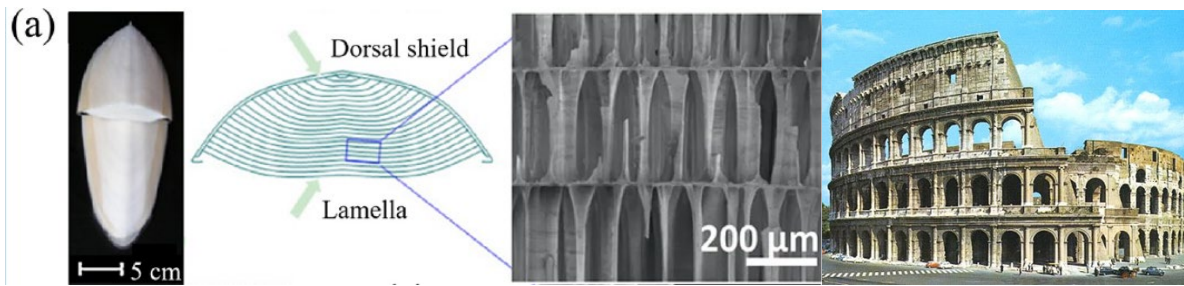


Wiele rozwiązań z dziedziny inżynierii materiałowej powstało na podstawie szczegółowej analizy struktury wewnętrznej organelli różnych gatunków roślin i zwierząt.

W dużym powiększeniu budowa wielu z nich odkrywa złożoność form geometrycznych jak i unikalnych systemów połączeń, które pozwalają na uzyskanie dużej elastyczności i wytrzymałości mechanicznej przy znacznym obniżeniu ciężaru danego elementu.

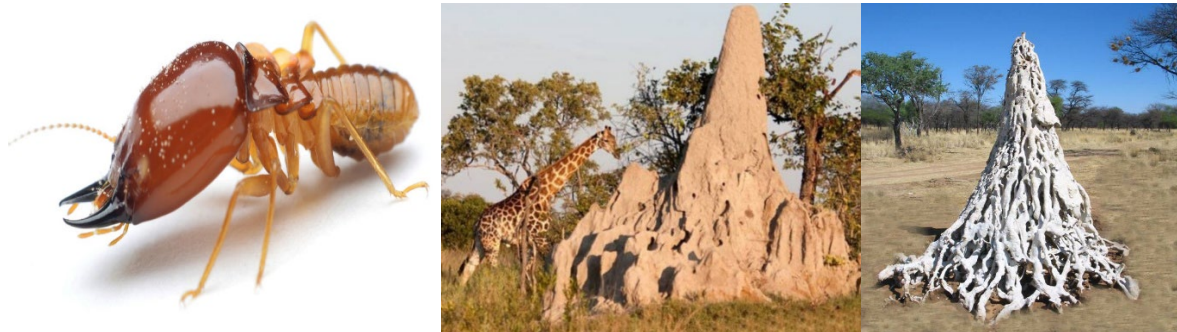
Tego typu konstrukcje znajdują zastosowanie w budownictwie jak i przemyśle lotniczym.





*Struktura kości mątwy oparta na formie rusztowania / Koloseum w Rzymie..*

Jednak w naturze istnieją rozwiązania, które pomimo rozwoju technologicznego ludzkości są praktycznie nie do skopiowania, biorąc pod uwagę własności konstrukcyjne, materiałowe i termodynamiczne. Takim przykładem jest kopiec termitów.



Termity są niewielkimi stawonogami żyjącymi w dużych koloniach na wszystkich kontynentach za wyjątkiem Antarktydy. Znane są z imponujących kopców składających się głównie z ziemi i błota, których wysokość może dochodzić nawet do 9 m. Fenomenem tych owadów jest umiejętność budowania niezwykle trwałych i skomplikowanych konstrukcji. Wspomniane wyżej kopce usiane są siecią kanałów i tuneli, a ich podstawa jest silnie zakotwiczona w głębi ziemi.



*Przekrój przez kopiec termitów.*

Analiza inżynierska wykazała, że struktura budowlana kopców termitów jest bardzo uporządkowana. Układ sieci tuneli nie jest przypadkowy, a grubość i rozkład poszczególnych segmentów zapobiega powstawaniu nadmiernych naprężeń, które mogłyby prowadzić do zapadania się budowli. Trzeba również podkreślić, że zasadniczo nie ma kopca o tej samej konstrukcji. W zależności od gatunku i miejsca występowania każda kolonia realizuje swój własny projekt, który jak się wydaje dostosowany jest do danych warunków środowiskowy.

Ciekawą rzeczą jest to, że bez względu na rozmiar wewnątrz termitiery panuje stała wilgotność i temperatura pomimo tego, że na zewnątrz rozkład temperatur może oscylować w granicach od 3°C do 45°C.

To zjawisko wskazuje, że kopce termitów mają szczególne właściwości termoizolacyjne, a system otwieranych i zamykanych kanałów zapewnia wysoce sprawną wymianę powietrza i regulację wilgotności.

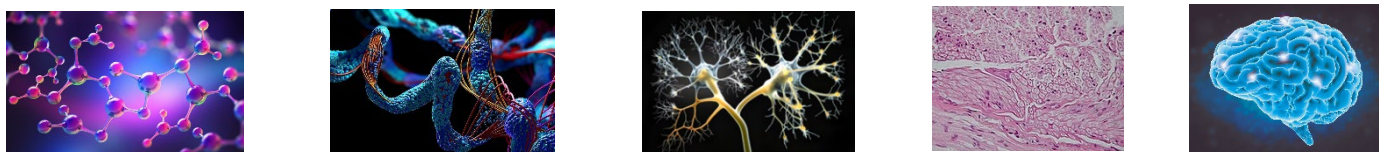
Na dzień dzisiejszy technologicznie ludzie nie są w stanie odtworzyć w skali 1:1 strukturę kopca termitów, jednak analiza cyrkulacji powietrza daje możliwość na opracowanie wydajniejszych systemów klimatyzacyjnych jak i energooszczędnych konstrukcji budowlanych.



### Biomimetyka w zmianach technologii wytwarzania.

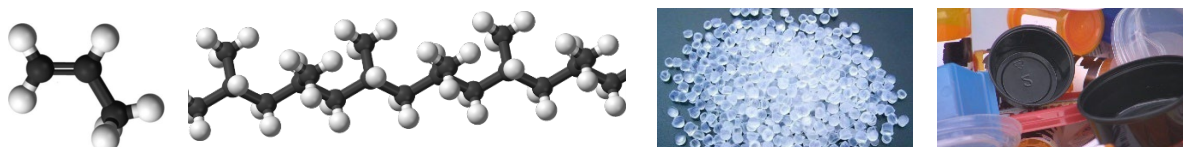
Badania zjawisk zachodzących w przyrodzie dowiodły, że wszelkie procesy naturalne budowania różnego rodzaju struktur zachodzą stopniowo.

Zasadniczo każdy procesy zaczyna się w skali nano, gdzie dochodzi do ułożenia pojedynczych molekuł w ściśle zdefiniowane struktury. W dalszym etapie w procesie samoorganizacji dochodzi tworzenia bardziej złożonych układów, które są następnie są powielane w procesie replikacji.

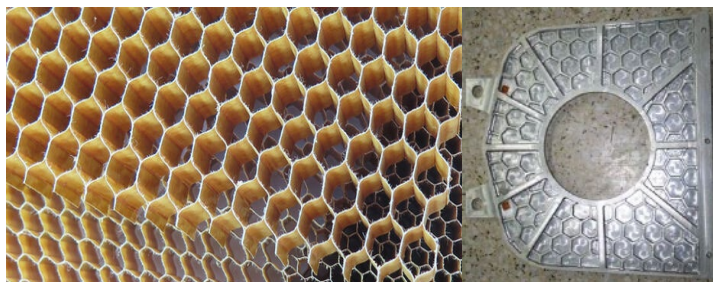


AMINOKWASY → BIAŁKA → KOMÓRKI → TKANKI → ORGANY

Ten sposób działania został wykorzystany w chemii polimerów, gdzie z pojedynczych cząsteczek np. propylenu w wyniku polimeryzacji otrzymuje się długie łańcuchy, które następnie w wyniku procesu technologicznego otrzymuje się granulaty, z którego pod wpływem obróbki termicznej można tworzyć większe elementy.



Biologia znalazła również zastosowanie w przemyśle odlewniczym przy produkcji elementów do samolotów, kolejnictwie jak i innych dziedzinach przemysłu ciężkiego.

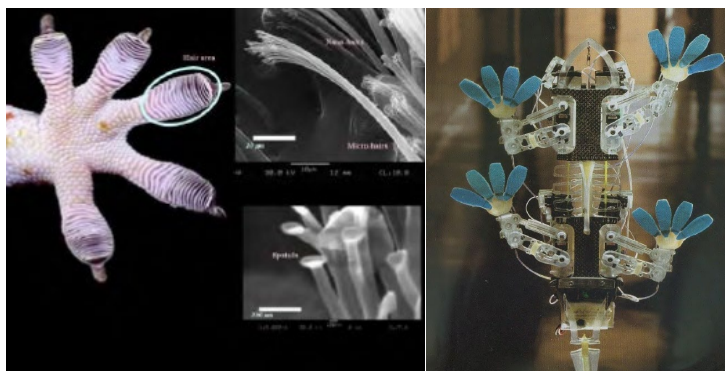


*Struktura plastra miodu i element ramy samolotu.*

Badania anatomiczne przyczyniły się także do zmiany budowy różnych elementów konstrukcyjnych oraz tworzenia nowych elementów o zupełnie nowych właściwościach fizycznych.



*Po lewej stronie element wykonany tradycyjnie, po prawej część wykonana na podstawie struktury biologicznej.*



*Analiza przysawek gekona, bioniczny model zwierzęcia.*



*Felga samochodowa o budowie plastra miodu.*

Wiele elementów inspirowanych biologią przed zastosowaniem zostaje poddanych drastycznym testom wytrzymałościowym, których celem jest sprawdzenie właściwości badanego materiału, jak również optymalizacja rozwiązań technicznych.

Aby uzyskać tego typu dane stosuje się maszyny wytrzymałościowe, które umożliwiają wykonanie szeregu badań dotyczących odporności na ściskanie, ścinanie, zginanie, skręcanie i rozciąganie różnego rodzaju podzespołów i komponentów konstrukcyjnych.



*Maszyny wytrzymałościowe AGX-V / EZ Test japońskiej firmy Shimadzu.  
(dystrybucja w Polsce, SHIM-POL. A.M. Borzymowski, E. Borzymowska-Reszka, A. Reszka Sp. J.)*

Oczywiście należy również pamiętać o tym, że analizy wytrzymałości są również powiązane z analizą strukturalną w której wykorzystuje się metody spektroskopowe.



*Spektrometr fluorescencji rentgenowskiej z dyspersją energii EDX-8100 japońskiej firmy Shimadzu.  
(dystrybucja w Polsce, SHIM-POL. A.M. Borzymowski, E. Borzymowska-Reszka, A. Reszka Sp. J.)*



*Spektrometr podczerwieni z szybką transformacją Furiera IRTracer-100 japońskiej firmy Shimadzu.  
(dystrybucja w Polsce, SHIM-POL. A.M. Borzymowski, E. Borzymowska-Reszka, A. Reszka Sp. J.)*

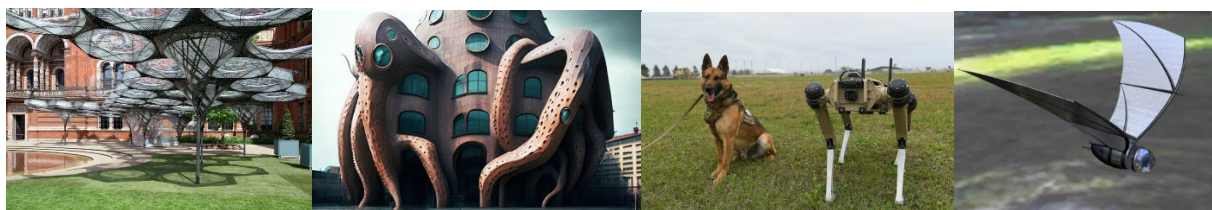


*Spektrofluorymetr RF-6000 japońskiej firmy Shimadzu.  
(dystrybucja w Polsce, SHIM-POL. A.M. Borzymowski, E. Borzymowska-Reszka, A. Reszka Sp. J.)*



*Analizator wielkości cząstek SALD 2300 japońskiej firmy Shimadzu.  
(Dystrybucja w Polsce, SHIM-POL. A.M. Borzymowski, E. Borzymowska-Reszka, A. Reszka Sp. J.)*

Liczne badania porównawcze wykazały, że materiały i konstrukcje oparte na budowie organizmów żywych często posiadają o wiele lepsze parametry techniczne w porównaniu z tradycyjnie stosowanymi rozwiązaniami. Dzięki naśladowaniu natury zmodyfikowano wiele projektów inżynierskich oraz wprowadzono nowe produkty, które w znaczący sposób zmieniły wiele technologii przemysłowych. Nano materiały zrewolucjonizowały świat medycyny i elektroniki, a unikalne budowle w znaczący sposób pozwoliły na zmniejszenie zużycia energii, jak również eliminacji zagrożeń w strefach sejsmicznych.



## Podsumowanie.

Natura kryje jeszcze przed ludźmi wiele tajemnic. Nie mniej jednak uważne podpatrywanie zwierząt i roślin jak i coraz lepsza znajomość mikroświata pozwala na odkrywanie różnych mechanizmów, które kształtowały się przez miliony lat w toku ewolucji.

Biomimetyka stała się dziedziną, która dzięki pracy wielu naukowców umożliwia wytłumaczenie szeregu zjawisk i procesów pozwalających dostosować się różnym gatunkom do zmieniających się warunków środowiska. Co więcej, dzięki zdobytej wiedzy stało się możliwym przeniesienie zaprojektowanych przez przyrodę struktur na grunt inżynierii i technologii.

Z pewnością znajomość podstaw funkcji biologicznych daje nowe możliwości w zakresie projektowania innowacyjnych urządzeń, leków jak i rozwoju infrastruktury urbanistycznej.

## Literatura.

1. Howe Baum "Biomimicry design inspiration from nature compiled by Howe Baum" Strona: <https://inhabitat.com/finding-design-inspiration-in-nature-biomimicry-for-a-better-planet/>
2. Yayun Wanga <sup>a</sup>, Steven E. Nalewayb <sup>b</sup>, Bin Wang <sup>a</sup> - "Biological and bioinspired materials: Structure leading to functional and mechanical performance", Bioactive Materials  
Volume 5, Issue 4, December 2020, Pages 745-757
3. Elisabeth Banken\* and Johannes Oeffner "Biomimetics for innovative and future-oriented space applications -A review" - Frontiers in Space Technology, TYPE Review, PUBLISHED 07 March 2023 DOI 10.3389/frspt.2022.1000788
4. Adam Ruszaj „Bio-Inspiracja w rozwiązywaniu problemów technicznych” - Mechanik Nr 12/2015, DOI:10.17814/mechanik.2015.12.544.
5. Ewelina Jarek "Biomimetyka – przyroda inspiruje naukowców"  
Jerzy Haber Instytut Katalizy i Chemii Powierzchni Polskiej Akademii Nauk
6. BHARAT BHUSHAN "Biomimetics: lessons from nature – an overview BY BHARAT BHUSHAN\*, Phil. Trans. R. Soc. A (2009) 367, 1445–1486 doi:10.1098/rsta.2009.0011, Published online.
7. Clément Sanchez, hervé Arribart "Biomimetism and bioinspiration as tools for the design of innovative materials and systems", ResearchGate, May 2005 Nature Materials 4(4):277-88, DOI:10.1038/nmat1339
8. Zoran Jakšić \* and Olga Jakšić "Biomimetic Nanomembranes: An Overview", MDPI, Biomimetics 2020, 5(2), 24; <https://doi.org/10.3390/biomimetics5020024>, Published: 29 May 2020 (This article belongs to the Special Issue Biomimetic Nanotechnology Vol. 2)
10. F V Vincent "Biomimetics – a review"  
The manuscript was received on 12 December 2008 and was accepted after revision for publication on 28 July 2009. DOI: 10.1243/09544119JEIM561



„SHIM-POL A.M. Borzymowski"  
E. Borzymowska-Reszka A. Reszka Spółka Jawna  
Siedziba firmy:  
ul. Kochanowskiego 49A, 01-864 Warszawa  
Tel: +48 22 72 27 048  
Fax: + 48 22 72 27 051  
E-mail: [biuro@shim-pol.pl](mailto:biuro@shim-pol.pl)