

BUDOWNICTWO BIONICZNE - NAŚLADOWANIE NATURY W ARCHITEKTURZE

Bartosz Zegardło, Edyta Wołosowicz, Wojciech Golec

Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej
Wydział Nauk Technicznych i Ekonomicznych, ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska
e-mail: wojciechgolec1992@gmail.com

Streszczenie

W pracy przedstawiono idee projektowe obiektów, w których rozwiązania zarówno architektoniczne jak i konstrukcyjne inspirowane były światem organizmów żywych.

Przedstawiono pojęcie bioniki, jako nowego nurtu w architekturze oraz wyjaśniono jej oddziaływanie na kształtowanie formy obiektów, konstrukcji oraz nowych materiałów budowlanych. Przedstawionymi przykładami analogii zaczerpniętej z natury do rozwiązań architektonicznych są m.in. natura ożywiona, nieożywiona i konstrukcje budowane przez zwierzęta.

Głównym celem pracy jest zwrócenie uwagi na fakt, że pomimo daleko posuniętej specjalizacji różnych gałęzi nauki, istnieją pewne więzi łączące z pozoru niezwiązane ze sobą dziedziny takie jak biologia i architektura. Pomostem takim jest w tym wypadku bionika.

Słowa kluczowe: natura w budownictwie, bionika, architektura nowoczesna

Wstęp

Termin bionika wprowadził amerykański lekarz Jack E. Steele w 1958 roku. Oficjalnie po raz pierwszy użyto go w 1960 jako tytułu trzydniowego sympozjum (Chrostowski, Wieteska, 2012).

Bionika (od gr. bios-życie i mimesis- naśladować; inne nazwy: biomimetyka, biomimikra, inżynieria bioniczna) – jest to nauka interdyscyplinarna, badająca budowę, zasady działania i życia organizmów oraz ich adaptowanie i stosowanie do różnych kierunków nauki. Obecny postęp nauki i techniki umożliwia projektowanie konstrukcji budowlanych coraz wyższych, o coraz większych gabarytach oraz przenoszących coraz większe obciążenia pomimo zużycia mniejszych ilości materiałów.

Bionika w procesie tym ma bardzo duże znaczenie -szuka sposobów na budowę konstrukcji wytrzymałych, lekkich i energooszczędnych. Twierdzi się, że to natura wytworzyła najlepsze rozwiązania technologiczne, człowiek czerpie z niej jak z niekończącej się księgi (Sobczak, 2014).

Ludzie od wieków obserwowali zjawiska zachodzące w naturze i przyglądali się otaczającemu ich światu, próbując naśladować niektóre istniejące w nim rozwiązania. Zachowanie różnych organizmów oraz stosowane przez nich rozwiązania ułatwiające

im przeżycie studiowane jest od strony techniczno-inżynierskiej od niedawna. Pionierem bioniki był z pewnością Leonardo da Vinci (1452-1519), malarz, rzeźbiarz, architekt a przede wszystkim wspaniały, wychodzący poza granice wyobraźni ówczesnego świata, wizjoner-wynalazca okresu renesansu. Uważał on, że im pełniejsza jest wiedza o świecie i przyrodzie, tym pełniejszą i lepszą będzie nauka i sztuka. Nauka i sztuka dążyły w jego pojęciu do jednego celu poznania i odtworzenia rzeczywistości. Interesowała go przy tym nie tylko strona wizualna tej rzeczywistości, lecz ukryte przyczyny, prawidłowości i mechanizmy zjawisk (Samek, 2010).

Bionika rozpatrywana, jako nauka dzielona jest na kategorie w zależności od stopnia analogii pomiędzy wzorcem a rozwiązaniem technicznym.

Wyróżnia się pięć takich kategorii:

– **Pełne naśladownictwo**

Obiekt techniczny pod względem strukturalnym, materiałowym i funkcjonalnym nie różni się od wzorca zaczerpniętego z przyrody (pierwsze podejście do maszyn latających).

– **Naśladownictwo częściowe**

Obiekt techniczny jest zmodyfikowanym rozwiązaniem zaczerpniętym z wzorca przyrody (przykładem może być sztuczne drewno).

– **Analogia pomiędzy obiektem naturalnym a technicznym**

Analogia funkcjonalna nie koniecznie strukturalna (mechanizacja skrzydła).

– **Wykorzystanie wyodrębnionej struktury**

Wykorzystanie struktury rozwiązania abstrakcyjnego (zastosowanie włókien wzmacniających w materiałach wielowarstwowych).

– **Niezależna działalność**

Działalność niezależna jednak inspirowana analizą podobnych rozwiązań zaczerpniętych z natury (liczne rozwiązania w architekturze i budownictwie) (Samek, 2010).

Coraz silniejszą więź z bioniką wykazuje budownictwo, zwłaszcza w zakresie elementów konstrukcji. Naśladownictwo organizmów żywych w architekturze nadaje budynkom nowe niespotykane dotąd kształty i formy. Wreszcie rozwiązania techniczne z wykorzystaniem bioniki mają korzystny wpływ na ochronę środowiska i ekologię (Samek, 2010).

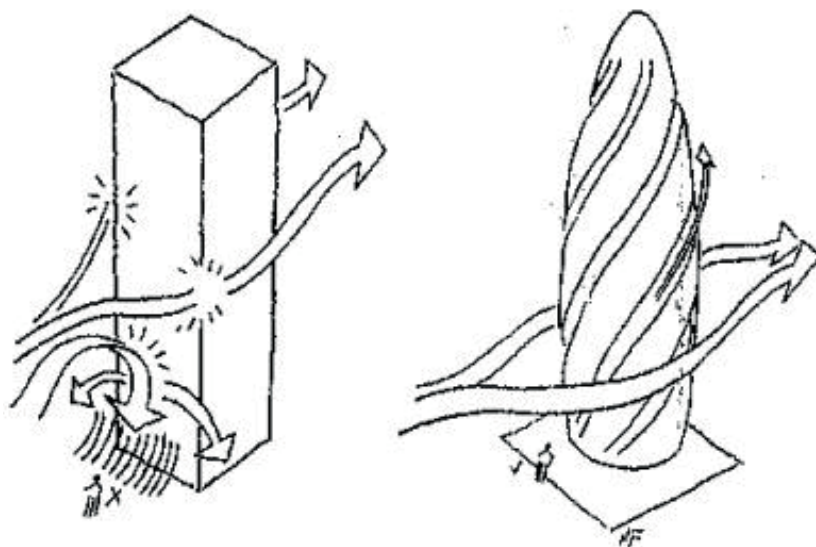
Naśladowanie natury w architekturze

Natura nieożywiona

Otoczający nas krajobraz kształtują wyraźnie czynniki zewnętrzne, które muszą poddać się działającym nań siłom. Doskonale przedstawia się to w formowaniu przez wiatr wydm pustynnych czy „rzeźbieniu” przez wodę otoczków w strumieniu. Analogicznie wznosi się obiekty wysokie, nadając im opływowy kształt, aby zmniejszyć opory powietrza i co będzie skutkowało zwiększeniem trwałości całej konstrukcji.

Innym przykładem wykorzystania naśladownictwa natury nieożywionej jest kropla wody.

Niewielka ilość wody przyjmuje na płaskiej powierzchni formę kropli, którą projektanci wykorzystali przy tworzeniu zbiorników kropl kształtnych do przechowywania cieczy. Struktura taka wykorzystuje zasadę napięcia powierzchniowego utrzymującego zawsze ten sam kształt kropli, pozwalającą na zmniejszenie do minimum grubości ścian zbiorników (we wszystkich punktach ścian panują jednakowe naprężenia południkowe i równoleżnikowe) (Sobczak, 2004).



Rys. 1. Aerodynamika budynków wysokich (Sobczak, 2004)

Następnym przykładem inspiracji zaczerpniętej z tego samego źródła jest przedstawiony na Rys. 2 budynek muzeum. Budynek ten pod względem formy i kształtu jest wyjątkowy: ma kształt wielkiej, pofalowanej kropli, która sprawia wrażenie, jakby właśnie spadła na ziemię.

Muzeum łączy w sobie dwa style – nowoczesny, wielkomiejski charakter bryły godzi z naturalistycznym, skąpanym w świetle wnętrzem. W efekcie tego połączenia powstał budynek, który doskonale wpasowuje się w architekturę nowoczesnego miasta. Zewnętrzny wygląd budynku i jego wnętrze pomimo widocznych różnic pozostają ze sobą w ścisłym związku: galerie wewnątrz muzeum nawiązują do wyglądu bryły muzeum – zostały umieszczone w mniejszych kropelkach, połączonych ze sobą mostami.

Elewacja budynku pełni rolę metalowego pudełka, mającego osłaniać muzeum przed ostrymi zimami i burzami piaskowymi, częstymi w tym regionie; ma też znaczenie metaforyczne – może być odbierana, jako rodzaj tarczy obronnej, która zabezpiecza cenną kulturę i historię miasta. Muzeum zdaje się unosić się i falować jak wydma, co ma stanowić hołd dla krajobrazu regionu, który został wyparty przez panoramę nowoczesnego miasta (Chrostowski, Wieteska, 2014).



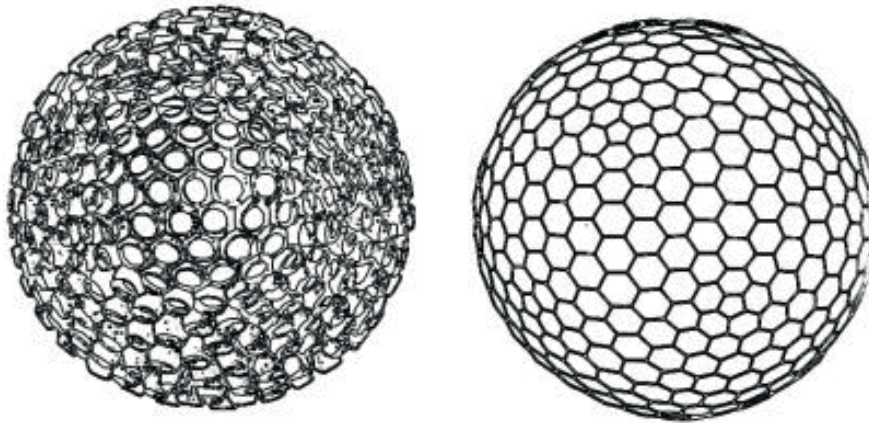
Rys. 2. Muzeum regionalne w chińskim Ordos (Chrostowski, Wieteska, 2014)

Natura ożywiona

Komórka, organizmy jednokomórkowe

Komórka jest podstawową jednostką budująca każdy ustrój. Jej forma ewoluowała na przestrzeni wieków, zawsze jednak posiadała pewne podstawowe cechy wspólne. Składa się ona z zespołu organelli zawieszonych w cytoplazmie i otoczonych ścianą lub błoną komórkową przyjmującą obły kształt. Właśnie ten kształt czyni komórkę podobną do konstrukcji pneumatycznych. W obu przypadkach forma zależy ściśle od różnicy ciśnień pomiędzy wnętrzem, a przestrzenią zewnętrzną i jest specyficznym kompromisem wynikającym z istniejącego rozkładu sił (Sobczak, 2004).

Niektóre organizmy jednokomórkowe, jak na przykład radiolaria, tworzą zadziwiające konstrukcje. Gdy przyjrzymy się im pod mikroskopem, mamy jednoznaczne skojarzenia z kopułowymi strukturami prętowymi o dużej nośności w stosunku do ciężaru samej konstrukcji. Zarówno natura, jak i konstrukcja architektoniczna wykorzystują tu zasadę ekonomii w wykorzystaniu materiału budowlanego (Sobczak, 2004).



Rys. 3. Budowa radiolarii i kopuły prętowej (Sobczak, 2004)



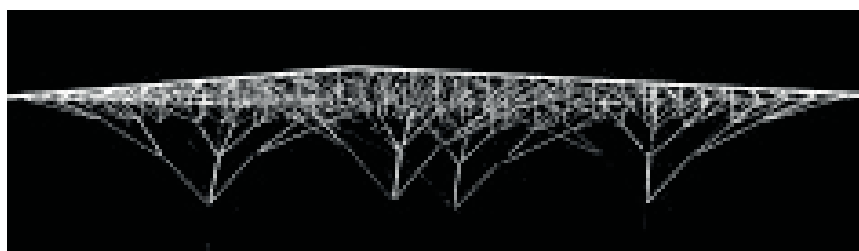
Rys. 4. Najśłynniejsze zbudowane dzieło Fullera - pawilon USA na Expo '67 w Montralui (Administrator, Niezwykłe budowle cz. 2, 2010)

Królestwo roślin

Procesem niezbędnym dla istnienia roślin jest przeprowadzenie fotosyntezy i wytworzenie dzięki temu energii. Wobec tego tak ważnym organem są dla nich liście, które przy wykorzystaniu zdolnościom fototropicznym „podążają” w kierunku promieni słonecznych. Powyższą zasadę wykorzystali twórcy pawilonu Wenezueli na wystawę Expo2000 w Hanowerze. Konstrukcja przypominająca wiązkę liści za pomocą komputera podnosi się lub opada, regulując dopływ promieni słonecznych (Sobczak, 2004).

Aby dać możliwość liściom na ruch rośliny wytworzyły tzw. żyłki, które są ich „zbrojeniem” i pozwalają im uzyskać większą sztywność, niezależnie od czynników zewnętrznych. Podobnie pracują żebra przenoszące w konstrukcji sklepień główne siły i niosące przeważającą część obciążenia. Dalszym udoskonaleniem wzmacniającym długie liście jest sam ich kształt. Większość z nich przybiera formę zbliżoną do tarczownicy, co zabezpiecza je przed łamaniem się pod własnym ciężarem (Sobczak, 2004). Rośliny trawiaste posiadają w dość regularnych odstępach charakterystyczne zgrubienia usztywniające je i chroniące od podmuchu wiatru. Architekci odkryli podobny sposób, aby poradzić sobie z problemem smukłości obiektów wysokich. Co kilka pięter stosują tzw. kondygnację techniczną, spełniającą podobną funkcję (Sobczak, 2010).

Prawdziwą inspiracją dla konstruktorów są drzewa. Począwszy od ich formy, która jest zwykłym wspornikiem, pracującym na tych samych zasadach, co maszty i wieże, kończąc na koronie będącej inspiracją do kreowania systemów stropów i fundamentów o dużej nośności dzięki równomiernemu rozłożeniu sił (Sobczak, 2004).



Rys. 5. Podpory w kształcie drzew (Sobczak, 2004)

Królestwo zwierząt

Żyjące w środowisku wodnym mięczaki o muszlach dwuklapowych stanowiłyby łatwy cel dla drapieżników, gdyby nie wytworzyły specyficznej konstrukcji ochronnej. Ich muszle w przekroju posiadają budowę zestawionych ze sobą powłok walcowych, wykorzystywanych często, jako przekrycia hal o dużych rozpiętościach, dzięki możliwości przenoszenia o wiele większych obciążeń, niż analogiczne przekrycie o płaskiej powierzchni oraz zdecydowanie lepszej sztywności. W naturze dość dużą grupę stanowią zwierzęta jajorodne. Swoje przyszłe potomstwo ukrywają one w skorupach jajek będących doskonałym przykładem powłok bardzo cienkich w stosunku do swoich pozostałych wymiarów. Na tej samej zasadzie architekci projektują kilkucentymetrowe powłoki żelbetowe o rozpiętości kilkudziesięciu metrów, a czasem więcej (Sobczak, 2004). Kolejną inspiracją dla konstruktorów mogą być nietoperze, szybujące w powietrzu dzięki rozpiętym między kończynami błoniastym, bardzo wytrzymałym skrzydłom. Podobne błony rozpina się pomiędzy specjalnymi masztami, budując wszelkiego rodzaju konstrukcje membranowe stanowiące lekkie przekrycia dla dużych rozpiętości (Sobczak, 2004).

Nie bez znaczenia jest fakt, iż wśród dużych zwierząt pionową pozycję na łądzie są w stanie utrzymać niemal wyłącznie kręgowce. Pozawala im na to kręgosłup usztywniający cały organizm. Taką samą funkcję pełni w budynkach wysokich trzon połączony z resztą konstrukcji i pracujący na zginanie (Sobczak, 2004). Dla celów naszych rozważań bardzo ciekawe mogą okazać się wyniki badań, które dowodzą, że w nasadzie kości udowej człowieka beleczki kostne układają się równoległe do głównych kierunków sił. Dzięki tej właściwości ich budowę można porównać do kratownicy przestrzennej, a beleczki kostne do prętów, gdyż wykorzystują tą samą zasadę konstrukcji (Sobczak, 2004).



Rys. 6. Przykład konstrukcji membranowej (Sobczak, 2004)

Konstrukcje budowane przez zwierzęta

Doskonałym przykładem konstrukcji cięgnowej stanowi pajęczyna. Dodatkowo pająki wykorzystują do jej wytworzenia bardzo wytrzymałą na rozciąganie nić. Jej długość zerwania jest zbliżony do włókna szklanego i wynosi około 70 km. Podobną strukturę, przypominającą opartą na masztach pajęczynę, zastosowano przy projektowaniu pawilonu niemieckiego na Wystawę Światową w Montrealu. Niektóre zwierzęta, jak na przykład termity żyją w koloniach przypominających ludzkie siedliska. Ich termitery są proporcjonalnymi odpowiednikami naszych budynków wysokich z pełnym podziałem funkcji i kontrolą dostępu. Konstrukcja tych kolonii jest bardzo zbliżona do budowli murowych za sprawą wykorzystanej zasady budowania ścian o przekroju zmniejszającym się wraz ze wzrostem wysokości (Sobczak, 2004).

Sześciokąt regularny, inspirowany plastrzem miodu jest doskonałą formą modułową. Ponieważ główną zasadą przyrody jest ekonomiczność zastosowań - regularne zestawienie graniastosłupów sześciobocznych zapewnia oszczędność pokrycia powierzchni. Graniastosłupy sześcioboczne występują np. w plastrach miodu czy też w strukturze układu naczyniowego roślin (Gołębiowska, 2014).

Budowa ciała

W Berlinie wzniesiono budynek, którego poziome, białe pasy, przypominają ludzkie włókna mięśniowe. Nie tylko jego zewnętrzna budowa przywodzi na myśl skojarzenia biologiczne. Budynek to nowoczesne Centrum Naukowe Technologii Medycznych. Jest to obiekt łączący w sobie wiele funkcji: przestrzeń wystawienniczą poświęconą anatomii i bionice, centrum konferencyjne i badawcze, a także przestrzeń warsztatową. Wygląd zewnętrzny Centrum, podobnie jak i wewnętrzny jest spójny z zawartością i funkcją, a wystawy dotyczące m.in. zasad ruchu ludzkiego ciała czy nowych rozwiązań technologicznych (Gołębiowska, 2014).



Rys. 7. Centrum Naukowe Technologii Medycznych przy Potsdamer Platz w Berlinie projektu Gnädinger Architects (Gołębiowska, 2010)

Bionika eksperymentalna w budownictwie

Na co dzień stykamy się ze zwykłymi, szarymi, pospolitymi budynkami, które w dużej mierze są podobne do siebie. Nie oznacza to jednak, że na świecie nie ma budowli, które są niepowtarzalne, niezwykle, zadziwiające.

Bioekosystemy

Współcześni bionicy (biomimetycy), jak J. Beynous, J. Vincet, T. Hesselberg w koordynacji z bio-architektami (Michael Pawlyn, Bill Watts, Mick Pearce) rozróżniają w biomimetyce również tak zwane bioekosystemy. Są to innowacyjne projekty, w których dany element architektoniczny jest wzorowany na istniejących strukturach biologicznych. Dodatkowo projektowane bioekosystemy są w pełni samowystarczalne i współistnieją i współdziałają w obiegu zamkniętym, nie powodując powstawania odpadów (w rozumieniu definicji ustawy o odpadach). Poniżej kilka przykładów takich obiektów.

- „Zeltdach park olimpijski w Monachium, nie będący bioekosystemem, ale wyglądający jak sieć pająka -jeden z pierwszych projektów bionicznych, który został zbudowany w 1972 r.;
- „Masdar City Center” - pierwsze na świecie ekologiczne miasto w Abu Dhabi (zakończenie budowy w 2020 r.), z parasolami otwierającymi się jak żółte kwiaty słoneczników, dzięki czemu chronią powierzchnię ziemi przed żarem słońca. Z kolei nocą składają się i ogrzewają otoczenie nagromadzoną wcześniej energią;
- „Eastgate w Harare w Zimbabwie kompleks wzorowany na kopcu termitów, w którym ściany są porowate, co umożliwia wentylację budynku i utrzymanie stałej temperatury przez cały rok;
- „Sahara Forest Project będący w trakcie realizacji projekt architektoniczny, wykorzystujący energię słońca, nowoczesną technologię produkcji biomasy i innowacyjny sposób pozyskiwania wody do stworzenia ekosystemu na pustyni (Samek, 2010).



Rys. 8. Bioekosystemy (Samek, 2010)

Architektura zainspirowana jajem

Budynek teatru, mieszczący się w Chinach, w Pekinie, wygląda niczym ogromne jajo. Wykonany został ze szkła i tytanu oraz otoczony sztucznym jeziorem. Jest jedną z najbardziej egzotycznych budowli na świecie. Niezwykle nowoczesny design robi ogromne wrażenie. Sztuczne jezioro podkreśla dodatkowo kształt tej wspaniałej budowli. Zielone tereny wokół oraz woda tworzą fantastyczny obraz (blog.expozycja.com, 2010).



Rys. 9. Narodowy Teatr Wielki w Pekinie (blog.expozycja.com, 2010)

Siedziba władz oraz burmistrza, znajdująca się w Wielkiej Brytanii, w Londynie, przypomina nieco skrzywione jajo. Ma bardzo nowoczesny design – stalową konstrukcję i szklane płytki. Prezentuje się bardzo widowiskowo, a charakterystyczny owalny kształt sprawia, że nie sposób nie zwrócić na nią uwagi (blog.expozycja.com, 2010).



Rys. 10. Ratusz w Londynie (blog.expozycja.com, 2010)

Inteligentny budynek, który mieści się w Indiach, w Bombaju to konstrukcja w kształcie kurzego jaja, która wykorzystuje o 10-20% mniej powierzchni w porównaniu z tradycyjnym budownictwem i zużywa mniej energii elektrycznej. W tej budowli znajduje się 13 pięter z nowoczesnymi biurami. Konstrukcja ze szkła nie tylko wygląda nowocześnie i estetycznie, ale tworzy także niezwykle klimat w środowisku pracy.

Budynek wyposażony jest w inteligentny system monitorowania stanu zdrowia pracowników, wraz z ciśnieniem tętniczym krwi i kontrolą masy ciała. Wyniki te w razie potrzeby przesyłane są do lekarza.

Na szczycie znajduje się piękny ogród, a biurowiec został zaprojektowany tak, aby zmniejszyć zużycie energii elektrycznej. W tym celu na dachu zamontowano specjalne turbiny i panele oraz system filtracji wody (blog.expozycja.com, 2010).



Rys. 11. Cybernetyczne jajo w Bombaju (blog.expozycja.com, 2010)

Projekty przyszłości - mniej betonu, więcej ekologii

Wodny Dom Wczasowy (Water Building Resort) mieści pokoje hotelowe, centrum konferencyjne, sale wystawowe, restauracje, siłownię, spa oraz nietypowe oceanarium - przeszklony taras widokowy, znajdujący się w podwodnej części obiektu. Projekt budowlany jest dziełem hiszpańskiego architekta, Orlando de Urrutii, który uważa, że przyszłością architektury jest jej całkowita integracja z naturą.

Tak też projektant wyobraża sobie działanie Water Building Resort, ustawionego na wodach każdej zatoki hotelu, który `współdziała` z otaczającym go krajobrazem i oczywiście go nie zanieczyszcza.

Budynek o kształcie kropli wody elewację południową ma w całości obłożoną ogniwoami fotowoltaicznymi, które produkują energię na potrzeby hotelu; przeciwległa elewacja jest ażurowa - aby wpuszczała do wnętrza powietrze, a więc zapewniała wentylację bez użycia drogiej i szkodliwej klimatyzacji.

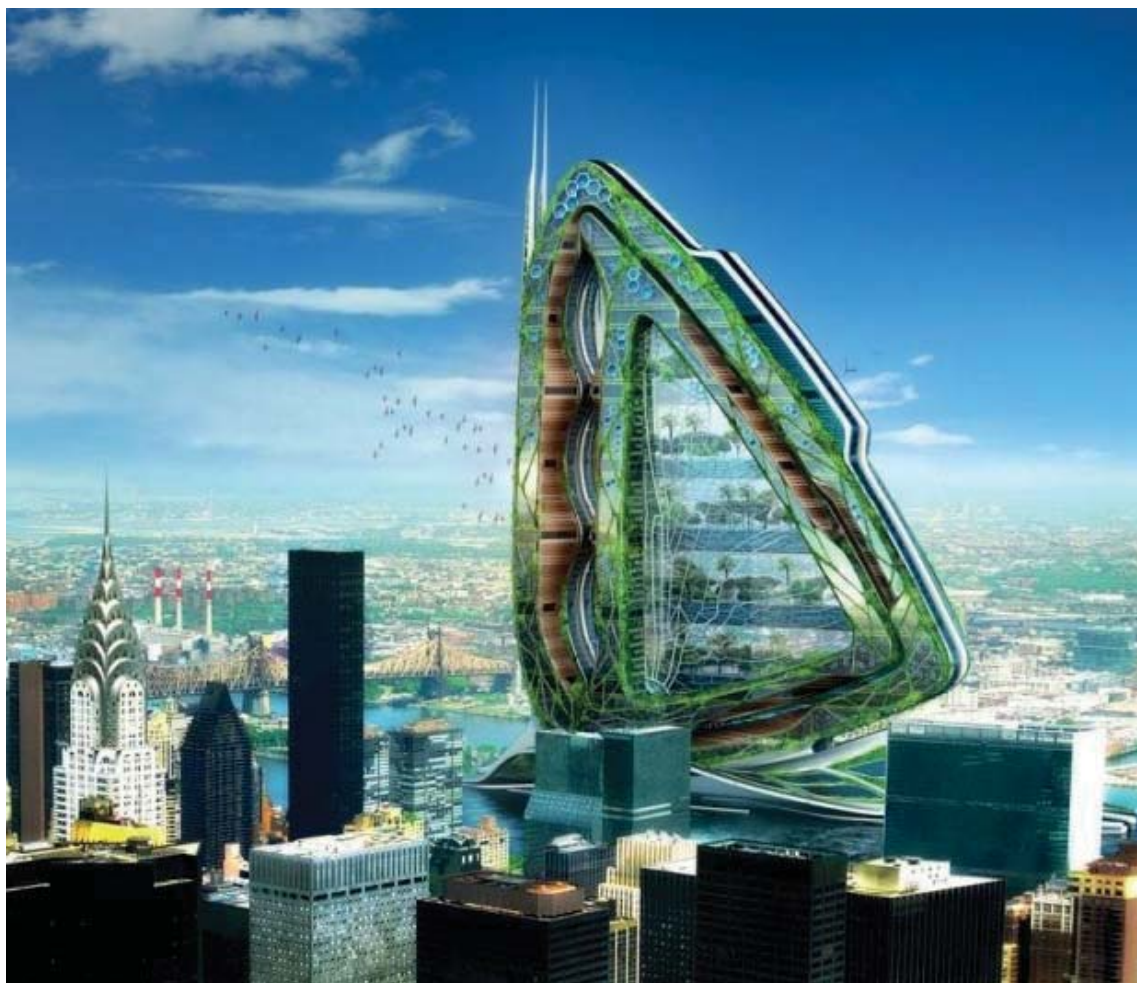
Jednak najbardziej rewolucyjnym rozwiązaniem w tym obiekcie ma być zastosowanie (po raz pierwszy na świecie) technologii TeexMicron, polegającej na produkcji krystalicznie czystej wody... z powietrza. Poprzez zbieranie i kondensację wilgotnego powietrza, jakie zawsze unosi się nad dużymi akwenami, specjalne maszyny (napędzane energią słoneczną) mają tu produkować czystą, nadającą się do picia wodę (www.bryla.pl).



Rys. 12. Wodny Dom Wczasowy, proj. Orlando de Urrutia (www.bryla.pl)

132 piętra, ponad 600m wysokości, kształt, przypominający skrzydło ważki - tak ma wyglądać pionowa farma, którą dla Nowego Jorku zaprojektował belgijski architekt-wizjoner, Vincent Callebaut. To nie kolejny drapacz chmur, jakich na Manhattanie nie brakuje, budynek Ważka (Dragonfly) miałby stanąć na południowym brzegu nowojorskiej Wyspy Roosevelta i pełnić bardzo nietypową rolę gospodarstwa rolnego. Callebaut we wnętrzu 600-metrowego wieżowca przewidział miejsce dla 28 różnych pól uprawnych, sadów czy miejsc do hodowli zwierząt. Od zasiewanych zbożem pól, przez warzywniaki i sady owocowe, po pastwiska dla zwierząt, wszystkie możliwe rolnicze specjalności miałyby funkcjonować w zamkniętym budynku. Fakt odseparowania upraw od świeżego powietrza miałby tu być zaletą - wewnątrz Ważki panowałyby lepsze niż na zewnątrz warunki, pozbawione zanieczyszczeń, z odpowiednią temperaturą i ilością wilgoci.

Vincent Callebaut swój projekt przedstawia, jako ratunek dla współczesnych miast, które zmagają się jednocześnie z brakiem przestrzeni oraz trudnościami w dostępie do zdrowej żywności. Rolniczy wieżowiec, który zajmie nie więcej miejsca niż zwykły biurowiec, a dostarczy sprawdzonej i właściwie na oczach mieszkańców miasta wyhodowanej żywności może stać się rewolucyjną ideą dla wciąż rozrastających się miast (www.bryla.pl).



Rys. 13. Wieżowiec Ważka, Nowy Jork, USA, proj. Vincent Callebaut (www.bryla.pl)

Podsumowanie

Podsumowując całą pracę można stwierdzić, że budownictwo bioniczne cały czas się rozwija. Coraz więcej współczesnych architektów chcąc stworzyć niezwykle, oryginalne i ekonomiczne obiekty inspirowane otaczającą naturą. Naturalność i lekkość konstrukcji bionicznych oddana jest nie tylko przez organiczną, asymetryczną i dynamiczną formę, ale również przez innowacyjność konstrukcji.

Bibliografia:

1. Sobczak A. Bionika architektury, czyli jak wiele współcześni architekci i konstruktorzy zawdzięczają osiągnięciom natury [dostęp: 05.01.2014] Dostępny w Internecie: <http://www.kns.b2me.pl/art-bionika-architektury,143,1.html>
2. Samek A., Bionika, Wiedza przyrodnicza dla inżynierów, Wydawnictwo AGH 2010 s. 26-28
3. Chrostowski J., Wieteska E. Bionika. Wielkie ściąganie, [dostęp: 05.01.2014] Dostępny w Internecie: <http://www.wiz.pl/8,198.html>
4. Gołębiowska A., Budowa żywego organizmu wzorem dla architektów, [dostęp: 05.01.2014] Dostępny w Internecie: <http://portalaktywni.pl/aktualnosci/bionika-nawet-w-architekturze/>
5. <http://blog.expozycja.com/2011/12/muzeum-w-ordos/>
6. http://www.bryla.pl/bryla/56,85298,10314474,Wodny_Dom_Wczasowy__proj__Orlando_de_Urrutia,,5.html
7. http://www.bryla.pl/bryla/56,85298,10314474,Wiezowiec_Wazka__Nowy_Jork__USA__proj__Vincent_Callebaut,,7.html
8. http://inteligentny-projekt.pl/old/index.php?option=com_content&view=article&id=17&Itemid=49
9. <http://oizet.p.lodz.pl/ins/zptiep/bionika.html>
10. http://studentbuduje.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=169&Itemid=1
11. <http://thekassablanca.blogspot.com>
12. <http://www.wedwoje.pl/narodowy;teatr;wielki;w;pekinie;architektura;zainspirowana;jajem,4,artykul,15235.html>

Liczba znaków ze spacjami: 21 391